

地盤と建物の相互作用効果が  
地震時の建物応答に与える影響

平成24年9月

損害保険料率算出機構



## はじめに

建物は地盤に支持されているため、地震時には地盤と建物間で力やエネルギーのやり取りが生じる。この作用は地盤と建物の相互作用とよばれている。

地震時の建物応答を地震応答解析により求める際には、地盤や建物に関する情報の不足等から、建物基礎部を固定した簡易なモデル（基礎固定モデル）による計算が行われることが多い。基礎固定モデルでは、相互作用が建物応答に与える影響は評価されない。

地盤と建物の相互作用については、1970年代頃から積極的に研究が行われてきた。それらの多くは、相互作用を考慮した地震応答解析の計算手法やその計算に必要な地盤ばね等のパラメータ設定に関するもの、特定の条件下での建物応答特性に関するもの、地震被害の個別事例を分析したものなどであり、こうした研究成果の蓄積によって相互作用効果に関する理解が進み、地盤や建物のパラメータを適切に設定することができれば、地震応答解析により実際の現象の再現計算を行うことができる程度可能になった。また、これらの研究成果から、地盤や建物の条件によって相互作用の効果が大きく変化することも明らかになってきた。しかしながら、それらさまざまな条件における相互作用の影響が一般的・定量的に把握されているわけではない。

そこで当機構では、地震保険調査研究事業の一環として、相互作用の効果が地震時の建物応答に与える影響を一般的・定量的に把握することを目的とし、さまざまな地盤条件・建物条件・地震波を用いた地震応答解析の結果を定量的に整理した。

本報告書はその成果をまとめたものである。

平成24年9月

損害保険料率算出機構



# 目次

第Ⅰ章 研究の概要	1
1. 背景・目的	1
2. 検討の概要	5
第Ⅱ章 解析パラメータの設定	11
1. 地盤モデルの設定	11
2. 建物モデルの設定	24
第Ⅲ章 地震応答解析による建物応答倍率の算出	41
1. 地震応答解析の概要	41
2. 表層地盤の地震応答解析	42
3. 地盤ばねの算定	52
4. 建物の地震応答解析と建物応答倍率の算出	66
第Ⅳ章 建物応答倍率の分析	67
1. 建物応答倍率の定性的傾向	67
2. 建物応答倍率の定量的傾向	76
3. 建物応答倍率の定量的傾向のまとめ	99
第Ⅴ章 まとめと今後の課題	111
付録1 観測地震動を用いた建物応答倍率の算出	
付録2 解析パラメータにより分類した建物応答倍率一覧	
参考文献	
謝辞	



# 第 I 章 研究の概要

## 1. 背景・目的

### 1-1. 背景

#### (1) 地震の発生から建物応答に至るプロセス

地震時の建物の変形（建物応答）は、大きく分けると、震源断層の破壊により発生した波動の伝播（過程①）、表層地盤での地震動の増幅（過程②）、基礎を介した地震動の建物への入力と地下への振動エネルギーの逸散（過程③）、建物内での地震動の増幅（過程④）、の4つのプロセスを経て生じると考えられる。

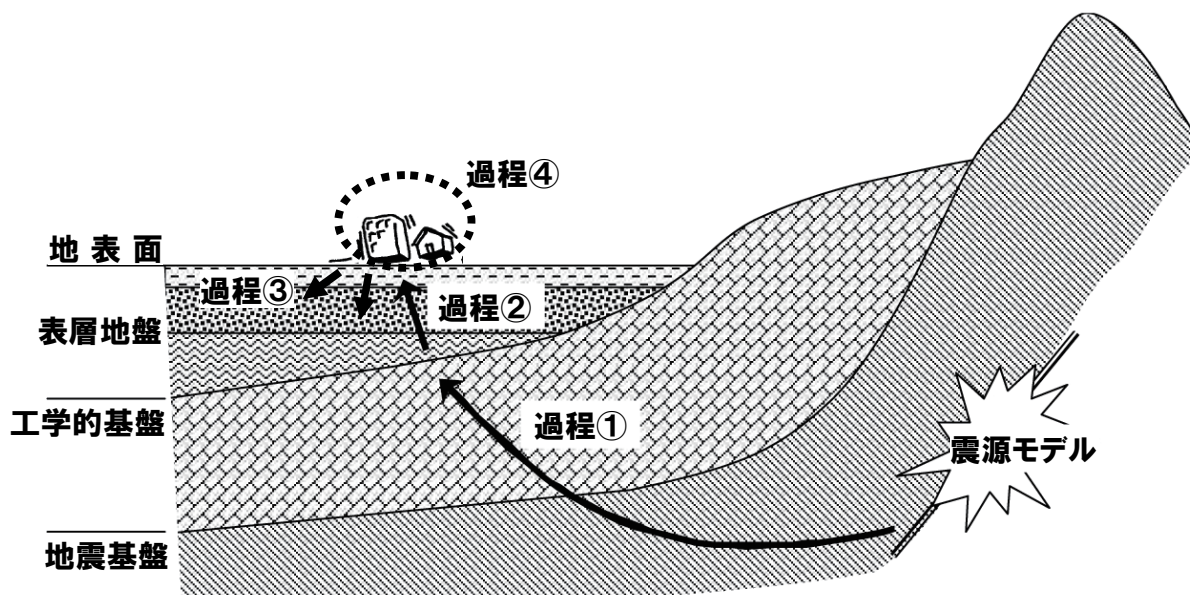


図 I-1-1 地震の発生から建物応答に至るプロセス(岩手県(2004))に加筆

建物は地盤に支持されており、地震時には、揺れは基礎を介して建物に入力されるとともに、逆に建物の揺れはそれを支持する周辺地盤への入力としても働き、地盤を通じてそのエネルギーは逸散する。それが過程③であり、地盤と建物の相互作用効果（以下、「相互作用効果」と略す場合もある）と呼ばれるものである。

一方、建物応答を数値計算で求める際には、図 I-1-2のように、建物基礎部を固定したモデル（基礎固定モデル）が用いられることが多い。基礎固定モデルでは通常、過程①・②を経て評価した地震動を建物に入力させ、地盤や基礎を考慮せずに計算を行うため、過

程③が評価されない。

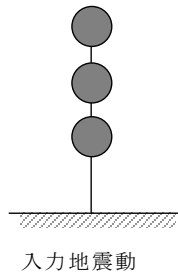


図 I-1-2 基礎固定モデル

上記の影響は、特に非木造建物で大きく、基礎固定の場合に比べると多くの場合建物応答は小さくなるのが専門家により指摘されている。

一例として、図 I-1-3に、1995年兵庫県南部地震において地表面上と建物の基礎上で同時観測された地震観測記録の最大加速度値の関係（安井・他（1998））を示す。基礎位置で観測された地震動は地表面上のものよりも、最大加速度で30%、最大速度で10%程度小さくなるが示されている。ただし、サンプルとなった建物は、比較的相互作用効果を期待しやすい規模の大きな建物である。

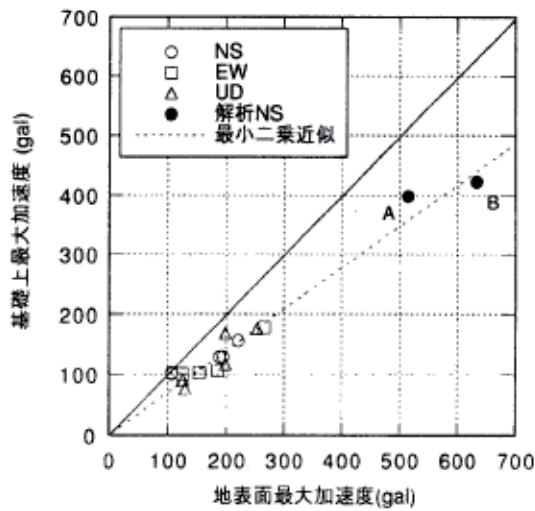


図2 地表面と基礎の最大加速度

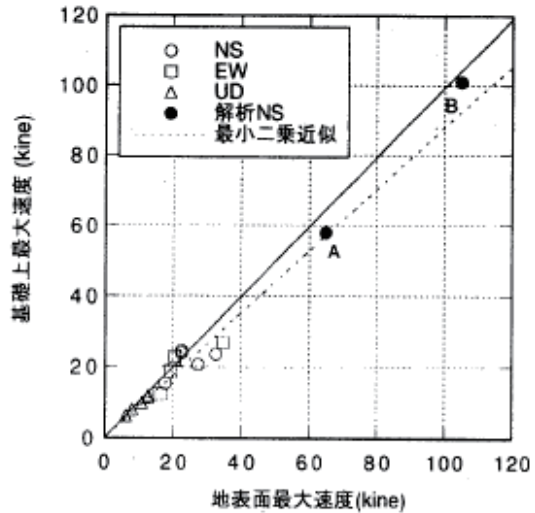


図3 地表面と基礎の最大速度

図 I-1-3 1995年兵庫県南部地震で観測された基礎と地表面の地震動との関係（安井・他（1998））



## (2) 相互作用効果が建物応答におよぼす影響に関する既往の研究

相互作用効果に関する研究は1950～60年代にはじまり徐々に発展し、1970年代以降には積極的に行われるようになった。それらの研究成果の蓄積によって相互作用効果に関する理解が進み、現時点では、地盤や建物のパラメータを適切に設定することができれば、地震応答解析により実際の建物応答の再現計算を行うことがある程度可能になってきている。以下に、相互作用効果が建物応答に及ぼす影響に関して分析している近年の研究を例示する。

高橋・林（2004）は、相互作用効果による建物の地震応答低減について、近年の地震観測記録を用いて検討を行っている。RC造建物を対象として、建物階数、建物耐力を解析パラメータとして地震応答解析を行い、相互作用効果による地震応答低減効果について分析している。基礎固定モデルとSRモデル（相互作用効果を考慮できるモデル）の最大応答変形角を比較し、相互作用効果による地震応答低減は、建物耐力が高い場合に大きくなることや、建物への入力地震動のスペクトル特性によって大きく変化することなどを示している。

伊藤・他（2010）は、基礎固定モデルに対するSRモデルの入力地震動の割合を地震動入力倍率と定義し、地盤と建物の相互作用効果が建物応答に及ぼす影響を検討している。平面規模が40m×40mの大規模建物を対象とし、建物周期、建物耐力、埋込深さ、地盤のS波速度を解析パラメータとして分析している。その結果、建物の弾性1次固有周期が短い領域では、地盤逸散減衰効果による応答の低減が大きいのに対し、建物の弾性1次固有周期が比較的長い領域では、地盤と建物の相互作用効果を考慮することで、基礎固定モデルの応答よりも建物応答が大きくなる場合が多数見られることを示している。

その他、建物の地震被害を解釈するために地盤と建物の相互作用効果を考慮し、地震時の建物被害を検討している事例は、壇（1995）や新井（2004）の論文で見られている。

相互作用効果が建物応答に及ぼす影響に着目した研究の多くは、上記のような個別事例の研究である。相互作用効果が建物応答に与える影響は、地盤構造・建物条件などに依存して変化することがわかってきてはいるものの、それらの一般的・定量的な傾向は現時点では明らかになっていない。

## 1-2. 目的

地盤と建物の相互作用効果は地震時の建物応答に影響し、その影響は建物の応答評価において本来考慮すべきものである。しかしながら、現状では、地震応答解析には基礎固定モデルが用いられることが多く、相互作用効果の影響が考慮されていない。相互作用効果を考慮した地震応答解析は近年の研究の進展により可能になってきてはいるものの、その計算には、建物の基礎形状や地盤構造などの詳細なパラメータ設定が必要となる。それらの情報の不足から、今後も相互作用効果を考慮した地震応答解析の実施は難しく、基礎固定モデルによる地震応答解析に頼らざるを得ない局面は多いと考えられる。

従って、基礎固定モデルでは評価することができない相互作用効果の影響について、その特徴を定量的に把握しておくことは重要である。

既往の研究では、相互作用が建物応答に与える影響を検討するための個別事例での研究がいくつか行われており、建物の階数や耐力、地震動の周期特性などによりその影響が異なるということがわかってきてはいるものの、それらの各パラメータが相互作用効果におよぼす影響について一般的・定量的に把握されているわけではない。特に地震動の周期特性については、高橋・林（2004）などで相互作用効果への影響が大きいことが指摘されており、さまざまな周期特性を持った地震波による検討を行い、その影響を把握しておくことが重要である。

建物の高さ、耐力、そして地震動の周期特性などのさまざまな条件の違いが相互作用効果に与える影響を、定量的に把握することが本研究の目的である。

## 2. 検討の概要

### 2-1. 地盤と建物の相互作用効果について

まず、地盤と建物の相互作用効果とその性質について整理する。

地盤と建物の相互作用効果は、入力相互作用と慣性の相互作用の大きく2つに分けられる。入力の相互作用は、入力損失効果と呼ばれることもある。

入力の相互作用は、地震動が建物基礎に入力される際の建物基礎からの波の跳ね返りと位相差の影響、基礎の埋込みによる表層地盤増幅の低減により、建物へ入力される地震動（基礎入力動と呼ばれる）が地表面の地震動よりも一般に小さくなる作用を言う。建築面積が大きいほど、入力損失効果は大きくなると言われている。これは、建築面積が大きいほど波が平均化されやすくなるためであり、船が水面に浮かんでいるときに、同じ波の上でも大船よりも小船が大きく揺れるのと同じである。また、地盤増幅については、埋込があればその分地表面よりも地震動が低減されるので、埋込深さが深いほど入力損失効果は大きくなる傾向がある。なお、図 I-1-3に示した安井・他（1998）の成果は、入力の相互作用が実証された結果の一つであるといえる。

慣性の相互作用は、建物が振動する際に、建物が局所的に新たな震源として地盤中に振動エネルギーを逸散させる効果（地下逸散減衰）と、建物を支える地盤の復元力機構としてのばね的效果により地震時の建物応答が変化する作用を言い、地盤のかたさと建物のかたさの相対関係、杭の有無などにより異なって現れる。例えば、硬質地盤に立地する超高層建物では、建物が地盤に対して相対的に軟らかく、基礎と地盤の動きはあまり変わらないため、建物は図 I-2-1左に示すような変形の仕方をする。この場合には、建物の層間変形が基礎固定の場合とあまり変わらないため、慣性の相互作用効果は小さくなる。逆に、建物が平面的に大規模で剛性が高く地盤が軟弱な場合には、図 I-2-1右に示すような揺れ方をする。このときは、建物に比べて地盤の方が相対的に軟らかいので、建物の動きにつられて直下の地盤が大きく変形する。この変形によって、建物は剛体的に横に移動したり、回転したりするため、建物の層間変形については基礎固定の場合よりも小さくなり、地盤と建物の相互作用効果は大きくなる。なお、この横の動きをスウェイ動、回転の動きをロッキング動と呼ぶ。杭基礎の場合は直接基礎に比べてロッキング動が抑制されやすくなるため、直接基礎形式よりも相互作用効果が働きにくくなるといわれている（図 I-2-2）。

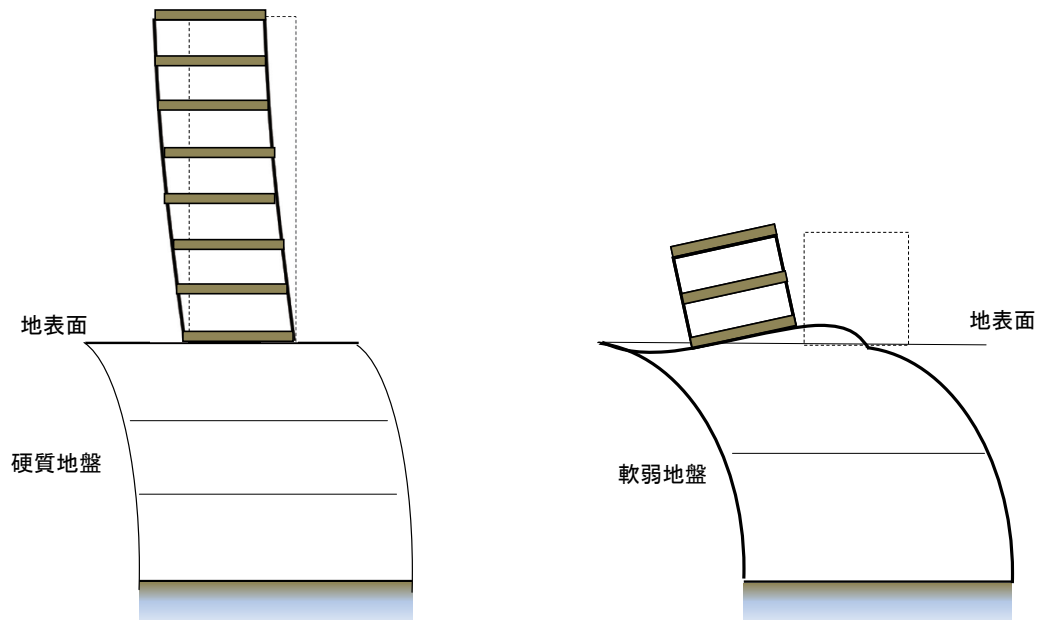


図 I -2-1 慣性の相互作用の例（1）

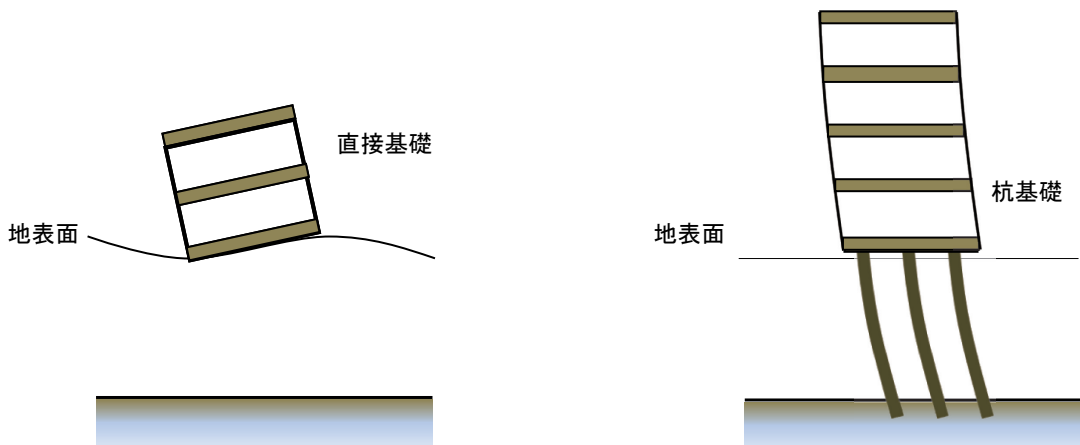


図 I -2-2 慣性の相互作用の例（2）

このように、相互作用効果は、地盤と建物の相対的なかたさの違い、埋め込みの有無、建物階数等により複雑に変化する。

## 2-2. 研究の方針

本研究における相互作用効果の定量的把握の方針および前提条件について示す。

- 日本全国の住宅建物として想定される範囲をおおむねカバーするよう設定した地盤・建物モデルと多様な地震波を用いて、相互作用を考慮しないモデル（基礎固定モデル）と相互作用を考慮したモデル（SRモデル）の2パターンの地震応答解析をそれぞれ実施する。なお、入力はせん断波の鉛直入射のみを考慮する。
- 地震の応答解析モデルは、基礎固定モデルとSRモデル（スウェイ・ロッキングモデル）を用いる。SRモデルは、図 I-2-3の右の図のように基礎固定モデルに水平方向からの力を表すスウェイばねと回転方向からの力を表すロッキングばねを付随したモデルであり、相互作用効果を考慮した地震応答解析に一般的に用いられている。本研究で用いるこれらの地震応答解析モデルの条件について、表 I-2-1に比較して示す。
- 算出した基礎固定モデルによる最大層間変形角 $R_{fix}$ とSRモデルによる最大層間変形角 $R_{SR}$ の比  $R_{SR}/R_{fix}$  を建物応答倍率と定義し、地盤と建物の相互作用効果が建物応答に与える影響を定量的に把握するための指標として整理する（図 I-2-3）。

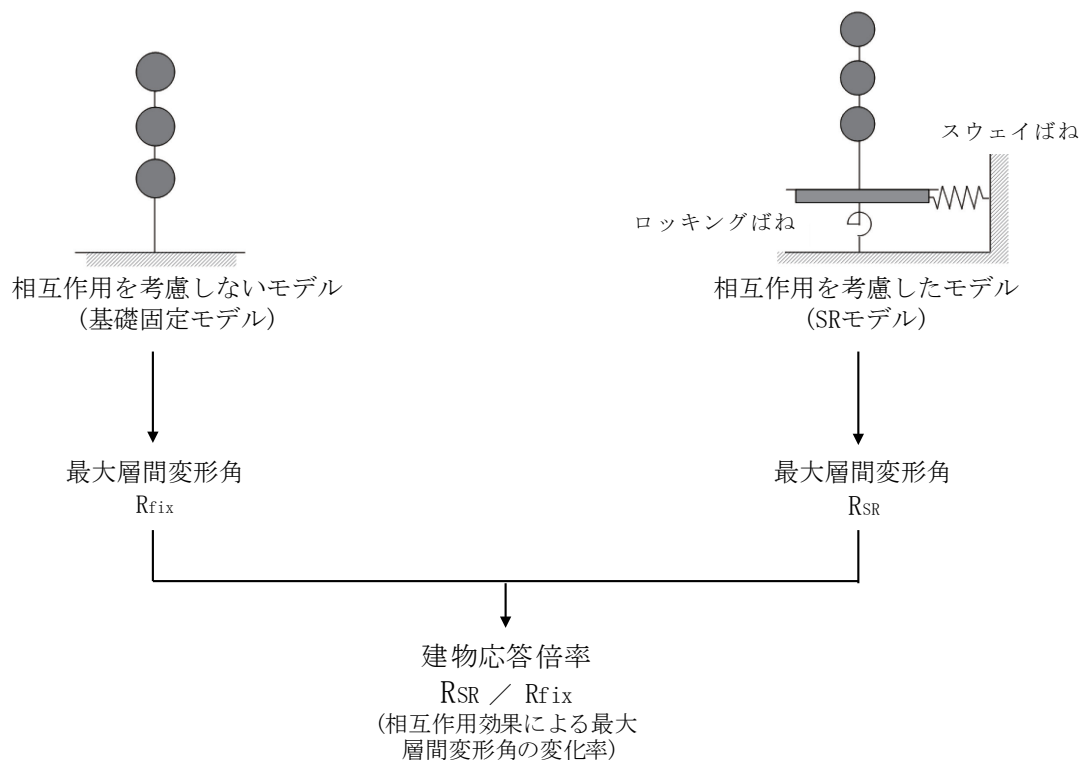
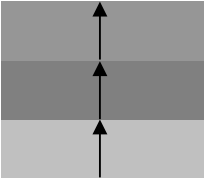
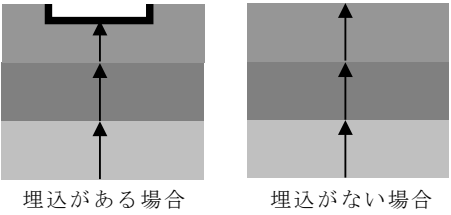
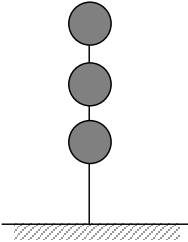
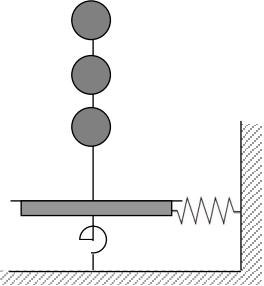


図 I-2-3 本研究における建物応答倍率の定義

表 I-2-1 本研究で用いる地震応答解析モデル

	相互作用効果を考慮しないモデル (基礎固定モデル)	相互作用効果を考慮したモデル (SRモデル)
基礎入力動の算定※	<p>○表層地盤の地盤増幅を考慮。 ×入力の相互作用は考慮されない。</p> <p>・工学的基礎の地震動を表層地盤の応答解析により求めた地表地震動を建物への入力とする。</p> 	<p>○表層地盤の地盤増幅を考慮。 ○入力の相互作用を埋込による地盤増幅の低減、基礎からの反射波の影響として考慮。</p> <p>・埋込がない場合は左記と同様。埋込がある場合は基礎底面までの地盤増幅を考慮した地震波と反射波を合成。</p> 
建物の地震応答解析	<p>○基礎固定モデルにより多質点系の時刻歴応答解析を実施。</p>  <p>・建物モデルは構造、階数、耐力の違いを考慮して設定。</p> <p>×慣性の相互作用は考慮されない。</p> <p>×基礎の浮き上がり・すべりは考慮されない。</p>	<p>○SRモデルにより多質点系の時刻歴応答解析を実施。</p>  <p>・建物モデルは構造、階数、耐力、基礎形状、埋込深さ、基礎形式(杭の有無)の違いを考慮して設定。</p> <p>○慣性の相互作用を地盤ばね(スウェイばね・ロッキングばね)により考慮。</p> <p>×基礎の浮き上がり・すべりは考慮されない。</p>

※ 建物の地震応答解析モデルへの入力地震動を基礎入力動と呼ぶ。

## 2-3. 研究の手順

本研究の手順をフローチャートとして図 I-2-4に示し、報告書の構成を以下に示す。図 I-2-4では、各ステップでの入出力関係もあわせて示している。

### ① 解析パラメータの設定<第II章>

本研究で用いる建物モデルと表層地盤モデルを現実的な範囲で設定するために、既存の建物データや実地盤データを調査する。建物データについては、主に住宅・土地統計調査をもとに、構造・建物階数・建築面積などの棟数分布を調査し、住宅・土地統計調査から把握できない基礎形式・埋込深さ等に関しては設計関連資料の調査を行う。地盤データについては、防災科学技術研究所の地盤データや都市部における平野でのボーリングデータを中心に収集して調査を行う。それらの結果に基づき、本研究の地震応答解析の対象とする建物モデル、地盤モデルの解析パラメータを設定する。

### ② 地震応答解析による建物応答倍率の算出<第III章>

①で設定した建物モデル・地盤モデルに基づき次の手順で地震応答解析を実施する。

まず、工学的基盤における模擬地震動を入力レベルに応じて与える。地盤モデルおよび建物モデルのパラメータのうち基礎形状、埋込深さの情報を用いて表層地盤の地震応答解析を実施し、建物の地震応答解析モデルへの入力となる基礎入力動を算定する。このとき、非線形時の地盤パラメータも一緒に出力される。次に、SRモデルの設定に必要な地盤ばね（スウェイばね・ロッキングばね）の剛性および減衰定数を、建物モデルの基礎形状、埋込深さ、基礎形式、および表層地盤の地震応答解析により出力された非線形時の地盤パラメータに基づき算定する。

以上の結果を利用して建物の地震応答解析を実施し、基礎固定モデルとSRモデルの最大層間変形角をそれぞれ求め、建物応答倍率を算出する。

### ③ 建物応答倍率の分析<第IV章>

②で算出した建物応答倍率について、各解析パラメータが及ぼす影響を定量的に分析する。

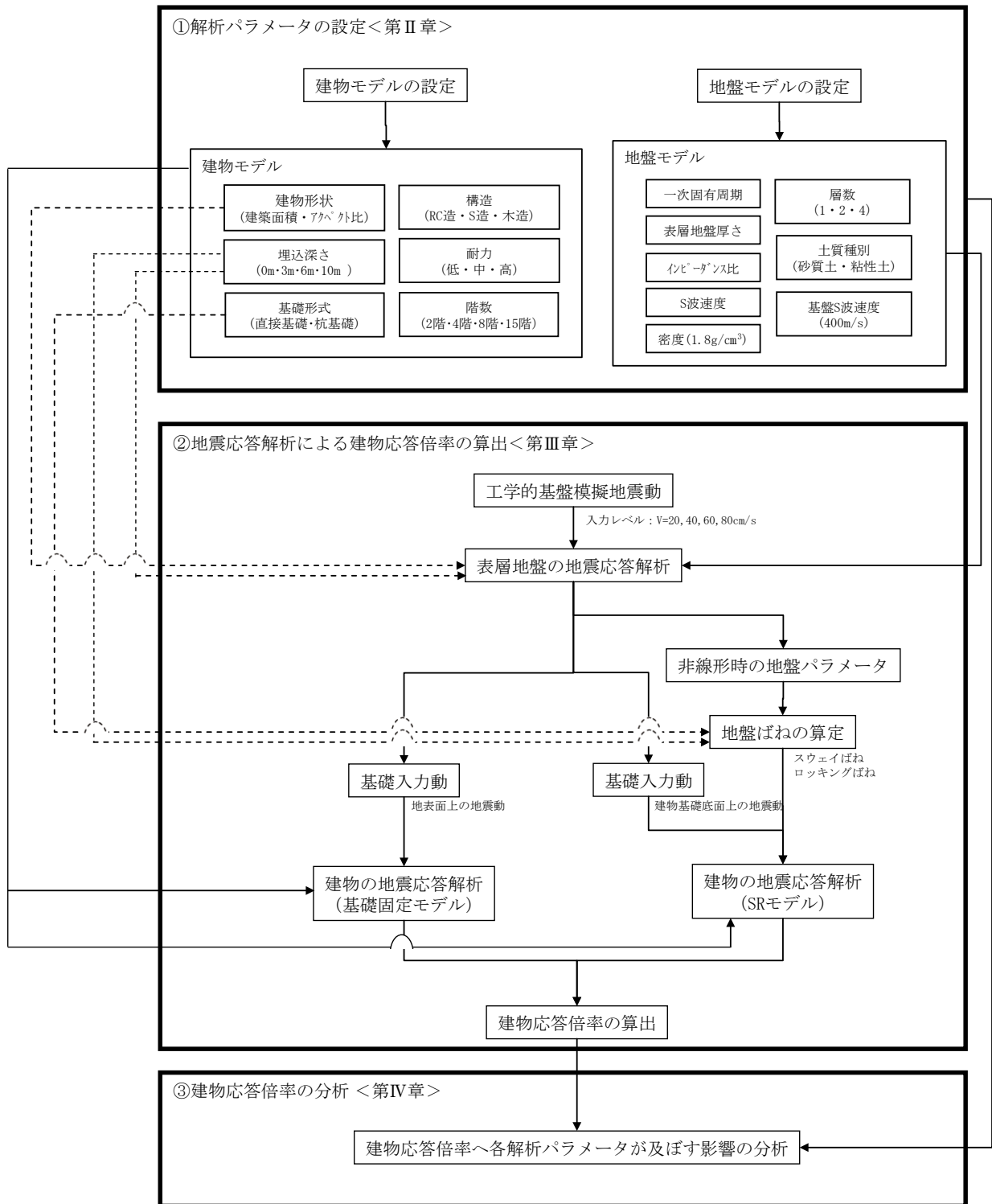


図 I -2-4 本検討の全体フロー



## 第Ⅱ章 解析パラメータの設定

本研究の評価対象が日本全国の住宅建物であることを念頭に、地震応答解析で用いる建物モデルと表層地盤モデルの解析パラメータおよびその範囲を実地盤データ・実建物データに基づき設定する。

### 1. 地盤モデルの設定

#### 1-1. 検討に用いた実地盤データ

防災科学技術研究所のK-NET観測点およびKiK-net観測点の地盤データ、自治体の地盤データについて調査し、本研究で用いる地盤モデルを検討する。自治体の地盤データは、東京都、名古屋市、大阪市を対象とする。K-NETおよびKiK-netの観測点は、比較的地盤条件の良い地点が多く、いわゆる軟弱地盤の地盤データは少ない。一方、自治体の地盤データは、大規模な平野内の軟弱な地盤条件のデータも多く含むと考えられる。

##### (1) K-NETおよびKiK-net観測点の地盤データ

防災科学技術研究所のK-NET観測点及びKiK-net観測点では、日本全国にわたり強震計が設置されており、当該地点の地盤データが公開されている。全国のK-NET観測点の分布を図Ⅱ-1-1に示し、公開されている観測点の地盤データの一例を図Ⅱ-1-2に示す。同様に、全国のKiK-net観測点の分布を図Ⅱ-1-3に示し、公開されている観測点の地盤情報の一例を図Ⅱ-1-4に示す。

K-NET観測点は、約1,000点の観測点が設置されているが、地盤情報は深さ地表面下20mまでとなっている。一方、KiK-net観測点は約700点の観測点が設置され、地盤情報は深さ地表面下100m程度となっている。

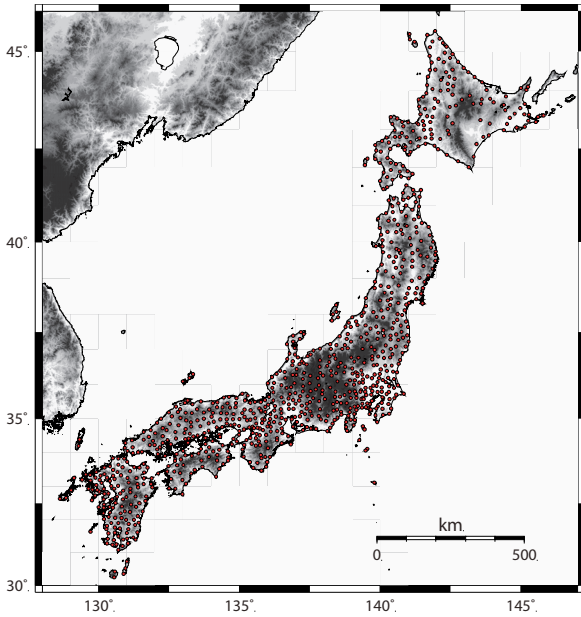


図 II-1-1 検討に用いた K-NET 観測点

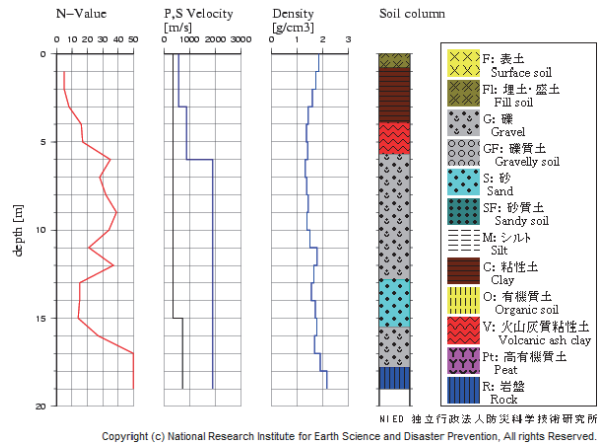


図 II-1-2 地盤情報の一例 (TKY001: 氷川)

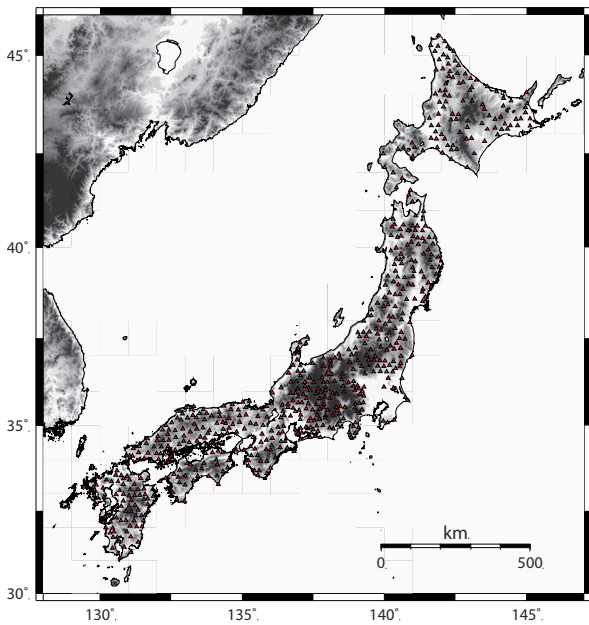


図 II-1-3 検討に用いたKiK-net観測点

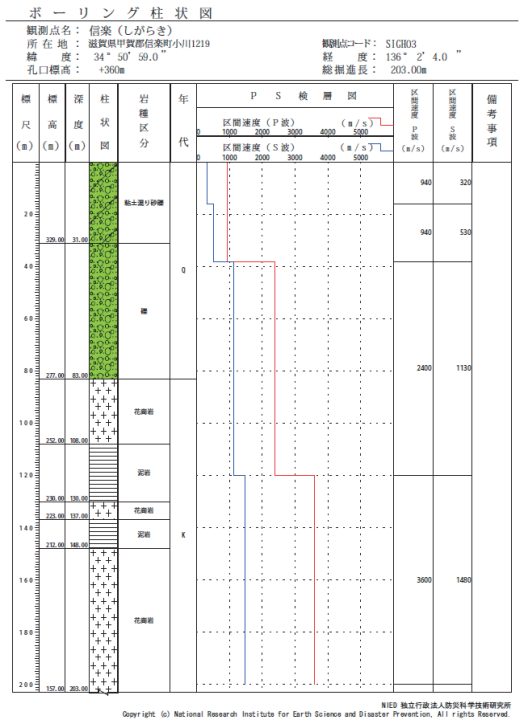
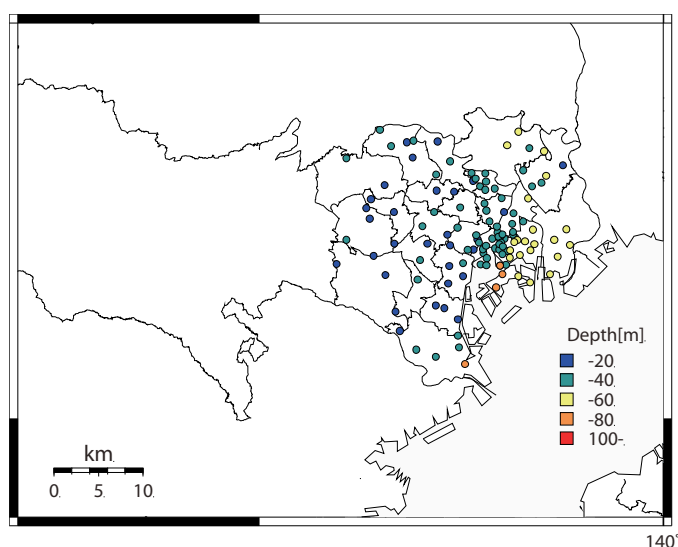


図 II-1-4 地盤情報の一例 (SIGH03: 信楽)

## (2) 東京都の地盤データ

東京都土木技術センターから、WEB上で公開されているボーリングデータ「東京の地盤(Web版)」をもとに、東京都23区内の地盤情報を収集した。分析に用いた東京都の地盤データ位置と工学的基盤面 ( $V_s=400\text{m/s}$ 以上の層) までの深さを図II-1-5に示す。調査地点は東京都23区内の120地点である。なお、東京都全域についても地盤情報の調査を行ったが、東京都23区外では表層地盤の厚さが10m以下と非常に浅くなるため、ここではK-NET、KiK-netでは取得できない軟らかい地盤データの収集を目的としていることから、東京都23区内の地盤データを対象とした。



図II-1-5 分析に用いた東京都の地盤データ位置と工学的基盤面までの深さ

## (3) 名古屋市の地盤データ

名古屋市より提供された「地盤環境情報システム」ボーリングデータをもとに、名古屋市周辺の地盤情報を収集した。名古屋市では、約1万本の地盤データが収集されているが、その中から、データの信頼性が確保されている地盤データを約400地点程度抽出して用いた。用いた名古屋市周辺の地盤データ位置と工学的基盤面 ( $V_s=400\text{m/s}$ 以上の層) までの深さを図II-1-6に示す。

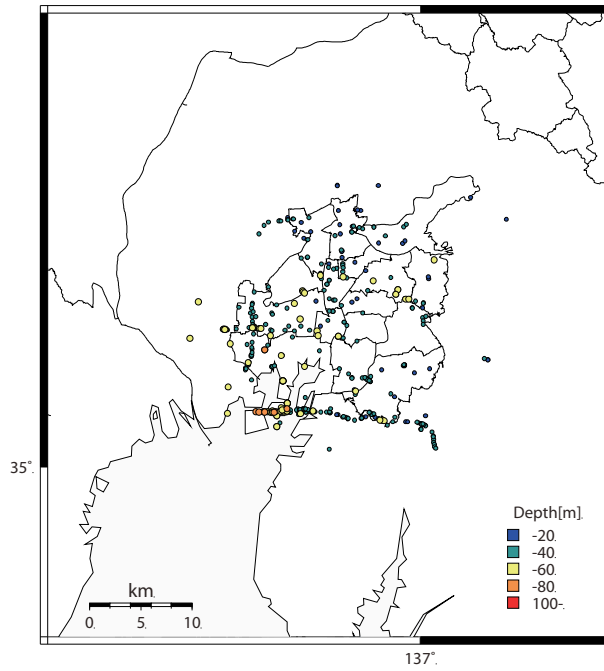


図 II-1-6 分析に用いた名古屋市周辺の地盤データ位置と工学的基盤面までの深さ

#### (4) 大阪市周辺の地盤データ

関西圏地盤DB運営機構（2009）の地盤データの中から、大阪市周辺の地盤データを抽出して用いた。分析に用いた大阪市周辺の地盤データ位置と工学的基盤面（ $V_s=400\text{m/s}$ 以上の層）までの深さを図 II-1-7に示す。

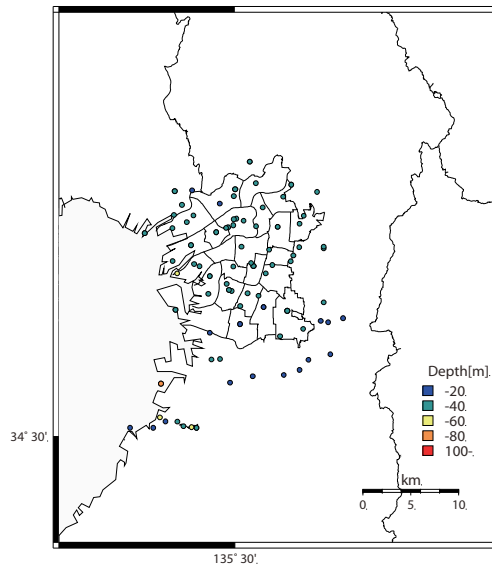


図 II-1-7 分析に用いた大阪市周辺の地盤データ位置と工学的基盤面までの深さ

## 1-2. 地盤特性の分析方法

本研究で用いる地盤モデルを作成するために、1-1で示した地盤情報を基に、地盤構造について分析する。パラメータについては、表層地盤での地震動増幅特性と関係が強い表層地盤厚さ $H_s$ 、表層地盤の1次固有周期 $T_{s0}$ 、インピーダンス比 $\alpha_s$ 、表層地盤の等価S波速度 $V_{se}$ 、密度 $\rho_e$ に着目する(図II-1-8)。なお、自治体の地盤データでは、地盤のS波速度などが把握できるPS検層が行われている事例は少なく、N値や土質種別しか把握できない。そのような場合には、地盤のS波速度は、既往の変換式(太田・他(1976))を用い、N値から換算する。

工学的基盤面の設定については、一般建築物の設計法である限界耐力計算法(国土交通省建築研究所(2001))にならってS波速度が400m/s以上の層を工学的基盤面として扱い、そこまでの厚さを表層地盤厚さ $H_s$ とする。表層地盤厚さ $H_s$ 、表層地盤の1次固有周期 $T_{s0}$ 、インピーダンス比 $\alpha_s$ 、表層地盤の等価S波速度 $V_{se}$ 、密度 $\rho_e$ の関係はそれぞれ次式で表される。

$$H_s = \sum_{i=1}^n H_i \quad (\text{式 II. 1-1})$$

$$T_{s0} = \frac{4H_s}{V_{s_e}} \quad (\text{式 II. 1-2})$$

$$\alpha_s = \frac{\rho_e \cdot V_{s_e}}{\rho_B \cdot V_{s_B}} \quad (\text{式 II. 1-3})$$

$$V_{s_e} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \cdot H_i}{H_s} \quad (\text{式 II. 1-4})$$

$$\rho_e = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i \cdot H_i}{H_s} \quad (\text{式 II. 1-5})$$

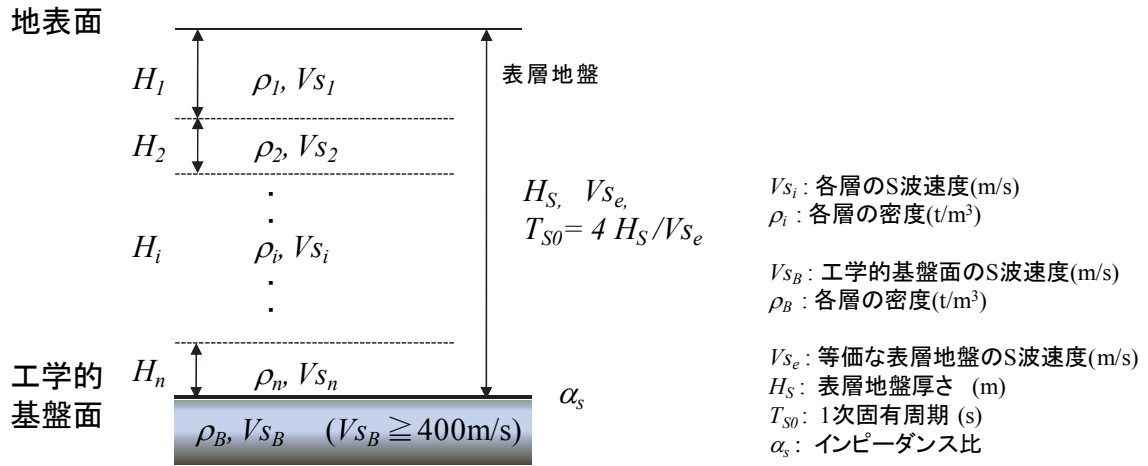


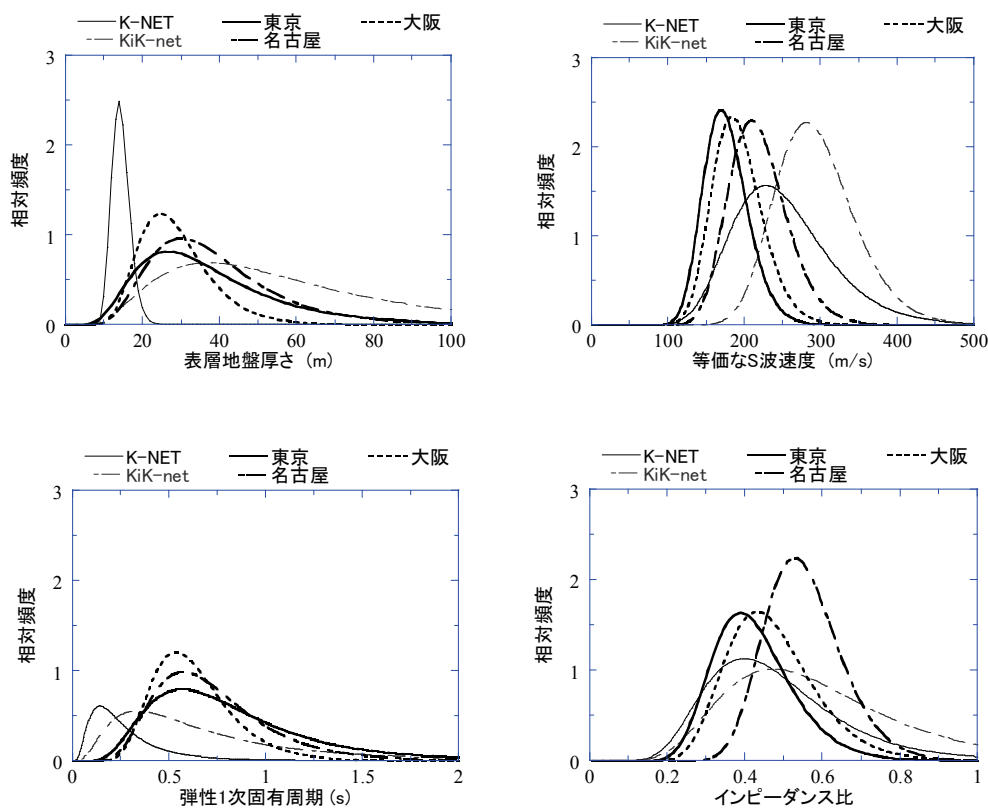
図 II-1-8 着目した地盤パラメータの概要

### 1-3. 地盤特性の調査結果

K-NET、KiK-net観測点および東京都、名古屋市、大阪市の地盤特性の各パラメータの統計値を表Ⅱ-1-1、対数正規分布で近似した各パラメータの分布を図Ⅱ-1-9に示す。これらのパラメータの範囲をおおむねカバーできるように、1-4において地盤モデルを設定する。

表Ⅱ-1-1 各パラメータの平均値と変動係数

		K-NET	KiK-net	東京	名古屋	大阪
表層 地盤厚さ (m)	平均値	14.1	45.3	29.6	32.6	25.9
	変動係数	0.16	0.58	0.49	0.41	0.32
弾性1次 固有周期 (s)	平均値	0.18	0.44	0.64	0.62	0.56
	変動係数	0.66	0.73	0.50	0.40	0.33
等価な S波速度 (m/s)	平均値	235	286	172	213	187
	変動係数	0.26	0.18	0.17	0.17	0.17
インピー ダンス比	平均値	0.42	0.51	0.40	0.54	0.44
	変動係数	0.35	0.40	0.24	0.18	0.24



図Ⅱ-1-9 地盤物性の比較

#### 1-4. 設定した地盤モデル

地盤モデルの解析パラメータは1-1～1-3の調査結果を踏まえ、表II-1-2のとおり設定した。表層地盤の1次固有周期 $T_{S0}$ は0.25～1.5sの範囲を0.25刻みで変化させる。表層地盤の等価なS波速度 $V_{se}$ は150～300m/sの範囲を50m/s刻みで変化させる。表層地盤厚さ $H_s$ は、式II.1-2より $T_{S0}$ と $V_{se}$ から算定し、インピーダンス比 $\alpha_s$ は、式II.1-3より $V_{se}$ と工学的基盤面のS波速度から算定する。このとき算定される $H_s$ は9.4～112.5、 $\alpha_s$ は0.38～0.75の範囲に分布し、図II-1-9の調査結果をおおむねカバーできている。

表層地盤および工学的基盤面の密度 $\rho_e$ およびポアソン比 $\nu$ は、応答解析結果に与える影響が小さいため、一般的な値として、 $\rho_e=1.8$ (g/cm<sup>3</sup>)、 $\nu=0.45$ と各層で一様とし、工学的基盤面のS波速度 $V_{SB}$ は400m/sとする。土質種別は、設計等に良く用いられる粘性土、砂質土の2種類、層数については1、2、4層を想定する。各土質種別の動的変形性能は、古山田モデル(2003)を用いる(図II-1-11)。同図では、参考のため今津・福武モデル(1986)も併せて示している。

設定した表層地盤モデルの例を図II-1-12に示す。また、設定した地盤モデルのS波速度の詳細を表II-1-3に示す。表層地盤の1次固有周期が同じであっても、等価なS波速度が変われば表層地盤厚さは変化する(a)。また、層数を変えることで各層の地盤のS波速度は変化する(b)。設定した解析パラメータに基づく表層地盤モデル数は、1次固有周期6パターン×等価なS波速度4パターン×層数3パターン(等価なS波速度300m/sの場合は2パターン)×土質種別2パターンにより計算され、132となる。

以上、設定した表層地盤モデルを対象として表層地盤の地震応答解析を行うことで、建物の地震応答解析に用いる基礎入力動、地盤ばねを算定する際の表層地盤の地盤物性(非線形時のS波速度と減衰定数)を求めることとした。



表 II-1-2 設定した表層地盤モデル (モデル数 : 132)

パラメータ	記号	単位	検討範囲	モデル			
1次固有周期	$T_{S0}$	s	0.25~1.5	0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5			
表層地盤厚さ	$H_s$	m	9.4~112.5	$T_{S0}$ と $V_{S_e}$ より算定			
等価なS波速度	$V_{S_e}$	m/s	150~300	150	200	250	300
インピーダンス比	$\alpha_s$	-	0.38~0.75	$V_{S_e}$ と $V_{S_B}$ より算定			
層数	-	-	-	1, 2, 4	1, 2, 4	1, 2, 4	1, 4
土質種別	-	-	-	砂質土, 粘性土			
密度	$\rho$	t/cm <sup>3</sup>	1.8	1.8(固定)			
ポアソン比	$\nu$	-	0.45	0.45(固定)			
基盤のS波速度	$V_{S_B}$	m/s	400以上	400(固定)			

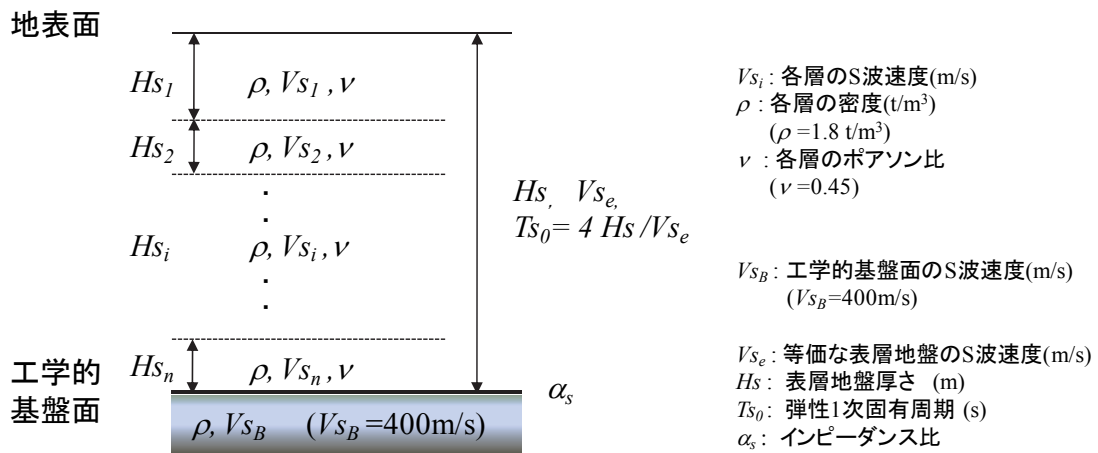
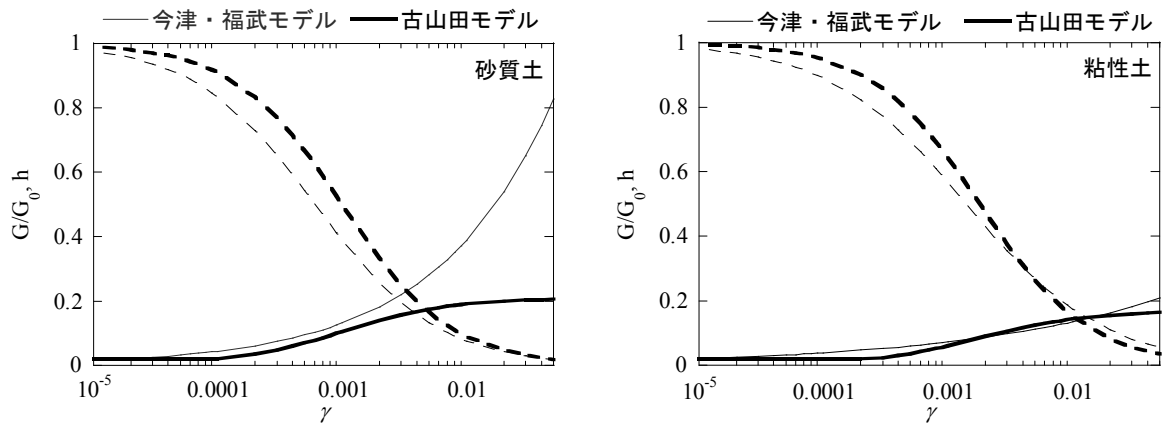


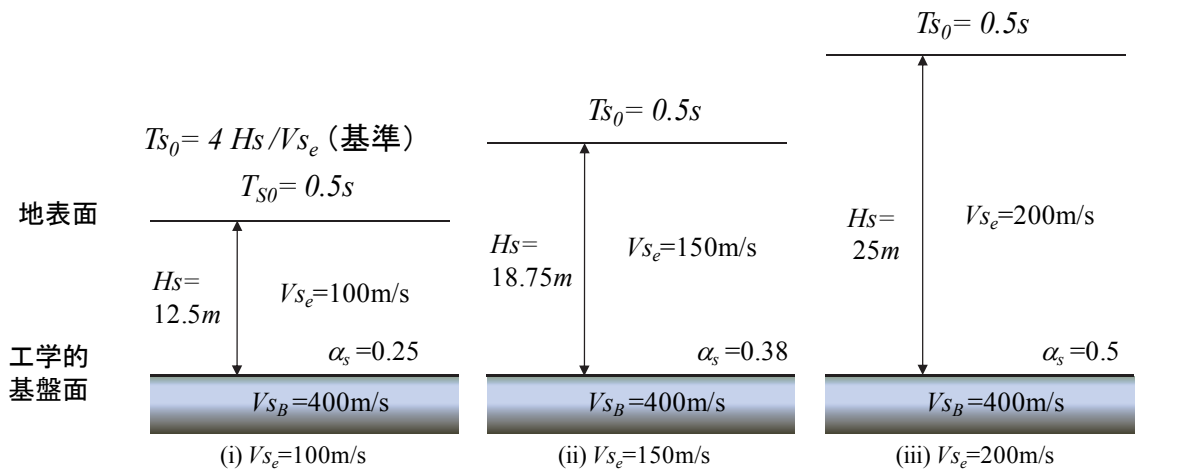
図 II-1-10 地盤モデルの解析パラメータの概要 (再掲)



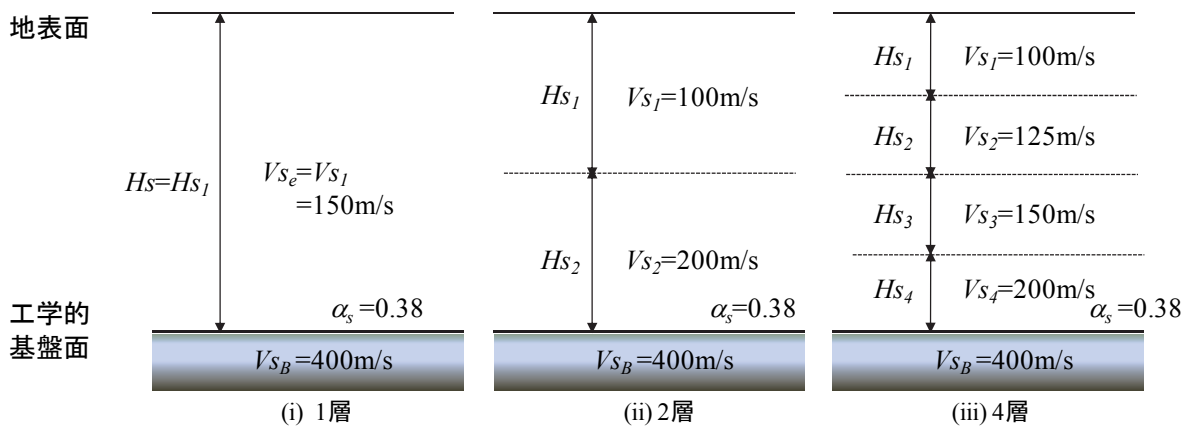
(a) 砂質土

(b) 粘性土

図 II-1-11 地盤の非線形特性(古山田・他(2003), 今津・他(1986))



(a) 周期一定で等価な S 波速度の違いによる地盤モデルの例



(b) 層数(層序)を考慮した地盤モデルの例( $V_{s_e}=150\text{m/s}$ の場合)

図 II-1-12 設定した地盤モデルの例

表Ⅱ-1-3 (1) 設定した地盤モデルの詳細 (1層地盤)

表層地盤 厚さ $H_s$ (m)	弾性1次 固有周期 $T_{s0}$ (s)	等価な S波速度 $V_{se}$ (m/s)	層数	各層でのS波速度 $V_s$ (m/s)			
				第1層目	第2層目	第3層目	第4層目
9.4	0.25	150	1	150			
18.8	0.50						
28.1	0.75						
37.5	1.00						
46.9	1.25						
56.3	1.50						
12.5	0.25	200					
25.0	0.50						
37.5	0.75						
50.0	1.00						
62.5	1.25						
75.0	1.50						
15.6	0.25	250					
31.3	0.50						
46.9	0.75						
62.5	1.00						
78.1	1.25						
93.8	1.50						
18.8	0.25	300					
37.5	0.50						
56.3	0.75						
75.0	1.00						
93.8	1.25						
112.5	1.50						

表 II-1-3 (2) 設定した地盤モデルの詳細 (2層地盤)

表層地盤 厚さ $H_s$ (m)	弾性1次 固有周期 $T_{s0}$ (s)	等価な S波速度 $V_{se}$ (m/s)	層数	各層でのS波速度 $V_s$ (m/s)			
				第1層目	第2層目	第3層目	第4層目
9.4	0.25	150	2	100	200	-	
18.8	0.50						
28.1	0.75						
37.5	1.00						
46.9	1.25						
56.3	1.50						
12.5	0.25	200		150	250	-	
25.0	0.50						
37.5	0.75						
50.0	1.00						
62.5	1.25						
75.0	1.50						
15.6	0.25	250		200	300	-	
31.3	0.50						
46.9	0.75						
62.5	1.00						
78.1	1.25						
93.8	1.50						

表 II-1-3 (3) 設定した地盤モデルの詳細 (4層地盤)

表層地盤 厚さ $H_s$ (m)	弾性1次 固有周期 $T_{s0}$ (s)	等価な S波速度 $V_{se}$ (m/s)	層数	各層でのS波速度 $V_s$ (m/s)			
				第1層目	第2層目	第3層目	第4層目
9.4	0.25	150	4	100	125	175	200
18.8	0.50						
28.1	0.75						
37.5	1.00						
46.9	1.25						
56.3	1.50						
12.5	0.25	200		125	175	225	275
25.0	0.50						
37.5	0.75						
50.0	1.00						
62.5	1.25						
75.0	1.50						
15.6	0.25	250		150	225	275	350
31.3	0.50						
46.9	0.75						
62.5	1.00						
78.1	1.25						
93.8	1.50						
18.8	0.25	300		225	275	325	375
37.5	0.50						
56.3	0.75						
75.0	1.00						
93.8	1.25						
112.5	1.50						

## 2. 建物モデルの設定

### 2-1. 検討に用いた建物データ

本研究は住宅建物を対象としていることを前提として調査を行う。まず、総務省統計局（2008）の平成15年住宅・土地統計調査の結果を基に、構造種別、建物階数、建築面積の棟数分布を調査する。住宅・土地統計調査で調査されていない建物の埋込深さ、平面規模の長辺長さや短辺長さなどについては、日本建築学会・荷重運営委員会 減衰資料作成小委員会（2000）の実測減衰データベースや、建物の構造特性について記載されている既往の文献（日本建築学会（1996, 2002, 2004）、国土交通省住宅局建築指導課（2002））を基に調査を行う。

### 2-2. 建物特性の調査結果

#### （1）構造種別、建物階数、建築面積

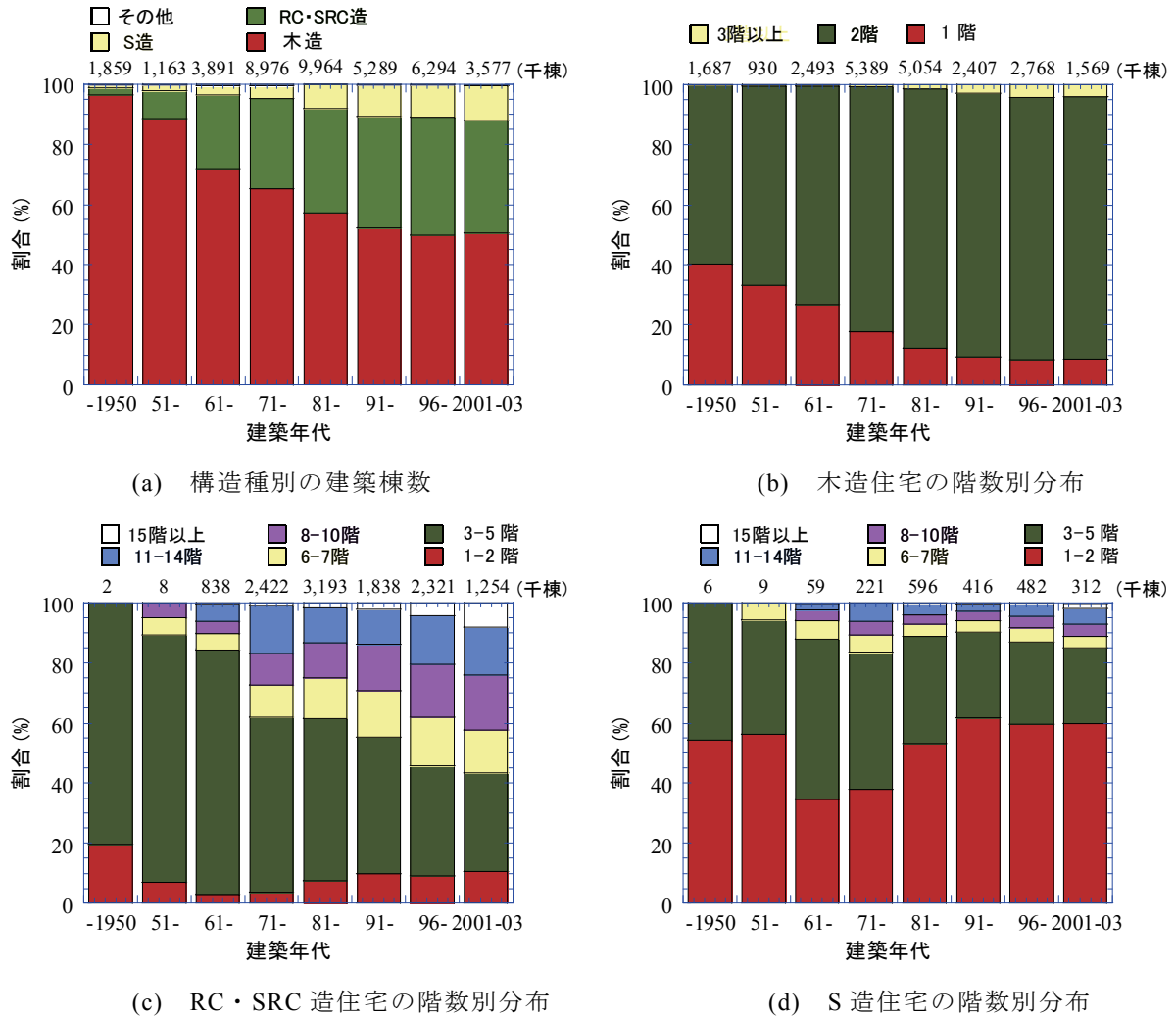
平成15年住宅・土地統計調査（総務省統計局（2008））による住宅用建物の建築年代別構造別階数別棟数割合を図Ⅱ-2-1に示す。

住宅の構造種別については、建築年代に関わらず木造、RC・SRC造、S造建物の順に多く存在しており、近年建築された建物では、木造建物は5～6割程度、RC・SRC造建物は2～3割程度、S造建物は1割程度となっている。その他の構造種別の建物はほとんど見られない。建築年代が古いほど木造建物の割合が多く、近年RC・SRC造建物の割合が増えている。S造建物の住宅は比較的少ない。

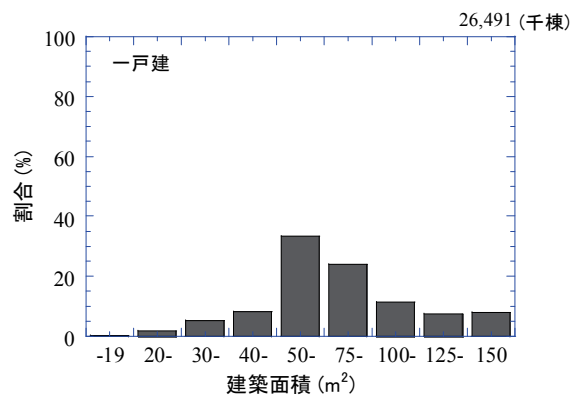
次に、建物階数については、木造建物では、ほとんどが2階建以下となっているが、近年3階建以上の木造住宅が増えつつある（図Ⅱ-2-1（b））。RC・SRC造建物では、建物階数が10階以下の建物が8割を占めている。15階建以上の建物は近年増加しているが、1割程度である（図Ⅱ-2-1（c））。S造建物では、建物階数が5階以下の低層建物が8割で、6階以上の建物は比較的少ない（図Ⅱ-2-1（d））。

一戸建て住宅の建築面積の分布を図Ⅱ-2-2に示し、共同住宅の建築面積の分布を図Ⅱ-2-3に示す。建築面積については、一戸建て住宅では、建築面積は50～100m<sup>2</sup>にかけて多く分布している。共同住宅では、建物階数が増えるに従い建築面積も大きくなるが、6階建以上の建物は数が少なくなる。建物階数が2階以下の場合には建築面積は200m<sup>2</sup>までに多く（図Ⅱ-2-3（a））、建物階数が3-5階の場合には建築面積は300m<sup>2</sup>までに多く（図Ⅱ-2-3（a～

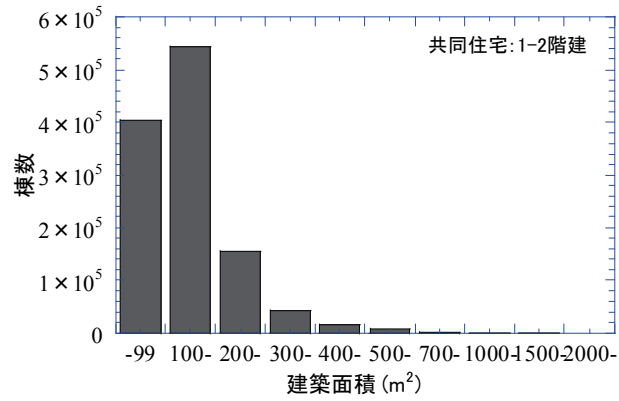
b)、建物階数が6～11階の場合には、100～1000 m<sup>2</sup>までに広く分布している（図Ⅱ-2-3(c)～d)。建物棟数は少ないが、15階以上の高層建物では、建築面積が500 m<sup>2</sup>～1000m<sup>2</sup>までに多く分布している（図Ⅱ-2-3(e)）。



