

I - B 90 地表観測地点間の地震動推定における地盤増幅特性の検討

鹿島 土木設計本部 正会員 石井 晃 正会員 塩崎 信久
技術研究所 正会員 永田 茂 正会員 大保 直人

1. はじめに

大規模地震が発生した際の広域ライフライン構造物の地震被害を把握する場合には、表層地盤の非線形増幅特性を考慮して、地震観測地点間の地震動を推定することが必要となる。一般に、観測地点間の地表地震動を推定する場合、地表の観測値を地盤の増幅率（地表／基盤）で除して基盤での地震動を推定し、基盤位置で観測地点間の地震動を補間した後、補間値に増幅率を乗じて観測地点間の地表地震動を評価する手法が用いられる（図-1）。ここで用いられる増幅率は、地盤の非線形性を考慮するために、基盤の地震動レベルに応じた増幅率で設定される場合が多い。しかし、観測値は地表で得られる場合がほとんどであるため、地表の地震動レベルに応じた増幅率で基盤地震動を推定する方がより適切な評価を得ることができる。

本研究では、地盤特性、地震タイプ及び地震動レベルをパラメトリックに変化させた地震応答解析により、基盤と地表の最大加速度及びSI値の関係を整理し、基盤から地表及び地表から基盤の両方向に関して、最大加速度とSI値を推定するための回帰式の作成を試みた。

2. 検討条件

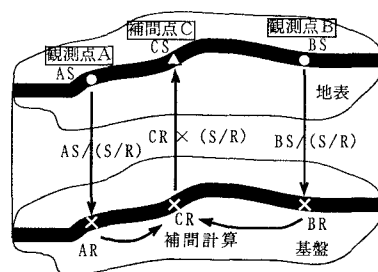
塩崎ら¹⁾は、広域の複数地盤モデルを用いて、地震タイプと地震動レベルによって、加速度応答スペクトルの地盤増幅特性が異なることを示している。そこで、川崎市のごく表層地盤の代表モデル柱状図²⁾から、表-1に示す6分類の固有周期範囲に含まれるモデルを5種類ずつ、計30種類を抽出し、内陸直下地震8波、プレート境界地震4波による地震応答解析（解析コードSHAKE、等価線形解析）を実施した。表-2に解析に用いた地震波形のリストを示す。

解析にあたっては、地盤の非線形状態の違いを考慮するために、基盤最大加速度を5～500cm/s²（2E）の範囲で7段階に変化させ、地表と基盤の最大加速度及びSI値を算定した。ここで、基盤位置は上総層群（V_s=700m/s相当）上面とした。また、SI値は周期0.1秒～2.5秒までの速度応答スペクトル（減衰20%）の平均値で算定した。

3. 地表と基盤の最大加速度及びSI値の関係

内陸直下地震について、図-2に基盤と地表の最大加速度の関係を示す。同様に、図-3に基盤と地表のSI値の関係を示す。各図とも、大振幅時の地盤剛性の低下を考慮して、表-1に示した地盤の固有周期別に解析結果をプロットした。なお、図中の実線は後述する回帰曲線である。

基盤と地表の最大加速度を比較すると、固有周期の小さい硬い地盤では、基盤最大加速度の増加に伴い、地表最大加速度は線形に近い関係で増加するが、固有周期の大きい軟らかい地盤では、基盤最大加速度の増加によって、地表最大加速度の増幅率は小さくなる。一方、SI値については、いずれの地盤においても、地表



注) S/R: 地盤増幅率（地表／基盤）

図-1 観測地点間の地震動推定方法

表-1 地盤モデルリスト

固有周期	柱状図名称
$T \leq 0.2$	LM1, LM10, DS1, DS2, DS3
$0.2 < T \leq 0.4$	AS3, AG2, AG3, AG5, AG6
$0.4 < T \leq 0.6$	AC6, AC8, AC9, AC10, AC16
$0.6 < T \leq 0.8$	AS6, AS13, AS14, AS15, AS17
$0.8 < T \leq 1.0$	AC17, AC18, AC22, AC28, AC35
$1.0 < T$	AS27, AS29, AS31, AS32, AS34

注) 柱状図名称は川崎市報告書²⁾に記載の記号

表-2 解析用地震波形リスト

地震タイプ	地盤名	観測年月	観測地点	観測方向
内陸直下地震	愛知県東部地盤	1997.3.16	長篠	NS
	鹿児島県北部地盤	1997.3.26	出水	EW
	鹿児島県西部地盤			NS
	兵庫県南部地盤	1995.1.17	神戸大学	EW
			神戸海洋気象台	NS
プレート境界地震	北海道南西沖地盤	1993.7.12	寿都	NS
	チリ地盤	1985.3.3	Las To	EW
	珠ノ川地盤	1985.9.19	ZI	NS

