

# 構造物周期を考慮した地震危険度の全国的分布

東京大学生産技術研究所 正 片山 恒雄

1. まえがき 日本で得られた多数の地震動加速度記録から求めた加速度応答スペクトルの予測式<sup>(1)</sup>を地震発生資料と組合せることにより、1自由度系に理想化した構造物の固有周期を考慮し、地震危険度を加速度応答スペクトルの形で評価する手法についてはすでに発表した<sup>(2)</sup>。その後、基本的な考え方はそのままとし、細部に若干の修正を加えて、このような地震危険度解析の有用性について検討を加えてきた。さらに最近、この手法による危険度解析を日本全国約400地点に対して実施し、構造物周期の変化による地震危険度の地域分布について解析したので、ここに報告する。

2. 解析手法の概略 基本的な考え方は文献(2)と変えていないので、それ以後の修正点および特に注意すべき点のみをまとめる。詳しくは文献(3)または(4)を参照されたい。

注目地点を中心とした地域に発生した地震は、それらの震央距離および規模により表-1のように分類した。文献(1)で求めた予測式における震央距離の範囲は、最小の範囲が  $6 \leq \Delta \text{ km} < 20$ 、最大の範囲が  $200 \leq \Delta \text{ km} \leq 405$  であった。これは、用いた地震記録の最小および最大の  $\Delta$  が 6 km および 405 km であったことによる。しかし、解析に用いた地震記録をよく調べてみると、 $\Delta$  最大の範囲の上限は 350 km と考えた方がより適切であることがわかったこと、および危険度解析においては  $\Delta < 6 \text{ km}$  の近い地震に関する予測式が必要であることの原因から、表-1の分類にしたがって文献(1)の予測式を適用した。

文献(1)の統計解析結果の修正は最小限にとどめた。統計解析結果をそのまま使うと、いくつかの固有周期においては、 $120 \leq \Delta \text{ km} < 200$  の地震の方が、 $200 \leq \Delta \text{ km} < 350$  の地震より小さなスペクトル値を与えることになる。文献(1)でも指摘したように、重み係数値の逆転は使用データの不完全さに由来するものと考えらるべきであるので、常識的により妥当な結果が得られるように、 $120 \leq \Delta \text{ km} < 200$  の重み係数が 1.0 未満のものは 1.0 まで引き上げた。

日本周辺の地震発生の基本資料としては、有史以来1974年までの気象庁カタログを用い、約18,000個の地震から一定の基準により選出した約7,600個の地震をデータベースとした<sup>(2)</sup>。

本報告で述べた方法によって得られる加速度応答スペクトルは、任意の注目地点に対して、5つのパラメータを含むものとなる。

$$SA = SA(T, h, GC, t, p) \quad (1)$$

ここに

$T$  = 1自由度系の固有周期(秒)

$h$  = 0.05 = 1自由度系の減衰定数

$GC$  = 注目地点の地盤種別

$t$  = 解析の対象とする将来期間(年)

$p$  = 超過確率

である。以降以降の解析例は、すべて  $GC = II$  (洪積地盤) に対して計算されているが、地盤種別が異なる場合の結果は、図-1の係数を掛けることにより、容易に求められる。

3. 試算例による検討 式(1)が示すように、各種パラメータ値の組合せによって、1つの注目地点に対して多数の加速度応答スペクトル曲線が得られる。図-2および図-3は東京付近(140°E, 35.5°N)に対して計算された加速度応答スペクトルの例を示したものである。図-2は  $t = 75$  年に対して超過確率  $p$  を4通りに変化させた場合であ

TABLE 1. DISTANCE AND MAGNITUDE CLASSIFICATIONS.

