

8. 2次元 FEM によるシミュレーション解析

8.1 解析モデルと材料定数

建物・地盤において、2次元 FEM による弾性範囲のシミュレーション解析を実施した。解析は B 棟の短辺方向及び長辺方向について実施した。解析モデルは図 8.1 に示すとおりで、地盤は GL-41.5m までをモデル化した。上部構造の質点間は曲げせん断要素で連結し、杭は梁要素、基礎梁は剛体梁とした。基礎部は質量を各節点に振り分けることによりロッキングを考慮した。また、各ケースにおいては、基礎固定時に相当する条件として、十分剛な地盤を想定した解析も実施した。解析は下方入力による鉛直伝播を対象とした。

構造計算書及び設計図書が存在しないことから、部材などの材料・モデル定数については、以下のよう設定した。

2次元 FEM 解析であるため、建物・地盤について建物奥行き幅の質量及び剛性を合計し、建物奥行き単位幅における値を算定した。杭については、各フーチング単位で軸剛性(EA)と曲げ剛性(EI)を算定し、すべてのフーチングの合計値から建物奥行き単位幅の値を算定している。

屋上階、一般階、基礎部の単位床面積当たりの質量を、それぞれ 0.6, 1.2, 4.0 ton と設定した。曲げせん断要素のせん断剛性と曲げ剛性は、各階すべて同一とし、微動測定結果から得られた基礎固定系 1 次卓越振動数と等しくなる建物の定数を求めた、上部構造及び杭の断面積と断面 2 次モーメントなどを、表 8.1 に示す。

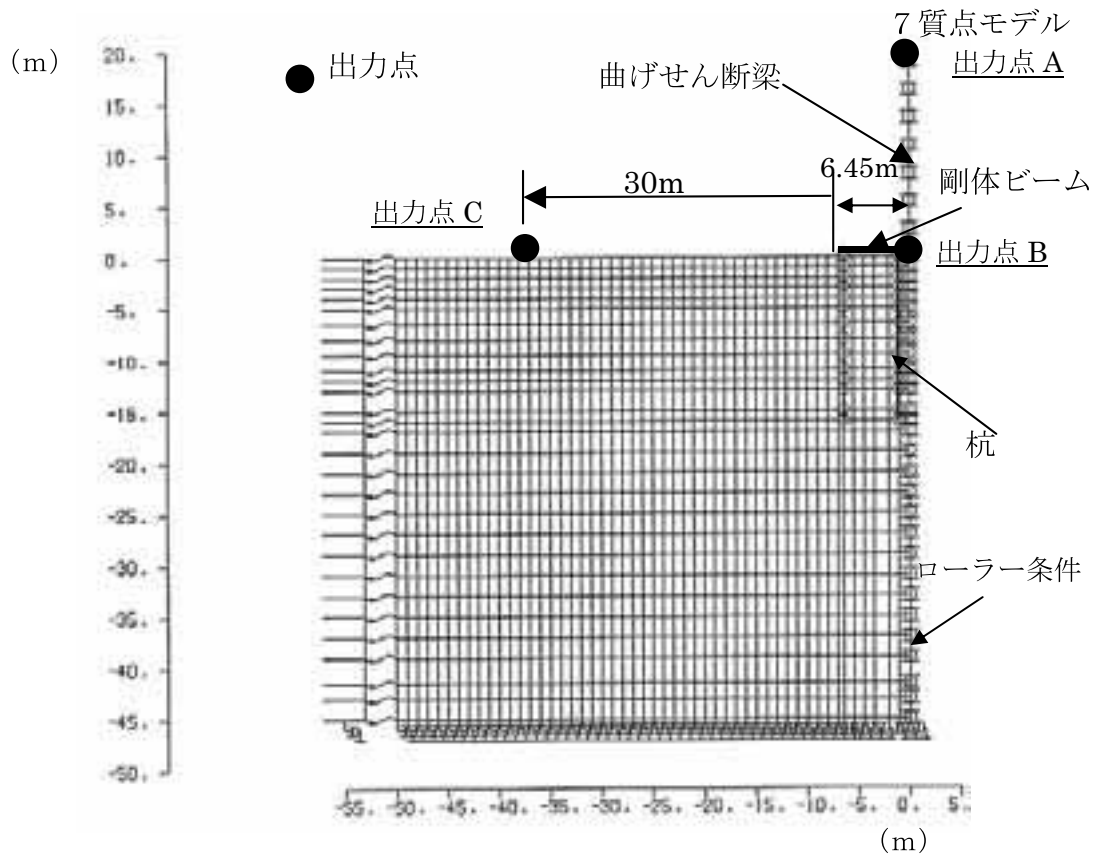
図 2.3 に示す地盤条件と近傍地盤の Vs を参考とし、表 8.2 に示す地盤定数を設定した。なお減衰定数は地盤が 3%、建物が 3%一定とした。

