

建設省土木研究所 正 員 常田賢一
東大生産技術研究所 正 員 片山恒雄
日本技術開発株式会社 正 員 佐伯光昭

1. まえがき

我国では、各種の構造物およびその周辺地盤に強震計を設置し、強震時における地盤震動並びに構造物の応答を観測している。そして、得られた地震記録は、構造物の耐震設計の際の設計震度等の入力地震動を決めるに当って、基礎データとして利用されている。本報告は、地盤上で得られた地震動の加速度記録を基にして数量化理論により統計解析を行ない、地震のマグニチュード、震央距離および地盤条件に応じた加速度応答スペクトルの推定をした結果について検討を行なったものである。

2. 解析概要

国内の地盤上で観測された地震動加速度記録のうち、マグニチュード $M \geq 4.5$ 、震源深さ $D \leq 60$ km のものを解析対象として計算された応答スペクトルについて統計処理を行なった。解析に用いた応答スペクトルは、運輸省老朽技術研究所および土木研究所で計算されたものであり、68 地震の 277 成分である。表-1 に対象記録の分布状況を示す。

表-1 解析に用いた資料の分布

マグニチュード M	震源深さ D (km)	震央距離 Δ (km)					合 計
	1種	Δ < 20	20 ≤ Δ < 60	60 ≤ Δ < 120	120 ≤ Δ < 200	200 ≤ Δ	
4.5 ≤ M < 5.4 (60ヶ)	1種	6	6				10
	2種	4	10				14
	3種	12	8	8	2	20	50
	4種	6					6
5.4 ≤ M < 6.1 (48ヶ)	1種		6	2			6
	2種	4	4	4			12
	3種	2	12	6			20
	4種	4	2	4			10
6.1 ≤ M < 6.8 (102ヶ)	1種		4	5			10
	2種			4	2	16	22
	3種	4	32	22	8	2	68
	4種		6	4	2	2	14
6.8 ≤ M < 7.5 (29ヶ)	1種				3	2	5
	2種			2	4	2	8
	3種				4	4	8
	4種					4	4
7.5 ≤ M < 7.9 (58ヶ)	1種				2	2	4
	2種				6	2	8
	3種		2	6	4	2	14
	4種					2	10
合 計	42	92	72	38	12	177	

解析では、地震のマグニチュード (M)、震央距離 (Δ) 及び観測地点の地盤条件 ($G.C.$) をパラメータとして、加速度応答スペクトルおよび最大水平加速度の推定値を求めている。その際、マグニチュードおよび震央距離の分類は表-1 のように決め、地盤条件は「道路橋耐震設計指針」に準拠した。加速度応答スペクトル値は、減衰定数 $R=0.05$ として、固有周期 $T=0.1, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0$ (秒) について求めている。加速度応答スペクトル値 ($\bar{S}_A$) の推定値 ($\bar{S}_A$) は、(1) 式により算定するものとし、統計解析により各固有周期、パラメータ毎に重み係数を求めている。また、最大水平加速度の推定値 $\bar{A}_{max}$ は、(2) 式により算定することとしパラメータ毎に重み係数を求めている。

$$\log_{10} \bar{S}_A = C(M) + C(\Delta) + C(G.C.) \quad \text{----- (1)}$$

$$\log_{10} \bar{A}_{max} = C(M) + C(\Delta) + C(G.C.) \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 $C(M), C(\Delta), C(G.C.)$; マグニチュード、震央距離および地盤条件に関する重み係数。

表-2. 加速度応答スペクトルの推定値 ($\bar{S}_A$) を求めるための重み係数 ($C(M), C(\Delta), C(G.C.)$) の統計解析結果例

外的基準値	固有周期 T_1 (sec)	重相関数 r	マグニチュード M					震央距離 Δ (km)					地盤条件 G.C.			
			I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV
			< 5.4	5.5 6.1	6.1 6.8	6.8 7.5	≥ 7.5	< 20	20 60	60 120	120 200	≥ 200	第1種	第2種	第3種	第4種
$\bar{S}_A$ 1	0.10	0.56	重み係数 レンジ	-0.66 -0.56	-0.53 0.66	-0.40 0.66	0	0.71 0.43	0.31 0.71	-0.00 0.71	0	0	2.10 2.03	2.03 2.08	2.08 2.03	2.03
$\bar{S}_A$ 2	0.15	0.53	重み係数 レンジ	-0.65 -0.56	-0.53 0.65	-0.35 0.65	0	0.69 0.48	0.33 0.69	0.00 0.69	0	0	2.19 2.11	2.11 2.15	2.15 2.10	2.10
$\bar{S}_A$ 17	3.00	0.69	重み係数 レンジ	-1.18 -0.86	-0.71 1.18	-0.41 1.18	0	0.51 0.25	0.13 0.58	-0.06 0.58	0	0	1.27 1.42	1.42 1.45	1.45 1.42	1.42
$\bar{S}_A$ 18	4.00	0.68	重み係数 レンジ	-1.15 -0.84	-0.73 1.15	-0.40 1.15	0	0.45 0.21	0.10 0.55	-0.10 0.55	0	0	1.19 1.31	1.31 1.38	1.38 1.28	1.28

