

表層地盤ボーリングデータを用いた地盤増幅率の評価方法に関する研究

—横浜市の地盤情報を対象とした地盤増幅率の算定結果—

荏本研究室 200402679 龍野 翔武

1. はじめに

地盤の増幅特性の正確な評価には地盤の S 波速度構造などの詳細な地盤情報が必要である。しかし、地盤の増幅特性の分布を解析的に推定することは、多数の地盤調査資料の収集など非効率かつ非現実的である。そのため表層の地盤区分（微地形区分）に依存する平均 S 波速度（AVS30）のみから地盤増幅率が近似的に算定できる経験式が作られているが、この経験式は関東地方（主に首都圏）の S 波速度データや微地形区分に基づいた評価手法であるため、他の地域に対しては直接適用できないとの指摘もある。本研究では横浜市を対象に、ボーリングデータを利用した簡易な地盤モデルで SH 波の伝達特性を考慮できる重複反射理論を用いて算出した地盤増幅率と上記の経験式により求めた AVS30 による増幅率を比較することで、表層の軟弱地盤の増幅率についての検討を行うことを目的とした。

3. ボーリングデータベースの作成

本研究では、より正確な情報を用いるため横浜市環境創造局の HP 上に公開されている約 3000 本のボーリング資料（土質柱状図）をダウンロードし、そこから軟弱地盤層厚（H）、各層の平均 N 値・S 波速度（Vs）、表層軟弱地盤層の平均 S 波速度（AVS）などを算出しそれらのデータベース化を行った。図 1 に GIS（地理情報システム）を用いて横浜市の地図に収集したボーリングデータ（2062 地点）の場所を示した。



図 1. 横浜市ボーリング地点位置(●)

この資料から H と AVS に関する頻度分布を整理し表 1 に示した。また、表層地盤を簡易な 2 層構造モデルで近似させるため表 2 に示す簡易地盤モデル 100 タイプを設定した。

Research on evaluation of method of calculating amplification rate by surface ground -Calculation result of the ground amplification rate by using ground information date of boreholes of Yokohama City-

SHOBU TATSUNO

表 1. H と AVS に関する頻度分布

コード/層厚 (m/s)	(m)	2.5	7.5	12.5	17.5	22.5	27.5	32.5	37.5	42.5	45	合計
25 0~50	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~		1
65 50~80		5	7	6	7	7	2	3				37
95 80~110		45	39	29	24	14	18	7	1	1		178
125 110~140		92	129	60	55	21	21	17	6	5		406
155 140~170		120	196	123	57	21	20	15	13	7	2	574
185 170~200		75	167	94	44	20	5	14	14	8	7	448
215 200~230		61	65	50	27	16	7	1			3	230
245 230~260		39	41	18	13	8	2		1	1		123
275 260~290		26	14	2	2	1	3					48
290 290~		12	3	1	1							17
合計		475	661	383	230	108	78	57	38	22	12	2062

表 2. 簡易地盤モデル

コード/層厚 (m/s)	(m)	2.5	7.5	12.5	17.5	22.5	27.5	32.5	37.5	42.5	45
25 0~50	25-2.5	25-7.5	25-12.5	25-17.5	25-22.5	25-27.5	25-32.5	25-37.5	25-42.5	25-45	
65 50~80	65-2.5	65-7.5	65-12.5	65-17.5	65-22.5	65-27.5	65-32.5	65-37.5	65-42.5	65-45	
95 80~110	95-2.5	95-7.5	95-12.5	95-17.5	95-22.5	95-27.5	95-32.5	95-37.5	95-42.5	95-45	
125 110~140	125-2.5	125-7.5	125-12.5	125-17.5	125-22.5	125-27.5	125-32.5	125-37.5	125-42.5	125-45	
155 140~170	155-2.5	155-7.5	155-12.5	155-17.5	155-22.5	155-27.5	155-32.5	155-37.5	155-42.5	155-45	
185 170~200	185-2.5	185-7.5	185-12.5	185-17.5	185-22.5	185-27.5	185-32.5	185-37.5	185-42.5	185-45	
215 200~230	215-2.5	215-7.5	215-12.5	215-17.5	215-22.5	215-27.5	215-32.5	215-37.5	215-42.5	215-45	
245 230~260	245-2.5	245-7.5	245-12.5	245-17.5	245-22.5	245-27.5	245-32.5	245-37.5	245-42.5	245-45	
275 260~290	275-2.5	275-7.5	275-12.5	275-17.5	275-22.5	275-27.5	275-32.5	275-37.5	275-42.5	275-45	
290 290~	290-2.5	290-7.5	290-12.5	290-17.5	290-22.5	290-27.5	290-32.5	290-37.5	290-42.5	290-45	

