

## 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。

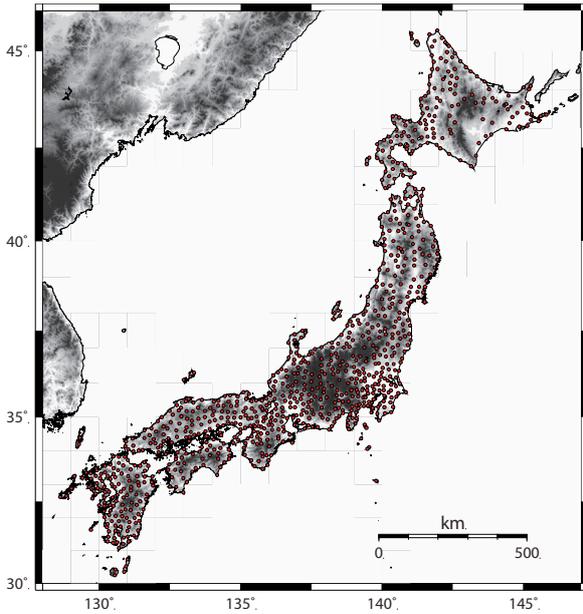


図 II-1-1 検討に用いた K-NET 観測点

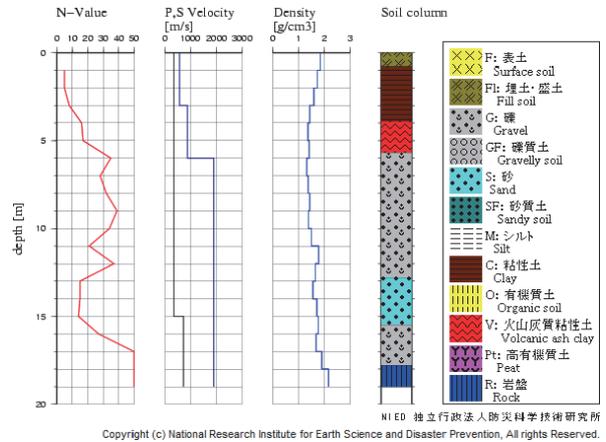


図 II-1-2 地盤情報の一例 (TKY001: 氷川)

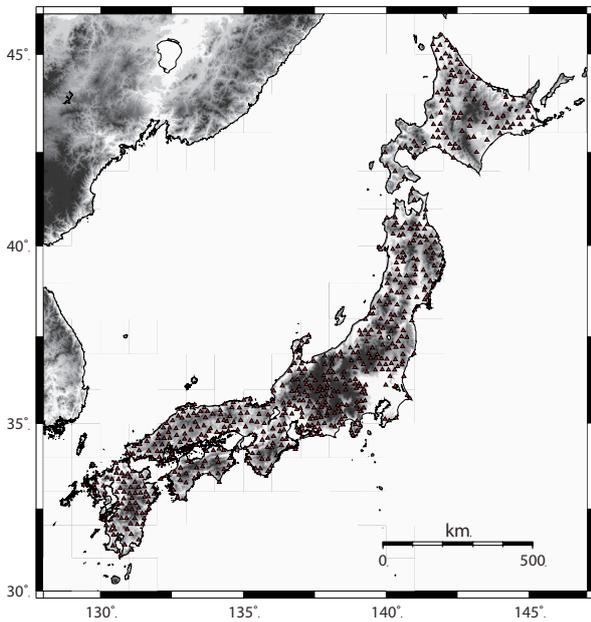


図 II-1-3 検討に用いたKiK-net観測点

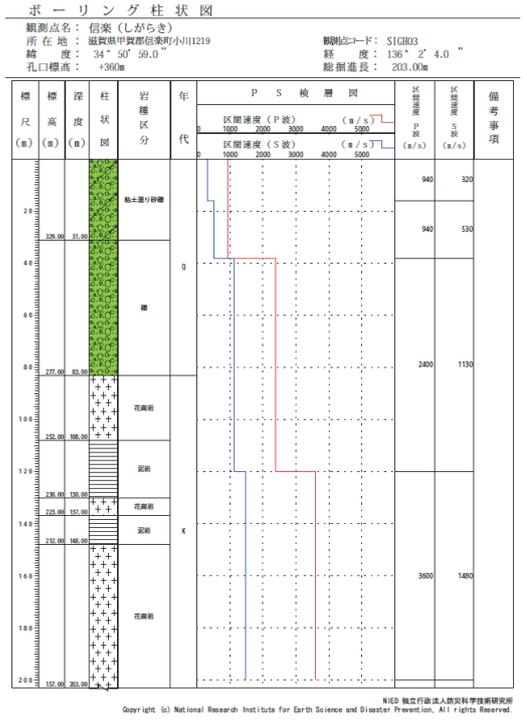
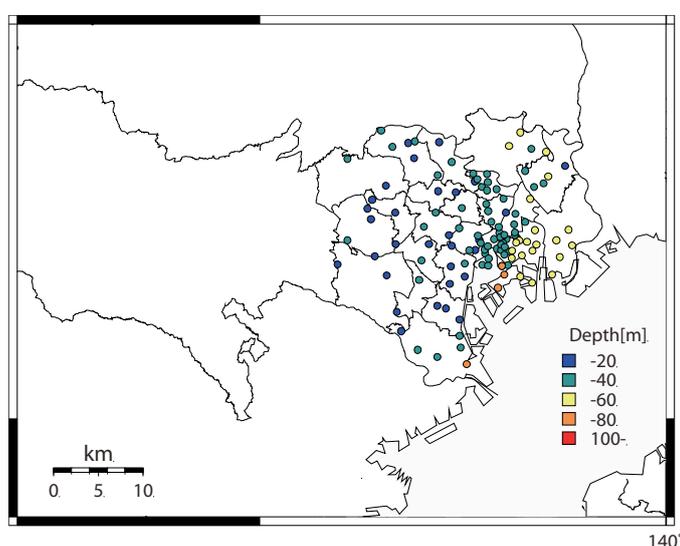


図 II-1-4 地盤情報の一例 (SIGH03: 信楽)