表 8.1 柱剛性と杭剛性

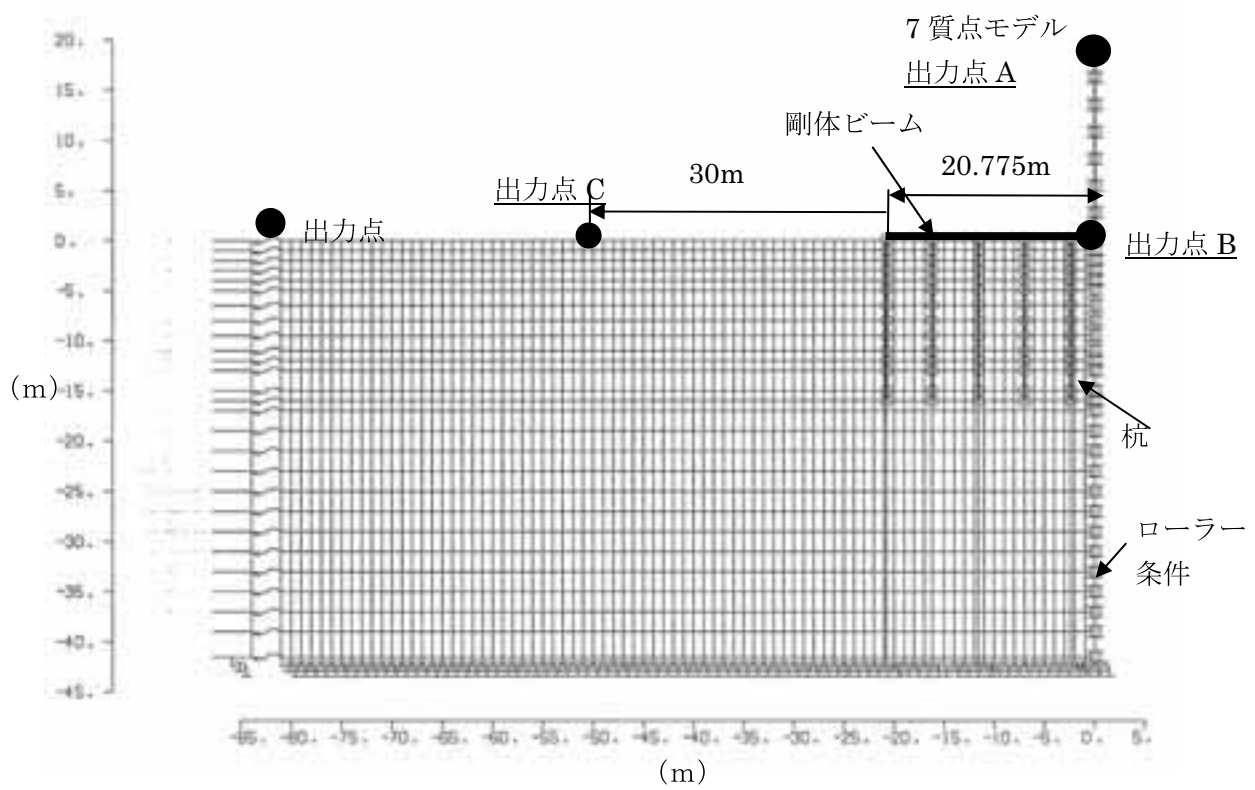
項目	短辺方向		長辺方向	
	柱	杭	柱	杭
断面2次モーメント(m ⁴ /m)	5.0	0.0239	13.0	0.0308
せん断断面(m ² /m)	0.104	0.0926	0.296	0.119
ヤング係数(kN/m ²)	3.15*10 ⁷	3.15*10 ⁷	3.15*10 ⁷	3.15*10 ⁷
ポアソン比	0.2	0.2	0.2	0.2

表 8.2 地盤定数

深さ(m)	S波速度(m/s)	単位体積質量(ton/m ³)	ポアソン比
6.5	150	1.35	0.48
13	260	1.75	0.48
29	330	1.75	0.48
41.5	310	1.55	0.48
-	430	1.80	-



