

加速度応答倍率スペクトルの分布について

東京大学生産技術研究所 正員 片山 恒雄

1. まえがき

土木構造物の耐震設計において、修正震度法が広く使われるようになってきた。この方法では、注目地点の地動の最大加速度の期待値と、構造物の周期と減衰を仮定して求めた平均加速度応答倍率から設計震度を決定する。ここで、加速度応答倍率 β は、あたえられた地震動による一質点系の絶対最大加速度応答値の、地震動の最大加速度に対する比として定義される量である。ところで、あたえられた周期と減衰に対する加速度応答倍率の値は大きなバラツキを有しており、ある周期の範囲においては、たとえば減衰 5 % の場合の加速度応答倍率が 5 以上となることもある。したがって、平均の加速度応答倍率を考えるだけでは必ずしも十分ではなく、加速度応答倍率の確率分布を検討しておくことが重要である。

本報告では、日本の平均的な沖積地盤上における地震動の加速度応答倍率について、超過確率をパラメータとしたスペクトルを作成することを試みている。

2. 加速度応答倍率に影響を及ぼす因子

加速度応答倍率スペクトルになんらかの影響を及ぼすと考えられる因子の数は多い。たとえば、地震の規模、地震動の最大加速度、震央距離、地盤条件、解析された記録の長さなどを考えることができ、これらのうちのいくつかに関してはある程度の検討がなされている。実際には、規模の大きな地震の震央距離の大きな地点で記録され、記録の長さも長いというように、各種の因子の間には複雑な関係があり、おのおのの因子の影響の有無・度合については現在のところ明らかな結論は得られていない。

各種因子の影響をすべて考慮しようとする、対象とすべき地震記録の数が不足して、統計的な取扱いが不可能となる。そこで、本研究では、従来の研究結果を参照して、加速度応答倍率にもっとも大きな影響を及ぼす因子として、地盤条件と解析された記録の長さを考えることにした。

地盤に関しては、日本の平均的な沖積層を考えることにし、岩盤上やきわめて軟弱な地盤上での記録は除外した。また、0.2 秒以下の短周期に唯一の卓越したピークを示すような加速度応答スペクトルをあたえる記録も特殊なものとして除外した。このようにして選ばれた記録の総数は 42 個である。

表-1 継続時間 2.5 ～ 3.0 秒に対する加速度
応答スペクトルを得るための補正係数

(短い解析長から得られた加速度応答倍率には、固有周期に応じて、この表の補正係数を乗じる)

		ANALYZED RECORD LENGTH (SEC)			
		5	10	15	20
RANGES OF UNDAMPED NATURAL PERIOD OF ONE-DEGREE-OF- FREEDOM SYSTEM (S)	$.1 < T \leq .5$	1.6	1.1	1.0	1.0
	$.5 < T \leq 1$	2.2	1.3	1.1	1.1
	$1 < T \leq 4$	2.8	1.7	1.4	1.2

特に長周期においては、解析された記録の長さの影響を無視できないことが明らかであるので、ここでは表-1に示される係数による補正を加えた。表-1の値は、1968年十勝沖地震の本震と余震の室蘭・宮古・青森における強震記録の水平動各2成分、合計12成分の視察による強震部分から、はじめの5秒間、10秒間、15秒間、20秒間、25秒間、30秒間の加速度応答倍率スペクトルを計算し、各継続時間での平均スペクトルを比較して経験的に求めたものである。

3. 加速度応答倍率の分布

0.1秒から4.0秒までの間の17個の固有周期における減衰5%の加速度応答倍率の値の分布を検討した。解析の対象とした固有周期は

$$T = 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, \text{および} 4.0 \text{ 秒}$$

である。

解析された記録長に関して表-1に示す係数による補正をほどこして求めた日本の平均的沖積地盤上の継続時間25~30秒の地震動

42個に対する加速度応答倍率の分布幅を図-1に示す。加速度応答倍率の最大値 β_{max} と最小値 β_{min} の比は、固有周期0.5秒程度以下では3~10, 1秒程度以上では8~20と大きな値となっていることがわかる。