3. 解析結果

応答加速度の推定値を求めるのに必要な各パラメータに対する重み係数およびレンジの結果の一部を表-2に示す。図-1は、表-2を用いた推定加速度応答スペクトルの解析結果の一例を示し、図-2は、 $\bar{\sigma}_A$ に及ぼす各パラメータの影響度を表わす。解析結果を要約すると次のようである。

(1) マグニチュード、震央距離が大きくなるにつれて $\bar{\sigma}_A$ が増加する。(2) $\bar{\sigma}_A$ に及ぼす地盤条件の影響は、第1種地盤(岩盤地域)に他の地盤に比べて明確な差が見られる。また、比較的長周期の領域では地盤が軟質な程 $\bar{\sigma}_A$ が大きくなる傾向がある。(3) 加速度応答倍率 $\beta (= \bar{\sigma}_A / A_{max})$ は、推定値 $\bar{\sigma}_A$ および A_{max} で算定されるが、 A_{max} は地盤条件により大差がないので、加速度応答倍率スペクトルも $\bar{\sigma}_A$ と同様な傾向を示すことが推定される。(4) $\bar{\sigma}_A$ に及ぼす各パラメータの影響は、図-2から推定される。つまり、各周期でマグニチュードの影響度が最も大きく、震央距離については短周期ではマグニチュードとほぼ同程度であるが周期が長くなるにつれてマグニチュードに比べて減少する傾向を示す。また、地盤条件の影響は全般的に小さいが、 $T=0.5\sim 2.0$ (秒)中間の周期ごとの影響が大きくなる。(5) $\bar{\sigma}_A$ および A_{max} の解析結果の重相関係数は、各々 $0.54\sim 0.72$ および 0.60 である。

図-3は、 $6.8 \leq M < 7.5$, $60 \leq d < 120$ km の場合についての加速度応答倍率スペクトルの解析結果と、解析結果の変化曲線に近似した形状を持つと思われる観測地震動の加速度応答倍率スペクトルを選出した結果を併置したものである。周期特性を考慮した入力地震動の決め方については、今後検討する必要があると思われる。又、工学的に有用な地盤律則に関して、さらに検討を加えてゆく必要があると思われる。

図-2. $\bar{\sigma}_A$ に対する各パラメータの影響度

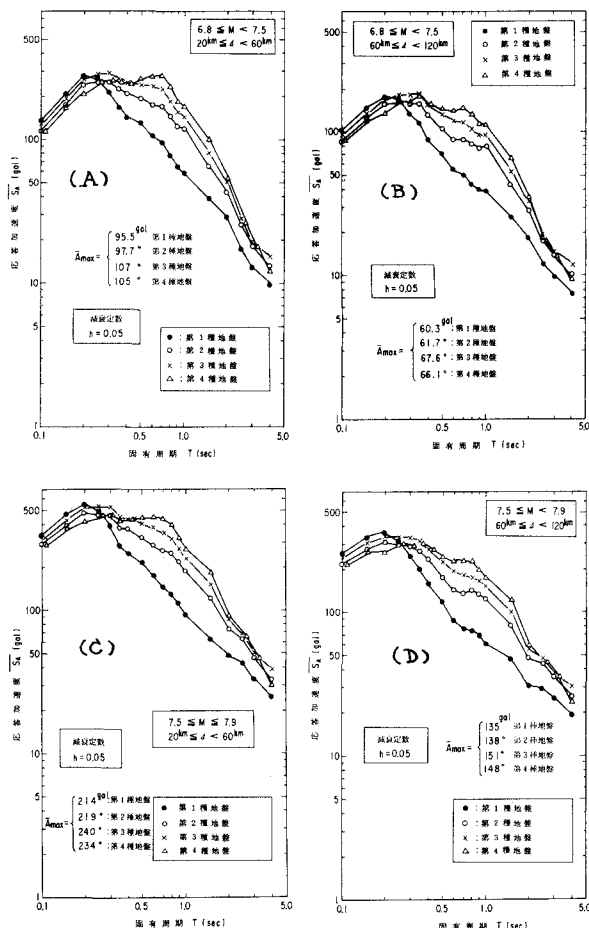
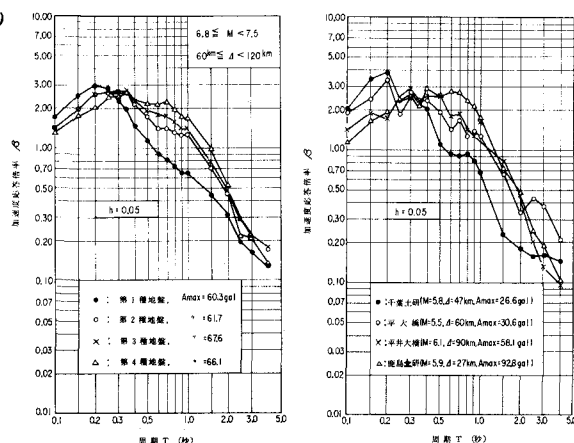


図-1. 加速度応答スペクトル曲線・解析結果一例



(A) 解析結果

(B) 観測結果

図-3. 加速度応答倍率スペクトルの対比例