(a) 短辺方向



(b) 長辺方向

図 8.1 解析モデル

8.2 解析結果

深さ 41.5m を入力面とした時の表層地盤伝達関数の振幅特性を図 8.2 に示す。1 次卓越振動数は約 2Hz、2 次卓越振動数は約 5Hz となっている。図 8.3 に、1 次卓越振動数と 2 次卓越振動数について、入力位置を解放面とした場合の入力位置の振幅に対する各深さでの振幅比をプロットして示す。

図 8.4 に、短辺方向における、基礎固定系の建物の伝達関数 (B)、1 階床に対する建物頂部の伝達関数 (RB)、および 30m 離れた地表面に対する建物頂部の伝達関数 (SRB) を示す。各方向の卓越振動数について、常時微動測定と比較した結果を表 8.3 に示す。FEM 解析と常時微動測定により得られた卓越振動数はよく対応している。

ハーフパワー法により、各伝達関数から減衰定数を求めると、伝達関数 B, RB, SRB でそれぞれ 3.0, 4.9, 6.6% となり、基礎固定における建物の 3% の減衰定数が、スウェイ・ロッキングが含まれた相互作用系では 6.6% と増大しており、相互作用系では、増幅率が減少する特性を示している。一方、図 4.3 に示す B 棟の伝達関数においては、卓越振動数における増幅率は、伝達関数 B, RB, SRB の順に大きくなっている。ハーフパワー法により、それらの伝達関数から減衰定数を求めると、伝達関数 B, RB, SRB で、7.63、9.14、5.37% となり、解析結果とは相反する結果が得られた。

既往の研究^{1),2)}においても、常時微動測定結果から求めた建物の伝達関数では、連成系の振幅に比べて基礎固定時の振幅が小さくなる結果が得られている。文献 1 では、種々の外乱での建物の基礎固定時特性の検討が行われており、起振機実験(建物上部加振)の場合には、基礎固定時の特性が精度良く求められている。常時微動ように建物外部からの入力の場合には、建物応答に基礎固定時の振動数成分が卓越していない、すなわち連成系の振動モードで揺れているため、基礎固定時の特性が検出されにくいことが考えられる。また、文献 3 には、建物下部からの入力により、建物が応答している場合には、基礎固定時の伝達関数が精度良く求まるが、他の入力が含まれると、基礎固定時の伝達関数が大きく乱され、振幅がかなり小さくなることも指摘されている。建物応答に及ぼす入力には、交通振動や風振動が影響していると同時に、建物への入力も一様でない。

微動測定結果を詳細に検討してみると、以下のようにになっている。図 4.3 において、伝達関数の位相の遅れを正として描いてあるが、卓越振動数付近では、短辺方向の伝達関数 B, SRB (長辺方向の伝達関数 B にも同様の結果) において、位相が進んだ結果となっている。伝達関数 SRB における 80s 間のそれぞれの伝達関数を調べてみると、位相が遅れている場合と進んでいる場合が同程度見られ、地表面のある 1 点の振動と建物頂部の振動は、常に一定の位相関係とはなっていない。平均化した伝達関数には、位相の遅れ、または進みの優勢な方が現れることになる。伝達関数 RB においては、位相の遅れを示す場合が多いことから、建物 1 階への入力により、建物頂部が振動している位相特性となったと考えることができる。

一方、図 8.5 に、長辺方向における、基礎固定系の建物の伝達関数 (B)、1 階床に対する建物頂部の伝達関数 (RB)、および 30m 離れた地表面に対する建物頂部の伝達関数 (SRB) を示す。長辺方向においても、卓越振動数は良い対応を示すが、振幅については、短辺方向と同様な傾向が見られるが、短辺方向ほどの差はないと言える。

変位分布について解析値と測定値を比較して表 8.4 に示す。短辺方向では、解析値のロッキング成分の方がやや小さいが、全体的には良く対応している。長辺方向では、ロッキング成分は解析値が測定値の 1/2 程度となり、ロッキング変形が小さい結果となった。

表 8.3 解析と常時微動測定における卓越振動数の比較

	振動数(Hz)			
	短辺方向		長辺方向	
	解析	計測	解析	計測
伝達関数B	4.03 (0.97)*	4.14	3.74 (1.12)	3.35
伝達関数RB	3.39 (1.03)	3.25	3.41 (1.02)	3.33
伝達関数SRB	2.84 (0.99)	2.87	2.61 (0.99)	2.63

