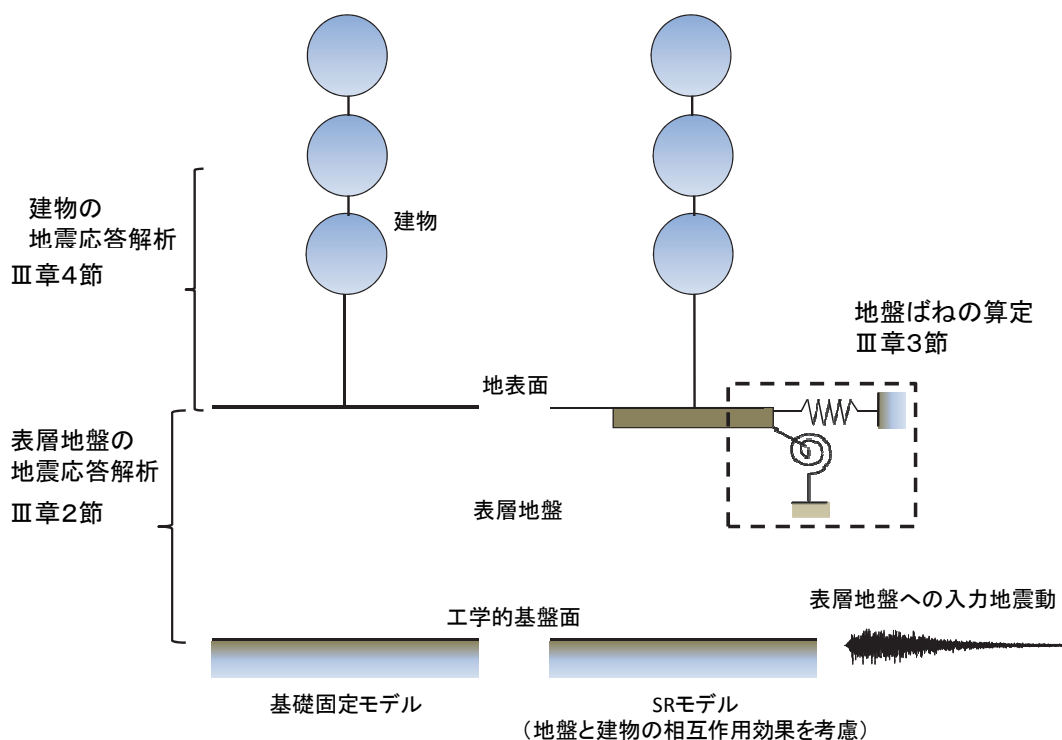


第Ⅲ章 地震応答解析による建物応答倍率の算出

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。

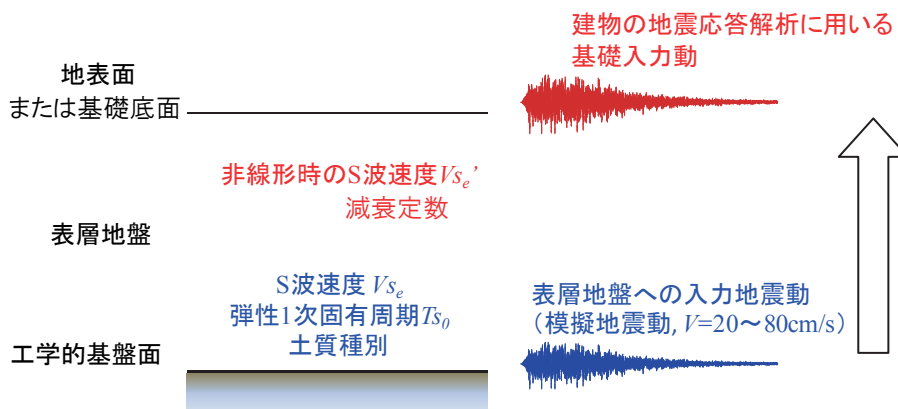
建物の地震応答解析では、算出した基礎入力動を用いて建物応答を算出する。SRモデルに関しては、建物応答の計算に地盤ばね（スウェイばね、ロッキングばね）の情報が必要になるため、それらの剛性、減衰を「地盤ばねの算定（本章第3節）」で算出する。

2. 表層地盤の地震応答解析

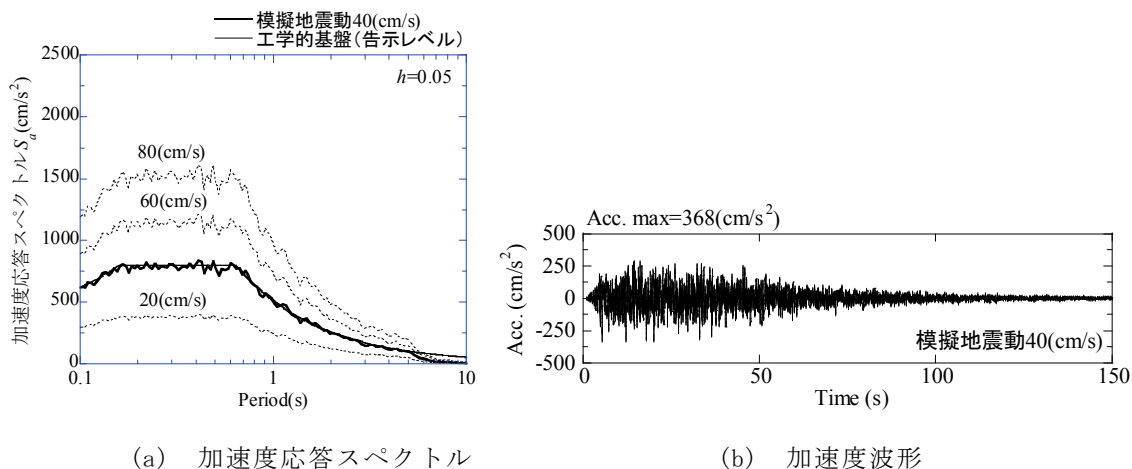
ここでは、前章で設定した132の表層地盤モデルを対象に表層地盤の地震応答解析を行い、建物の地震応答解析に用いる基礎入力動を求める。また、地盤ばねの算定に用いる地盤モデル（非線形時のS波速度と減衰定数）も同時に求める。

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 20cm/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)

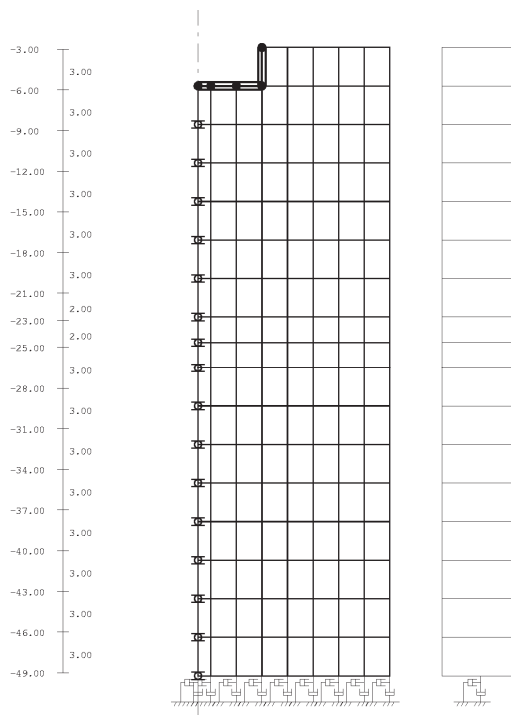


図Ⅲ-2-2 表層地盤モデルへの入力地震動として用いる模擬地震動

2-2. 表層地盤の地震応答解析の方法

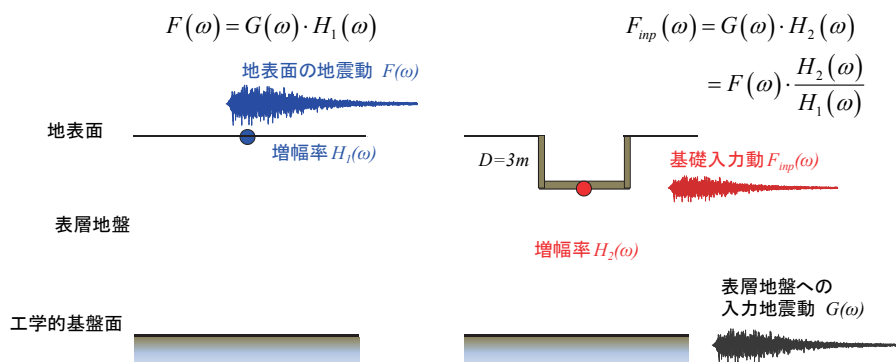
埋込がない場合には入力相互作用は生じないため、基礎入力動として地表面上の地震動を用いる。地表面上の地震動は、1次元波動論に基づく等価線形解析（SHAKE）を用いて算定する。