4. AVS の算出

使用可能なデータとして整理した合計 2062 個のボーリングデータから算出した N 値を用いて軟弱地盤層中の各層厚での S 波速度（VS）を計算し、各層厚による重み付け平均をとって AVS（軟弱地盤の平均 S 波速度）の算出を行った。各層の S 波速度を求めるにあたっては中央防災会議の PS 検層を実施していないボーリングデータの処理式と係数を用いた。

5. 伝達関数の算出

今回伝達関数を求める方法を 3 種類設定し、Case1~3 として、想定地震の規模によって分類し Case1 を小規模、Case2 が中規模、Case3 が大規模な地震を想定して解析設定を行った。また、工学的基盤上に表層の軟弱な未固結地盤層を仮定した 2 層構造地盤として各値を設定して算出した。その各層の設定値を表 3 に示す。この設定の理由としては、中央防災会議方式の地盤増幅率算定の際に用いる式が 1987 年千葉県東方沖地震における強震観測結果を基に設定された式であることから、地震の規模を考慮できるよう設定値を変え、上記地震が中規模な地震相当であるとして比較検討するためである。

表 3 の設定値を用いて表 2 に示した 100 タイプの地盤モデルに対する伝達関数を計算した。例として、図 2 に横浜市内のボーリングデータで数が最も多かった軟弱地盤層厚 5~10m のタイプの伝達関数（Case2）の結果を

示す。

表 3. 簡易な 2 層構造モデルの地盤定数の設定値

		単位体積重量(t/m ³)	S波速度(m/s)	減衰定数(%)
Case1	軟弱地盤	1.7	各パターンの平均値	10
	基盤	1.9		
Case2	軟弱地盤	1.7	Case1 × 0.8	20
	基盤	1.9		
Case3	軟弱地盤	1.7	Case1 × 0.7	30
	基盤	1.9		