*括弧内の値は、観測値に対するFEMの結果の比

表 8.4 変位分布の解析値と測定値の比較

		スウェイ	ロッキング	建物	備考
短辺	解析値	0.238	0.230	0.532	SRB卓越周期時
	計測値	0.21-0.23	0.30-0.31	0.46-0.48	
長辺	解析値	0.347	0.061	0.592	SRB卓越周期時
	計測値	0.260	0.130	0.610	

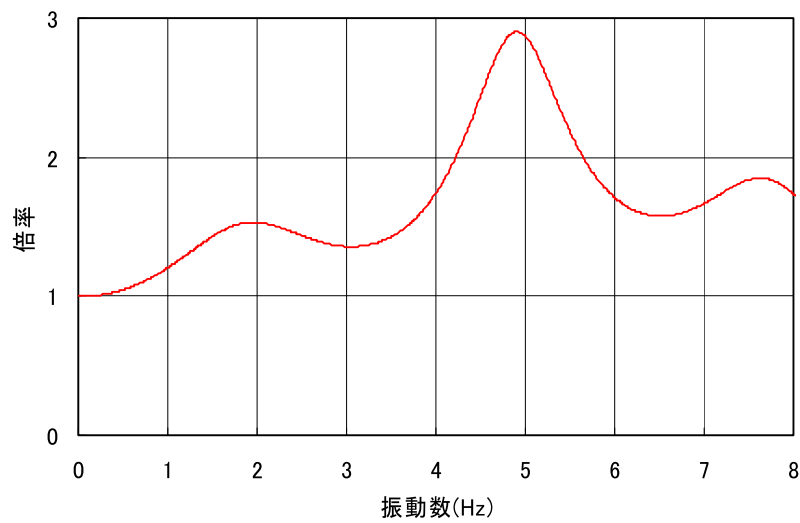


図 8.2 表層地盤の GL-41.5m 地盤に対する伝達関数の振幅特性 (2E/2E)