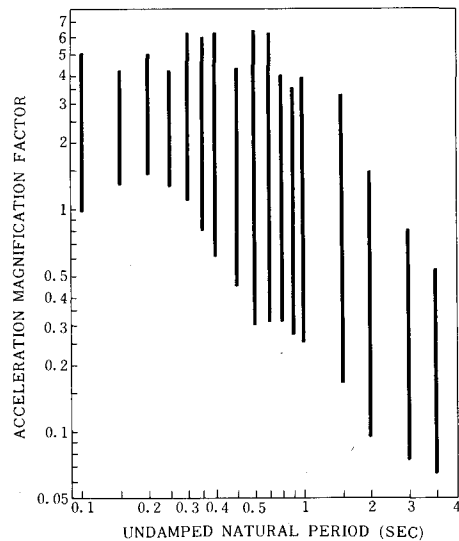


図-1 加速度応答倍率の分布幅

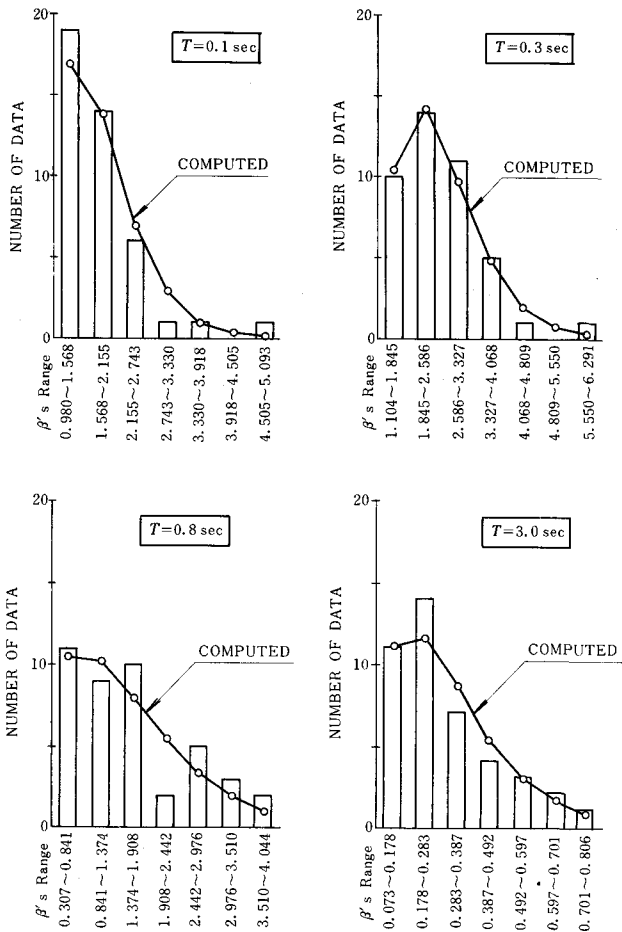


図-2 加速度応答倍率の分布形状の例

ある周期における加速度応答倍率の分布形状を知るために、 β_{min} と β_{max} の間を7つの等区間に分割し、各区間に含まれる資料の個数を調べた。結果の数例を図-2に棒グラフで示す。分布のようすは周期によって異なっているが、どの周期においてもきわめて非対称性が強く、ヒストグラムの山が応答倍率の小さな値の方へ大きくかたよっていることが注目される。このような分布を適切に表わす関係を求めるために何回かの試行を繰返した結果、新しい変数として

$$x = \sqrt{\beta - \beta_{min}}$$

を定義すると、 x の分布がどの周期においても近似的に正規分布とみなされることがわかった。表-2に、17の周期における β_{min} 、 x の平均値 $\bar{x}$ 、 $\bar{x}$ に対応する β の値 $\beta_{0.5}$ 、および x の標準偏差 σ_x を一覧表で示す。 $\beta_{0.5}$ は超過確率が50%の加速度応答倍率の値である。 x が正規分布に従うものと仮定して計算した β の分布の数例を図-2に折線グラフで示した。

表-2 β_{min} , $\bar{x}$, $\beta_{0.5}$, および σ_x の一覧表

UNDAMPED NATURAL PERIOD (SEC)	β_{min}	$\bar{x}$	$\beta_{0.5}$	σ_x
0.1	0.980	0.846	1.696	0.367
0.15	1.312	0.813	1.974	0.363
0.2	1.452	0.978	2.409	0.374
0.25	1.267	1.073	2.418	0.343
0.3	1.104	1.129	2.378	0.398
0.35	0.796	1.208	2.254	0.449
0.4	0.609	1.177	1.995	0.398
0.5	0.451	1.192	1.872	0.424
0.6	0.302	1.217	1.783	0.450
0.7	0.309	1.106	1.532	0.472
0.8	0.307	1.023	1.353	0.468
0.9	0.274	0.972	1.219	0.476
1.0	0.253	0.936	1.128	0.467
1.5	0.163	0.708	0.664	0.370
2.0	0.093	0.578	0.427	0.252
3.0	0.073	0.437	0.263	0.186
4.0	0.063	0.366	0.197	0.160

4. 超過確率つきの加速度応答倍率スペクトル

表-2にあたえられている $\bar{x}$ と σ_x を用いて、減衰定数5%の場合に対し、日本の平均的沖積層地盤上の地震動の超過確率をパラメータとした加速度応答倍率スペクトルを求めることができる。計算結果を図-3に示す。図-3の各スペクトルの、超過確率50%のスペクトルに対する比を図-4に示す。この図から、加速度応答倍率のバラツキが0.5秒以下の短周期に比較して、1秒前後以上の長周期において大きくなっていることがわかる。