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。 ω 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 1300cm/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 130cm/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)。

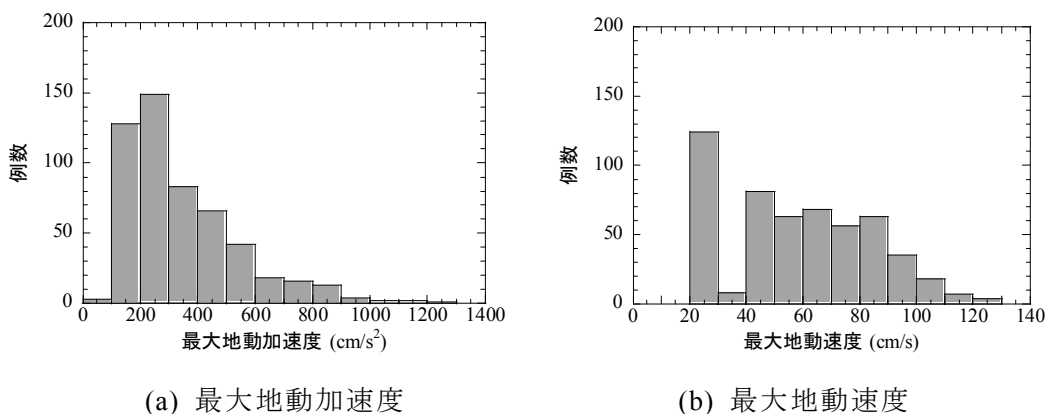


図 III-2-5 地表面上での地震動特性の分布

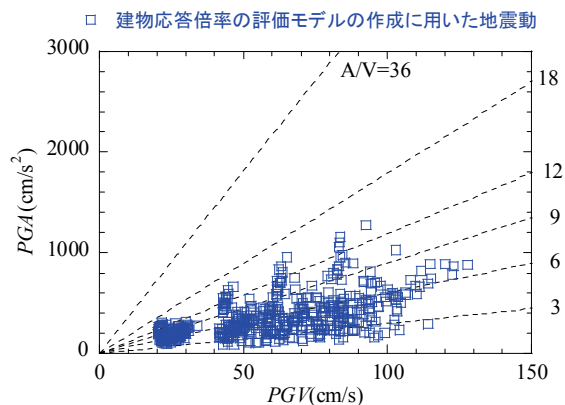
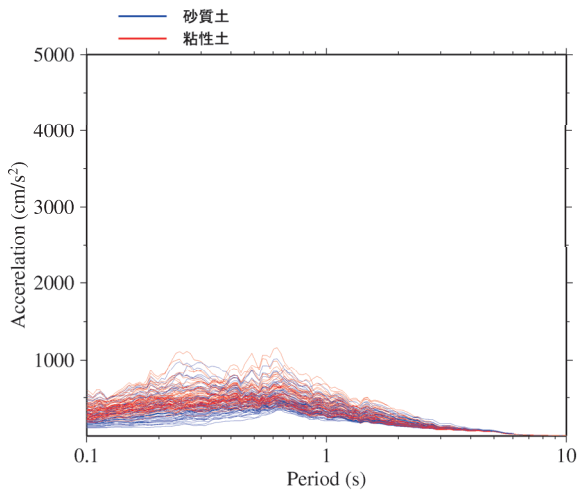
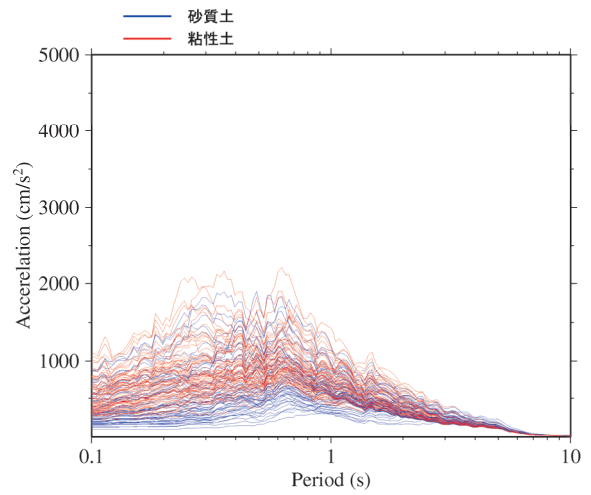


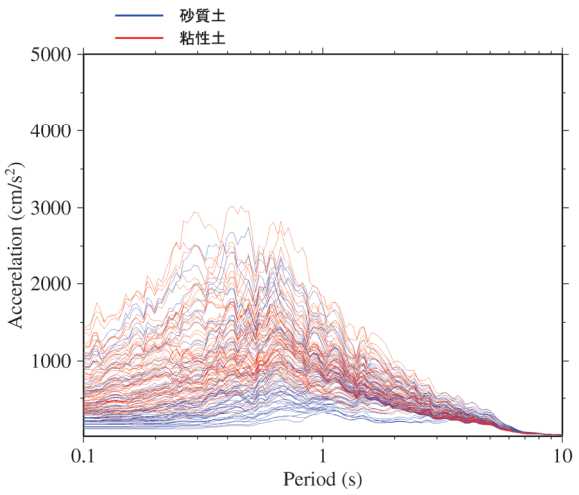
図 III-2-6 最大地動加速度 PGA と最大地動速度 PGV との関係



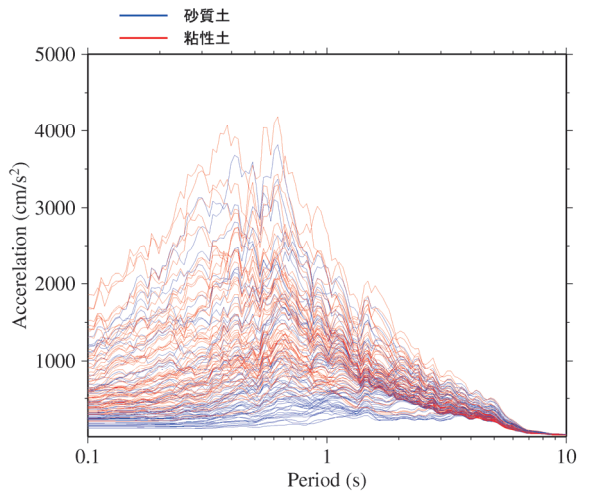
(a) 模擬地震動 20cm/s



(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 γ 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 γ (%)			
				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 γ (%)			
				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 γ (%)			
				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 γ (%)			
				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 γ (%)			
				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