## (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。

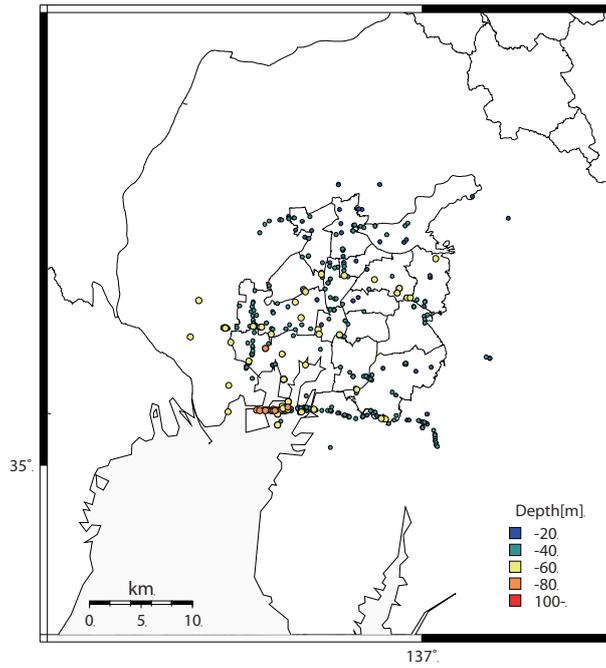


図 II-1-6 分析に用いた名古屋市周辺の地盤データ位置と工学的基盤面までの深さ

#### (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。

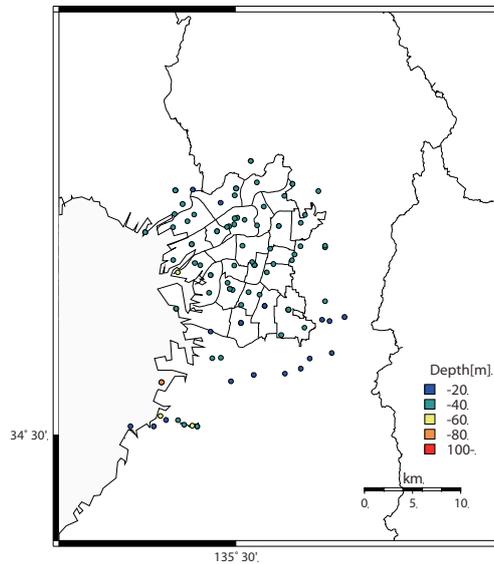


図 II-1-7 分析に用いた大阪市周辺の地盤データ位置と工学的基盤面までの深さ

## 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。

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

$$T_{S0} = \frac{4H_s}{V_{S_e}} \quad (\text{式 II. 1-2})$$