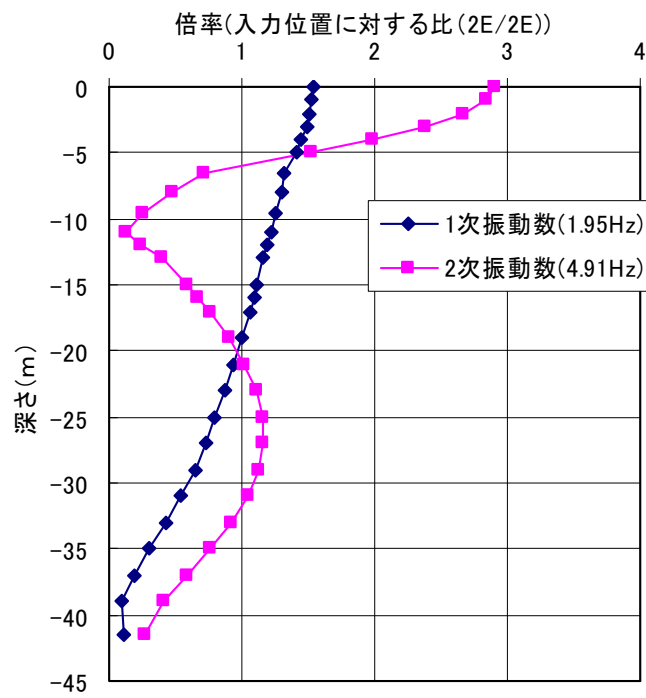
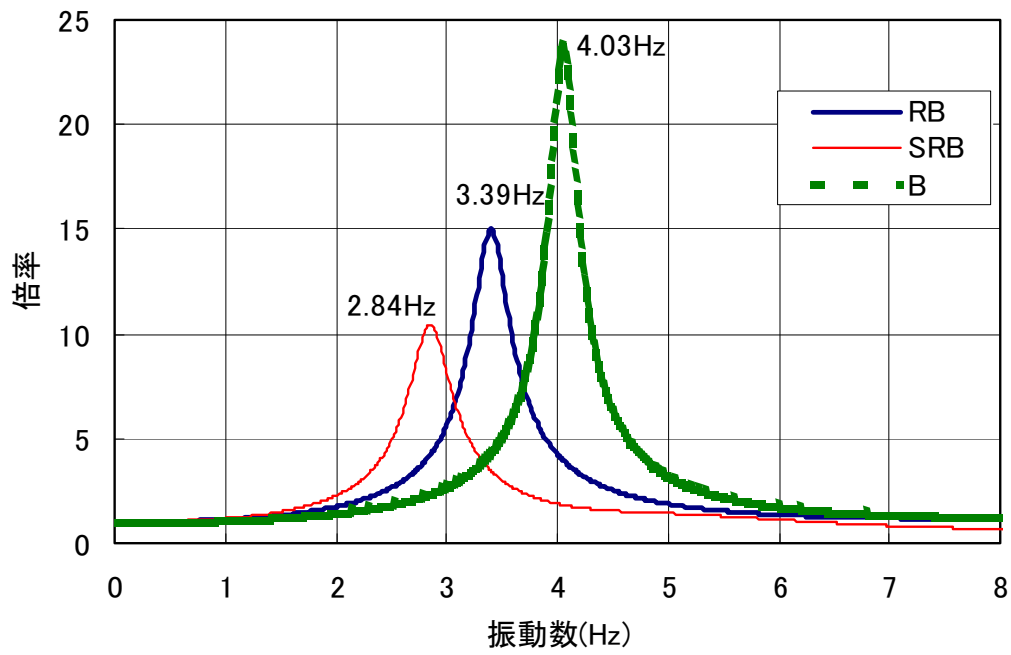
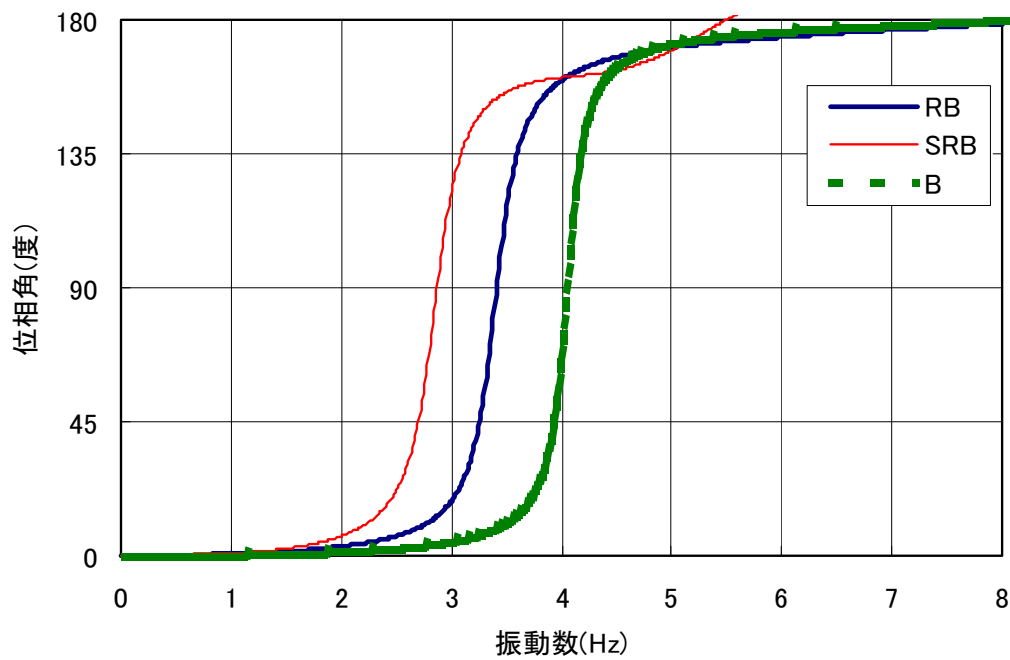


図 8.3 表層地盤の GL-41.5m 地盤に対する伝達関数の振幅特性深さ分布 (2E/2E)