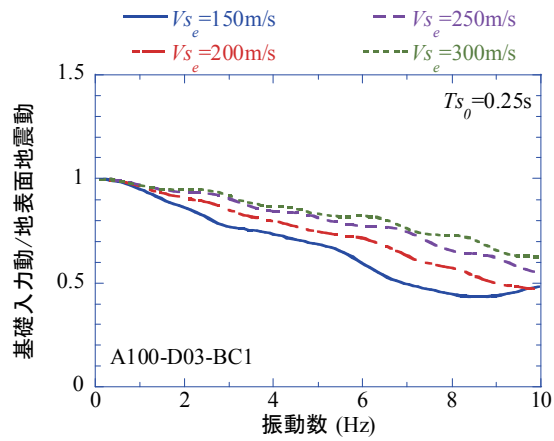
表層地盤 厚さ H_s (m)	弾性1次 固有周期 T_{s0} (s)	等価な S波速度 V_{se} (m/s)	層数	歪み γ (%)			
				V=20 cm/s	V=40 cm/s	V=60 cm/s	V=80 cm/s
9.4	0.25	150	4	0.04	0.12	0.30	0.63
18.8	0.50			0.11	0.36	0.84	1.47
28.1	0.75			0.17	0.49	1.65	5.28
37.5	1.00			0.16	1.19	2.54	3.44
46.9	1.25			0.26	1.07	1.43	4.29
56.3	1.50			0.26	0.77	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

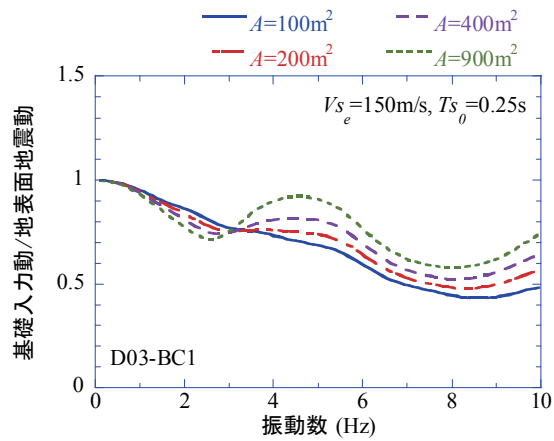
地表面上での地震動（加速度波形）に対する基礎入力動の振幅比（図Ⅲ-2-4の $H_2(\omega)/H_1(\omega)$ の実部）を、表層地盤の等価S波速度 V_{se} 、建物モデルの建築面積 A 、埋込深さ D の違いにより分けて図Ⅲ-2-8に示す。なお、これら以外のパラメータによる影響は極めて小さかった。解析ケースは記号で表しており、例えばA100-D00-BC1とは、建築面積 $A=100\text{m}^2$ 、埋込深さ $D=0\text{m}$ 、アスペクト比 $BC=1$ のケースを意味する。

図から、次のことがわかる。

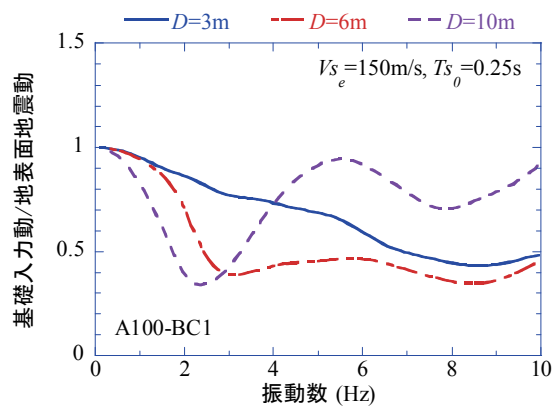
- ・ 表層地盤の等価S波速度 V_{se} による違いについて、 V_{se} が大きくなるに従い入力損失効果や小さくなる。すなわち、軟らかい地盤のほうが入力損失が起きやすい（図Ⅲ-2-8(a)）。これは、S波速度が大きくなる事によって、波長が長くなる事が影響していると考えられる。波長が長くなると、建物が波と一体となって揺れるため、入力損失が起こりにくくなると考えられる。
- ・ 建築面積 A に関しては、建築面積が大きくなるに従い、低振動数側（長周期側）での入力損失効果が大きくなり、逆に高振動数側（短周期側）での入力損失効果が小さくなる（図Ⅲ-2-8(b)）。建築面積が大きくなると基礎幅も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

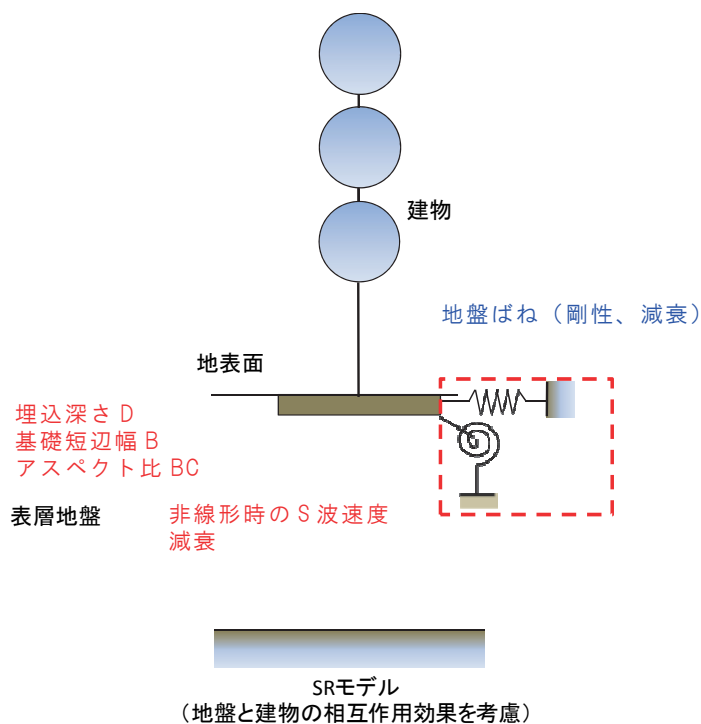
図Ⅲ-2-8 地表面地震動に対する基礎入力動の割合

3. 地盤ばねの算定

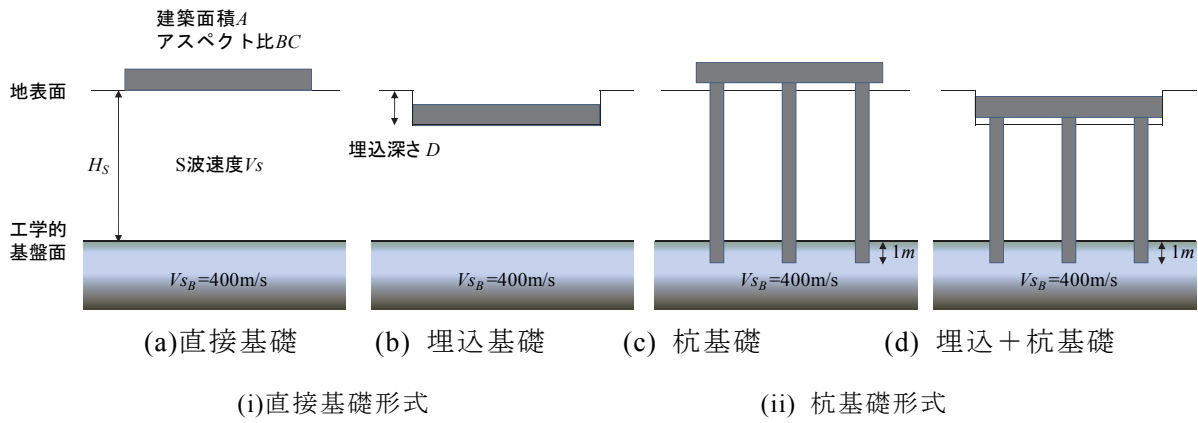
表層地盤の地震応答解析により算定された表層地盤の非線形時のS波速度・減衰定数と建物の基礎形式・基礎形状から、SRモデルの地震応答解析に利用する地盤ばね（スウェイばね・ロッキングばね）の剛性および減衰定数を算定する。

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)