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

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

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

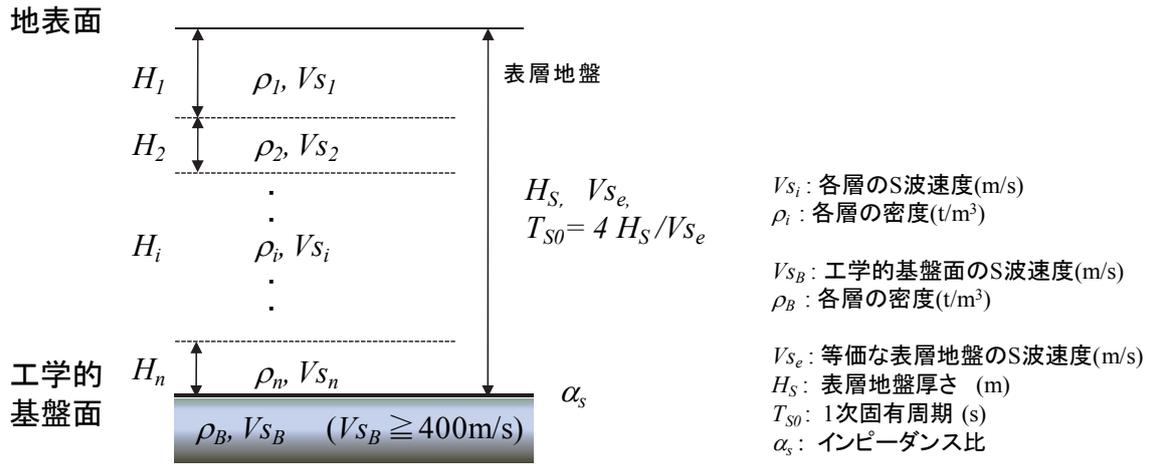


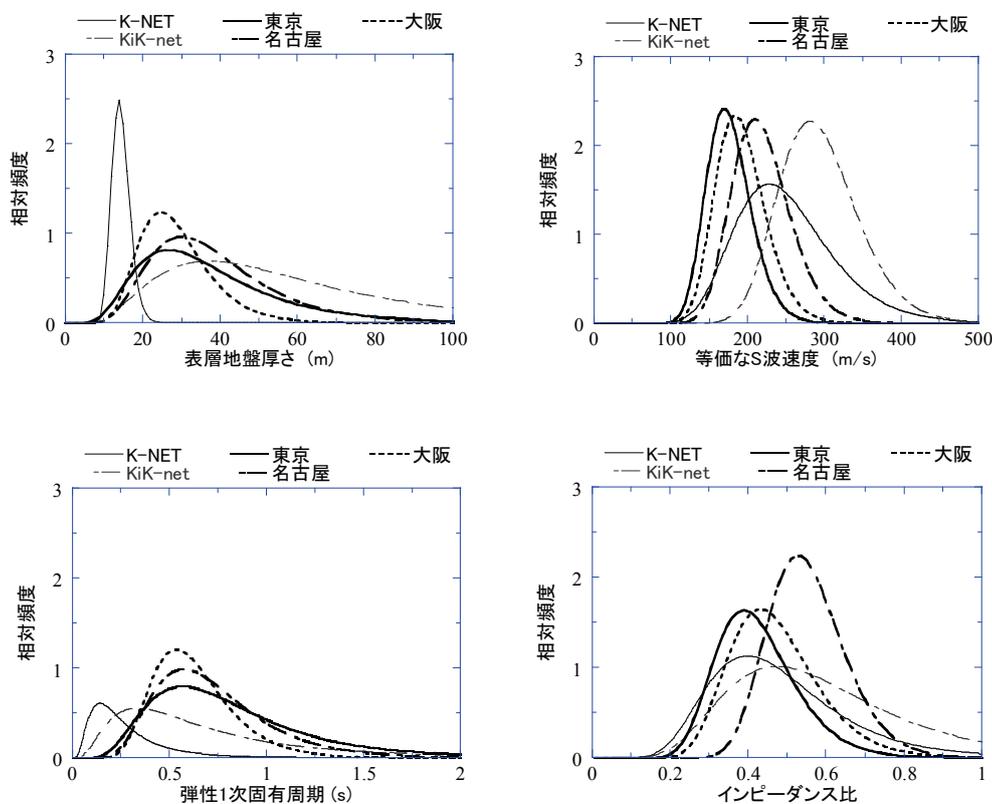
図 II-1-8 着目した地盤パラメータの概要

### 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)			

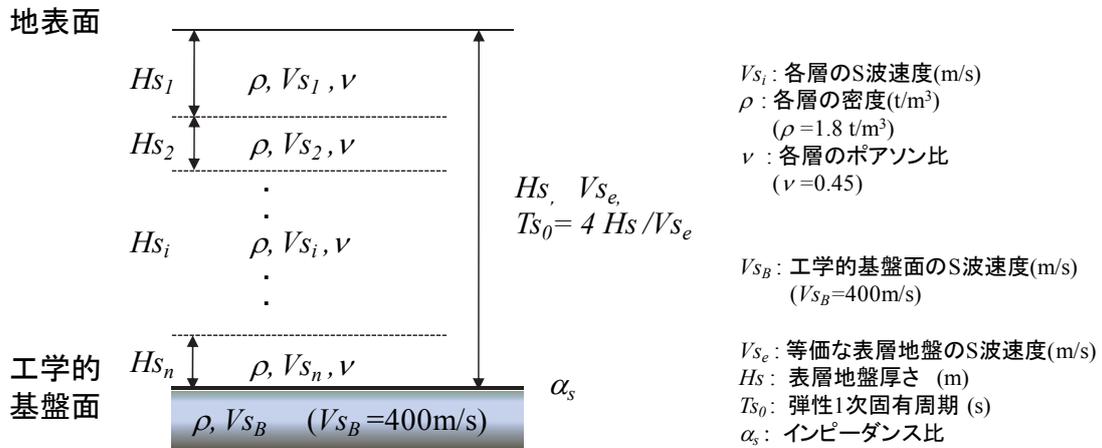
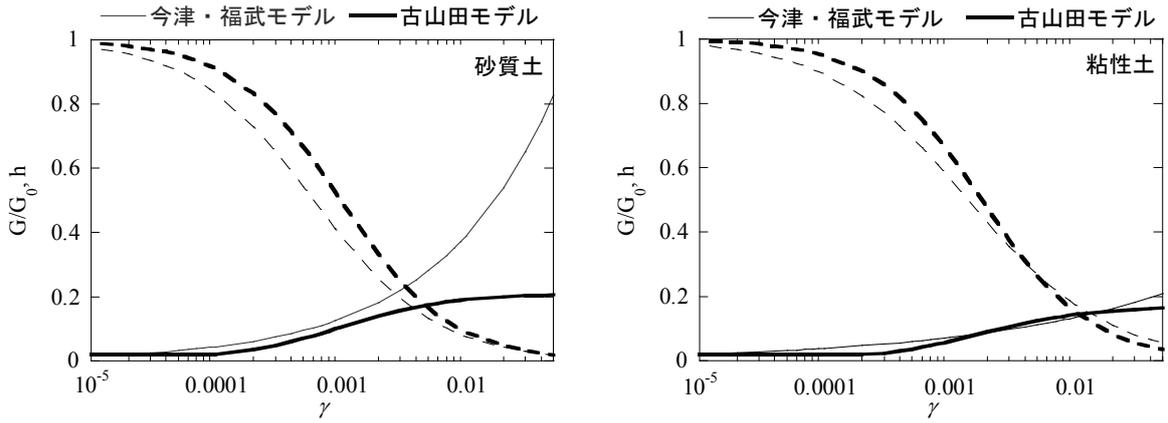


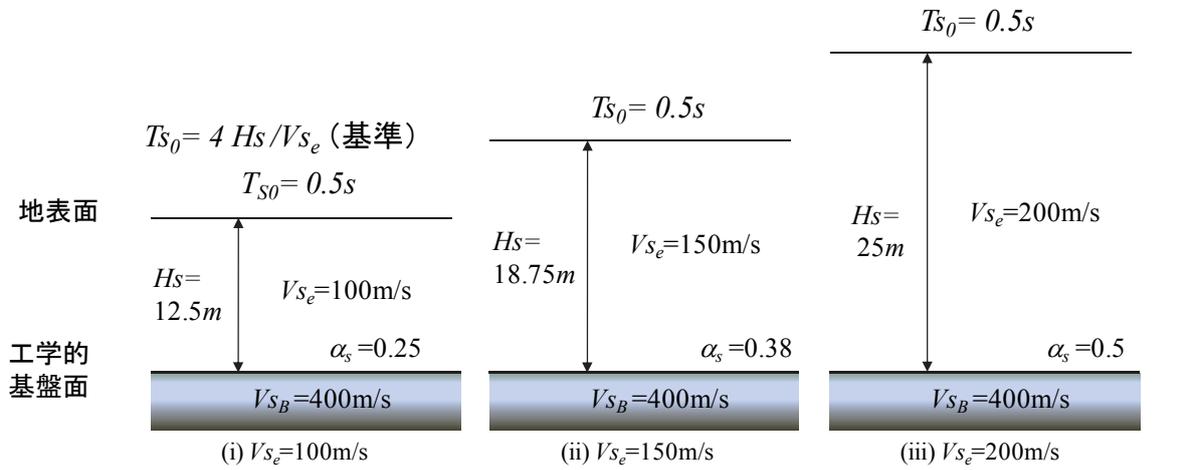
図 II-1-10 地盤モデルの解析パラメータの概要 (再掲)