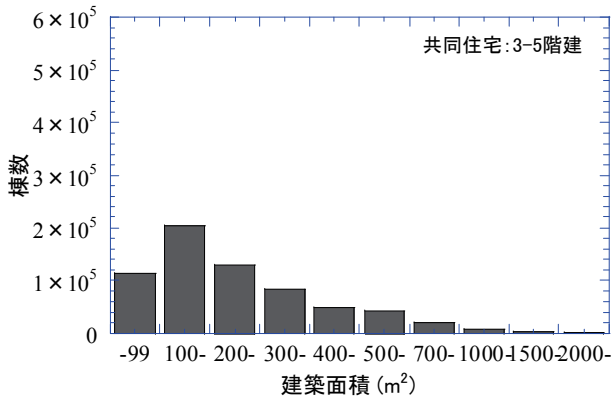
図Ⅱ-2-1 建築年代別構造別階数別棟数割合（総務省統計局（2008））



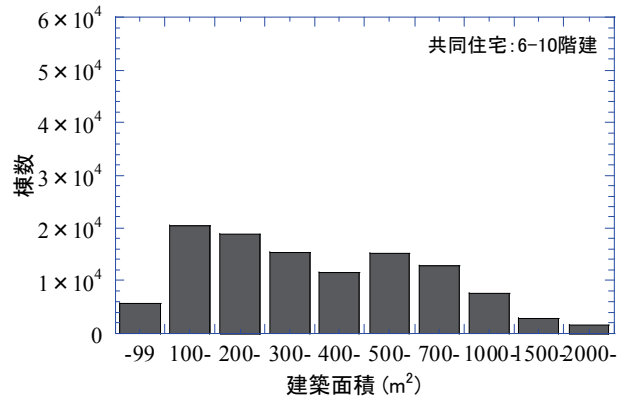
図Ⅱ-2-2 一戸建て住宅の建築面積の分布（総務省統計局（2008））



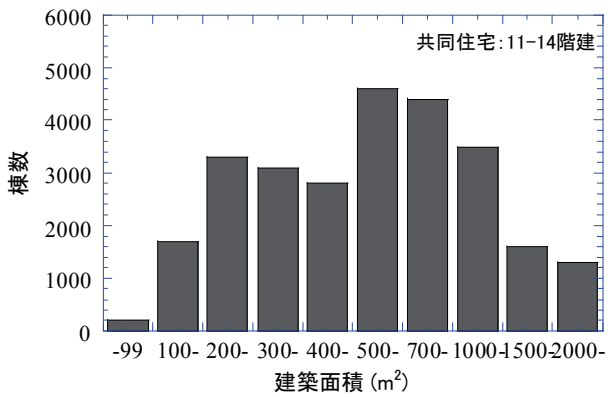
(a) 1-2 階建



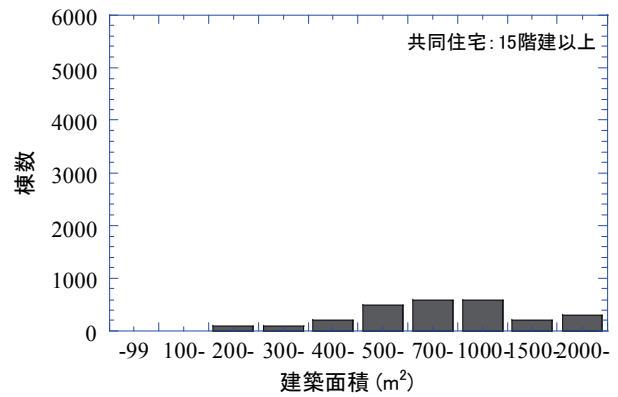
(b) 3-5 階建



(c) 6-10 階建



(d) 11-14 階建



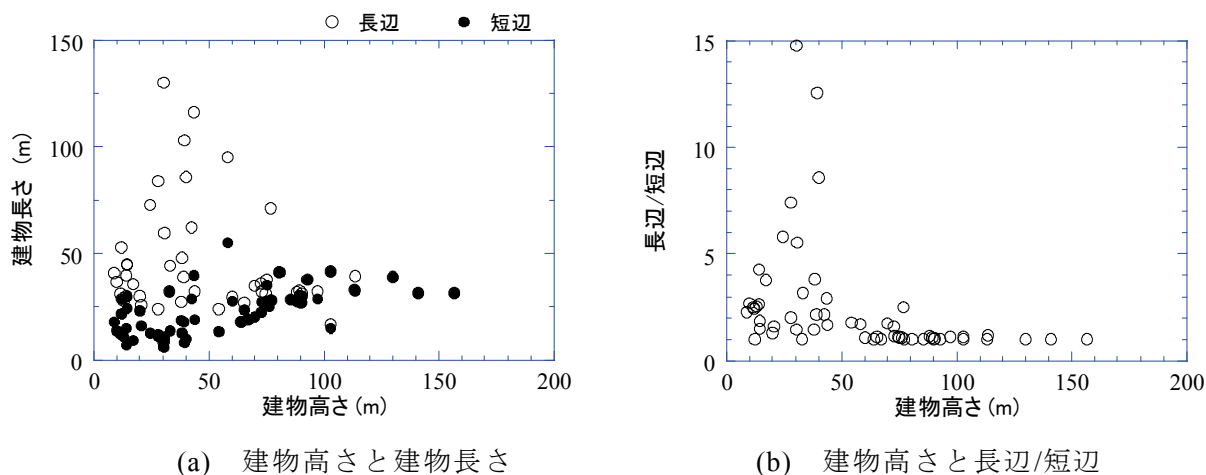
(e) 15 階建以上

図 II-2-3 建物階数別の共同住宅の建築面積の分布 (総務省統計局 (2008))



## (2) 建物高さ、建物長さ

建物高さと建物長さとの関係を図Ⅱ-2-4に示す。建物高さが50m以上の建物については、建物の短辺長さは30~40m程度で長辺短辺比も1:1程度となるものが多くみられる。建物高さが50m以下の建物については、建物の短辺長さは25m程度となっており、長辺短辺比が1:5を超える建物も中には見られるが、1:3程度までに多く分布している。



図Ⅱ-2-4 建物高さ、建物平面規模との関係  
(日本建築学会・荷重運営委員会 減衰資料作成小委員会 (2000),  
日本建築学会 (1996, 2002, 2004), 国土交通省住宅局建築指導課 (2002))

## (3) 埋込深さ、基礎形式

建物の基礎形式について調査した結果を図Ⅱ-2-5に示す。杭基礎が用いられている場合も多く見られる。建物階数が10階以下の中低層建物では、直接基礎の割合も2割程度存在している。なお、独立フーチングとは、主要な柱の底部に、それぞれ独立した基礎で支える基礎形式のことである。基礎形式に関する統計情報の入手は非常に困難であり、建物の基礎形式については、建物が立地する地盤条件との関係で設定される場合が多くあるため本研究においてはその考え方に基づいて基礎形式の判定基準を設けることとする。

次に、建物階数と埋込深さとの関係を図Ⅱ-2-6に示す。ここでは、先述したデータの他に、阪神・淡路大震災調査報告編集委員会 (1998) のデータも含めて示している。また、同図では、建物階数ごとに平均をとってプロットしている。建物階数5階以下では、埋込深さは1.5m未満となっているのに対し、5階建以上では2~3m程度に分布している。しかし、埋込深さに関しては調査建物数が非常に少なくなっている。

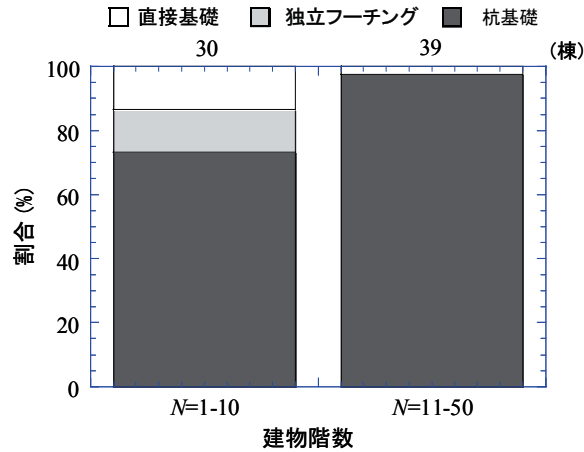


図 II-2-5 基礎形式の分布

(日本建築学会・荷重運営委員会 減衰資料作成小委員会 (2000), 日本建築学会 (1996, 2002, 2004), 国土交通省住宅局建築指導課 (2002), 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会 (1998))

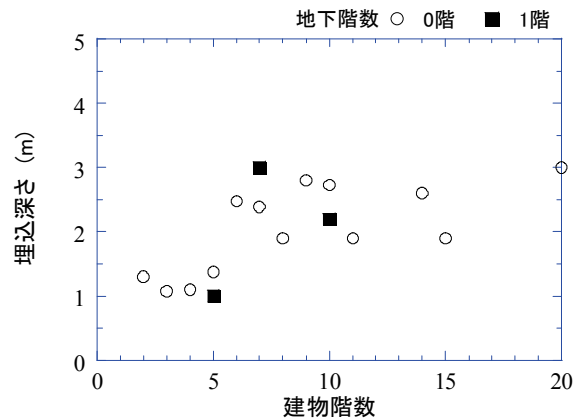


図 II-2-6 建物階数と埋込深さとの関係

(日本建築学会・荷重運営委員会 減衰資料作成小委員会 (2000), 日本建築学会 (1996, 2002, 2004), 国土交通省住宅局建築指導課 (2002), 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会 (1998))

### 2-3. 設定した建物モデル

2-1 ~ 2-2 の調査結果を考慮し、検討に用いる建物モデルの解析パラメータは、構造種別、建物階数、耐力、建築面積および平面規模のアスペクト比 (長辺と短辺との比)、埋込深さ、基礎形式とした。各パラメータの概要について図 II-2-7 ~ 図 II-2-9 に示す。

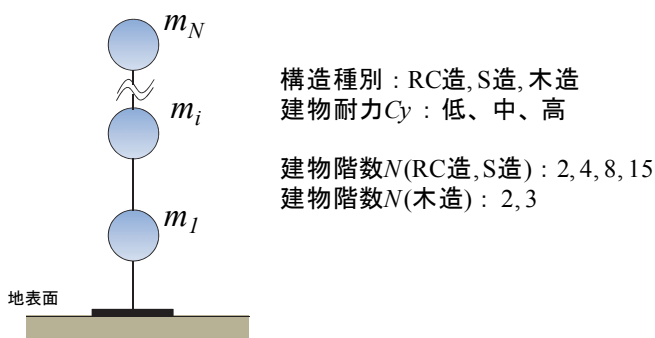
構造種別は、木造、RC造 (SRC造を含む)、S造建物の3種類とし、木造は工法 (在来木造、木質プレハブ造 (2×4は木質プレハブ造と同一のモデルとする))、S造は軽量鉄骨造、重量鉄骨造の違いを考慮し1~3階を軽量鉄骨造、4階~20階を重量鉄骨造とする。建物階数は、木造建物では1~3階、RC造、S造建物では1~20階を想定する。

建物耐力  $C_y$  は、建物耐力に関わる係数と建物階数  $N$  との関係で表し、低、中、高の3

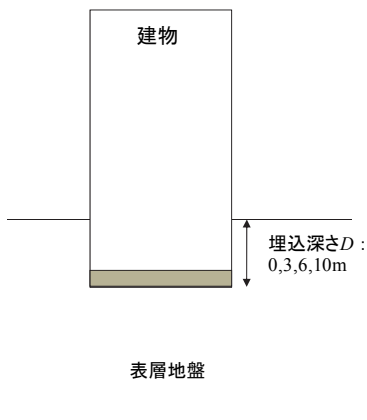
パターンを考える。

基礎の埋込深さ $D$ は地下3階程度までを考え、0, 3, 6, 10mとする(図Ⅱ-2-8)。建物の建築面積 $A$ は、建物階数によって変化させ50~900 $m^2$ までを想定し、建物の平面形状を表すアスペクト比 $BC$ (短辺長さ $B$ に対する長辺長さ $C$ の比)は1から5までの範囲とする((図Ⅱ-2-9)。なお、アスペクト比 $BC$ を考慮した場合には、短辺方向を入力方向とする。

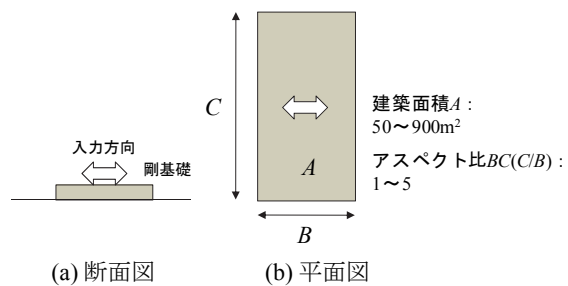
建物の基礎形式は、直接基礎形式(直接基礎と埋込基礎)、杭基礎形式(杭基礎と埋込+杭基礎)を対象とする(図Ⅱ-2-10)。



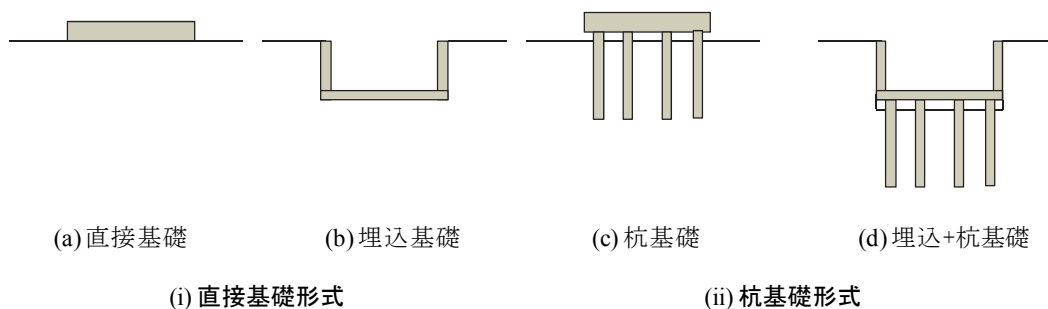
図Ⅱ-2-7 構造種別、建物階数 $N$ と建物耐力 $C_y$



図Ⅱ-2-8 埋込深さ $D$



図Ⅱ-2-9 建築面積 $A$ とアスペクト比 $BC$



図Ⅱ-2-10 基礎形式

以下では、設定した解析モデルの詳細について、木造建物、低層非木造建物（1～2階建、3～5階建）、中層非木造建物（6～10階建）、高層建物（11～20階建）に分けて記述する。なお、基礎固定モデルでの地震応答解析では、基礎の埋込深さ、建築面積やアスペクト比などの平面形状、基礎形式は考慮されない。

### （１）木造建物の解析モデル

木造建物のモデルは、表Ⅱ-2-1 に示すとおりとする。工法について在来木造と木質プレハブを想定し、建物階数は2階建と3階建をモデル化する。建物耐力は低、中、高を想定する（具体的な設定は後述）。埋込深さは  $D=0\text{m}$  の場合のみを考え、建築面積は  $A=50, 100, 150\text{m}^2$  の3種類として、建物の短辺長辺の比（アスペクト比）は  $BC=1, 2$  を考える。基礎形式については、建物重量が軽いことや、既存建物の施工状況から杭基礎形式を用いるケースは少ないことから、木造建物では直接基礎形式のみを想定する。解析ケース数は、SRモデルに関して構造2×階数2×耐力3×建築面積3×アスペクト比2の72ケース、基礎固定モデルに関して構造2×階数2×耐力3の12ケースを合わせた84ケースとなる。

表Ⅱ-2-1 木造建物のモデル（合計84ケース）

パラメータ	単位	モデル	
構造		在来木造, 木質プレハブ	
階数	階	2, 3	
耐力		低, 中, 高	
基礎形式		固定	直接基礎
埋込深さ	m	—	0
建築面積	$\text{m}^2$	—	50, 100, 150
短辺長さ	m	—	建築面積と建物の長さ比から計算(5~12)
アスペクト比		—	1, 2

### （２）低層（1～5階建）非木造建物の解析モデル

低層非木造（RC, S造）建物のモデルは表Ⅱ-2-2 に示すとおりとする。構造種別はRC造建物とS造建物とする。建物階数は1～2階建、3～5階建を想定し、それぞれ2階建と4階

建でモデル化する。建物耐力は低、中、高を想定し、建物耐力に関わる係数  $\alpha$  を  $\alpha=2, 3, 5$  として表す（詳細は後述）。埋込深さは  $D=0, 3\text{m}$  の 2 種類、建築面積は  $A=50, 100, 150\text{m}^2$  の 3 種類、建物の短辺長辺の比(アスペクト比)は  $BC=1, 2$  の 2 種類とする。基礎形式については、2 階建の場合には、直接基礎のみとし、4 階建の場合には、直接基礎形式と杭基礎形式の 2 種類とする。解析ケース数は、SR モデルに関して構造 2×階数 2×耐力 3×基礎形式 2 (2 階建の場合は直接基礎のみの 1)×埋込深さ 2×建築面積 3×アスペクト比 2 の 216 ケース、基礎固定モデルに関して構造 2×階数 2×耐力 3 の 12 ケースを合わせた 228 ケースとなる。

表 II-2-2 低層非木造建物のモデル(合計228ケース)

パラメータ	単位	モデル	
構造		RC造, 軽量S造	
階数	階	2, 4	
耐力		低, 中, 高	
基礎形式		固定	直接基礎, 杭基礎
埋め込み深さ	m	—	0, 3
建築面積	$\text{m}^2$	—	50, 100, 150
短辺長さ	m	—	建築面積と建物の長さ比から計算(5~12)
アスペクト比		—	1, 2

※ 2 階建の場合、杭基礎形式は考慮しない。

### (3) 中層(6~10階建)非木造建物の解析モデル

中層(6~10 階建)非木造(RC, S 造)建物モデルは、表 II-2-3 に示すとおりとする。構造種別は RC 造建物と S 造建物(重量 S 造)とする。建物階数は 6~10 階建を想定し、8 階建でモデル化する。建物耐力は低、中、高を想定し、建物耐力に関わる係数  $\alpha$  を  $\alpha=2, 3, 5$  として表す（詳細は後述）。埋め込み深さは  $D=3, 6, 10\text{m}$  の場合を考え、建築面積は  $A=200, 400\text{m}^2$  の 2 種類を扱い、建物の短辺長辺の比(アスペクト比)は  $BC=1, 3$  を考える。基礎形式については、直接基礎形式と杭基礎形式を考える。解析ケース数は、SR モデルに関して構造 2×階数 1×耐力 3×基礎形式 2×埋込深さ 3×建築面積 2×アスペクト比 2 の 144 ケース、基礎固定モデルに関して構造 2×階数 1×耐力 3 の 6 ケースを合わせた 150 ケースとなる。

表 II-2-3 中層(6~10階建)非木造建物のモデル (合計150ケース)

パラメータ	単位	モデル	
構造		RC造, S造	
階数	階	8	
耐力		低, 中, 高	
基礎形式		固定	直接基礎, 杭基礎
埋め込み深さ	m	—	3, 6, 10
建築面積	m <sup>2</sup>	—	200, 400
短辺長さ	m	—	建築面積と建物の長さ比から計算(8~20)
アスペクト比		—	1, 3

#### (4) 高層(11~20階建)非木造建物の解析モデル

高層(11~20階建)非木造(RC, S造)建物モデルは、表 II-2-4 に示すとおりとする。構造種別は RC 造と S 造とする。建物階数は 11~20 階建を想定し、15 階建でモデル化する。建物耐力は低、中、高を想定し、建物耐力に関わる係数  $\alpha$  を  $\alpha = 2, 3, 5$  として表す(詳細は後述)。埋込深さは  $D=3, 6, 10\text{m}$  の場合を考え、建築面積は  $A=400, 900\text{ m}^2$  の 2 種類を扱い、建物の短辺長辺の比(アスペクト比)は  $BC=1, 3, 5$  を考える。基礎形式については、直接基礎形式と杭基礎形式の 2 種類を考える。解析ケース数は、SR モデルに関して構造  $2 \times$  階数  $1 \times$  耐力  $3 \times$  基礎形式  $2 \times$  埋込深さ  $3 \times$  建築面積  $2 \times$  アスペクト比  $3$  の 216 ケース、基礎固定モデルに関して構造  $2 \times$  階数  $1 \times$  耐力  $3$  の 6 ケースを合わせた 222 ケースとなる。

表 II-2-4 高層(11~20階建)非木造建物のモデル (合計222ケース)

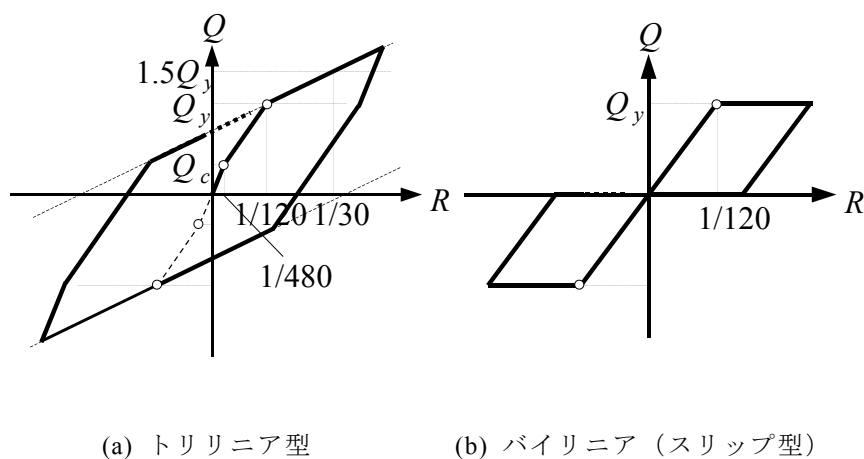
パラメータ	単位	モデル	
構造		RC造, S造	
階数	階	15	
耐力		低, 中, 高	
基礎形式		固定	直接基礎, 杭基礎
埋め込み深さ	m	—	3, 6, 10
建築面積	m <sup>2</sup>	—	400, 900
短辺長さ	m	—	建築面積と建物の長さ比から計算(9~30)
アスペクト比		—	1, 3, 5

## (5) 復元力特性の設定

### ①木造建物

木造建物で想定する復元力特性を図Ⅱ-2-11に示す。

各階の復元力特性は、北原・藤原（1990）を参考にして、トリリニアとスリップ型バイリニアのせん断ばねを並列につないで表し、2つのせん断ばねの比率を在来木造では6:4、木質プレハブでは3:7とする。建物耐力は、在来木造建物の場合、耐力低のとき $C_y=0.29$ 、耐力中のとき $C_y=0.32$ 、耐力高のとき $C_y=0.45$ とする。木質プレハブの場合は在来木造の2倍とし、耐力低のとき $C_y=0.58$ 、耐力中のとき $C_y=0.64$ 、耐力高のとき $C_y=0.9$ とする。高さ方向の耐力分布は、実建物の壁量の統計値や加力実験結果を参考に、1階と最上階との層せん断耐力係数の比が1:1.5となるように定める。剛性分布は耐力に比例するように定める。各階の階高は、鈴木・他（1998）、小原・宮澤（1997）に示されている実建物の値を参考に2.8mとする。同様に、各階の重量は1階と2階の比が1:2/3となるように設定する。減衰は、北原・藤原（1990）を参考に、瞬間剛性比例型で1次固有周期に対して5%とした。



図Ⅱ-2-11 木造建物の復元力特性

### ②RC造建物

RC造建物の建物耐力 $C_y$ と建物階数 $N$ との関係および復元力特性を図Ⅱ-2-12に示す。また、一例として、4階建RC造建物の解析モデルを図Ⅱ-2-13に示す。

RC造建物の復元力特性には武田モデル（Takeda et al.（1970））を用い、降伏層間変

形角  $R_y$  は  $R_y=1/150\text{rad}$  とする。第一折点のせん断耐力を  $Q_y/3$  とし、第一折点の層間変形角は、建物周期から定まる剛性と第一折点の耐力から設定する。なお、建物周期  $T_{b0}$  と初期剛性  $K_0$  との関係は、建物質量  $M$  を用いれば、次式で表される。

$$T_{b0} = 2\pi\sqrt{M / K_0} \quad (\text{式 II. 2-1})$$

建物耐力  $C_y$  は、建物階数  $N$  と建物耐力に関わる係数  $\alpha$  との関係で表し、 $C_y=\alpha / N$  で設定する。各階の重量および階高さは一様として、単位面積あたりの重量は  $1\text{t/m}^2$ 、階高さは  $3.0\text{m}$  とする。建物高さは  $H_b = 3.0N$  となり、建物周期は  $T_{b0}=0.02H_b$  で表す。剛性分布は台形分布とし、1階に対する最上階の比は  $0.5$ 、耐力分布は  $A_i$  分布に従うとする。

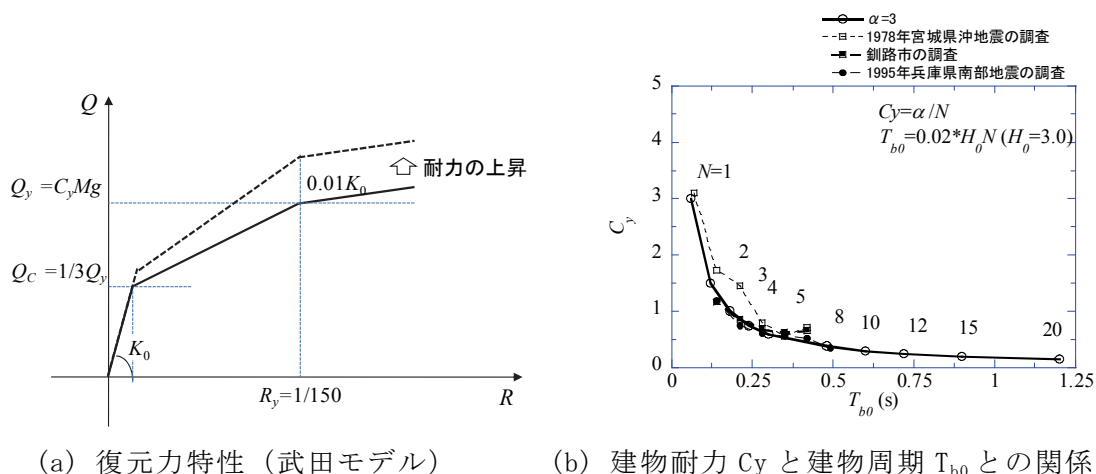


図 II-2-12 地震応答解析で用いるRC造建物の解析モデル

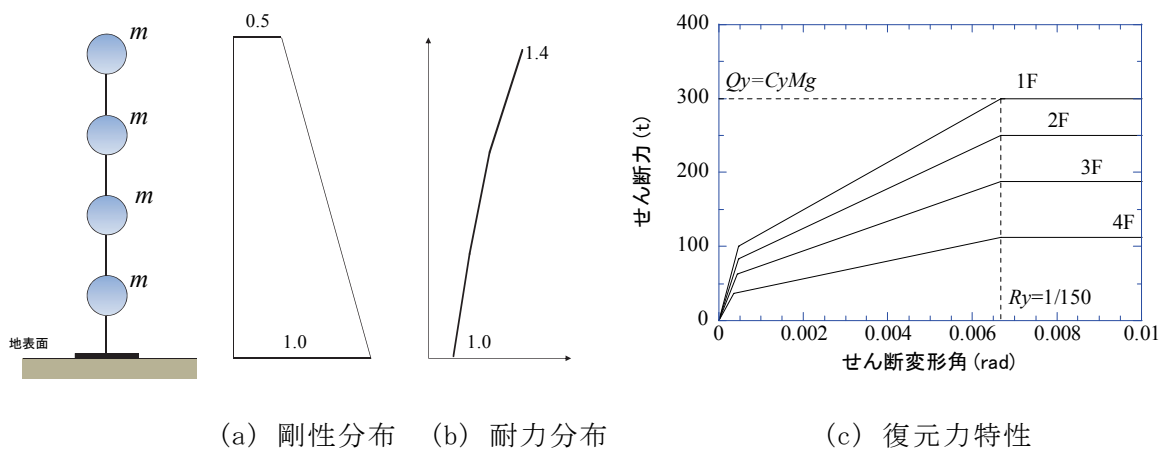


図 II-2-13 4階建RC造建物の解析モデルの概要 ( $\alpha=3$ の場合)

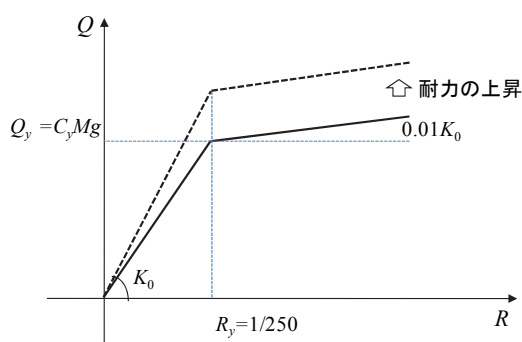


### ③S造建物

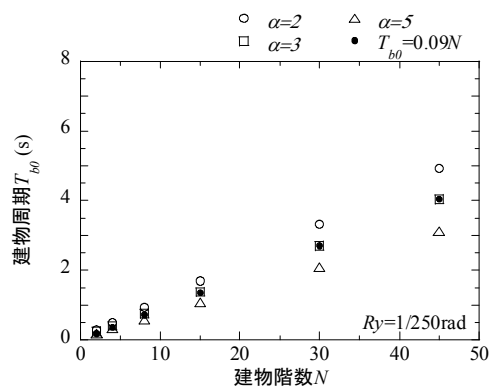
S造建物の復元力特性を図Ⅱ-2-14、建物階数  $N$  と建物周期  $T_{b0}$  との関係を図Ⅱ-2-15に示す。また、一例として、4階建S造建物の解析モデルを図Ⅱ-2-16に示す。

S造建物の復元力特性はバイリニア型を用い、降伏層間変形角  $R_y$  は全層で  $R_y=1/250\text{rad}$  としてモデル化を行う。建物階数  $N$  と建物周期  $T_{b0}$  ( $T_{b0}=0.09N$ ) との関係が、設計モデルに概ね対応することを確認し、降伏層間変形角を  $R_y=1/250\text{rad}$  と設定している(図Ⅱ-2-14)。S造建物の場合、バイリニア型の復元力特性を用いており、建物耐力  $C_y$  と降伏層間変形角  $R_y$  を決める事で、建物剛性および建物周期は決定される。なお、建物耐力  $C_y$  はRC造建物と同様に、建物階数  $N$  と建物耐力に関わる係数  $\alpha$  との関係で表し、 $C_y=\alpha/N$  で設定する。

各階の重量および階高さは、RC造建物と同様に一様として、単位面積あたりの重量は  $1\text{t/m}^2$ 、階高さは  $3\text{m}$  とする。建物高さは  $H_b=3.0N$  となり、建物の1次固有周期は  $T_{b0}=0.03H_b$  で表す。剛性分布は台形分布とし1階に対する最上階の比は  $1:3$ 、耐力分布は  $A_i$  分布に従うとする。ただし、軽量鉄骨造を想定した2階建S造建物については、柳井・他(2002)を参考に、1階と2階の建物耐力の比は  $1:1.56$  とし、降伏変形角  $R_y=1/250\text{rad}$  でモデルを行っている。上記のモデル化を行った場合のS造建物の建物階数  $N$  と  $C_y$  との関係を図Ⅱ-2-17に示す。



図Ⅱ-2-14 S造建物の復元力特性



図Ⅱ-2-15 建物階数  $N$  と建物周期  $T_{b0}$  との関係

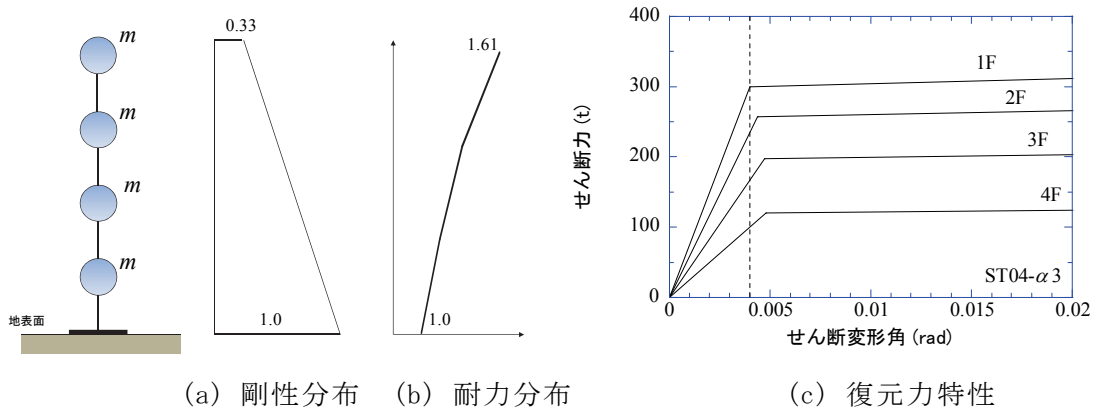


図 II-2-16 4階建S造建物の解析モデルの概要 ( $\alpha=3$ の場合)

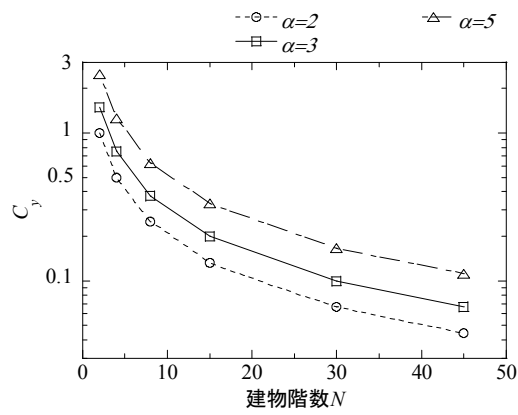


図 II-2-17 建物階数  $N$  と建物耐力  $C_y$  との関係

#### ④構造種別の違いによる建物周期の比較

設定した解析モデルの建物階数  $N$  と建物周期  $T_{b0}$  との関係を表 II-2-5 に示す。ここで示す建物周期は、基礎固定モデルの弾性 1 次固有周期である。RC 造建物の場合、設定した復元力特性の関係から、建物耐力  $C_y$  によって初期剛性は変化しないため、建物周期  $T_{b0}$  は建物耐力  $C_y$  に関わらず一定になる。一方、木造建物や S 造建物の場合、建物耐力  $C_y$  によって初期剛性も変化するため、建物階数  $N$ 、建物耐力  $C_y$  によっても建物周期  $T_{b0}$  は変化する。なお、RC 造および S 造では、建物耐力  $C_y$  は、建物階数  $N$  と建物耐力に関わる係数  $\alpha$  との関係により  $C_y = \alpha / N$  で設定している。

表 II-2-5 解析モデルの建物耐力  $C_y$  と建物周期  $T_{b0}$  との関係

(a) RC 造建物

建物 周期 $T_{b0}(s)$	建物 耐力 $\alpha$	建物階数 $N$			
		2	4	8	15
RC造	2	0.12	0.24	0.48	0.90
	3				
	5				

(b) S 造建物

建物 周期 $T_{b0}(s)$	建物 耐力 $\alpha$	建物階数 $N$			
		2	4	8	15
S造	2	0.25	0.52	0.97	1.76
	3	0.20	0.43	0.79	1.43
	5	0.16	0.33	0.61	1.11

(c) 木造建物

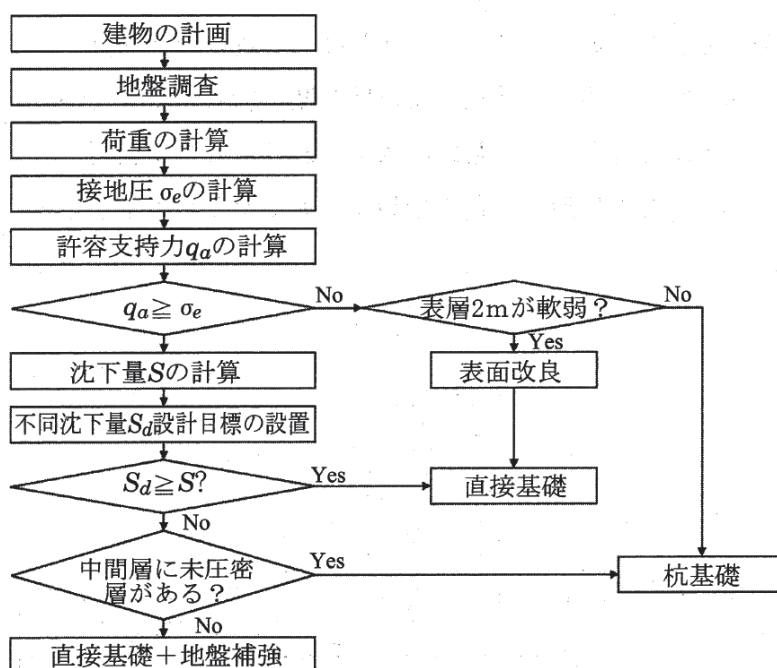
	建物 耐力	建物階数			建物 耐力	建物階数	
		2	3			2	3
木造 (在来)	低	0.57	0.68	木造 (木質プレ ハブ)	低	0.44	0.52
	中	0.55	0.65		中	0.41	0.49
	高	0.46	0.55		高	0.35	0.41

## (6) 杭基礎形式の判定基準とモデル化

本研究では、基礎形式は建物特性と地盤特性に応じて、選択されると想定する。杭基礎形式の場合には、杭径や杭本数に応じて地盤ばねが変化するため、設計方法に応じて杭をモデル化する必要がある。そのため、まず、杭基礎形式を選択する場合の条件と、そのモデル化の方法について記述する。

### ① 杭基礎形式の判定基準の検討

基礎形式の選定方法は、建物特性と地盤特性を考慮し、小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会（2009））に基づいて設定する。小規模建築物基礎設計指針にある一般的な基礎形式選定フローを図Ⅱ-2-18に示す。基礎形式選定フローでは、建物階数および地盤特性に応じて許容支持力と接地圧を計算し、許容支持力が接地圧以上の場合には直接基礎形式、許容支持力が接地圧未満の場合には杭基礎形式を想定する。なお、許容支持力の計算は、基礎設計指針（日本建築学会（2010））に基づいて行った。



図Ⅱ-2-18 基礎形式選定フロー（小規模建築物基礎設計指針（日本建築学会，2009））

計算結果に基づき、表層地盤のS波速度 $V_s$ 、建物階数 $N$ に応じて設定した杭基礎形式の判定基準を表Ⅱ-2-6にまとめて示す。4階建では $V_s \leq 150\text{m/s}$ の場合、8階建では $V_s \leq 200\text{m/s}$ の場合、15階建では $V_s \leq 250\text{m/s}$ の場合に、杭基礎形式が用いられているとする。

構造種別によって建物重量は変えていないため、RC造建物、S造建物ともに、同じ判定基準を用いる。

表 II-2-6 杭基礎形式の判定基準

建物階数	条件	
	直接基礎	杭基礎
2階建て	○	-
4階建て	$V_s > 150\text{m/s}$	$V_s \leq 150\text{m/s}$
8階建て	$V_s > 200\text{m/s}$	$V_s \leq 200\text{m/s}$
15階建て	$V_s > 250\text{m/s}$	$V_s \leq 250\text{m/s}$

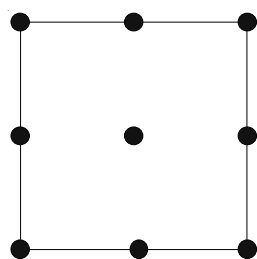
## ②杭基礎形式のモデル化

設定した建物階数別の杭径と極限先端支持力との関係を表 II-2-7に示す。杭1本あたり  $25\text{m}^2$  の重量を負担できるように杭径を想定し、極限先端支持力を算定している。杭径は、4階建では800mm、8階建では1000mm、15階建では1200mmを想定する事で、建物の鉛直荷重を十分に負担できている。この時、杭の材料定数はコンクリート強度として  $F_c=18\text{ (N/mm}^2)$  を想定し、ヤング係数  $E=2.06\text{E}+04\text{ (N/mm}^2)$  と設定している。

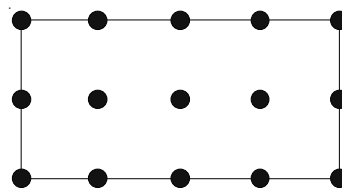
一例として、4階建で、建築面積  $A=100\text{m}^2$  とした場合の杭配置を図 II-2-19に示す。

表 II-2-7 極限先端支持力

最大面積 ( $\text{m}^2$ )	単位面積あたりの重量 (kN)		建物階数	杭径 $\phi$ (mm)	杭1本あたりの重量 (kN)	極限先端支持力 $R_p$ (kN)
	一般階	基礎部				
25	245	367.5	4	800	1348	2513
25	245	367.5	8	1000	2328	3927
25	245	367.5	15	1200	4043	5655



(a)  $BC=1$  ( $B=10\text{m}$ )



(b)  $BC=2$  ( $B=7.1\text{m}$ )

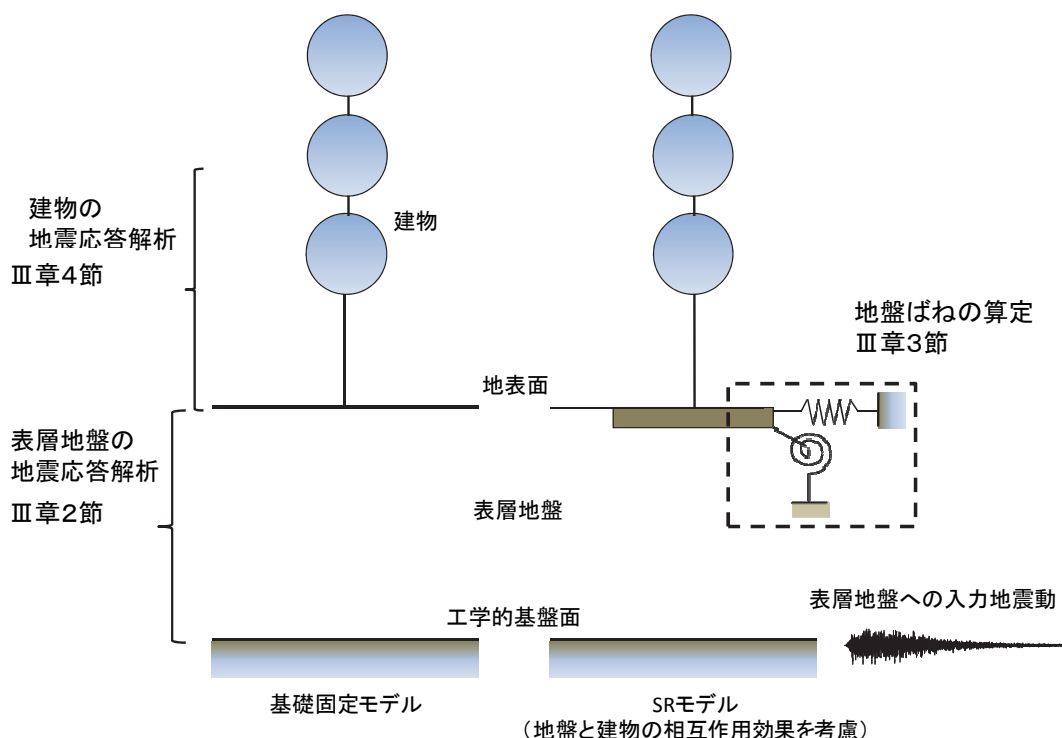
図 II-2-19 杭配置の例 (建築面積  $A=100\text{m}^2$ , 4階建)



# 第Ⅲ章 地震応答解析による建物応答倍率の算出

## 1. 地震応答解析の概要

建物応答倍率算出のための地震応答解析の全体イメージを図Ⅲ-1-1に示す。



図Ⅲ-1-1 地震応答解析の全体イメージ

地震応答解析は、大きく表層地盤の地震応答解析と建物の地震応答解析の2ステップに分けて行う。前者は本章第2節、後者は本章第4節で触れている。

表層地盤の地震応答解析では、工学的基盤面での地震動から、建物の地震応答解析の入力地震動となる基礎入力動を算定する。基礎入力動は、基礎固定モデルの場合には地表面上の地震動、SRモデルで埋込がある場合には入力の相互作用を考慮した基礎底面における地震動となる。また、地盤ばねの算定に用いる地盤パラメータ（非線形時のS波速度と減衰定数）も同時に求める。

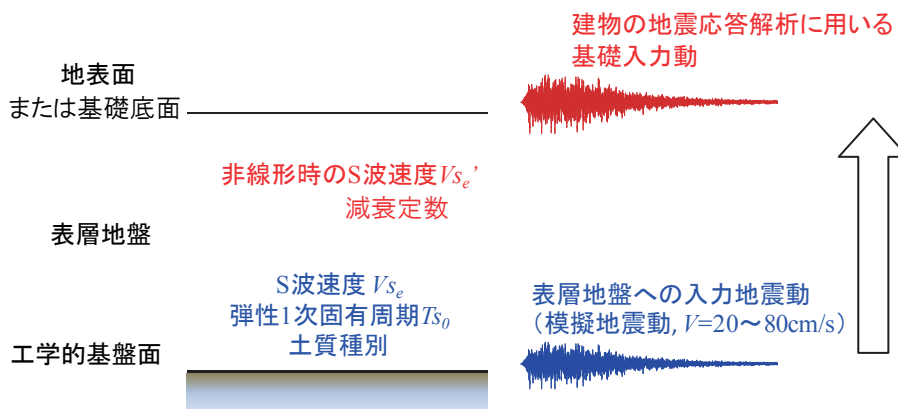
建物の地震応答解析では、算出した基礎入力動を用いて建物応答を算出する。SRモデルに関しては、建物応答の計算に地盤ばね（スウェイばね、ロッキングばね）の情報が必要になるため、それらの剛性、減衰を「地盤ばねの算定（本章第3節）」で算出する。

## 2. 表層地盤の地震応答解析

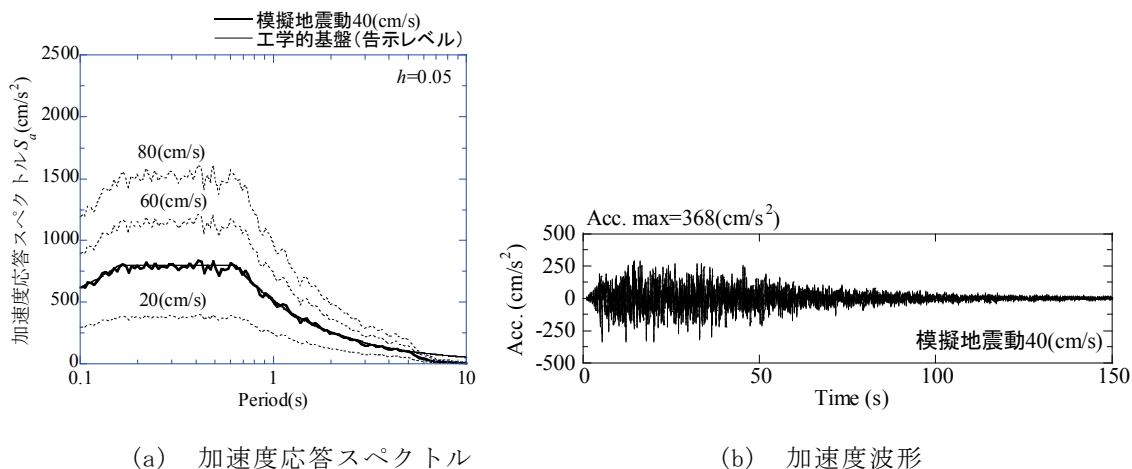
ここでは、前章で設定した132の表層地盤モデルを対象に表層地盤の地震応答解析を行い、建物の地震応答解析に用いる基礎入力動を求める。また、地盤ばねの算定に用いる地盤モデル（非線形時のS波速度と減衰定数）も同時に求める。

### 2-1. 表層地盤の地震応答解析の概要

表層地盤の地震応答解析の概要を図Ⅲ-2-1に示す。表層地盤への入力地震動には、工学的基盤面での告示波の加速度応答スペクトル（減衰定数 $h=0.05$ ）に適合させた乱数位相の模擬地震動を用い（図Ⅲ-2-2）、入力レベルは最大速度 $V$ で基準化して $V=20\sim 80\text{cm/s}$ の範囲を $20\text{cm/s}$ 刻みで変化させる。



図Ⅲ-2-1 表層地盤の地震応答解析の概要  
(入力パラメータ：青 出力パラメータ：赤)



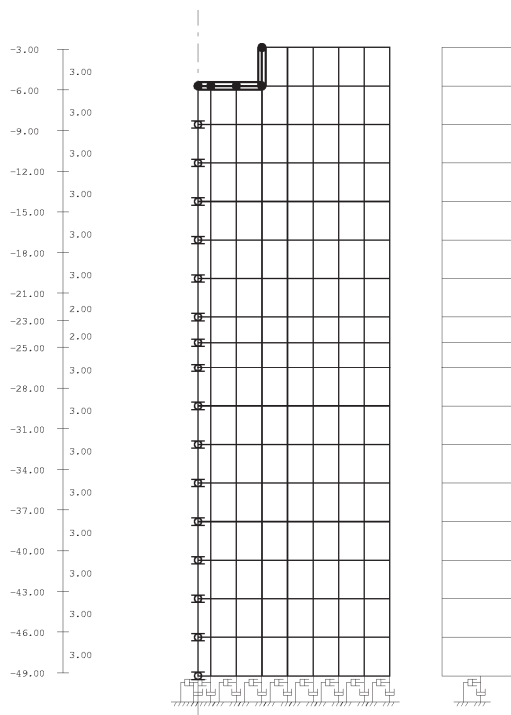
図Ⅲ-2-2 表層地盤モデルへの入力地震動として用いる模擬地震動



## 2-2. 表層地盤の地震応答解析の方法

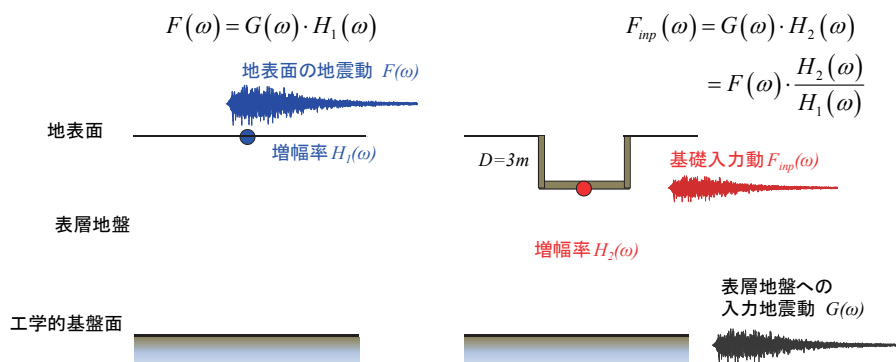
埋込がない場合には入力相互作用は生じないため、基礎入力動として地表面上の地震動を用いる。地表面上の地震動は、1次元波動論に基づく等価線形解析（SHAKE）を用いて算定する。

埋込がある場合には、軸対称有限要素解析（FEM）モデル（図Ⅲ-2-3）により建物基礎底面位置での応答波を算定して用いる。境界条件は、側方にはエネルギー伝達境界、底面には粘性境界を用い、基礎は無質量の剛基礎とする。建築面積は建物モデルでは矩形断面で設定したが、軸対称FEM解析においては建築面積を等価な円形断面に置換してモデル化する。従って、建築面積のアスペクト比の違いはここでは考慮されない。ただし、アスペクト比は回転成分に及ぼす影響が大きいため、次節の地盤ばねの算定においては考慮している。



図Ⅲ-2-3 軸対称FEMの解析モデルの一例

基礎入力動と地表面上での地震動との関係は図Ⅲ-2-4のとおりとなる。表層地盤への入力地震動 $G(\omega)$ 、地表面上での地震動 $F(\omega)$ 、埋込がある場合の基礎入力動 $F_{inp}(\omega)$ 、各増幅率 $H_1(\omega)$ 、 $H_2(\omega)$ は周波数領域の複素関数となっており、振幅と位相の情報が含まれている。 $\omega$ は円振動数であり、 $\omega=2\pi f$  ( $f$ : 振動数)で表される。埋込がある場合の基礎入力動 $F_{inp}(\omega)$ は、地表面上での地震動に $H_2(\omega)/H_1(\omega)$ を乗じた値となる。



図Ⅲ-2-4 埋込がある場合の基礎入力動の算定方法

## 2-3. 算定した基礎入力動

### (1) 地表面上の地震動

最大地動加速度 PGA および最大地動速度 PGV の分布を図 III-2-5 に示す。また、最大地動加速度 PGA と最大地動速度 PGV との関係を図 III-2-6、全地盤モデルでの地表面上での加速応答スペクトルを図 III-2-7 に示す。

- ・最大地動加速度 PGA は  $100\sim 800\text{cm/s}^2$  に多く分布し、最大値は  $1300\text{cm/s}^2$  程度 (図 III-2-5 (a))、最大地動速度 PGV は  $20\sim 110\text{cm/s}$  に多く分布し最大値は  $130\text{cm/s}$  程度である (図 III-2-5 (b))。
- ・多様な地震動レベル、周期特性を持つ地震動が作成されたことがわかるが、最大地動加速度 PGA と最大地動速度 PGV との関係では  $A/V (= \text{PGA}/\text{PGV})$  が 12 以上の地震動がやや少なくなっている (図 III-2-6, 図 III-2-7)。

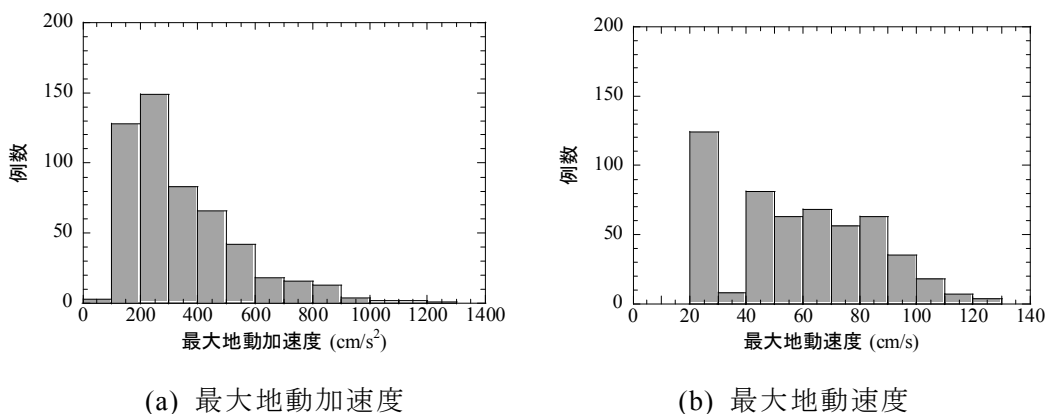


図 III-2-5 地表面上での地震動特性の分布

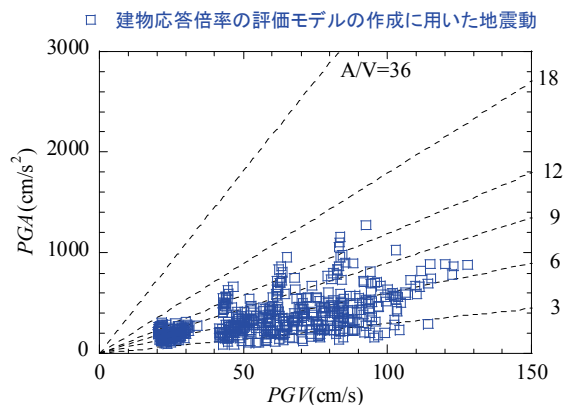
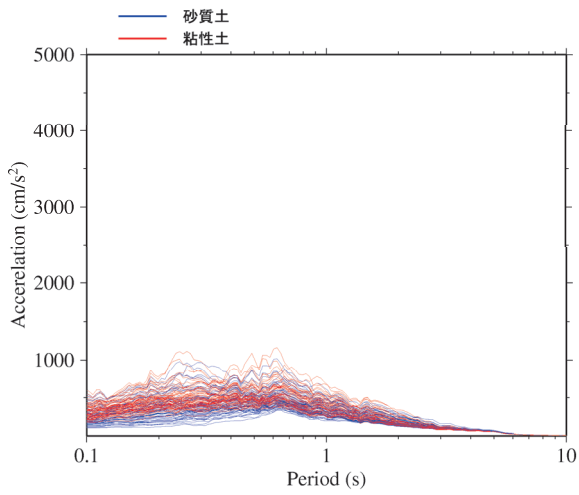
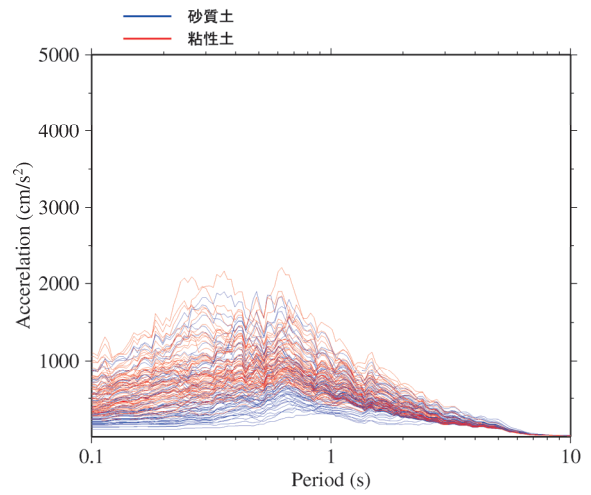


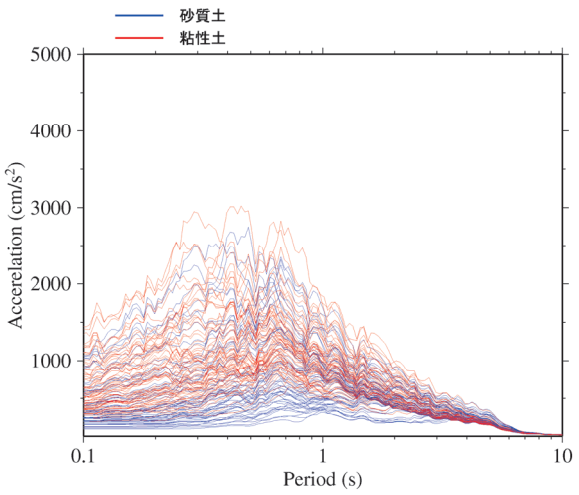
図 III-2-6 最大地動加速度 PGA と最大地動速度 PGV との関係



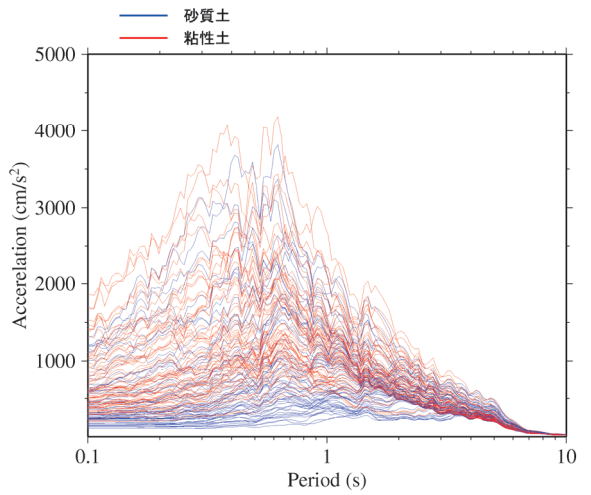
(a) 模擬地震動 20cm/s



(b) 模擬地震動 40cm/s



(c) 模擬地震動 60cm/s



(d) 模擬地震動 80cm/s

図Ⅲ-2-7 地表面地震動の加速度応答スペクトル (h=0.05)

参考として、本解析による表層地盤の歪レベルをまとめて表Ⅲ-2-1に示す。表層地盤の歪 $\gamma$ が1%を超える箇所は色を付けて表示している。

SHAKEを用いた解析では、表層地盤の歪レベルで1%程度以下が適用範囲と一般に言われているが、今回のパラメータ解析ではそれを超える歪レベルも計算された。建物応答倍率の傾向については把握できると考え、本研究においてはそれらのデータを区別することなく用いた。

表Ⅲ-2-1(1) 表層地盤の歪みレベル（層数1）

(a) 砂質土

表層地盤 厚さ $H_s$ (m)	弾性1次 固有周期 $T_{s0}$ (s)	等価な S波速度 $V_{se}$ (m/s)	層数	歪み $\gamma$ (%)			
				V=20 cm/s	V=40 cm/s	V=60 cm/s	V=80 cm/s
9.4	0.25	150	1	0.07	0.34	0.99	1.55
18.8	0.50			0.13	0.68	1.52	4.00
28.1	0.75			0.16	0.93	1.51	3.71
37.5	1.00			0.18	0.84	1.62	3.88
46.9	1.25			0.22	0.78	1.90	2.31
56.3	1.50			0.20	0.98	1.27	2.21
12.5	0.25	200		0.04	0.13	0.41	1.03
25.0	0.50			0.08	0.27	0.66	1.54
37.5	0.75			0.09	0.38	1.08	1.39
50.0	1.00			0.10	0.43	0.81	1.65
62.5	1.25			0.11	0.41	0.80	1.79
75.0	1.50			0.12	0.33	1.03	1.18
15.6	0.25	250		0.03	0.07	0.16	0.39
31.3	0.50			0.05	0.14	0.32	0.64
46.9	0.75			0.05	0.15	0.46	1.07
62.5	1.00			0.06	0.21	0.50	0.81
78.1	1.25			0.07	0.25	0.39	0.95
93.8	1.50			0.08	0.19	0.41	1.02
18.8	0.25	300	0.02	0.05	0.09	0.16	
37.5	0.50		0.03	0.09	0.17	0.35	
56.3	0.75		0.04	0.10	0.17	0.48	
75.0	1.00		0.04	0.12	0.25	0.54	
93.8	1.25		0.05	0.14	0.30	0.41	
112.5	1.50		0.05	0.14	0.23	0.49	

(b) 粘性土

表層地盤 厚さ $H_s$ (m)	弾性1次 固有周期 $T_{s0}$ (s)	等価な S波速度 $V_{se}$ (m/s)	層数	歪み $\gamma$ (%)			
				V=20 cm/s	V=40 cm/s	V=60 cm/s	V=80 cm/s
9.4	0.25	150	1	0.06	0.17	0.33	0.89
18.8	0.50			0.12	0.32	0.68	1.48
28.1	0.75			0.13	0.37	1.02	2.20
37.5	1.00			0.13	0.47	1.07	1.66
46.9	1.25			0.15	0.64	0.96	1.52
56.3	1.50			0.19	0.42	0.83	2.23
12.5	0.25	200		0.04	0.10	0.16	0.31
25.0	0.50			0.07	0.18	0.30	0.59
37.5	0.75			0.07	0.21	0.36	0.90
50.0	1.00			0.07	0.23	0.49	1.00
62.5	1.25			0.08	0.28	0.63	0.82
75.0	1.50			0.10	0.28	0.41	0.69
15.6	0.25	250		0.02	0.06	0.10	0.15
31.3	0.50			0.04	0.11	0.19	0.29
46.9	0.75			0.05	0.12	0.21	0.32
62.5	1.00			0.05	0.13	0.25	0.47
78.1	1.25			0.06	0.17	0.30	0.56
93.8	1.50			0.07	0.19	0.29	0.40
18.8	0.25	300	0.02	0.04	0.07	0.10	
37.5	0.50		0.03	0.07	0.12	0.20	
56.3	0.75		0.03	0.08	0.13	0.21	
75.0	1.00		0.04	0.08	0.15	0.25	
93.8	1.25		0.04	0.10	0.19	0.30	
112.5	1.50		0.05	0.12	0.21	0.30	

表Ⅲ-2-1(2) 表層地盤の歪みレベル (層数 2)

(a) 砂質土

表層地盤 厚さ $H_s$ (m)	弾性1次 固有周期 $T_{s0}$ (s)	等価な S波速度 $V_{se}$ (m/s)	層数	歪み $\gamma$ (%)			
				V=20 cm/s	V=40 cm/s	V=60 cm/s	V=80 cm/s
9.4	0.25	150	2	0.13	0.70	1.81	3.47
18.8	0.50			0.32	1.63	4.42	7.23
28.1	0.75			0.36	1.60	2.86	6.78
37.5	1.00			0.43	2.21	6.81	8.83
46.9	1.25			0.59	2.71	5.09	5.23
56.3	1.50			0.57	2.69	3.42	3.67
12.5	0.25	200		0.05	0.22	0.61	1.47
25.0	0.50			0.11	0.45	1.35	2.85
37.5	0.75			0.13	0.64	1.77	4.36
50.0	1.00			0.15	0.91	2.07	3.65
62.5	1.25			0.14	1.01	1.47	5.09
75.0	1.50			0.19	0.78	2.19	3.58
15.6	0.25	250		0.03	0.08	0.17	0.34
31.3	0.50			0.05	0.17	0.36	0.91
46.9	0.75			0.06	0.23	0.58	1.12
62.5	1.00			0.07	0.24	0.69	1.68
78.1	1.25			0.08	0.31	0.90	1.34
93.8	1.50			0.08	0.35	0.79	1.24

(b) 粘性土

表層地盤 厚さ $H_s$ (m)	弾性1次 固有周期 $T_{s0}$ (s)	等価な S波速度 $V_{se}$ (m/s)	層数	歪み $\gamma$ (%)			
				V=20 cm/s	V=40 cm/s	V=60 cm/s	V=80 cm/s
9.4	0.25	150	2	0.08	0.37	0.82	1.64
18.8	0.50			0.20	0.76	2.01	4.71
28.1	0.75			0.26	1.08	3.02	5.74
37.5	1.00			0.30	1.33	3.26	6.44
46.9	1.25			0.28	1.53	3.58	7.07
56.3	1.50			0.39	1.39	3.73	5.25
12.5	0.25	200		0.04	0.12	0.26	0.52
25.0	0.50			0.09	0.26	0.63	1.11
37.5	0.75			0.10	0.31	0.80	1.36
50.0	1.00			0.11	0.38	0.88	2.17
62.5	1.25			0.13	0.41	1.09	2.18
75.0	1.50			0.13	0.51	1.11	1.70
15.6	0.25	250		0.02	0.06	0.10	0.17
31.3	0.50			0.05	0.13	0.23	0.37
46.9	0.75			0.06	0.15	0.28	0.53
62.5	1.00			0.06	0.16	0.32	0.56
78.1	1.25			0.07	0.18	0.32	0.82
93.8	1.50			0.07	0.20	0.42	0.83

表Ⅲ-2-1(3) 表層地盤の歪みレベル（層数4）

(a) 砂質土

表層地盤 厚さ $H_s$ (m)	弾性1次 固有周期 $T_{s0}$ (s)	等価な S波速度 $V_{se}$ (m/s)	層数	歪み $\gamma$ (%)			
				V=20 cm/s	V=40 cm/s	V=60 cm/s	V=80 cm/s
9.4	0.25	150	4	0.05	0.25	0.67	1.35
18.8	0.50			0.12	0.55	1.47	4.47
28.1	0.75			0.17	1.54	2.67	4.09
37.5	1.00			0.32	1.27	2.59	8.18
46.9	1.25			0.38	1.17	4.81	6.56
56.3	1.50			0.31	1.79	3.74	7.74
12.5	0.25	200		0.03	0.11	0.36	0.94
25.0	0.50			0.10	0.57	1.29	4.64
37.5	0.75			0.13	0.82	3.37	5.66
50.0	1.00			0.17	1.25	3.01	7.64
62.5	1.25			0.23	1.01	3.96	6.40
75.0	1.50			0.22	1.43	3.54	6.76
15.6	0.25	250		0.02	0.07	0.16	0.43
31.3	0.50			0.07	0.27	0.82	1.63
46.9	0.75			0.09	0.38	1.32	3.54
62.5	1.00			0.10	0.64	1.42	4.55
78.1	1.25			0.13	0.59	2.09	4.38
93.8	1.50			0.13	0.70	2.24	3.53
18.8	0.25	300		0.01	0.03	0.06	0.09
37.5	0.50			0.03	0.07	0.11	0.18
56.3	0.75			0.03	0.08	0.15	0.26
75.0	1.00			0.04	0.09	0.18	0.35
93.8	1.25			0.04	0.11	0.21	0.37
112.5	1.50			0.05	0.13	0.22	0.44

(b) 粘性土

表層地盤 厚さ $H_s$ (m)	弾性1次 固有周期 $T_{s0}$ (s)	等価な S波速度 $V_{se}$ (m/s)	層数	歪み $\gamma$ (%)			
				V=20 cm/s	V=40 cm/s	V=60 cm/s	V=80 cm/s
9.4	0.25	150	4	0.04	0.12	0.30	0.63
18.8	0.50			0.11	0.36	0.84	1.47
28.1	0.75			0.17	0.49	1.65	5.28
37.5	1.00			0.16	1.19	2.54	3.44
46.9	1.25			0.26	1.07	1.43	4.29
56.3	1.50			0.26	0.77	1.88	6.36
12.5	0.25	200		0.03	0.07	0.13	0.28
25.0	0.50			0.08	0.26	0.57	1.59
37.5	0.75			0.11	0.34	0.91	3.09
50.0	1.00			0.12	0.56	1.61	3.22
62.5	1.25			0.15	0.68	1.31	3.36
75.0	1.50			0.17	0.55	1.43	4.38
15.6	0.25	250		0.02	0.05	0.09	0.15
31.3	0.50			0.06	0.17	0.33	0.66
46.9	0.75			0.07	0.22	0.44	1.06
62.5	1.00			0.09	0.26	0.68	1.66
78.1	1.25			0.10	0.34	0.81	1.33
93.8	1.50			0.11	0.35	0.71	2.22
18.8	0.25	300		0.01	0.03	0.05	0.07
37.5	0.50			0.02	0.06	0.09	0.14
56.3	0.75			0.03	0.07	0.11	0.17
75.0	1.00			0.03	0.08	0.13	0.20
93.8	1.25			0.04	0.09	0.16	0.26
112.5	1.50			0.04	0.10	0.18	0.29

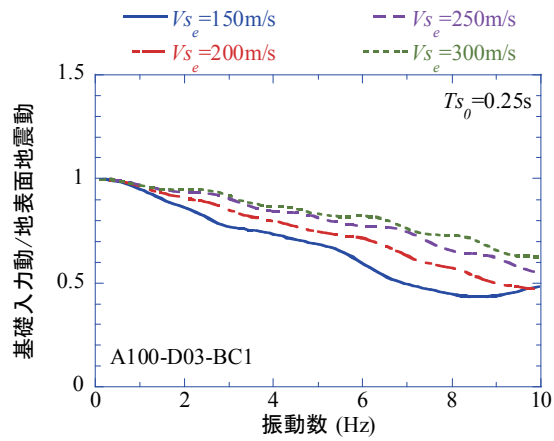
## (2) 埋込がある場合の基礎入力動

地表面上での地震動（加速度波形）に対する基礎入力動の振幅比（図Ⅲ-2-4の $H_2(\omega)/H_1(\omega)$ の実部）を、表層地盤の等価S波速度 $V_{se}$ 、建物モデルの建築面積 $A$ 、埋込深さ $D$ の違いにより分けて図Ⅲ-2-8に示す。なお、これら以外のパラメータによる影響は極めて小さかった。解析ケースは記号で表しており、例えばA100-D00-BC1とは、建築面積 $A=100\text{m}^2$ 、埋込深さ $D=0\text{m}$ 、アスペクト比 $BC=1$ のケースを意味する。

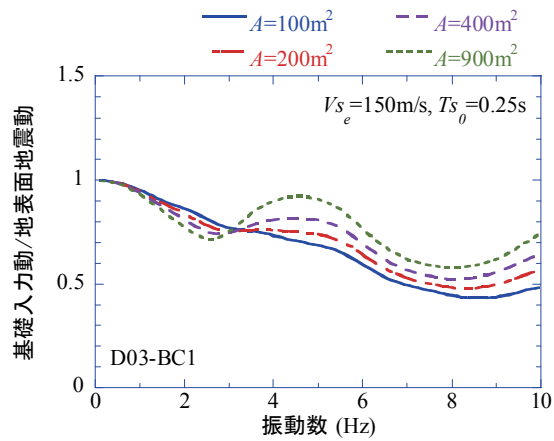
図から、次のことがわかる。

- ・ 表層地盤の等価S波速度 $V_{se}$ による違いについて、 $V_{se}$ が大きくなるに従い入力損失効果や小さくなる。すなわち、軟らかい地盤のほうが入力損失が起きやすい（図Ⅲ-2-8(a)）。これは、S波速度が大きくなる事によって、波長が長くなる事が影響していると考えられる。波長が長くなると、建物が波と一体となって揺れるため、入力損失が起こりにくくなると考えられる。
- ・ 建築面積 $A$ に関しては、建築面積が大きくなるに従い、低振動数側（長周期側）での入力損失効果が大きくなり、逆に高振動数側（短周期側）での入力損失効果が小さくなる（図Ⅲ-2-8(b)）。建築面積が大きくなると基礎幅も大きくなるためロッキング周期が長くなり、入力損失効果が表れやすい周期が低振動数側（長周期側）に移行するが影響していると考えられる。
- ・ 埋込深さ $D$ に関しては、埋込が深くなるほど、入力損失効果が大きくなる振動数が8Hz付近から2Hz付近へと低振動数側に変化している（図Ⅲ-2-8(c)）。振動数が3以下の部分では、埋込深さが深くなるに従い入力損失効果が大きくなる傾向が見られている。これは、埋込深さの分だけ、表層地盤の地盤増幅が低減されることが影響していると考えられる。