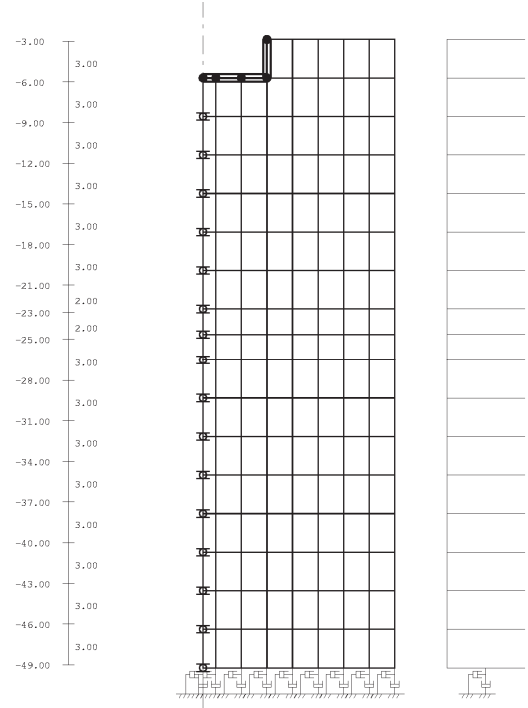


図Ⅲ-3-2 基礎形式の概要（再掲）

3-2. 地盤ばねの算定方法

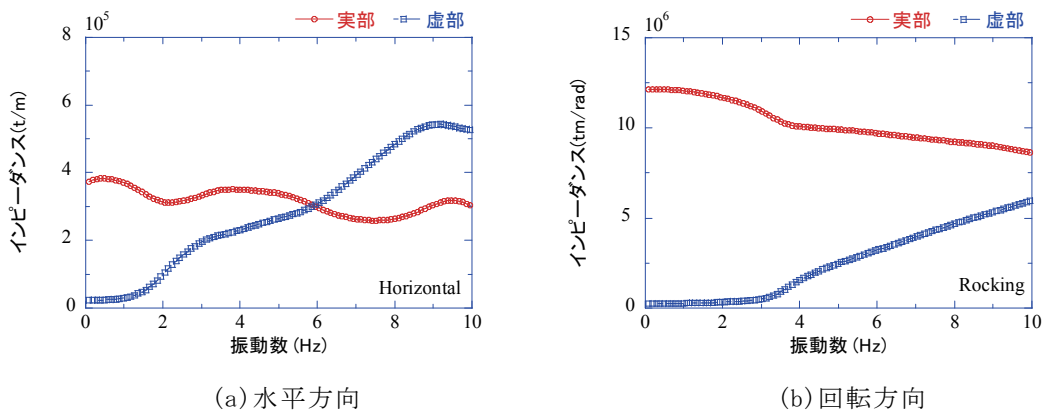
(1) 直接基礎形式

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)

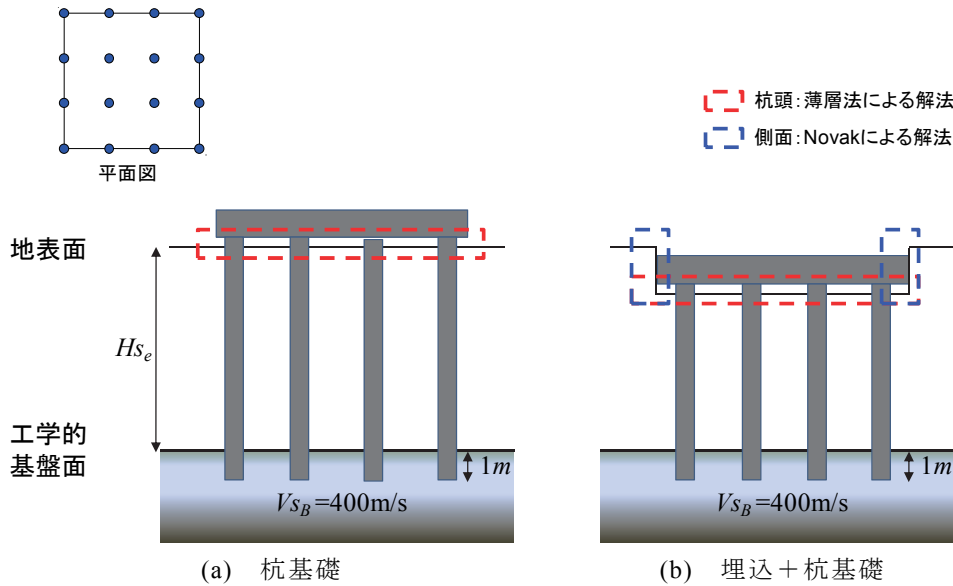
なお、低振動数側での剛性が過小評価にならないように、剛基礎の半幅の5倍程度の深さまで地盤をモデル化する。建物の地震応答解析を行う建物モデルの固有周期を考慮し、10Hzまで動的地盤ばねを算定する。一例として、同モデルの地盤ばねの水平、回転成分を図III-3-4に示す。



図III-3-4 動的地盤ばねの一例

(2) 杭基礎形式

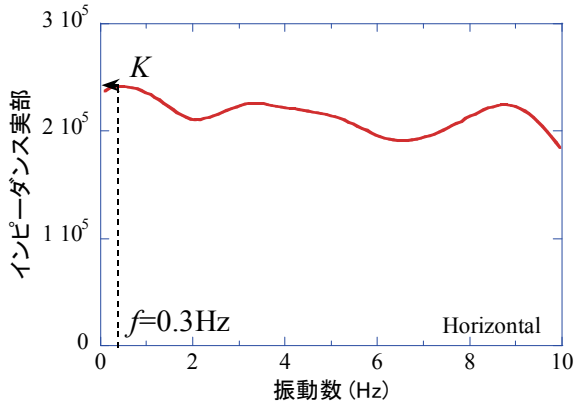
杭基礎形式の地盤ばねを算定するための解析モデルを図Ⅲ-3-5に示す。杭基礎形式の地盤ばねの算定では、薄層法を用いた2本杭の杭頭柔性を利用した近似解法（長谷川・木村（1997））を用い、杭頭位置での群杭地盤ばね（杭基礎全体の地盤ばね）を算定する。埋込+杭基礎の場合には、埋込部分の側方地盤による地盤ばねをNovakの方法(Novak, M. (1978))により算定し、杭基礎の地盤ばねに付加する。



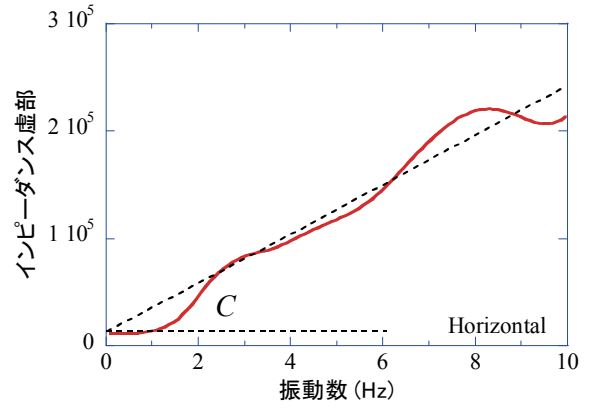
図Ⅲ-3-5 杭基礎形式の地盤ばねの算定モデル

(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 $C=2h\omega$ （ ω :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