超過確率つきのスペクトルを利用すれば、ある強震記録が日本の平均的なものにくらべてどの程度特殊なものであるかを判断す

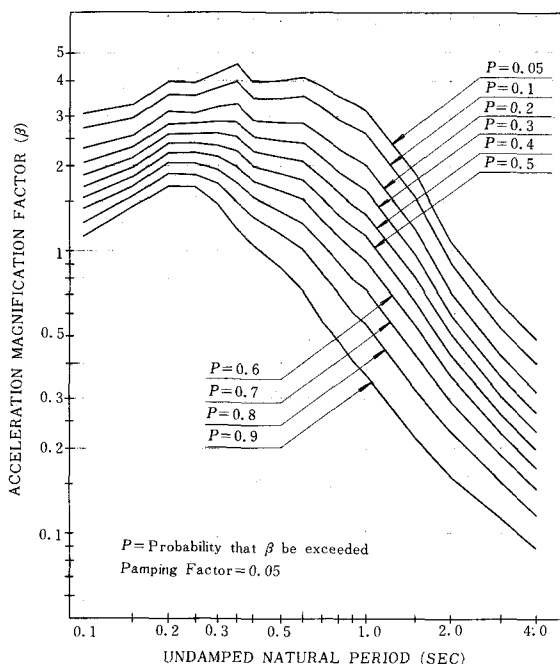


図-3 超過確率つき加速度応答倍率スペクトル

ることができる。図-5には1968年十勝沖地震の青森と八戸における強震記録の加速度応答倍率スペクトルが示されている。この図から、青森の記録は日本の平均的地盤上の地震動としては不適当であることがわかる。

5. むすび

本報告で示した加速度応答倍率の確率分布を、ある地点での地動の最大加速度の確率分布と組合せることにより、最大応答加速度の確率分布を推定することができる。この点に関しては、別の機会に発表する予定である。

もちろん、線形系の最大応答値を直接に構造物の被害に結びつけることはできない。しかし、震度法の考え方に基本的にもとづく設計法はいろいろな面で実際上便利な点が多く、設計における地震力として線形系のスペクトルを規準とする考えはこの点で有利である。したがって、構造物に関しては、破壊をもたらす過渡的外力の最大値と弾性設計に用いた地震力の比の分布を研究し、両者を勘案して安全性を検討するという方法を考えることも意味があろう。

6. 謝 辞

日本における強震記録の集積とその解析を通して、貴重な資料を提供し続けている運輸省港湾技術研究所および建設省土木研究所の関係各位に深甚なる謝辞を表する。

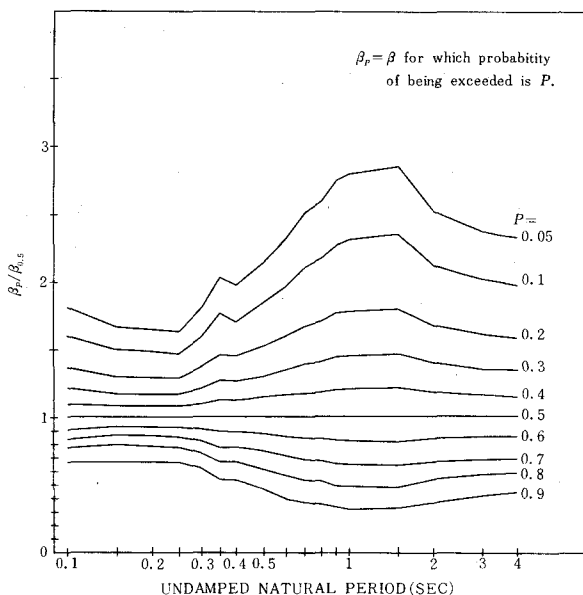


図-4 超過確率50%スペクトルに対する比の分布

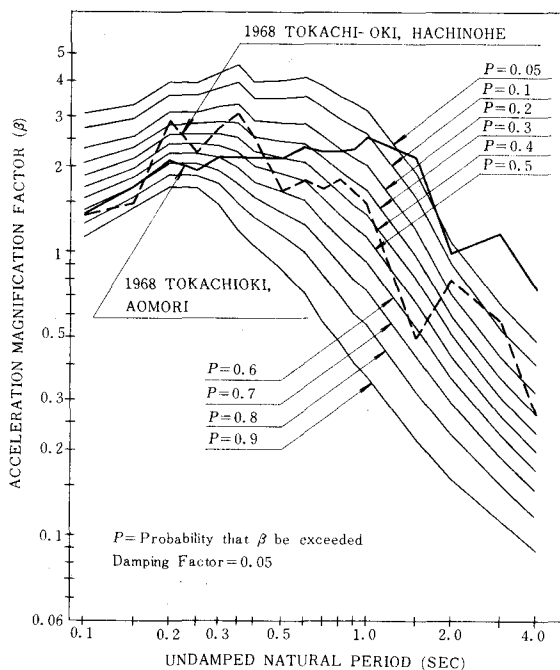


図-5 十勝沖地震記録のスペクトル