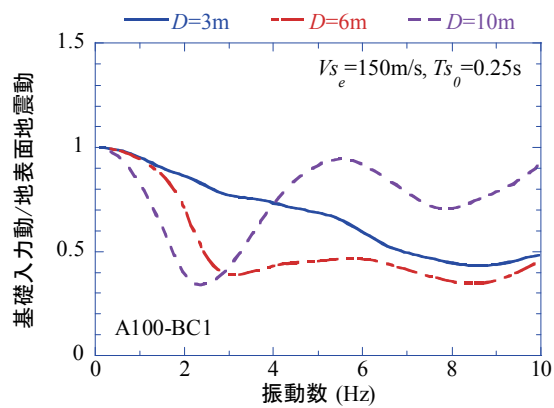




(a) S波速度  $V_{se}$  による変化



(b) 建築面積  $A$  による変化



(c) 埋込深さ  $D$  による変化

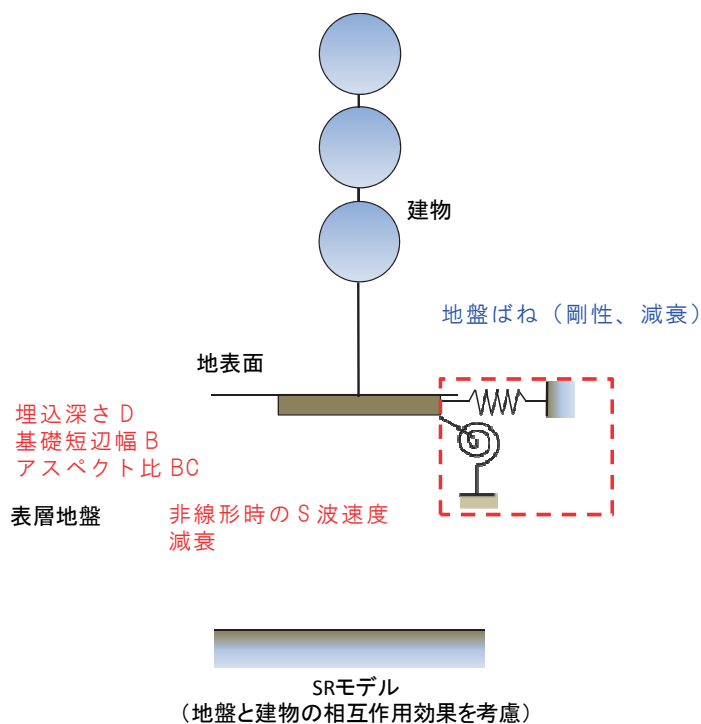
図Ⅲ-2-8 地表面地震動に対する基礎入力動の割合

### 3. 地盤ばねの算定

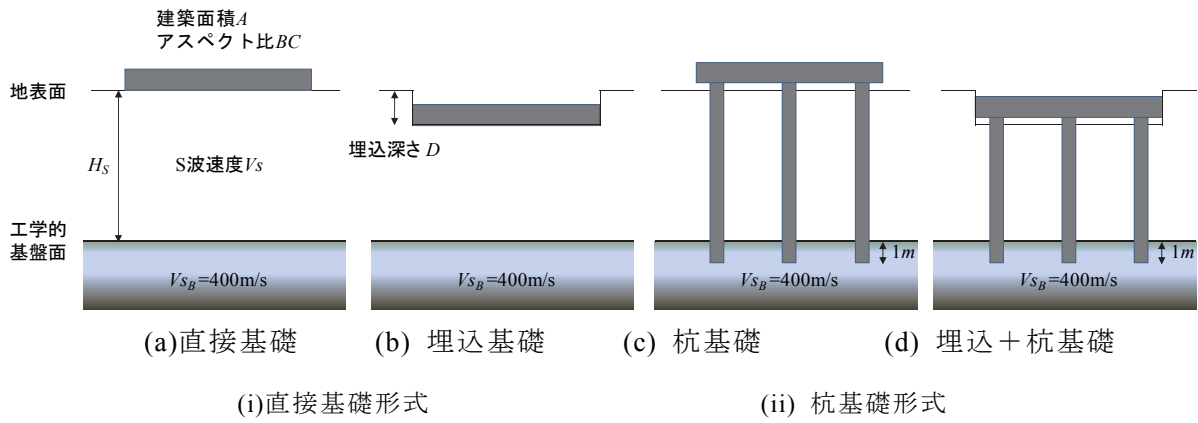
表層地盤の地震応答解析により算定された表層地盤の非線形時のS波速度・減衰定数と建物の基礎形式・基礎形状から、SRモデルの地震応答解析に利用する地盤ばね（スウェイばね・ロッキングばね）の剛性および減衰定数を算定する。

#### 3-1. 地盤ばねの算定の概要

地盤ばねの算定の概要を図Ⅲ-3-1に示す。表層地盤の地震応答解析の結果を基に再構築した非線形時の地盤モデル(S波速度、減衰定数)と、想定する基礎形式および基礎形状(建築面積、アスペクト比、埋込深さ)から、地盤ばねを算定する。基礎形式は、図Ⅲ-3-2に示すように、直接基礎形式(直接基礎、埋込基礎)と杭基礎形式(杭基礎、埋込+杭基礎)を想定する。なお、地盤ばねは、水平(スウェイ)成分と回転(ロッキング)成分があり、それぞれに、変形に比例した抵抗力を生み出すばね的な効果(剛性)と、変形速度に比例した抵抗力を生み出すダッシュポットの効果(減衰定数)を設定する必要がある。



図Ⅲ-3-1 地盤ばね算定の概要  
(入力パラメータ：赤 出力パラメータ：青)

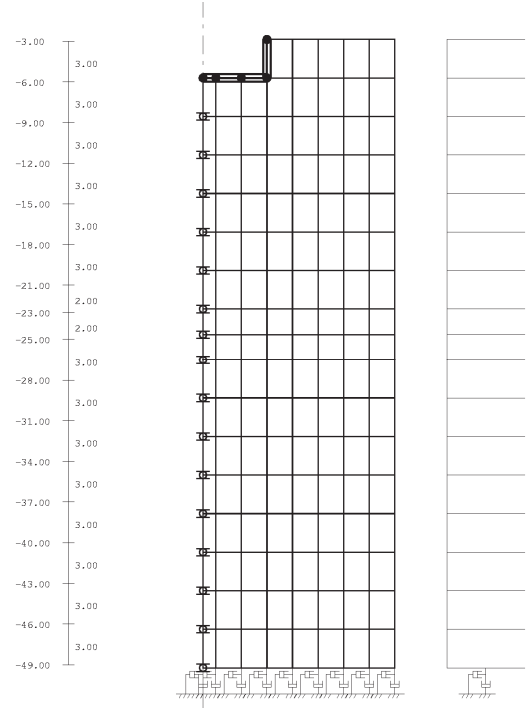


図Ⅲ-3-2 基礎形式の概要（再掲）

### 3-2. 地盤ばねの算定方法

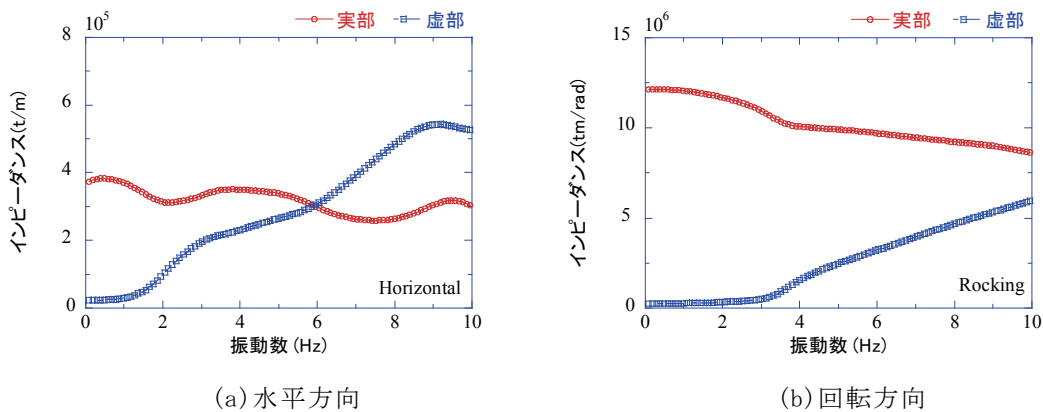
#### (1) 直接基礎形式

直接基礎形式では、埋込がある場合の基礎入力動の算定と同様に、軸対称FEMを用いて地盤ばねを算定する。軸対称FEMの解析モデルイメージを図III-3-3に示す。境界条件は、側方にはエネルギー伝達境界、底面には粘性境界を用い、同モデルの中心位置での地盤ばねを算定する。基礎は無質量の剛基礎とする。建築面積は矩形断面で設定しているが、軸対称FEM解析を用いていることから、水平成分については基礎の底面積が等価な円形断面でモデル化し、回転成分（ロッキング成分）については断面2次モーメントが等価な円形断面でモデル化する。上記の方法で基礎をモデル化する事で、建築面積のアスペクト比の違いによる影響もモデル化する事ができる（日本建築学会（2006））。



図III-3-3 軸対称FEMの解析モデルの一例(再掲)

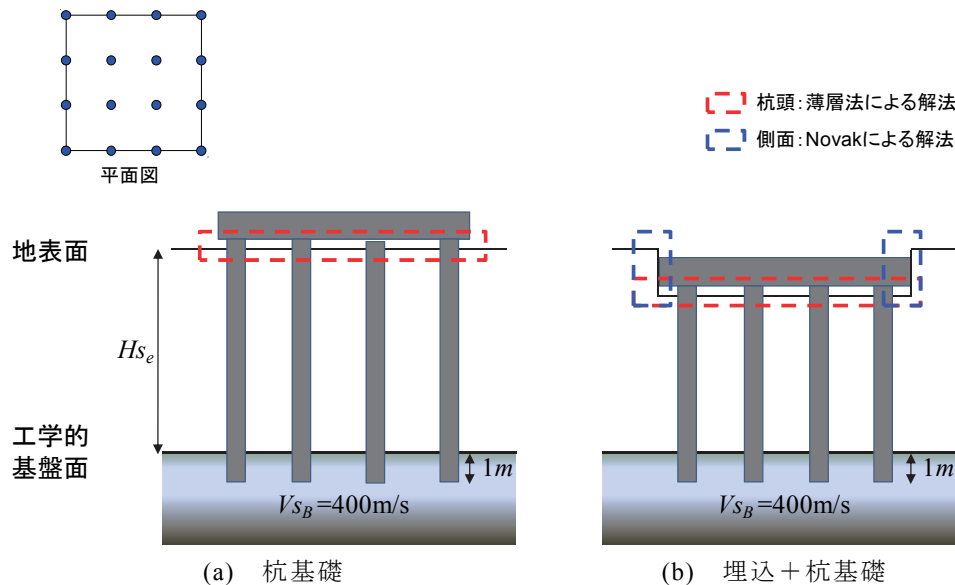
なお、低振動数側での剛性が過小評価にならないように、剛基礎の半幅の5倍程度の深さまで地盤をモデル化する。建物の地震応答解析を行う建物モデルの固有周期を考慮し、10Hzまで動的地盤ばねを算定する。一例として、同モデルの地盤ばねの水平、回転成分を図III-3-4に示す。



図III-3-4 動的地盤ばねの一例

## (2) 杭基礎形式

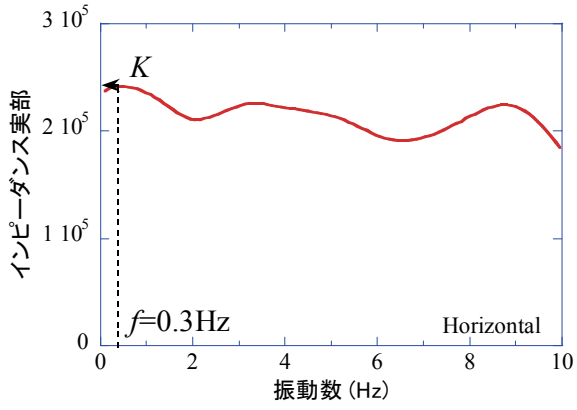
杭基礎形式の地盤ばねを算定するための解析モデルを図Ⅲ-3-5に示す。杭基礎形式の地盤ばねの算定では、薄層法を用いた2本杭の杭頭柔性を利用した近似解法（長谷川・木村（1997））を用い、杭頭位置での群杭地盤ばね（杭基礎全体の地盤ばね）を算定する。埋込+杭基礎の場合には、埋込部分の側方地盤による地盤ばねをNovakの方法（Novak, M.（1978））により算定し、杭基礎の地盤ばねに付加する。



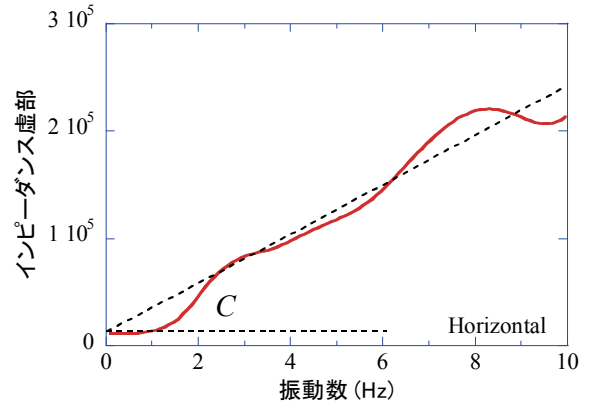
図Ⅲ-3-5 杭基礎形式の地盤ばねの算定モデル

## (3) 地盤ばねの定数化

建物の地震応答解析を行う場合、振動数依存性を持つ動的地盤ばねを、振動数に依存しない地盤ばね定数 $K$ と地盤減衰係数 $C$ に置換する。地盤ばね定数化の方法を図Ⅲ-3-6に示す。なお、地盤ばねの定数化の方法は、直接基礎形式、杭基礎形式ともに、地盤ばねの剛性 $K$ は静的に近い0.3Hzの値の実部とし、減衰係数 $C(=2h\omega)$ は10Hzまでの平均的な値（直線で近似した傾き）とする。減衰係数 $C$ と減衰定数 $h$ との関係は $C=2h\omega$ （ $\omega$ :円振動数）となる。水平成分、回転成分ともに、同様の方法で地盤ばねの定数化を行っている。なお、水平成分と回転成分の連成項については、非連成項に比べて地盤ばねの値が小さくなることから本検討では無視している。



(a) 剛性



(b) 減衰係数

図 III-3-6 地盤ばねの定数化の方針

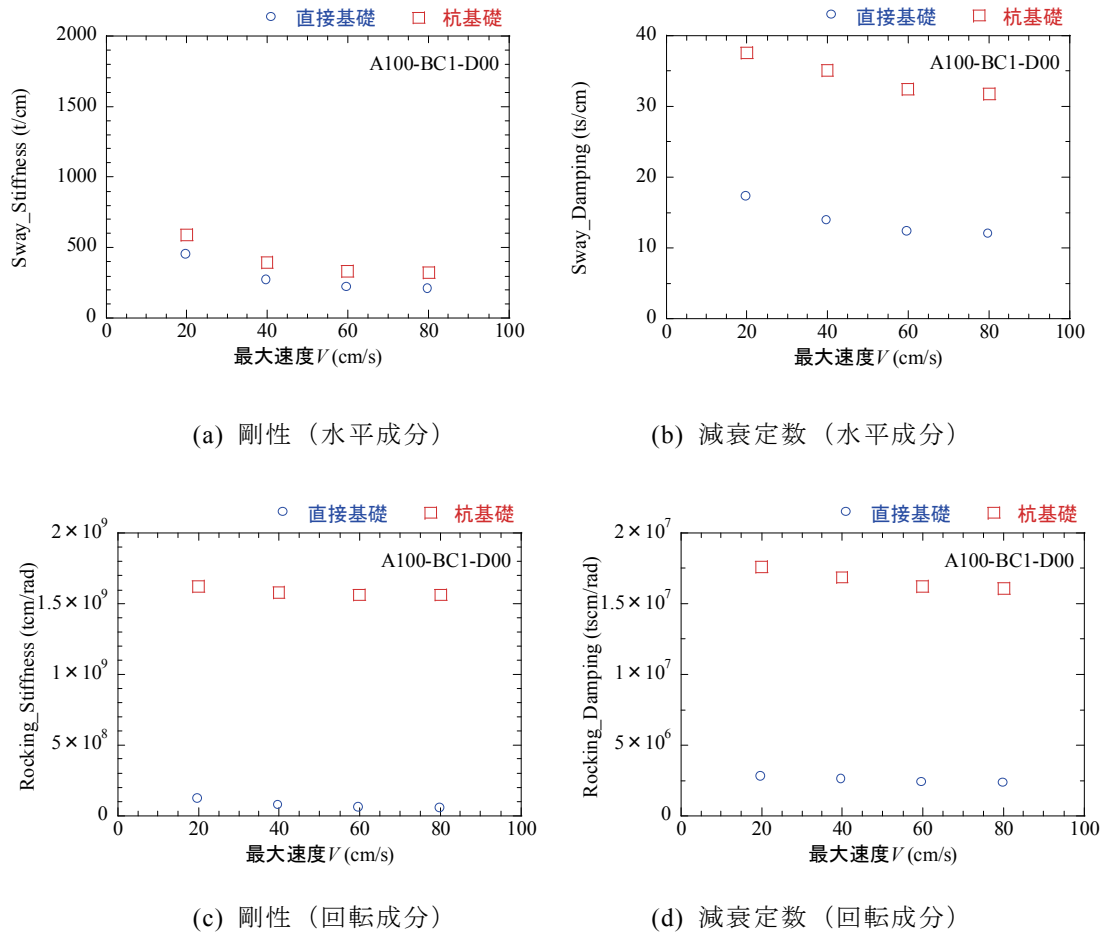
### 3-3. 地盤ばねの算定結果

地盤ばねの算定結果の例を、基礎形式(直接基礎と杭基礎)、建築面積A、アスペクト比BC、埋込深さD、表層地盤の等価S波速度 $V_{se}$ ごとに示す。図については、(1)以外では、杭基礎形式の結果を基本的に示し、直接基礎形式と杭基礎形式で傾向が異なる場合には両方の結果を示している。

#### (1) 基礎形式による違い

地盤ばねの剛性と減衰定数を、基礎形式(直接基礎と杭基礎)の違いで比較して図III-3-7に示す。

- ・地盤ばねの剛性、減衰定数は、水平・回転の成分によらず杭基礎のほうが大きい、回転成分で顕著である。杭基礎の場合には建物のロッキング挙動に対する影響が大きくなると考えられる。

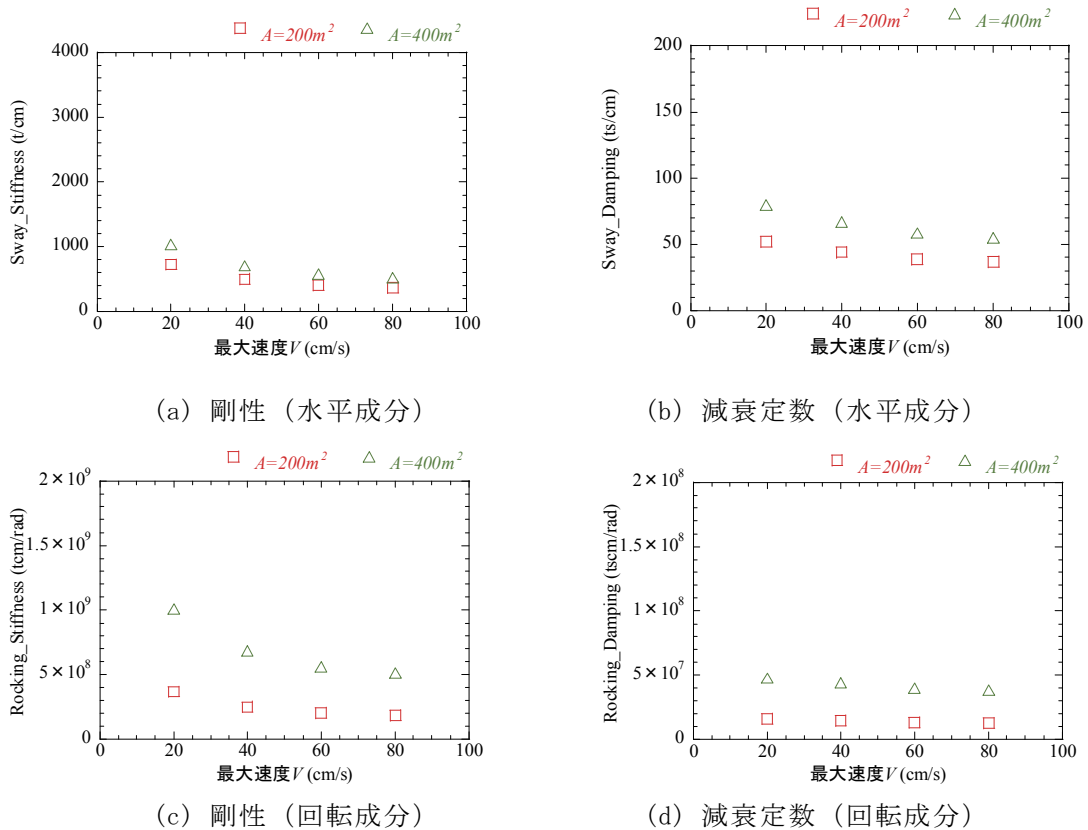


図III-3-7 基礎形式(直接基礎と杭基礎)の影響

## (2) 建築面積による違い

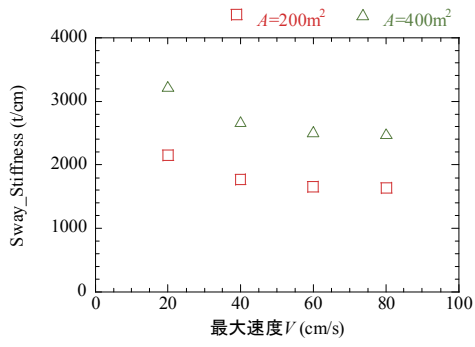
地盤ばねの剛性と減衰定数を、建築面積Aの違いで比較して図Ⅲ-3-8、図Ⅲ-3-9に示す。直接基礎形式の結果を図Ⅲ-3-8に示し、杭基礎形式の結果を図Ⅲ-3-9に示している。

- ・基礎形式に関わらず、建築面積が増加するに従い、地盤ばねの剛性、減衰ともに増大する。しかし、杭基礎形式の場合には、建築面積がA=200、400m<sup>2</sup>と増加するに従い、杭本数も16、25本と増加するため、建築面積の増加の割合が同じ場合でも、直接基礎よりも杭基礎形式での変化が大きい。
- ・いずれの解析結果でも、表層地盤への入力地震動の最大速度が大きくなるに従い、地盤ばねの剛性、減衰定数は減少しているが、これは、表層地盤への入力地震動の最大速度が大きくなるに従い、表層地盤が非線形化して、表層地盤のS波速度が低下するため、地盤ばねの剛性、減衰定数が減少するためである。この影響は、回転成分よりも水平成分で大きくなっている。

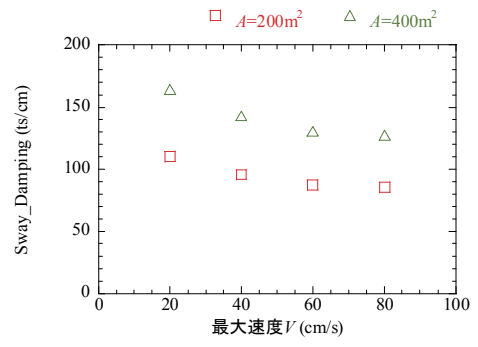


図Ⅲ-3-8 建築面積Aの影響(直接基礎形式)

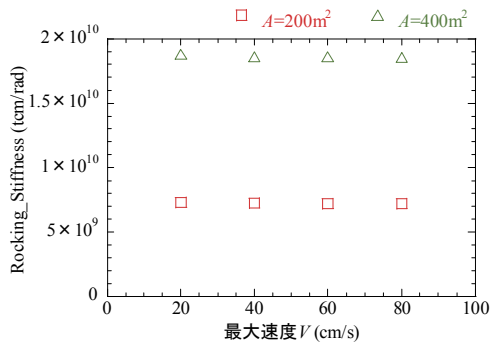




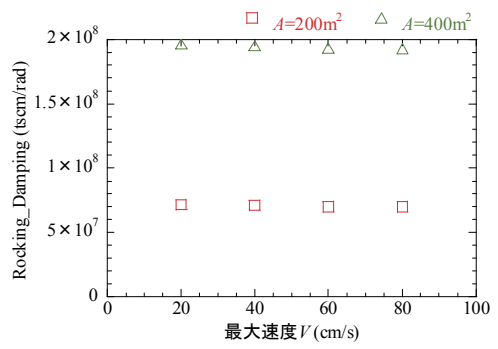
(a) 剛性 (水平成分)



(b) 減衰定数 (水平成分)



(c) 剛性 (回転成分)



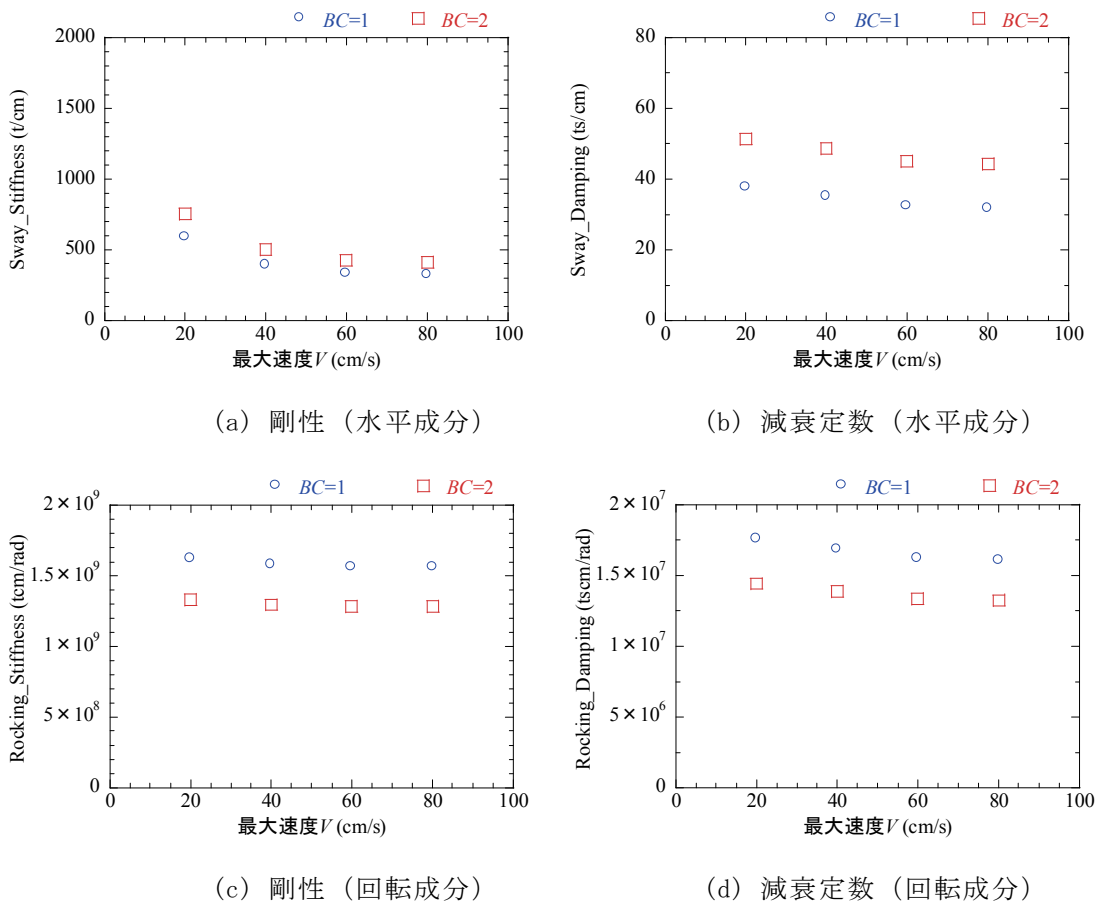
(d) 減衰定数 (回転成分)

図 III-3-9 建築面積  $A$  の影響 (杭基礎形式)

### (3) アスペクト比による違い

杭基礎形式の地盤ばねの剛性と減衰定数を、アスペクト比BCで比較して図Ⅲ-3-10に示す。アスペクト比BC=2の場合は、短辺方向の結果となる。

- ・杭基礎形式の地盤ばねの剛性と減衰定数は、水平成分ではアスペクト比BC=2の方が大きくなるのに対し、回転成分ではBC=1の方が大きくなる。そのため、地盤ばねの剛性、減衰定数は、加振方向と接する面積が大きくなる成分で大きくなっており、アスペクト比が杭基礎の地盤ばねに及ぼす影響は、作用する成分によって変化する。この傾向は、直接基礎形式の場合でも同様に見られている。

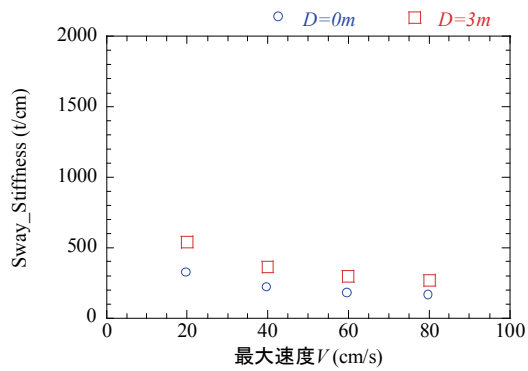


図Ⅲ-3-10 アスペクト比BCの影響

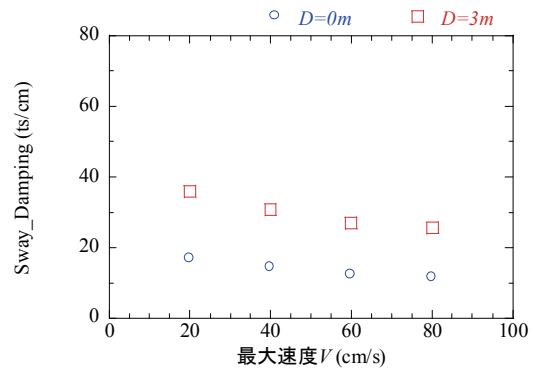
#### (4) 埋込深さによる違い

地盤ばねの剛性と減衰定数を、埋込深さDの違いで比較して図Ⅲ-3-11、Ⅲ-3-12に示す。直接基礎形式の結果を図Ⅲ-3-11に示し、杭基礎形式の結果をⅢ-3-12に示している。

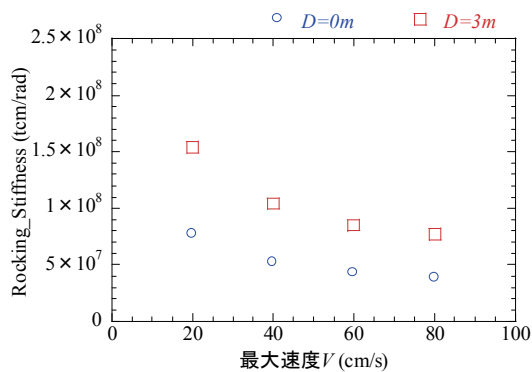
- ・基礎形式に関わらず、埋込深さがある場合には、地盤ばねの剛性、減衰ともに増大している。直接基礎形式の場合、埋込が生じる事で、側面からの拘束が増える事によって、地盤ばねの剛性、減衰は増大する。
- ・杭基礎形式の場合、基礎側面の影響の他に、基礎底面が深くなった結果杭長さが短くなり、杭の曲げ剛性が增加する事によって、地盤ばねの剛性と減衰定数は増大している。



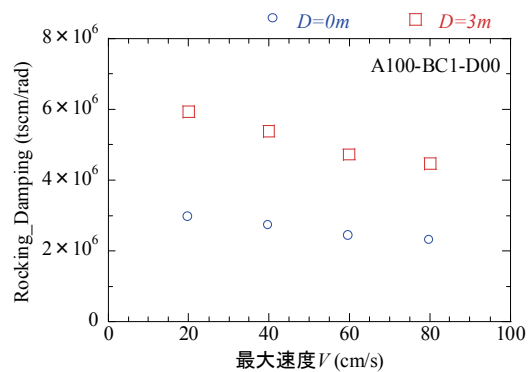
(a) 剛性 (水平成分)



(b) 減衰定数 (水平成分)

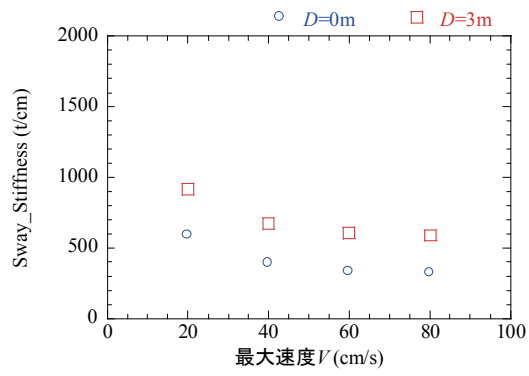


(c) 剛性 (回転成分)

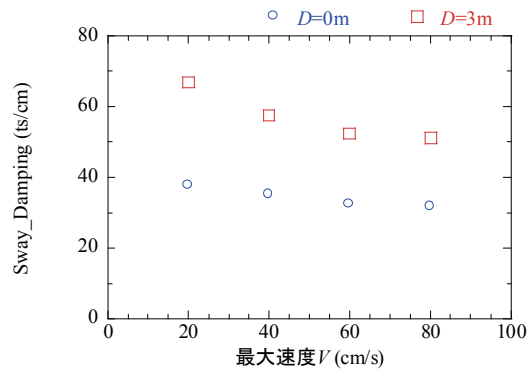


(d) 減衰定数 (回転成分)

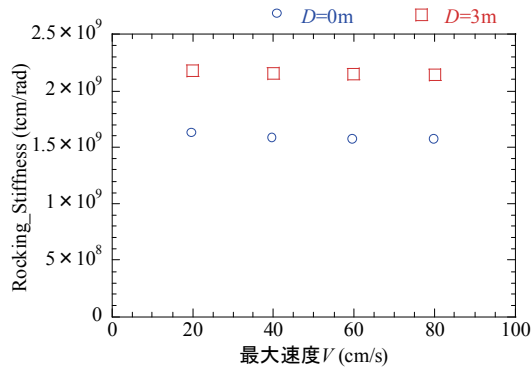
図Ⅲ-3-11 埋込深さD (直接基礎と埋込+直接基礎) の影響



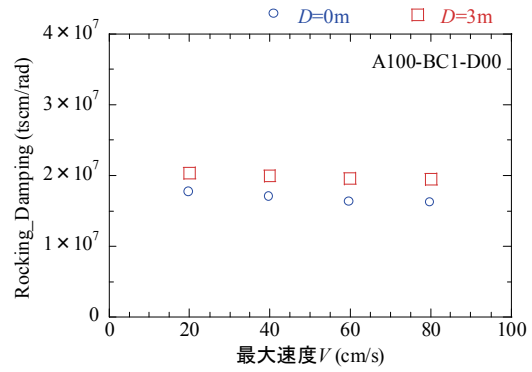
(a) 剛性（水平成分）



(b) 減衰定数（水平成分）



(c) 剛性（回転成分）



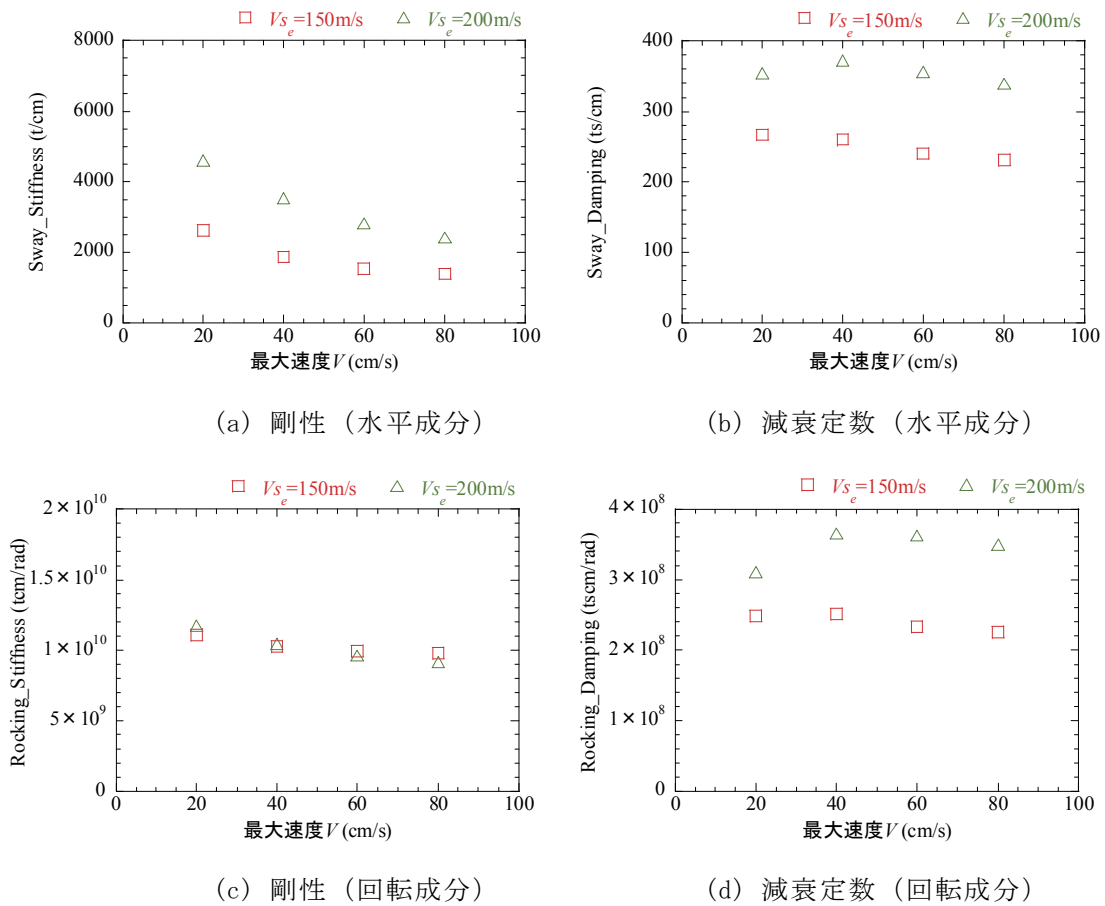
(d) 減衰定数（回転成分）

図Ⅲ-3-12 埋込深さ $D$ （杭基礎と埋込+杭基礎）の影響

(5) 表層地盤のS波速度による違い

最後に、杭基礎形式の地盤ばねの剛性と減衰定数を、表層地盤のS波速度 $V_{se}$ の違いで比較して図Ⅲ-3-13に示す。ここでは、弾性1次固有周期 $T_{s0}=0.5$ 、建築面積 $A=400\text{m}^2$ 、アスペクト比 $BC=1$ 、埋込深さ $D=3\text{m}$ の結果を用いている。

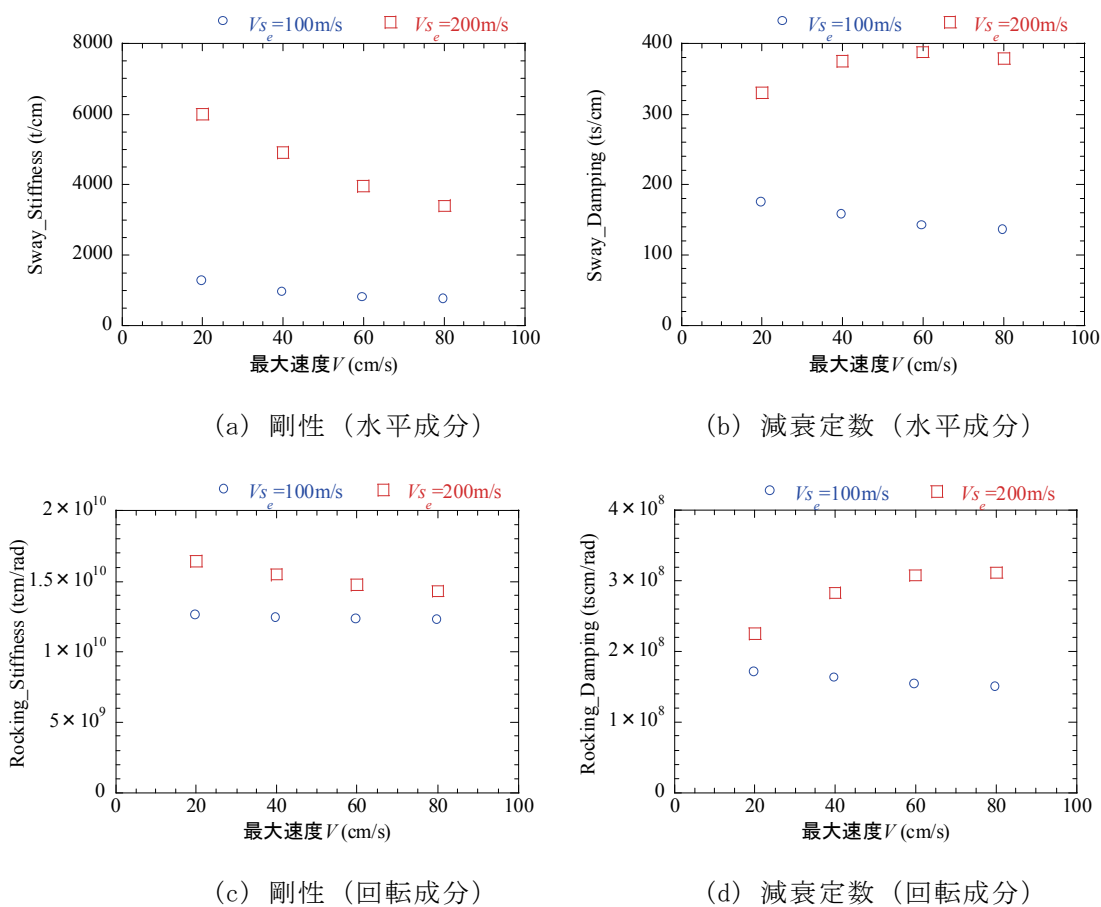
- ・表層地盤のS波速度が大きくなるに従い、回転成分の剛性以外では、地盤ばねの剛性、減衰定数が増加している。表層地盤の弾性1次固有周期を $T_{s0}=0.5$ と一定にしているため、表層地盤のS波速度が大きくなるに従い、表層地盤厚さも大きくなる。そのため、表層地盤のS波速度が増加しても、それに伴って杭長さが長くなり、杭剛性が低下する事が影響していると思われる。
- ・直接基礎形式の場合には、方向に関わらず、表層地盤のS波速度が大きくなるに従い、地盤ばねの剛性、減衰定数が増加している。



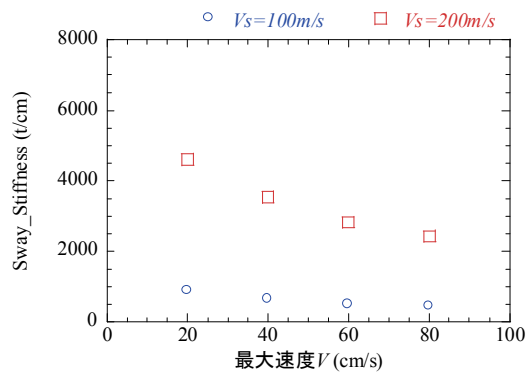
図Ⅲ-3-13 表層地盤のS波速度 $V_{se}$ の影響

同様に、杭長さを同じにした場合の杭基礎形式の地盤ばねの剛性と減衰定数を、表層地盤のS波速度の違いで比較して図Ⅲ-3-14および図Ⅲ-3-15に示す。図Ⅲ-3-14は表層地盤の深さを12.5mとした場合で、図Ⅲ-3-15は25mにした結果である。ここでは、杭長さを同じにしており、表層地盤のS波速度の違いで表層地盤の固有周期も異なっている。

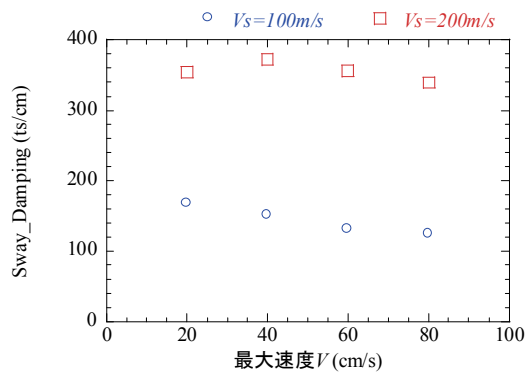
- ・この場合、杭剛性は同じ条件となり、表層地盤のS波速度の違いだけが、地盤ばねの剛性、減衰定数に表れてくる。そのため、表層地盤のS波速度が大きくなるに従い、回転成分の剛性も含めて増大している。
- ・ただし、 $V_{se}=200\text{m/s}$ の地盤では、杭長さが短い場合（12.5m）では、入力地震動の最大速度が上がると減衰定数が増大しているのに対し、杭長さが長い場合（25.0m）では、入力地震動の最大速度が上がると減衰定数が減少している。そのため、杭長さによって、地盤ばねの減衰定数の変化は異なっている。



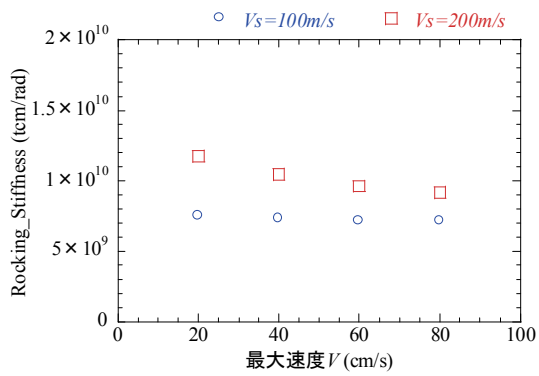
図Ⅲ-3-14 表層地盤のS波速度 $V_{se}$ （杭長さが同じ場合：杭長さ12.5m）の影響



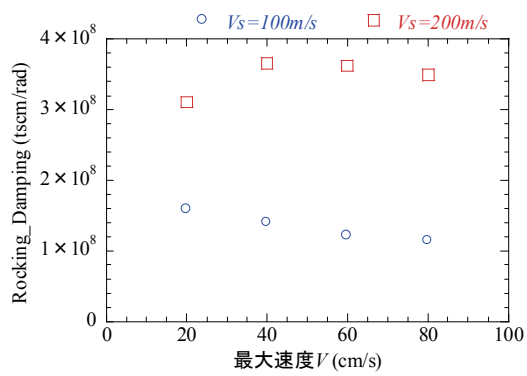
(a) 剛性 (水平成分)



(b) 減衰定数 (水平成分)



(c) 剛性 (回転成分)



(d) 減衰定数 (回転成分)

図Ⅲ-3-15 表層地盤のS波速度 $V_{se}$  (杭長さが同じ場合: 杭長さ25.0m)の影響

#### 4. 建物の地震応答解析と建物応答倍率の算出

建物の地震応答解析は、地盤と建物の相互作用効果を考慮できる SR モデル、および相互作用の影響を無視した基礎固定モデルの 2 パターンで多質点系の時刻歴応答解析を行う (図 III-4-1)。SR モデルは、第 II 章に示した各建物モデルに、本章第 3 節の結果から求めた地盤ばね (剛性と減衰定数) を加えて構築する。そして、本章第 2 節で算定した基礎入力動を用い、両モデルの地震応答解析を実施する。こうして基礎固定モデルによる最大層間変形角  $R_{fix}$  と SR モデルによる最大層間変形角  $R_{SR}$  を求め、建物応答倍率  $R_{SR}/R_{fix}$  を算出する。

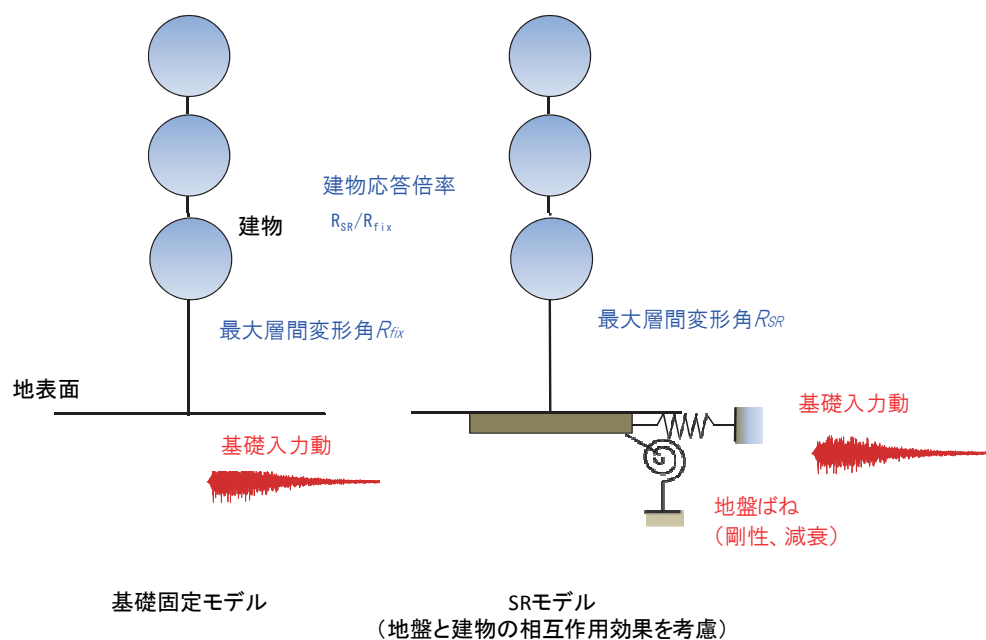


図 III-4-1 建物の地震応答解析の概要  
(入力パラメータ : 赤 出力パラメータ : 青)



# 第IV章 建物応答倍率の分析

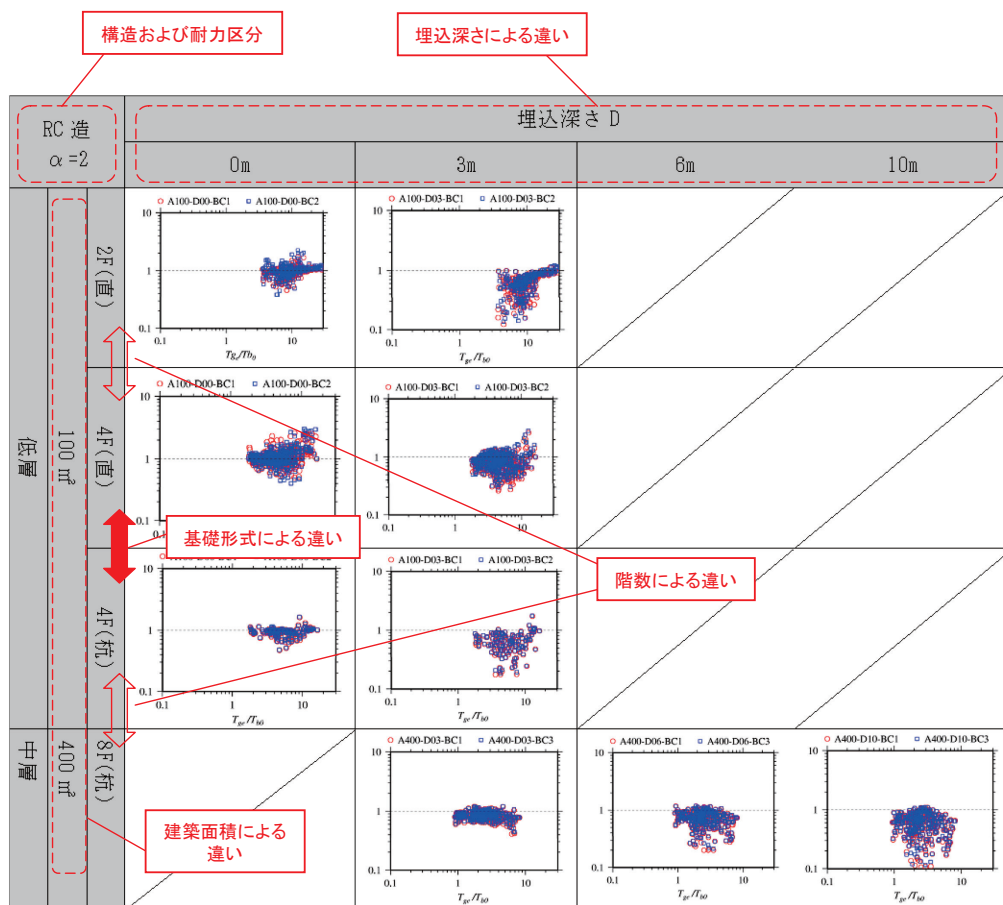
## 1. 建物応答倍率の定性的傾向

第III章で算出した建物応答倍率  $R_{Sr}/R_{fix}$  に対し、各解析パラメータが与える影響をまず定性的に把握するために、各解析ケースの建物応答倍率の値をプロットしてその分布状況を調べる。

解析結果の一覧を表IV-1-1(1)～(5)に示す。これらの表示方法は以下のとおりである。

### ○ レイアウト

表IV-1-1では、建物耐力  $C_y$  (建物耐力に関わる係数  $\alpha$ )、建築面積  $A$  およびアスペクト比  $BC$ 、埋込深さ  $D$ 、建物階数  $N$ 、構造種別、基礎形式の各条件を変化させたときの建物応答倍率の算定結果を示している。煩雑さを避けるため、すべての解析結果を掲載するのではなく、建物パラメータを順に変動させた代表的な結果を示し、比較できるようにグラフを配置している。表IV-1-1のレイアウトの例とその見方を図IV-1-1に示す。



図IV-1-1 表IV-1-1のレイアウトの例

○ グラフ

表IV-1-1の各グラフの見方を図IV-1-2に示す。

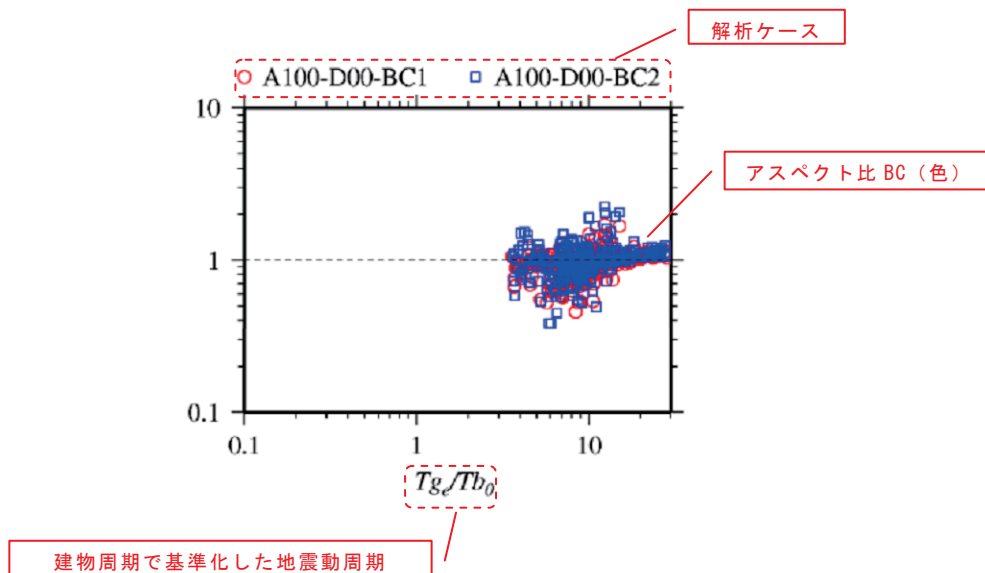
上部に示した記号は解析ケースを表す。建築面積 A、埋込深さ D、アスペクト比 BC の順番に、例えば A100-D00-BC1 の場合、建築面積 A=100m<sup>2</sup>、埋込深さ D=0m、アスペクト比 BC=1 の建物の解析結果を意味する。

相互作用効果は地震動と建物の周期特性の相互の関係により変化することが一般に指摘されていることから、横軸の地震動指標には、建物の弾性一次固有周期  $T_{b0}$  で基準化した地震動の周期特性  $T_{ge}/T_{b0}$  を定義して用いる。地震動の略算周期  $T_{ge}$  とは、地震動の最大加速度 PGA と最大速度 PGV の比 (A/V と表記する) から、次式で算出されるものである。

$$T_{ge} = 2\pi / (A/V) \quad (\text{式IV.1-1})$$

なお、基礎入力動は、同じ地盤条件であっても埋込深さによって変化するが、ここでは統一的な指標で分析を行うため、基礎固定の場合 (あるいは埋め込みがない場合) の基礎入力動、すなわち地表面上の地震動を基準としている。

$T_{ge}/T_{b0}$  が 1 を超える場合には、対象建物の固有周期よりも周期の長い地震動が入力しており、逆に、 $T_{ge}/T_{b0}$  が 1 未満の場合には、対象建物の固有周期よりも周期の短い地震動が入力している事を意味する。

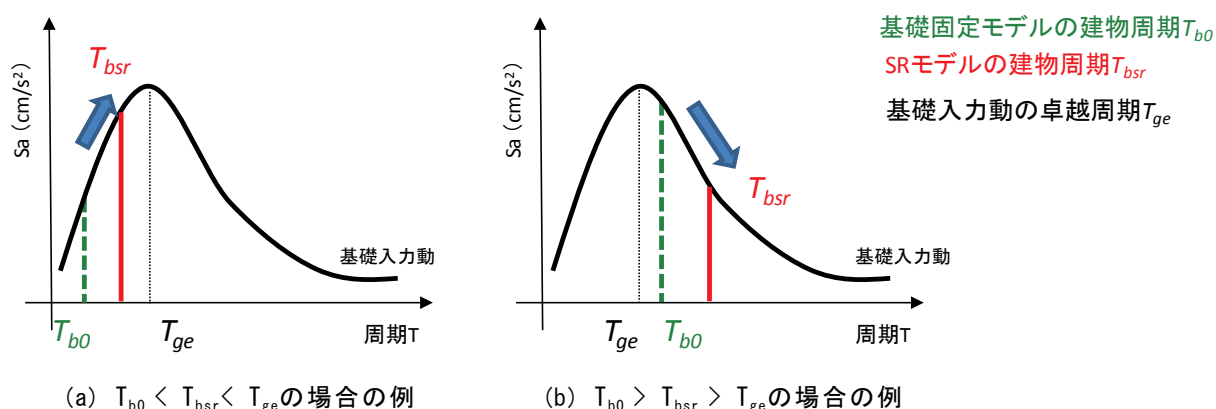


図IV-1-2 表IV-1-1のグラフ見方の例

$T_{ge}/T_{b0}$ を用いると、次のような分析が可能になると考えられる。

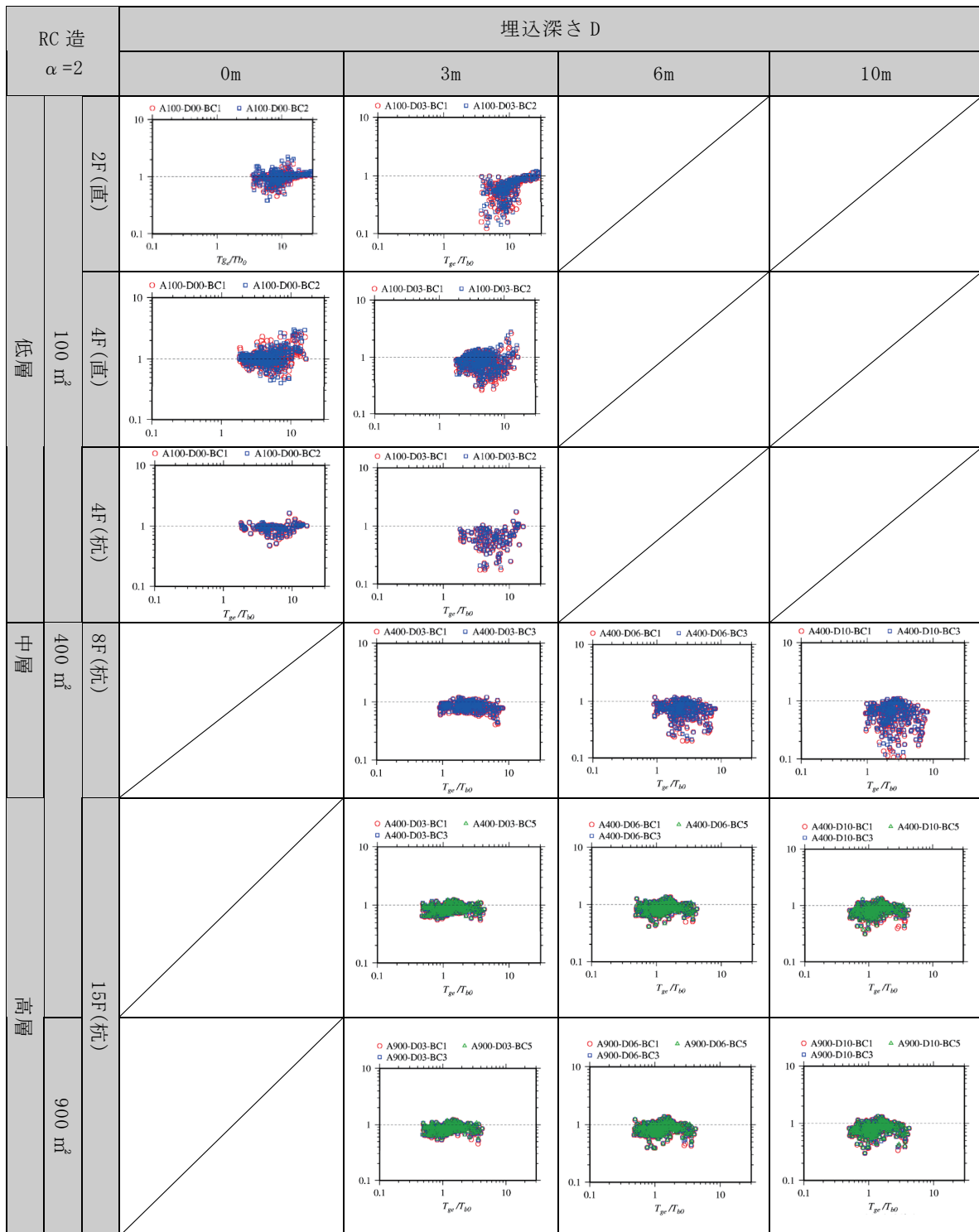
図IV-1-3は、基礎入力動を加速度応答スペクトル  $S_a$  で表し、基礎固定モデルの建物周期を  $T_{b0}$ 、SRモデルの建物周期を  $T_{bsr}$  と表した概念図である。相互作用効果を考慮した場合、SRモデルの建物周期は基礎固定時よりも伸びるため、建物応答に影響する基礎入力動の周期も変化する。たとえば、建物周期  $T_{b0}$  よりも周期が長く (a) のような形状の基礎入力動の場合、SRモデルの建物周期が  $T_{bsr}$  まで変化すれば、建物の固有周期と基礎入力動の卓越周期が合ってくるため、SRモデルでは最大層間変形角は増大し、建物応答倍率は大きくなる。一方、建物周期  $T_{b0}$  よりも周期が短く (b) のような形状の基礎入力動の場合、SRモデルの建物周期が  $T_{bsr}$  まで変化すれば、建物の固有周期と基礎入力動の卓越周期が合わなくなり、建物の最大層間変形角も小さくなるため建物応答倍率は小さくなると考えられる。

なお、表IV-1-1では、上記のような明瞭な傾向を見ることはできない。これは、 $T_{b0}$  はあくまで建物の弾性1次固有周期であり、地震動が作用した時の建物周期は  $T_{b0}$  よりも長くなること、応答スペクトルは実際には図IV-1-3のような単純な形をしていてはならず2次ピーク等のスペクトル特性も結果に影響し得ること、地盤と建物の相互作用効果には、建物の周期の変化の他に基礎と地盤でのエネルギー消費も影響することなどが原因と考えられる。