	Distance Range		Magnitude Range
D1	$0 \leq \Delta < 20$	M1	$4.5 \leq M < 5.4$
D2	$20 \leq \Delta < 60$	M2	$5.4 \leq M < 6.1$
D3	$60 \leq \Delta < 120$	M3	$6.1 \leq M < 6.7$
D4	$120 \leq \Delta < 200$	M4	$6.7 \leq M < 7.5$
D5	$200 \leq \Delta < 350$	M5	$7.5 \leq M$

り、図-3は  $p=0.632$  (期待値の超過確率にあたる) に対して期間  $t$  を4通りに変化させた場合である。応答スペクトルの縦距はパラメータ値の取り方によって変化するが、洪積地盤上の記録のスペクトル形状はいずれの場合も類似しており、対象とする地点によらず以下のような特徴を有する。

- (1) 加速度応答スペクトルの最大値は  $T=0.2\sim 0.3$  秒で生ずる。
- (2)  $T=0.3\sim 1.0$  秒の間では若干の凹凸はあるが、ほぼ直線的に減少する。
- (3)  $T=1.0\sim 4.0$  秒の間では、前記(2)よりも急勾配でやはりほぼ直線的に減少する。

加速度応答スペクトル値が  $T<0.2$  秒で減少している理由は、日本の強震計の特性によるものと考えられる。したがって、洪積地盤上の記録の両対数目盛表示の加速度応答スペクトルは、3つの折線で近似することができよう。すなわち、 $T=0.3$  秒に対して、それより短い周期で発生する最大値をプロットし、 $T=1.0$  および  $4.0$  秒に対して、それぞれのスペクトル値をプロットする。 $T\leq 0.3$  秒の部分では加速度応答スペクトル値は一定として水平な直線で代表し、 $T=0.3, 1.0, 4.0$  秒の間は直線で補間すればよい。

図-4は、東京付近の洪積地盤上にある周期  $0.2$  秒、減衰定数  $0.05$  の構造物の加速度応答値が期間  $t$  と超過確率  $p$  により変化するようすを示したものである。2つのパラメータ  $p$  と  $t$  によるスペクトル縦距の変化は滑らかであり、 $t=75$  年の期待値 ( $p=0.632$ ) が求められていれば、任意の  $t$  と  $p$  の組合せに対する応答値の概略は次式で推定できる：

$$SA(t, p) = 0.25 t^{0.22} \times (1.9p^2 - 3.1p + 2.2) SA(75, .632)$$

$$25 \leq t \leq 200$$

$$0.1 \leq p \leq 0.7 \quad (2)$$

式(2)によれば、 $t=75$  に対する期待値を1とすると、 $t=25, 50$  および  $100$  に対する期待値は  $0.70, 0.87$  および  $1.09$  となり、期間の長さによって期待値はそれほど大きく変化しない。これに対し、同一期間に対して超過確率  $p$  を  $0.5, 0.3, 0.1$  と変化させると、 $p=0.632$  の場合を1としたときに、応答値は  $1.13, 1.44, 1.91$  と増大する。

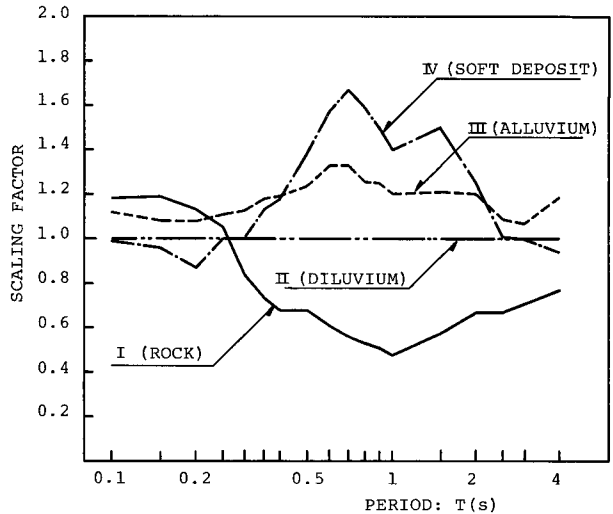


FIG.1. SCALING FACTORS FOR DIFFERENT GROUND CONDITIONS.

