

武蔵工業大学工学部 正会員 星谷 勝
山口県庁 杉山 滋
武蔵工業大学大学院 学生員 永田 茂

1. まえがき 構造物の動的応答解析に用いる入力地震動は想定される地震の規模、地震動の伝播経路・震央距離および構造物架設地点の周辺地盤特性などを考慮する必要がある。一方、地震動特性値は地震加速度波形の持つ多面的特性を同時に、かつ総合的に把握することが可能であり、構造物の応答といった構造特性も考え合わせたものでなければならない。そこで、本研究では次のことを目的とする。①各地震動特性値が構造物の損傷にどの程度寄与しているかを調べるために、Housner¹⁾らの考えに基づいて速度応答スペクトルの2乗値(SV^2)に着目した。そして、 SV^2 と各地震動特性値の相関分析を行い最適な地震動特性値の選択を行う。②地震動特性値を要約して2, 3個の総合特性値で表わす。③要約化された総合特性値と地震特性・地盤特性の関係を回帰推定式で表わす。④地震波形の予測を行い、若干の検討を行う。

2. 解析方法 1)継続時間・強度特性・形状特性・周波数特性を過去の文献を参考にして多数抽出する。2)多くの特性値の中から構造物の破壊に最も影響を及ぼすものを選択するため、 SV^2 と各地震動特性値との相関分析を行った。このとき、固有周期 $T=0.1\sim 2.5\text{sec}$ 、減衰定数 $h=0.05$ の構造物を考えた。3)相関分析等の結果をもとに選択された地震動特性値について主成分分析を行い、2, 3の総合特性値に要約する。4)この総合特性値を目的変数に、マクニチュード M ・震源距離 X ・地盤の固有周期 T_g の3つを説明変数とした重回帰分析を行い回帰推定式を求める。このようにして回帰推定式が得られると $M \cdot X \cdot T_g$ を与えることにより、予想される地震波形の特性を定量的に表現することが可能となる。

3. 使用地震データ 本研究で使用したデジタル地震記録は、建設省土木研究所・運輸省港湾技術研究所で公表された地震資料から70成分の地震記録を選択して解析に用いた。なお、選択の基準として次のような点を考慮した。1)最大加速度が40gal以上の水平成分であること。2)道路橋示方書²⁾に示されている第3種地盤を中心とした記録であること。3)マクニチュード M ・震央距離 Δ ・地盤柱状図が明らかなもの。

4. 地震動特性値の選択 1)継続時間……今回の解析では、Husid, McCann & Shahなどの4つの手法に着目した。各手法により定められた有効継続時間と原記録について速度応答スペクトルを求めて比較したところ、形状・大きさ共に顕著な違いはみられなかった。今回の解析では、地震動の立ち上がり部分を有効継続時間⁴⁾内に含む傾向のあるMcCann & Shahの手法を採用した。2)強度特性・形状特性・周波数特性……本研究のように実地震の地震動特性を考える場合、振幅・周波数の非定常性に関する検討は重要である。そこで、必要と思われる特性値は非定常スペクトル(Physical Spectrum)³⁾解析を行って求めた。このようにして得られた地震動特性値と SV^2 の相関分析を行った結果に工学的判断を加えて、次のような特性値を選択した。

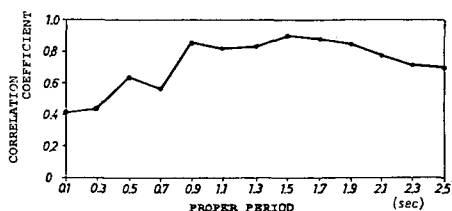


図-1 SV^2 と最大速度 V_{max} の単相関

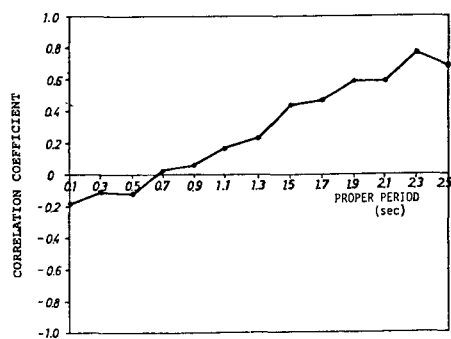


図-2 SV^2 と継続時間 T_d の単相関

①絶対最大速度 V_{max} (cm/sec), ②継続時間 T_d (sec), ③時間標準偏差 AWS (sec), ④中心振動数の経時的变化 A , ⑤卓越振動数 ω_1 (1/sec) 図-1, 図-2は横軸に構造物の固有周期, 縦軸に相関係数を取り, 固有周期の変化により相関関係が変化する様子を示した。