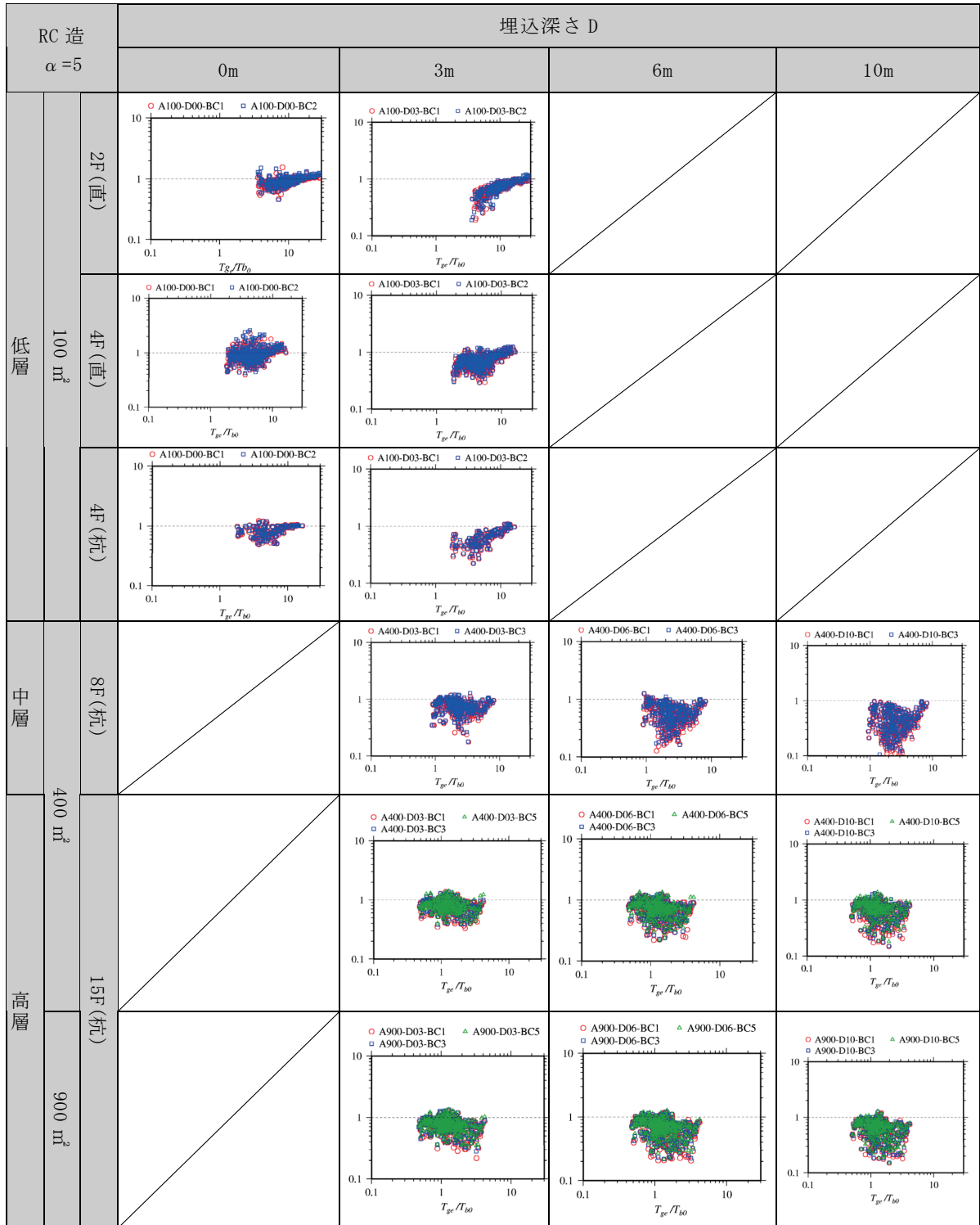


図IV-1-3 地震動の周期特性と建物応答倍率との関係のイメージ図

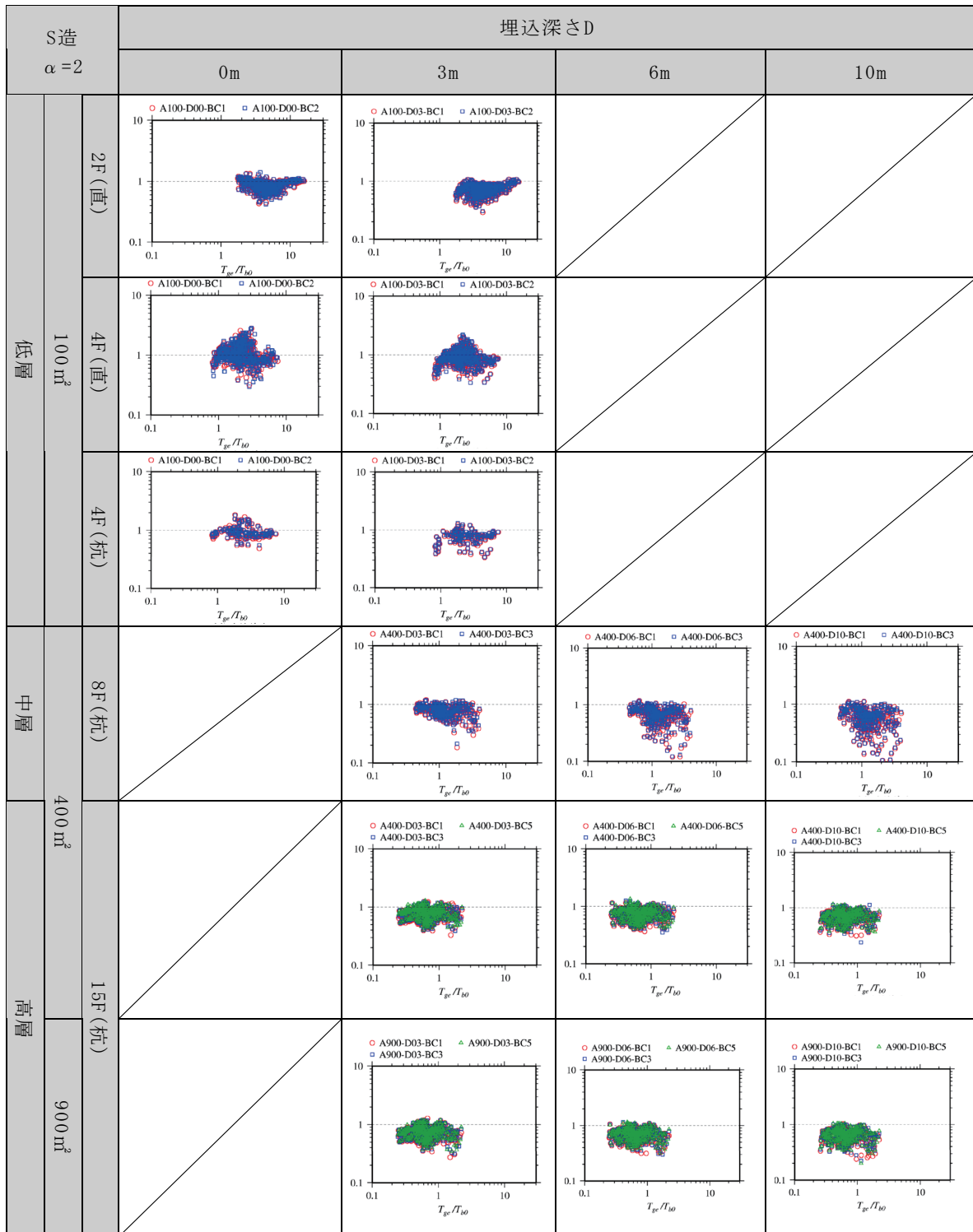
表IV-1-1(1) 建物応答倍率の建物パラメータによる違い



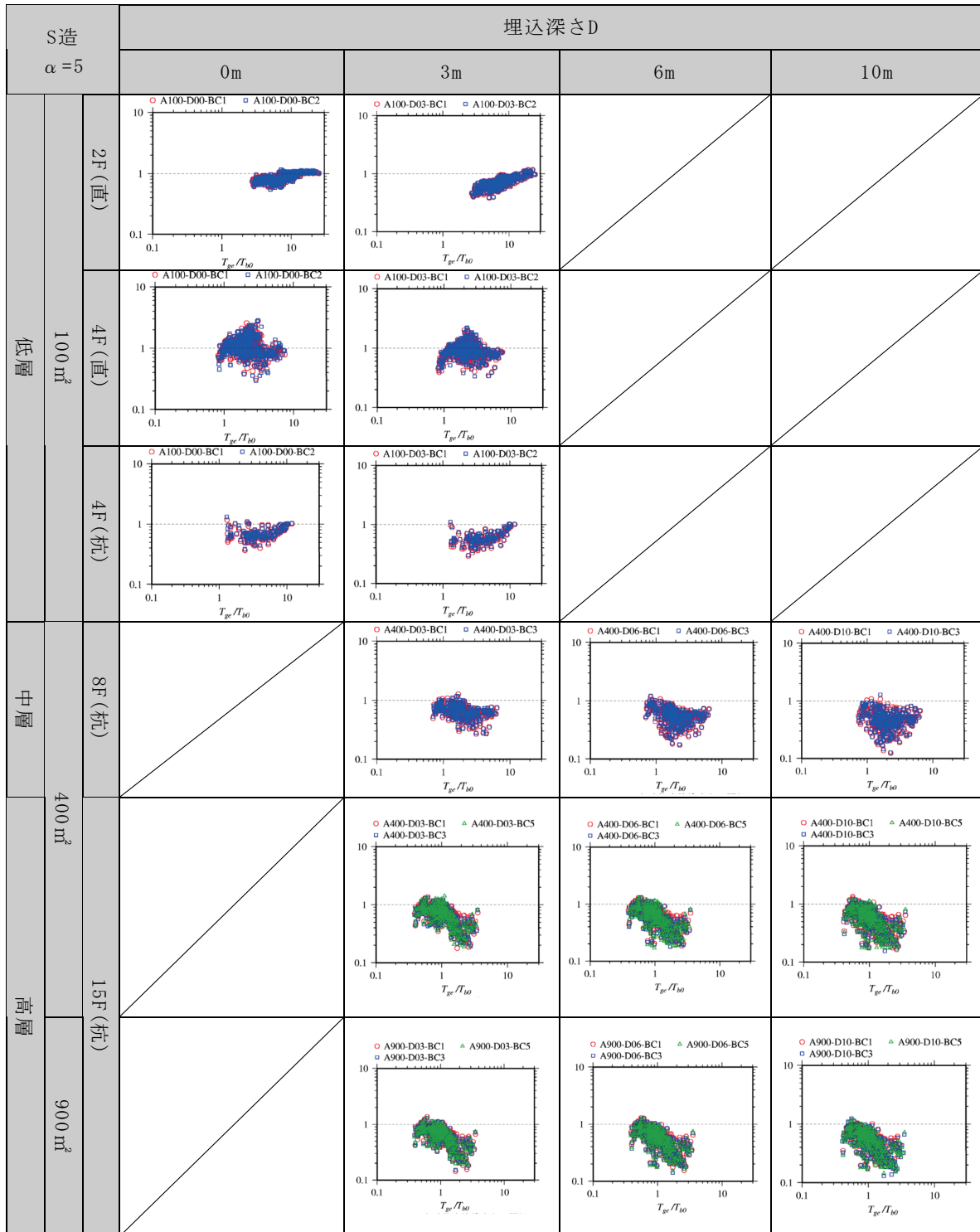
表IV-1-1(2) 建物応答倍率の建物パラメータによる違い



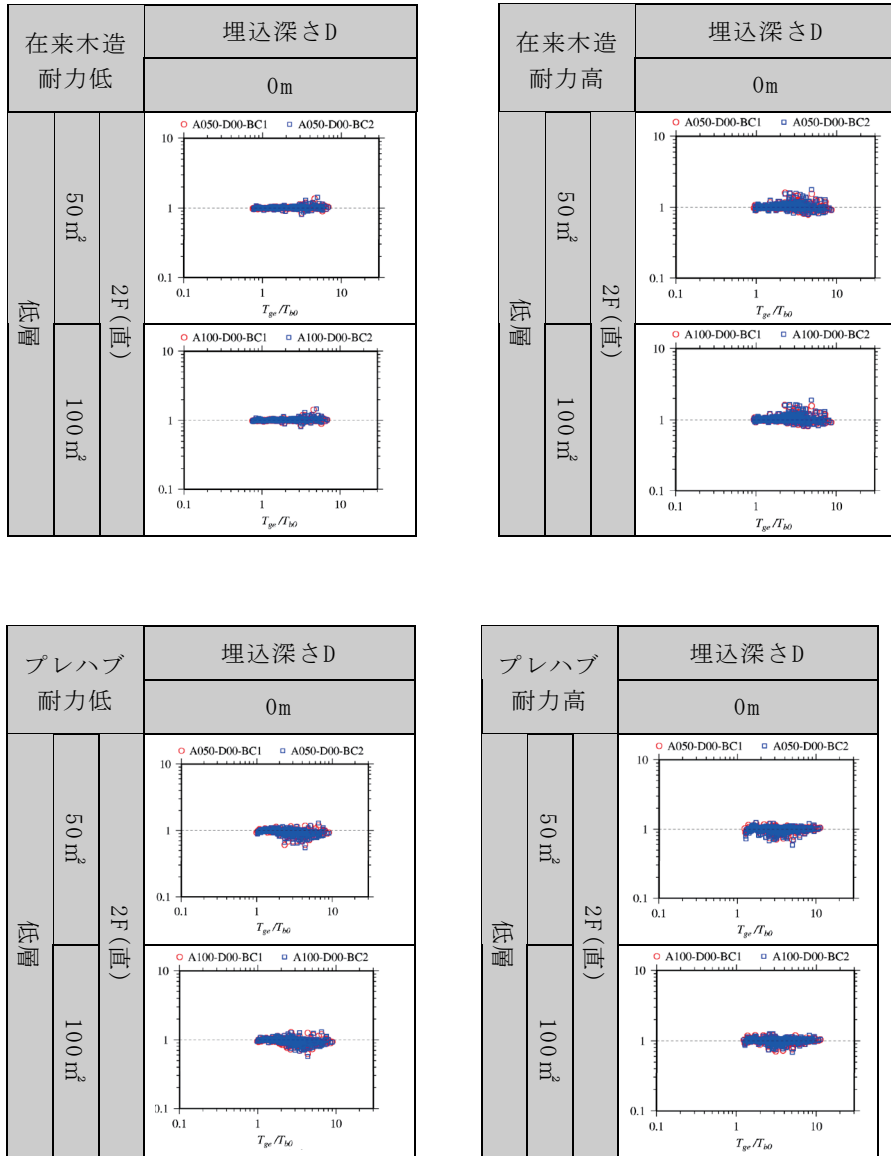
表IV-1-1(3) 建物応答倍率の建物パラメータによる違い



表IV-1-1(4) 建物応答倍率の建物パラメータによる違い



表IV-1-1(5) 建物応答倍率の建物パラメータによる違い





表IV-1-1 から、次のことがわかる。

- ・多くの場合、建物応答倍率は1以下となっている。
- ・RC造とS造の違いは小さい。
- ・木造建物の場合、構造種別、地震動の周期特性に関わらず、建物応答倍率は概ね1となっている。木造建物の剛性、耐力は、S造、RC造建物と比べて1/5程度と低くなっているため、慣性の相互作用効果がほとんど生じないこと、埋込を考慮していないことが影響していると考えられる。
- ・建物階数・建物耐力・構造によって $T_{b0}$ の範囲が異なるため、基準化した周期特性 $T_{ge}/T_{b0}$ の範囲も異なる。建物階数が低いほど $T_{b0}$ は小さく、高いほど $T_{b0}$ は大きくなる。従って、 $T_{ge}/T_{b0}$ の範囲は階数が小さいほど右側 ( $T_{ge}/T_{b0}$  大) に寄り、高い程左側 ( $T_{ge}/T_{b0}$  小) に寄る。また、同じ $T_{ge}/T_{b0}$ でも建物応答倍率の大きさが異なる。
- ・埋込深さが3mと比較的浅い場合でも、埋込みがあることにより建物応答倍率は大きく低下している。埋込深さの影響は基礎形式に関わらず、同様の傾向となっている。例えば、図IV-1-1(1) 2F(直)の埋込み深さ別の比較からその傾向がよくわかる。
- ・建物応答倍率は、4階建てRC造建物では、建物の基礎形式の違いによって大きな違いが見られている。杭基礎形式では、直接基礎形式に比べて建物応答倍率は1付近に近づく結果となっているが、これは、特に回転成分の地盤ばねが大きくなり、建物のロッキング挙動に対する拘束力が強まるためと考えられる。例えば、図IV-1-1(1) 4F(直)と4F(杭)の比較からその傾向がわかる。
- ・建物耐力が高くなるに従い建物応答倍率が小さくなっている。例えば、図IV-1-1(1)と図IV-1-1(2)、図IV-1-1(3)と図IV-1-1(4)の15F以上で顕著である。そのほかの階数では大きな違いは見られない。
- ・建築面積・アスペクト比の違い（プロットの色）によって、建物応答倍率はほとんど変化していない。

## 2. 建物応答倍率の定量的傾向

### 2-1. 建物の解析パラメータにより分類した建物応答倍率

建物の解析パラメータごとに分類した建物応答倍率の平均値および変動係数を示す。各図では、平均値を点で示し、平均値 $\pm 1\sigma$ を線で表している。各図の横軸のNo.は各表のNo.に対応しており、建物モデルの解析パラメータの違いにより分類している。なお、建物モデルの解析パラメータは、構造種別、建物階数、建物耐力、埋込深さ、基礎形式、建築面積、アスペクト比である。

以下では、解析ケースを記号で表し、構造種別（RC造建物：RC，S造建物：ST，在来木造：WH，木質プレハブ：WP）、建物階数、基礎形式（直接基礎：S，杭基礎：P）、建物耐力 $\alpha$ 、建築面積A、埋込深さD、アスペクト比BCの順番に記号で示すことがある。例えば、RC04-S- $\alpha$ 2-A100-D00-BC1の場合、4階建RC造直接基礎形式建物で建物耐力に係る係数 $\alpha=2$ 、建築面積A=100m<sup>2</sup>、埋込深さD=0m、アスペクト比BC=1の建物に対する解析結果を表す。

#### (1) 木造建物

木造建物の建物応答倍率の平均値と変動係数および平均値 $\pm 1\sigma$ を表IV-2-1および図IV-2-1に示す。木造建物の建物応答倍率の評価モデルの一例として、2階建て在来工法の場合の結果を示しているが、3階建ての場合、木質プレハブの場合も傾向は同様である。

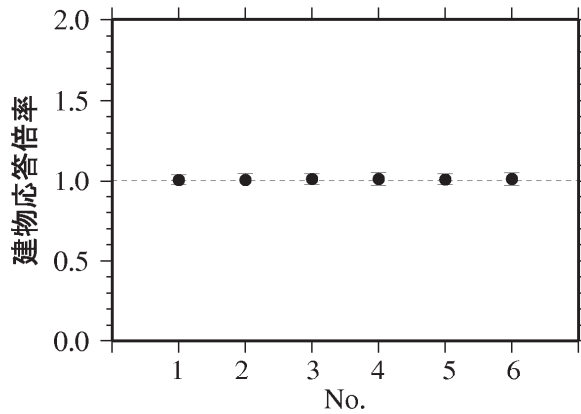
図表から、木造建物の建物応答倍率について次のことがわかる。

- ・木造建物の場合、建物応答倍率の平均値はいずれのケースにおいてもほぼ1で、変動係数も0.1以下と小さい。

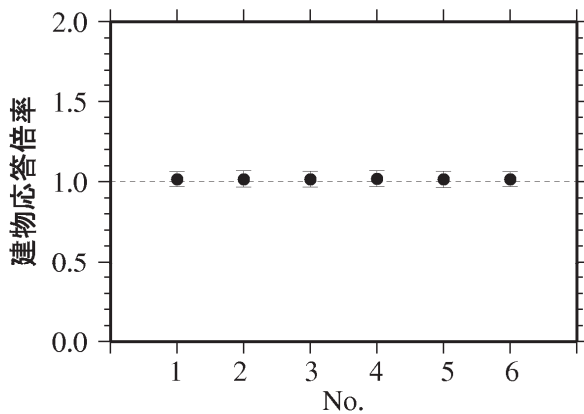
以上から、一般的に言われているとおり、地盤と建物の相互作用効果が建物応答に及ぼす影響は極めて小さく、無視できるレベルであると考えられる。

表IV-2-1 2階建て在来木造建物の建物応答倍率の平均値と変動係数

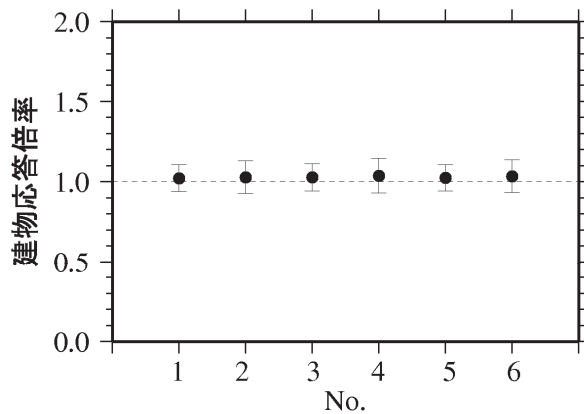
No.	建築面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	埋込 $D$ (m)	アスペクト比 $BC$	短辺長さ $B$ (m)	建物耐力								
					(低)			(中)			(高)		
					平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
1	50	0	1	7.1	1.01	0.03	526	1.02	0.04	527	1.02	0.08	525
2			2	5.0	1.01	0.04	492	1.02	0.05	492	1.03	0.10	490
3	100	0	1	7.1	1.01	0.03	527	1.02	0.05	527	1.03	0.08	525
4			2	5.0	1.01	0.04	527	1.02	0.05	528	1.04	0.10	526
5	150	0	1	7.1	1.01	0.03	527	1.01	0.05	527	1.02	0.08	525
6			2	5.0	1.01	0.04	528	1.02	0.05	528	1.03	0.10	526



(a) WH02-S- $\alpha$  2



(b) WH02-S- $\alpha$  3



(c) WH02-S- $\alpha$  5

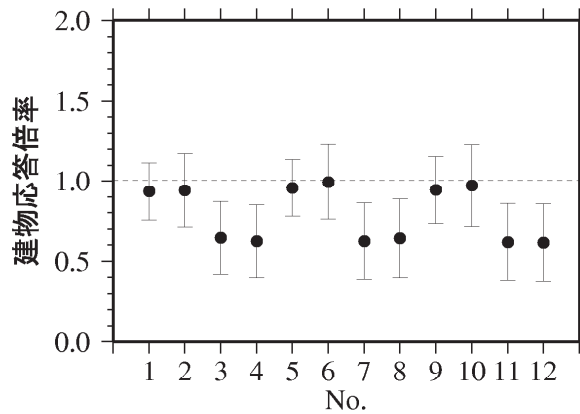
図IV-2-1 2階建て在来木造建物の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

## (2) RC 造建物

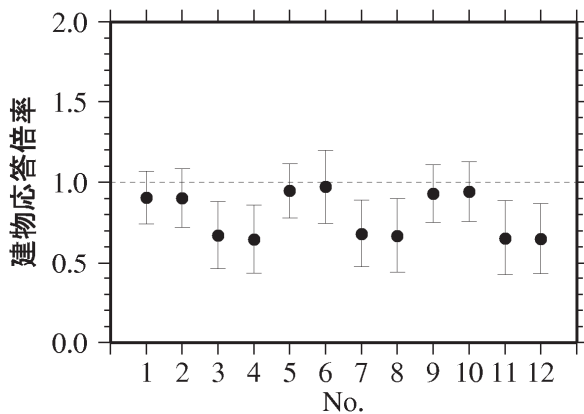
RC 造建物の建物応答倍率を、建物階数ごとにそれぞれ表IV-2-2～表IV-2-5 および図IV-2-2～図IV-2-5 に示す。

表IV-2-2 2階建てRC造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

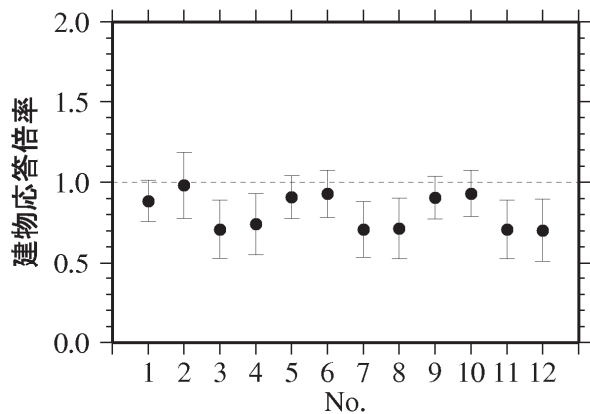
No.	建築面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	埋込 $D$ (m)	アスペクト比 $BC$	短辺長さ $B$ (m)	建物耐力 $\alpha$								
					2(低)			3(中)			5(高)		
					平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
1	50	0	1	7.1	0.93	0.19	501	0.90	0.18	506	0.89	0.14	489
2			5.0	0.94	0.25	490	0.90	0.20	457	0.98	0.21	339	
3		3	1	7.1	0.64	0.35	373	0.67	0.32	376	0.71	0.25	384
4			2	5.0	0.62	0.36	484	0.65	0.33	488	0.74	0.26	326
5	100	0	1	10.0	0.96	0.19	298	0.95	0.18	302	0.91	0.15	311
6			2	7.1	0.99	0.24	315	0.97	0.23	318	0.93	0.16	326
7		3	1	10.0	0.62	0.38	262	0.68	0.31	266	0.71	0.24	273
8			2	7.1	0.64	0.38	262	0.67	0.34	265	0.71	0.26	277
9	150	0	1	12.2	0.94	0.22	257	0.93	0.19	248	0.91	0.15	257
10			2	8.7	0.97	0.26	260	0.94	0.20	270	0.93	0.15	268
11		3	1	12.2	0.62	0.39	249	0.65	0.35	254	0.71	0.26	250
12			2	8.7	0.61	0.39	238	0.65	0.34	252	0.70	0.27	267



(a) RC02-S- $\alpha$  2



(b) RC02-S- $\alpha$  3

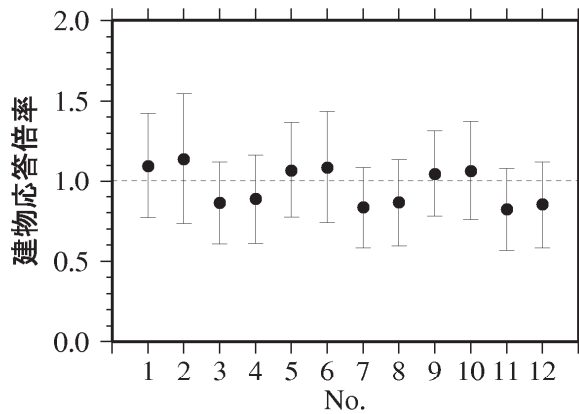


(c) RC02-S- $\alpha$  5

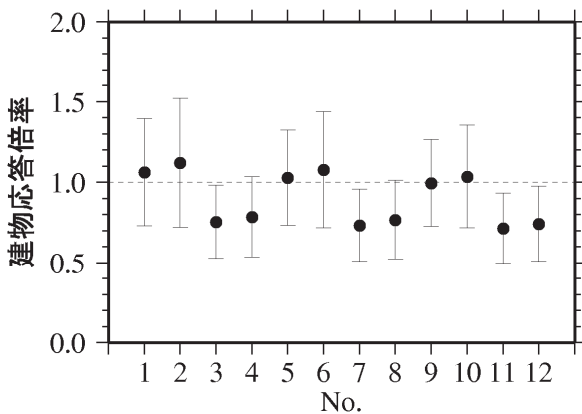
図IV-2-2 2階建てRC造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均値 $\pm 1\sigma$

表IV-2-3(1) 4階建てRC造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

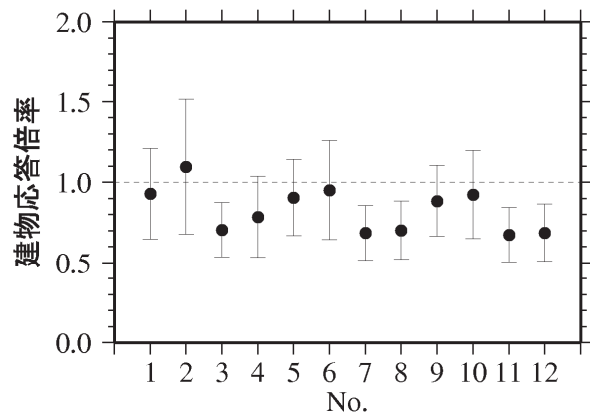
No.	建築面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	埋込 $D$ (m)	アスペクト比 $BC$	短辺長さ $B$ (m)	建物耐力 $\alpha$								
					2(低)			3(中)			5(高)		
					平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
1	50	0	1	7.1	1.09	0.30	520	1.06	0.31	515	0.93	0.30	517
2			5.0	1.14	0.36	486	1.12	0.36	480	1.10	0.38	484	
3		3	1	7.1	0.86	0.30	522	0.75	0.30	516	0.71	0.24	520
4			2	5.0	0.88	0.31	517	0.78	0.32	511	0.79	0.32	519
5	100	0	1	10.0	1.07	0.28	521	1.03	0.29	516	0.91	0.26	518
6			2	7.1	1.08	0.32	521	1.08	0.33	516	0.95	0.32	520
7		3	1	10.0	0.83	0.30	520	0.73	0.31	516	0.69	0.25	520
8			2	7.1	0.86	0.31	522	0.77	0.32	515	0.70	0.26	520
9	150	0	1	12.2	1.04	0.26	521	0.99	0.27	516	0.88	0.25	519
10			2	8.7	1.06	0.29	522	1.04	0.31	516	0.92	0.30	519
11		3	1	12.2	0.82	0.31	521	0.72	0.31	516	0.67	0.25	520
12			2	8.7	0.85	0.32	521	0.74	0.31	516	0.69	0.26	520



(a) RC04-S- $\alpha$ 2



(b) RC04-S- $\alpha$ 3

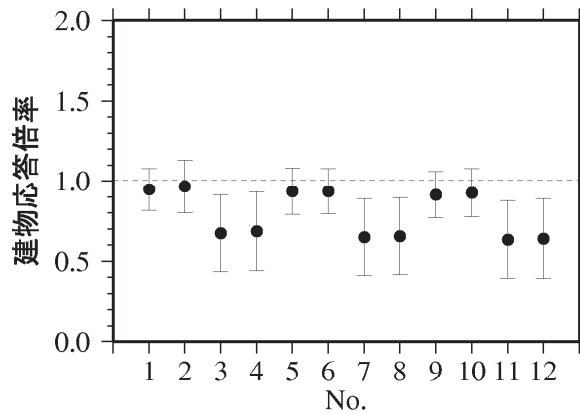


(c) RC04-S- $\alpha$ 5

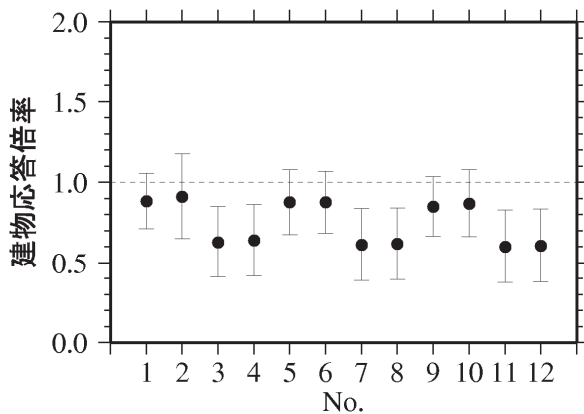
図IV-2-3(1) 4階建てRC造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均値 $\pm 1\sigma$

表IV-2-3 (2) 4階建てRC造建物(杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

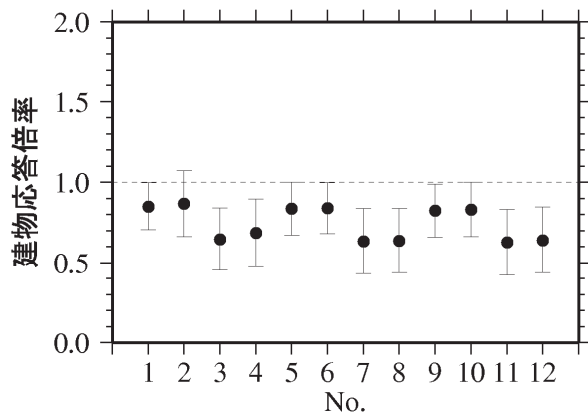
No.	建築面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	埋込 $D$ (m)	アスペクト比 $BC$	短辺長さ $B$ (m)	建物耐力 $\alpha$								
					2(低)			3(中)			5(高)		
					平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
1	50	0	1	7.1	0.94	0.14	143	0.88	0.19	142	0.85	0.17	143
2			5.0	0.96	0.17	143	0.91	0.29	142	0.87	0.24	143	
3		3	1	7.1	0.67	0.36	139	0.63	0.35	138	0.65	0.30	139
4			2	5.0	0.68	0.36	139	0.64	0.35	138	0.69	0.31	139
5	100	0	1	10.0	0.93	0.15	143	0.88	0.23	142	0.84	0.20	143
6			2	7.1	0.93	0.15	143	0.88	0.22	142	0.84	0.19	143
7		3	1	10.0	0.65	0.37	139	0.61	0.37	138	0.63	0.32	139
8			2	7.1	0.65	0.37	139	0.62	0.36	138	0.64	0.31	139
9	150	0	1	12.2	0.91	0.16	143	0.85	0.22	142	0.82	0.20	143
10			2	8.7	0.92	0.16	143	0.87	0.24	142	0.83	0.20	143
11		3	1	12.2	0.63	0.38	139	0.60	0.37	138	0.63	0.33	139
12			2	8.7	0.64	0.39	131	0.61	0.38	130	0.64	0.32	131



(a) RC04-P- $\alpha$  2



(b) RC04-P- $\alpha$  3

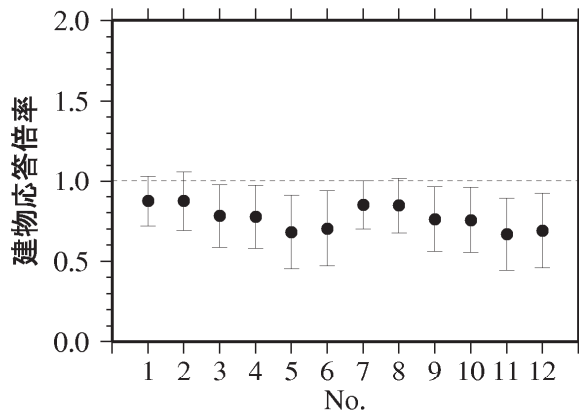


(c) RC04-P- $\alpha$  5

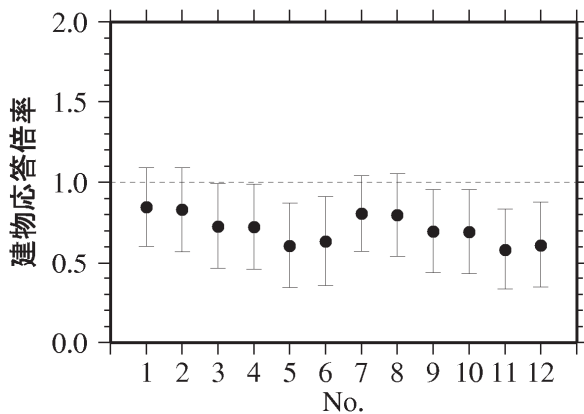
図IV-2-3 (2) 4階建てRC造建物(杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均値 $\pm 1\sigma$

表IV-2-4(1) 8階建てRC造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

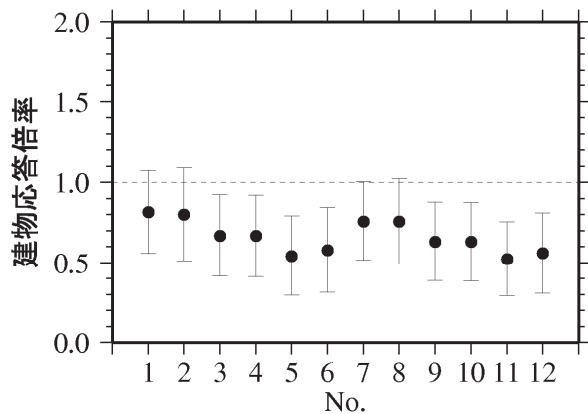
No.	建築面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	埋込 $D$ (m)	アスペクト比 $BC$	短辺長さ $B$ (m)	建物耐力 $\alpha$								
					2(低)			3(中)			5(高)		
					平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
1	200	3	1	14.1	0.87	0.18	518	0.85	0.29	515	0.82	0.32	442
2			3	8.7	0.87	0.21	502	0.83	0.31	497	0.80	0.36	507
3		6	1	14.1	0.78	0.25	518	0.73	0.37	515	0.67	0.38	523
4			3	8.7	0.77	0.26	513	0.72	0.37	511	0.67	0.38	518
5		10	1	14.1	0.68	0.34	515	0.61	0.43	509	0.54	0.46	521
6			3	8.7	0.70	0.33	506	0.63	0.44	502	0.58	0.46	511
7	400	3	1	20.0	0.85	0.18	518	0.81	0.29	515	0.76	0.32	523
8			3	11.6	0.84	0.20	518	0.80	0.32	515	0.76	0.35	523
9		6	1	20.0	0.76	0.26	518	0.70	0.37	513	0.63	0.39	523
10			3	11.6	0.75	0.27	518	0.69	0.38	515	0.63	0.39	523
11		10	1	20.0	0.66	0.34	516	0.58	0.43	512	0.52	0.44	523
12			3	11.6	0.69	0.34	507	0.61	0.44	503	0.56	0.45	512



(a) RC08-S- $\alpha$ 2



(b) RC08-S- $\alpha$ 3



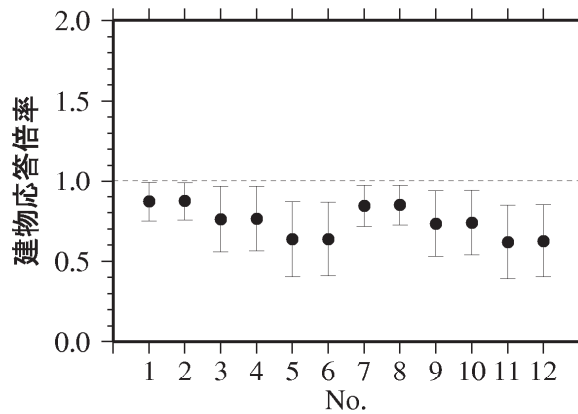
(c) RC08-S- $\alpha$ 5

図IV-2-4(1) 8階建てRC造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均値 $\pm 1\sigma$

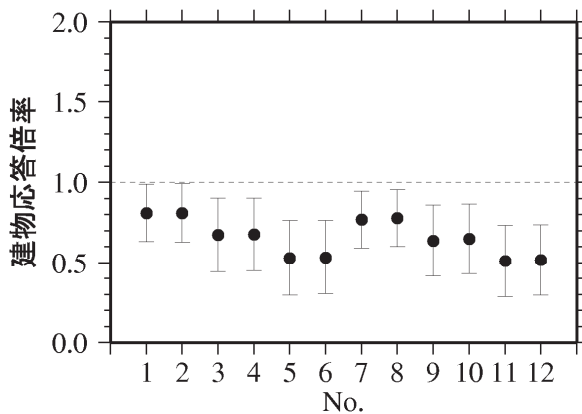


表IV-2-4(2) 8階建てRC造建物(杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

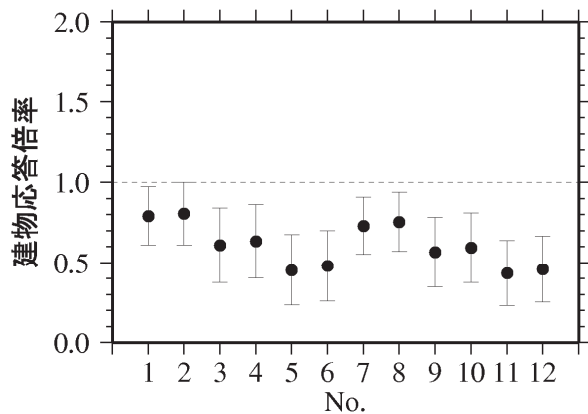
No.	建築面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	埋込 $D$ (m)	アスペクト比 $BC$	短辺長さ $B$ (m)	建物耐力 $\alpha$								
					2(低)			3(中)			5(高)		
					平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
1	200	3	1	14.1	0.87	0.14	344	0.81	0.22	344	0.79	0.23	344
2			3	8.7	0.87	0.14	344	0.81	0.22	344	0.81	0.24	344
3		6	1	14.1	0.76	0.27	340	0.67	0.34	338	0.61	0.38	340
4			3	8.7	0.76	0.26	338	0.68	0.33	338	0.63	0.36	340
5		10	1	14.1	0.63	0.37	325	0.53	0.44	319	0.45	0.49	326
6			3	8.7	0.64	0.36	327	0.53	0.43	324	0.48	0.46	327
7	400	3	1	20.0	0.84	0.15	345	0.77	0.23	345	0.73	0.24	345
8			3	11.6	0.85	0.15	344	0.78	0.23	344	0.76	0.25	344
9		6	1	20.0	0.73	0.28	340	0.64	0.35	338	0.57	0.38	340
10			3	11.6	0.74	0.27	339	0.65	0.33	338	0.59	0.37	340
11		10	1	20.0	0.62	0.37	326	0.51	0.44	319	0.43	0.47	326
12			3	11.6	0.62	0.36	327	0.52	0.43	324	0.46	0.45	327



(a) RC08-P- $\alpha$  2



(b) RC08-P- $\alpha$  3

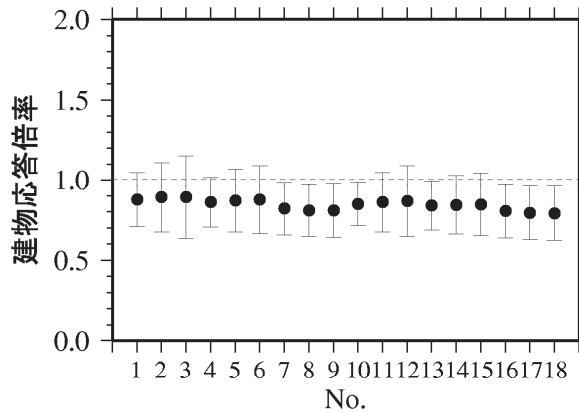


(c) RC08-P- $\alpha$  5

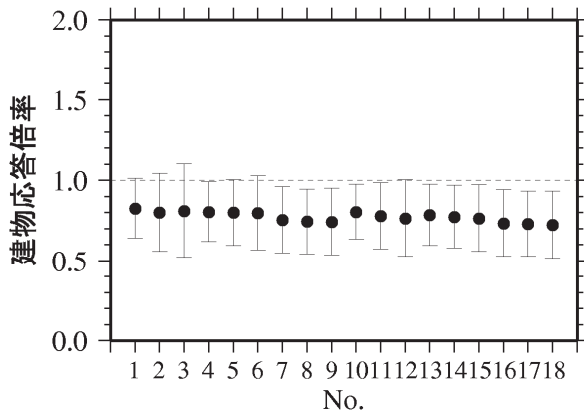
図IV-2-4(2) 8階建てRC造建物(杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均値 $\pm 1\sigma$

表IV-2-5(1) 15階建てRC造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

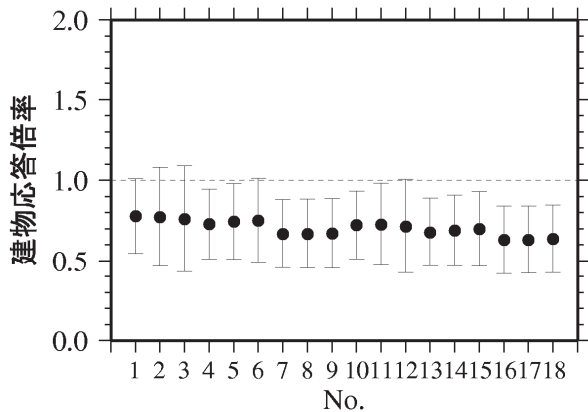
No.	建築面積 A (m <sup>2</sup> )	埋込 D (m)	アスペクト比 BC	短辺長さ B (m)	建物耐力 $\alpha$								
					2(低)			3(中)			5(高)		
					平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
1	400	3	1	20.0	0.87	0.19	516	0.83	0.22	512	0.78	0.30	508
2			3	11.6	0.89	0.25	515	0.80	0.30	511	0.77	0.40	508
3			5	8.9	0.89	0.29	515	0.81	0.36	510	0.76	0.43	508
4		6	1	20.0	0.86	0.18	517	0.80	0.23	513	0.73	0.30	510
5			3	11.6	0.87	0.23	517	0.80	0.26	513	0.74	0.32	510
6			5	8.9	0.87	0.24	518	0.80	0.29	514	0.75	0.35	512
7		10	1	20.0	0.82	0.20	513	0.75	0.27	509	0.67	0.32	507
8			3	11.6	0.81	0.20	510	0.74	0.27	505	0.67	0.32	504
9			5	8.9	0.81	0.21	507	0.74	0.28	504	0.67	0.32	502
10	900	3	1	30.0	0.85	0.16	516	0.80	0.21	513	0.72	0.29	511
11			3	17.4	0.86	0.22	516	0.78	0.27	512	0.73	0.35	510
12			5	13.4	0.86	0.26	518	0.76	0.31	514	0.71	0.41	512
13		6	1	30.0	0.84	0.18	517	0.78	0.24	514	0.68	0.31	512
14			3	17.4	0.84	0.22	517	0.77	0.25	513	0.69	0.32	511
15			5	13.4	0.84	0.23	518	0.76	0.27	514	0.70	0.33	512
16		10	1	30.0	0.80	0.21	513	0.73	0.28	508	0.63	0.33	506
17			3	17.4	0.79	0.21	510	0.73	0.28	506	0.63	0.33	504
18			5	13.4	0.79	0.21	510	0.72	0.29	506	0.64	0.33	504



(a) RC15-S- $\alpha$ 2



(b) RC15-S- $\alpha$ 3

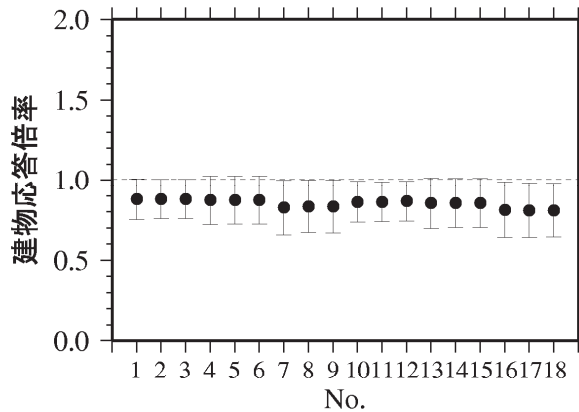


(c) RC15-S- $\alpha$ 5

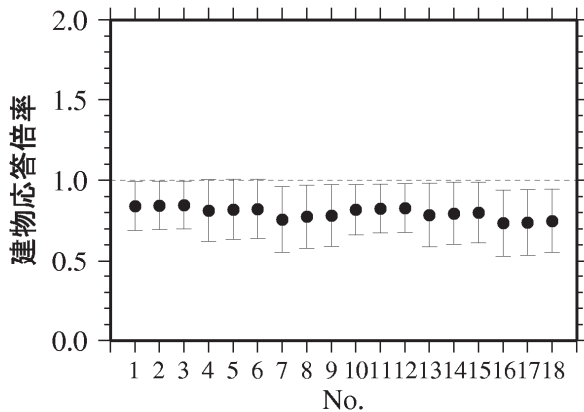
図IV-2-5 (1) 15階建てRC造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均値 $\pm 1\sigma$

表IV-2-5(2) 15階建てRC造建物(杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

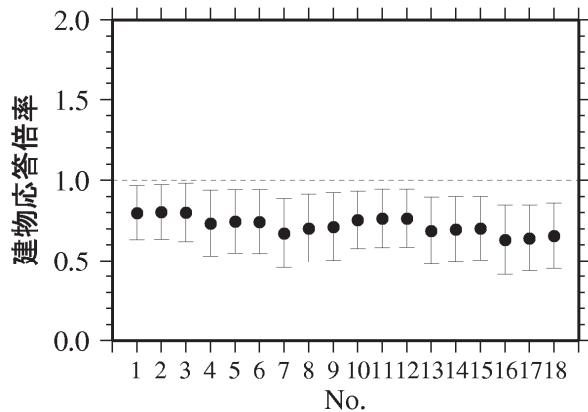
No.	建築面積 A (m <sup>2</sup> )	埋込 D (m)	アスペクト比 BC	短辺長さ B (m)	建物耐力 $\alpha$								
					2(低)			3(中)			5(高)		
					平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
1	400	3	1	20.0	0.88	0.14	397	0.84	0.18	423	0.80	0.21	424
2			3	11.6	0.88	0.14	425	0.84	0.18	424	0.80	0.21	425
3			5	8.9	0.88	0.14	426	0.85	0.17	424	0.80	0.23	425
4		6	1	20.0	0.87	0.18	428	0.81	0.24	423	0.73	0.28	427
5			3	11.6	0.87	0.17	428	0.82	0.23	423	0.74	0.27	427
6			5	8.9	0.87	0.17	425	0.82	0.22	420	0.74	0.27	425
7		10	1	20.0	0.82	0.21	405	0.76	0.27	401	0.67	0.32	404
8			3	11.6	0.83	0.20	401	0.77	0.25	397	0.70	0.30	400
9			5	8.9	0.83	0.20	395	0.78	0.24	390	0.71	0.30	394
10	900	3	1	30.0	0.86	0.15	420	0.82	0.19	418	0.75	0.24	419
11			3	17.4	0.86	0.14	427	0.83	0.18	426	0.76	0.24	427
12			5	13.4	0.86	0.14	426	0.83	0.18	424	0.76	0.23	425
13		6	1	30.0	0.85	0.19	428	0.78	0.25	423	0.69	0.31	427
14			3	17.4	0.85	0.18	425	0.80	0.24	420	0.70	0.29	424
15			5	13.4	0.85	0.18	428	0.80	0.24	422	0.70	0.28	427
16		10	1	30.0	0.81	0.21	404	0.73	0.28	398	0.63	0.34	402
17			3	17.4	0.81	0.21	408	0.74	0.27	404	0.64	0.32	407
18			5	13.4	0.81	0.21	399	0.75	0.26	395	0.65	0.31	398



(a) RC15-P- $\alpha$  2



(b) RC15-P- $\alpha$  3



(c) RC15-P- $\alpha$  5

図IV-2-5(2) 15階建てRC造建物(杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均値 $\pm 1\sigma$

図表から、RC造建物の建物応答倍率について次のことがわかる。

- いずれの階数においても、埋込深さが深くなるに従い、建物応答倍率の平均値は小さくなり、埋込深さが建物応答倍率に及ぼす影響は建物パラメータの中で最も大きくなっている。第Ⅲ章2-3(2)および第Ⅲ章3-3(4)で見たとおり、埋込み深さは基礎入力動に対しても地盤ばねに対しても他パラメータより強く効くため、建物応答倍率への影響も大きかったと考えられる。前者については、埋込みの分の表層地盤による増幅が小さくなる影響が大きいと考えられ、後者については基礎側面の拘束が生じることで水平成分、回転成分ともに剛性・減衰が増加する影響が働いている。
- 埋込み深さによる違いは、4階以下の低層建物で顕著であり、例えば図表IV-2-2では、埋め込みなしの場合と埋込み3mの場合で建物応答倍率が2倍近く異なるケースも見られている。また、埋込み深さが同程度でも、建物階数が高いほうが建物応答倍率は1に近づく傾向にある。たとえば、同じ直接基礎・埋め込み3mで比較すると、4階建てでは建物応答倍率は0.7程度に分布している(図表IV-2-3(1))のに対し、8階建てでは0.8程度(図表IV-2-4(1))に分布している。これは、第Ⅰ章に示したように、高層になると慣性の相互作用があまり効かなくなり、水平成分、回転成分共に影響が大きい低層のほうが慣性の相互作用効果が効きやすくなるためと考えられる。
- 建物応答倍率は、建築面積の違いによって微妙に変化しているが、その変化はいずれのケースにおいても非常に小さい。一般に、建築面積については、建築面積が大きい低層建物ほど相互作用効果により応答が下がりやすいことが指摘されているが、これは主に原子力建物などの大型建物を想定して言われることが多い。本研究の対象は、住宅建物としているため、低層建物の建築面積は、低層では150㎡にとどまっており、そこまで大きな建物を考慮していないことから建築面積の影響は小さかったものと考えられる(図表IV-2-2、IV-2-3)。一方、高層建物においては900㎡の大型の建物も想定しているが、第Ⅲ章3-3(2)で見たとおり基礎形式の地盤ばねへの影響は比較的小さいことと、高層建物では慣性の相互作用が効きづらくなることから、建築面積が大きくても、それにより応答倍率が下がるという結果にはなっていないと考えられる(図表IV-2-4、IV-2-5)。
- 建物応答倍率は、アスペクト比の違いによって微妙に変化しているが、その変化はい

ずれのケースにおいても他パラメータと比較すると非常に小さい。アスペクト比は、今回の解析では基礎入力動の評価には用いておらず、地盤ばねにのみ効く計算としてしている。第Ⅲ章 3-3 (3) で見たとおり、アスペクト比が大きくなる（つまり、建物が長くなる）と、地盤ばねの水平成分が強く、回転成分が弱くなる方向に働く。低層建物の高耐力のモデルの一部で、アスペクト比が大きくなると建物応答倍率が大きくなっている例が数例見受けられるが、住宅建物として設定したアスペクト比では、その影響が建物応答倍率に及ぼす影響は小さかったと考えられる。

- ・全体として、建物耐力が高くなるに従い、建物応答倍率は小さくなる傾向が見て取れる。建物耐力が高くなると、地盤と比べた建物の相対的な剛性が増すため、相互作用効果が効きやすくなるためと考えられる。ただし、その影響は計算ケースごとに異なっており、低層よりも高層建物で違いが明瞭に見られる。
- ・直接基礎よりも杭基礎のほうが建物応答倍率は1に近づく、すなわち相互作用効果が小さくなる。これは、第Ⅲ章 3-3 (1) で見たとおり、杭基礎のほうが直接基礎よりも地盤ばねが強く、特にロッキング動が拘束されるために建物応答が基礎固定の場合に近づくためであると考えられる。なお、基礎形式の違いは建物階数によって異なっており、埋込深さがない4階建ての場合には影響が大きい（図表Ⅳ-2-3(1)(2)の埋込0m）。一方、8階および15階建てでは、直接基礎形式と杭基礎形式では、そこまで大きな差は見られていない（図表Ⅳ-2-4(1)(2)、図表Ⅳ-2-5(1)(2)）。表層地盤のS波速度が小さい場合に杭基礎形式を用いることを想定しており、そのような場合には相互作用効果が大きくなる傾向にあるため、そのことも影響していると考えられる。

以上より、RC造建物の建物パラメータの建物応答倍率への影響は、埋め込み深さ、基礎形式、建物耐力の順に大きく、その傾向は階数ごとに異なることがわかった。また、建築面積、アスペクト比は今回想定した住宅建物については非常に影響が小さいことがわかった。

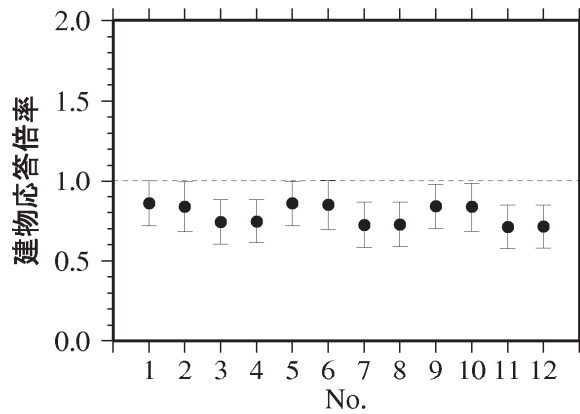
### (3) S造建物

S造建物の建物応答倍率を、建物階数ごとにそれぞれ表IV-2-6～表IV-2-9 および図IV-2-6～図IV-2-9 に示す。

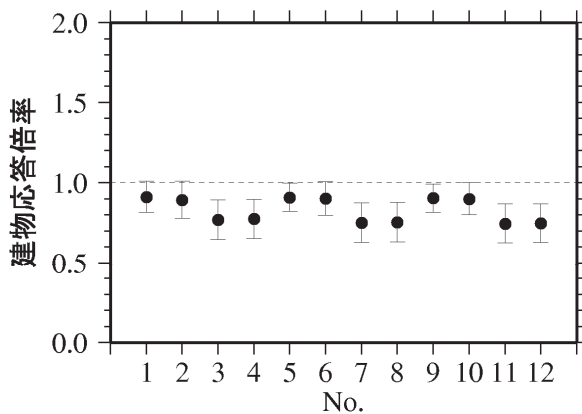
S造建物の建物応答倍率でも(2)に記載したRC造建物と同様の傾向が見られており、埋め込み深さ、基礎形式、建物耐力の順に影響が大きく、その傾向は階数ごとに異なる。また、建築面積、アスペクト比は今回想定した住宅建物については相対的に影響が小さくなっている。また、建物応答倍率の平均値をS造建物とRC造建物とで比較すると、建物階数や建物耐力によって建物応答倍率の大小関係は変化している。これはRC造建物とS造建物の周期が異なるためと考えられる。

表IV-2-6 2階建てS造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

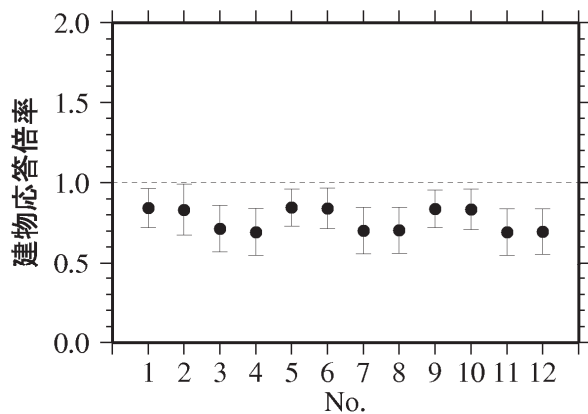
No.	建築面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	埋込 $D$ (m)	アスペクト比 $BC$	短辺長さ $B$ (m)	建物耐力 $\alpha$								
					2(低)			3(中)			5(高)		
					平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
1	50	0	1	7.1	0.86	0.17	527	0.91	0.11	527	0.84	0.14	526
2			5.0	0.84	0.19	491	0.89	0.13	490	0.83	0.19	491	
3		3	1	7.1	0.74	0.19	526	0.77	0.16	527	0.71	0.20	527
4			2	5.0	0.74	0.18	527	0.77	0.16	527	0.69	0.21	395
5	100	0	1	10.0	0.86	0.17	527	0.91	0.10	527	0.85	0.14	527
6			2	7.1	0.85	0.18	527	0.90	0.11	526	0.84	0.15	527
7		3	1	10.0	0.72	0.20	527	0.75	0.17	527	0.70	0.21	527
8			2	7.1	0.72	0.19	527	0.75	0.16	527	0.70	0.20	527
9	150	0	1	12.2	0.84	0.17	527	0.90	0.10	526	0.84	0.14	527
10			2	8.7	0.83	0.18	527	0.90	0.11	526	0.83	0.15	527
11		3	1	12.2	0.71	0.19	527	0.75	0.16	527	0.69	0.21	527
12			2	8.7	0.71	0.19	526	0.75	0.16	527	0.70	0.20	527



(a) ST02-S- $\alpha$ 2



(b) ST02-S- $\alpha$ 3

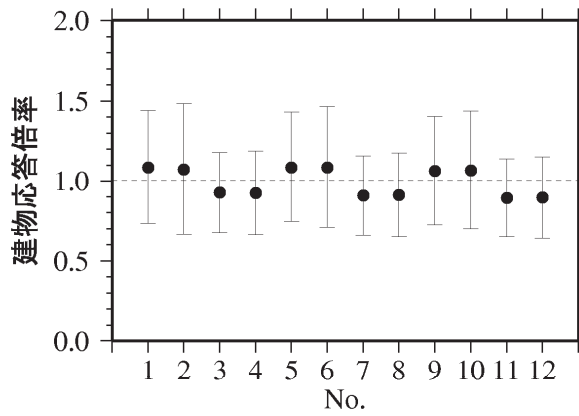


(c) ST02-S- $\alpha$ 5

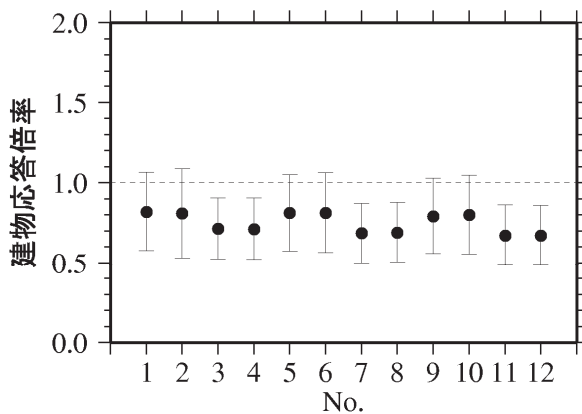
図IV-2-6 2階建てS造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均値 $\pm 1\sigma$

表IV-2-7(1) 4階建てS造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

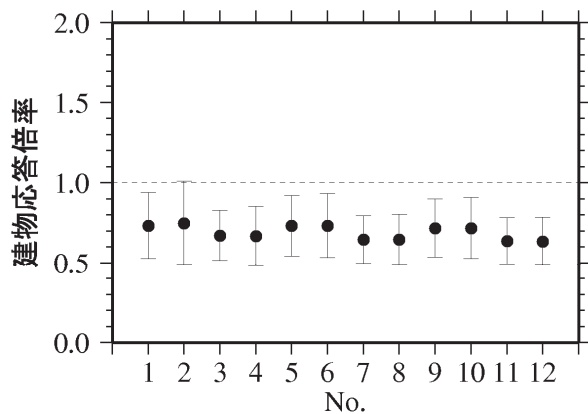
No.	建築面積 A (m <sup>2</sup> )	埋込 D (m)	アスペクト比 BC	短辺長さ B (m)	建物耐力 $\alpha$								
					2(低)			3(中)			5(高)		
					平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
1	50	0	1	7.1	1.08	0.33	499	0.82	0.30	502	0.73	0.28	500
2			5.0	1.07	0.38	466	0.81	0.34	473	0.75	0.35	524	
3		3	1	7.1	0.92	0.27	514	0.71	0.27	518	0.67	0.23	519
4			2	5.0	0.92	0.29	494	0.71	0.27	502	0.67	0.28	525
5	100	0	1	10.0	1.09	0.32	521	0.81	0.29	524	0.73	0.26	526
6			2	7.1	1.08	0.35	521	0.81	0.31	524	0.73	0.27	525
7		3	1	10.0	0.90	0.28	514	0.69	0.27	523	0.65	0.23	524
8			2	7.1	0.91	0.29	520	0.69	0.27	524	0.65	0.24	526
9	150	0	1	12.2	1.06	0.32	522	0.79	0.30	523	0.72	0.25	526
10			2	8.7	1.07	0.35	522	0.80	0.31	524	0.72	0.27	526
11		3	1	12.2	0.89	0.27	522	0.67	0.28	524	0.64	0.23	526
12			2	8.7	0.89	0.29	518	0.67	0.28	524	0.63	0.24	526



(a) ST04-S- $\alpha$ 2



(b) ST04-S- $\alpha$ 3



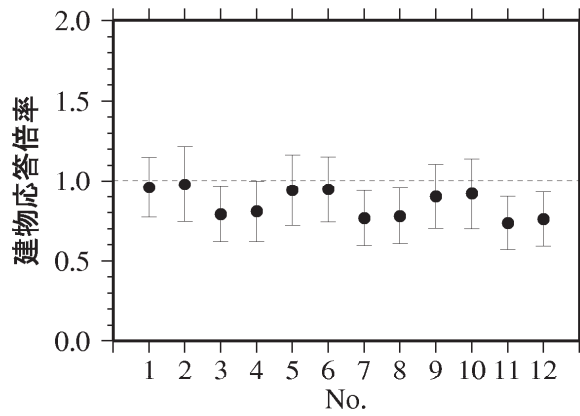
(c) ST04-S- $\alpha$ 5

図IV-2-7(1) 4階建てS造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均値 $\pm 1\sigma$

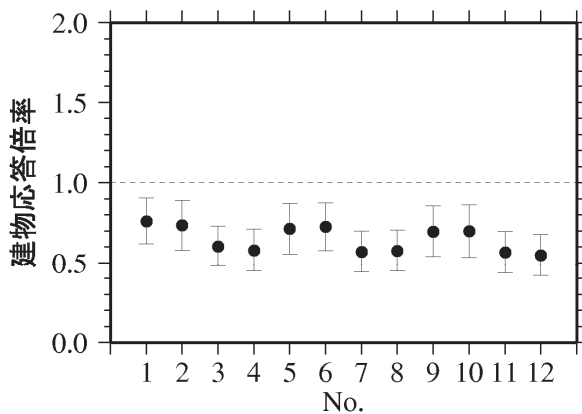


表IV-2-7(2) 4階建てS造建物(杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

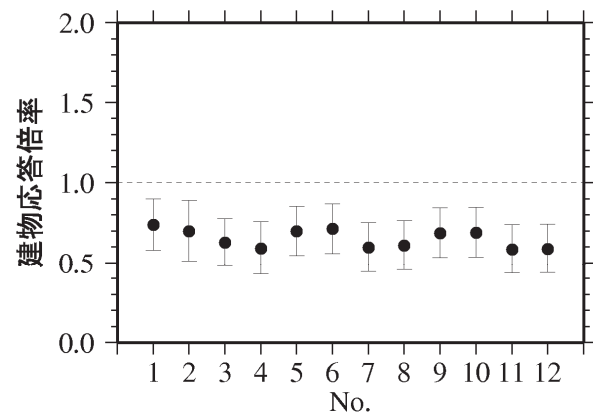
No.	建築面積 A (m <sup>2</sup> )	埋込 D (m)	アスペクト比 BC	短辺長さ B (m)	建物耐力 $\alpha$								
					2(低)			3(中)			5(高)		
					平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
1	50	0	1	7.1	0.96	0.20	143	0.76	0.19	143	0.74	0.22	143
2			5.0	0.98	0.24	143	0.74	0.21	143	0.70	0.27	143	
3		3	1	7.1	0.79	0.22	138	0.60	0.21	139	0.63	0.24	139
4			2	5.0	0.81	0.24	139	0.58	0.23	139	0.59	0.28	139
5	100	0	1	10.0	0.94	0.24	143	0.71	0.22	143	0.70	0.22	143
6			2	7.1	0.94	0.22	143	0.73	0.20	142	0.71	0.22	143
7		3	1	10.0	0.76	0.22	139	0.57	0.23	139	0.60	0.26	139
8			2	7.1	0.78	0.22	139	0.58	0.22	139	0.61	0.25	139
9	150	0	1	12.2	0.90	0.22	143	0.70	0.23	143	0.69	0.23	143
10			2	8.7	0.92	0.24	143	0.70	0.24	143	0.69	0.23	143
11		3	1	12.2	0.73	0.23	139	0.57	0.23	139	0.59	0.26	139
12			2	8.7	0.76	0.22	131	0.55	0.24	131	0.59	0.26	131



(a) ST04-P- $\alpha$  2



(b) ST04-P- $\alpha$  3

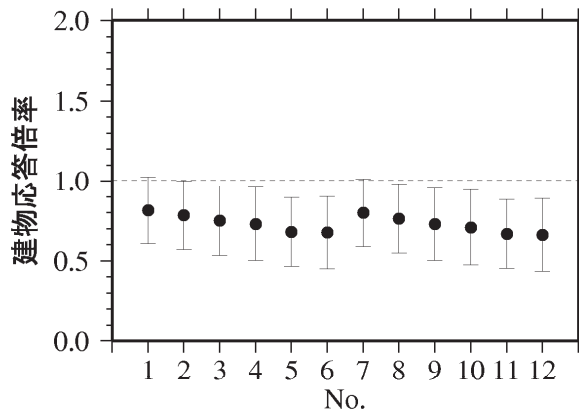


(c) ST04-P- $\alpha$  5

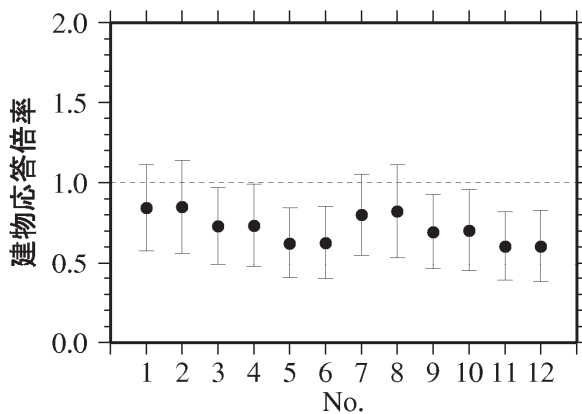
図IV-2-7(2) 4階建てS造建物(杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均値 $\pm 1\sigma$

表IV-2-8(1) 8階建てS造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

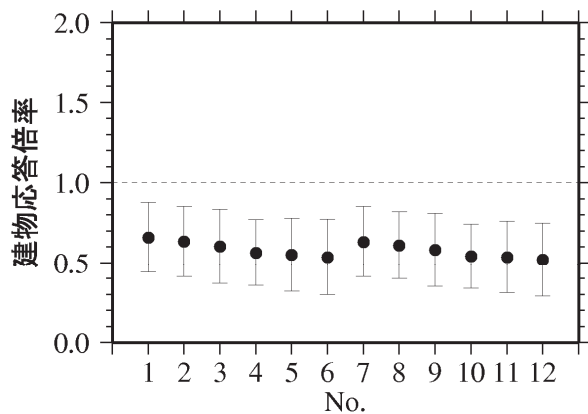
No.	建築面積 $A$ (m <sup>2</sup> )	埋込 $D$ (m)	アスペクト比 $BC$	短辺長さ $B$ (m)	建物耐力 $\alpha$								
					2(低)			3(中)			5(高)		
					平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
1	200	3	1	14.1	0.81	0.26	525	0.84	0.32	525	0.66	0.33	524
2			3	8.7	0.78	0.28	526	0.85	0.34	526	0.63	0.35	525
3		6	1	14.1	0.75	0.29	526	0.73	0.32	527	0.60	0.38	525
4			3	8.7	0.73	0.32	526	0.73	0.35	524	0.56	0.37	525
5		10	1	14.1	0.68	0.32	512	0.62	0.35	511	0.55	0.42	512
6			3	8.7	0.67	0.34	516	0.62	0.37	517	0.54	0.44	515
7	400	3	1	20.0	0.80	0.26	525	0.80	0.32	526	0.63	0.35	524
8			3	11.6	0.76	0.28	525	0.82	0.35	525	0.61	0.34	525
9		6	1	20.0	0.73	0.31	526	0.69	0.34	527	0.58	0.40	525
10			3	11.6	0.71	0.33	525	0.70	0.36	527	0.54	0.37	525
11		10	1	20.0	0.66	0.33	512	0.60	0.36	511	0.54	0.42	512
12			3	11.6	0.66	0.35	514	0.60	0.37	516	0.52	0.44	513



(a) ST08-S- $\alpha$ 2



(b) ST08-S- $\alpha$ 3

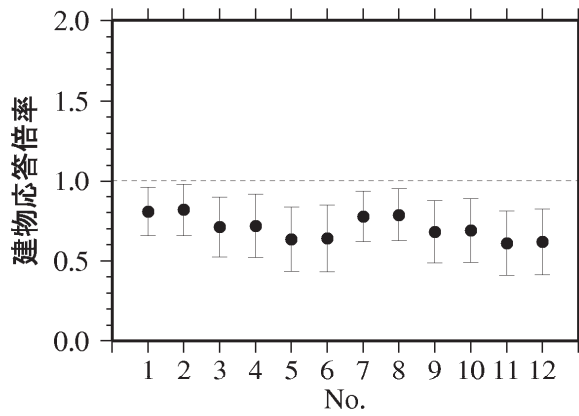


(c) ST08-S- $\alpha$ 5

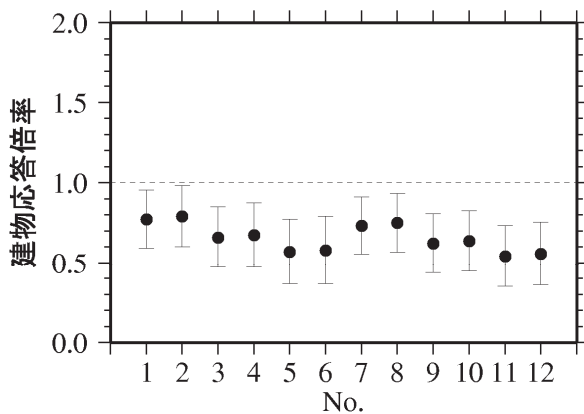
図IV-2-8(1) 8階建てS造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均値 $\pm 1\sigma$

表IV-2-8(2) 8階建てS造建物(杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

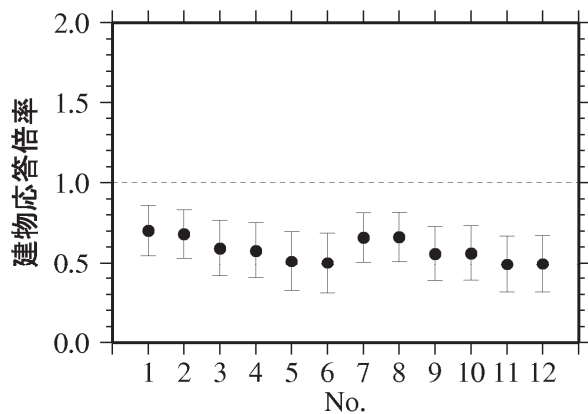
No.	建築面積 A (m <sup>2</sup> )	埋込 D (m)	アスペクト比 BC	短辺長さ B (m)	建物耐力 $\alpha$								
					2(低)			3(中)			5(高)		
					平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
1	200	3	1	14.1	0.80	0.19	351	0.77	0.23	353	0.70	0.22	353
2			3	8.7	0.82	0.20	351	0.79	0.24	352	0.68	0.22	353
3		6	1	14.1	0.71	0.26	344	0.66	0.29	348	0.59	0.30	348
4			3	8.7	0.72	0.28	343	0.67	0.30	348	0.58	0.30	348
5		10	1	14.1	0.63	0.32	333	0.57	0.36	336	0.51	0.37	336
6			3	8.7	0.64	0.33	332	0.58	0.37	336	0.50	0.38	336
7	400	3	1	20.0	0.77	0.20	354	0.73	0.24	353	0.66	0.23	354
8			3	11.6	0.78	0.21	353	0.75	0.24	353	0.66	0.23	353
9		6	1	20.0	0.68	0.29	348	0.62	0.30	348	0.56	0.31	347
10			3	11.6	0.69	0.29	348	0.64	0.30	348	0.56	0.31	348
11		10	1	20.0	0.61	0.33	336	0.54	0.35	336	0.49	0.36	336
12			3	11.6	0.62	0.33	336	0.56	0.35	336	0.49	0.36	336



(a) ST08-P- $\alpha$  2



(b) ST08-P- $\alpha$  3

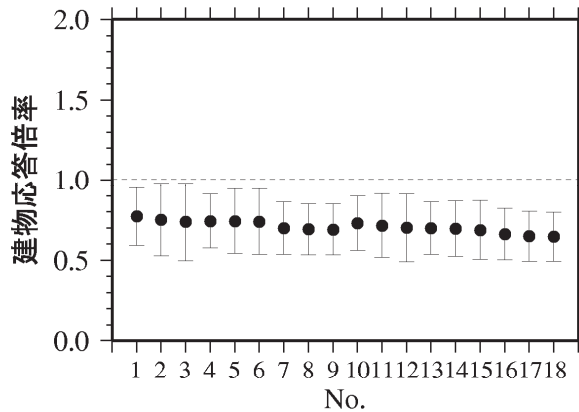


(c) ST08-P- $\alpha$  5

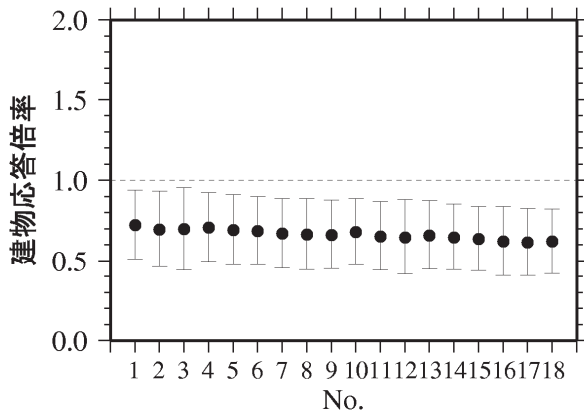
図IV-2-8(2) 8階建てS造建物(杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均値 $\pm 1\sigma$

表IV-2-9(1) 15階建てS造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

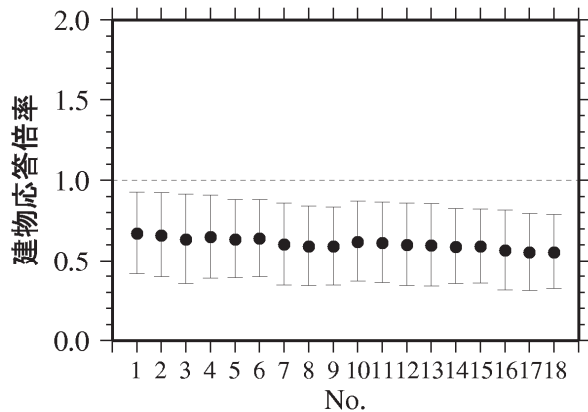
No.	建築面積 A (m <sup>2</sup> )	埋込 D (m)	アスペ クト比 BC	短辺長さ B (m)	建物耐力 $\alpha$								
					2(低)			3(中)			5(高)		
					平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
1	400	3	1	20.0	0.77	0.23	510	0.72	0.30	520	0.67	0.38	514
2			3	11.6	0.75	0.30	512	0.70	0.34	521	0.66	0.40	515
3			5	8.9	0.73	0.33	510	0.70	0.37	521	0.64	0.44	515
4		6	1	20.0	0.74	0.23	511	0.71	0.30	521	0.65	0.40	515
5			3	11.6	0.74	0.27	512	0.69	0.31	521	0.64	0.39	514
6			5	8.9	0.74	0.28	512	0.69	0.31	520	0.64	0.38	515
7		10	1	20.0	0.70	0.23	500	0.67	0.32	507	0.60	0.43	501
8			3	11.6	0.69	0.23	509	0.67	0.33	513	0.59	0.42	509
9			5	8.9	0.69	0.23	509	0.66	0.32	512	0.59	0.41	509
10	900	3	1	30.0	0.73	0.23	511	0.68	0.30	520	0.62	0.41	513
11			3	17.4	0.71	0.28	511	0.65	0.33	521	0.61	0.41	515
12			5	13.4	0.70	0.30	512	0.65	0.36	519	0.60	0.43	515
13		6	1	30.0	0.70	0.23	512	0.66	0.33	520	0.60	0.43	515
14			3	17.4	0.69	0.25	512	0.65	0.32	520	0.59	0.40	515
15			5	13.4	0.68	0.27	512	0.64	0.31	521	0.59	0.39	513
16		10	1	30.0	0.66	0.24	500	0.62	0.34	508	0.57	0.44	502
17			3	17.4	0.65	0.24	509	0.62	0.34	513	0.55	0.44	509
18			5	13.4	0.64	0.24	508	0.62	0.33	513	0.56	0.42	509