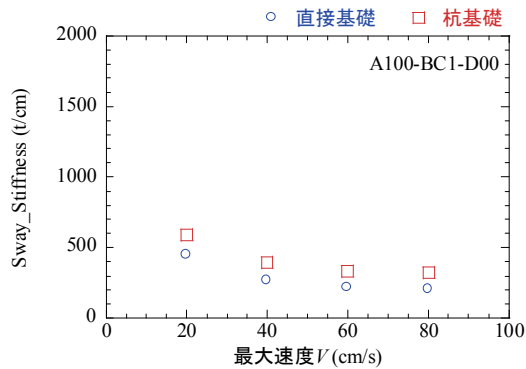
3-3. 地盤ばねの算定結果

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。

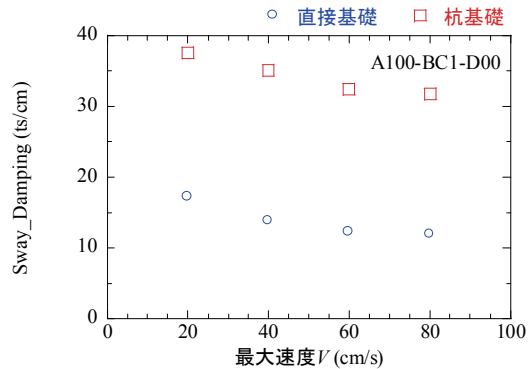
(1) 基礎形式による違い

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。

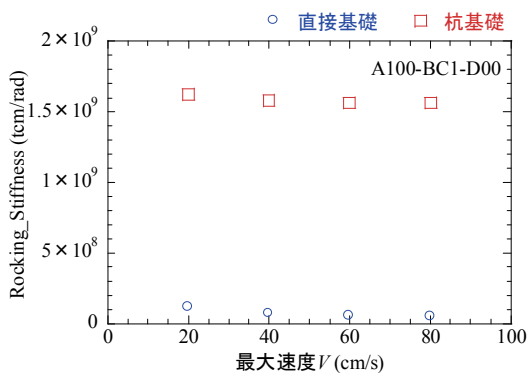
- ・地盤ばねの剛性、減衰定数は、水平・回転の成分によらず杭基礎のほうが大きい、回転成分で顕著である。杭基礎の場合には建物のロッキング挙動に対する影響が大きくなると考えられる。



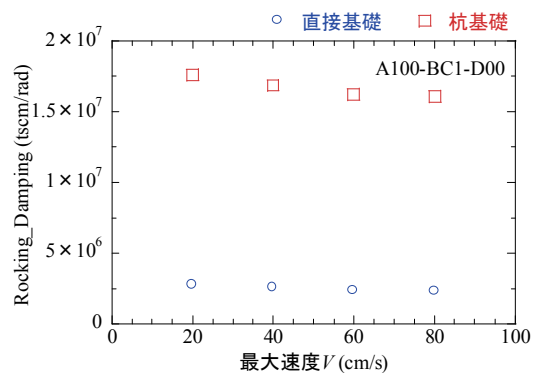
(a) 剛性 (水平成分)



(b) 減衰定数 (水平成分)



(c) 剛性 (回転成分)



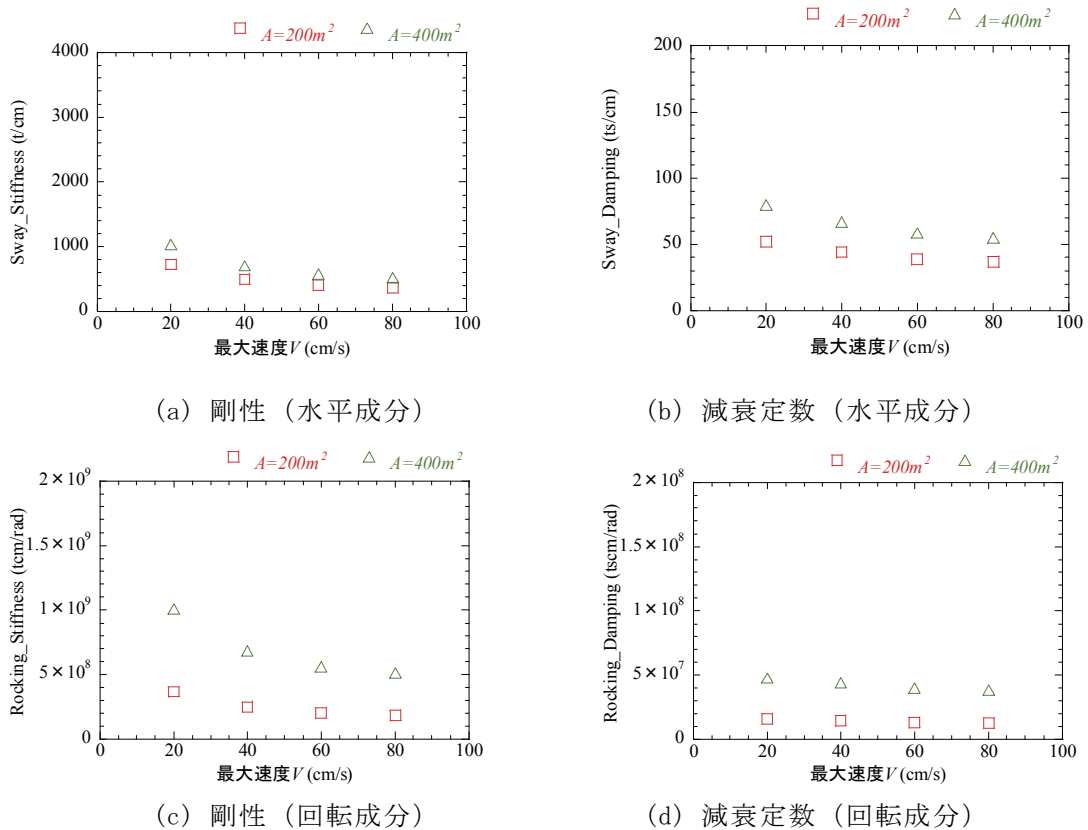
(d) 減衰定数 (回転成分)

図III-3-7 基礎形式(直接基礎と杭基礎)の影響

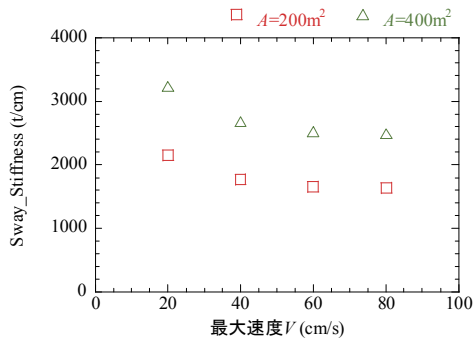
(2) 建築面積による違い

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。

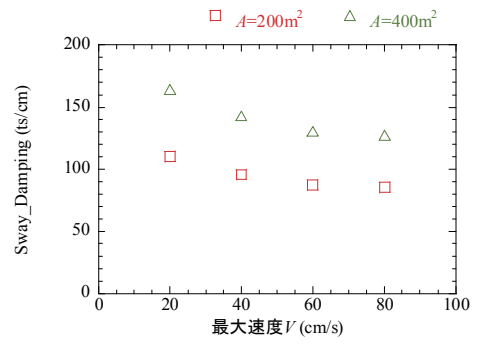
- ・基礎形式に関わらず、建築面積が増加するに従い、地盤ばねの剛性、減衰ともに増大する。しかし、杭基礎形式の場合には、建築面積がA=200、400m²と増加するに従い、杭本数も16、25本と増加するため、建築面積の増加の割合が同じ場合でも、直接基礎よりも杭基礎形式での変化が大きい。
- ・いずれの解析結果でも、表層地盤への入力地震動の最大速度が大きくなるに従い、地盤ばねの剛性、減衰定数は減少しているが、これは、表層地盤への入力地震動の最大速度が大きくなるに従い、表層地盤が非線形化して、表層地盤のS波速度が低下するため、地盤ばねの剛性、減衰定数が減少するためである。この影響は、回転成分よりも水平成分で大きくなっている。



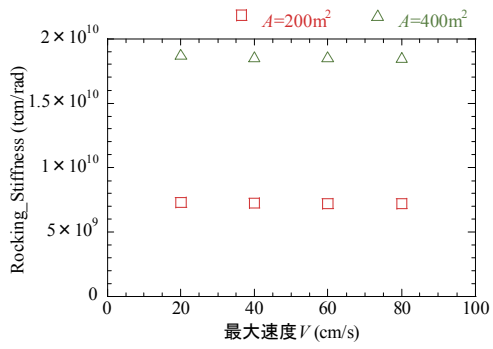
図Ⅲ-3-8 建築面積Aの影響(直接基礎形式)