表-1 因子負荷量・累積寄与率

	Z_1	Z_2	Z_3
V_{max}	0.216	0.086	0.958
T_d	0.966	0.111	0.145
AWS	0.960	0.082	0.186
A	0.116	0.970	0.083
ω_1	-0.190	-0.218	-0.178
固有値	2.684	1.044	0.728
累積寄与率	0.537	0.745	0.891

5. 主成分分析による地震動特性値の要約化

第1主成分 Z_1 は継続時間と形状に関する情報をもつ総合特性値である。 Z_1 が大きければ継続時間も長く持続的な波形となる。逆に小さければ継続時間は短く, 形状は衝撃型の波形と言える。第2主成分 Z_2 は中心振動数の経時の変化に関する情報と, 卓越振動数に関する情報を若干含んだものである。すなわち, Z_2 が大きければ中心振動数の経時の変化は小さく, 低振動数成分を多く含む波形と言える。また, Z_2 が小さければ, 中心振動数の経時の変化は大きく, 高振動数成分が卓越した波形と言うことができる。第3主成分 Z_3 は, 広い意味で加速度波形の大きさに関する情報を含んでいると考えられる。つまり, Z_3 が大きければ規模の大きな波形となり, Z_3 が小さければ規模の小さな波形となる。

6. 重回帰分析による回帰推定式の作成

主成分分析により各地震記録には, 第1～第3主成分得点 (Z_1, Z_2, Z_3) がそれぞれ与えられた。この $Z_1 \sim Z_3$ を目的変数, マグニチュード M ・震源距離 X ・地盤の固有周期 T_g を説明変数として重回帰分析を行い, 回帰推定式を作成した。以下に示す。

$$Z_1 = -5.406 + 0.627M + 0.576 \log X + 0.737T_g \quad \cdots (6-1)$$

$$Z_2 = 2.784 - 0.070M - 0.761 \log X - 1.912T_g \quad \cdots (6-2)$$

$$Z_3 = -1.281 + 0.349M - 0.653 \log X - 0.489T_g \quad \cdots (6-3)$$

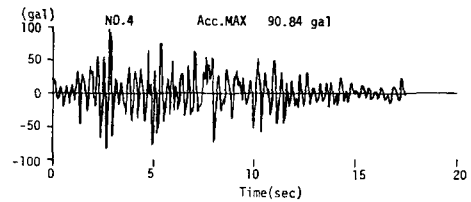


図-3 予測地震波形 ($M=6.5, X=90 \text{ km}, T_g=0.53 \text{ sec}$)

7. 予測地震波形の作成と検討

想定される地震の $M \cdot X \cdot T_g$ を回帰推定式に代入することにより, 各主成分得点を予測する。一方, 70波の各地震波形には各主成分得点が与えられているので, この得点を仲立ちとして適当なる波形を選択する。この後, 3波から Z_1, Z_2, Z_3 の表わす情報を抽出し, これらを合成して予測波形の作成を行った。図-3に, $M=6.5, X=90 \text{ km}, T_g=0.53 \text{ sec}$ の場合の予測波形を示した。また, 予測地震波の標準化加速度応答スペクトルと総アロで得られた第3種地盤の応答スペクトル曲線を比較したものを図-4に示した。

8. まとめ

1) 地震動特性値の評価から, 構造物の損傷に寄与する特性値が構造物の固有周期の変化とともに, 変わってゆくことを示した。2) 地震特性 ($M \cdot X$), 地盤特性 (T_g) を考慮した予測波形の作成が可能となった。3) 予測地震波を作成する場合, 基本波形として実地震波を用いるためのシミュレーション技法のように地震動特性を集団的な平均として与えているものとは異なり, 実地震動により近い振幅, 周波数の非定常性の再現も可能となった。

参考文献

- 1) Housner, G.W.: "Limit Design of Structures to Resist Earthquake", Prof. of Int. WCEE, 1956
- 2) 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 日本道路協会 昭和55年
- 3) 星谷・磯山: 79次元非定常確率過程による地震動シミュレーション, 土木学会論文報告集, 第269号 1978年1月, 4) Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 69, No. 4, pp. 1253-1265, August 1979

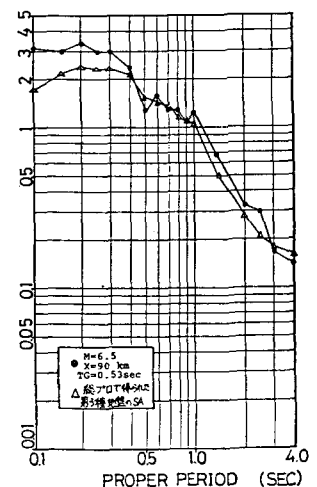


図-4 標準化加速度応答スペクトルの比較図