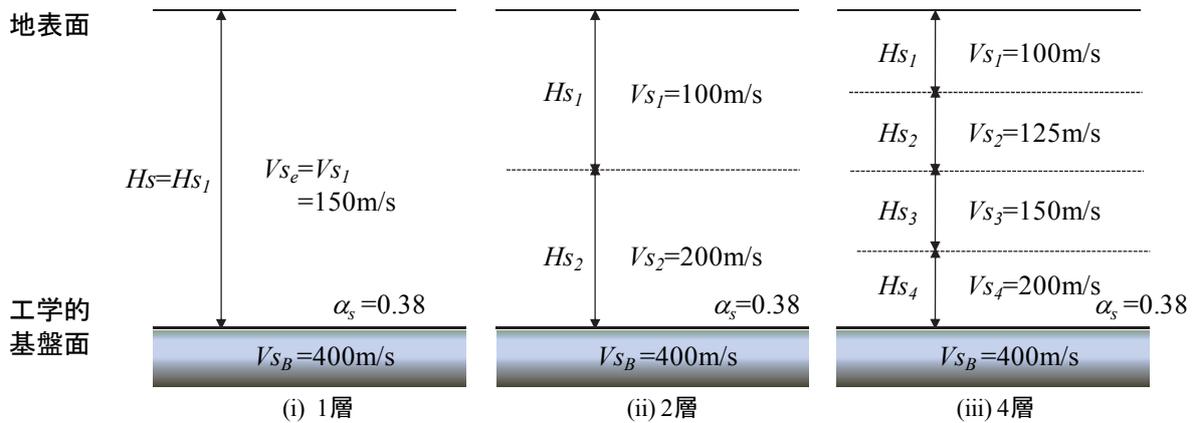
(a) 砂質土

(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 $V_{s_e}$ (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

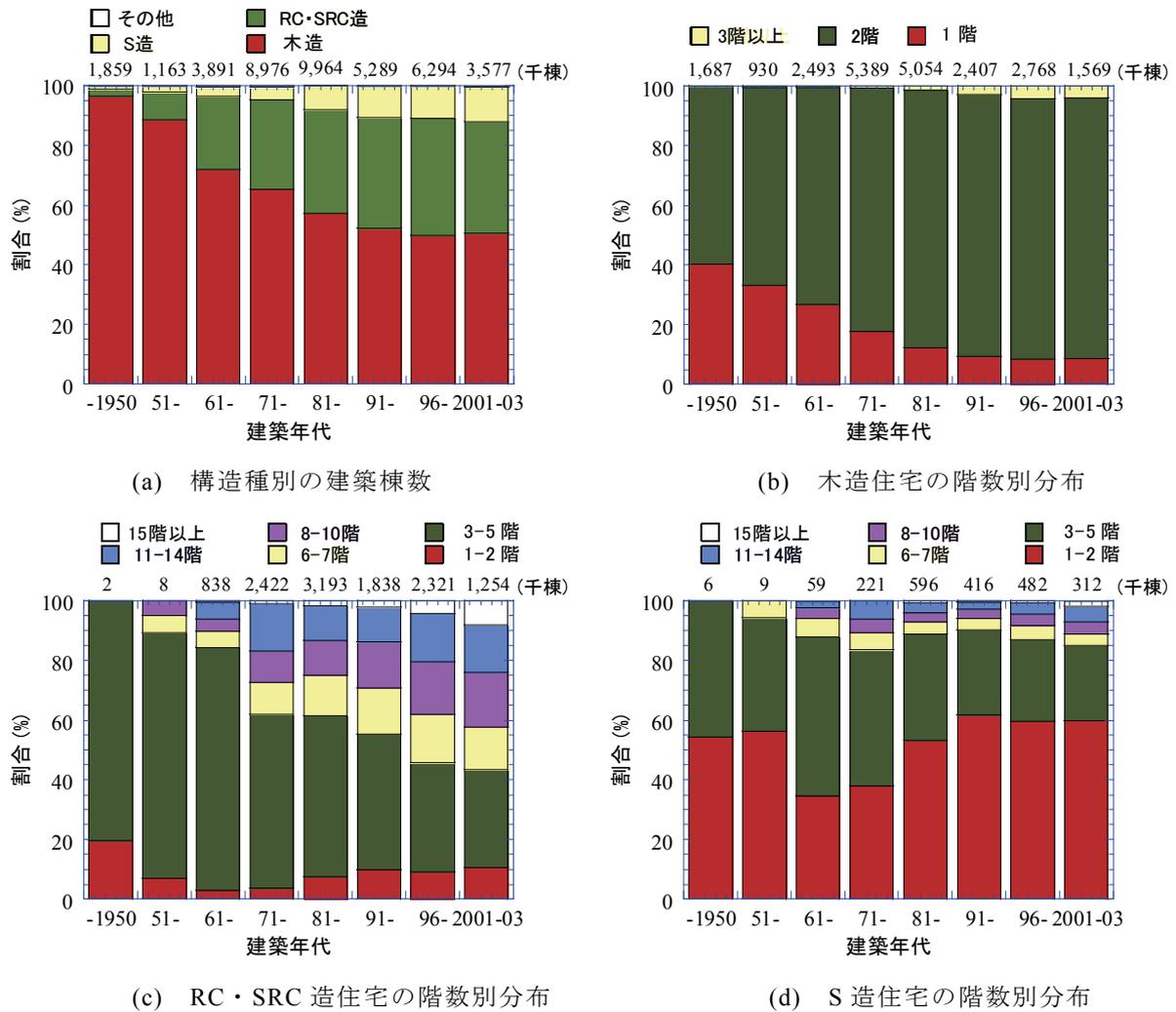
平成15年住宅・土地統計調査（総務省統計局（2008））による住宅用建物の建築年代別構造別階数別棟数割合を図Ⅱ-2-1に示す。

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。

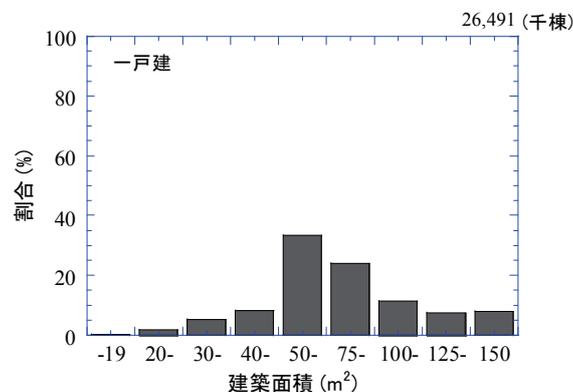
次に、建物階数については、木造建物では、ほとんどが2階建以下となっているが、近年3階建以上の木造住宅が増えつつある（図Ⅱ-2-1（b））。RC・SRC造建物では、建物階数が10階以下の建物が8割を占めている。15階建以上の建物は近年増加しているが、1割程度である（図Ⅱ-2-1（c））。S造建物では、建物階数が5階以下の低層建物が8割で、6階以上の建物は比較的少ない（図Ⅱ-2-1（d））。