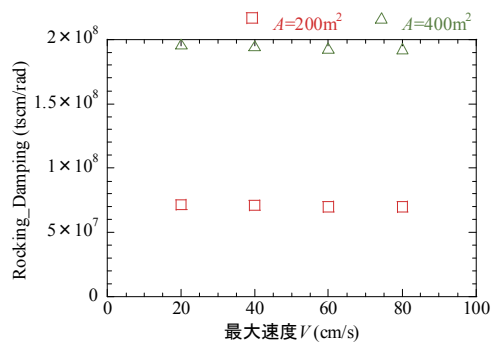
(a) 剛性 (水平成分)



(b) 減衰定数 (水平成分)



(c) 剛性 (回轉成分)



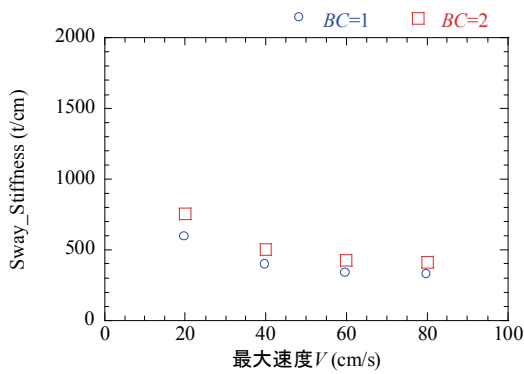
(d) 減衰定数 (回轉成分)

図 III-3-9 建築面積 A の影響 (杭基礎形式)

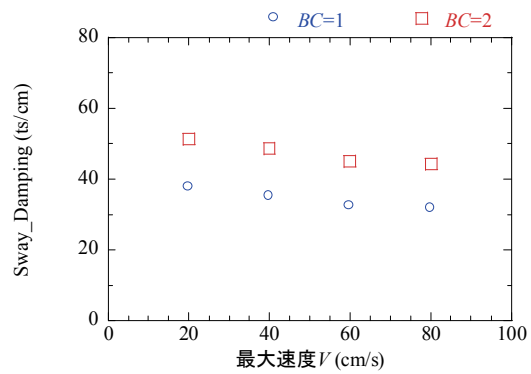
(3) アスペクト比による違い

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。

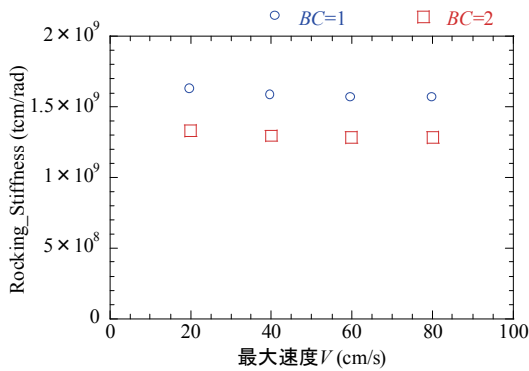
- 杭基礎形式の地盤ばねの剛性と減衰定数は、水平成分ではアスペクト比BC=2の方が大きくなるのに対し、回転成分ではBC=1の方が大きくなる。そのため、地盤ばねの剛性、減衰定数は、加振方向と接する面積が大きくなる成分で大きくなっており、アスペクト比が杭基礎の地盤ばねに及ぼす影響は、作用する成分によって変化する。この傾向は、直接基礎形式の場合でも同様に見られている。



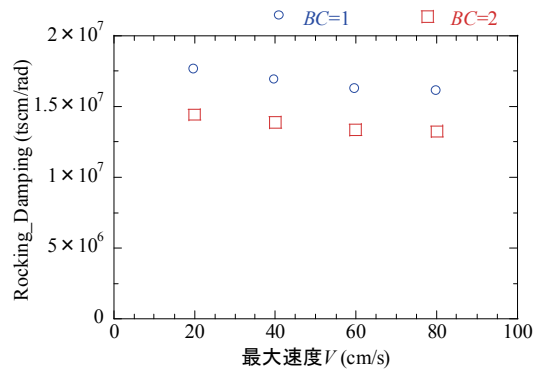
(a) 剛性 (水平成分)



(b) 減衰定数 (水平成分)



(c) 剛性 (回転成分)



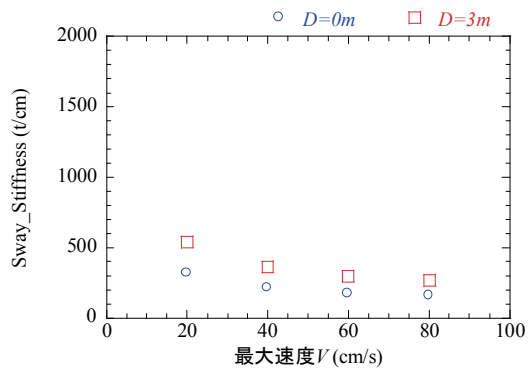
(d) 減衰定数 (回転成分)

図Ⅲ-3-10 アスペクト比BCの影響

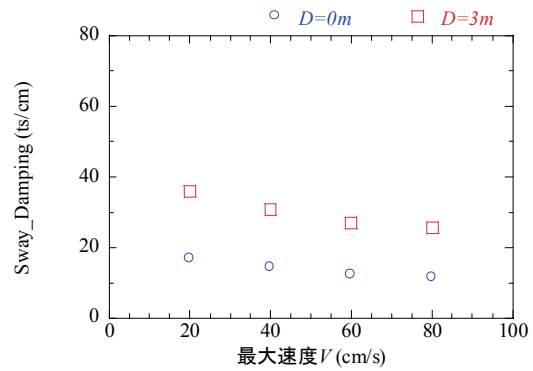
(4) 埋込深さによる違い

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。

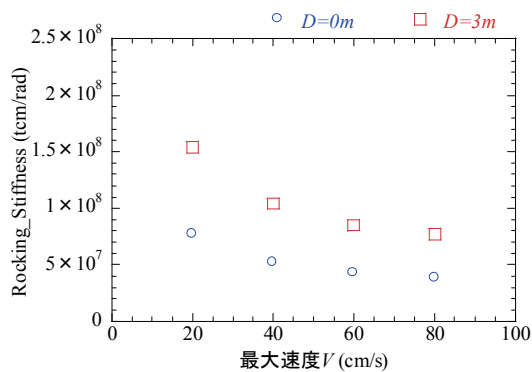
- ・基礎形式に関わらず、埋込深さがある場合には、地盤ばねの剛性、減衰ともに増大している。直接基礎形式の場合、埋込が生じる事で、側面からの拘束が増える事によって、地盤ばねの剛性、減衰は増大する。
- ・杭基礎形式の場合、基礎側面の影響の他に、基礎底面が深くなった結果杭長さが短くなり、杭の曲げ剛性が增加する事によって、地盤ばねの剛性と減衰定数は増大している。



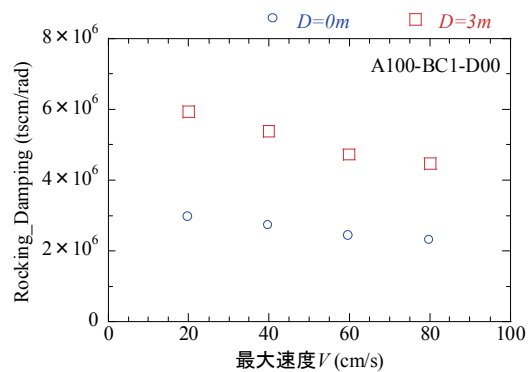
(a) 剛性 (水平成分)



(b) 減衰定数 (水平成分)