(a) ST15-S- $\alpha$ 2



(b) ST15-S- $\alpha$ 3

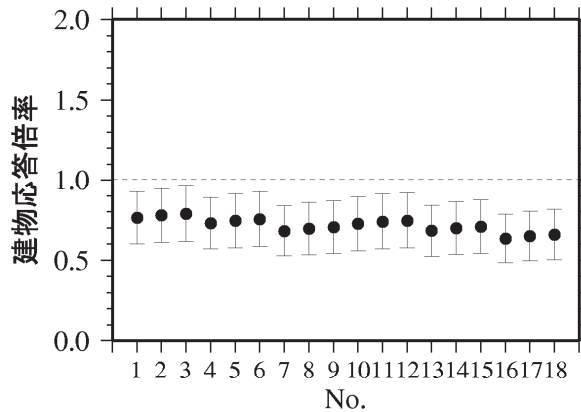


(c) ST15-S- $\alpha$ 5

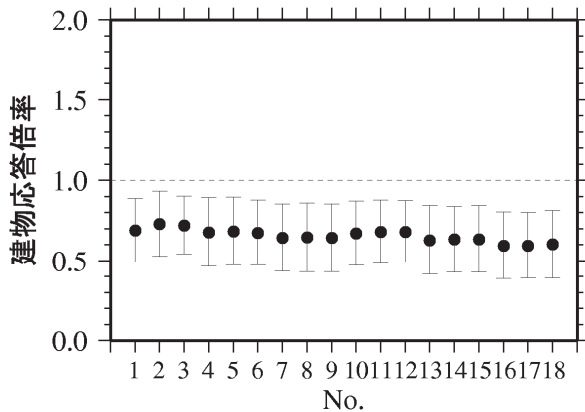
図IV-2-9(1) 15階建てS造建物(直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均値 $\pm 1\sigma$

表IV-2-9(2) 15階建てS造建物(杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

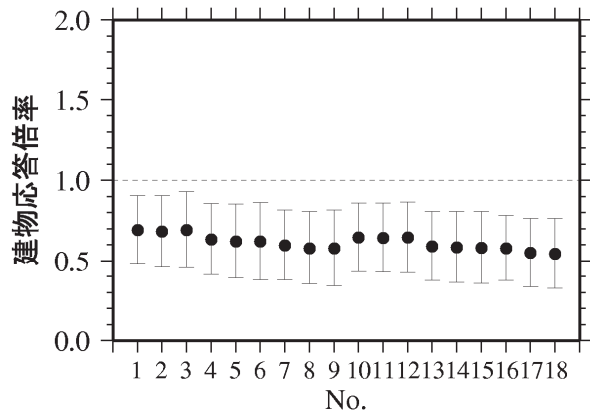
No.	建築面積 A (m <sup>2</sup> )	埋込 D (m)	アスペ クト比 BC	短辺長さ B (m)	建物耐力 $\alpha$								
					2(低)			3(中)			5(高)		
					平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
1	400	3	1	20.0	0.76	0.21	431	0.69	0.29	331	0.69	0.31	430
2			3	11.6	0.77	0.22	431	0.73	0.28	431	0.68	0.33	431
3			5	8.9	0.79	0.22	431	0.72	0.25	431	0.69	0.34	431
4		6	1	20.0	0.73	0.22	431	0.68	0.31	434	0.63	0.35	434
5			3	11.6	0.74	0.23	431	0.69	0.31	434	0.62	0.37	434
6			5	8.9	0.75	0.23	431	0.68	0.30	434	0.62	0.39	433
7		10	1	20.0	0.68	0.23	408	0.64	0.33	411	0.60	0.37	411
8			3	11.6	0.69	0.23	404	0.65	0.33	407	0.58	0.39	407
9			5	8.9	0.70	0.23	399	0.64	0.33	402	0.58	0.41	402
10	900	3	1	30.0	0.72	0.23	425	0.67	0.30	425	0.65	0.33	423
11			3	17.4	0.74	0.23	435	0.68	0.29	435	0.64	0.33	435
12			5	13.4	0.74	0.23	430	0.68	0.28	430	0.65	0.34	431
13		6	1	30.0	0.68	0.23	431	0.63	0.34	434	0.59	0.36	433
14			3	17.4	0.70	0.23	431	0.63	0.33	433	0.59	0.38	434
15			5	13.4	0.71	0.23	430	0.64	0.33	434	0.58	0.39	434
16		10	1	30.0	0.63	0.24	407	0.59	0.35	409	0.58	0.35	321
17			3	17.4	0.65	0.24	411	0.60	0.35	413	0.55	0.39	414
18			5	13.4	0.66	0.24	402	0.60	0.35	405	0.55	0.40	405



(a) ST15-P- $\alpha$ 2



(b) ST15-P- $\alpha$ 3



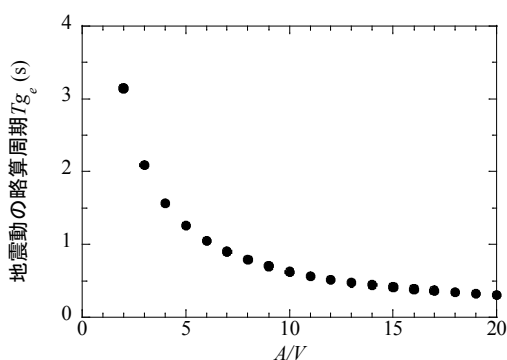
(c) ST15-P- $\alpha$ 5

図IV-2-9(2) 15階建てS造建物(杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均値 $\pm 1\sigma$

## 2-2. 地震動の周期特性で分類した建物応答倍率

前項の分析結果によると、建物応答倍率に及ぼす影響が大きい建物の解析パラメータは、建物階数、埋込深さ、基礎形式、建物耐力、構造種別であったため、以後、建物応答倍率はこれらのパラメータで分析し、建築面積、アスペクト比による分類は行わない。また、木造建物では、地盤と建物の相互作用効果による建物応答の変化はほとんど確認されない事から対象外とする。

基礎入力動の周期特性の影響を考察することを考え、地震動の周期特性  $A/V$  を用いて建物応答倍率を区分する。地震動の周期特性  $A/V$  は式IV.1-1に示したとおり、地震動の略算周期  $T_{ge}$  と 1:1 に対応する (図IV-2-10)。

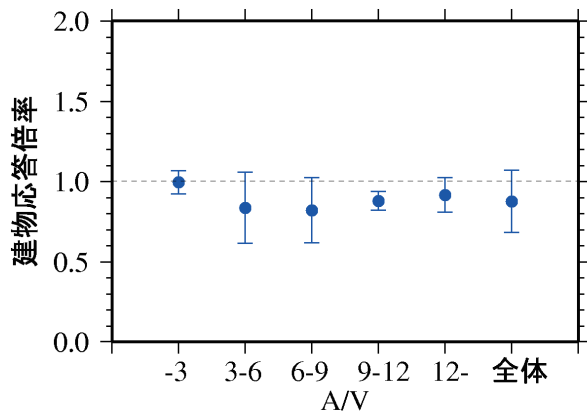


図IV-2-10 地震動の略算周期  $T_{ge}$  と地震動の周期特性  $A/V$  との関係

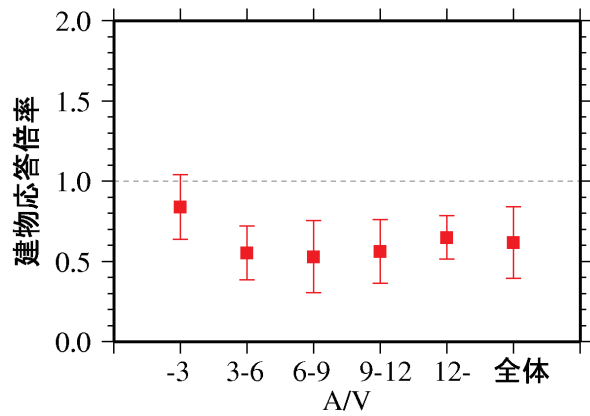
地震動の周期特性  $A/V$  は、 $A/V=6$  の場合、概ね周期 1s に対応する事から、それを基準として 0.5s 刻み ( $A/V$  で 3 刻み) で区分し、 $A/V < 3$ 、 $3 \leq A/V < 6$ 、 $6 \leq A/V < 9$ 、 $9 \leq A/V < 12$ 、 $12 \leq A/V$  の 5 種類で区分することとした。一例として、4 階建てと 8 階建て RC 造建物 (杭基礎形式) の結果を図IV-2-11~図IV-2-12に示す。建物耐力に関わる係数  $\alpha=3$  の結果を示している。各図では、平均値を点で示し、平均値  $\pm 1\sigma$  を線で表している。

- ・ 4 階建て RC 造建物では、地震動の周期特性  $A/V$  が 3 未満の区分で建物応答倍率は最も 1 に近く、 $A/V$  が 6 以上 9 未満の区分では最も 1 から離れ、それから  $A/V$  が大きくなるに従い徐々に 1 に近づいている。
- ・ 一方、8 階建て RC 造建物では、地震動の周期特性  $A/V$  が 3 未満の区分で最も小さく、それから  $A/V$  が大きくなるに従い徐々に 1 に近づいている。

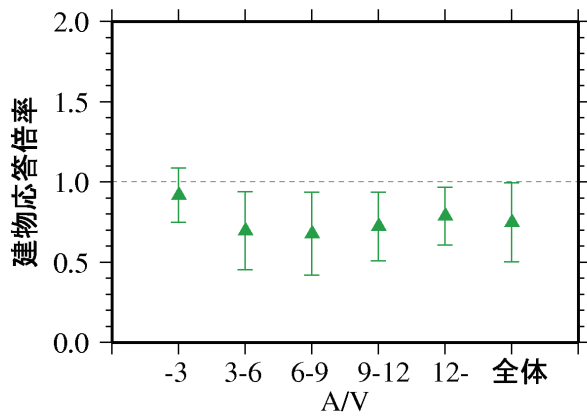
建物応答倍率は建物モデルの解析パラメータの他に、地震動の周期特性  $A/V$  によっても大きく変化する。なお、分類した建物応答倍率の全体については付録にすべて掲載した。



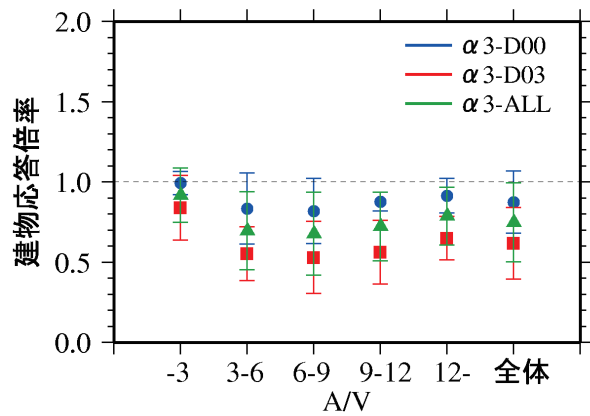
(a) RC04-P- $\alpha$ 3-D00



(b) RC04-P- $\alpha$ 3-D03

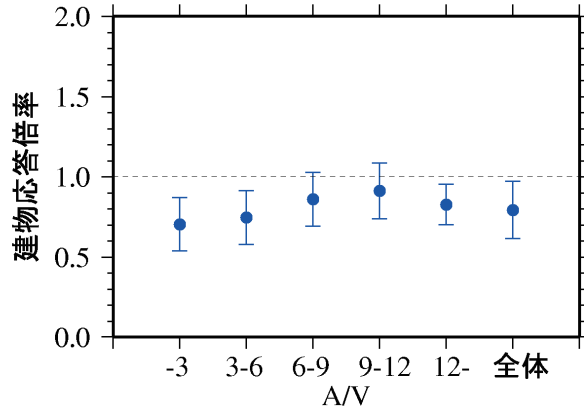


(c) RC04-P- $\alpha$ 3-ALL

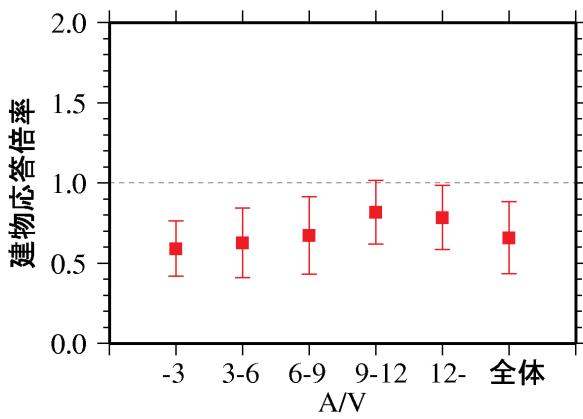


(d) 比較

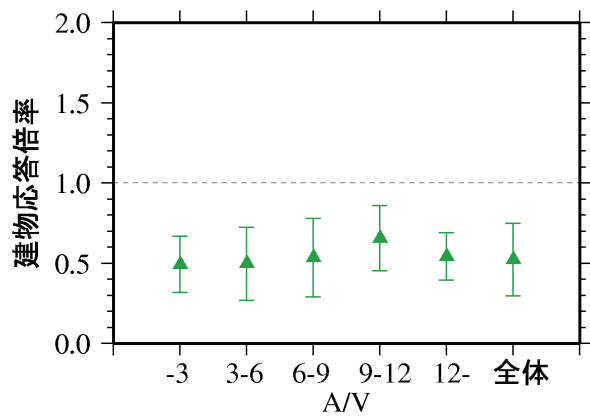
図IV-2-11 4階建てRC造建物(杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$



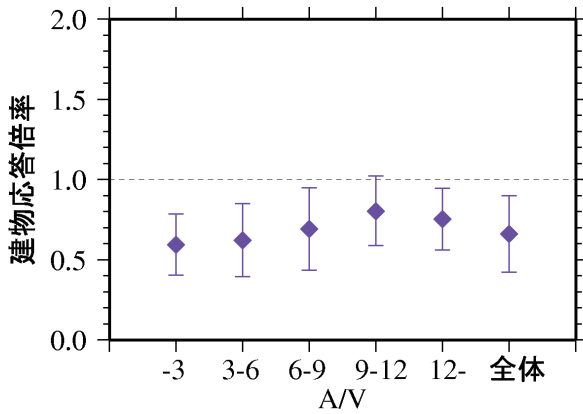
(a) RC08-P- $\alpha$ 3-D03



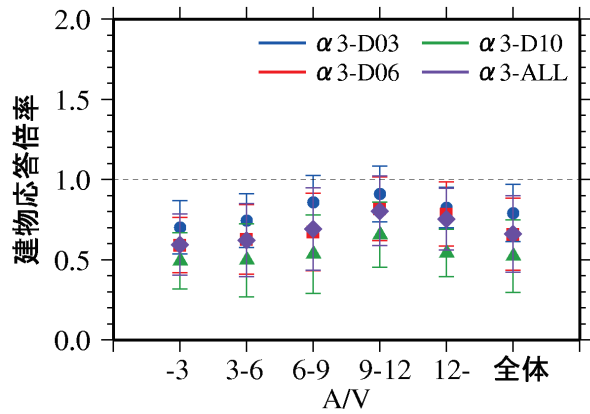
(b) RC08-P- $\alpha$ 3-D06



(c) RC08-P- $\alpha$ 3-D10



(d) RC08-P- $\alpha$ 3-ALL



(e) 比較

図IV-2-12 8階建てRC造建物(杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$



### 3. 建物応答倍率の定量的傾向のまとめ

#### (1) 分析結果のまとめ

第IV章では、第III章で算定した建物応答倍率 $R_{Sr}/R_{fix}$ に対し、各解析パラメータが与える影響を分析した。その分析結果をまとめると表IV-3-1のとおりとなる。

表IV-3-1 解析パラメータが建物応答倍率へ及ぼす影響のまとめ

解析パラメータ		RC造・S造	木造
建物パラメータ	建物階数	②建物階数によって建物応答倍率に影響する地震動の周期特性が変化する。	①パラメータによらず建物応答倍率は常にほぼ1となる。
	埋込深さ	③埋込深さが深くなるほど、建物応答倍率は小さくなる。	
	基礎形式	④杭基礎形式のほうが直接基礎形式よりも建物応答倍率は1に近づく。	
	建物耐力	⑤建物耐力が大きくなるほど建物応答倍率は小さくなる。	
	構造種別	⑥建物構造種別によって建物応答倍率に影響する地震動の周期特性が変化する。	
	建築面積	⑦建物応答倍率へほとんど影響しない。	
	アスペクト比		
地震動パラメータ	地震動の周期特性 A/V	⑧建物階数や構造種別等により、建物応答倍率へ与える影響が変化する。	

- ① 木造建物の場合、地盤と建物の相互作用効果は殆ど表れない結果となった。RC造建物やS造建物と比べて剛性、耐力が低いことが理由であると考えられる。これは、一般に相互作用の影響が非木造建物について指摘されていることと整合している。
- ② 建物階数が増えると、建物の揺れの周期が増えることから、建物応答倍率に影響を及ぼす地震動の周期が増えることが確認された。
- ③ 埋込深さが深くなると、埋込深さによる表層地盤増幅低減の影響および基礎底面からの反射波の影響により基礎入力動が低減される。その傾向は特に低層建物で顕著であった。
- ④ 基礎形式の違いでは、杭基礎形式の場合に地盤ばねが大きくなることから、表層地盤による拘束効果が強まる事で、建物応答倍率は直接基礎の場合よりも1に近くなる（ただし、埋込みがある場合は入力損失効果が働くため建物応答倍率は1自体に近づくわけではない）傾向が確認できた。
- ⑤ 建物耐力が大きくなると、建物の地盤に対して相対的に剛性が高くなるため、相互作用効果により建物応答が下がりやすくなることが確認できた。この傾向は、高橋・林（2004）による研究成果と整合している。
- ⑥ 構造種別が異なると建物周期が増えるため、地震動の周期との関係で建物応答倍率の大小関係が増えることが確認できた。
- ⑦ 一般には建築面積が大きい建物ほど建物応答が下がりやすいことが指摘されているが、住宅建物（今回想定した建築面積の範囲）の建物応答倍率を考える上では、パラメータの影響は非常に小さいことがわかった。
- ⑧ 地震動の周期特性が与える影響は大きく、地震動と建物の揺れの周期の関係により建物応答倍率に影響を及ぼす周期が増えることが確認された。

これらの結果を踏まえ、建物階数、埋込み深さ、基礎形式、耐力、構造種別、地震動の周期特性A/V別に分類した建物応答倍率の平均値を表IV-3-2～表IV-3-7に一覧として示す。変動係数を含めた図表についてはすべて付録2に示している。

表IV-3-2 建物応答倍率の平均値(直接基礎形式,  $\alpha=2$  の場合)

(a)  $A/V < 3$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	0.99	0.86	-	-	1.09	1.28	-	-
埋込3m	0.87	0.77	0.61	0.83	0.98	0.95	0.78	0.88
埋込6m	-	-	0.56	0.77	-	-	0.66	0.86
埋込10m	-	-	0.51	0.62	-	-	0.53	0.79

(b)  $3 \leq A/V < 6$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	0.79	1.09	-	-	0.97	1.02	-	-
埋込3m	0.71	0.96	0.74	0.67	0.67	0.81	0.87	0.88
埋込6m	-	-	0.67	0.68	-	-	0.77	0.87
埋込10m	-	-	0.62	0.67	-	-	0.69	0.84

(c)  $6 \leq A/V < 9$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	0.81	1.06	-	-	0.88	1.04	-	-
埋込3m	0.70	0.92	0.86	0.77	0.51	0.87	0.88	0.83
埋込6m	-	-	0.77	0.73	-	-	0.76	0.81
埋込10m	-	-	0.71	0.69	-	-	0.69	0.75

(d)  $9 \leq A/V < 12$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	0.97	1.07	-	-	0.93	0.97	-	-
埋込3m	0.77	0.87	0.89	0.77	0.51	0.85	0.85	0.85
埋込6m	-	-	0.88	0.74	-	-	0.86	0.83
埋込10m	-	-	0.80	0.66	-	-	0.77	0.78

(e)  $12 \leq A/V$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	0.97	0.80	-	-	0.93	1.05	-	-
埋込3m	0.67	0.61	0.83	0.78	0.51	0.77	0.75	0.87
埋込6m	-	-	0.85	0.77	-	-	0.76	0.86
埋込10m	-	-	0.78	0.63	-	-	0.66	0.77

表IV-3-3 建物応答倍率の平均値(基礎形式,  $\alpha=2$  の場合)

(a)  $A/V < 3$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	-	0.86	-	-	-	1.03	-	-
埋込3m	-	0.76	0.75	0.70	-	0.81	0.77	0.85
埋込6m	-	-	0.65	0.66	-	-	0.65	0.82
埋込10m	-	-	0.57	0.61	-	-	0.51	0.77

(b)  $3 \leq A/V < 6$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	-	0.97	-	-	-	0.87	-	-
埋込3m	-	0.79	0.76	0.74	-	0.58	0.87	0.91
埋込6m	-	-	0.66	0.71	-	-	0.77	0.91
埋込10m	-	-	0.59	0.67	-	-	0.67	0.88

(c)  $6 \leq A/V < 9$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	-	0.97	-	-	-	0.96	-	-
埋込3m	-	0.82	0.81	0.81	-	0.62	0.87	0.83
埋込6m	-	-	0.70	0.76	-	-	0.71	0.82
埋込10m	-	-	0.65	0.71	-	-	0.60	0.77

(d)  $9 \leq A/V < 12$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	-	1.01	-	-	-	0.94	-	-
埋込3m	-	0.85	0.89	0.73	-	0.70	0.87	0.82
埋込6m	-	-	0.85	0.70	-	-	0.82	0.81
埋込10m	-	-	0.78	0.64	-	-	0.67	0.77

(e)  $12 \leq A/V$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	-	0.85	-	-	-	0.96	-	-
埋込3m	-	0.55	0.89	0.70	-	0.69	0.83	0.85
埋込6m	-	-	0.84	0.74	-	-	0.82	0.86
埋込10m	-	-	0.71	0.61	-	-	0.58	0.72

表IV-3-4 建物応答倍率の平均値(直接基礎形式,  $\alpha=3$ の場合)

(a)  $A/V < 3$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	1.05	0.80	-	-	1.09	1.22	-	-
埋込3m	0.96	0.67	0.54	0.67	0.98	0.96	0.66	0.86
埋込6m	-	-	0.49	0.58	-	-	0.54	0.78
埋込10m	-	-	0.46	0.44	-	-	0.43	0.64

(b)  $3 \leq A/V < 6$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	0.91	0.71	-	-	0.94	1.00	-	-
埋込3m	0.79	0.60	0.78	0.67	0.74	0.70	0.77	0.81
埋込6m	-	-	0.64	0.66	-	-	0.64	0.80
埋込10m	-	-	0.54	0.62	-	-	0.55	0.78

(c)  $6 \leq A/V < 9$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	0.86	0.88	-	-	0.85	0.98	-	-
埋込3m	0.72	0.76	0.93	0.67	0.56	0.76	0.90	0.74
埋込6m	-	-	0.78	0.68	-	-	0.76	0.74
埋込10m	-	-	0.67	0.66	-	-	0.66	0.68

(d)  $9 \leq A/V < 12$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	0.90	0.96	-	-	0.92	1.04	-	-
埋込3m	0.68	0.86	0.96	0.77	0.44	0.77	0.93	0.83
埋込6m	-	-	0.93	0.78	-	-	0.93	0.85
埋込10m	-	-	0.81	0.80	-	-	0.79	0.80

(e)  $12 \leq A/V$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	0.87	0.72	-	-	0.98	1.14	-	-
埋込3m	0.52	0.65	0.83	0.65	0.33	0.69	0.73	0.74
埋込6m	-	-	0.83	0.66	-	-	0.73	0.76
埋込10m	-	-	0.69	0.67	-	-	0.61	0.68

表IV-3-5 建物応答倍率の平均値(杭基礎形式,  $\alpha=3$ の場合)

(a)  $A/V < 3$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	-	0.74	-	-	-	0.99	-	-
埋込3m	-	0.65	0.63	0.44	-	0.84	0.70	0.71
埋込6m	-	-	0.56	0.41	-	-	0.59	0.67
埋込10m	-	-	0.52	0.38	-	-	0.49	0.62

(b)  $3 \leq A/V < 6$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	-	0.65	-	-	-	0.84	-	-
埋込3m	-	0.53	0.72	0.69	-	0.55	0.74	0.88
埋込6m	-	-	0.59	0.64	-	-	0.63	0.85
埋込10m	-	-	0.51	0.60	-	-	0.50	0.81

(c)  $6 \leq A/V < 9$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	-	0.77	-	-	-	0.82	-	-
埋込3m	-	0.55	0.87	0.72	-	0.53	0.86	0.80
埋込6m	-	-	0.70	0.69	-	-	0.67	0.76
埋込10m	-	-	0.61	0.67	-	-	0.53	0.70

(d)  $9 \leq A/V < 12$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	-	0.90	-	-	-	0.88	-	-
埋込3m	-	0.72	0.87	0.85	-	0.56	0.91	0.86
埋込6m	-	-	0.83	0.84	-	-	0.82	0.86
埋込10m	-	-	0.76	0.79	-	-	0.66	0.80

(e)  $12 \leq A/V$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	-	0.82	-	-	-	0.91	-	-
埋込3m	-	0.61	0.75	0.72	-	0.65	0.82	0.80
埋込6m	-	-	0.79	0.75	-	-	0.78	0.80
埋込10m	-	-	0.58	0.61	-	-	0.54	0.71

表IV-3-6 建物応答倍率の平均値(直接基礎形式,  $\alpha=5$ の場合)

(a)  $A/V < 3$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	1.05	0.97	-	-	1.12	1.18	-	-
埋込3m	0.96	0.82	0.54	0.45	0.99	1.00	0.73	0.80
埋込6m	-	-	0.50	0.38	-	-	0.62	0.68
埋込10m	-	-	0.45	0.28	-	-	0.54	0.51

(b)  $3 \leq A/V < 6$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	0.87	0.68	-	-	0.95	0.92	-	-
埋込3m	0.75	0.62	0.57	0.61	0.79	0.69	0.71	0.74
埋込6m	-	-	0.49	0.57	-	-	0.57	0.69
埋込10m	-	-	0.46	0.51	-	-	0.48	0.63

(c)  $6 \leq A/V < 9$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	0.76	0.72	-	-	0.85	0.90	-	-
埋込3m	0.63	0.64	0.70	0.65	0.64	0.67	0.87	0.69
埋込6m	-	-	0.60	0.66	-	-	0.66	0.69
埋込10m	-	-	0.56	0.64	-	-	0.56	0.64

(d)  $9 \leq A/V < 12$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	0.79	0.79	-	-	0.83	0.93	-	-
埋込3m	0.62	0.70	0.75	0.81	0.51	0.69	0.88	0.84
埋込6m	-	-	0.79	0.82	-	-	0.89	0.85
埋込10m	-	-	0.76	0.81	-	-	0.78	0.79

(e)  $12 \leq A/V$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	0.75	0.60	-	-	0.90	0.71	-	-
埋込3m	0.50	0.56	0.60	0.66	0.39	0.52	0.67	0.75
埋込6m	-	-	0.66	0.68	-	-	0.71	0.76
埋込10m	-	-	0.64	0.67	-	-	0.58	0.71

表IV-3-7 建物応答倍率の平均値(杭基礎形式,  $\alpha=5$ の場合)

(a)  $A/V < 3$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	-	0.85	-	-	-	1.01	-	-
埋込3m	-	0.78	0.59	0.37	-	0.91	0.78	0.67
埋込6m	-	-	0.54	0.36	-	-	0.66	0.61
埋込10m	-	-	0.51	0.35	-	-	0.58	0.57

(b)  $3 \leq A/V < 6$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	-	0.65	-	-	-	0.80	-	-
埋込3m	-	0.56	0.64	0.62	-	0.64	0.73	0.78
埋込6m	-	-	0.52	0.54	-	-	0.54	0.70
埋込10m	-	-	0.45	0.51	-	-	0.40	0.66

(c)  $6 \leq A/V < 9$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	-	0.65	-	-	-	0.78	-	-
埋込3m	-	0.52	0.72	0.74	-	0.49	0.83	0.79
埋込6m	-	-	0.59	0.68	-	-	0.60	0.72
埋込10m	-	-	0.51	0.64	-	-	0.44	0.67

(d)  $9 \leq A/V < 12$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	-	0.78	-	-	-	0.87	-	-
埋込3m	-	0.50	0.79	0.88	-	0.47	0.82	0.84
埋込6m	-	-	0.75	0.87	-	-	0.74	0.84
埋込10m	-	-	0.67	0.81	-	-	0.61	0.79

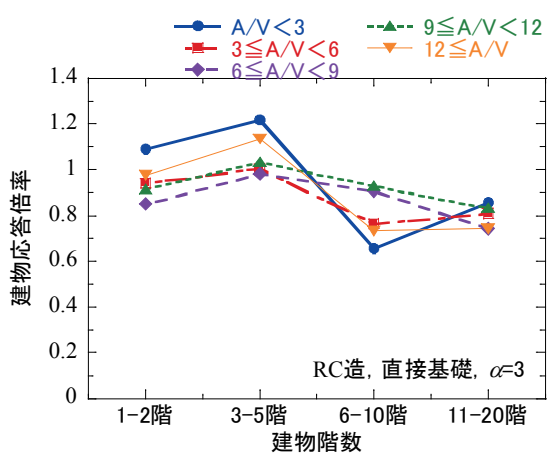
(e)  $12 \leq A/V$

構造	S造				RC造			
	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階	1-2階	3-5階	6-10階	11-20階
埋込0m	-	0.73	-	-	-	0.78	-	-
埋込3m	-	0.58	0.73	0.73	-	0.50	0.72	0.76
埋込6m	-	-	0.80	0.75	-	-	0.81	0.80
埋込10m	-	-	0.58	0.60	-	-	0.48	0.66

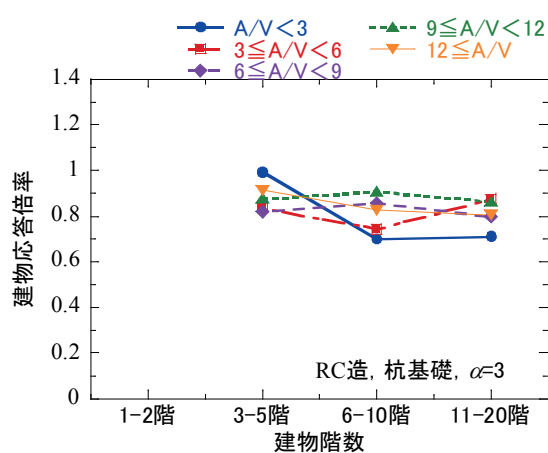


## (2) 建物・地盤条件の違いによる建物応答倍率の変化

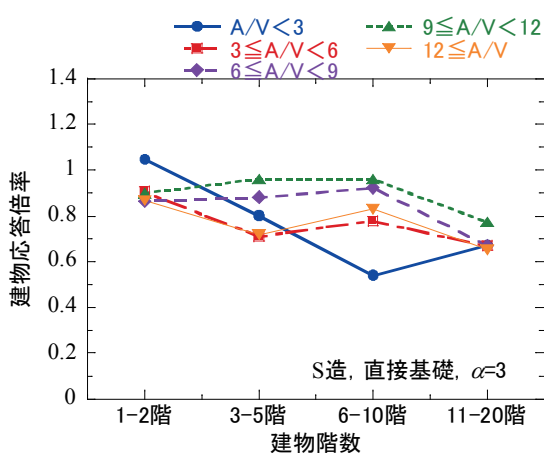
建物階数および構造種別、地震動の周期特性 $A/V$ による建物応答倍率の変化を取り出して図IV-3-1に示す。建物耐力に関わる係数 $\alpha=3$ とし、埋込深さは建物階数ごとに代表的な値(1-2階、3-5階では埋込深さ0m、6-10階、11-20階では埋込深さ3m)とした場合の結果を基礎形式ごとに比較して示している。



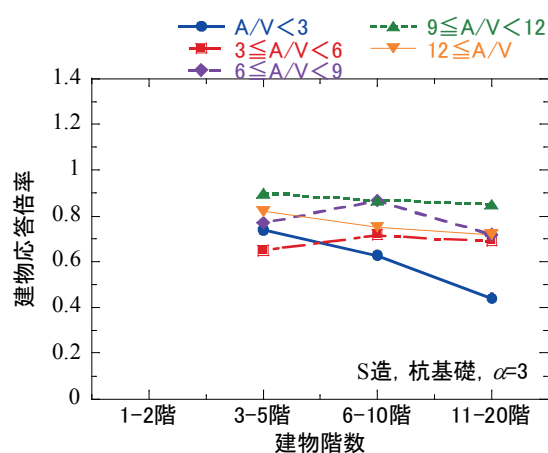
(a) RC造建物、直接基礎、 $\alpha=3$



(b) RC造建物、杭基礎、 $\alpha=3$



(c) S造建物、直接基礎、 $\alpha=3$



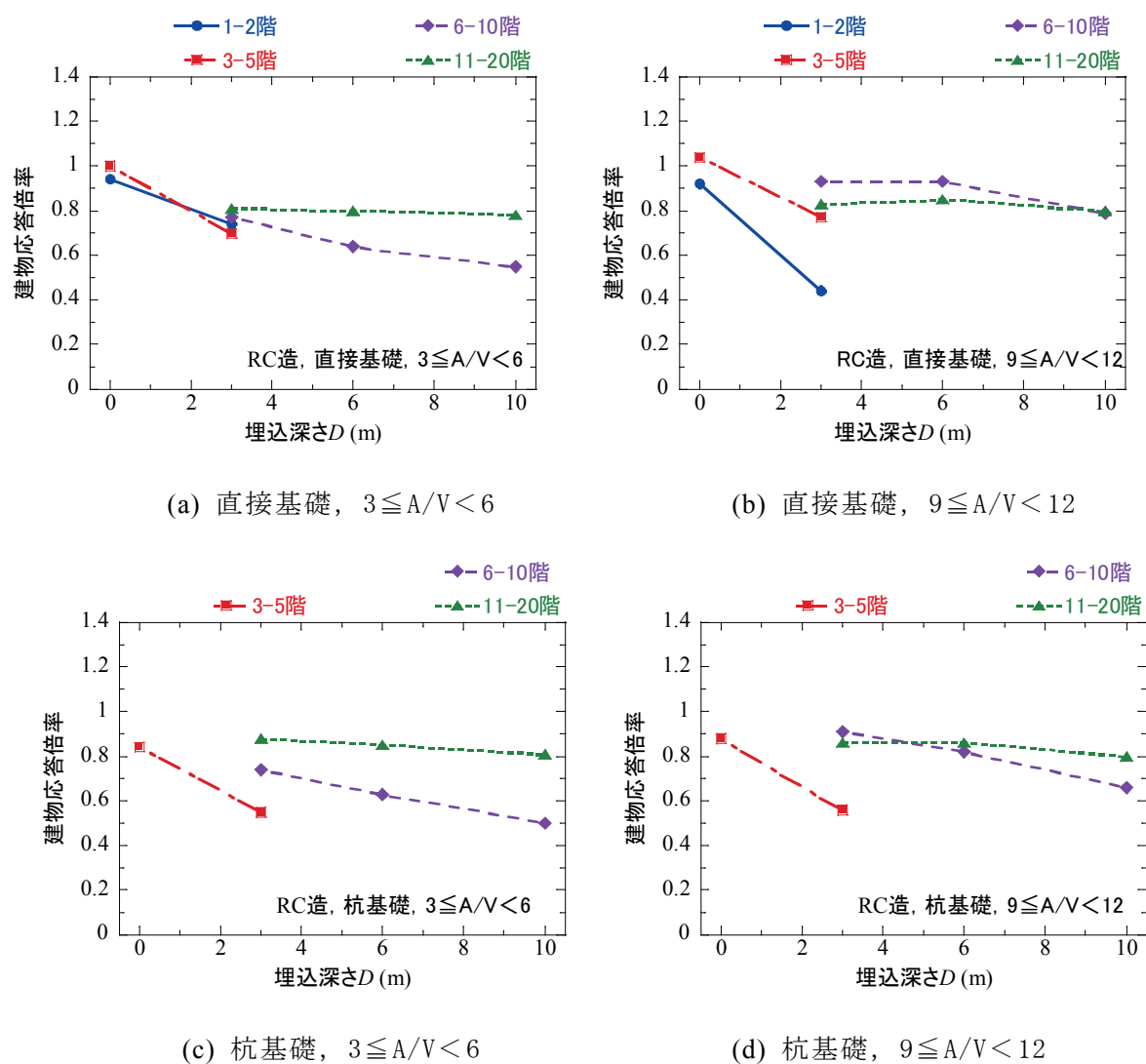
(d) S造建物、杭基礎、 $\alpha=3$

図IV-3-1 建物応答倍率の建物階数、構造種別、地震動の周期特性による変化

建物応答倍率に周期特性が与える影響に関しては、建物の固有周期 $T_{b0}$ とそれよりもやや長周期化するSRモデルの周期 $T_{sr}$ との関係により、 $T_{sr}$ が地震動のピーク $T_{ge}$ に合った場合には応答が大きく、逆に合わなくなった場合には応答小さくなることによりあらわれると解釈できる。そのため、単純に考えれば建物周期よりも短周期の地震動の場合に建物応答倍率は小さく、逆の場合に建物応答倍率は大きくなると考えられる。図では、 $A/V$ が大きい場合

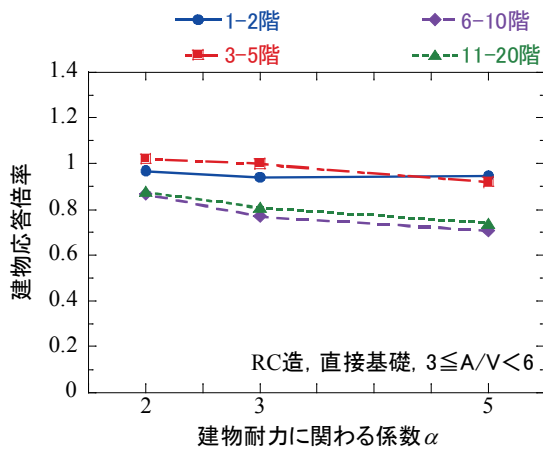
に建物応答倍率が小さく、逆の場合に大きくなる傾向が一部見られているが、 $A/V < 3$ の場合にその傾向と逆の結果も得られているなど、かならずしも上記の説明どおりの結果とはならなかった。これは、地震動の2次ピークなどのスペクトル形状の個々の特性や、周期特性以外の減衰等の効果によるものと考えられる。

埋込深さによる建物応答倍率の変化を図IV-3-2に示す。RC造建物で建物耐力に関わる係数  $\alpha = 3$ の結果を基礎形式および地震動の周期特性 ( $3 \leq A/V < 6$ ,  $9 \leq A/V < 12$ )で比較して示している。埋込深さについて、深いほど建物応答倍率は小さくなる傾向は特に低層建物について顕著であり特に埋込深さ0mと3mの違いは大きくなっている。

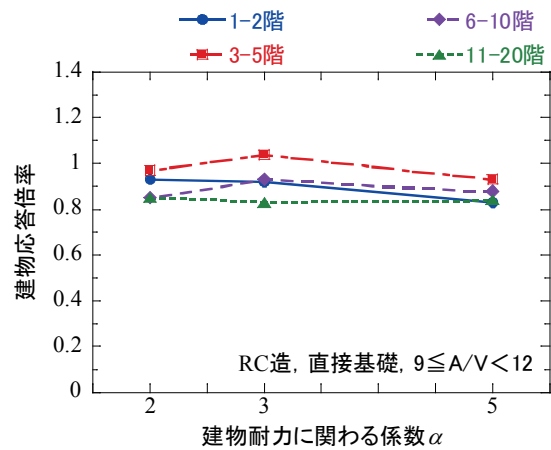


図IV-3-2 建物応答倍率の埋込深さによる変化

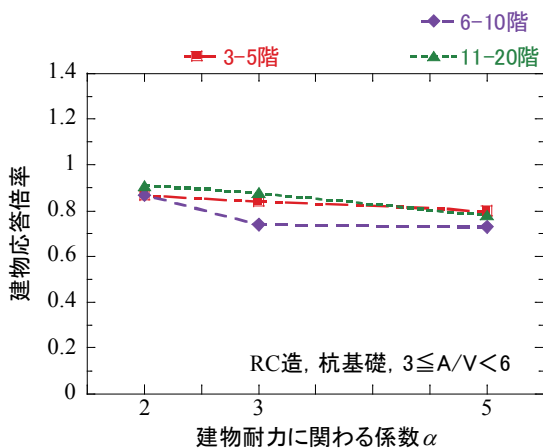
建物耐力による建物応答倍率の変化を図IV-3-3に示す。RC造建物で埋込深さは建物階数ごとに代表的な値(1-2階、3-5階では埋込深さ0m、6-10階、11-20階では埋込深さ3m)とし、基礎形式および地震動の周期特性( $3 \leq A/V < 6$ ,  $9 \leq A/V < 12$ )で比較して示す。建物耐力に関わる係数 $\alpha=2$ と $\alpha=3$ では、建物応答倍率が若干上昇している場合も見られるが、これは建物耐力が変化すると建物周期も変化するため、建物応答倍率は基礎入力動の地震動特性との関係も影響していると推察される。建物耐力による変化は、埋込み深さや周期特性と比較すると相対的に小さいが $\alpha=2$ の場合と $\alpha=5$ の場合とで建物応答倍率が0.2程度変化している部分も見られ、無視できないレベルであると考えられる。



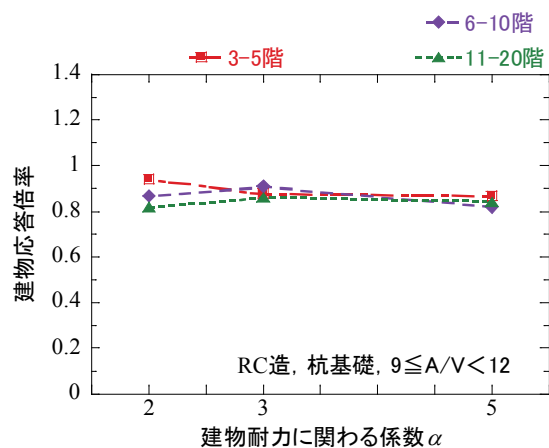
(a) 直接基礎,  $3 \leq A/V < 6$



(b) 直接基礎,  $9 \leq A/V < 12$



(c) 杭基礎,  $3 \leq A/V < 6$



(d) 杭基礎,  $9 \leq A/V < 12$

図IV-3-3 建物応答倍率の建物耐力による変化



## 第V章 まとめと今後の課題

建物の高さ、耐力、地震動の周期特性などのさまざまな条件の違いが相互作用効果に与える影響を定量的に把握することを目的として本研究を実施した。検討内容を以下にまとめる。

「第I章 研究の概要」では、本研究の背景・目的について明らかにするとともに、相互作用効果に関する一般的な知見、本研究の研究方法に関する整理を行った。相互作用効果が地震時の建物応答に与える影響を定量的に評価する指標として、相互作用効果を考慮しない解析モデル（基礎固定モデル）による最大層間変形角  $R_{fix}$  と相互作用効果を考慮できる解析モデル（SRモデル、スウェイ・ロッキングモデル）による最大層間変形角  $R_{SR}$  の比  $R_{SR}/R_{fix}$  で定義される建物応答倍率に着目し、さまざまな地盤条件・建物条件について地震応答解析を実施し、建物応答倍率の定量的傾向を整理する方針とした。

「第II章 解析パラメータの設定」では、建物応答倍率を算定するための地震応答解析に用いる地盤モデルと建物モデルについて、実地盤データおよび既存建物データの調査を踏まえて設定した。地盤モデルは、1次固有周期・表層地盤の等価S波速度・層数・土質種別の違いを反映した132ケース、建物モデルは、構造種別・階数・耐力・基礎形式・埋込深さ・建築面積・アスペクト比の違いを反映した684ケースを設定した。

「第III章 地震応答解析による建物応答倍率の算出」では、第II章で設定した地盤モデルと建物モデルのすべての組み合わせを用いて約30万ケースの地震応答解析を実施し、建物応答倍率を算出した。

「第IV章 建物応答倍率の分析」では、地震応答解析により求めた建物応答倍率へ各解析パラメータが与える影響を分析した。建物応答倍率へ与える影響が大きいパラメータは、建物の構造種別・階数・耐力・基礎形式・埋込深さと、地盤モデルの地震応答解析結果から求まる地震動の周期特性であることから、建物応答倍率をこれらのパラメータに基づき定量化して整理した。各パラメータの影響について、次のような傾向が確認できた。

- ① 木造建物の場合、地盤と建物の相互作用効果はほとんど表れない。
- ② 建物応答倍率は地震動の周期特性と建物の周期特性（建物構造・階数・耐力などから決まる）の関係により変化する。
- ③ 埋込深さが深くなると、相互作用効果が大きくなり、建物応答倍率は小さくなる傾向にある。
- ④ 杭がある場合には、杭が無い場合よりも相互作用効果が小さくなる傾向にある。
- ⑤ 建物耐力が高くなると、相互作用効果が大きくなり、建物応答倍率は小さくなる傾向にある。
- ⑥ 建築面積、アスペクト比が建物応答倍率へ与える影響は小さい。

ただし、本研究では、地盤モデルおよび建物モデルの解析パラメータを一定の仮定に基づいて設定しており、特に基礎形式（杭の有無や杭の形状）に関しては、その分布に関する統計データを得ることが極めて困難であったことから、設計で用いられている方法を参考に地盤条件と建物階数との関係から仮定を置いて定めている。本研究成果がこうした仮定に基づくものであるという点には注意する必要がある。

また、1995年兵庫県南部地震以降、数多くの被害地震が発生しているが、地盤と建物の相互作用効果を検証できる被害事例は少なく、実際の建物被害データに基づく検討は難しい。今後、建物内外での地震観測記録や、地表と建物基礎位置での地震観測記録の蓄積が期待される。

## 〔付録 1〕 観測地震動を用いた建物応答倍率の算出

建物応答倍率は、人工的に作成した模擬地震動を用いた地震応答解析で算出しているため、実際の観測地震動を用いて地震応答解析を行った場合に建物応答倍率に差異が生じるかどうかを確認した。本検討のイメージを図 付録-1-1に示す。

用いる観測地震動は、1995年兵庫県南部地震以降に発生した2000年鳥取県西部地震から2011年東北地方太平洋沖地震の14地震、合計59波の観測地震動とする。その際、解析に必要な建物モデルは、建物応答倍率を作成する際に用いた建物モデルから、代表的な建物モデルとして直接基礎形式のRC造建物を選択し、表層地盤のS波速度は、各観測地震動が得られた地震観測点のS波速度を用いる。

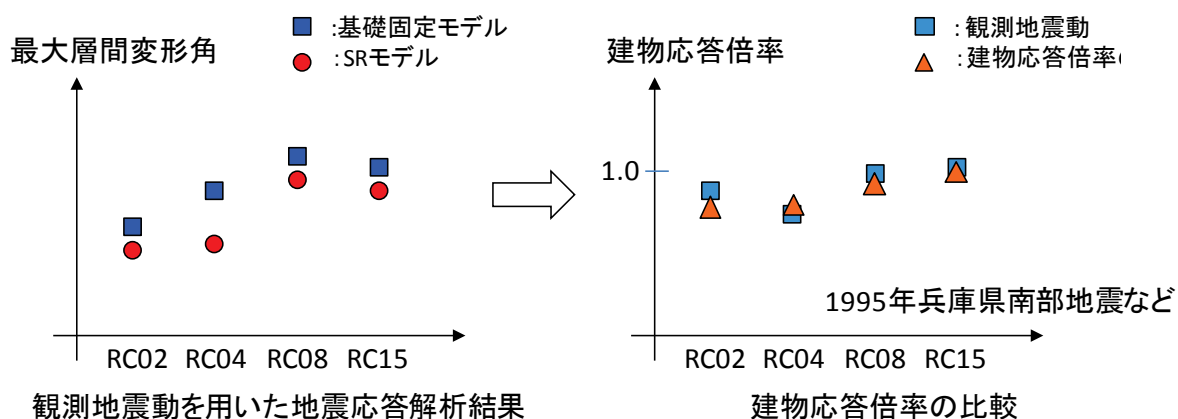


図 付録-1-1 観測地震動を用いた建物応答倍率算出の概要

### 1. 比較に用いた建物モデルと観測地震動

#### (1) 比較に用いた建物モデル

対象とした直接基礎形式のRC造建物は、建物耐力に関わる係数は $\alpha=3$ 、アスペクト比は $BC=1$ として、建築面積は2階および4階建てでは $A=100\text{m}^2$ 、8階および15階建てでは $A=400\text{m}^2$ とする。埋込深さは2階及び4階建てでは埋込深さ $D=0\text{m}$ 、8階及び15階建てでは埋込深さ $D=3\text{m}$ とする。

## (2) 比較に用いた観測地震動

比較に用いた観測地震動を表 付録-1-1に示し、各観測地震動の加速度応答スペクトルを図 付録-1-2～図 付録-1-5に示す。検討に用いる観測地震動は、1995年兵庫県南部地震以後の主な被害地震で観測された地震動のうち、建物被害が生じた地域に近い観測記録や、大きな最大地動加速度や最大地動速度が得られた観測記録を選んでいる。

地盤ばねの算定に用いる各地震観測地点のS波速度は、平均S波速度AVS30を用いる。平均S波速度AVS30は、K-NET観測点およびKiK-net観測点では公開されているPS検層結果から算定する。なお、K-NET観測点では、表層20mまでの地盤情報しか得られないため、深さ20mまでの平均S波速度をAVS30として代用している。その他の地震観測点については、地震ハザードステーション(J-SHIS)からAVS30の値を読み取っている。

検討に用いる観測地震動の最大地動加速度PGAと、最大地動速度PGVとの関係を図 付録-1-6に示す。最大地動加速度PGAは100～2700 $\text{cm/s}^2$ 程度、最大地動速度PGVは20～140 $\text{cm/s}^2$ 程度、PGA/PGVは3～36程度に分布している。同じ地震の観測記録であっても、地点によって周期特性が大きく異なる場合も見られる。

本文において建物応答倍率の作成に使用した地震動の、最大地動加速度PGAと最大地動速度PGVとの関係を図 付録-1-7に示す。最大地動加速度PGAは1200 $\text{cm/s}^2$ 程度、最大地動速度PGVは130 $\text{cm/s}$ 程度までに分布している。最大地動速度は、観測地震動と同程度となっているが、最大地動加速度は、観測地震動と比べて低い値となっている。また、PGA/PGVは18程度までに分布しており、最大地動加速度と同様に、観測地震動と比べて、PGA/PGVが高い場合に差が生じている。

建物応答倍率の作成に使用した地震動は、表層地盤の地震応答解析を行った結果を用いている。この時、表層地盤のS波速度を150～300 $\text{m/s}$ で考えており、表層地盤の非線形性の影響によって、最大地動加速度が抑えられ、表層地盤の周期も伸びる。観測地震動が得られている観測地点では、AVS30が400 $\text{m/s}$ 以上と硬い地盤でも得られていることから、このような差が生じていると考えられる。また、建物応答倍率の作成に使用した地震動では、表層地盤への入力地震動として、告示波の加速度応答スペクトルに適合させた模擬地震動を用いているが、そのスペクトル特性と、各被害地震における震源による地震動特性（スペクトル特性）の違いも影響している。

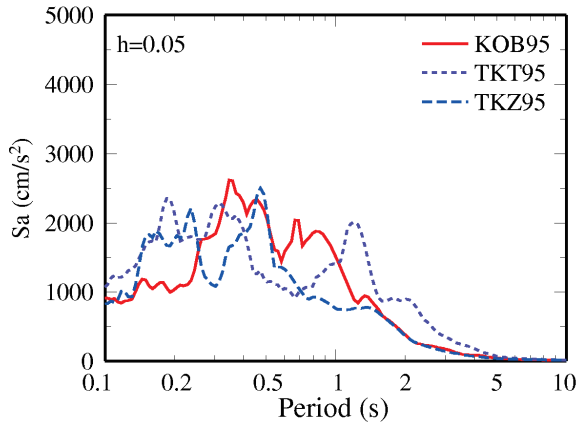


表 付録-1-1(1) 検討に用いる観測地震動一覧

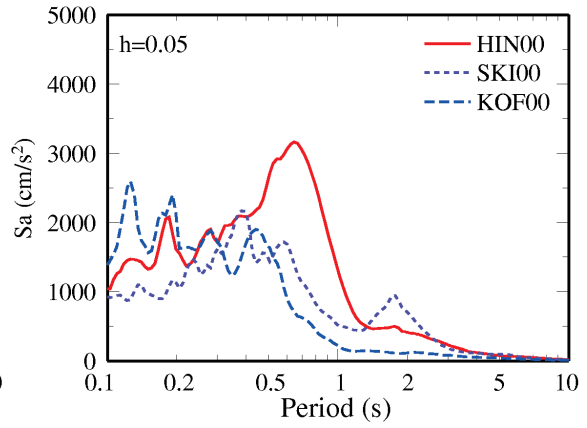
No.	観測波形			地震名	方位	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGV (cm/s)	PGA/ PGV	AVS30
	Code	観測地点名	観測機関						
1	KOB95	JMA神戸	気象庁	1995年兵庫県南部地震	NS	818	87	9.4	203
2	TKT95	JR鷹取	鉄道総研		EW	657	125	5.3	203
3	TKZ95	JR宝塚	鉄道総研		EW	601	84	7.2	332
4	HIN00	日野	KiK-net	2000年鳥取県西部地震	NS	926	116	8.0	268
5	SKI00	境港市東本町	気象庁		EW	749	84	8.9	260
6	KOF00	江府	K-NET		NS	726	42	17.4	461
7	NIM00	新見	K-NET		EW	816	26	30.9	458
8	YNG00	米子	K-NET	EW	384	53	7.3	138	
9	ONO01	大野	K-NET	2001年芸予地震	EW	441	32	14.0	205
10	YUK01	湯来	K-NET		EW	831	31	26.4	495
11	MHR01	三原	気象庁		NS	243	20	12.2	200
12	WKY03	涌谷町新町	気象庁	2003年宮城県北部の地震	EW	513	42	12.3	191
13	FRK03	古川市三日町	気象庁		EW	213	19	10.9	217
14	OJK03	牡鹿	K-NET	2003年宮城県沖の地震	EW	1112	35	32.0	1676
15	OFN03	大船渡市大船渡町	気象庁		EW	1106	33	32.0	400
16	TMK03	苫小牧	K-NET	2003年十勝沖地震	EW	73	36	2.0	414
17	TYK03	豊頃	KiK-net		EW	404	71	5.7	134
18	ATM03	厚真	KiK-net		EW	376	84	4.5	97
19	TIK03	大樹	K-NET		EW	346	77	4.5	460
20	SBT03	標津	K-NET		EW	491	56	8.8	130
21	KSR03	釧路	K-NET		EW	407	43	9.6	203
22	SRN03	白糠南	KiK-net		EW	392	75	5.2	291
23	URH03	浦幌	K-NET		NS	390	57	6.8	97
24	MKW03	鶴川	K-NET		NS	190	32	6.0	169
25	KWG04	川口	気象庁	2004年新潟県中越地震	EW	1667	143	11.6	369
26	YMK04	山古志	気象庁		EW	716	82	8.8	400
27	OJY04	小千谷	K-NET		EW	1309	134	9.7	416
28	JOJ04	小千谷市城内	気象庁		EW	898	92	9.7	100
29	HSK04	新潟小国町法坂	気象庁		EW	692	63	10.9	373
30	TUK04	十日町	K-NET		NS	1715	58	29.7	472

表 付録-1-1(2) 検討に用いる観測地震動一覧

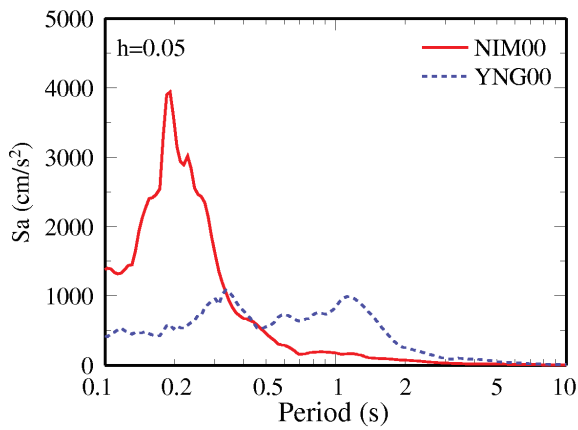
No.	観測波形			地震名	方位	PGA (cm/s <sup>2</sup> )	PGV (cm/s)	PGA/ PGV	AVS30
	Code	観測地点名	観測機関						
31	MNT04	港町	K-NET	2004年留萌支庁南部の地震	EW	1127	71	15.9	599
32	FKO05	福岡	K-NET	2005年福岡県西方沖地震	NS	277	57	4.8	187
33	MEH05	前原	K-NET		EW	261	21	12.5	215
34	WJM07	輪島	気象庁		2007年能登半島地震	EW	439	79	5.5
35	FGI07	富来	K-NET	EW		849	48	17.5	338
36	ANA07	穴水	K-NET	EW		782	100	7.8	136
37	NTO07	能登町宇出津	気象庁	NS		147	22	6.7	208
38	KSW07	柏崎	K-NET	2007年新潟県中越沖地震	NS	667	124	5.4	188
39	KRW07	刈羽村割町新田	気象庁		NS	461	122	3.8	163
40	OJY07	小千谷	K-NET		NS	391	22	17.6	416
41	KKZ07	上越市柿崎区柿崎	気象庁		EW	446	81	5.5	194
42	NSY07	柏崎市西山町池浦	気象庁		NS	835	76	10.9	308
43	NRK08	鳴子	K-NET	2008年岩手・宮城内陸地震	NS	440	72	6.1	361
44	HNR08	東成瀬	KiK-net		EW	2448	76	32.3	402
45	ISN08	一関西	KiK-net		NS	1143	71	16.2	500
46	KRK08	栗原市栗駒	気象庁		EW	689	53	13.0	316
47	ISH08	一関東	KiK-net		NS	889	63	14.1	434
48	TKD08	築館	K-NET		NS	740	47	15.7	481
49	FRK08	古川	K-NET		EW	233	44	5.2	164
50	BHR09	棒原	K-NET	2009年駿河湾の地震	NS	251	27	9.2	337
51	YEZ09	焼津	K-NET		NS	314	30	10.6	225
52	SZG09	修善寺	KiK-net		EW	443	35	12.7	207
53	SGR09	牧之原市相良	気象庁		NS	348	58	6.0	208
54	SRH09	御前崎市白羽	気象庁		EW	773	47	16.6	380
55	SND11	仙台	K-NET	2011年東北地方太平洋沖地震	NS	1517	84	18.2	333
56	ISN11	石巻	K-NET		NS	458	55	8.4	277
57	HTC11	日立	K-NET		NS	1598	71	22.6	301
58	HKT11	鉾田	K-NET		NS	1355	75	18.1	296
59	MIT11	水戸	K-NET		NS	779	38	20.3	421



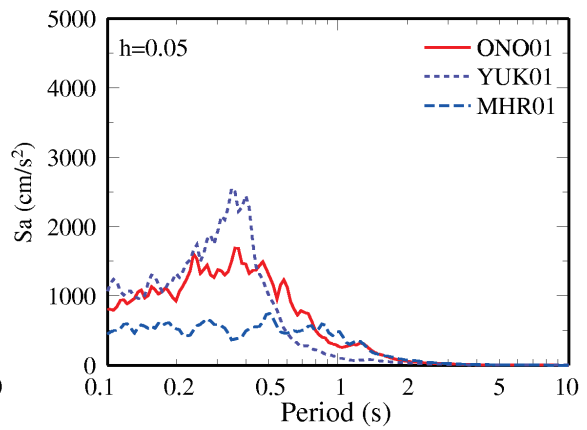
(a) 1995年兵庫県南部地震



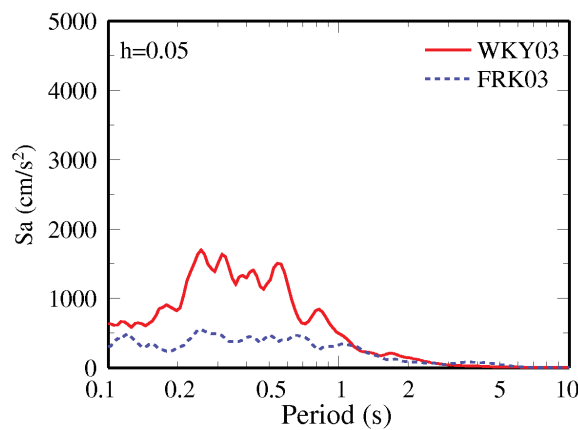
(b) 2000年鳥取県西部地震(1)



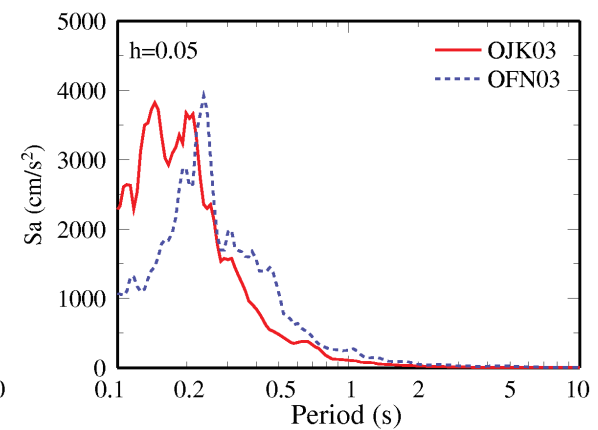
(c) 2000年鳥取県西部地震(2)



(d) 2001年芸予地震

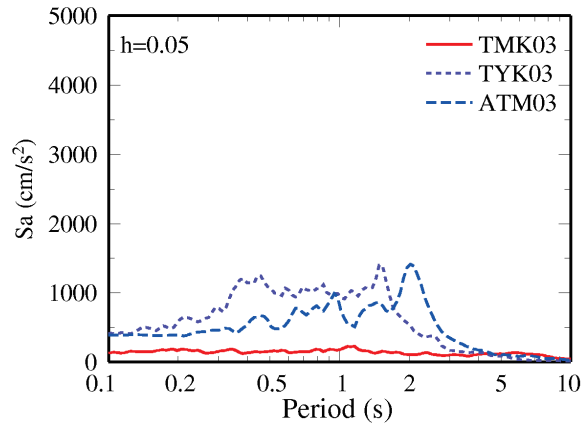


(e) 2003年宮城県北部の地震

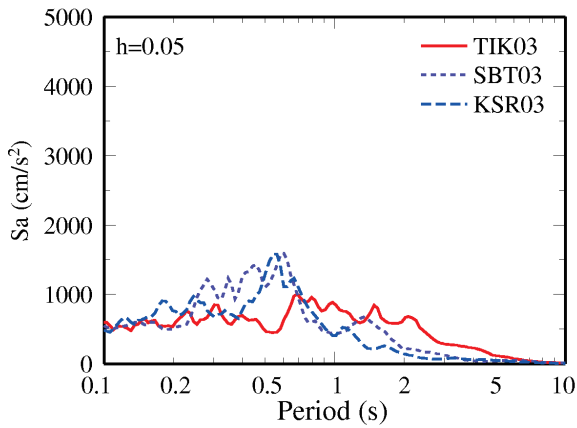


(f) 2003年宮城県沖の地震

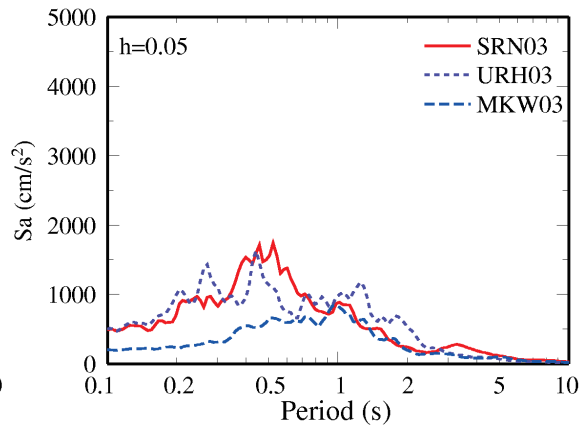
図 付録-1-2 観測地震動の加速度応答スペクトル



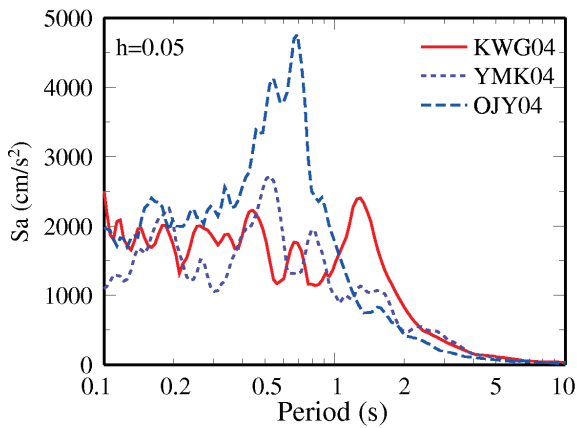
(a) 2003年十勝沖地震(1)



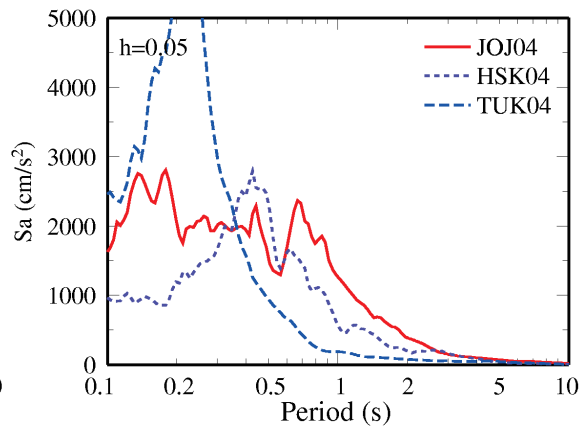
(b) 2003年十勝沖地震(2)



(c) 2003年十勝沖地震(3)

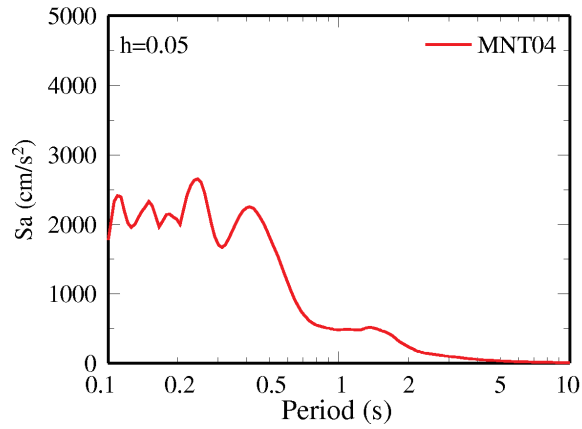


(d) 2004年新潟県中越地震(1)

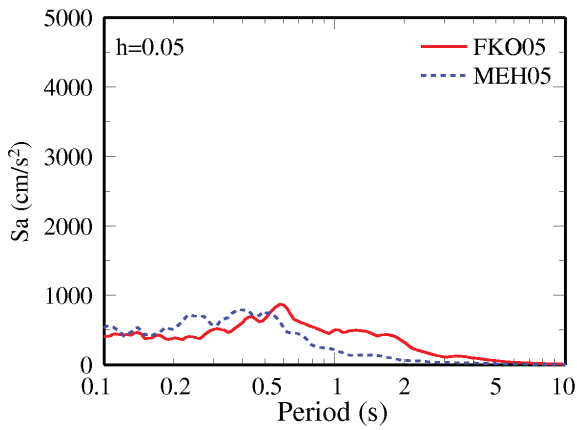


(e) 2004年新潟県中越地震(2)

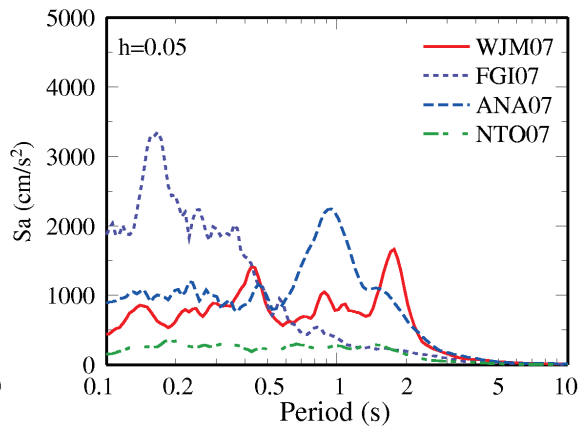
図 付録-1-3 観測地震動の加速度応答スペクトル



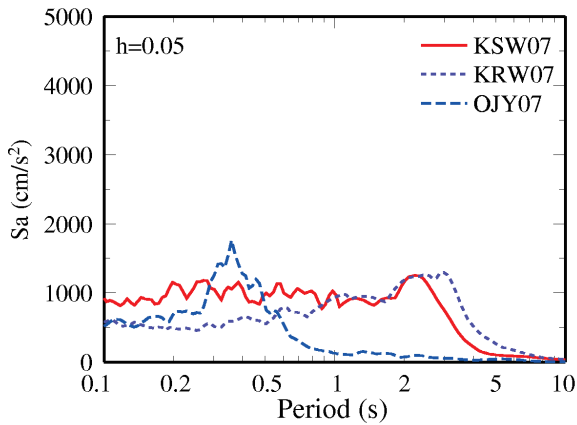
(a) 2004年留萌支庁南部の地震



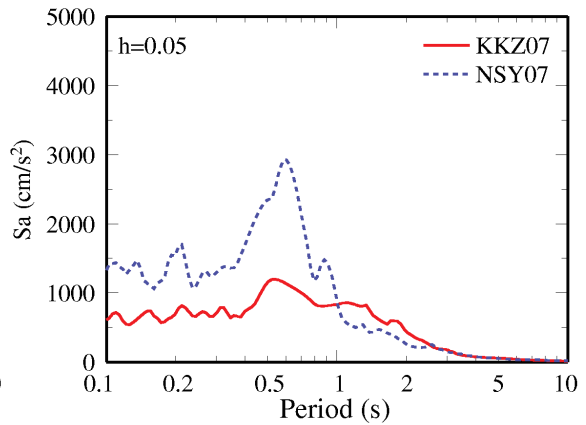
(b) 2005年福岡県西方沖地震



(c) 2007年能登半島地震

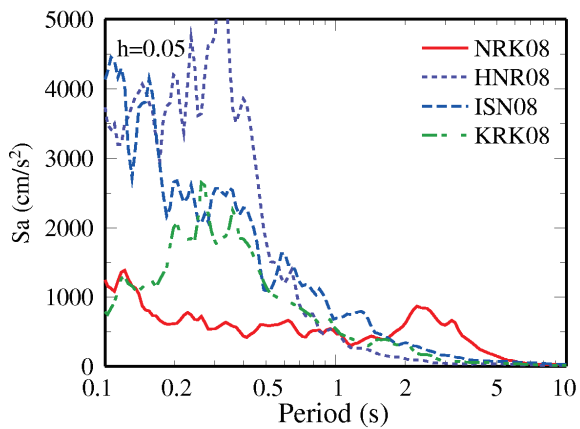


(d) 2007新潟県中越沖地震(1)

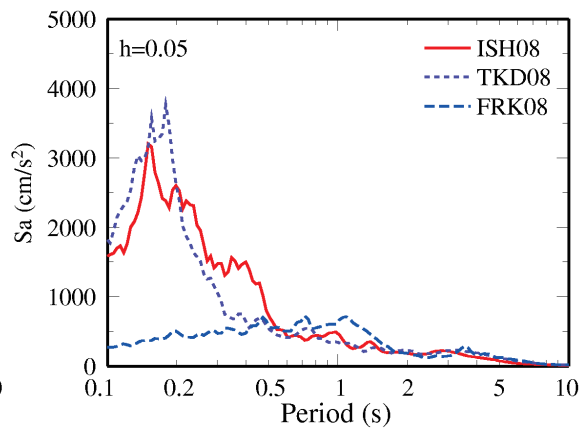


(e) 2007新潟県中越沖地震(2)