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～

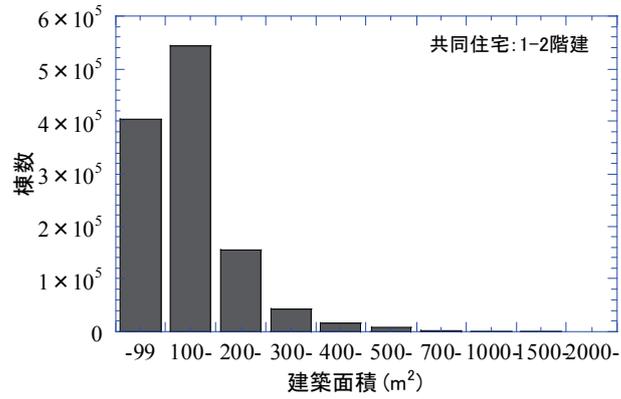
b)、建物階数が6～11階の場合には、100～1000 m<sup>2</sup>までに広く分布している（図Ⅱ-2-3(c)～d)。建物棟数は少ないが、15階以上の高層建物では、建築面積が500 m<sup>2</sup>～1000m<sup>2</sup>までに多く分布している（図Ⅱ-2-3(e)）。



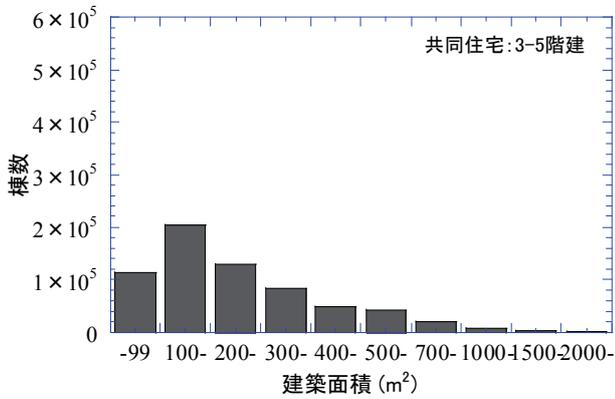
図Ⅱ-2-1 建築年代別構造別階数別棟数割合（総務省統計局（2008））



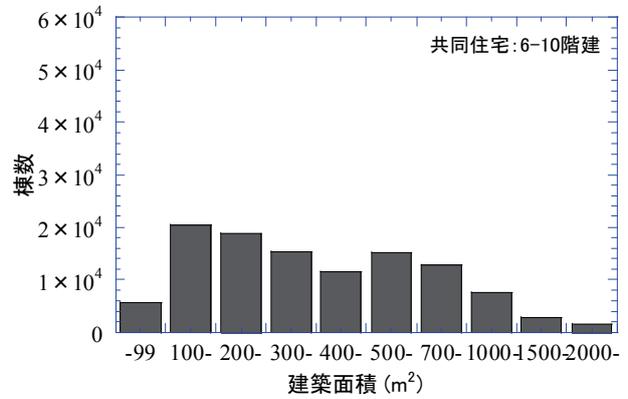
図Ⅱ-2-2 一戸建て住宅の建築面積の分布（総務省統計局（2008））



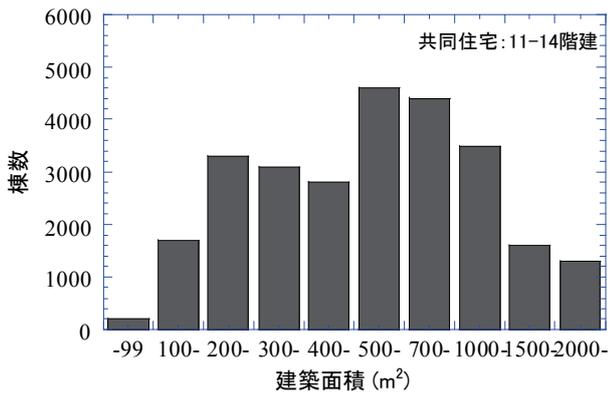
(a) 1-2 階建



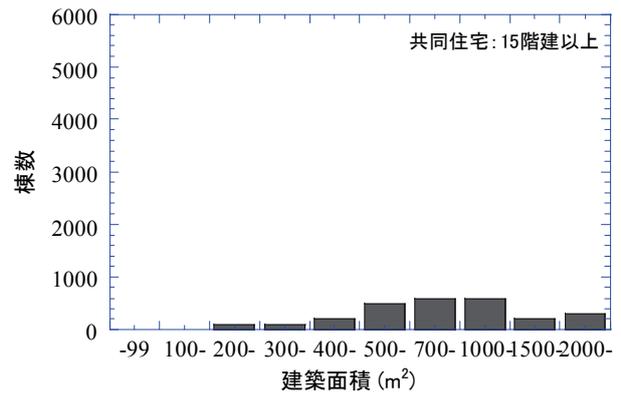
(b) 3-5 階建



(c) 6-10 階建



(d) 11-14 階建

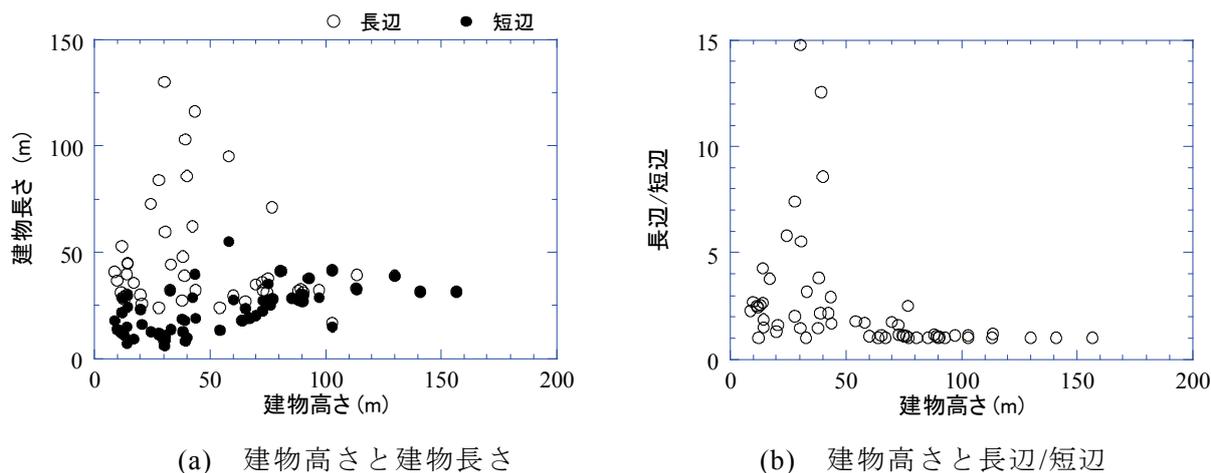


(e) 15 階建以上

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、埋め込み深さに関しては調査建物数が非常に少なくなっている。

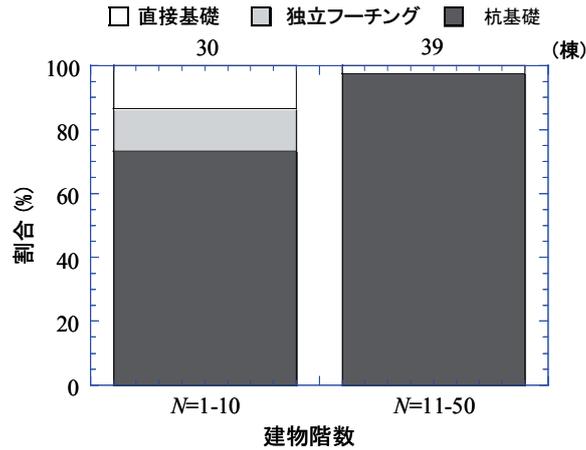


図 II-2-5 基礎形式の分布