キーワード： 地盤増幅, 最大加速度, SI 値

連絡先（住所：東京都港区赤坂6-5-30 鹿島土木設計本部 電話：03-5561-2195 FAX：03-5561-2152）

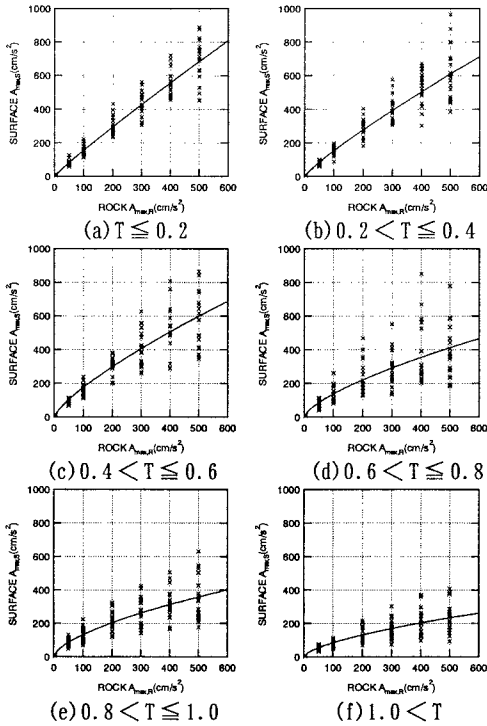


図-2 基盤と地表の最大加速度の関係(内陸直下地震)

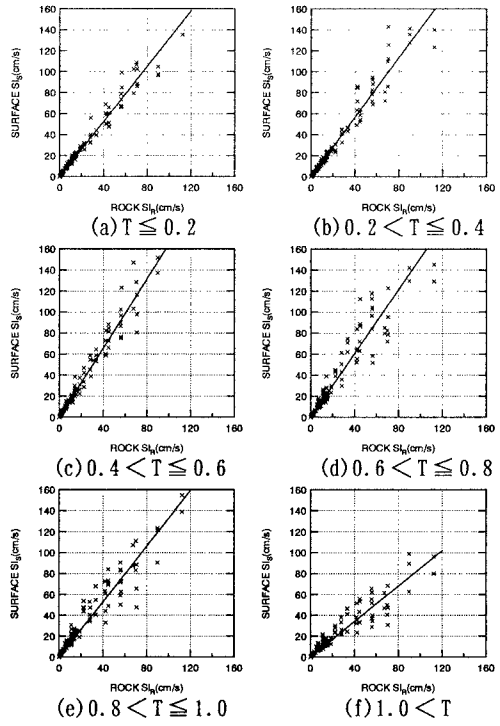


図-3 基盤と地表のSI値の関係(内陸直下地震)

と基盤のSI値関係はほぼ線形関係で対応している。

4. 回帰結果

以上の関係を考慮して、地表と基盤の最大加速度及びSI値の関係を回帰する。最大加速度の回帰モデルは、基盤最大加速度の大きい部分で地表最大加速度が低減することを考慮して、式(1)に示す累乗型の非線形回帰モデルとした。一方、SI値については、式(2)の線形回帰モデルを採用した。

$$A_{max,S} = a \cdot A_{max,R}^b \quad (1)$$

$$SI_S = c \cdot SI_R \quad (2)$$

ここに、 $A_{max,S}$ は地表最大加速度、 $A_{max,R}$ は基盤最大加速度、 SI_S は地表SI値、 SI_R は基盤SI値、 a, b, c は回帰係数を示す。

表-3に各回帰モデルの係数 a, b, c と残差平均 $\bar{\Delta}$ を示す。最大加速度については、40~100cm/s²程度の残差平均となる。固有周期の大きい地盤では指数係数 b が小さく、大振幅時の地盤の剛性低下状態が表現されている。SI値については、5~12cm/s程度の偏差平均となる。係数 c は地盤の増幅率(地表/基盤)を示している。

5. おわりに

地盤特性、地震タイプ及び地震動レベルを変化させて、基盤と地表の最大加速度及びSI値の関係を整理し、回帰式を作成した。これにより、観測地点間の地震動を推定する際の地表から基盤及び基盤から地表の両方向の地盤増幅を評価することが可能となった。今後、実測データを用いて、回帰式の適用性を検討していきたい。[参考文献] 1)塩崎信久, 石田寛, 永田茂, 大保直人: 加速度応答スペクトルの地盤増幅特性に関する検討, 第10回日本地震工学シンポジウム, 1998. 2)川崎市: 川崎市地震被害想定調査報告書, 1988.

表-3 最大加速度とSI値の回帰結果

	固有周期	最大加速度		SI値		
		a	b	c	$\bar{\Delta}$	
内陸直下地震	T ≤ 0.2	2.25	0.92	68	1.32	6.3
	0.2 < T ≤ 0.4	2.91	0.86	80	1.42	7.8
	0.4 < T ≤ 0.6	5.33	0.76	97	1.65	11.8
	0.6 < T ≤ 0.8	6.02	0.68	104	1.52	12.4
	0.8 < T ≤ 1.0	7.61	0.62	73	1.33	9.3
	1.0 < T	4.65	0.63	51	0.85	7.2
プレート境界地震	T ≤ 0.2	3.83	0.86	79	1.33	5.8
	0.2 < T ≤ 0.4	3.55	0.85	79	1.39	4.8
	0.4 < T ≤ 0.6	6.49	0.74	88	1.56	7.4
	0.6 < T ≤ 0.8	5.51	0.71	94	1.65	8.6
	0.8 < T ≤ 1.0	8.40	0.63	54	1.46	8.0
	1.0 < T	7.68	0.57	44	0.91	7.5

注) $\bar{\Delta}$ は残差平均。単位は最大加速度 cm/s²、SI値 cm/s