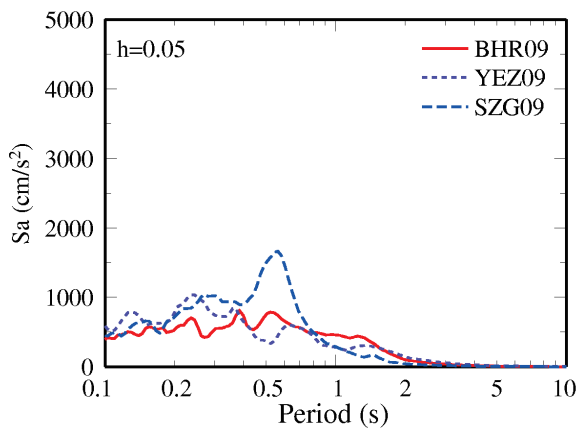
図 付録-1-4 観測地震動の加速度応答スペクトル



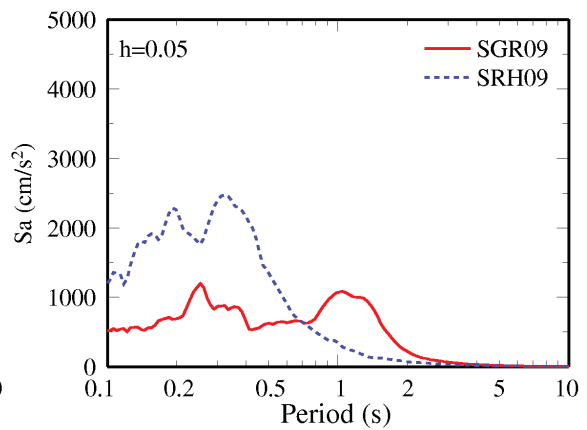
(a) 2008年岩手・宮城内陸地震(1)



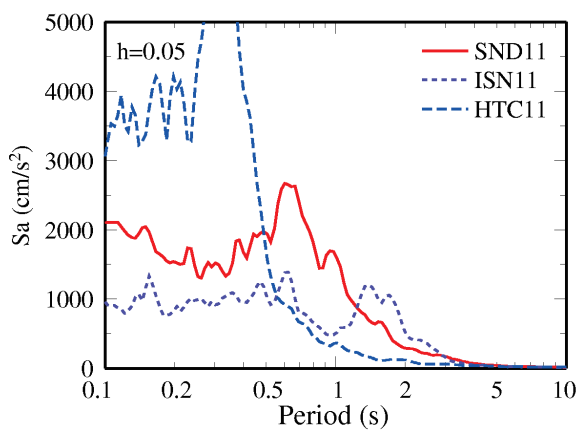
(b) 2008年岩手・宮城内陸地震(2)



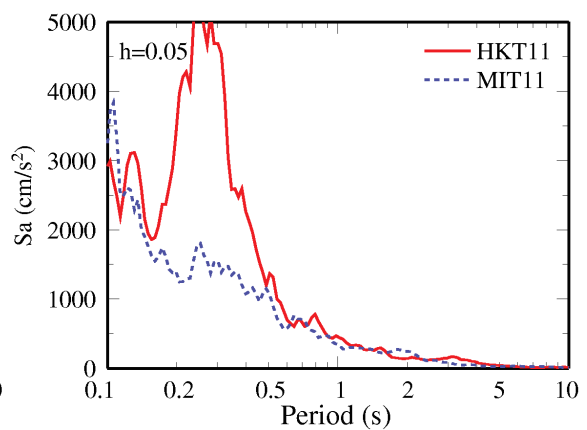
(c) 2009年駿河湾の地震(1)



(d) 2009年駿河湾の地震(2)



(e) 2011年東北地方太平洋沖地震(1)



(f) 2011年東北地方太平洋沖地震(2)

図 付録-1-5 観測地震動の加速度応答スペクトル

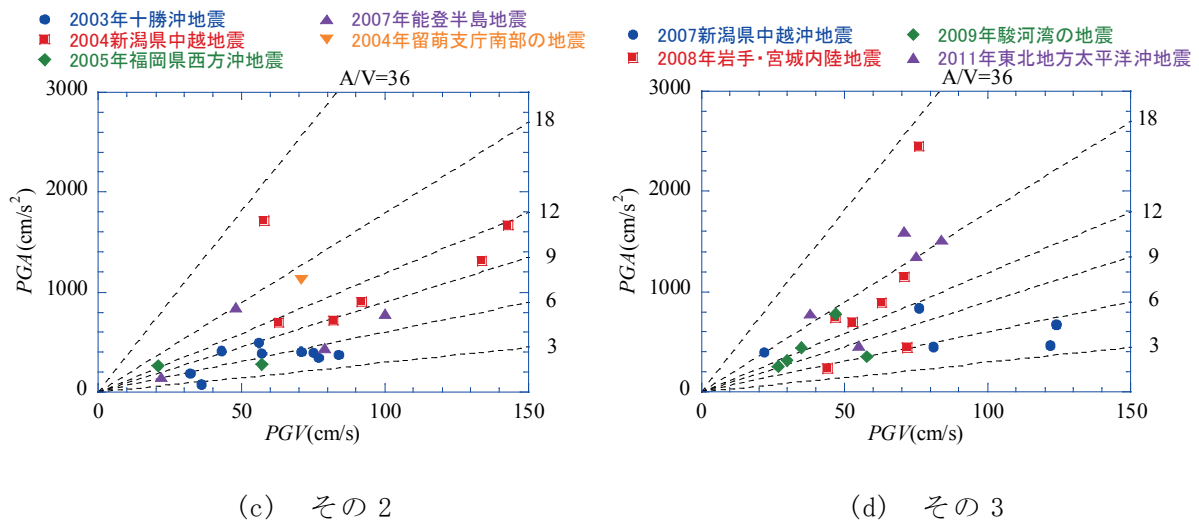
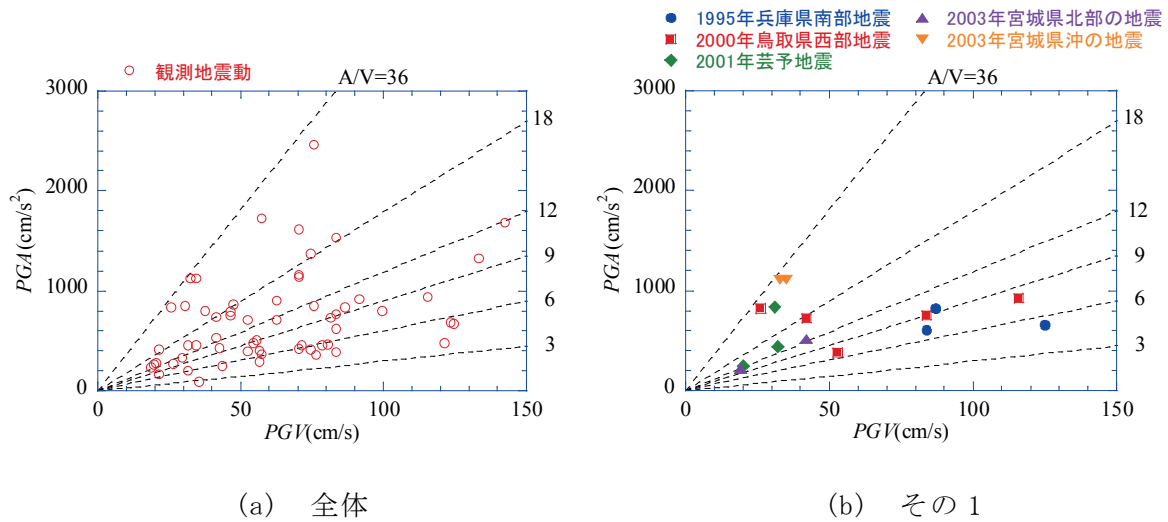


図 付録-1-6 観測地震動の最大地動加速度PGAと最大地動速度PGVとの関係

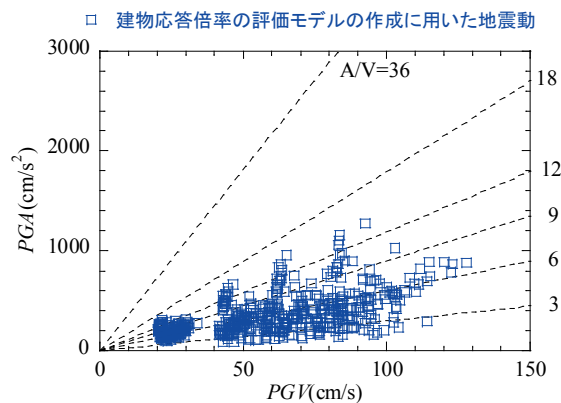


図 付録-1-7 建物応答倍率の作成に使用した地震動における最大地動加速度PGAと最大地動速度PGVとの関係

## 2. 観測地震動を用いた建物応答倍率

本文に記載した建物応答倍率と、観測地震動を用いて算定した建物応答倍率とを比較して、図 付録-1-8～図付録-1-11に示す。建物応答倍率は、地震動の周期特性A/Vで区分しているため、同様に各観測地震動の周期特性をPGA/PGVで区分して比較している。建物モデルは、直接基礎形式のRC造建物を対象とし、建物耐力に関わる係数は $\alpha=3$ 、アスペクト比はBC=1として、2階および4階建てでは建築面積A=100m<sup>2</sup>、8階および15階建てでは建築面積A=400m<sup>2</sup>で表示している。埋込深さは2階及び4階建てでは埋込深さD=0m、8階及び15階建てでは埋込深さD=3mである。

表層地盤のS波速度が200m/s以下と比較的柔らかい地盤の観測地震動の場合などで、観測地震動を用いて算出した建物応答倍率が建物応答倍率の平均値 $\pm 1\sigma$ を超えている例がいくつか見られるが、全体的には、観測地震動を用いて算定した建物応答倍率は、地震動の周期特性A/Vに関わらず、提案した建物応答倍率の平均値 $\pm 1\sigma$ の範囲にほぼ入っており、提案した建物応答倍率は、近年の被害地震における観測地震動が作用した際の、建物応答の変化を概ね説明できているといえる。

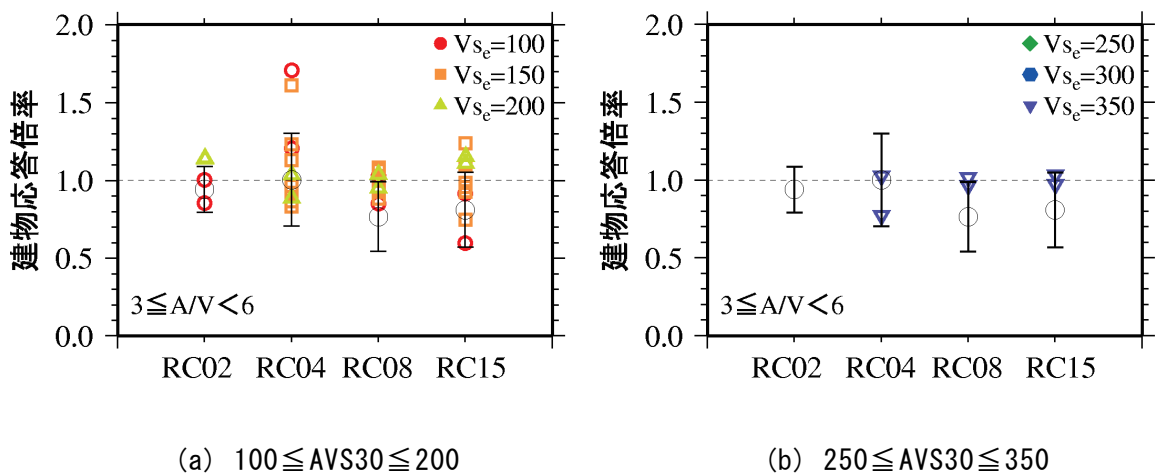
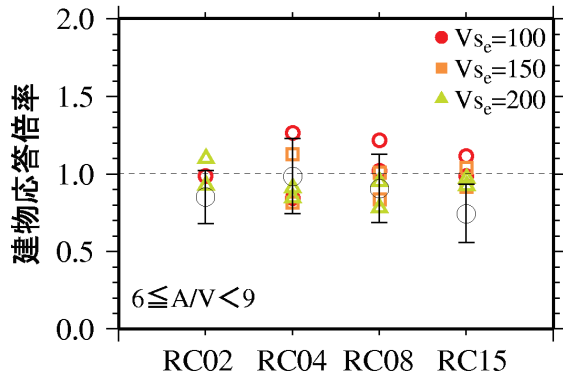
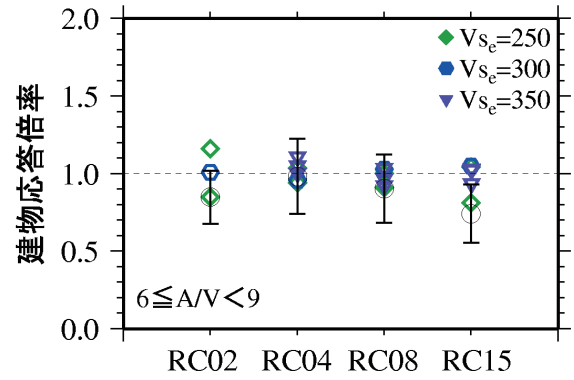


図 付録-1-8 建物応答倍率と観測地震動を用いた建物応答倍率との比較 ( $3 \leq A/V < 6$ )



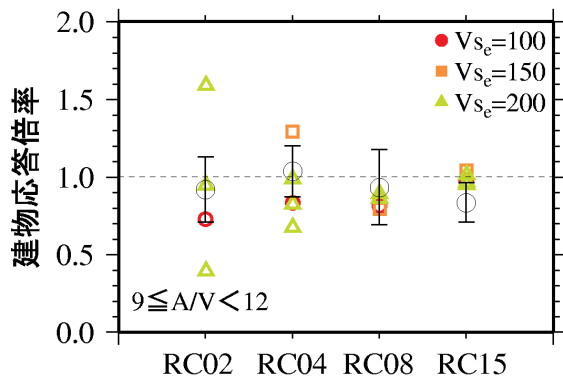


(a)  $100 \leq AVS30 \leq 200$

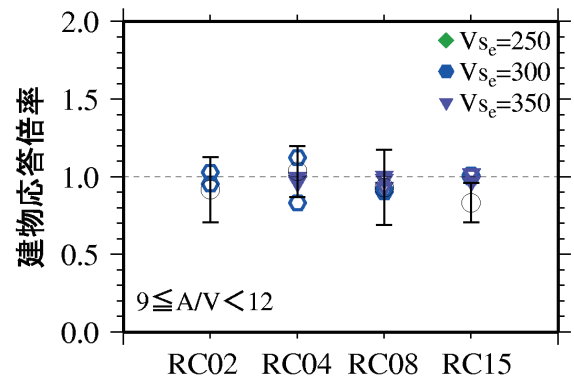


(b)  $250 \leq AVS30 \leq 350$

図 付録-1-9 建物応答倍率と観測地震動を用いた  
建物応答倍率との比較 ( $6 \leq A/V < 9$ )

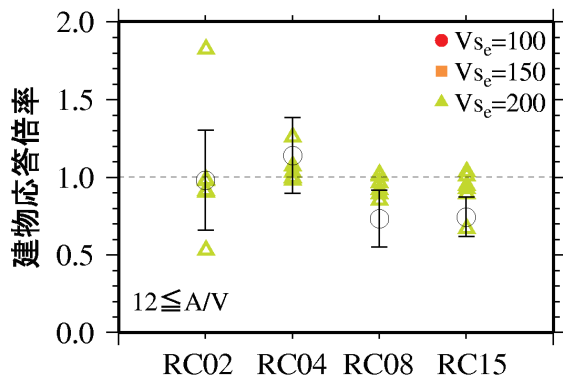


(a)  $100 \leq AVS30 \leq 200$

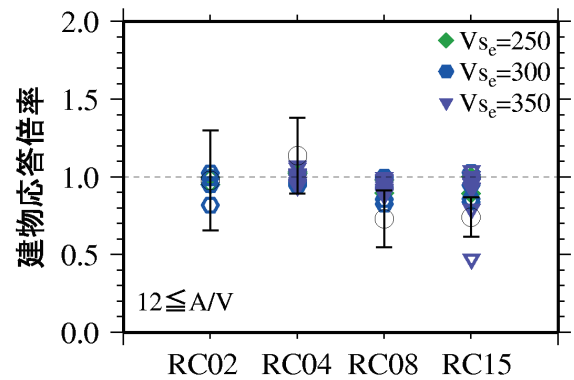


(b)  $250 \leq AVS30 \leq 350$

図 付録-1-10 建物応答倍率と観測地震動を用いた  
建物応答倍率との比較 ( $9 \leq A/V < 12$ )



(a)  $100 \leq AVS30 \leq 200$



(b)  $250 \leq AVS30 \leq 350$

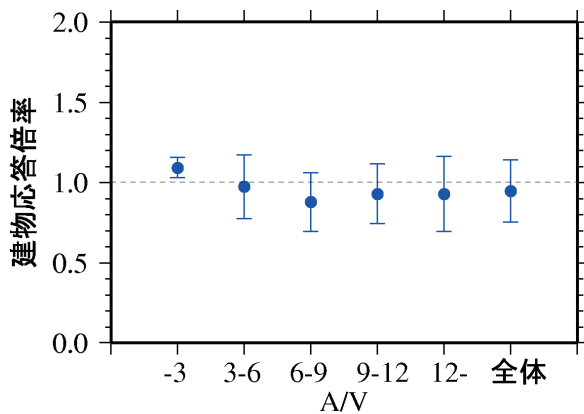
図 付録-1-11 建物応答倍率と観測地震動を用いた  
建物応答倍率との比較 ( $12 \leq A/V$ )



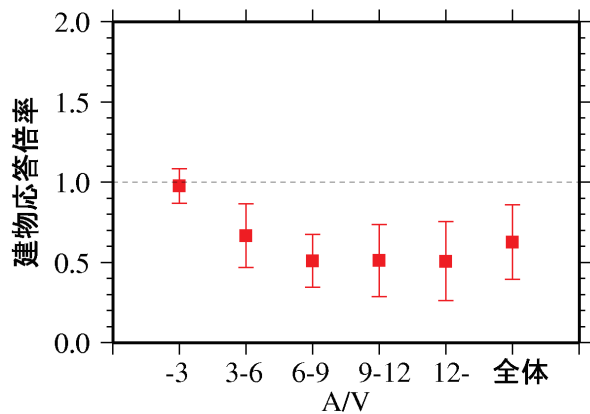
## 〔付録 2〕 解析パラメータにより分類した建物応答倍率一覧

表 付録-2-1(1) 2階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

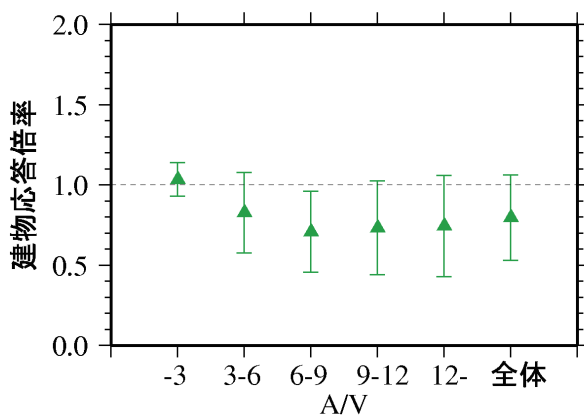
$\alpha=2$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	1.09	0.06	203	0.98	0.11	197	1.03	0.10	400
$3 \leq A/V < 6$	0.97	0.20	889	0.67	0.30	806	0.83	0.30	1695
$6 \leq A/V < 9$	0.88	0.21	679	0.51	0.32	574	0.71	0.36	1253
$9 \leq A/V < 12$	0.93	0.20	250	0.51	0.44	220	0.73	0.40	470
$12 \leq A/V$	0.93	0.25	91	0.51	0.49	71	0.74	0.43	162
全体	0.95	0.21	2112	0.63	0.37	1868	0.80	0.34	3980



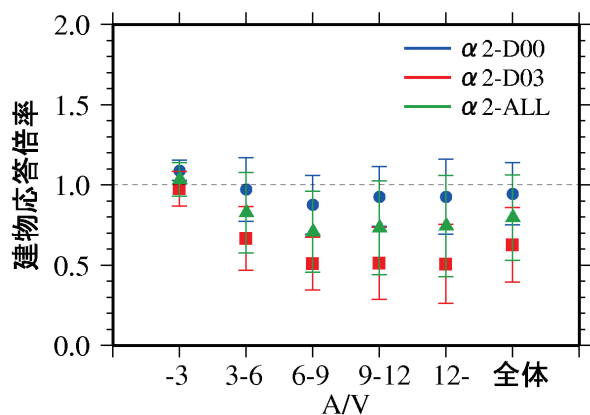
(a) RC02-S- $\alpha$ 2-D00



(b) RC02-S- $\alpha$ 2-D03



(c) RC02-S- $\alpha$ 2-ALL

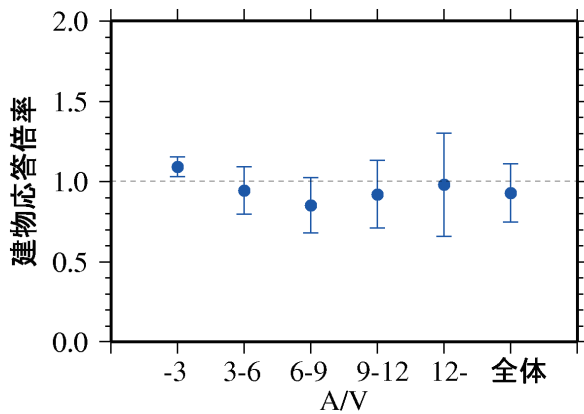


(d) 比較

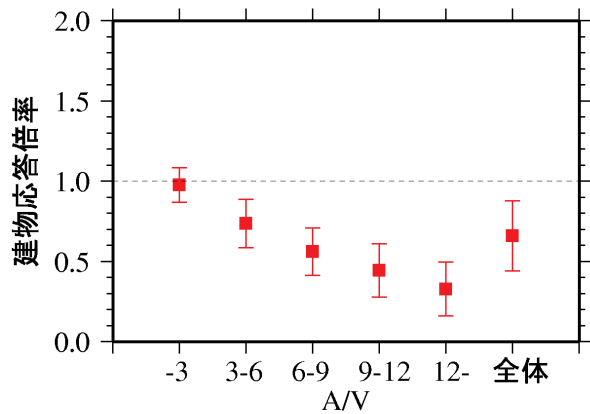
図 付録-2-1(1) 2階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-1(2) 2階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

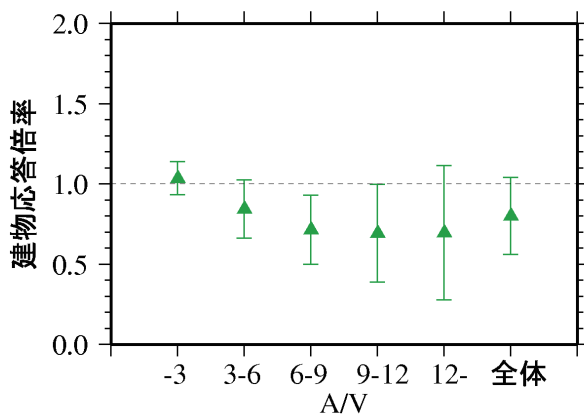
$\alpha=3$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	1.09	0.06	211	0.98	0.11	199	1.04	0.10	410
$3 \leq A/V < 6$	0.94	0.16	922	0.74	0.20	846	0.84	0.21	1768
$6 \leq A/V < 9$	0.85	0.20	625	0.56	0.26	557	0.71	0.30	1182
$9 \leq A/V < 12$	0.92	0.23	251	0.44	0.38	229	0.69	0.44	480
$12 \leq A/V$	0.98	0.33	91	0.33	0.51	70	0.70	0.60	161
全体	0.93	0.20	2100	0.66	0.33	1901	0.80	0.30	4001



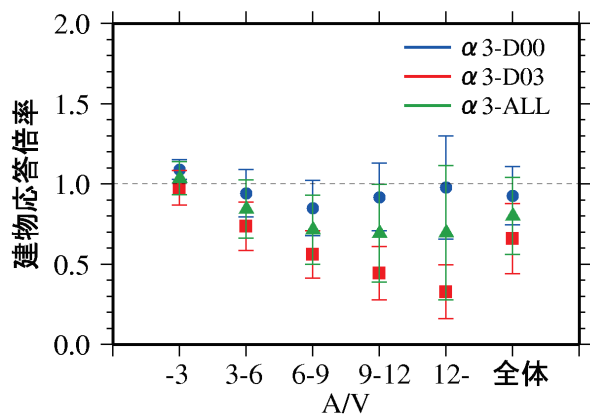
(a) RC02-S- $\alpha$ 3-D00



(b) RC02-S- $\alpha$ 3-D03



(c) RC02-S- $\alpha$ 3-ALL

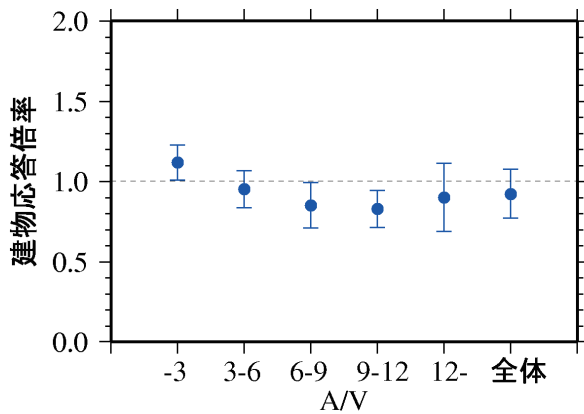


(d) 比較

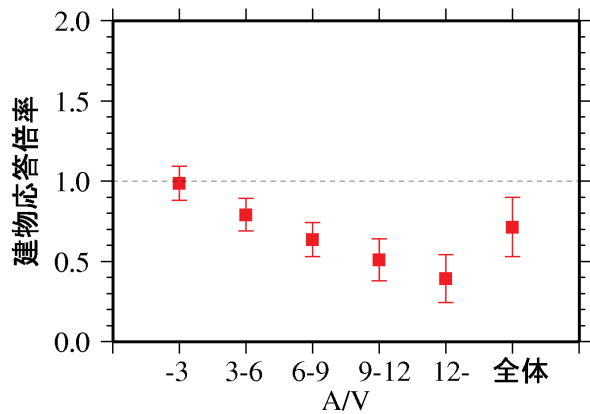
図 付録-2-1(2) 2階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-1(3) 2階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

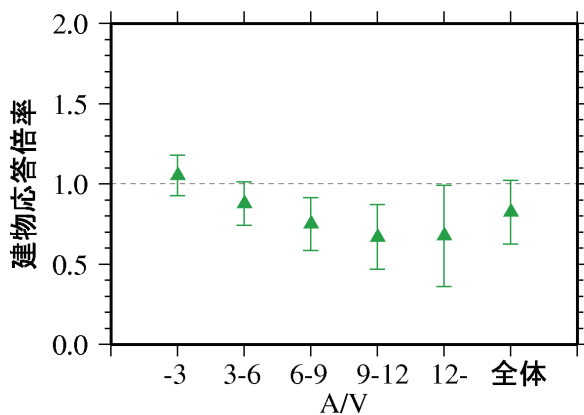
$\alpha=5$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	1.12	0.10	199	0.99	0.11	191	1.05	0.12	390
$3 \leq A/V < 6$	0.95	0.12	881	0.79	0.13	768	0.88	0.15	1649
$6 \leq A/V < 9$	0.85	0.17	587	0.64	0.16	517	0.75	0.22	1104
$9 \leq A/V < 12$	0.83	0.14	229	0.51	0.26	227	0.67	0.30	456
$12 \leq A/V$	0.90	0.24	94	0.39	0.38	74	0.68	0.47	168
全体	0.92	0.17	1990	0.71	0.26	1777	0.82	0.24	3767



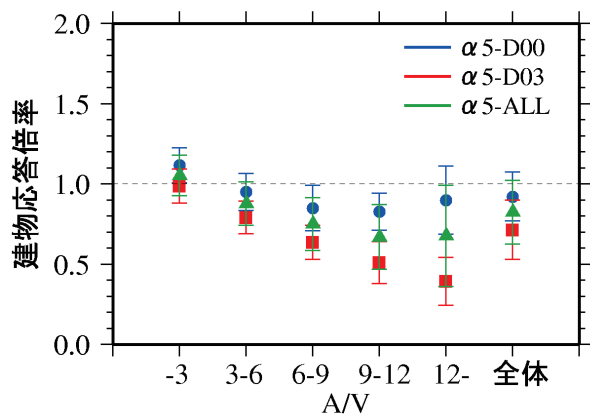
(a) RC02-S- $\alpha$ 5-D00



(b) RC02-S- $\alpha$ 5-D03



(c) RC02-S- $\alpha$ 5-ALL

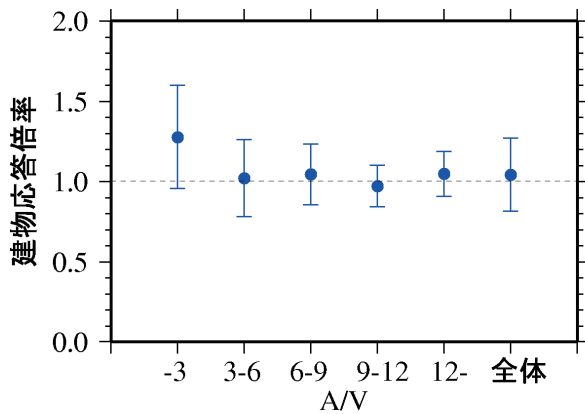


(d) 比較

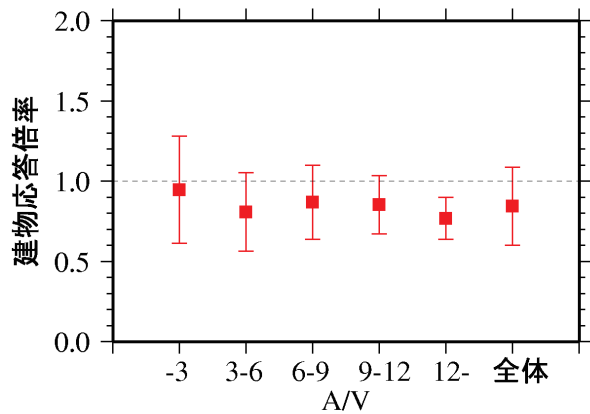
図 付録-2-1(3) 2階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-2(1) 4階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

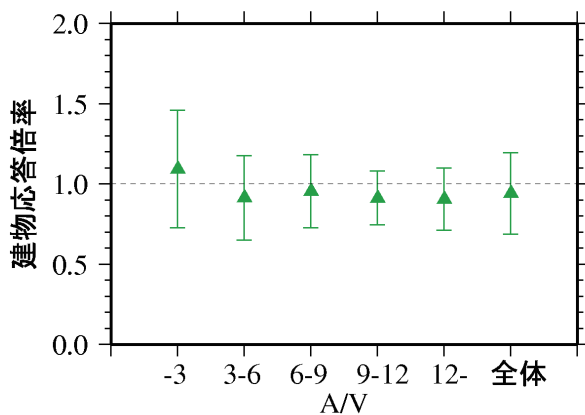
$\alpha=2$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	1.28	0.25	221	0.95	0.35	274	1.09	0.34	495
$3 \leq A/V < 6$	1.02	0.24	1298	0.81	0.30	1328	0.91	0.29	2626
$6 \leq A/V < 9$	1.04	0.18	952	0.87	0.27	969	0.95	0.24	1921
$9 \leq A/V < 12$	0.97	0.13	396	0.85	0.21	400	0.91	0.18	796
$12 \leq A/V$	1.05	0.13	135	0.77	0.17	138	0.91	0.21	273
全体	1.04	0.22	3002	0.84	0.29	3109	0.94	0.27	6111



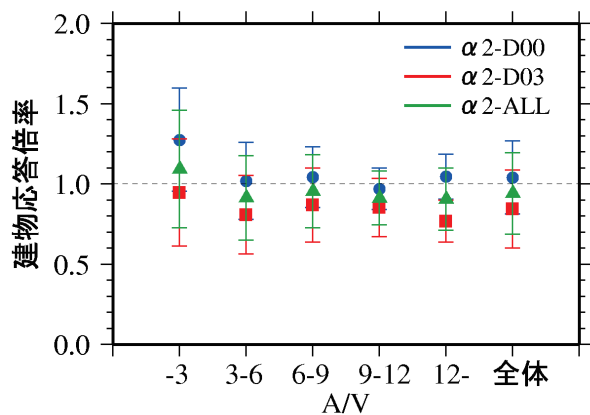
(a) RC04-S- $\alpha 2$ -D00



(b) RC04-S- $\alpha 2$ -D03



(c) RC04-S- $\alpha 2$ -ALL

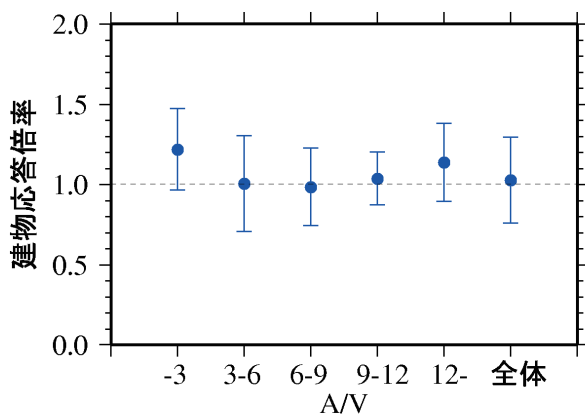


(d) 比較

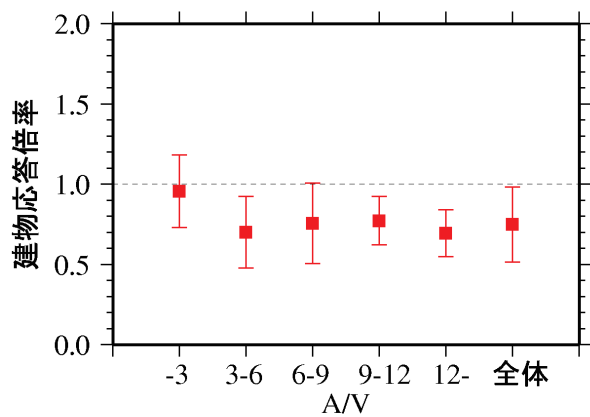
図 付録-2-2(1) 4階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-2(2) 4階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

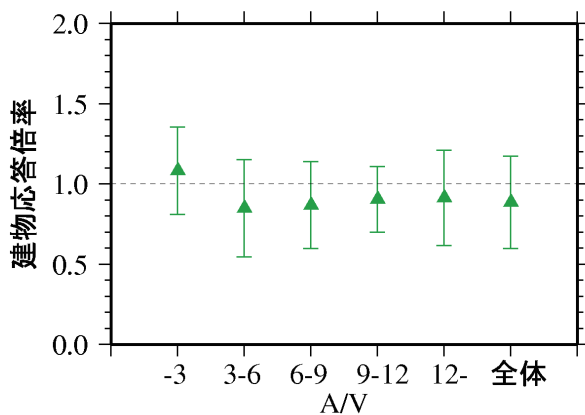
$\alpha=3$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	1.22	0.21	257	0.96	0.24	270	1.08	0.25	527
$3 \leq A/V < 6$	1.00	0.30	1280	0.70	0.32	1329	0.85	0.36	2609
$6 \leq A/V < 9$	0.98	0.25	942	0.76	0.33	964	0.87	0.31	1906
$9 \leq A/V < 12$	1.04	0.16	396	0.77	0.19	400	0.90	0.23	796
$12 \leq A/V$	1.14	0.21	123	0.69	0.21	126	0.91	0.33	249
全体	1.02	0.26	2998	0.75	0.31	3089	0.88	0.32	6087



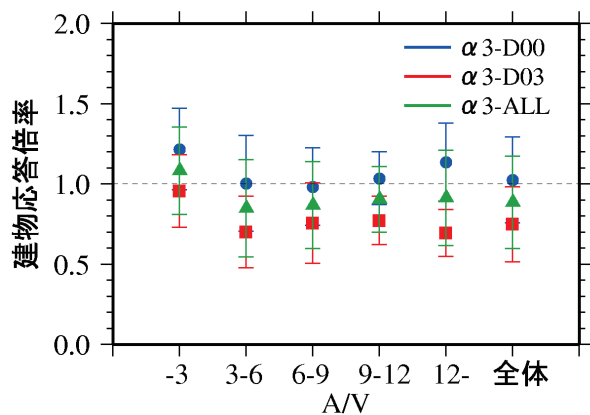
(a) RC04-S- $\alpha$ 3-D00



(b) RC04-S- $\alpha$ 3-D03



(c) RC04-S- $\alpha$ 3-ALL

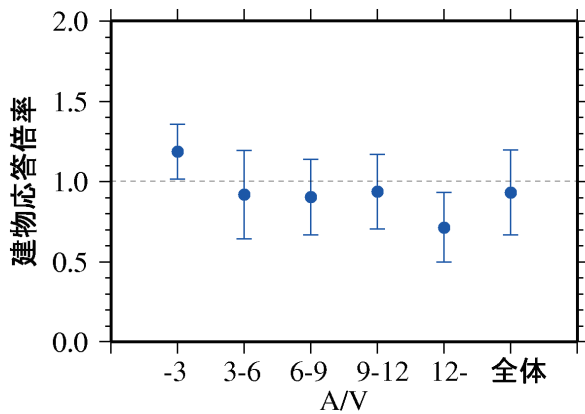


(d) 比較

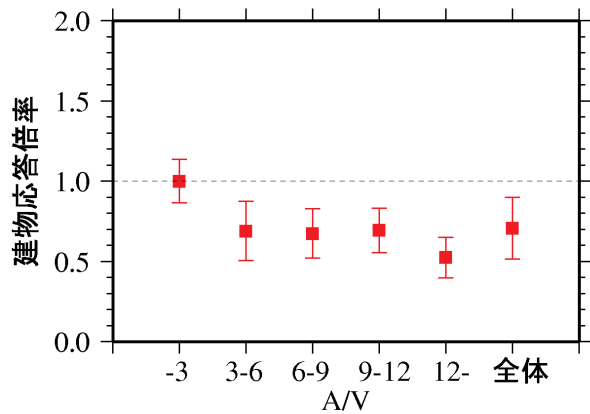
図 付録-2-2(2) 4階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-2(3) 4階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

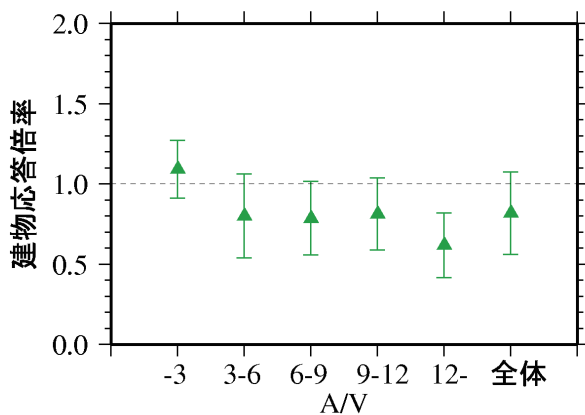
$\alpha=5$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	1.18	0.14	288	1.00	0.13	294	1.09	0.16	582
$3 \leq A/V < 6$	0.92	0.30	1307	0.69	0.27	1344	0.80	0.33	2651
$6 \leq A/V < 9$	0.90	0.26	927	0.67	0.23	953	0.79	0.29	1880
$9 \leq A/V < 12$	0.93	0.25	384	0.69	0.20	390	0.81	0.28	774
$12 \leq A/V$	0.71	0.31	135	0.52	0.24	138	0.62	0.33	273
全体	0.93	0.28	3041	0.71	0.27	3119	0.82	0.31	6160



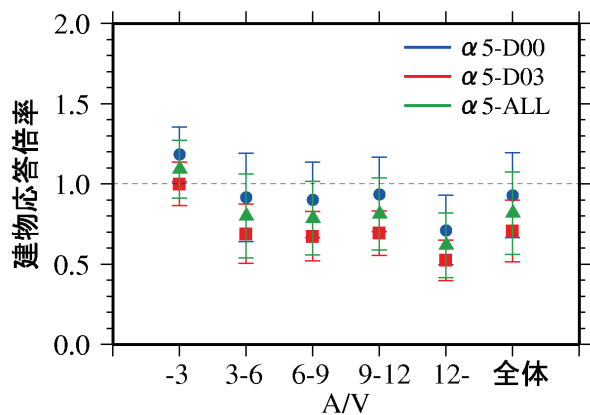
(a) RC04-S- $\alpha$ 5-D00



(b) RC04-S- $\alpha$ 5-D03



(c) RC04-S- $\alpha$ 5-ALL



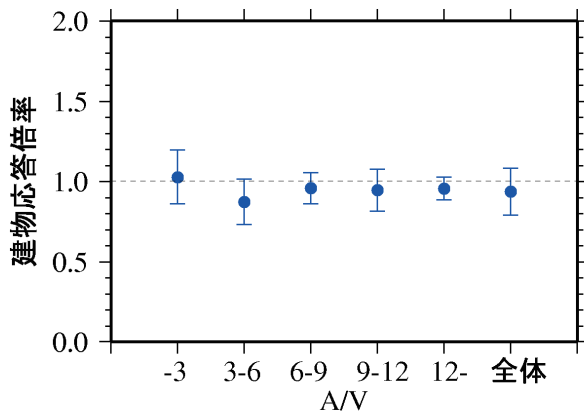
(d) 比較

図 付録-2-2(3) 4階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

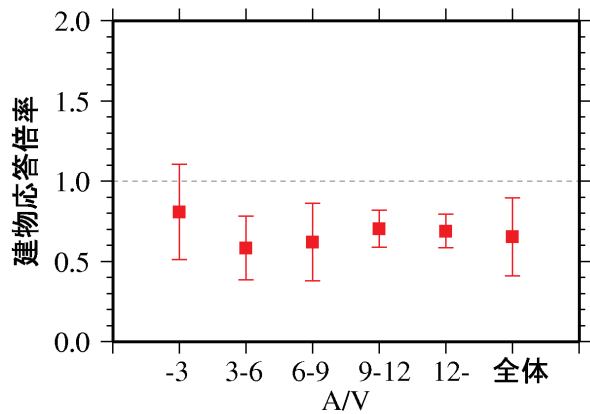


表 付録-2-2(4) 4階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

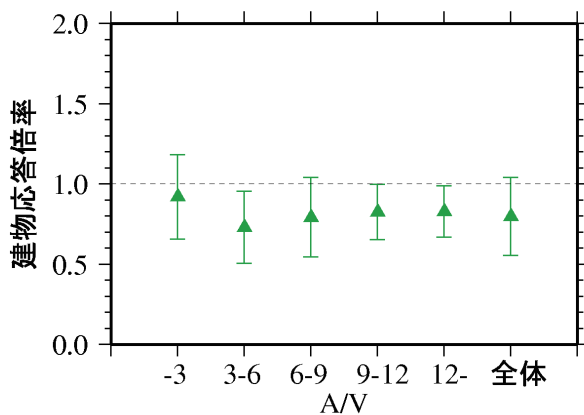
$\alpha=2$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	1.03	0.16	186	0.81	0.37	180	0.92	0.29	366
$3 \leq A/V < 6$	0.87	0.16	366	0.58	0.34	354	0.73	0.31	720
$6 \leq A/V < 9$	0.96	0.10	204	0.62	0.39	197	0.79	0.31	401
$9 \leq A/V < 12$	0.94	0.14	30	0.70	0.16	29	0.83	0.21	59
$12 \leq A/V$	0.96	0.07	72	0.69	0.15	66	0.83	0.19	138
全体	0.93	0.16	858	0.65	0.37	826	0.80	0.31	1684



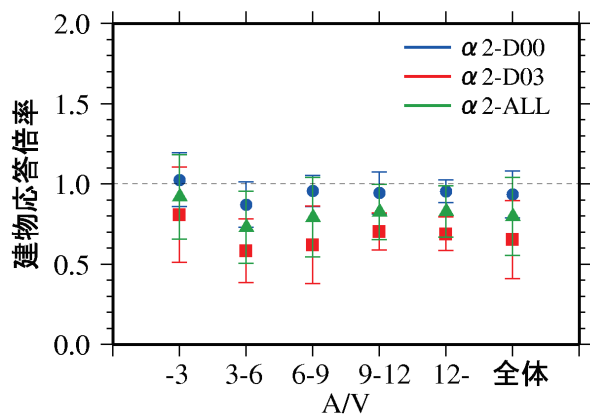
(a) RC04-P- $\alpha 2$ -D00



(b) RC04-P- $\alpha 2$ -D03



(c) RC04-P- $\alpha 2$ -ALL

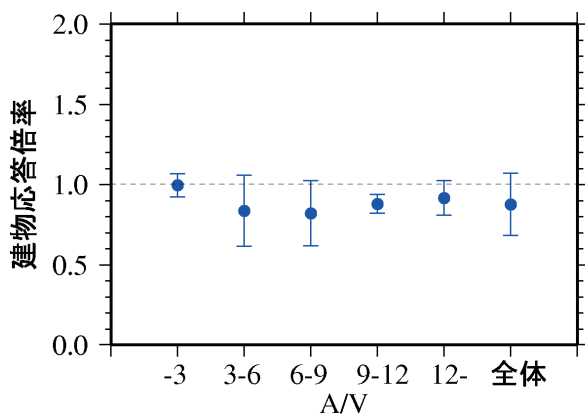


(d) 比較

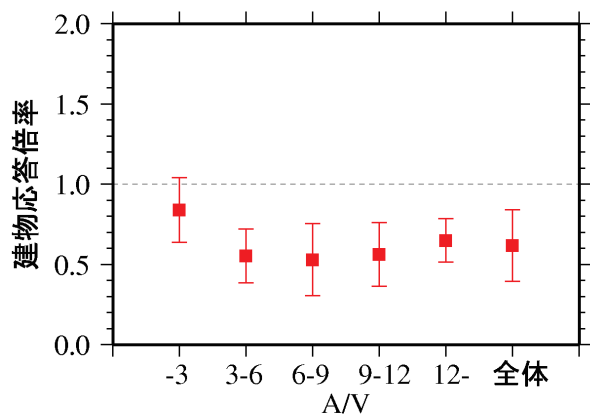
図 付録-2-2(4) 4階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-2(5) 4階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

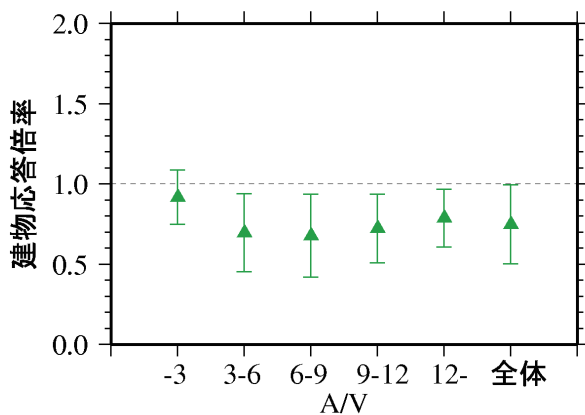
$\alpha=3$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.99	0.07	186	0.84	0.24	180	0.92	0.18	366
$3 \leq A/V < 6$	0.84	0.27	358	0.55	0.30	348	0.70	0.35	706
$6 \leq A/V < 9$	0.82	0.25	204	0.53	0.42	197	0.68	0.38	401
$9 \leq A/V < 12$	0.88	0.07	30	0.56	0.35	29	0.72	0.30	59
$12 \leq A/V$	0.91	0.12	72	0.65	0.21	66	0.79	0.23	138
全体	0.87	0.22	850	0.62	0.36	820	0.75	0.33	1670



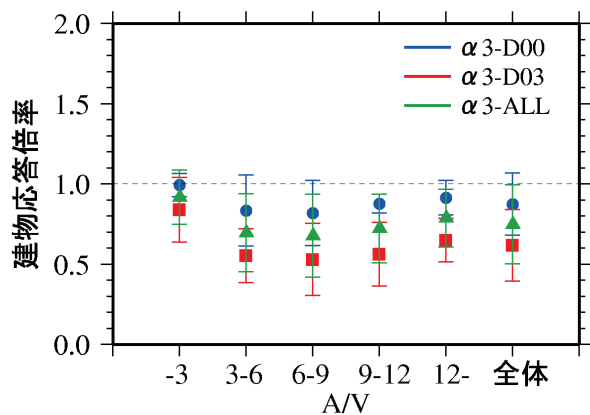
(a) RC04-P- $\alpha$ 3-D00



(b) RC04-P- $\alpha$ 3-D03



(c) RC04-P- $\alpha$ 3-ALL

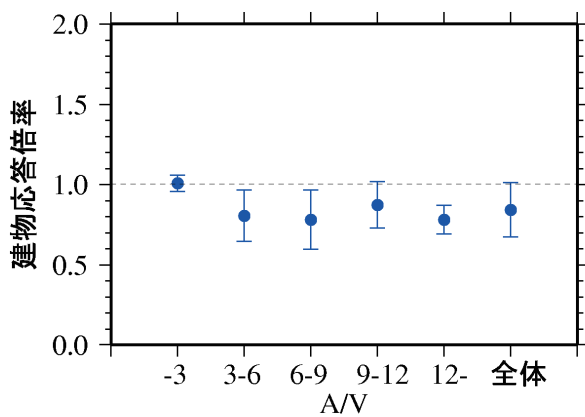


(d) 比較

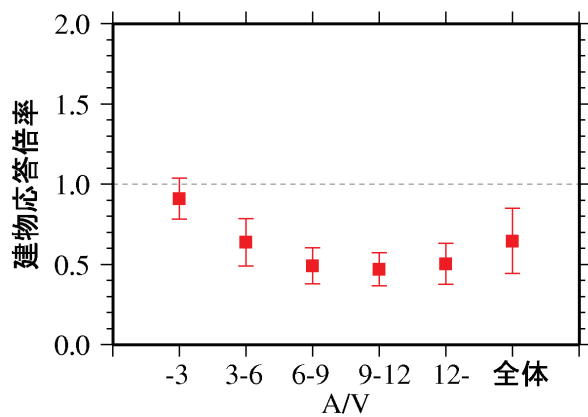
図 付録-2-2(5) 4階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-2(6) 4階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 杭基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

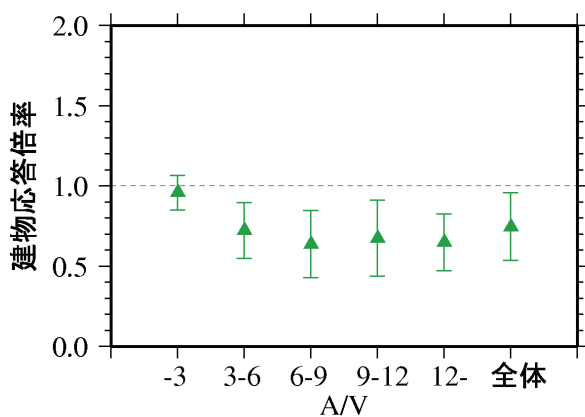
$\alpha=5$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	1.01	0.05	186	0.91	0.14	180	0.96	0.11	366
$3 \leq A/V < 6$	0.80	0.20	366	0.64	0.23	354	0.72	0.24	720
$6 \leq A/V < 9$	0.78	0.24	204	0.49	0.23	197	0.64	0.33	401
$9 \leq A/V < 12$	0.87	0.17	30	0.47	0.22	29	0.67	0.35	59
$12 \leq A/V$	0.78	0.12	72	0.50	0.25	66	0.65	0.27	138
全体	0.84	0.20	858	0.65	0.31	826	0.75	0.28	1684



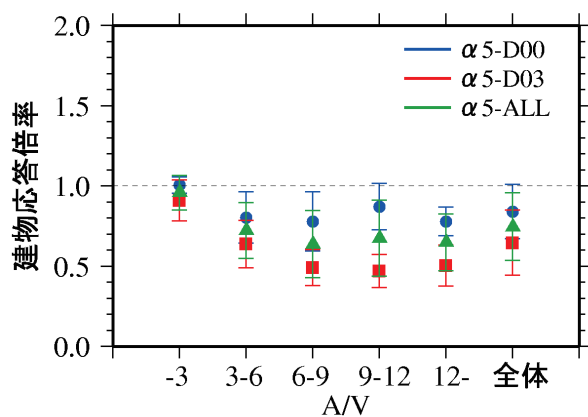
(a) RC04-P- $\alpha$ 5-D00



(b) RC04-P- $\alpha$ 5-D03



(c) RC04-P- $\alpha$ 5-ALL



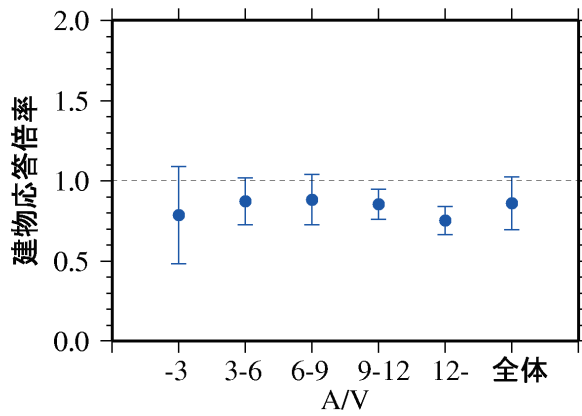
(d) 比較

図 付録-2-2(6) 4階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 杭基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

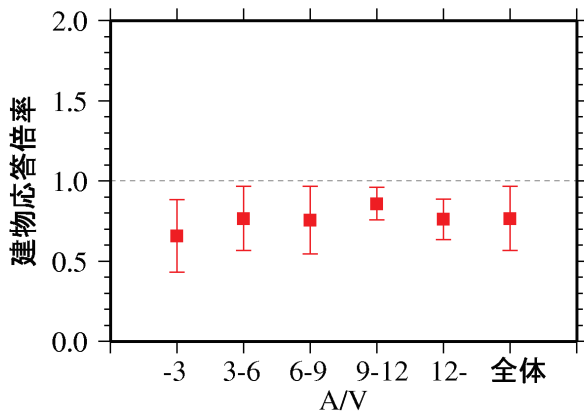
表 付録-2-3(1) 8階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=2$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.78	0.39	179	0.66	0.34	180
$3 \leq A/V < 6$	0.87	0.17	882	0.77	0.26	883
$6 \leq A/V < 9$	0.88	0.18	639	0.76	0.28	648
$9 \leq A/V < 12$	0.85	0.11	263	0.86	0.12	266
$12 \leq A/V$	0.75	0.12	92	0.76	0.16	90
全体	0.86	0.19	2055	0.77	0.26	2067

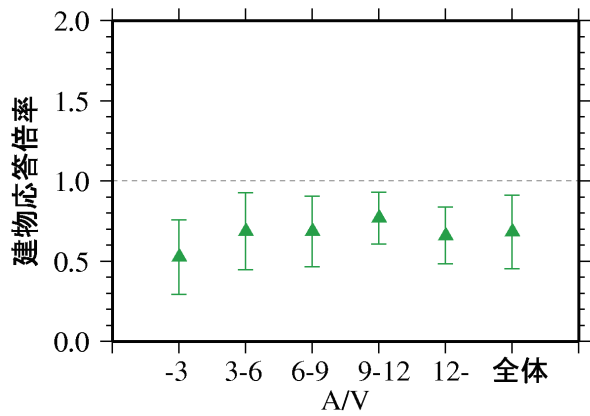
$\alpha=2$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.53	0.44	180	0.66	0.42	539
$3 \leq A/V < 6$	0.69	0.35	880	0.77	0.27	2645
$6 \leq A/V < 9$	0.69	0.32	642	0.77	0.28	1929
$9 \leq A/V < 12$	0.77	0.21	262	0.83	0.16	791
$12 \leq A/V$	0.66	0.27	80	0.73	0.19	262
全体	0.68	0.34	2044	0.77	0.28	6166



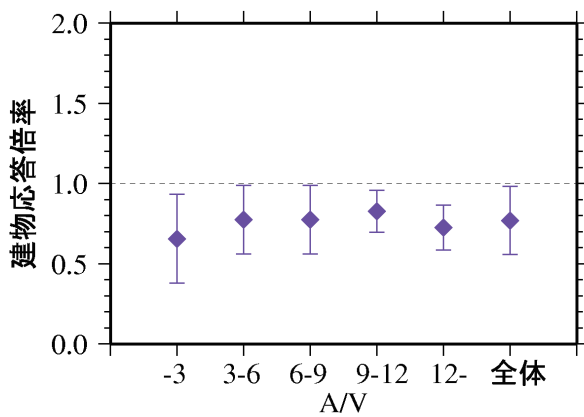
(a) RC08-S- $\alpha$ 2-D03



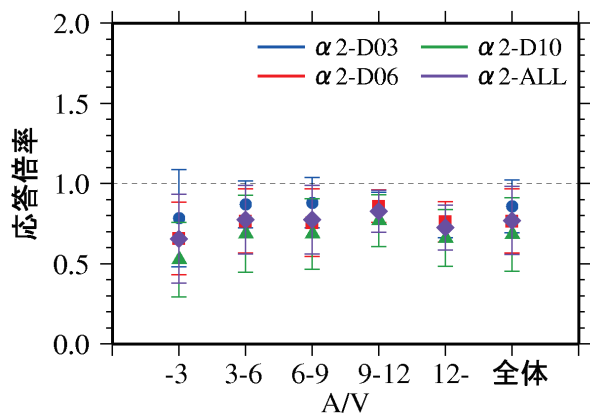
(b) RC08-S- $\alpha$ 2-D06



(c) RC08-S- $\alpha$ 2-D10



(d) RC08-S- $\alpha$ 2-ALL



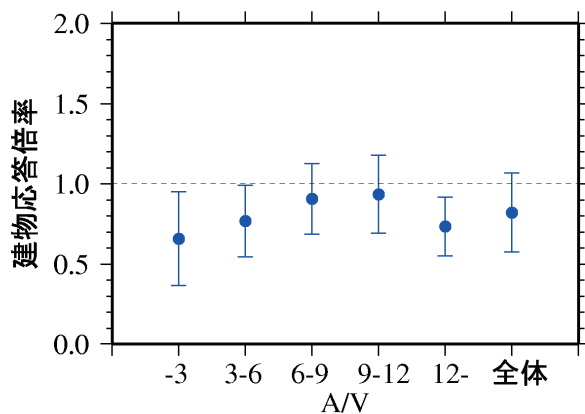
(e) 比較

図 付録-2-3(1) 8階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

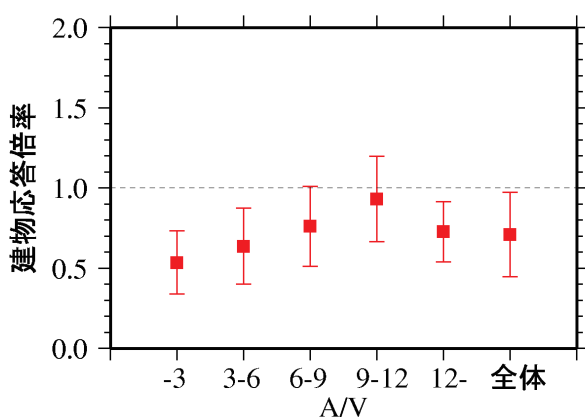
表 付録-2-3(2) 8階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=3$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.66	0.44	175	0.54	0.37	175
$3 \leq A/V < 6$	0.77	0.29	877	0.64	0.37	880
$6 \leq A/V < 9$	0.90	0.24	635	0.76	0.33	643
$9 \leq A/V < 12$	0.93	0.26	261	0.93	0.29	266
$12 \leq A/V$	0.73	0.25	92	0.73	0.26	90
全体	0.82	0.30	2040	0.71	0.37	2054

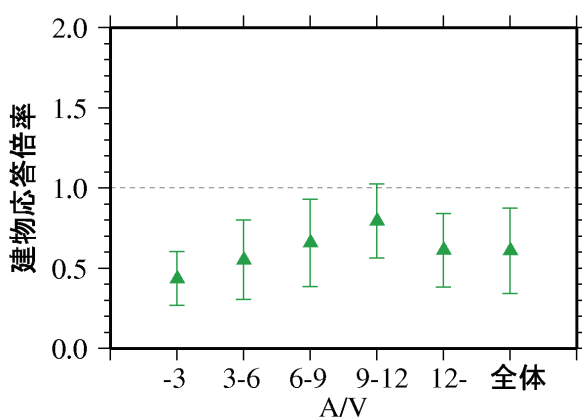
$\alpha=3$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.43	0.39	176	0.54	0.45	526
$3 \leq A/V < 6$	0.55	0.45	876	0.65	0.39	2633
$6 \leq A/V < 9$	0.66	0.41	632	0.77	0.35	1910
$9 \leq A/V < 12$	0.79	0.29	262	0.89	0.29	789
$12 \leq A/V$	0.61	0.38	80	0.69	0.30	262
全体	0.61	0.44	2026	0.71	0.38	6120



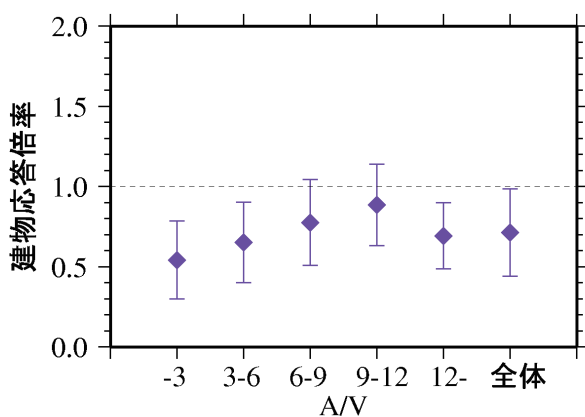
(a) RC08-S- $\alpha$ 3-D03



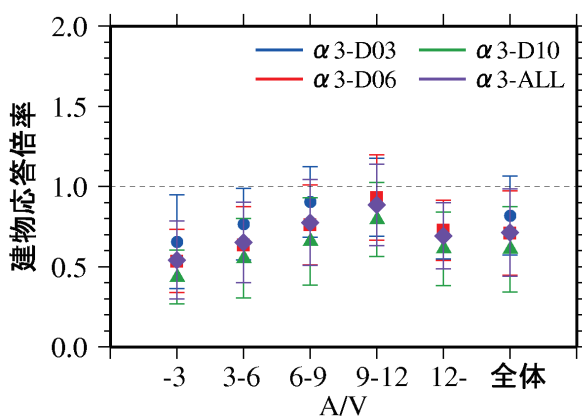
(b) RC08-S- $\alpha$ 3-D06



(c) RC08-S- $\alpha$ 3-D10



(d) RC08-S- $\alpha$ 3-ALL



(e) 比較

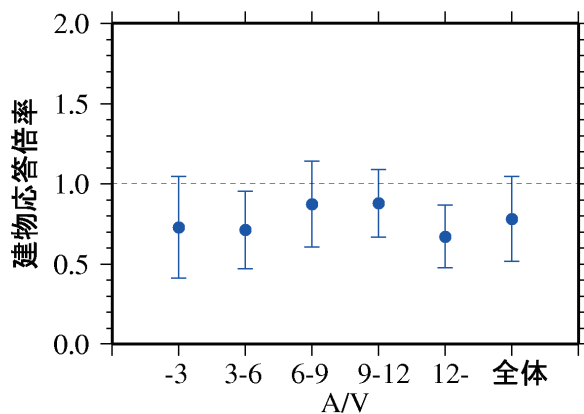
図 付録-2-3(2) 8階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-3(3) 8階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

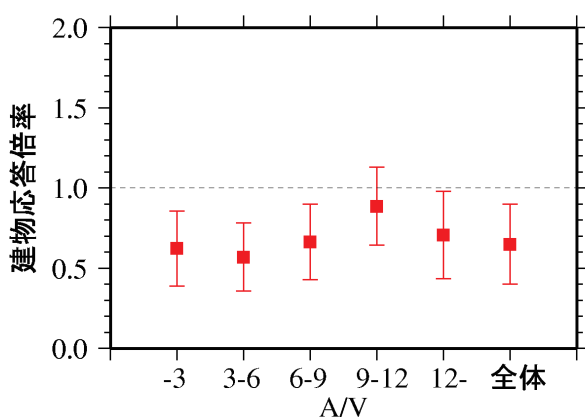
$\alpha=5$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.73	0.44	200	0.62	0.38	192
$3 \leq A/V < 6$	0.71	0.34	872	0.57	0.37	891
$6 \leq A/V < 9$	0.87	0.31	630	0.66	0.35	652
$9 \leq A/V < 12$	0.88	0.24	249	0.89	0.27	262
$12 \leq A/V$	0.67	0.29	94	0.71	0.39	90
全体	0.78	0.34	2045	0.65	0.38	2087

$\alpha=5$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.54	0.38	192	0.63	0.42	584
$3 \leq A/V < 6$	0.48	0.48	889	0.58	0.42	2652
$6 \leq A/V < 9$	0.56	0.44	647	0.70	0.40	1929
$9 \leq A/V < 12$	0.78	0.30	257	0.85	0.28	768
$12 \leq A/V$	0.58	0.37	82	0.66	0.36	266
全体	0.55	0.45	2067	0.66	0.41	6199

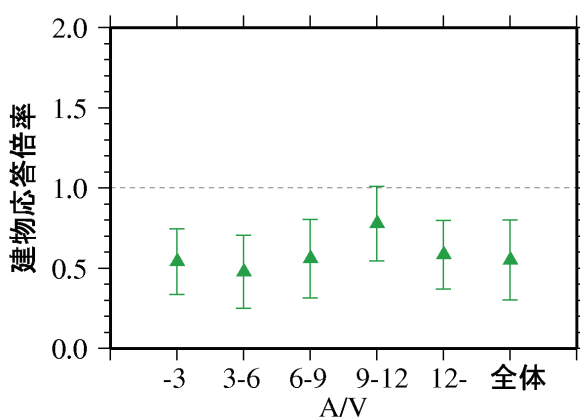




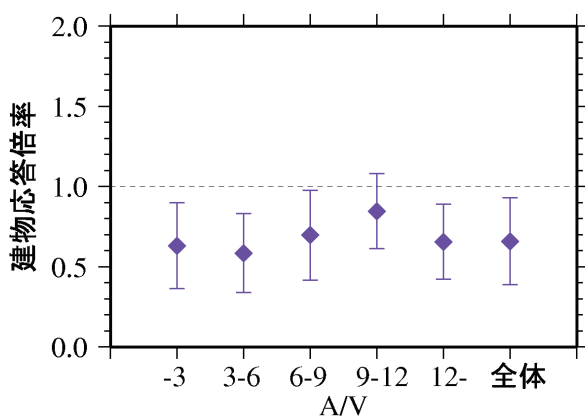
(a) RC08-S- $\alpha$ 5-D03



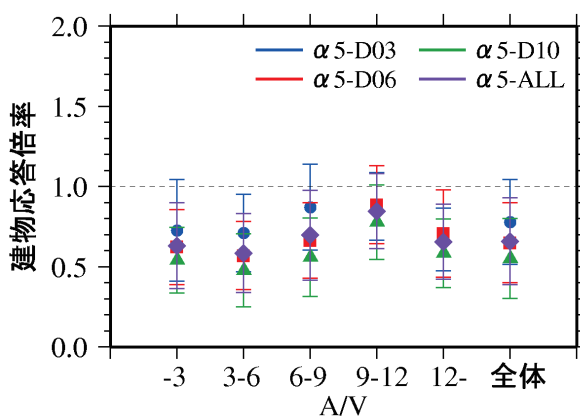
(b) RC08-S- $\alpha$ 5-D06



(c) RC08-S- $\alpha$ 5-D10



(d) RC08-S- $\alpha$ 5-ALL



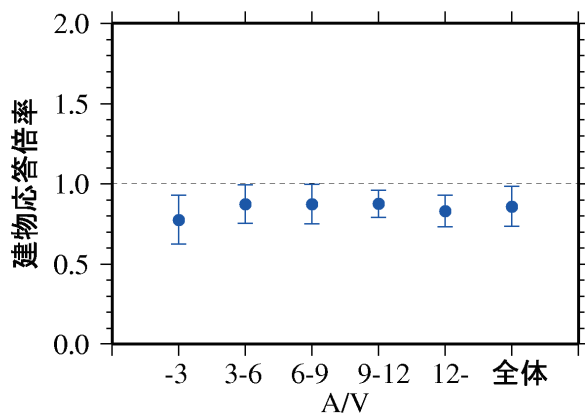
(e) 比較

図 付録-2-3(3) 8階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

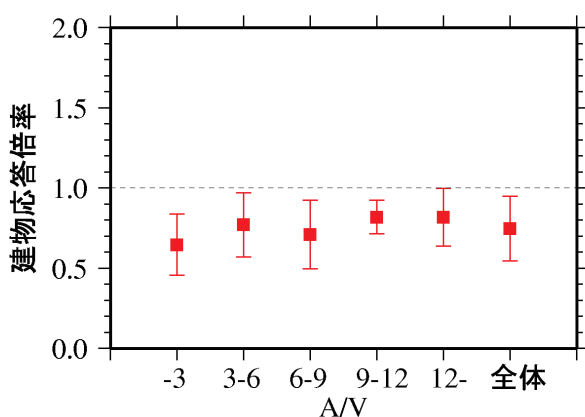
表 付録-2-3(4) 8階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 杭基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=2$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.77	0.20	164	0.65	0.30	176
$3 \leq A/V < 6$	0.87	0.14	621	0.77	0.26	646
$6 \leq A/V < 9$	0.87	0.14	352	0.71	0.30	343
$9 \leq A/V < 12$	0.87	0.10	152	0.82	0.13	124
$12 \leq A/V$	0.83	0.12	88	0.82	0.22	68
全体	0.86	0.15	1377	0.75	0.27	1357

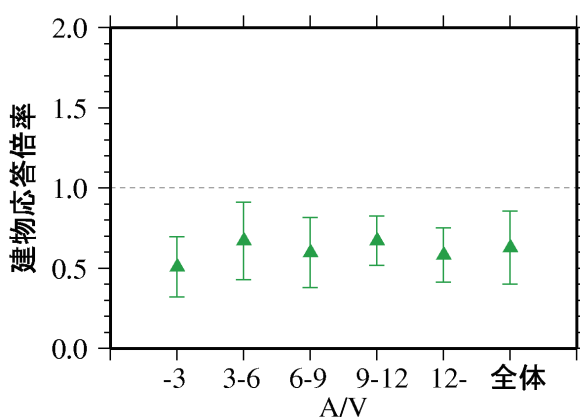
$\alpha=2$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.51	0.37	172	0.64	0.33	512
$3 \leq A/V < 6$	0.67	0.36	628	0.77	0.27	1895
$6 \leq A/V < 9$	0.60	0.36	345	0.73	0.30	1040
$9 \leq A/V < 12$	0.67	0.23	120	0.79	0.18	396
$12 \leq A/V$	0.58	0.29	40	0.77	0.23	196
全体	0.63	0.36	1305	0.75	0.28	4039