(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))

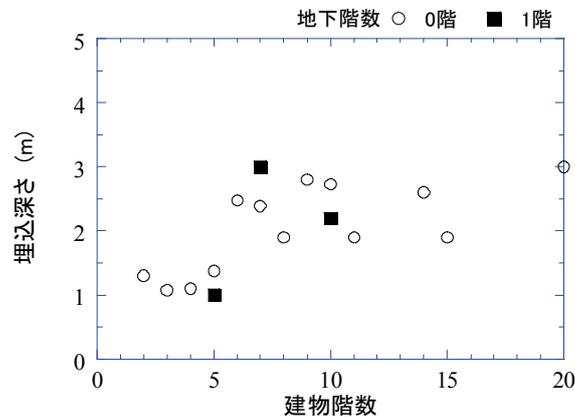


図 II-2-6 建物階数と埋込深さとの関係

(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。

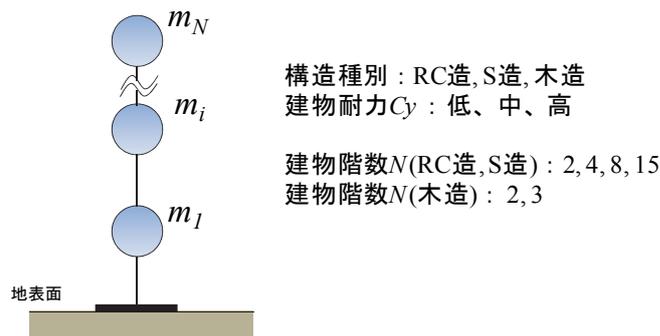
構造種別は、木造、RC造（SRC造を含む）、S造建物の3種類とし、木造は工法（在来木造、木質プレハブ造（2×4は木質プレハブ造と同一のモデルとする））、S造は軽量鉄骨造、重量鉄骨造の違いを考慮し1~3階を軽量鉄骨造、4階~20階を重量鉄骨造とする。建物階数は、木造建物では1~3階、RC造、S造建物では1~20階を想定する。

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

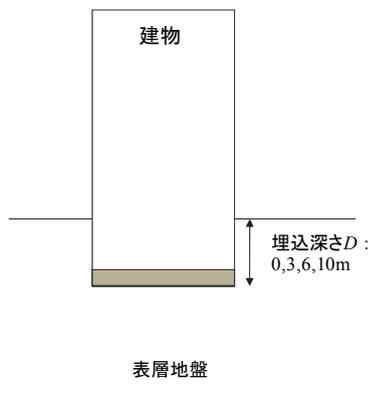
パターンを考える。

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。

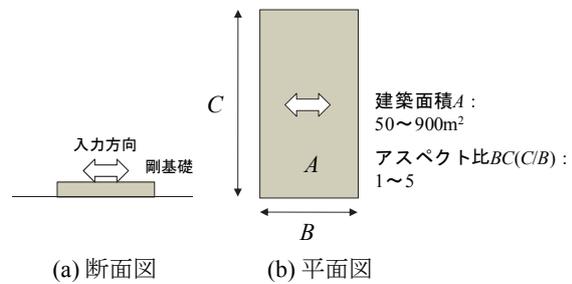
建物の基礎形式は、直接基礎形式(直接基礎と埋込基礎)、杭基礎形式(杭基礎と埋込+杭基礎)を対象とする(図II-2-10)。



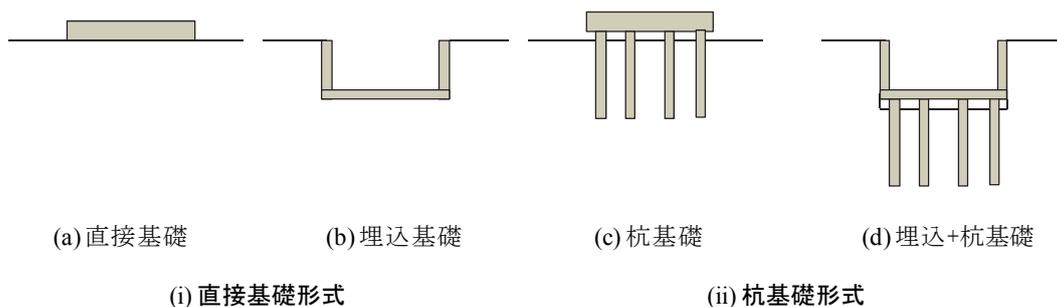
図II-2-7 構造種別、建物階数 $N$ と建物耐力 $C_y$



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)