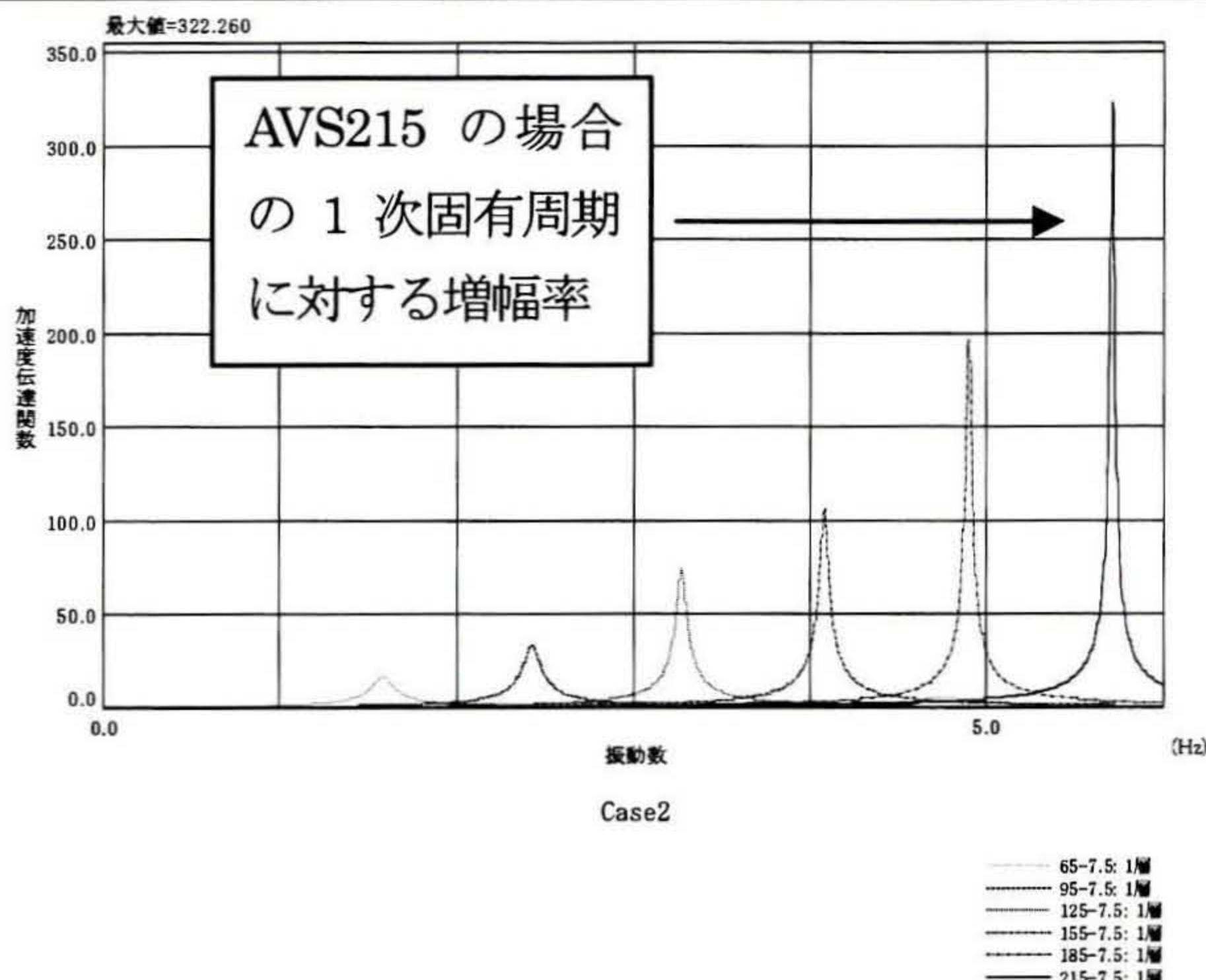


図 2. 表層地盤層厚 7.5m 相当の地盤モデルの場合 (Case2)

6. 地盤増幅率の設定

中央防災会議方式の地盤増幅率は Midorikawa et.al. (1994) の経験式を使用しており、これは 1987 年千葉県東方沖地震の強震観測結果を基に設定され、観測地点の微地形から地盤の平均 S 波速度 (AVS30) を算定し、それに見合う地盤増幅率 (G) を経験式により算出する。一方、SH 波の重複反射理論から算出された伝達関数に基づいて、地盤増幅率を以下のように 3 通りの数値で設定する。

- ①伝達関数から得られる 1 次固有周期に対する値 : R_1
- ②伝達関数の周期範囲 0.2~1.0sec における平均値 : R_2
- ③ 1 次固有周期に対する数値を当該円振動数で除した値 : R_3

本研究では、上記 G と $R_1 \sim R_3$ の数値とを比較し、地盤増幅率の物理的な検討を行なうこととした。

7. 地盤増幅率の比較

中央防災会議が公表している経験式で求めた AVS30 から算出した地盤増幅率 G と本研究で横浜市内のボーリングデータから算出した伝達関数に基づく数値との比較を行った。表 2 で設定した簡易地盤モデルを使ってパターン別に増幅率を算出した。G と R_2 (Case2)の結果を表 4・5 として示す。

また表 4・5 から得られた結果と同様に $R_1 \cdot R_3$ から得られた結果 (Case 2) をまとめて比較できるようグラフ化したものを図 7 に示す。

表 4. 中央防災会議方式の地盤増幅率 G

G(平均増幅率)	(m)	2.5	7.5	12.5	17.5	22.5	27.5	32.5	37.5	42.5	45
(m/s)	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~	
25	0~50										
65	50~80	1.56	1.42	1.33	1.4	1.51		1.92			
95	80~110	1.39	1.346	1.26	1.43	1.42	1.43	1.62			
125	110~140	1.34	1.3	1.33	1.42	1.44	1.59	1.56	1.49	1.5	
155	140~170	1.27	1.3	1.31	1.27	1.4	1.45	1.58	1.64	1.67	
185	170~200	1.33	1.24	1.3	1.39	1.49	1.39	1.46	1.55	1.41	
215	200~230	1.27	1.31	1.28			1.53				
245	230~260	1.26	1.3	1.28	1.33	1.38					
275	260~290	1.42									
290	290~	1.14									

表 5. 伝達関数による数値 R_2 (Case2)

R_2 (平均伝達関数)	(m)	2.5	7.5	12.5	17.5	22.5	27.5	32.5	37.5	42.5	45
(m/s)	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~	
25	0~50										
65	50~80	3.3	2.88	1.93	1.61	1.6		1.44			
95	80~110	1.31	3.61	2.92	2.25	1.83	1.8	1.82			
125	110~140	1.15	5.19	3.12	3.07	2.57	2.08	1.97	1.93	1.97	
155	140~170	1.09	6.52	4.01	3.25	3.2	2.81	2.41	2.14	2.21	
185	170~200	1.06	6.89	5.05	3.7	4.09	3.35	2.96	2.63	2.31	
215	200~230	1.04	1.85	6.15			4.14				
245	230~260	1.03	1.49	7.31	5.06	4.01					
275	260~290	1.02									
290	290~	1.02									

図より中央防災会議方式の地盤増幅率 G は 1.0~3.0 倍程度を示し、今回の 1 次元重複反射理論に基づく方法で求めた伝達関数による数値は、地盤タイプによって異なるが R_1 で 20.0~2000 倍程度、 R_2 で 1.0~7.0 倍程度そして R_3 で 2.0~11.0 倍程度の値を示し、Case2 (中規模地震相当) とした場合に R_2 の数値が地盤増幅率 G と近似する結果となった。大規模地震を想定した Case3 の場合では、より地盤のひずみ依存性により G に近似する。