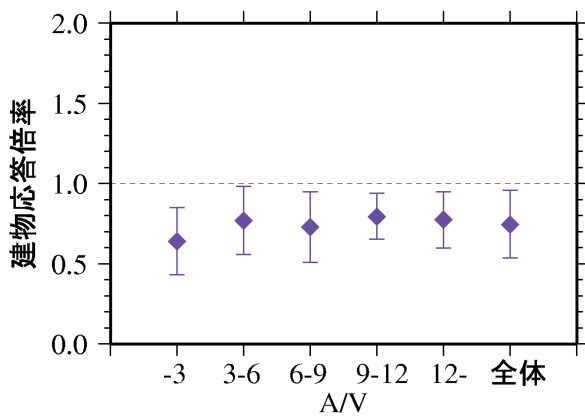
(a) RC08-P- $\alpha$ 2-D03



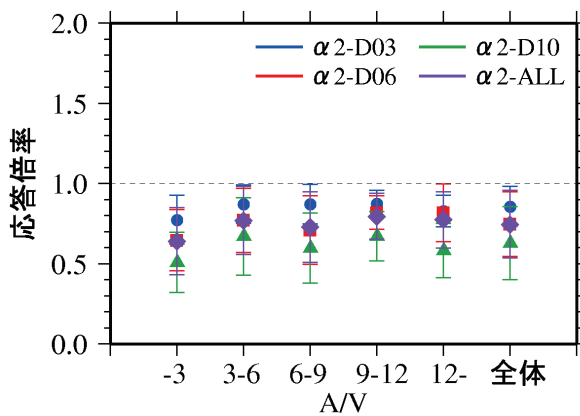
(b) RC08-P- $\alpha$ 2-D06



(c) RC08-P- $\alpha$ 2-D10



(d) RC08-P- $\alpha$ 2-ALL



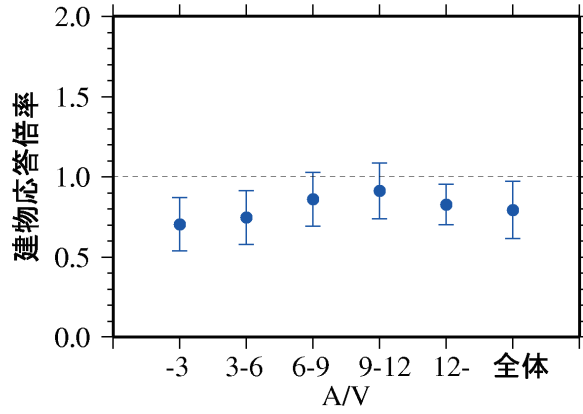
(e) 比較

図 付録-2-3(4) 8階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

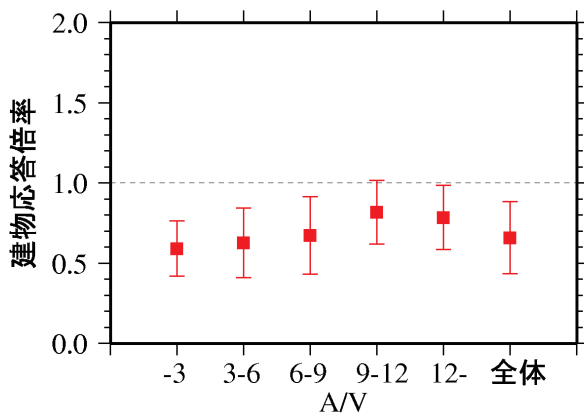
表 付録-2-3(5) 8階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=3$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.70	0.24	164	0.59	0.29	176
$3 \leq A/V < 6$	0.74	0.23	621	0.63	0.34	644
$6 \leq A/V < 9$	0.86	0.19	352	0.67	0.36	340
$9 \leq A/V < 12$	0.91	0.19	152	0.82	0.24	124
$12 \leq A/V$	0.82	0.15	88	0.78	0.25	68
全体	0.79	0.23	1377	0.66	0.34	1352

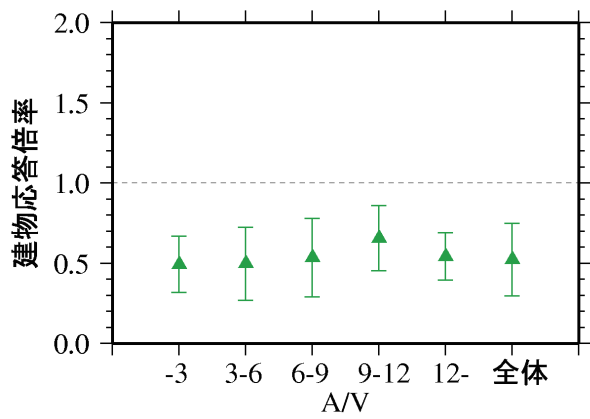
$\alpha=3$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.49	0.36	172	0.59	0.32	512
$3 \leq A/V < 6$	0.50	0.46	622	0.62	0.37	1887
$6 \leq A/V < 9$	0.53	0.46	332	0.69	0.37	1024
$9 \leq A/V < 12$	0.66	0.31	120	0.80	0.27	396
$12 \leq A/V$	0.54	0.27	40	0.75	0.26	196
全体	0.52	0.43	1286	0.66	0.36	4015



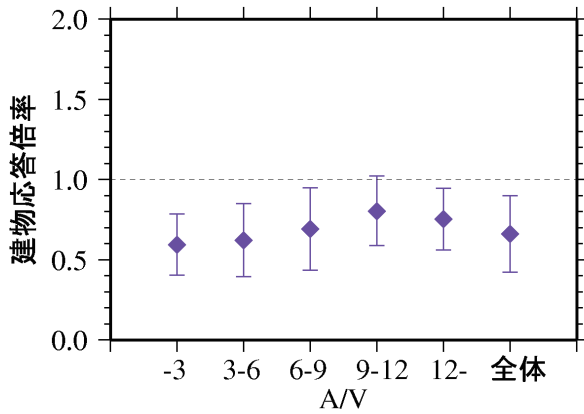
(a) RC08-P- $\alpha$ 3-D03



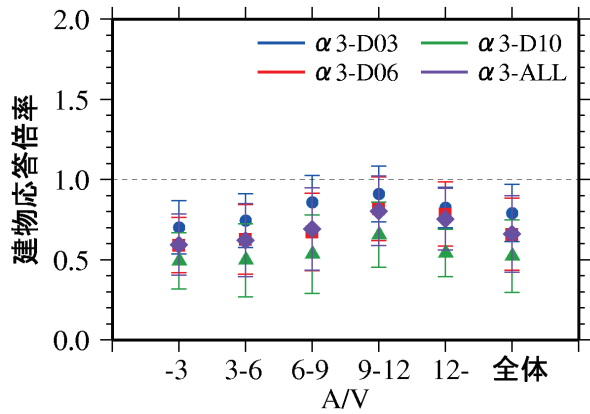
(b) RC08-P- $\alpha$ 3-D06



(c) RC08-P- $\alpha$ 3-D10



(d) RC08-P- $\alpha$ 3-ALL



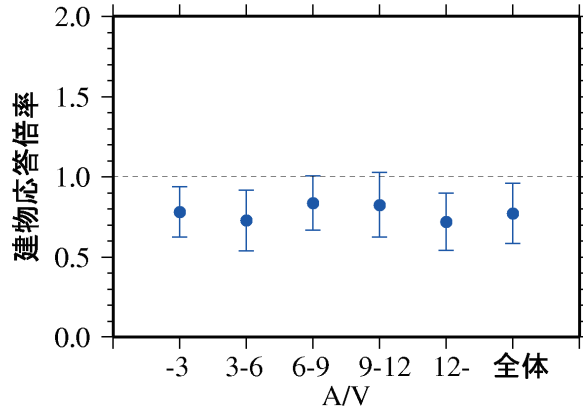
(e) 比較

図 付録-2-3(5) 8階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

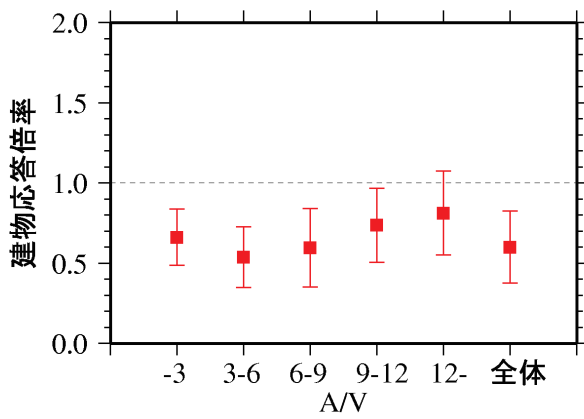
表 付録-2-3(6) 8階建てRC造建物(建物耐力  $\alpha=5$ (高), 杭基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=5$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.78	0.20	164	0.66	0.27	176
$3 \leq A/V < 6$	0.73	0.26	621	0.54	0.35	648
$6 \leq A/V < 9$	0.83	0.20	352	0.60	0.41	344
$9 \leq A/V < 12$	0.82	0.24	152	0.74	0.31	124
$12 \leq A/V$	0.72	0.25	88	0.81	0.32	68
全体	0.77	0.24	1377	0.60	0.38	1360

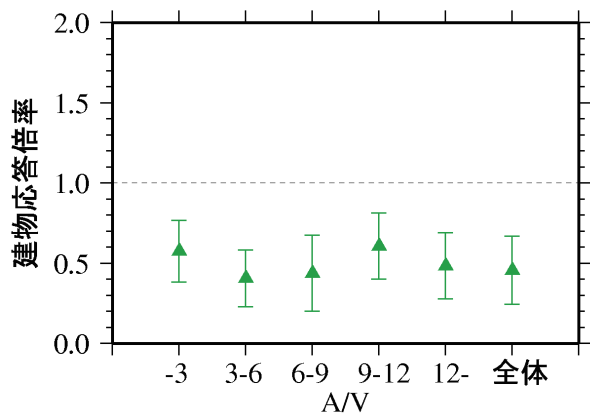
$\alpha=5$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.58	0.34	172	0.67	0.29	512
$3 \leq A/V < 6$	0.40	0.44	628	0.55	0.41	1897
$6 \leq A/V < 9$	0.44	0.54	348	0.62	0.44	1044
$9 \leq A/V < 12$	0.61	0.34	118	0.73	0.31	394
$12 \leq A/V$	0.48	0.43	40	0.70	0.35	196
全体	0.46	0.47	1306	0.61	0.40	4043



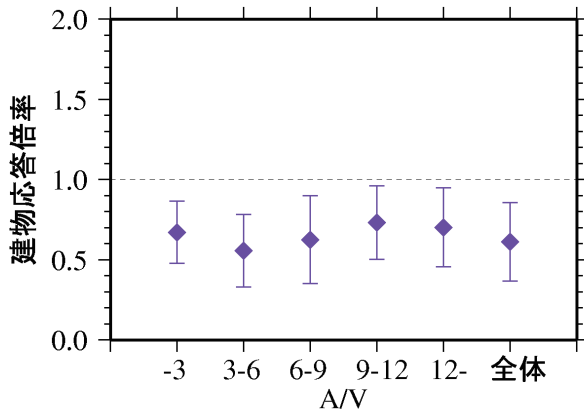
(a) RC08-P- $\alpha$ 5-D03



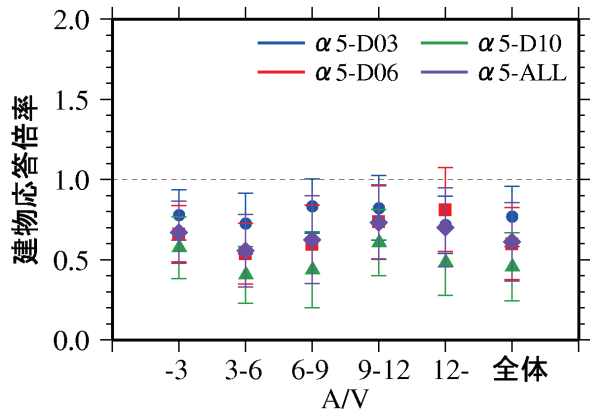
(b) RC08-P- $\alpha$ 5-D06



(c) RC08-P- $\alpha$ 5-D10



(d) RC08-P- $\alpha$ 5-ALL



(e) 比較

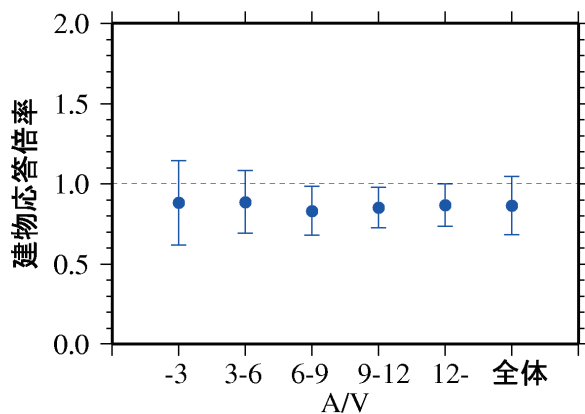
図 付録-2-3(6) 8階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-4(1) 15階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

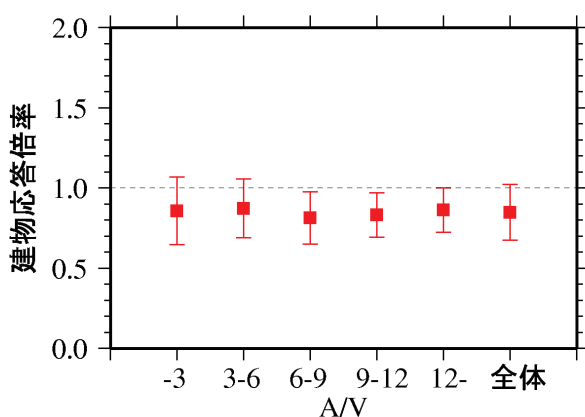
$\alpha=2$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.88	0.30	262	0.86	0.25	269
$3 \leq A/V < 6$	0.88	0.22	1343	0.87	0.21	1342
$6 \leq A/V < 9$	0.83	0.18	972	0.81	0.20	977
$9 \leq A/V < 12$	0.85	0.15	401	0.83	0.17	402
$12 \leq A/V$	0.87	0.15	136	0.86	0.16	137
全体	0.86	0.21	3114	0.85	0.21	3127

$\alpha=2$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.79	0.20	270	0.84	0.26	801
$3 \leq A/V < 6$	0.84	0.21	1343	0.87	0.22	4028
$6 \leq A/V < 9$	0.75	0.24	972	0.80	0.21	2921
$9 \leq A/V < 12$	0.78	0.17	390	0.82	0.17	1193
$12 \leq A/V$	0.77	0.10	114	0.84	0.15	387
全体	0.80	0.22	3089	0.84	0.21	9330

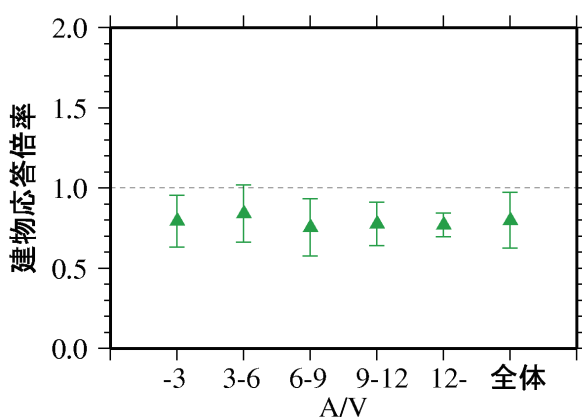




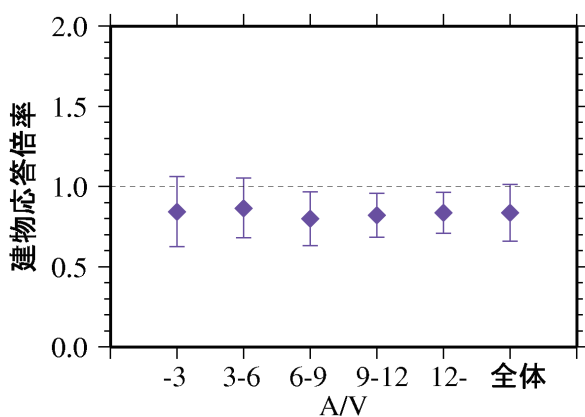
(a) RC15-S- $\alpha$ 2-D03



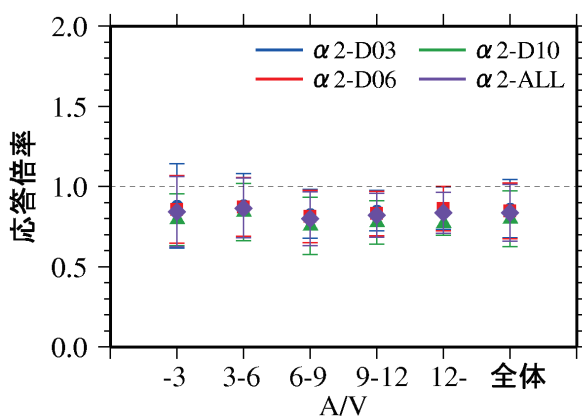
(b) RC15-S- $\alpha$ 2-D06



(c) RC15-S- $\alpha$ 2-D10



(d) RC15-S- $\alpha$ 2-ALL



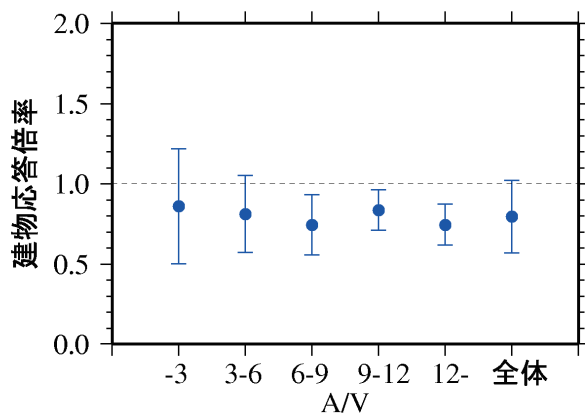
(e) 比較

図 付録-2-4(1) 15階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

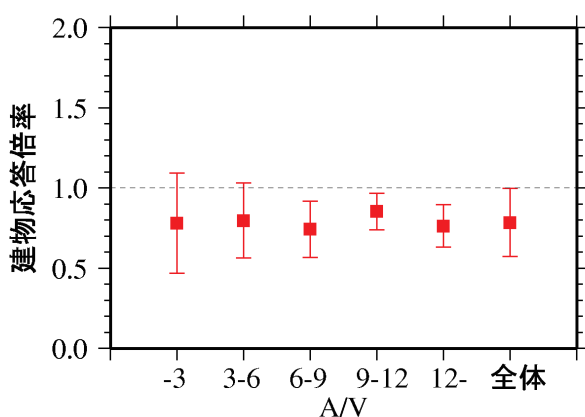
表 付録-2-4(2) 15階建てRC造建物(建物耐力  $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=3$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.86	0.42	259	0.78	0.40	271
$3 \leq A/V < 6$	0.81	0.30	1341	0.80	0.29	1343
$6 \leq A/V < 9$	0.74	0.25	972	0.74	0.24	976
$9 \leq A/V < 12$	0.83	0.15	402	0.85	0.13	402
$12 \leq A/V$	0.74	0.17	136	0.76	0.17	137
全体	0.79	0.28	3110	0.78	0.27	3129

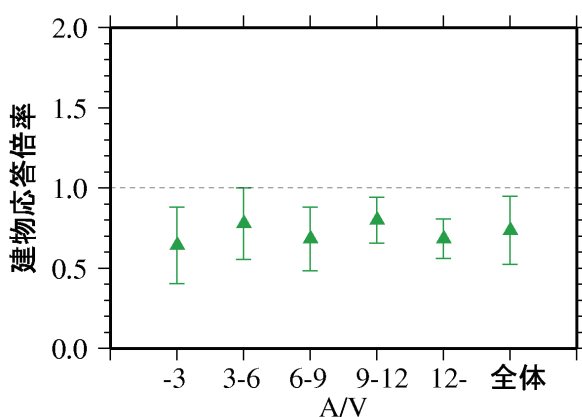
$\alpha=3$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.64	0.37	270	0.76	0.42	800
$3 \leq A/V < 6$	0.78	0.29	1334	0.80	0.29	4018
$6 \leq A/V < 9$	0.68	0.29	971	0.72	0.26	2919
$9 \leq A/V < 12$	0.80	0.18	390	0.83	0.16	1194
$12 \leq A/V$	0.68	0.18	114	0.73	0.18	387
全体	0.74	0.29	3079	0.77	0.28	9318



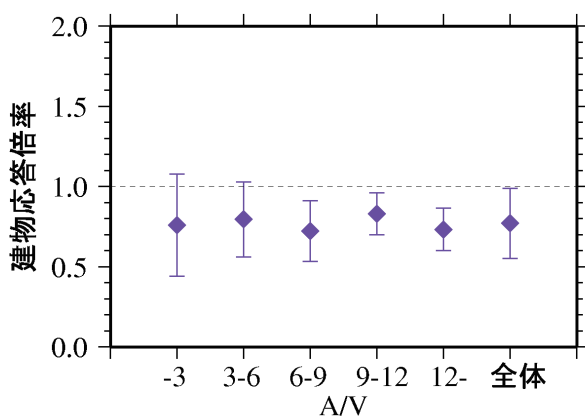
(a) RC15-S- $\alpha$ 3-D03



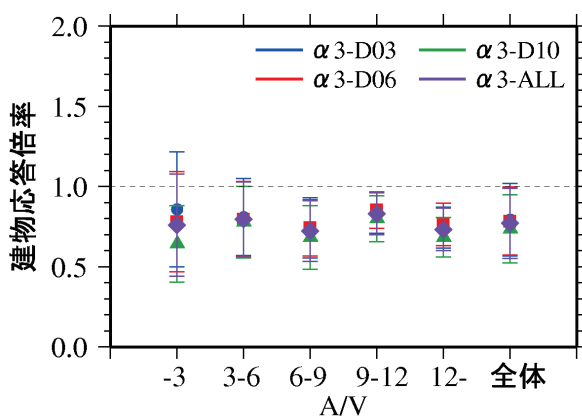
(b) RC15-S- $\alpha$ 3-D06



(c) RC15-S- $\alpha$ 3-D10



(d) RC15-S- $\alpha$ 3-ALL



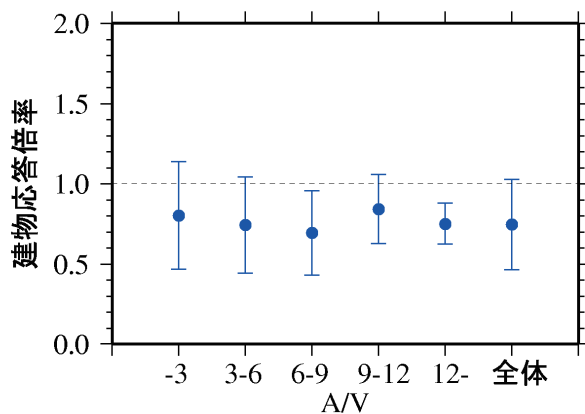
(e) 比較

図 付録-2-4(2) 15階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

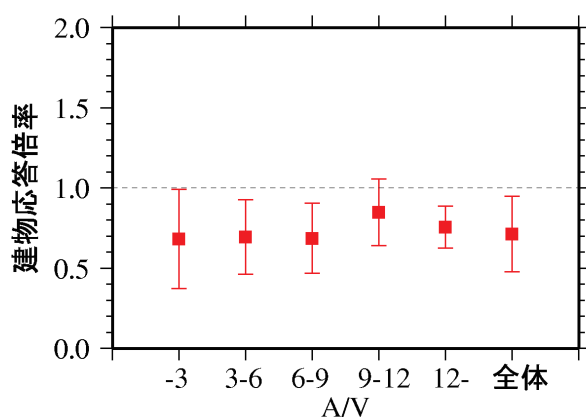
表 付録-2-4(3) 15階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=5$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.80	0.42	267	0.68	0.45	273
$3 \leq A/V < 6$	0.74	0.40	1339	0.69	0.34	1340
$6 \leq A/V < 9$	0.69	0.38	971	0.69	0.32	976
$9 \leq A/V < 12$	0.84	0.26	402	0.85	0.24	402
$12 \leq A/V$	0.75	0.17	136	0.76	0.17	137
全体	0.74	0.38	3115	0.71	0.33	3128

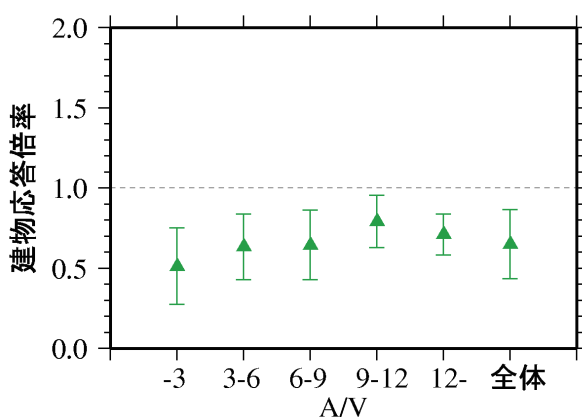
$\alpha=5$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.51	0.47	270	0.66	0.48	810
$3 \leq A/V < 6$	0.63	0.32	1343	0.69	0.37	4022
$6 \leq A/V < 9$	0.64	0.34	972	0.67	0.35	2919
$9 \leq A/V < 12$	0.79	0.21	390	0.83	0.24	1194
$12 \leq A/V$	0.71	0.18	114	0.74	0.17	387
全体	0.65	0.33	3089	0.70	0.35	9332



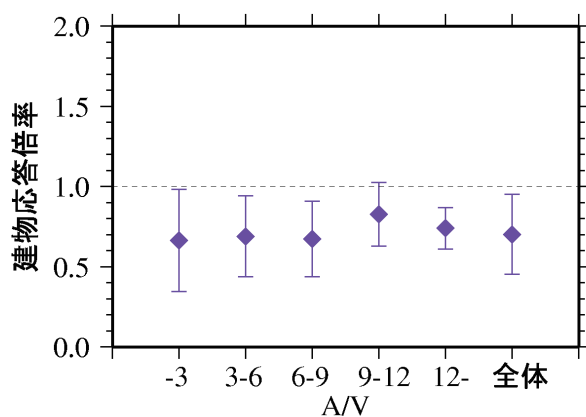
(a) RC15-S- $\alpha$ 5-D03



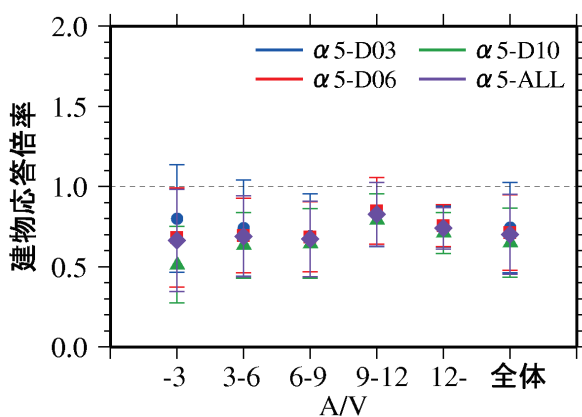
(b) RC15-S- $\alpha$ 5-D06



(c) RC15-S- $\alpha$ 5-D10



(d) RC15-S- $\alpha$ 5-ALL



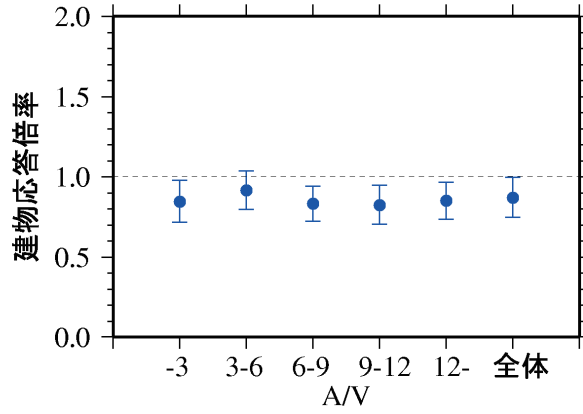
(e) 比較

図 付録-2-4(3) 15階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

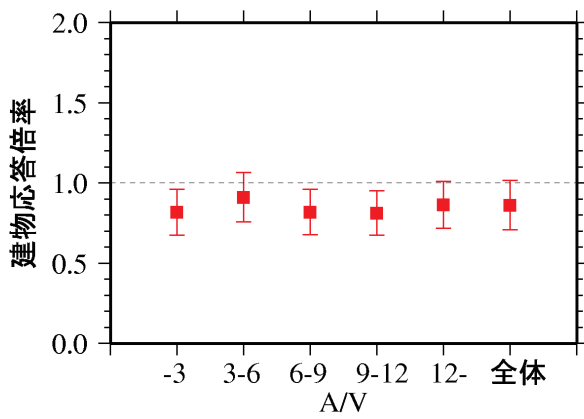
表 付録-2-4(4) 15階建てRC造建物(建物耐力  $\alpha=2$ (低), 杭基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=2$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.85	0.16	246	0.82	0.17	263
$3 \leq A/V < 6$	0.91	0.13	1118	0.91	0.17	1161
$6 \leq A/V < 9$	0.83	0.13	716	0.82	0.17	736
$9 \leq A/V < 12$	0.82	0.15	332	0.81	0.17	300
$12 \leq A/V$	0.85	0.14	109	0.86	0.17	102
全体	0.87	0.14	2521	0.86	0.18	2562

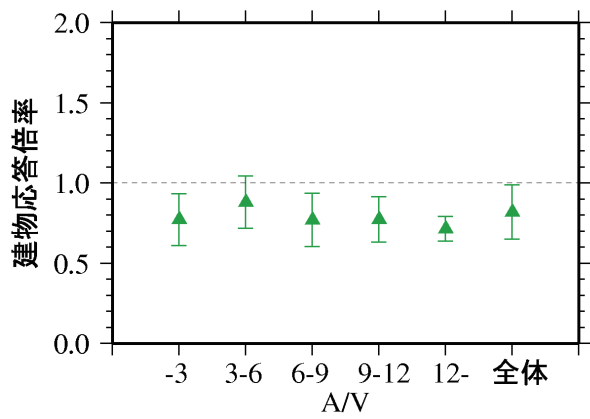
$\alpha=2$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.77	0.21	251	0.81	0.18	760
$3 \leq A/V < 6$	0.88	0.19	1100	0.90	0.16	3379
$6 \leq A/V < 9$	0.77	0.22	707	0.81	0.18	2159
$9 \leq A/V < 12$	0.77	0.18	294	0.80	0.17	926
$12 \leq A/V$	0.72	0.11	60	0.83	0.16	271
全体	0.82	0.21	2412	0.85	0.18	7495



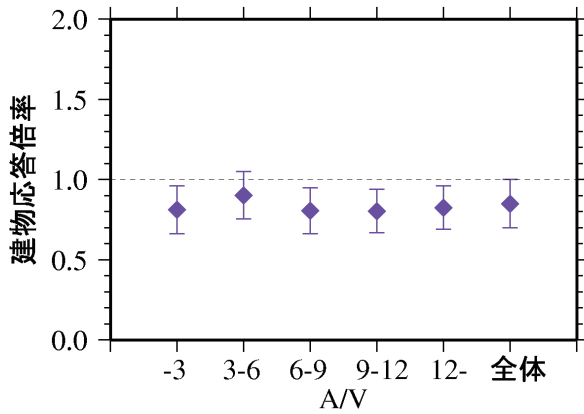
(a) RC15-P- $\alpha$ 2-D03



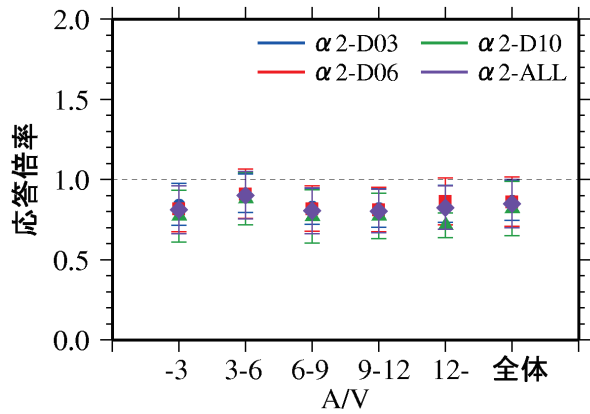
(b) RC15-P- $\alpha$ 2-D06



(c) RC15-P- $\alpha$ 2-D10



(d) RC15-P- $\alpha$ 2-ALL



(e) 比較

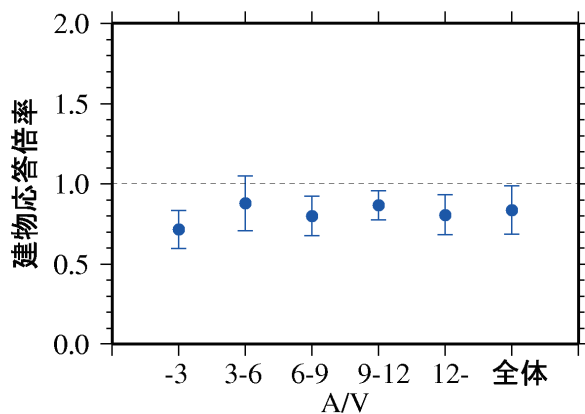
図 付録-2-4(4) 15階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-4(5) 15階建てRC造建物(建物耐力  $\alpha=3$ (中), 杭基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

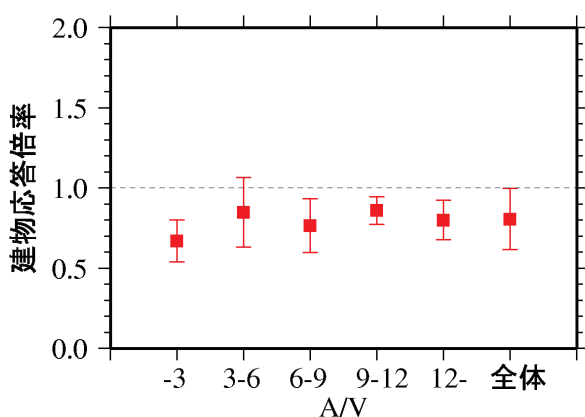
$\alpha=3$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.71	0.17	240	0.67	0.19	252
$3 \leq A/V < 6$	0.88	0.19	1116	0.85	0.26	1154
$6 \leq A/V < 9$	0.80	0.15	733	0.76	0.22	723
$9 \leq A/V < 12$	0.86	0.10	341	0.86	0.10	300
$12 \leq A/V$	0.80	0.15	109	0.80	0.15	102
全体	0.83	0.18	2539	0.81	0.24	2531

$\alpha=3$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.62	0.24	239	0.67	0.20	731
$3 \leq A/V < 6$	0.81	0.27	1091	0.84	0.24	3361
$6 \leq A/V < 9$	0.70	0.26	701	0.76	0.22	2157
$9 \leq A/V < 12$	0.80	0.15	294	0.84	0.12	935
$12 \leq A/V$	0.71	0.19	60	0.78	0.17	271
全体	0.76	0.26	2385	0.80	0.23	7455

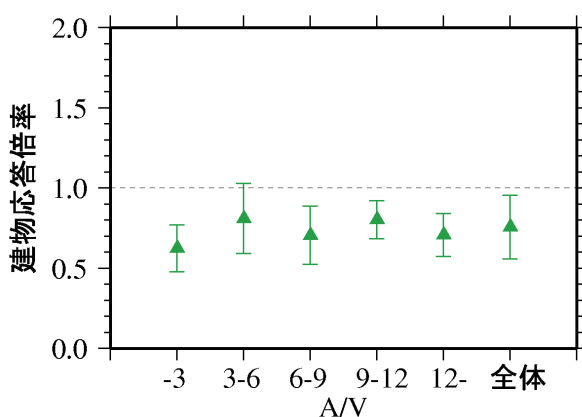




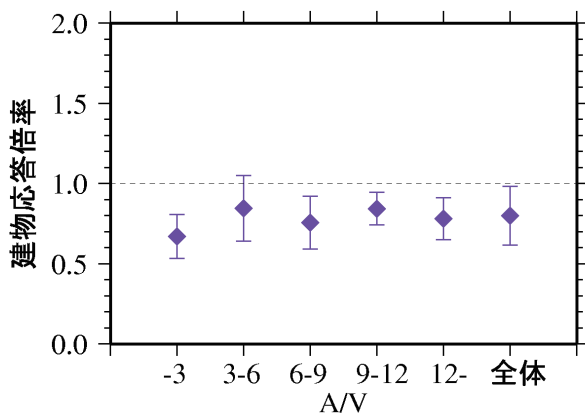
(a) RC15-P- $\alpha$ 3-D03



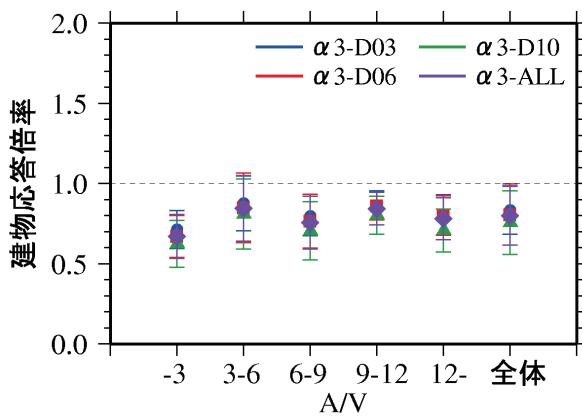
(b) RC15-P- $\alpha$ 3-D06



(c) RC15-P- $\alpha$ 3-D10



(d) RC15-P- $\alpha$ 3-ALL



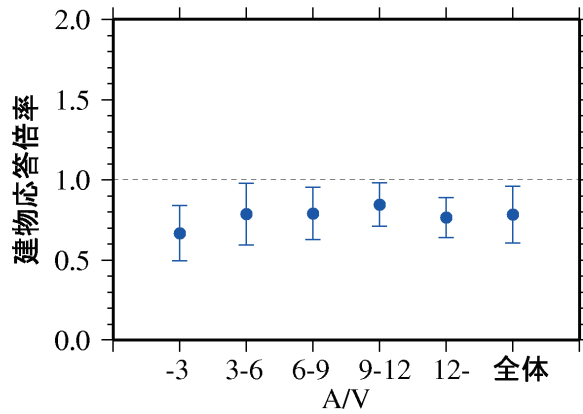
(e) 比較

図 付録-2-4(5) 15階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

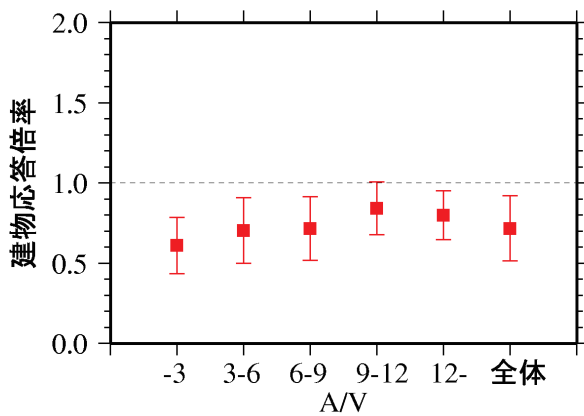
表 付録-2-4(6) 15階建てRC造建物(建物耐力  $\alpha=5$ (高), 杭基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=5$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.67	0.26	246	0.61	0.29	264
$3 \leq A/V < 6$	0.78	0.24	1116	0.70	0.29	1155
$6 \leq A/V < 9$	0.79	0.21	733	0.72	0.28	736
$9 \leq A/V < 12$	0.84	0.16	341	0.84	0.19	300
$12 \leq A/V$	0.76	0.16	109	0.80	0.19	102
全体	0.78	0.23	2545	0.72	0.28	2557

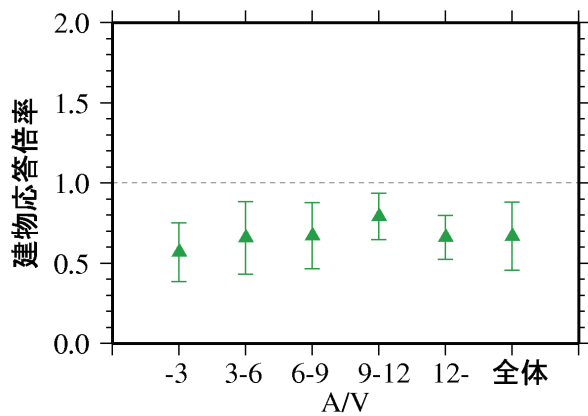
$\alpha=5$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.57	0.32	251	0.61	0.29	761
$3 \leq A/V < 6$	0.66	0.34	1093	0.72	0.30	3364
$6 \leq A/V < 9$	0.67	0.31	707	0.73	0.27	2176
$9 \leq A/V < 12$	0.79	0.18	294	0.83	0.18	935
$12 \leq A/V$	0.66	0.21	60	0.75	0.20	271
全体	0.67	0.32	2405	0.72	0.28	7507



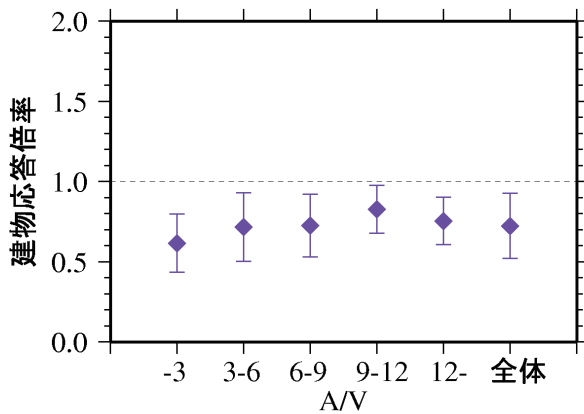
(a) RC15-P- $\alpha$ 5-D03



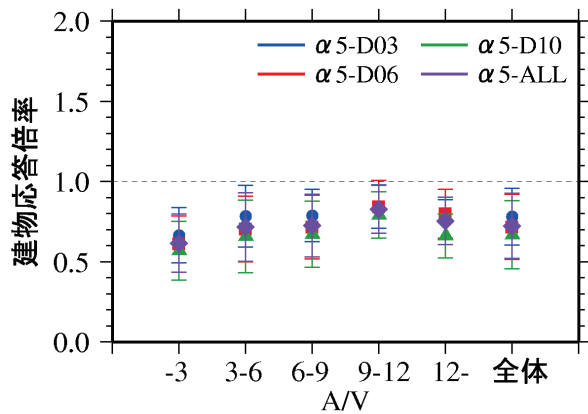
(b) RC15-P- $\alpha$ 5-D06



(c) RC15-P- $\alpha$ 5-D10



(d) RC15-P- $\alpha$ 5-ALL

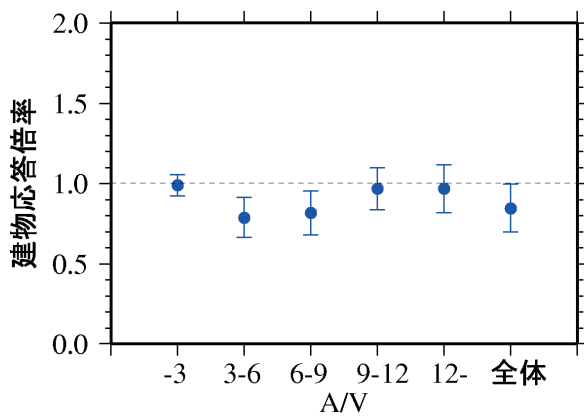


(e) 比較

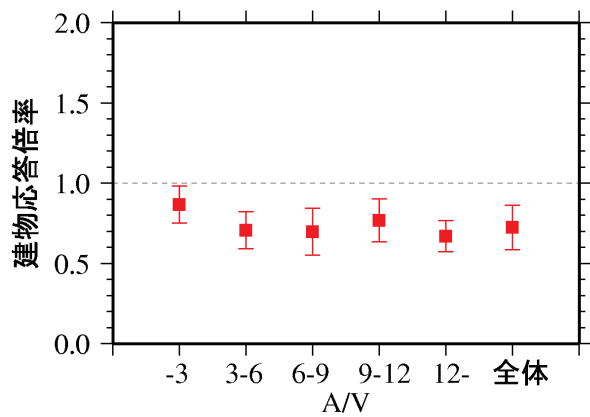
図 付録-2-4(6) 15階建てRC造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-5(1) 2階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

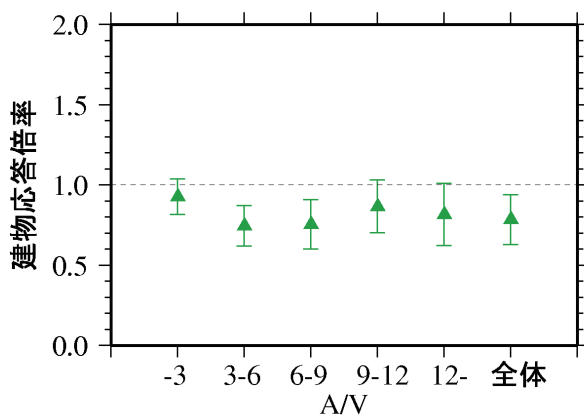
$\alpha=2$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.99	0.07	294	0.87	0.13	294	0.93	0.12	588
$3 \leq A/V < 6$	0.79	0.16	1333	0.71	0.16	1349	0.75	0.17	2682
$6 \leq A/V < 9$	0.81	0.17	967	0.70	0.21	977	0.76	0.20	1944
$9 \leq A/V < 12$	0.97	0.14	397	0.77	0.17	402	0.87	0.19	799
$12 \leq A/V$	0.97	0.15	135	0.67	0.15	138	0.82	0.24	273
全体	0.84	0.18	3126	0.72	0.19	3160	0.78	0.20	6286



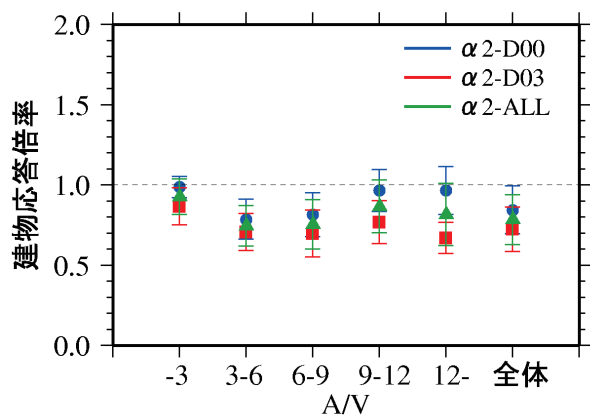
(a) ST02-S- $\alpha$ 2-D00



(b) ST02-S- $\alpha$ 2-D03



(c) ST02-S- $\alpha$ 2-ALL

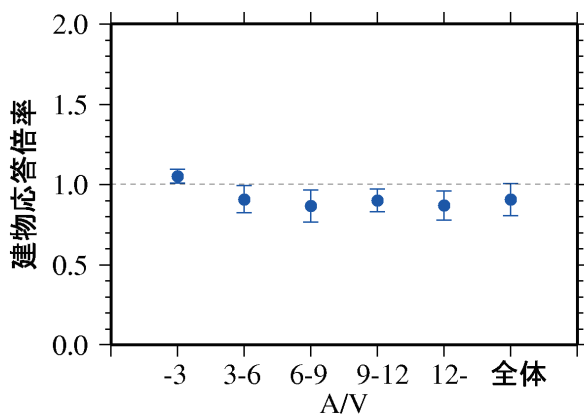


(d) 比較

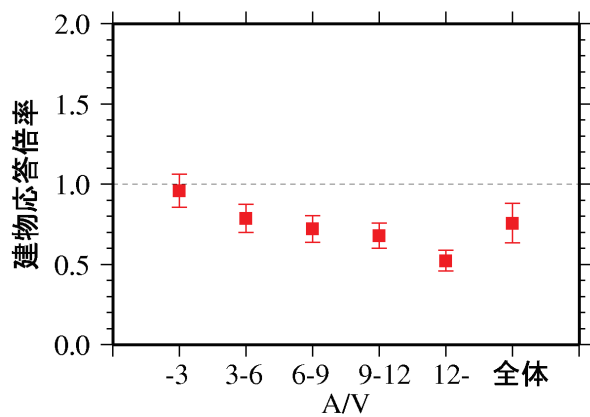
図 付録-2-5(1) 2階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-5(2) 2階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

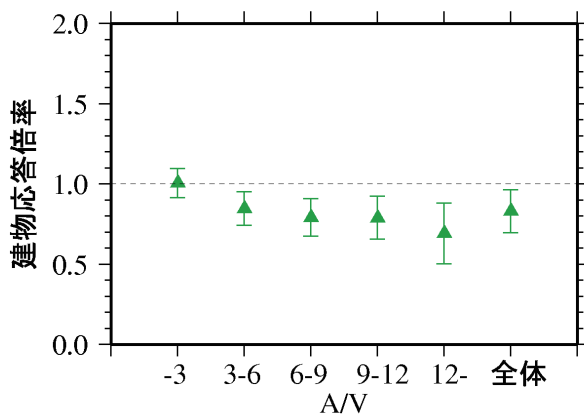
$\alpha=3$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	1.05	0.04	294	0.96	0.11	294	1.00	0.09	588
$3 \leq A/V < 6$	0.91	0.09	1333	0.79	0.11	1350	0.85	0.12	2683
$6 \leq A/V < 9$	0.86	0.12	966	0.72	0.12	978	0.79	0.15	1944
$9 \leq A/V < 12$	0.90	0.08	397	0.68	0.12	402	0.79	0.17	799
$12 \leq A/V$	0.87	0.10	132	0.52	0.12	138	0.69	0.27	270
全体	0.90	0.11	3122	0.76	0.16	3162	0.83	0.16	6284



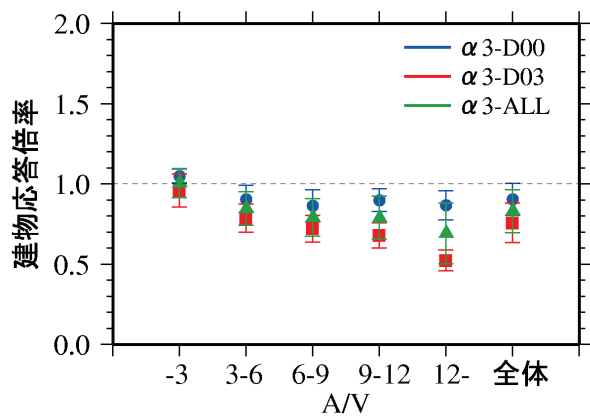
(a) ST02-S- $\alpha$ 3-D00



(b) ST02-S- $\alpha$ 3-D03



(c) ST02-S- $\alpha$ 3-ALL

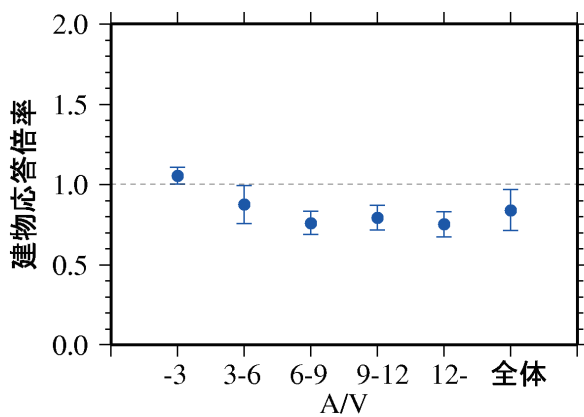


(d) 比較

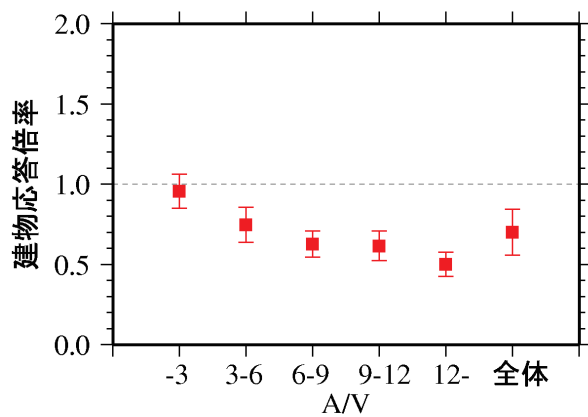
図 付録-2-5(2) 2階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-5(3) 2階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

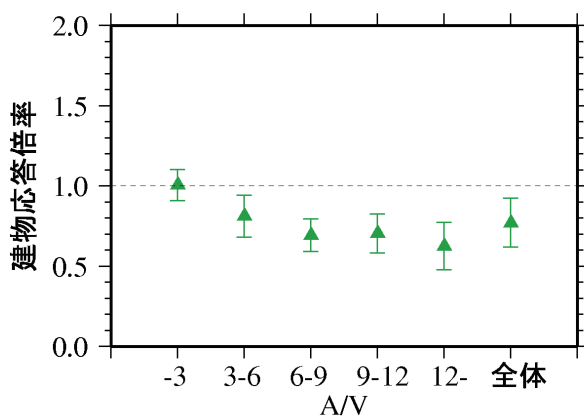
$\alpha=5$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	1.05	0.05	294	0.96	0.11	280	1.01	0.10	574
$3 \leq A/V < 6$	0.87	0.13	1332	0.75	0.15	1276	0.81	0.16	2608
$6 \leq A/V < 9$	0.76	0.10	967	0.63	0.13	955	0.69	0.15	1922
$9 \leq A/V < 12$	0.79	0.10	397	0.62	0.15	385	0.70	0.17	782
$12 \leq A/V$	0.75	0.10	135	0.50	0.15	134	0.63	0.23	269
全体	0.84	0.15	3125	0.70	0.21	3030	0.77	0.20	6155



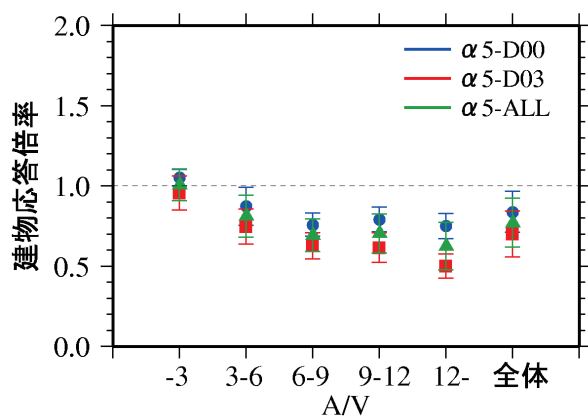
(a) ST02-S- $\alpha$ 5-D00



(b) ST02-S- $\alpha$ 5-D03



(c) ST02-S- $\alpha$ 5-ALL

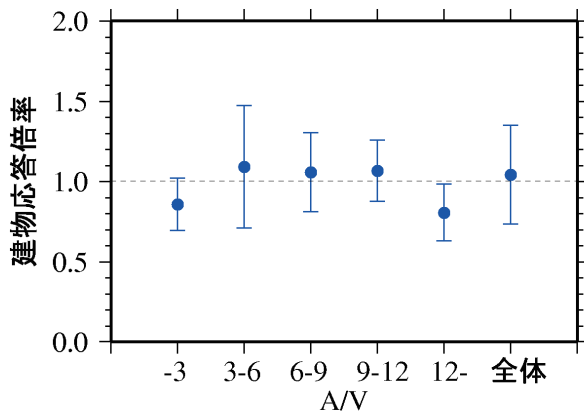


(d) 比較

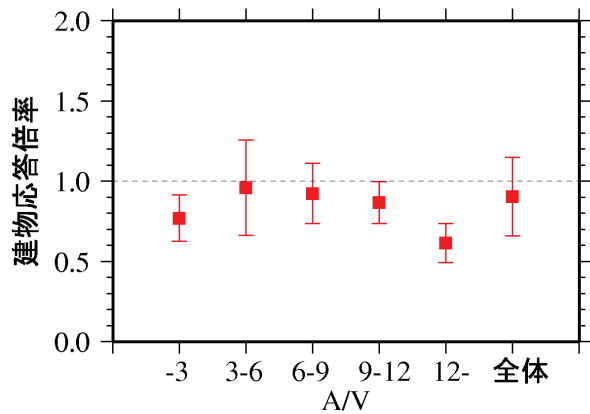
図 付録-2-5(3) 2階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-6(1) 4階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

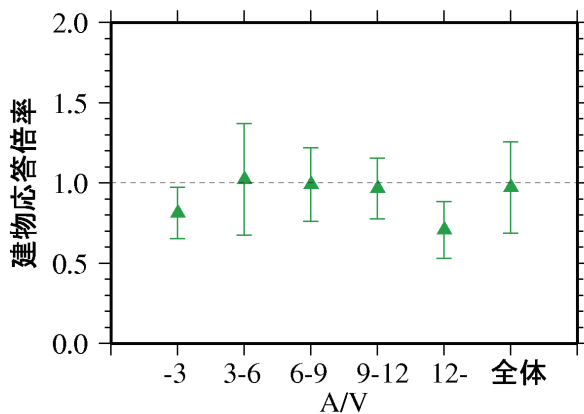
$\alpha=2$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.86	0.19	285	0.77	0.19	286	0.81	0.20	571
$3 \leq A/V < 6$	1.09	0.35	1205	0.96	0.31	1294	1.02	0.34	2499
$6 \leq A/V < 9$	1.06	0.23	958	0.92	0.20	963	0.99	0.23	1921
$9 \leq A/V < 12$	1.07	0.18	390	0.87	0.15	394	0.97	0.20	784
$12 \leq A/V$	0.80	0.22	129	0.61	0.20	135	0.71	0.25	264
全体	1.04	0.30	2967	0.90	0.27	3072	0.97	0.29	6039



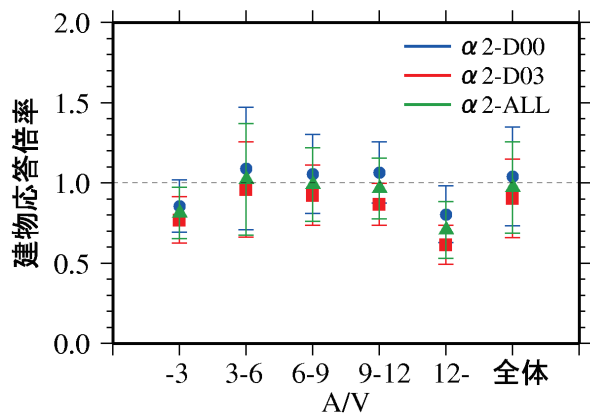
(a) ST04-S- $\alpha$ 2-D00



(b) ST04-S- $\alpha$ 2-D03



(c) ST04-S- $\alpha$ 2-ALL

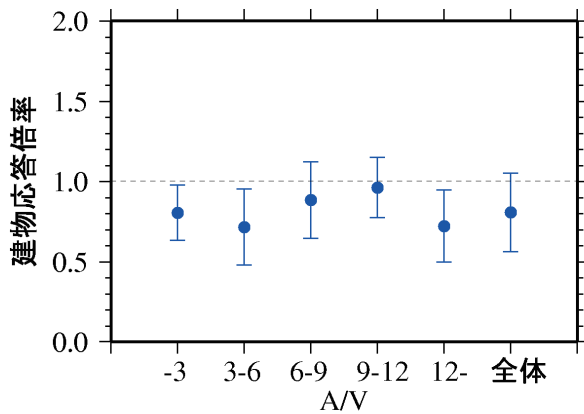


(d) 比較

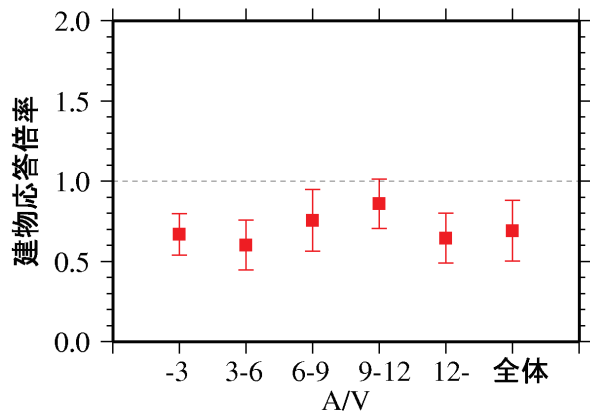
図 付録-2-6(1) 4階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-6(2) 4階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

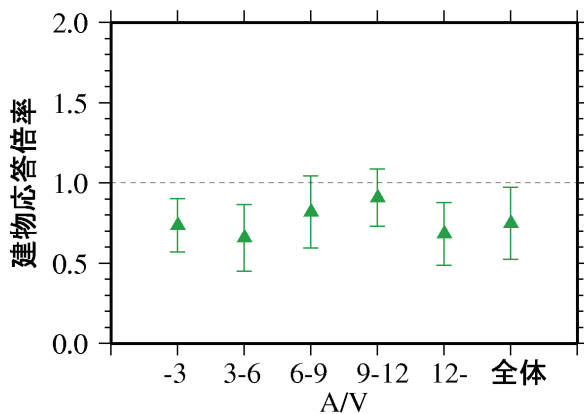
$\alpha=3$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.80	0.21	294	0.67	0.19	291	0.74	0.23	585
$3 \leq A/V < 6$	0.71	0.33	1298	0.60	0.26	1330	0.66	0.32	2628
$6 \leq A/V < 9$	0.88	0.27	950	0.76	0.25	959	0.82	0.28	1909
$9 \leq A/V < 12$	0.96	0.20	390	0.86	0.18	400	0.91	0.20	790
$12 \leq A/V$	0.72	0.31	135	0.65	0.24	135	0.68	0.29	270
全体	0.81	0.30	3067	0.69	0.27	3115	0.75	0.30	6182



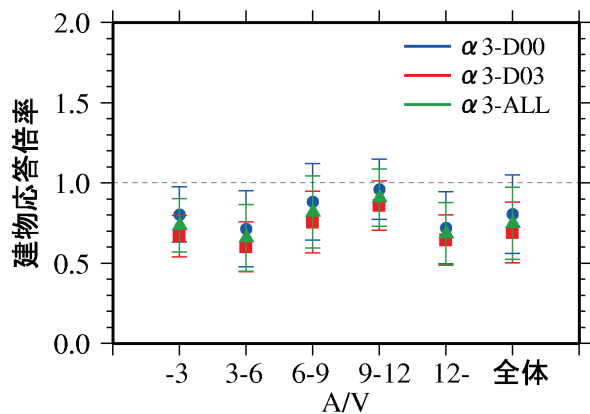
(a) ST04-S- $\alpha$ 3-D00



(b) ST04-S- $\alpha$ 3-D03



(c) ST04-S- $\alpha$ 3-ALL



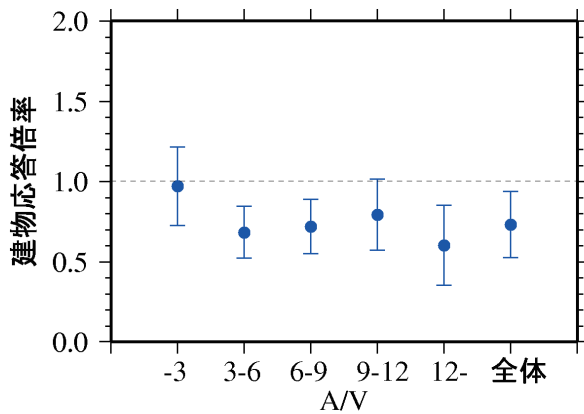
(d) 比較

図 付録-2-6(2) 4階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

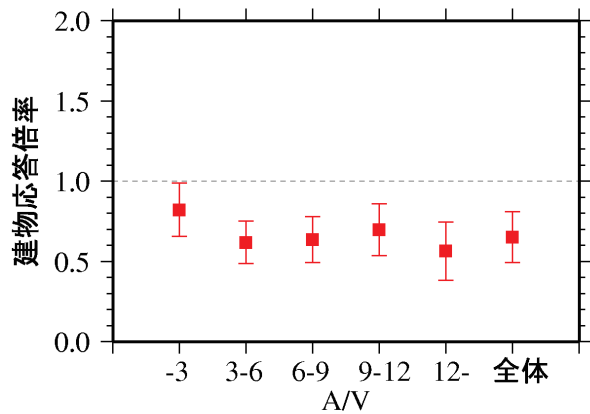


表 付録-2-6(3) 4階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

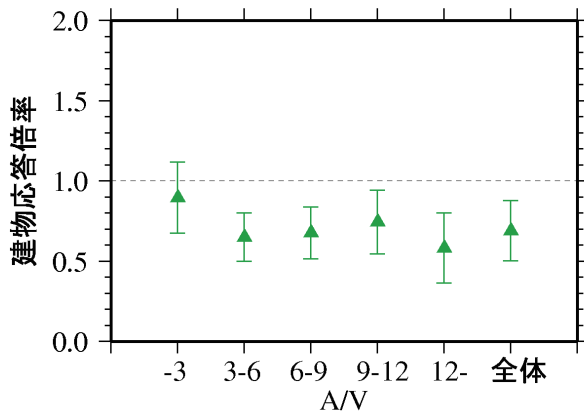
$\alpha=5$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.97	0.25	293	0.82	0.20	294	0.90	0.25	587
$3 \leq A/V < 6$	0.68	0.24	1333	0.62	0.21	1341	0.65	0.23	2674
$6 \leq A/V < 9$	0.72	0.24	966	0.64	0.23	974	0.68	0.24	1940
$9 \leq A/V < 12$	0.79	0.28	396	0.70	0.23	399	0.74	0.27	795
$12 \leq A/V$	0.60	0.42	138	0.56	0.32	138	0.58	0.38	276
全体	0.73	0.28	3126	0.65	0.24	3146	0.69	0.27	6272



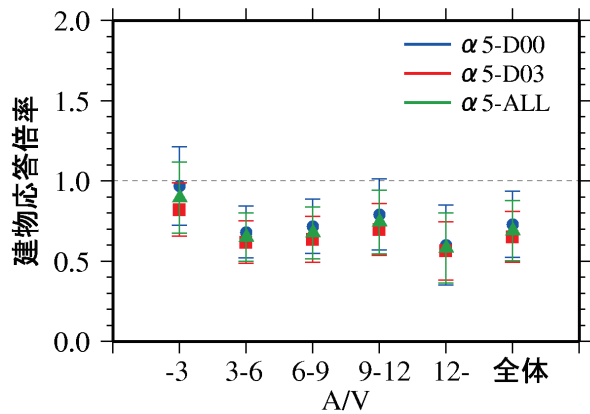
(a) ST04-S- $\alpha$ 5-D00



(b) ST04-S- $\alpha$ 5-D03



(c) ST04-S- $\alpha$ 5-ALL

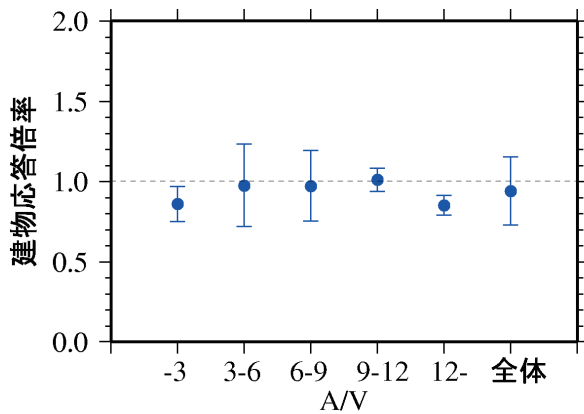


(d) 比較

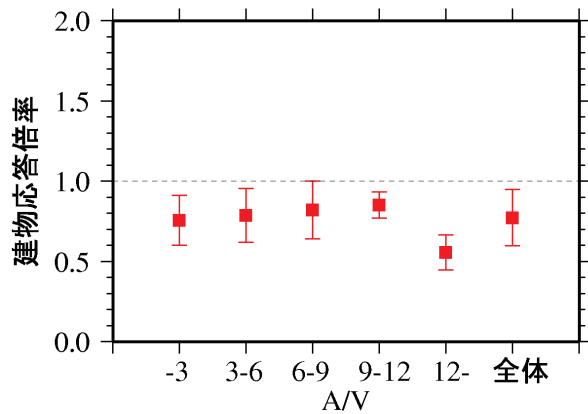
図 付録-2-6(3) 4階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-6(4) 4階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

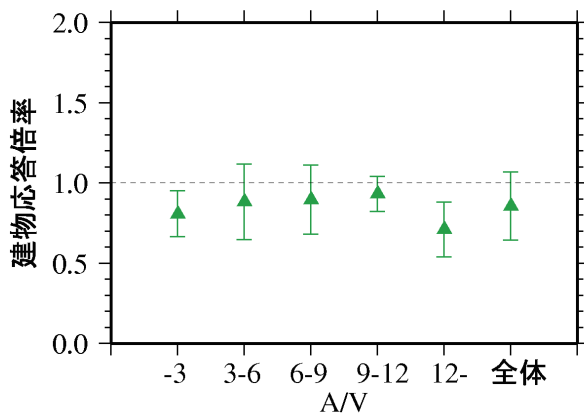
$\alpha=2$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.86	0.13	186	0.76	0.21	180	0.81	0.18	366
$3 \leq A/V < 6$	0.97	0.26	366	0.79	0.21	354	0.88	0.27	720
$6 \leq A/V < 9$	0.97	0.23	204	0.82	0.22	197	0.90	0.24	401
$9 \leq A/V < 12$	1.01	0.07	30	0.85	0.10	29	0.93	0.12	59
$12 \leq A/V$	0.85	0.07	72	0.55	0.20	65	0.71	0.24	137
全体	0.94	0.23	858	0.77	0.23	825	0.86	0.25	1683



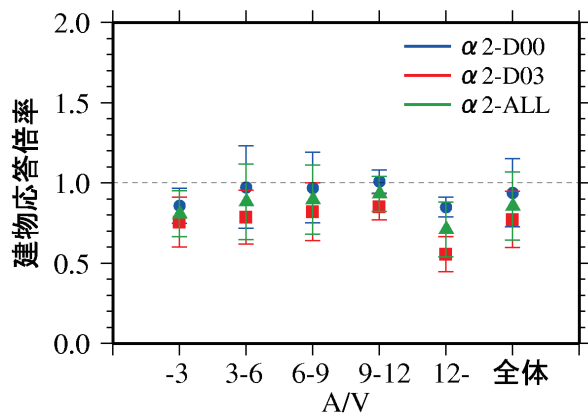
(a) ST04-P- $\alpha$  2-D00



(b) ST04-P- $\alpha$  2-D03



(c) ST04-P- $\alpha$  2-ALL

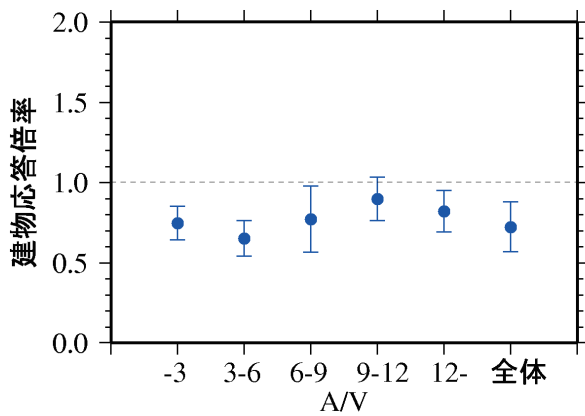


(d) 比較

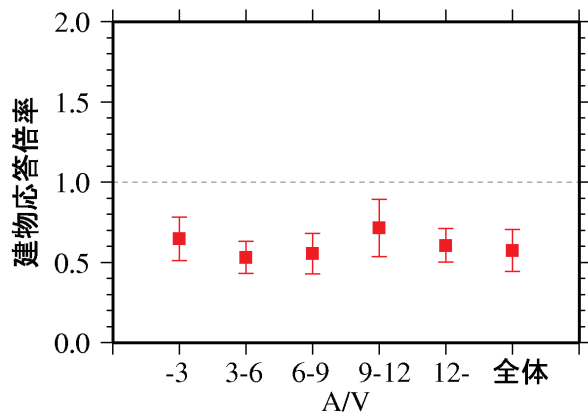
図 付録-2-6(4) 4階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-6(5) 4階建てS造建物(建物耐力  $\alpha=3$ (中), 杭基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

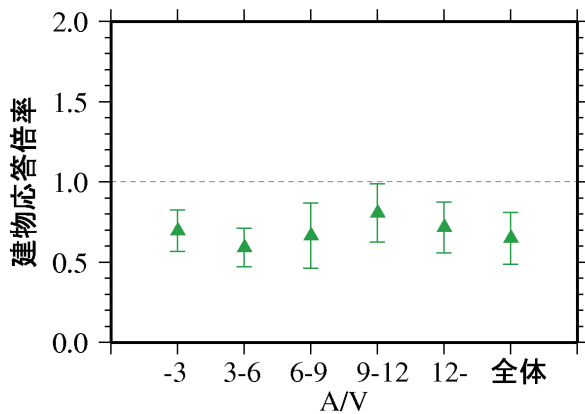
$\alpha=3$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.74	0.14	186	0.65	0.21	180	0.70	0.19	366
$3 \leq A/V < 6$	0.65	0.17	366	0.53	0.19	354	0.59	0.20	720
$6 \leq A/V < 9$	0.77	0.27	203	0.55	0.23	197	0.66	0.31	400
$9 \leq A/V < 12$	0.90	0.15	30	0.72	0.25	29	0.81	0.22	59
$12 \leq A/V$	0.82	0.16	72	0.61	0.17	66	0.72	0.22	138
全体	0.72	0.22	857	0.57	0.23	826	0.65	0.25	1683