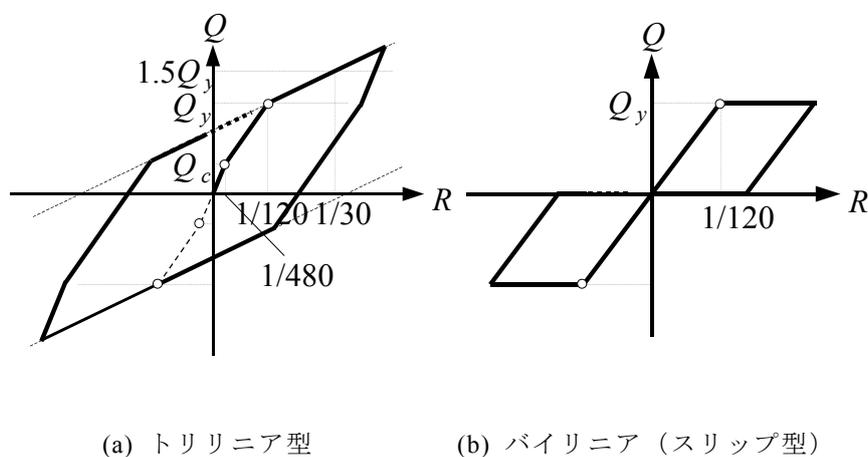
パラメータ	単位	モデル	
構造		RC造, S造	
階数	階	15	
耐力		低, 中, 高	
基礎形式		固定	直接基礎, 杭基礎
埋め込み深さ	m	—	3, 6, 10
建築面積	m <sup>2</sup>	—	400, 900
短辺長さ	m	—	建築面積と建物の長さ比から計算(9~30)
アスペクト比		—	1, 3, 5

## (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。

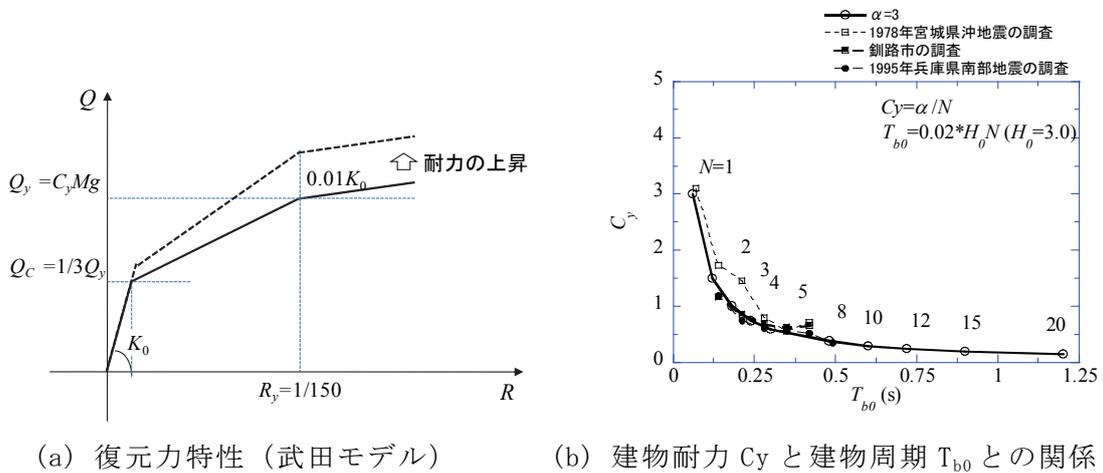


図 II-2-12 地震応答解析で用いるRC造建物の解析モデル

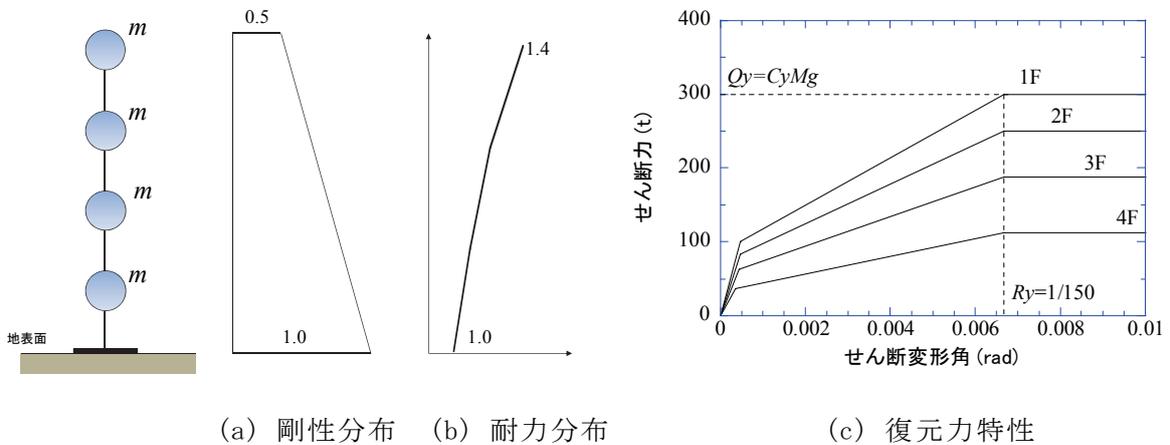


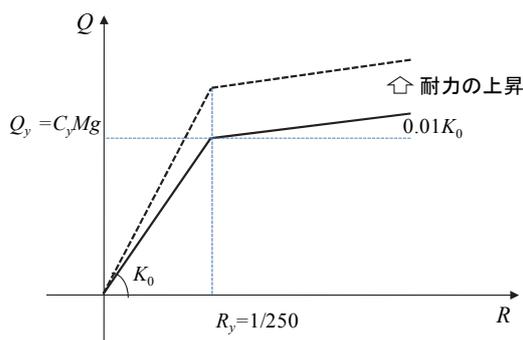
図 II-2-13 4階建RC造建物の解析モデルの概要 ( $\alpha=3$ の場合)