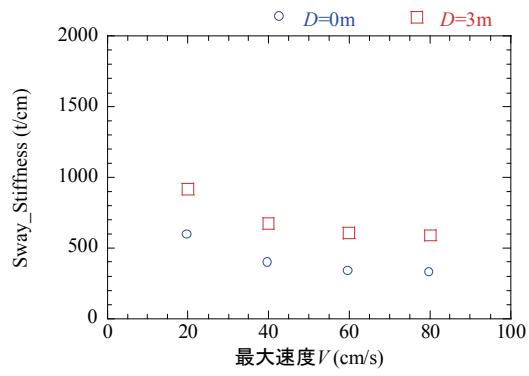


(c) 剛性 (回転成分)

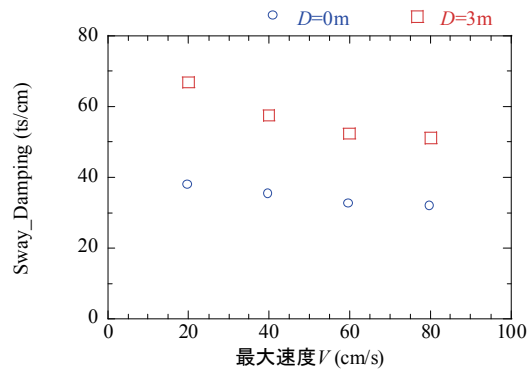


(d) 減衰定数 (回転成分)