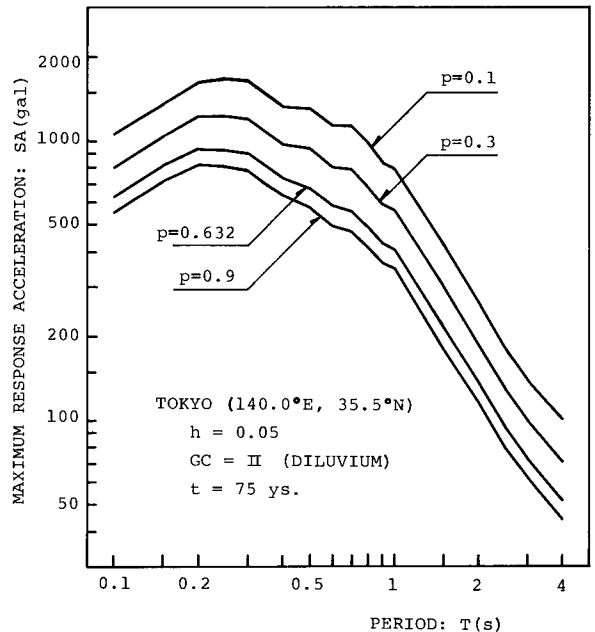


FIG.2. EXAMPLES OF COMPUTED ACCELERATION RESPONSE SPECTRA FOR TOKYO (1).

4. 地震危険度の全国的分布 すでに文献(2)で指摘したように、本報告で述べた危険度解析の手法によれば、どのような区別の地震が注目地点の地震危険度に最も寄与するかを明らかにすることができる。表-2は、距離区別の異なる地震が周期の異なる構造物の地震危険度にどのような割合で寄与するかを、5つの地点に対して計算したものである。例えば、東京の短周期構造物の危険度はほとんど近距離(60km未満)の地震に支配されているが、構造物周期が長くなるにつれて遠距離地震の寄与分が増加している。これに対し、札幌の地震危険度は東京にくらべて構造物周期によらず遠距離地震の寄与度が大きく、特に長周期構造物の危険度には遠距離地震が支配的に寄与していることがわかる。このように、同一地点においても、周期の異なる構造物の地震危険度は異なる区別の地震の影響を異なる割合で受けるのであり、地震危険度の地域的分布は構造物周期によって相違したものとなることが予想される。

構造物周期を考慮した地震危険度の全国的な分布を検討するため、日本全国の緯度・経度 $0.5^\circ$ おきの格子点約400箇所において、 $t = 75$ 年に対する加速度応答の期待値( $p = 0.632$ )を評価した。計算結果は各格子点ごとに1枚の加速度

応答スペクトルとして得られているが、ここでは3つの代表的な固有周期 $T = 0.2, 1.0, 4.0$ 秒のスペクトル値に注目する。

結果のまとめを図-5に示す。 $T = 0.2$ 秒の短周期構造物の加速度応答値は、最高の地点で $1061 \text{ cm/s}^2$ 、最低の地点で $391 \text{ cm/s}^2$ であり、これらの比は2.71である。これに対し、構造物周期が $T = 1.0$ および $4.0$ 秒では、前述の比の値が2.48および2.21となり、周期が長くなるにしたがって、加速度応答値で評価した地震危険度の