### ③S造建物

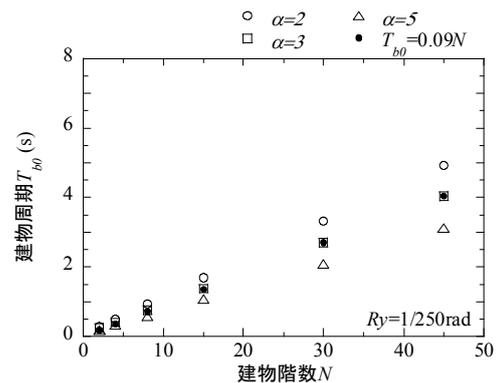
S造建物の復元力特性を図Ⅱ-2-14、建物階数  $N$  と建物周期  $T_{b0}$  との関係を図Ⅱ-2-15に示す。また、一例として、4階建S造建物の解析モデルを図Ⅱ-2-16に示す。

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

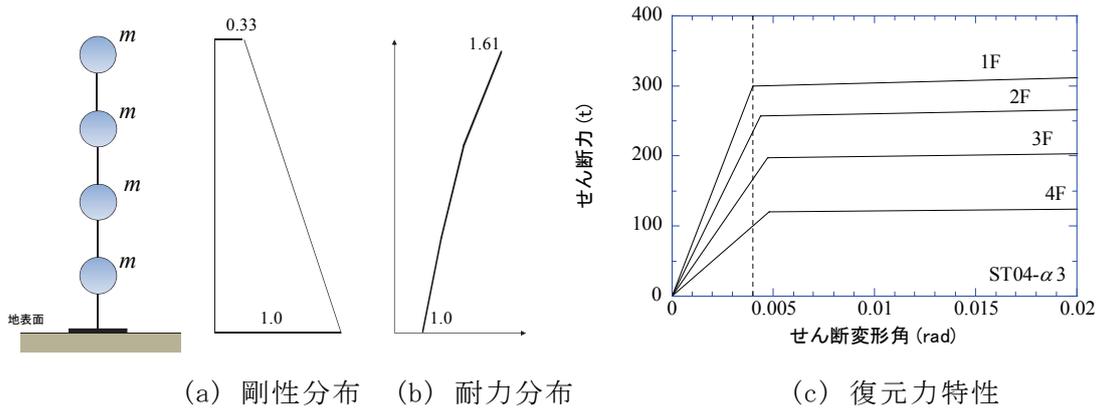


図 II-2-16 4階建S造建物の解析モデルの概要 ( $\alpha=3$ の場合)

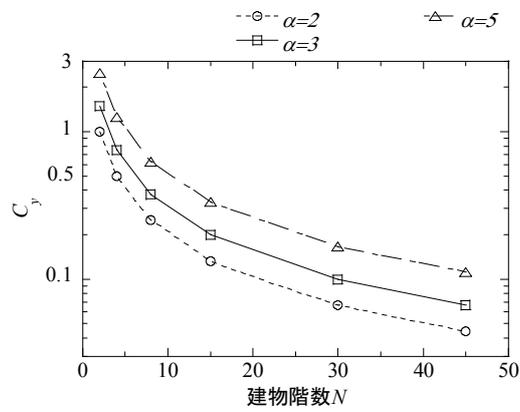


図 II-2-17 建物階数  $N$  と建物耐力  $C_y$  との関係

#### 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

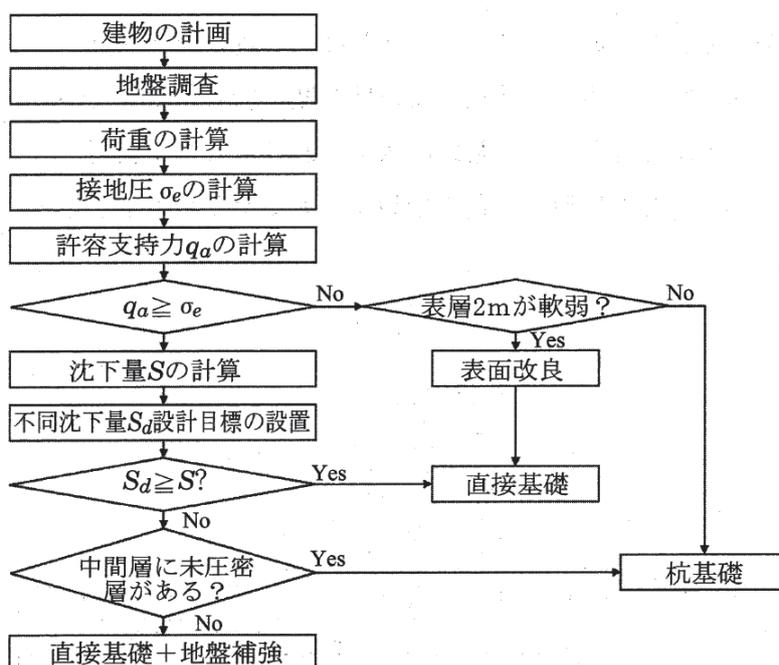
	建物耐力	建物階数			建物耐力	建物階数	
		2	3			2	3
木造 (在来)	低	0.57	0.68	木造 (木質プレ ハブ)	低	0.44	0.52
	中	0.55	0.65		中	0.41	0.49
	高	0.46	0.55		高	0.35	0.41

## (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階建てで、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

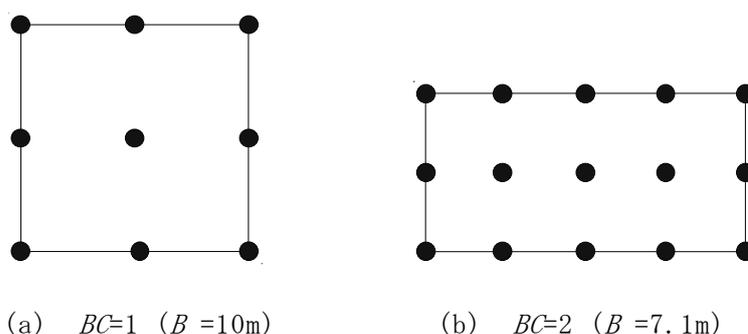


図 II-2-19 杭配置の例 (建築面積  $A=100\text{m}^2$ , 4階建)