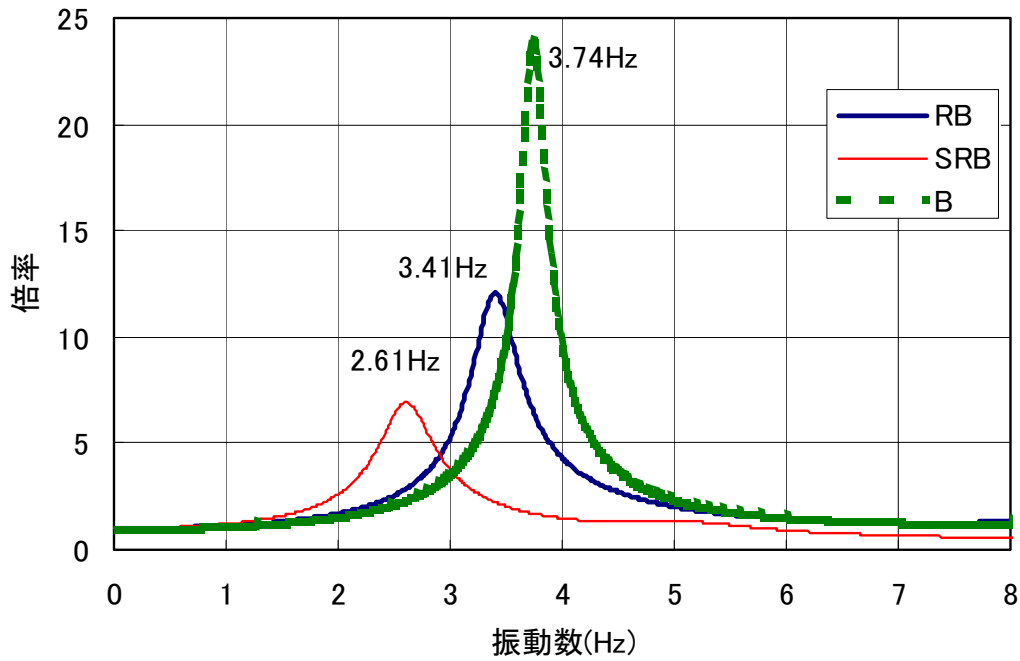


(a) 振幅特性

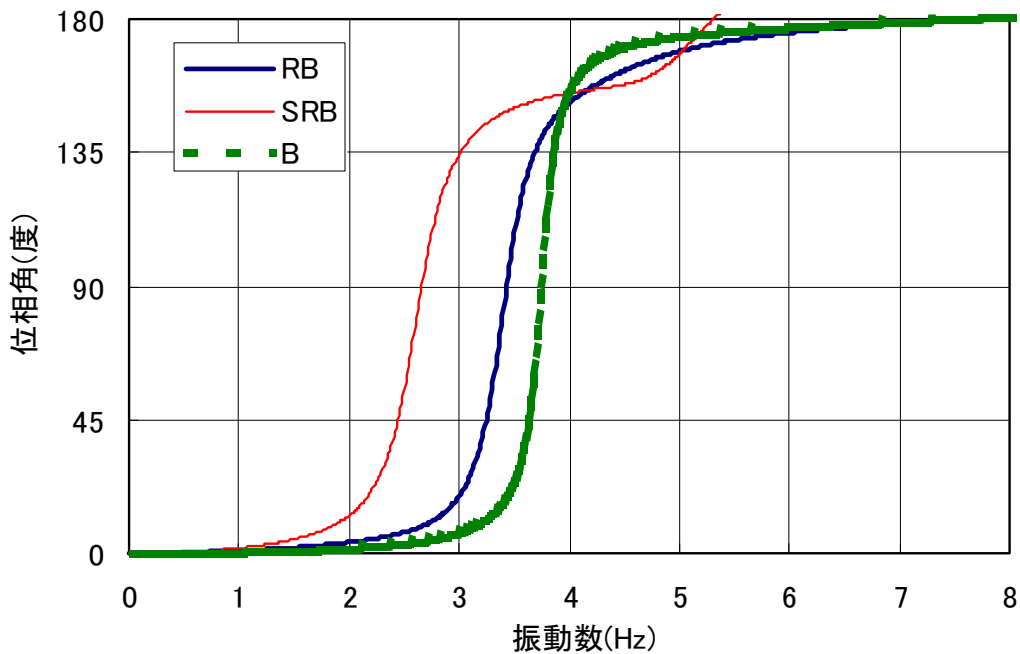


(b) 位相特性

図 8.4 RB,SRB,B の伝達関数 (短辺方向)



(a) 振幅特性



(b) 位相特性

図 8.5 RB,SRB,B の伝達関数 (長辺方向)

(第 8 章 参考文献)

- 1) 内藤幸雄、谷野達夫、井口道雄、北田義夫：建物と地盤の動的相互作用の影響を除去した場合の建物だけの振動特性推定，日本建築学会構造系論文集，No. 564，pp. 39-46，2003
- 2) 原口圭，神田順，稲垣光剛：常時微動測定による中低層建物を対象とした地盤・建物相互作用系の同定手法，日本建築学会構造系論文集，No. 564，pp. 31-37，2003
- 3) 引田智樹，内藤幸雄、アリニウシャ、原田公明：基礎のロッキングを考慮した常時微動による構造物の振動特性推定，日本建築学会構造系論文集，No. 566，pp. 37-44，2003