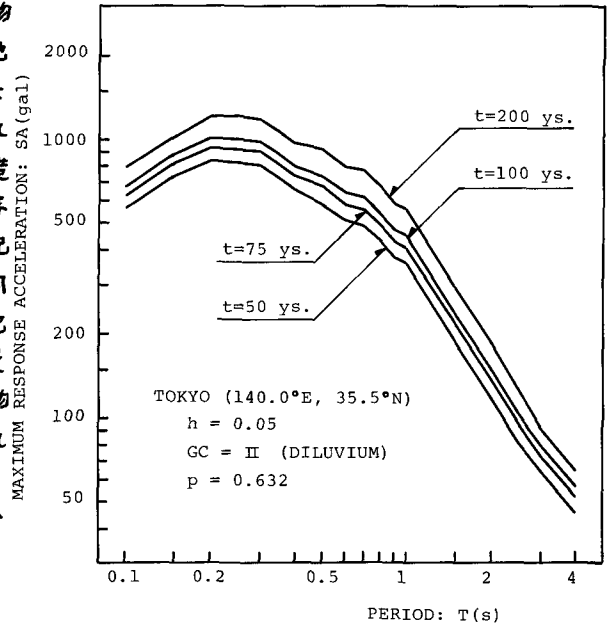


FIG. 3. EXAMPLES OF COMPUTED ACCELERATION RESPONSE SPECTRA FOR TOKYO (II).

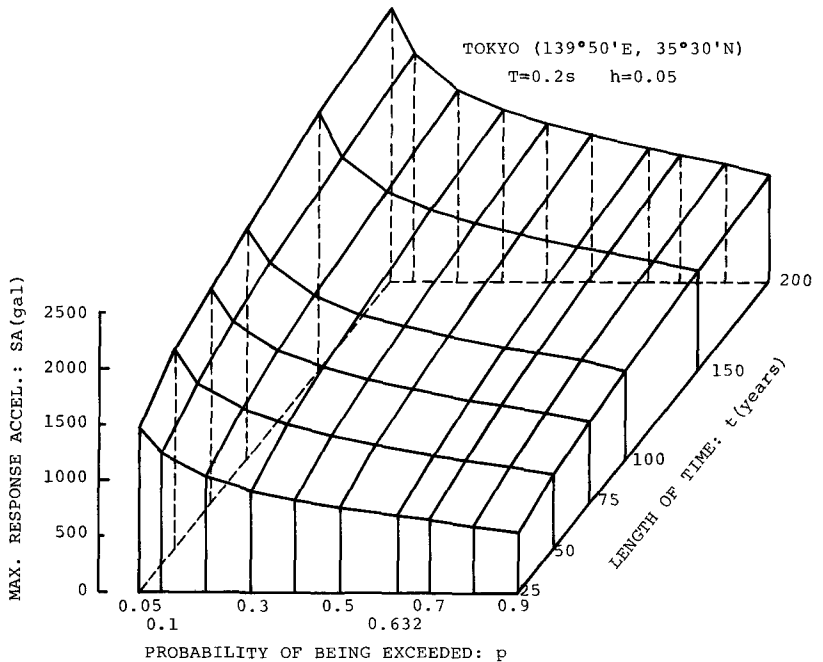


FIG. 4. AN EXAMPLE OF VARIATION OF SPECTRAL AMPLITUDE WITH  $t$  AND  $p$ .