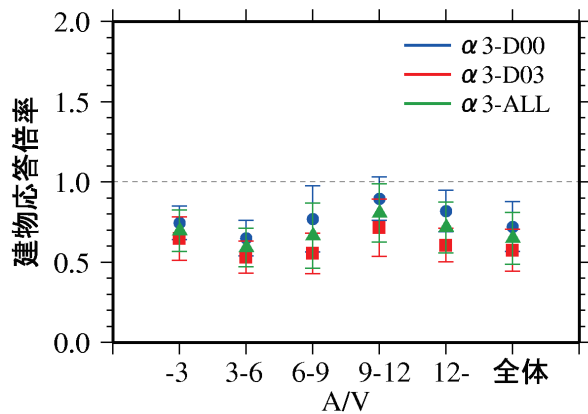
(a) ST04-P- $\alpha$ 3-D00



(b) ST04-P- $\alpha$ 3-D03



(c) ST04-P- $\alpha$ 3-ALL

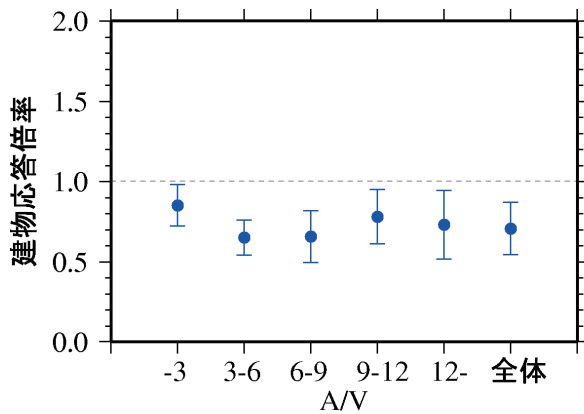


(d) 比較

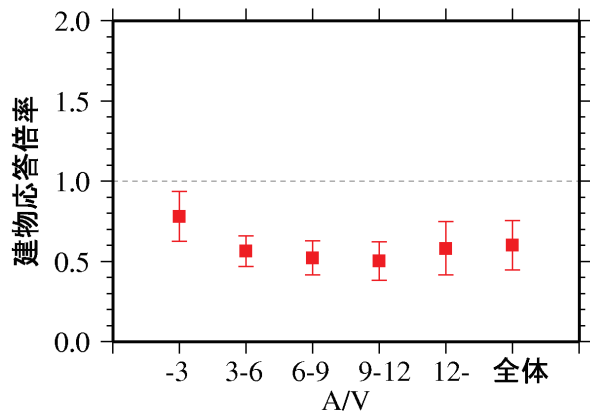
図 付録-2-6(5) 4階建てS造建物(建物耐力  $\alpha=3$ (中), 杭基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

表 付録-2-6(6) 4階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

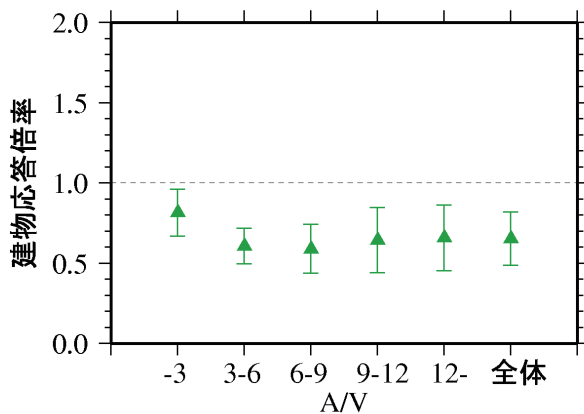
$\alpha=5$	D=0m			D=3m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.85	0.15	186	0.78	0.20	180	0.82	0.18	366
$3 \leq A/V < 6$	0.65	0.17	366	0.56	0.17	354	0.61	0.18	720
$6 \leq A/V < 9$	0.65	0.25	204	0.52	0.20	197	0.59	0.26	401
$9 \leq A/V < 12$	0.78	0.22	30	0.50	0.24	29	0.64	0.31	59
$12 \leq A/V$	0.73	0.29	72	0.58	0.29	66	0.66	0.31	138
全体	0.70	0.23	858	0.60	0.26	826	0.65	0.26	1684



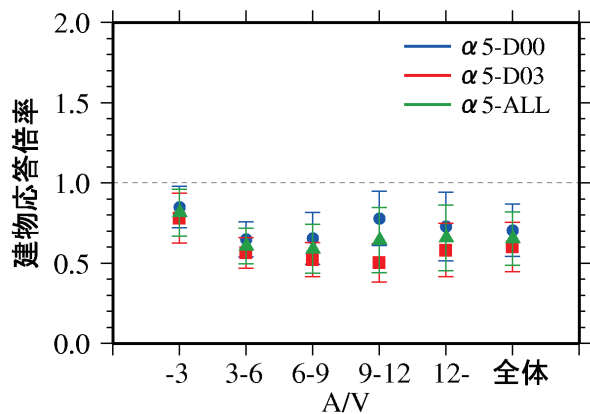
(a) ST04-P- $\alpha$ 5-D00



(b) ST04-P- $\alpha$ 5-D03



(c) ST04-P- $\alpha$ 5-ALL



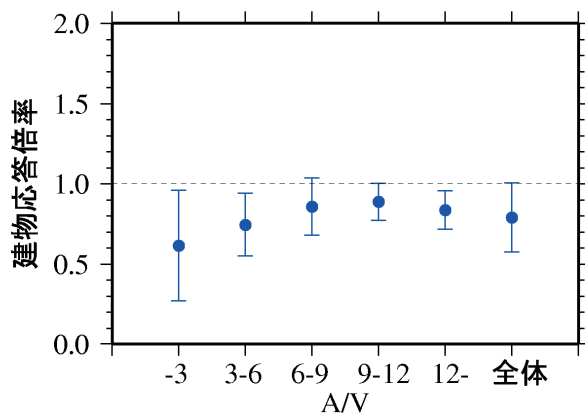
(d) 比較

図 付録-2-6(6) 4階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

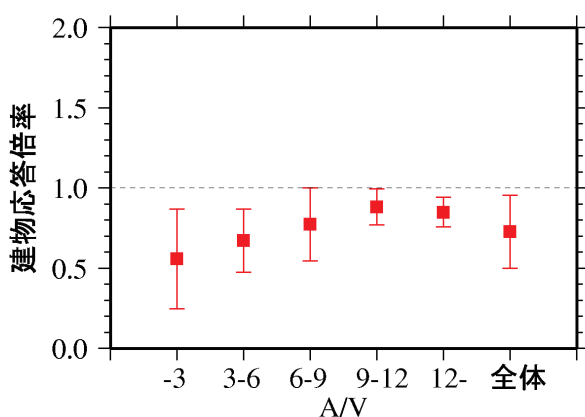
表 付録-2-7(1) 8階建てS造建物(建物耐力  $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=2$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.61	0.56	194	0.56	0.56	196
$3 \leq A/V < 6$	0.74	0.26	900	0.67	0.29	899
$6 \leq A/V < 9$	0.86	0.21	647	0.77	0.29	648
$9 \leq A/V < 12$	0.89	0.13	268	0.88	0.13	268
$12 \leq A/V$	0.83	0.14	92	0.85	0.11	92
全体	0.79	0.27	2101	0.73	0.31	2103

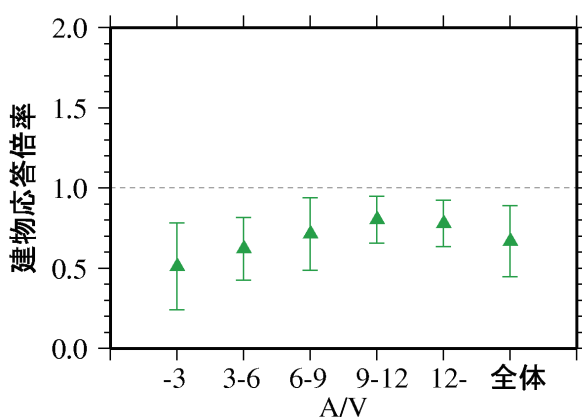
$\alpha=2$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.51	0.53	183	0.56	0.56	573
$3 \leq A/V < 6$	0.62	0.32	892	0.68	0.30	2691
$6 \leq A/V < 9$	0.71	0.32	644	0.78	0.28	1939
$9 \leq A/V < 12$	0.80	0.18	262	0.86	0.15	798
$12 \leq A/V$	0.78	0.18	73	0.82	0.15	257
全体	0.67	0.33	2054	0.73	0.31	6258



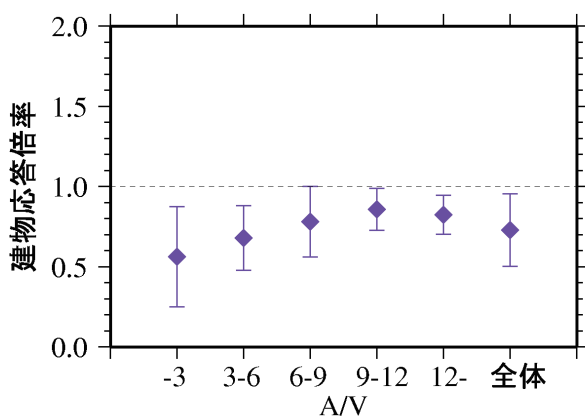
(a) ST08-S- $\alpha$ 2-D03



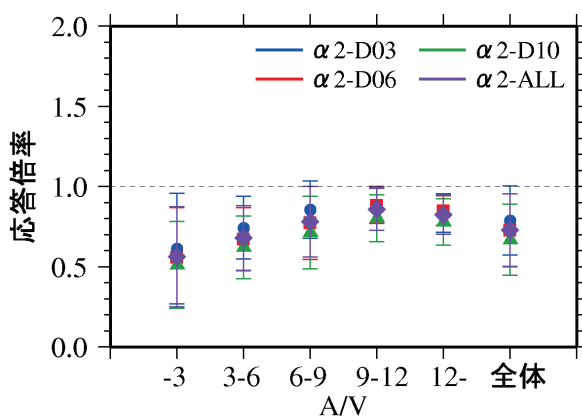
(b) ST08-S- $\alpha$ 2-D06



(c) ST08-S- $\alpha$ 2-D10



(d) ST08-S- $\alpha$ 2-ALL



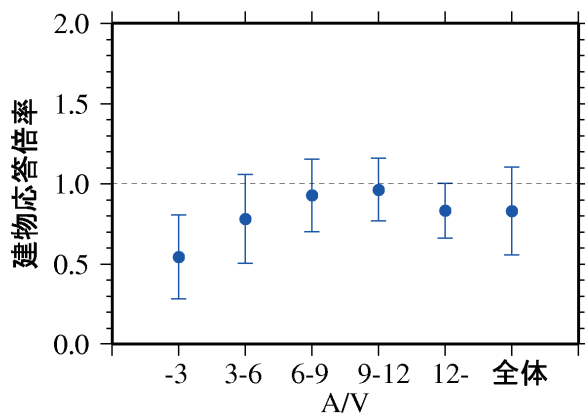
(e) 比較

図 付録-2-7(1) 8階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

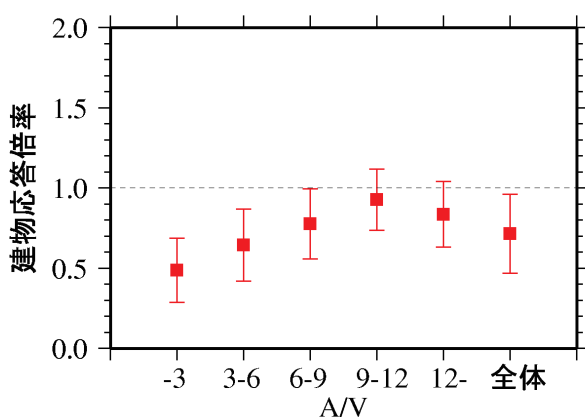
表 付録-2-7(2) 8階建てS造建物(建物耐力  $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=3$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.54	0.48	193	0.49	0.41	195
$3 \leq A/V < 6$	0.78	0.36	896	0.64	0.35	900
$6 \leq A/V < 9$	0.93	0.24	651	0.78	0.28	650
$9 \leq A/V < 12$	0.96	0.20	268	0.93	0.21	268
$12 \leq A/V$	0.83	0.21	92	0.83	0.24	92
全体	0.83	0.33	2100	0.71	0.35	2105

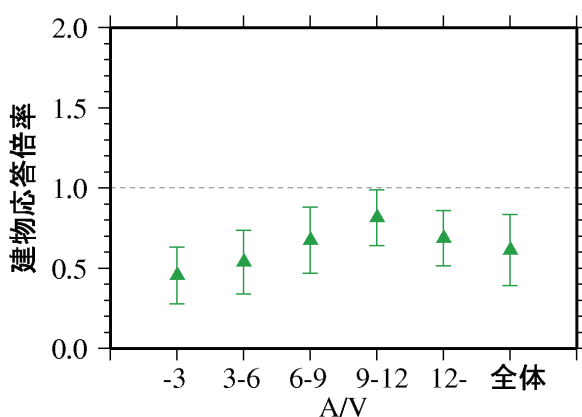
$\alpha=3$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.46	0.39	182	0.50	0.44	570
$3 \leq A/V < 6$	0.54	0.37	895	0.65	0.39	2691
$6 \leq A/V < 9$	0.67	0.31	648	0.79	0.30	1949
$9 \leq A/V < 12$	0.81	0.21	258	0.90	0.22	794
$12 \leq A/V$	0.69	0.25	72	0.79	0.25	256
全体	0.61	0.36	2055	0.72	0.37	6260



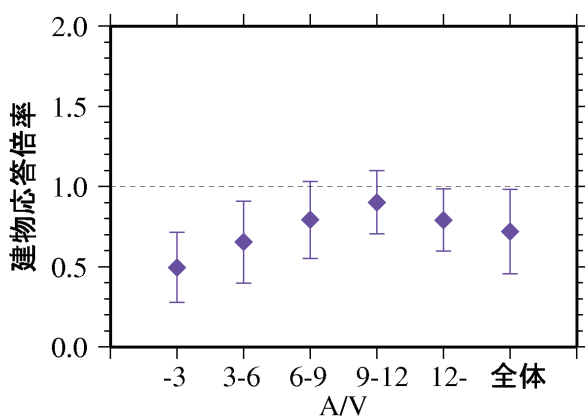
(a) ST08-S- $\alpha$ 3-D03



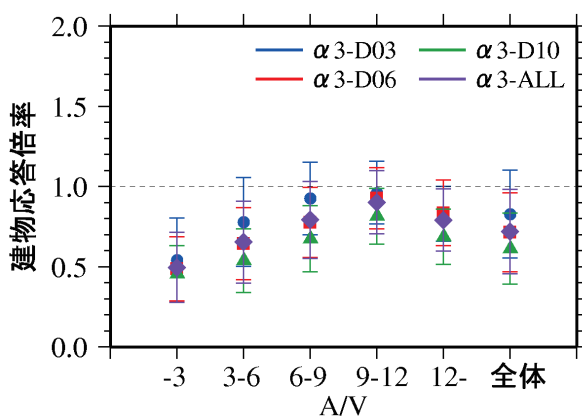
(b) ST08-S- $\alpha$ 3-D06



(c) ST08-S- $\alpha$ 3-D10



(d) ST08-S- $\alpha$ 3-ALL



(e) 比較

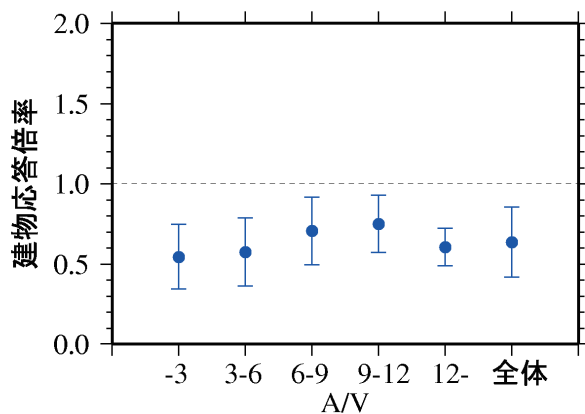
図 付録-2-7(2) 8階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$



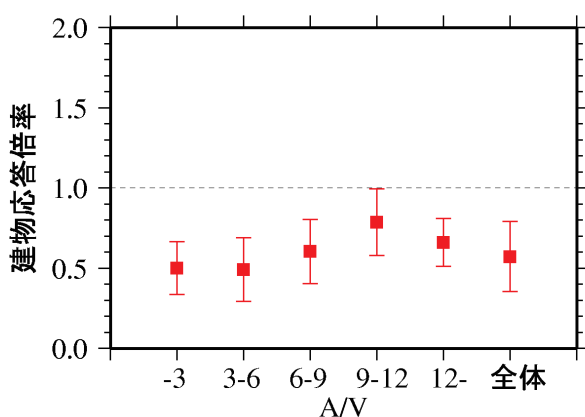
表 付録-2-7(3) 8階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=5$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.54	0.37	194	0.50	0.33	196
$3 \leq A/V < 6$	0.57	0.37	900	0.49	0.40	900
$6 \leq A/V < 9$	0.70	0.30	648	0.60	0.33	648
$9 \leq A/V < 12$	0.75	0.24	264	0.79	0.26	264
$12 \leq A/V$	0.60	0.19	92	0.66	0.22	92
全体	0.63	0.34	2098	0.57	0.38	2100

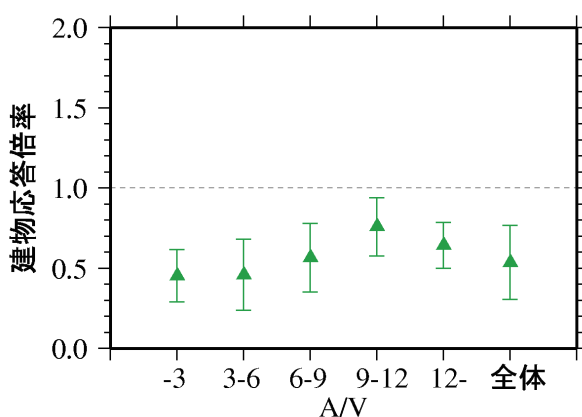
$\alpha=5$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.45	0.36	184	0.50	0.36	574
$3 \leq A/V < 6$	0.46	0.48	893	0.51	0.43	2693
$6 \leq A/V < 9$	0.56	0.38	643	0.62	0.35	1939
$9 \leq A/V < 12$	0.76	0.24	258	0.76	0.25	786
$12 \leq A/V$	0.64	0.22	74	0.63	0.22	258
全体	0.54	0.43	2052	0.58	0.39	6250



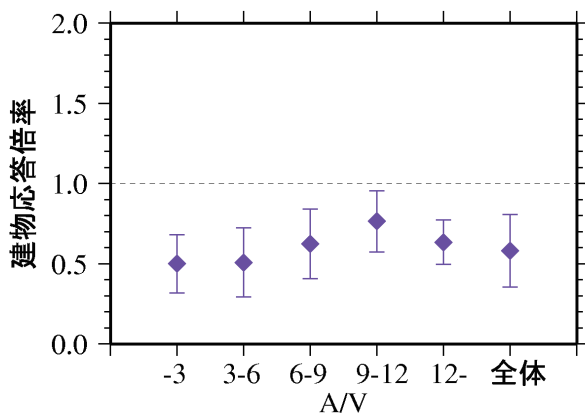
(a) ST08-S- $\alpha$ 5-D03



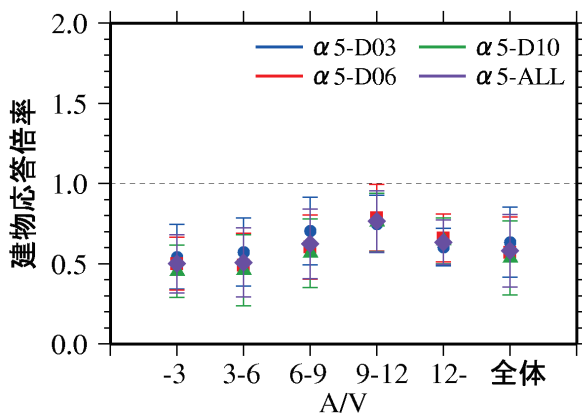
(b) ST08-S- $\alpha$ 5-D06



(c) ST08-S- $\alpha$ 5-D10



(d) ST08-S- $\alpha$ 5-ALL



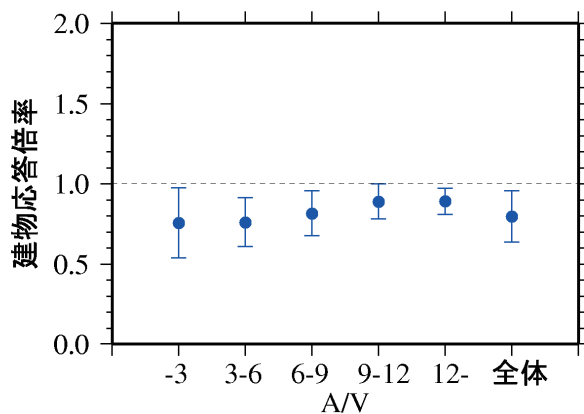
(e) 比較

図 付録-2-7(3) 8階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

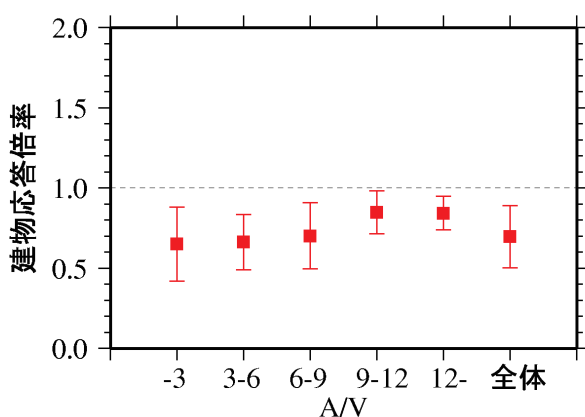
表 付録-2-7(4) 8階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 杭基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=2$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.75	0.29	174	0.65	0.35	186
$3 \leq A/V < 6$	0.76	0.20	639	0.66	0.26	657
$6 \leq A/V < 9$	0.81	0.17	356	0.70	0.29	348
$9 \leq A/V < 12$	0.89	0.12	152	0.85	0.16	124
$12 \leq A/V$	0.89	0.09	88	0.84	0.12	68
全体	0.79	0.20	1409	0.70	0.28	1383

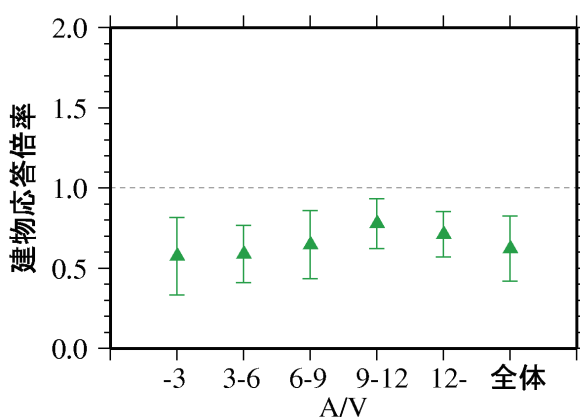
$\alpha=2$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.57	0.42	182	0.66	0.37	542
$3 \leq A/V < 6$	0.59	0.30	644	0.67	0.27	1940
$6 \leq A/V < 9$	0.65	0.33	352	0.72	0.28	1056
$9 \leq A/V < 12$	0.78	0.20	119	0.84	0.17	395
$12 \leq A/V$	0.71	0.20	40	0.84	0.15	196
全体	0.62	0.33	1337	0.71	0.28	4129



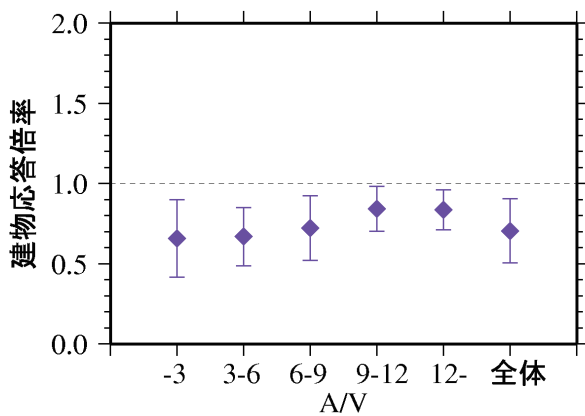
(a) ST08-P- $\alpha$ 2-D03



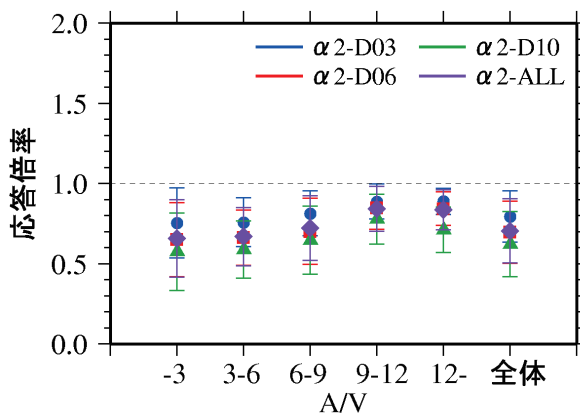
(b) ST08-P- $\alpha$ 2-D06



(c) ST08-P- $\alpha$ 2-D10



(d) ST08-P- $\alpha$ 2-ALL



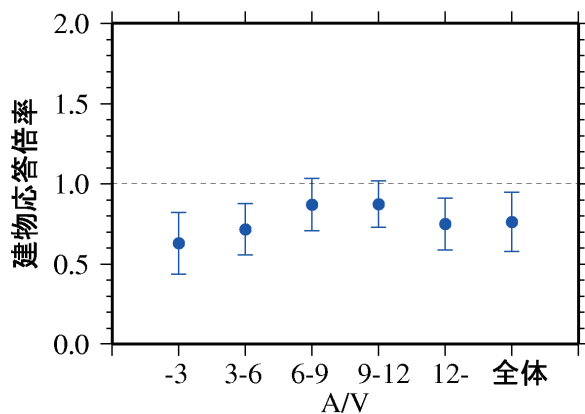
(e) 比較

図 付録-2-7(4) 8階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

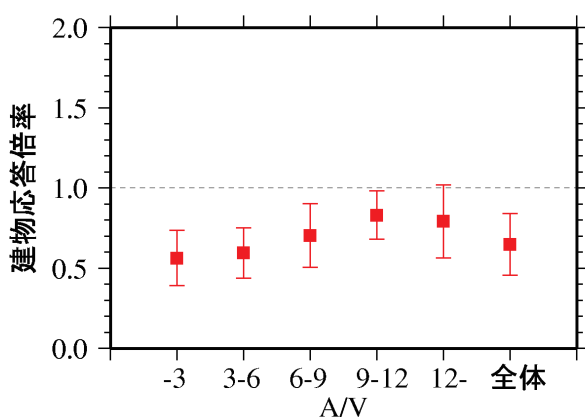
表 付録-2-7(5) 8階建てS造建物(建物耐力  $\alpha=3$ (中), 杭基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=3$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.63	0.31	176	0.56	0.30	188
$3 \leq A/V < 6$	0.72	0.22	640	0.59	0.26	664
$6 \leq A/V < 9$	0.87	0.19	355	0.70	0.28	348
$9 \leq A/V < 12$	0.87	0.17	152	0.83	0.18	124
$12 \leq A/V$	0.75	0.21	88	0.79	0.29	68
全体	0.76	0.24	1411	0.65	0.30	1392

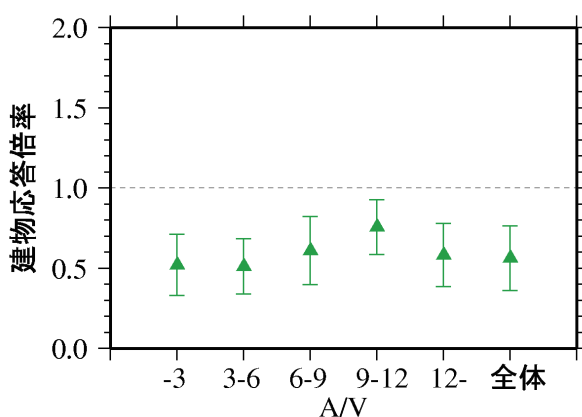
$\alpha=3$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.52	0.37	184	0.57	0.33	548
$3 \leq A/V < 6$	0.51	0.34	648	0.61	0.30	1952
$6 \leq A/V < 9$	0.61	0.35	352	0.73	0.30	1055
$9 \leq A/V < 12$	0.76	0.23	120	0.82	0.20	396
$12 \leq A/V$	0.58	0.34	40	0.73	0.29	196
全体	0.56	0.36	1344	0.66	0.32	4147



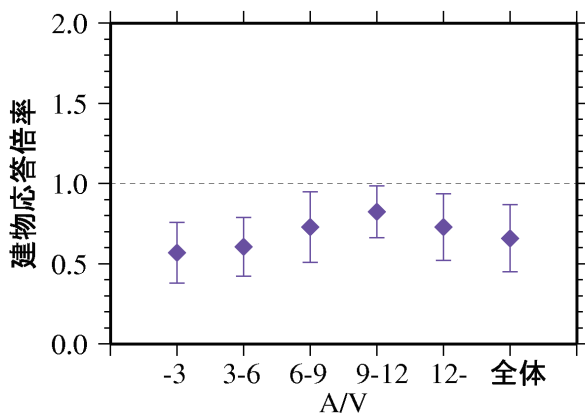
(a) ST08-P- $\alpha$ 3-D03



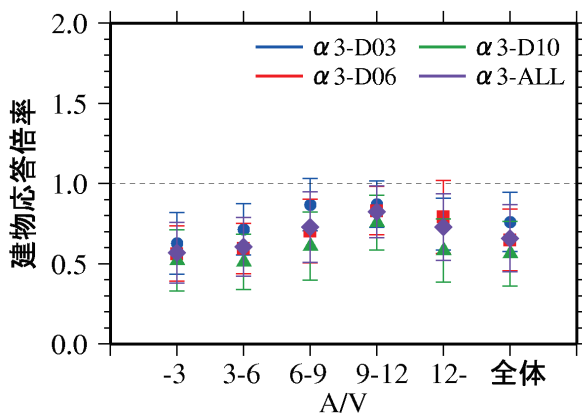
(b) ST08-P- $\alpha$ 3-D06



(c) ST08-P- $\alpha$ 3-D10



(d) ST08-P- $\alpha$ 3-ALL



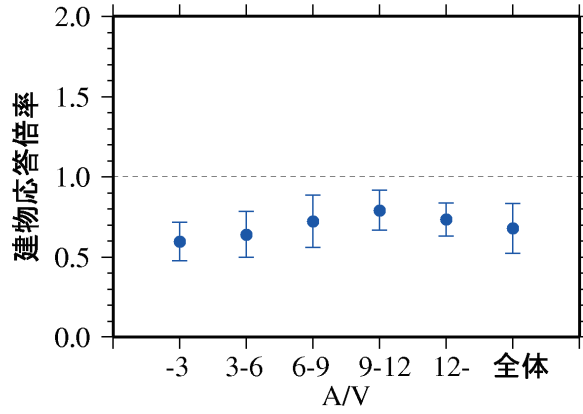
(e) 比較

図 付録-2-7(5) 8階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

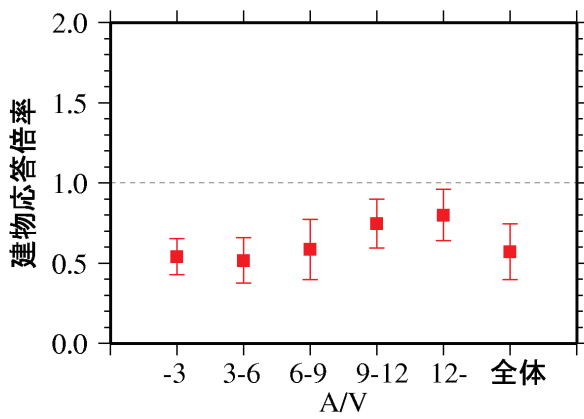
表 付録-2-7(6) 8階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 杭基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=5$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.59	0.20	176	0.54	0.21	188
$3 \leq A/V < 6$	0.64	0.22	641	0.52	0.27	663
$6 \leq A/V < 9$	0.72	0.23	356	0.59	0.32	348
$9 \leq A/V < 12$	0.79	0.16	152	0.75	0.20	124
$12 \leq A/V$	0.73	0.14	88	0.80	0.20	68
全体	0.68	0.23	1413	0.57	0.30	1391

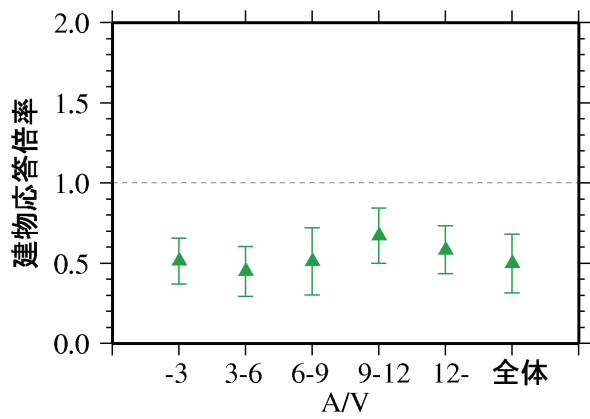
$\alpha=5$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.51	0.28	184	0.55	0.24	548
$3 \leq A/V < 6$	0.45	0.35	648	0.53	0.31	1952
$6 \leq A/V < 9$	0.51	0.41	352	0.61	0.34	1056
$9 \leq A/V < 12$	0.67	0.26	120	0.74	0.21	396
$12 \leq A/V$	0.58	0.26	40	0.73	0.21	196
全体	0.50	0.37	1344	0.58	0.32	4148



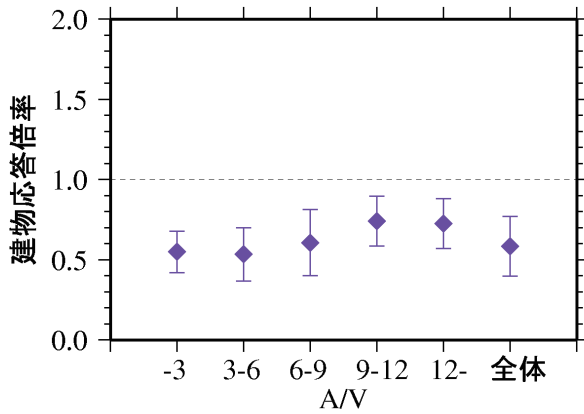
(a) ST08-P- $\alpha$ 5-D03



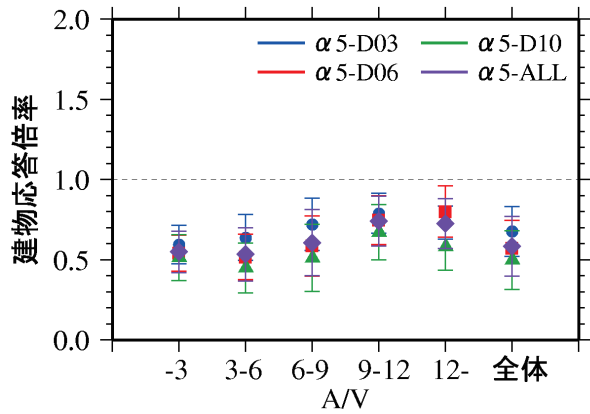
(b) ST08-P- $\alpha$ 5-D06



(c) ST08-P- $\alpha$ 5-D10



(d) ST08-P- $\alpha$ 5-ALL



(e) 比較

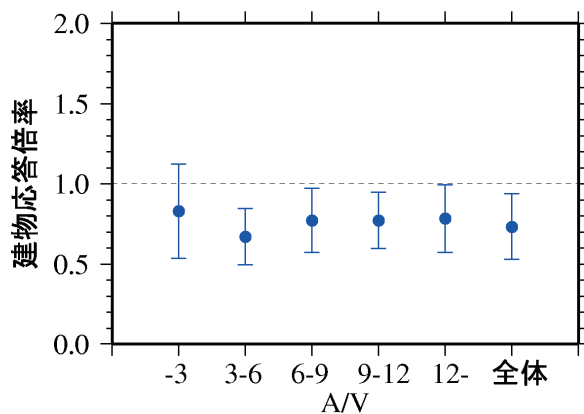
図 付録-2-7(6) 8階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$



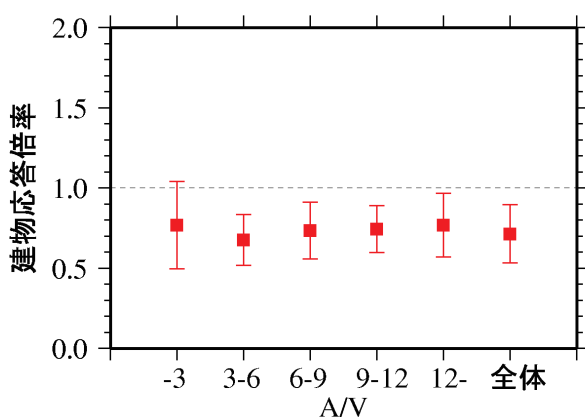
表 付録-2-8(1) 15階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=2$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.83	0.36	255	0.77	0.36	256
$3 \leq A/V < 6$	0.67	0.26	1330	0.68	0.24	1332
$6 \leq A/V < 9$	0.77	0.26	976	0.73	0.24	977
$9 \leq A/V < 12$	0.77	0.23	390	0.74	0.20	390
$12 \leq A/V$	0.78	0.27	114	0.77	0.26	114
全体	0.73	0.28	3065	0.71	0.25	3069

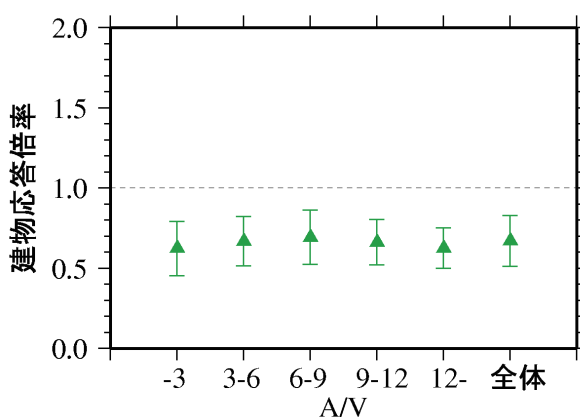
$\alpha=2$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.62	0.27	248	0.74	0.36	759
$3 \leq A/V < 6$	0.67	0.23	1328	0.67	0.24	3990
$6 \leq A/V < 9$	0.69	0.24	971	0.73	0.25	2924
$9 \leq A/V < 12$	0.66	0.21	386	0.73	0.22	1166
$12 \leq A/V$	0.63	0.20	102	0.73	0.27	330
全体	0.67	0.24	3035	0.71	0.26	9169



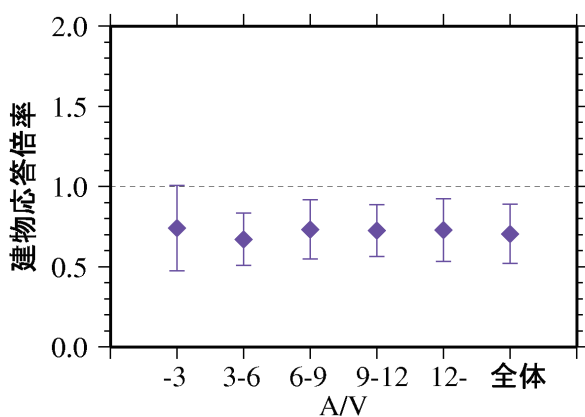
(a) ST15-S- $\alpha$ 2-D03



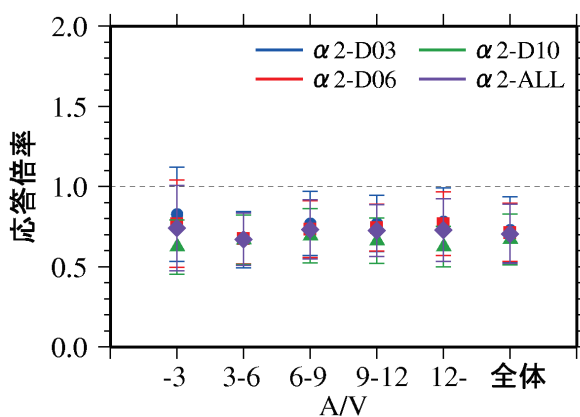
(b) ST15-S- $\alpha$ 2-D06



(c) ST15-S- $\alpha$ 2-D10



(d) ST15-S- $\alpha$ 2-ALL



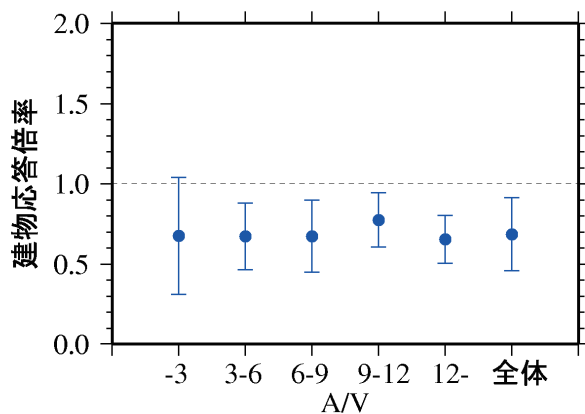
(e) 比較

図 付録-2-8(1) 15階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

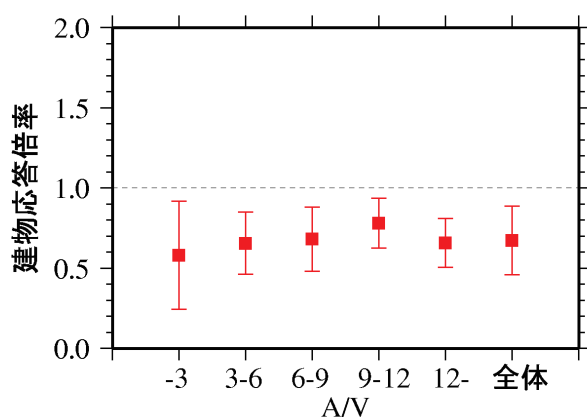
表 付録-2-8(2) 15階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=3$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.67	0.54	273	0.58	0.58	276
$3 \leq A/V < 6$	0.67	0.31	1337	0.66	0.30	1338
$6 \leq A/V < 9$	0.67	0.34	977	0.68	0.29	976
$9 \leq A/V < 12$	0.77	0.22	396	0.78	0.20	395
$12 \leq A/V$	0.65	0.23	138	0.66	0.23	138
全体	0.68	0.33	3121	0.67	0.32	3123

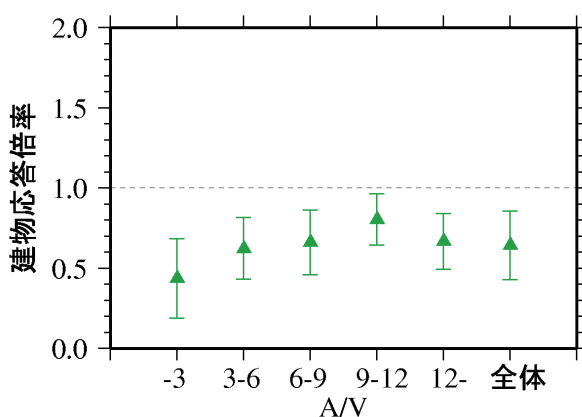
$\alpha=3$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.44	0.57	264	0.56	0.59	813
$3 \leq A/V < 6$	0.62	0.31	1333	0.65	0.31	4008
$6 \leq A/V < 9$	0.66	0.31	971	0.67	0.31	2924
$9 \leq A/V < 12$	0.80	0.20	388	0.79	0.21	1179
$12 \leq A/V$	0.67	0.26	110	0.66	0.24	386
全体	0.64	0.33	3066	0.67	0.33	9310



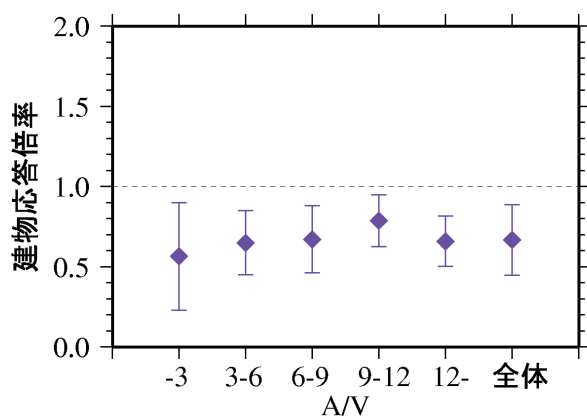
(a) ST15-S- $\alpha$ 3-D03



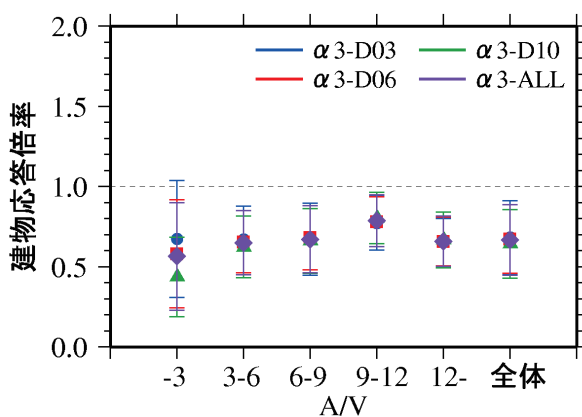
(b) ST15-S- $\alpha$ 3-D06



(c) ST15-S- $\alpha$ 3-D10



(d) ST15-S- $\alpha$ 3-ALL



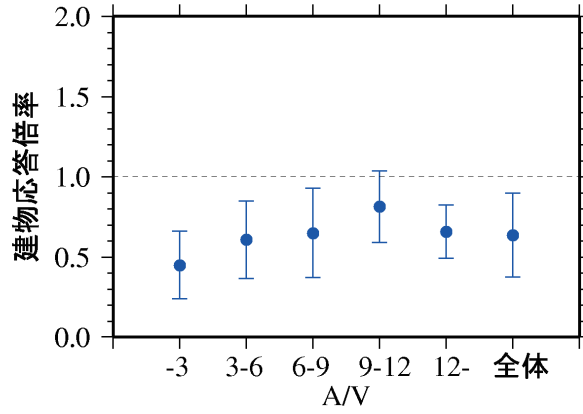
(e) 比較

図 付録-2-8(2) 15階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

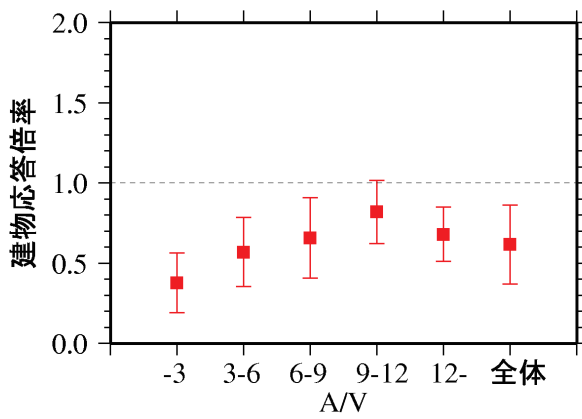
表 付録-2-8(3) 15階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の  
建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=5$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.45	0.47	274	0.38	0.50	276
$3 \leq A/V < 6$	0.61	0.40	1319	0.57	0.38	1320
$6 \leq A/V < 9$	0.65	0.43	972	0.66	0.38	969
$9 \leq A/V < 12$	0.81	0.28	396	0.82	0.24	396
$12 \leq A/V$	0.66	0.25	126	0.68	0.25	126
全体	0.63	0.41	3087	0.62	0.40	3087

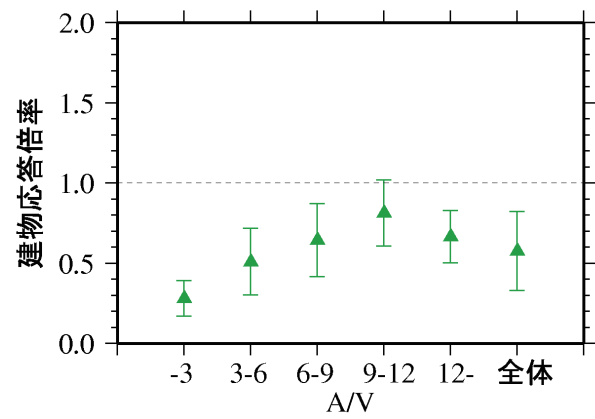
$\alpha=5$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.28	0.40	264	0.37	0.51	814
$3 \leq A/V < 6$	0.51	0.41	1315	0.56	0.40	3954
$6 \leq A/V < 9$	0.64	0.35	966	0.65	0.39	2907
$9 \leq A/V < 12$	0.81	0.25	388	0.82	0.26	1180
$12 \leq A/V$	0.67	0.25	106	0.67	0.25	358
全体	0.58	0.43	3039	0.61	0.42	9213



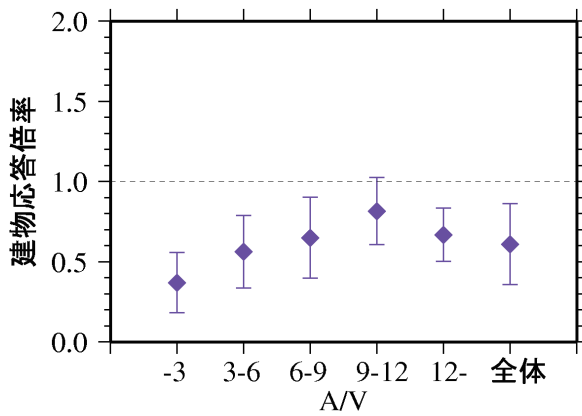
(a) ST15-S- $\alpha$ 5-D03



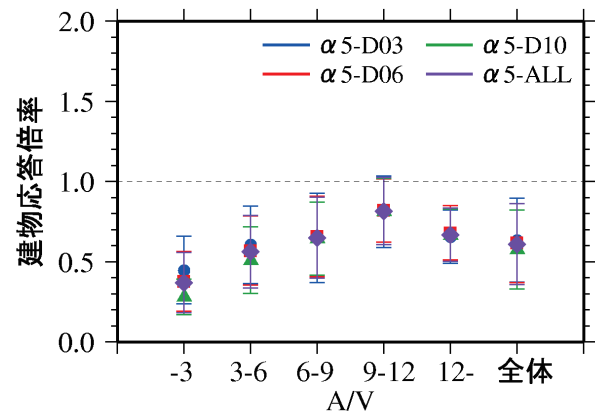
(b) ST15-S- $\alpha$ 5-D06



(c) ST15-S- $\alpha$ 5-D10



(d) ST15-S- $\alpha$ 5-ALL



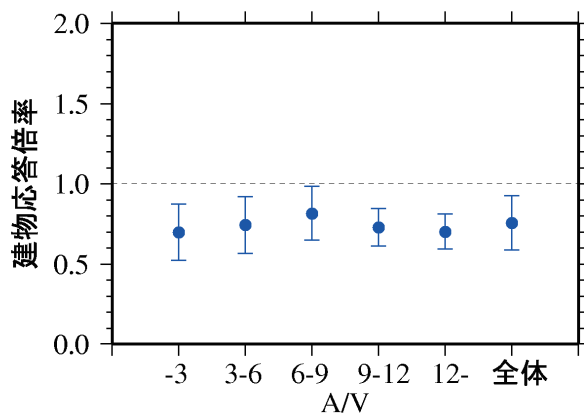
(e) 比較

図 付録-2-8(3) 15階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 直接基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

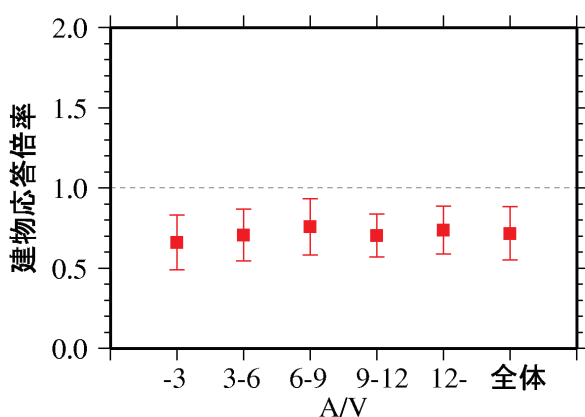
表 付録-2-8(4) 15階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=2$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.70	0.25	258	0.66	0.26	276
$3 \leq A/V < 6$	0.74	0.24	1141	0.71	0.23	1169
$6 \leq A/V < 9$	0.81	0.21	734	0.76	0.23	738
$9 \leq A/V < 12$	0.73	0.16	341	0.70	0.19	300
$12 \leq A/V$	0.70	0.16	109	0.74	0.20	102
全体	0.75	0.23	2583	0.72	0.23	2585

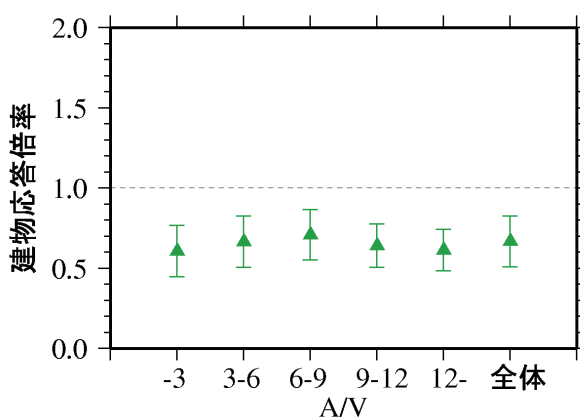
$\alpha=2$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.61	0.26	258	0.65	0.26	792
$3 \leq A/V < 6$	0.67	0.24	1112	0.70	0.24	3422
$6 \leq A/V < 9$	0.71	0.22	707	0.76	0.23	2179
$9 \leq A/V < 12$	0.64	0.21	294	0.69	0.19	935
$12 \leq A/V$	0.61	0.21	60	0.69	0.20	271
全体	0.67	0.24	2431	0.71	0.24	7599



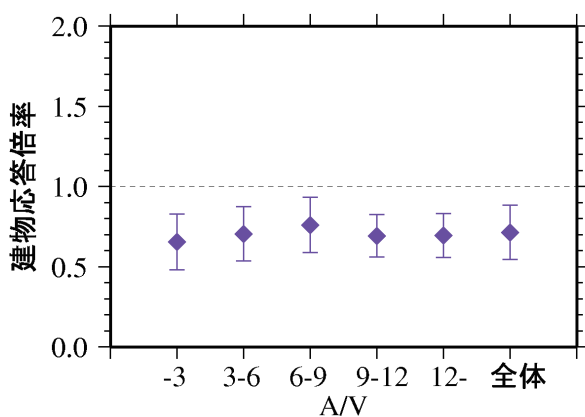
(a) ST15-P- $\alpha$ 2-D03



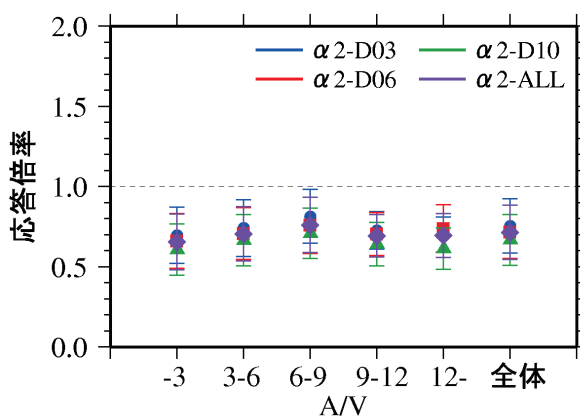
(b) ST15-P- $\alpha$ 2-D06



(c) ST15-P- $\alpha$ 2-D10



(d) ST15-P- $\alpha$ 2-ALL



(e) 比較

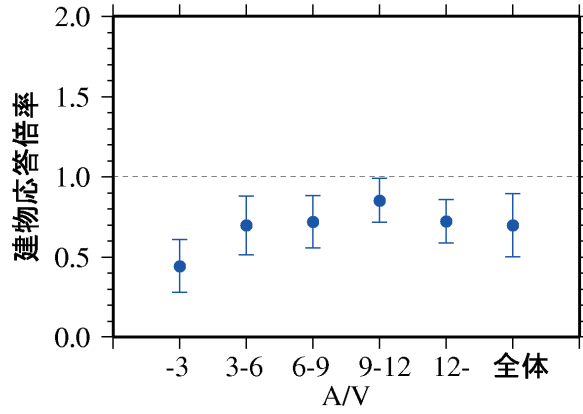
図 付録-2-8(4) 15階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=2$ (低), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$



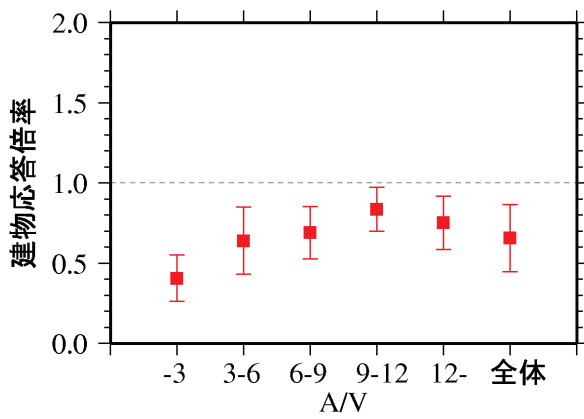
表 付録-2-8(5) 15階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=3$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.44	0.37	258	0.41	0.36	275
$3 \leq A/V < 6$	0.69	0.26	1122	0.64	0.33	1188
$6 \leq A/V < 9$	0.72	0.23	679	0.69	0.24	738
$9 \leq A/V < 12$	0.85	0.16	319	0.84	0.16	300
$12 \leq A/V$	0.72	0.19	105	0.75	0.22	102
全体	0.70	0.28	2483	0.66	0.32	2603

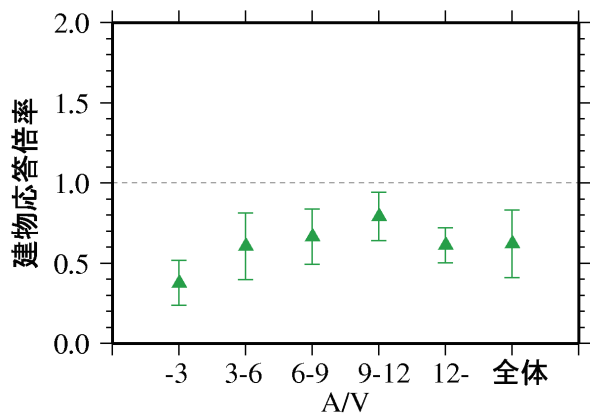
$\alpha=3$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.38	0.37	264	0.41	0.37	797
$3 \leq A/V < 6$	0.60	0.35	1123	0.65	0.32	3433
$6 \leq A/V < 9$	0.67	0.26	706	0.69	0.24	2123
$9 \leq A/V < 12$	0.79	0.19	294	0.83	0.17	913
$12 \leq A/V$	0.61	0.18	60	0.71	0.21	267
全体	0.62	0.34	2447	0.66	0.32	7533



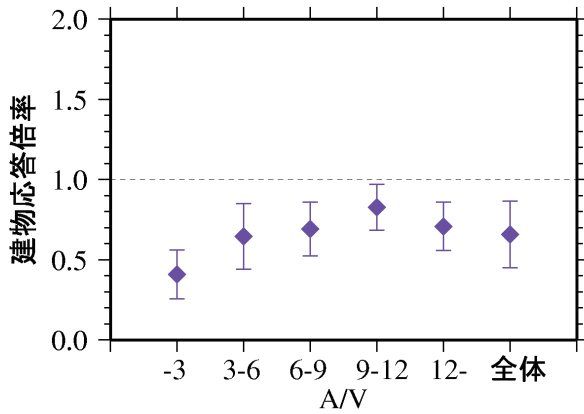
(a) ST15-P- $\alpha$ 3-D03



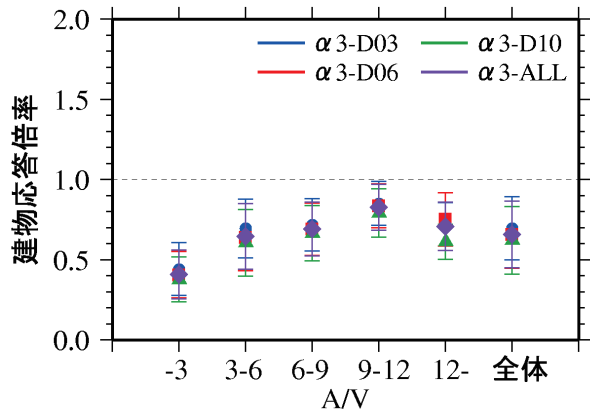
(b) ST15-P- $\alpha$ 3-D06



(c) ST15-P- $\alpha$ 3-D10



(d) ST15-P- $\alpha$ 3-ALL



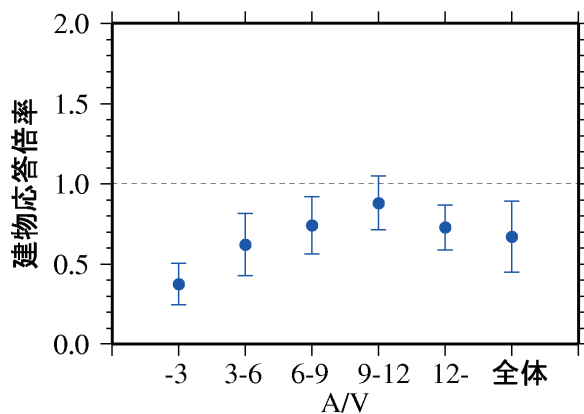
(e) 比較

図 付録-2-8(5) 15階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=3$ (中), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

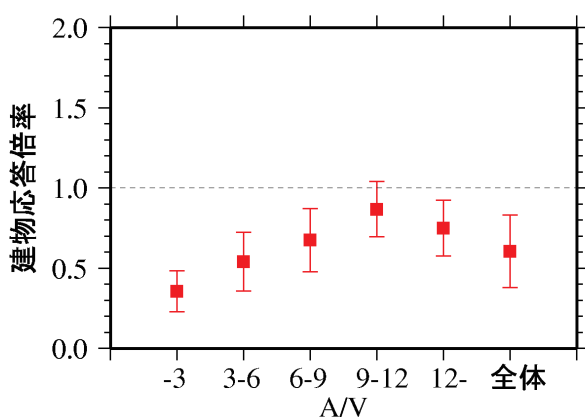
表 付録-2-8(6) 15階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と変動係数

$\alpha=5$	D=3m			D=6m		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.37	0.35	258	0.36	0.36	276
$3 \leq A/V < 6$	0.62	0.31	1138	0.54	0.34	1187
$6 \leq A/V < 9$	0.74	0.24	735	0.68	0.29	737
$9 \leq A/V < 12$	0.88	0.19	341	0.87	0.20	300
$12 \leq A/V$	0.73	0.19	109	0.75	0.23	102
全体	0.67	0.33	2581	0.61	0.37	2602

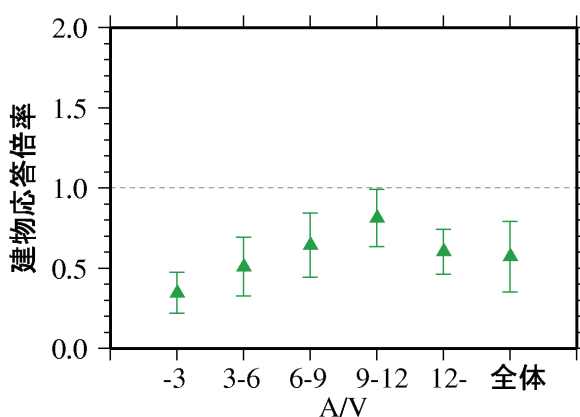
$\alpha=5$	D=10m			全体		
	平均値	変動係数	個数	平均値	変動係数	個数
$A/V < 3$	0.35	0.37	242	0.36	0.36	776
$3 \leq A/V < 6$	0.51	0.36	1076	0.56	0.35	3401
$6 \leq A/V < 9$	0.64	0.31	697	0.69	0.29	2169
$9 \leq A/V < 12$	0.81	0.22	287	0.85	0.20	928
$12 \leq A/V$	0.60	0.23	58	0.71	0.23	269
全体	0.57	0.39	2360	0.62	0.37	7543



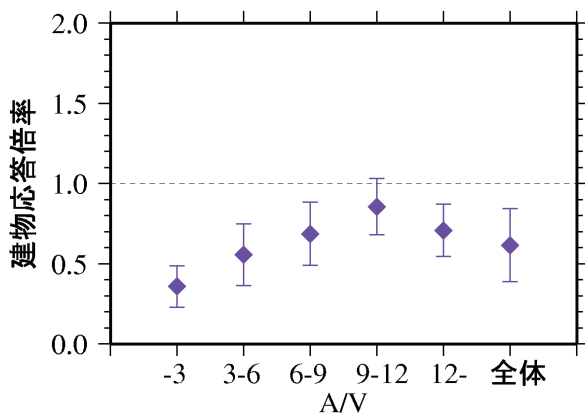
(a) ST15-P- $\alpha$ 5-D03



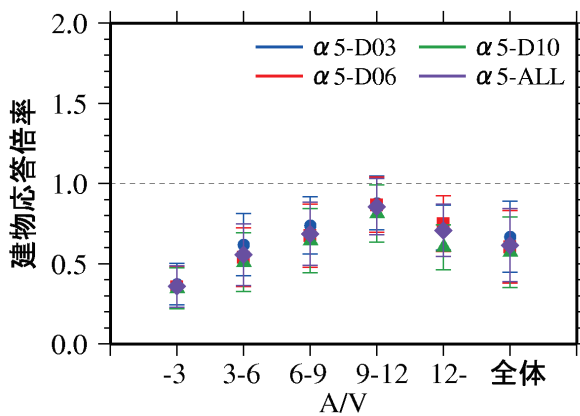
(b) ST15-P- $\alpha$ 5-D06



(c) ST15-P- $\alpha$ 5-D10



(d) ST15-P- $\alpha$ 5-ALL



(e) 比較

図 付録-2-8(6) 15階建てS造建物(建物耐力 $\alpha=5$ (高), 杭基礎形式)の建物応答倍率の平均値と平均 $\pm 1\sigma$

## 参考文献

- 岩手県（2004） 岩手県地震・津波シミュレーション及び被害想定調査に関する報告書（概要版）平成16年11月
- 安井謙，井口道雄，赤木久真，林康裕，中村充（1998） 1995年兵庫県南部地震における基礎有効入力動に関する考察，日本建築学会構造系論文集，No. 512，pp. 111-118.
- 高橋郁夫，林康裕（2004） 地盤－建物相互作用による建物の地震応答低減効果－近年の地震観測記録を用いた検討－，日本建築学会構造工学論文集，Vol. 50B，pp. 1-11.
- 伊藤真二，白山敦子，山下忠道，馬場研介（2010） 建物と地盤の動的相互作用について：基礎固定モデルに対する地震動入力倍率の算定，第13回日本地震工学シンポジウム，pp. 995-1000.
- 壇一男（1995） 釧路地方気象台の地震記録に見られる地盤と建物の相互作用効果およびそのシミュレーション，日本建築学会構造系論文集，No. 470，pp. 75-84.
- 新井洋（2004）：1999年コジャエリ地震時に地盤との動的相互作用がRC造建物被害率に与えた影響，日本建築学会学術講演梗概集，構造Ⅱ，pp. 1121-1122.
- 日本建築学会（2006） 建物と地盤の動的相互作用を考慮した応答解析と耐震設計.
- 防災科学技術研究所 強震ネットワークK-NET：<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>.
- 防災科学技術研究所 基盤強震観測網 KiK-net：<http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>.
- 東京都土木技術センター「東京の地盤(Web版)」，  
<http://doboku.metro.tokyo.jp/start/03-jyouhou/geo-web/00-index.html>.
- 名古屋市環境局地域環境対策部地域環境対策課「地盤環境情報システム」ボーリングデータ
- 関西圏地盤DB運営機構（2009） -2009年度版-関西圏地盤情報データベースCD-ROM
- 太田裕，後藤典俊（1976） S波速度を他の土質的諸指標から推定する試み，物理探鉱，第29巻 第4号，pp. 31-41.
- 国土交通省建築研究所（2001） 改正建築基準法の構造関係規定の技術的背景.
- 古山田耕司，宮本祐司，三浦賢治（2003）：多地点での原位置採取試料から評価した表層地盤の非線形特性，第38回地盤工学研究発表会，pp. 2077-2078.
- 今津雅紀，福武毅芳（1986）：動的変形特性のデータ処理に関する一考察，第21回土質工学研究発表会，pp. 533-536.
- 総務省 統計局（2008） 平成15年住宅・土地統計調査，  
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>.
- 日本建築学会・荷重運営委員会 減衰資料作成小委員会（2000）「実測減衰データベース」，  
<http://news-sv.aij.or.jp/kouzou/s7/d1.htm>.
- 日本建築学会（1996） 入門・建物と地盤との動的相互作用.
- 日本建築学会（2002） 建築基礎構造設計指針.
- 日本建築学会（2004） 建築基礎構造設計例集.
- 国土交通省住宅局建築指導課（2002） 2001年版限界耐力計算法の計算例とその解説.

- 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会（1998） 阪神・淡路大震災調査報告書 建築編-4 木造建物 建築基礎構造.
- 北原昭男, 藤原悌三（1990） 都市における建築構造物群の地震被害推定に関する研究, 第8回日本地震工学シンポジウム, pp. 2241-2246.
- 鈴木祥之, 中治弘行, 平山貴之, 秋山真一（1998） 常時微動計測による木造住宅の振動特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp. 221-222.
- 小原勝彦, 宮澤健二（1997） 木造住宅の壁量, 地震被害と固有周期, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp. 175-176.
- 日本建築学会（2009） 小規模建築物基礎設計指針
- 日本建築学会（2010） 建築基礎構造設計指針
- 長谷川正幸, 木村匠（1997） 大規模群杭の動的解析における近似解法の適用, 清水建設研究報告, 第66号, pp. 13-20.
- Novak, M., Nogami, T. and Aboul-Ella, F（1978） Dynamic Soil Reactions for Plane Strain Case, J. of Engineering Mechanics, ASCE, Vol.104, No.EM4, pp. 953-959.
- Takeda, T., Sozen, M., A., and Nielsen, N., N.（1970） Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes, Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, ST12, 2557-2573.
- 柳井裕俊, 青木博文, 池田勝利（2002）：鉄鋼系工業化住宅における等価線形化法の検証（その1～その2）, 日本建築学会学術講演梗概集. C-1, pp. 921-922.
- 防災科学技術研究所ホームページ 地震ハザードステーションJ-SHIS,  
<http://www.j-shis.bosai.go.jp>

## 謝 辞

本研究で使用した地震観測記録は、防災科学技術研究所の K-NET、KiK-net、および気象庁によるものである。地盤データについては、同じく防災科学技術研究所の K-NET、KiK-net、東京都土木技術センター、名古屋市、関西圏地盤 DB 運営機構のデータを使用させていただいた。ここに謝意を示す。

### [研究担当者]

清水建設株式会社技術研究所 吉田一博、宮腰淳一、森井雄史  
損害保険料率算出機構

リスク業務室

永島伊知郎、遠山奈々

火災・地震保険部地震グループ 吉村昌宏、須田純也

※各担当者の所属は研究実施時のもの





地震保険研究26

地盤と建物の相互作用効果が  
地震時の建物応答に与える影響

平成24年（2012年）9月発行

発行 損害保険料率算出機構（損保料率機構）

〒163-1029 東京都新宿区西新宿三丁目7番1号

TEL 03-6758-1300（代表）

URL <http://www.nliro.or.jp/>

印刷 株式会社 三千和商工

〒105-0004 東京都港区新橋6-10-7