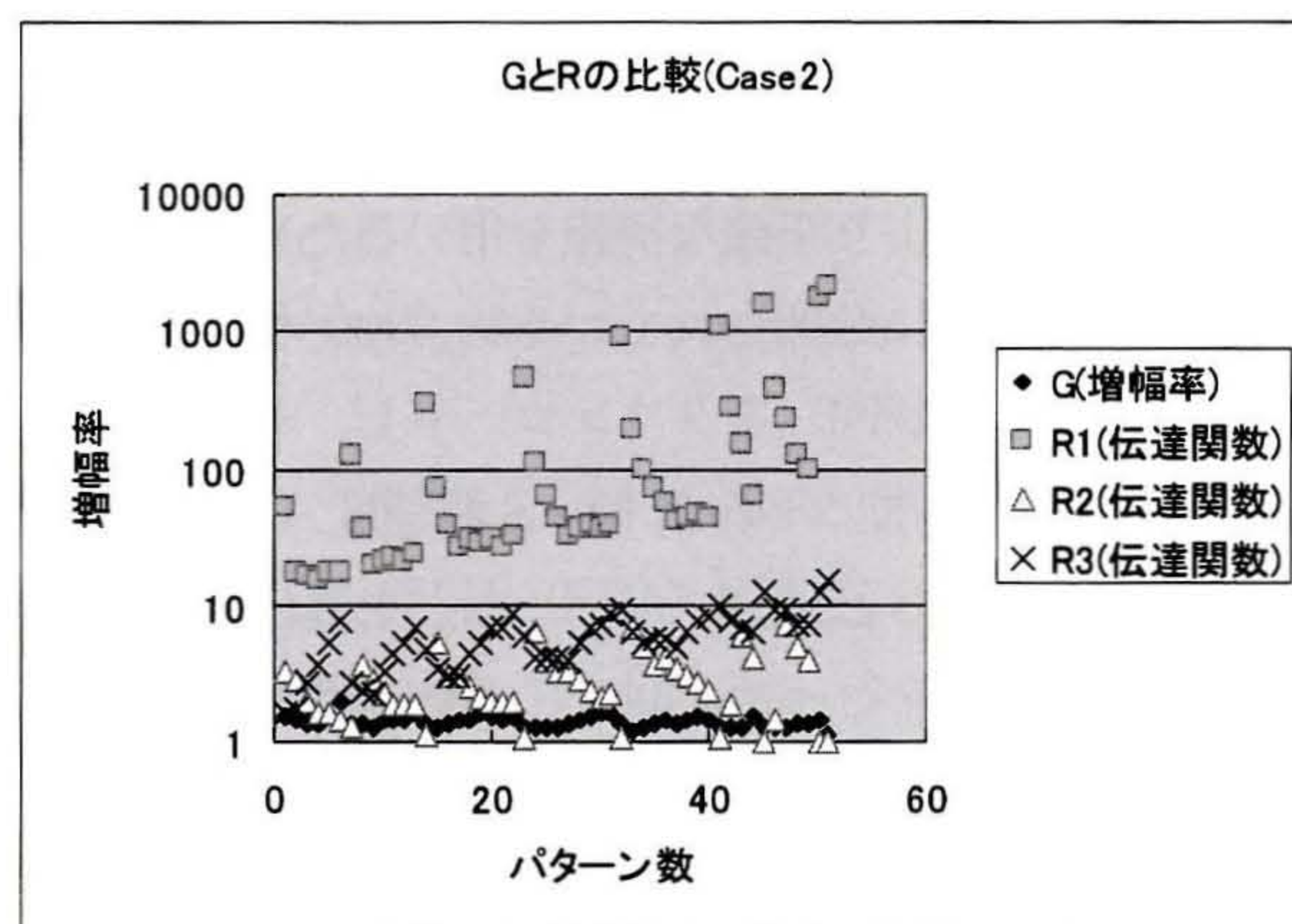


図 3. 伝達関数と AVS30 からの増幅率の比較

8. まとめ

本研究では、中央防災会議方式の経験式で求められる AVS30 から算出した地盤増幅率と SH 波の波動伝播特性を考慮した伝達関数から求まる数値 (地盤増幅率相当) の比較を行った。その結果、地盤増幅率は伝達関数の 0.2~1.0 秒の周期領域の平均的な増幅率に良く整合する傾向を示し物理的な理解を得ることができた。今後、より精度を向上させ物理的な解釈を明確にするためには簡易な 2 層地盤構造モデルではなく、個々のボーリングデータから多層構造モデルを仮定し各地盤層のひずみ依存特性を考慮した非線形伝達関数の導入が必要と考えられる。

【参考文献】

- 1) 内閣府:地震防災マップ作成技術資料 平成 17 年 3 月
- 2) 中山えみ:地盤情報データベースを用いた増幅率評価による地震動予測に関する研究 平成 18 年 3 月