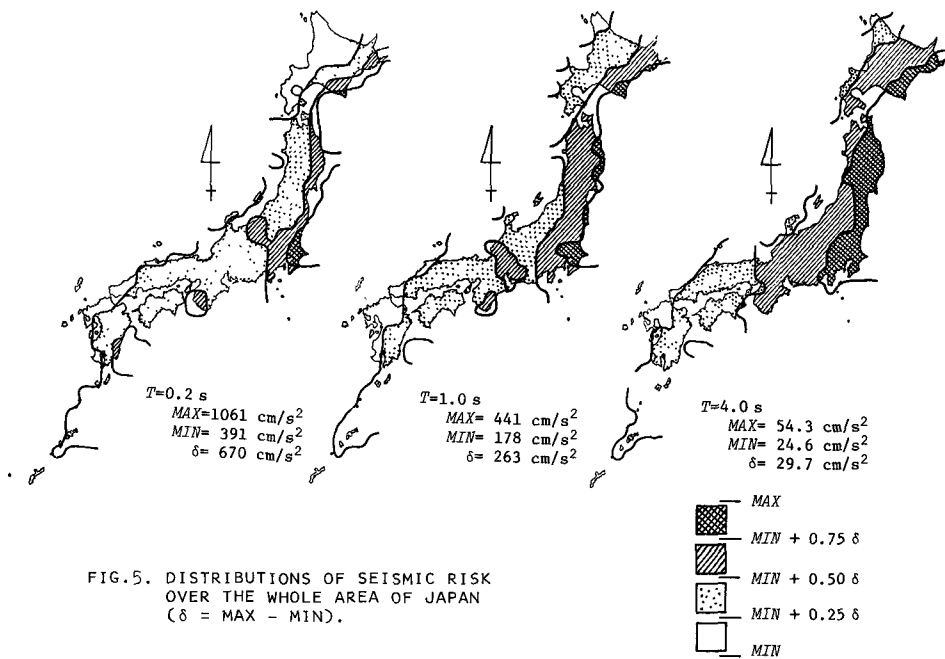


FIG.5. DISTRIBUTIONS OF SEISMIC RISK OVER THE WHOLE AREA OF JAPAN ( $\delta = \text{MAX} - \text{MIN}$ ).

全国的分布が一様に近づく傾向がわかる。この傾向は、各周期における加速度応答値の最大と最小の範囲を4等分して示した危険度分布地図によれば、さらに明らかとなる。すなわち、短周期構造物の応答値は距離による減少が著しいため、その危険度は注目地点の比較的近くに発生する地震に大きく支配され、危険度の高い地域は狭い

TABLE 2. RELATIVE CONTRIBUTIONS (IN PERCENT) FROM DIFFERENT EARTHQUAKE SOURCES TO SEISMIC RISK ( $t=75$  AND  $p=0.632$ ).

T (s)	Sapporo			Sendai			Tokyo			Kyoto-Osaka			Kita-Kyushu		
	D1	D3	D4	D1	D3	D5	D1	D3	D4	D1	D3	D4	D1	D3	D5
	D2	D3	D5	D2	D3	D5	D2	D3	D5	D2	D3	D5	D2	D3	D5
0.2	40	23	37	50	38	12	80	17	3	60	33	7	58	27	15
0.5	34	13	53	53	18	29	83	9	8	46	24	30	54	15	31
1.0	22	12	66	34	22	44	68	15	17	28	28	44	40	16	44
2.0	19	11	70	27	23	50	60	16	24	24	30	46	37	15	48
4.0	14	11	75	17	26	57	40	20	40	17	33	50	27	17	56

地域に限られている。一方、長周期構造物の応答値は、規模の大きな地震による影響を特に強く受け、さらに地震波の長周期成分は距離による減衰が小さいこともあり、ほとんど同レベルの高い危険度の地域が広い範囲にわたっていることがわかる。

5. あとがき 加速度応答スペクトルを地震規模・震央距離・地盤条件とから予測する経験式を、地震発生資料と結びつけることにより、構造物周期を考慮して地震危険度を評価する手法を開発し、その応用性を試算例により確かめた。さらに、この手法により日本全国の地震危険度の分布を検討したところ、加速度応答値を用いて評価された危険度の地域分布が、構造物周期により異なることがわかった。特に長周期構造物の地震危険度の高い地域は短周期構造物にくらべて広い地域にわたっている事実は、今後の設計指針を考える際などには1つの参考資料となる。

参考文献 (1) 片山・岩崎・佐伯, 土木学会論文報告集, No. 275, 1978; (2) Katayama, T., Proc. 5th Japan Earthq. Eng. Symposium - 1978; (3) Katayama, T., Bull. Earthq. Resistant Struc. Research Center, Inst. of Industrial Sci., Univ. of Tokyo, No.12, 1979; (4) Katayama, T., to be presented at U.S. Nat. Conf. on Earthq. Eng. (Aug. 22-24, 1979).