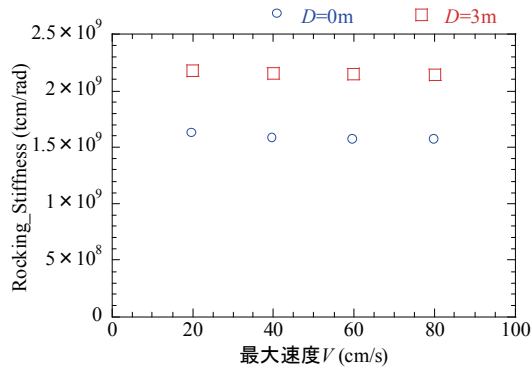
図Ⅲ-3-11 埋込深さD (直接基礎と埋込+直接基礎) の影響



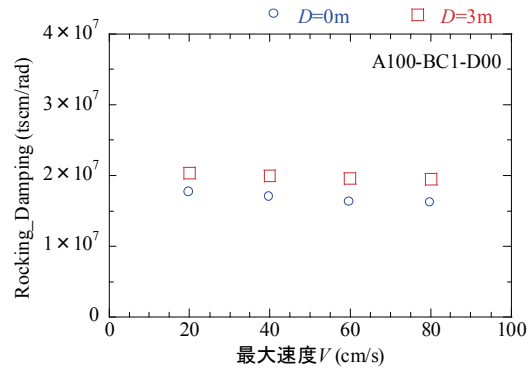
(a) 剛性（水平成分）



(b) 減衰定数（水平成分）



(c) 剛性（回転成分）



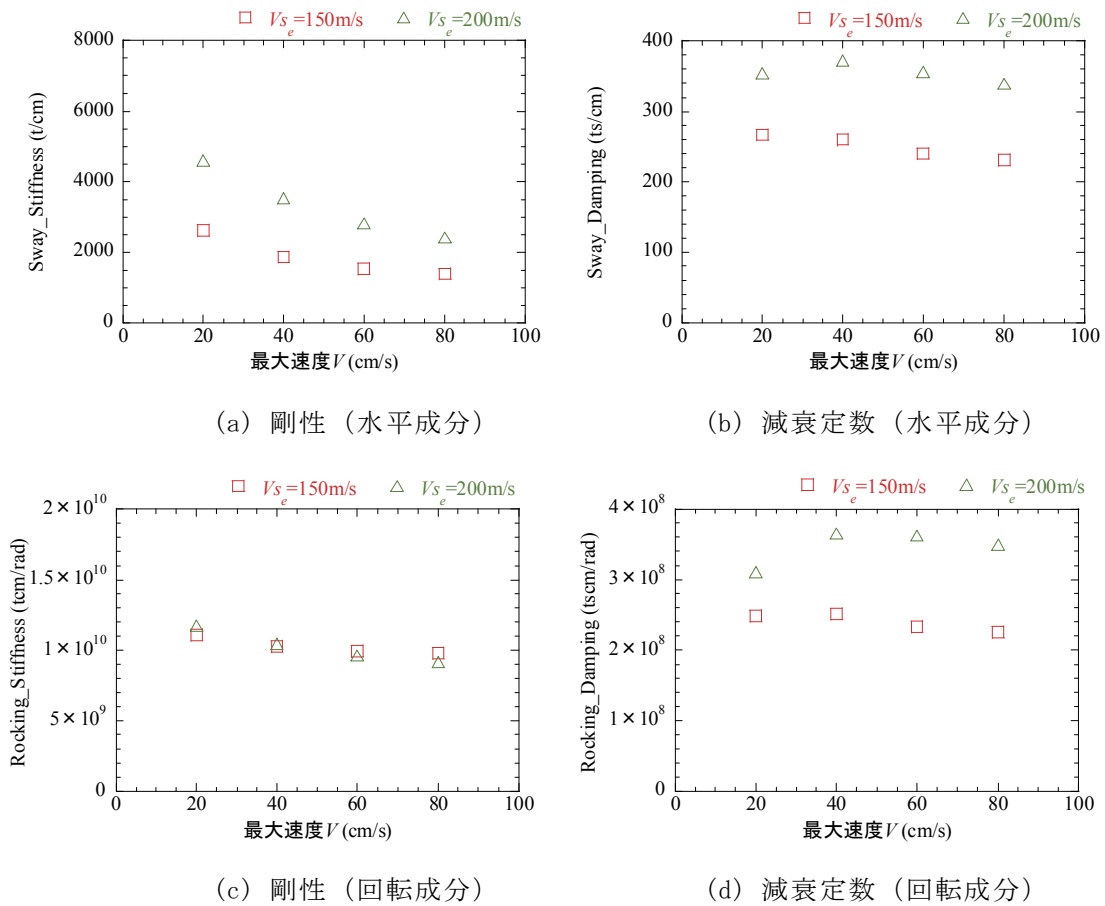
(d) 減衰定数（回転成分）

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。

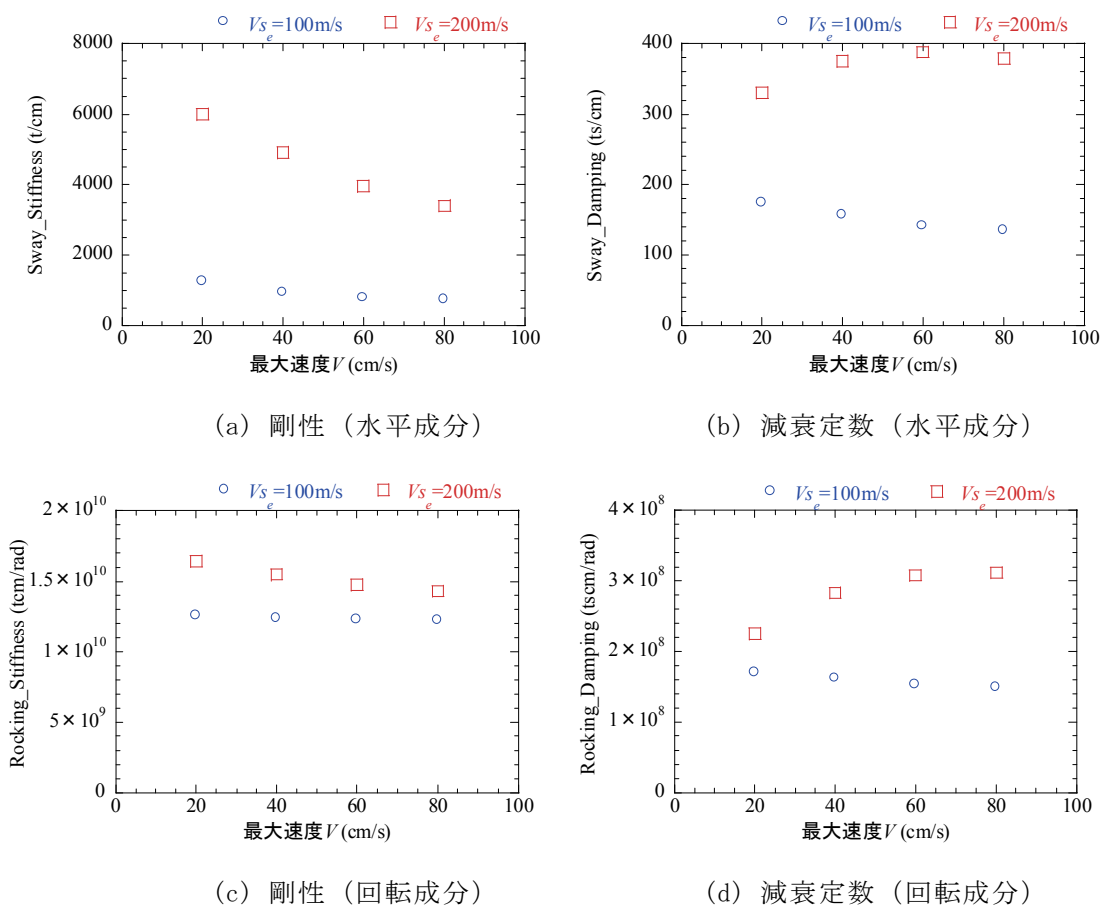
- ・表層地盤のS波速度が大きくなるに従い、回転成分の剛性以外では、地盤ばねの剛性、減衰定数が増加している。表層地盤の弾性1次固有周期を $T_{s0}=0.5$ と一定にしているため、表層地盤のS波速度が大きくなるに従い、表層地盤厚さも大きくなる。そのため、表層地盤のS波速度が増加しても、それに伴って杭長さが長くなり、杭剛性が低下する事が影響していると思われる。
- ・直接基礎形式の場合には、方向に関わらず、表層地盤のS波速度が大きくなるに従い、地盤ばねの剛性、減衰定数が増加している。



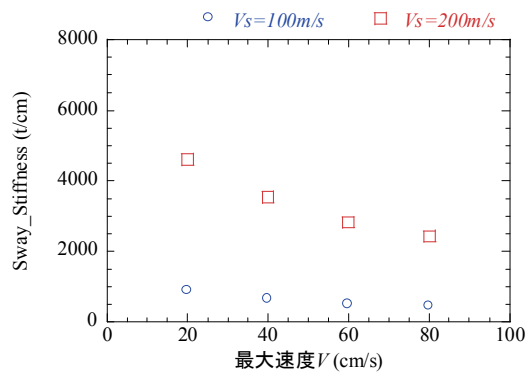
図Ⅲ-3-13 表層地盤のS波速度 V_{se} の影響

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。

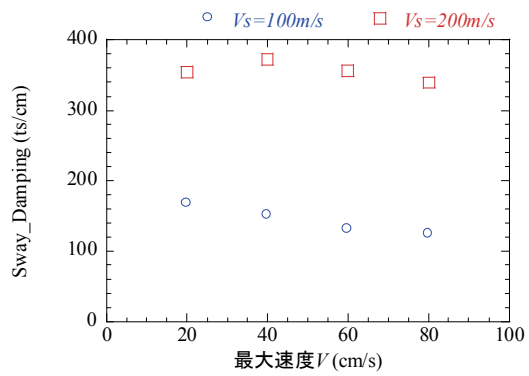
- ・この場合、杭剛性は同じ条件となり、表層地盤のS波速度の違いだけが、地盤ばねの剛性、減衰定数に表れてくる。そのため、表層地盤のS波速度が大きくなるに従い、回転成分の剛性も含めて増大している。
- ・ただし、 $V_{se}=200\text{m/s}$ の地盤では、杭長さが短い場合（12.5m）では、入力地震動の最大速度が上がると減衰定数が増大しているのに対し、杭長さが長い場合（25.0m）では、入力地震動の最大速度が上がると減衰定数が減少している。そのため、杭長さによって、地盤ばねの減衰定数の変化は異なっている。



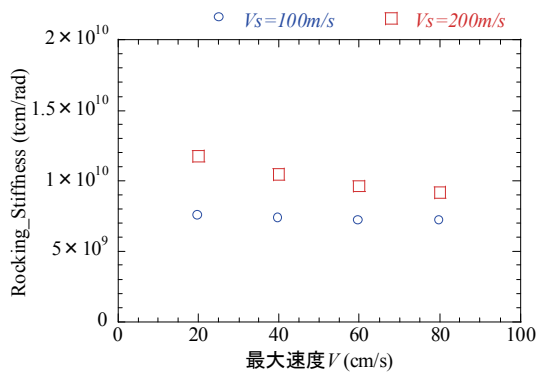
図Ⅲ-3-14 表層地盤のS波速度 V_{se} （杭長さが同じ場合：杭長さ12.5m）の影響



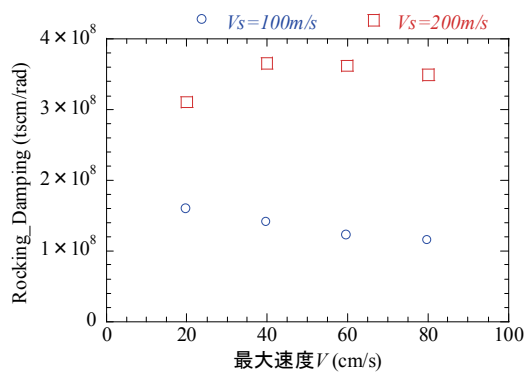
(a) 剛性 (水平成分)



(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。

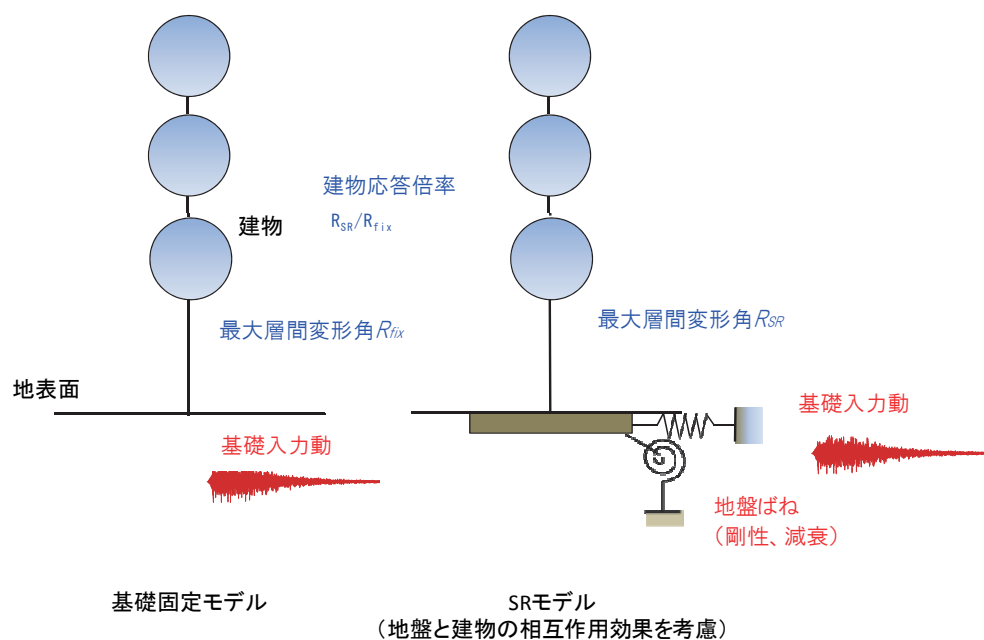


図 III-4-1 建物の地震応答解析の概要
(入力パラメータ : 赤 出力パラメータ : 青)