

一自由度系の非弾性応答に関する模擬地震動の特性について

日本構造物設計事務所 正会員 西本 英生
 徳島大学工業短期大学部 正会員 平尾 潔
 徳島大学工学部 正会員 沢田 勉
 徳島大学工学部 正会員 成行 義文

1 まえがき 我が国における耐震設計法では、大規模構造物や地震時挙動の複雑な構造物については動的応答解析を行なって安全性を照査することが義務づけられている。しかし、構造物の応答が入力地震動に大きく依存することより、その際にかがなる入力地震動を用いるかが問題となる。そこで本研究では、このような構造物の動的応答解析等に有用な模擬地震動を模索する目的で、加速度応答スペクトルが目標とするそれに合致するような2-3の模擬地震動を作成し、Bi-linear型復元力特性をもつ一自由度系の解析結果をもとに、その特性について若干の比較検討を行った。

2 模擬地震動作成法の概要 一般に地震動加速度波 $z(t)$ は、 A_k を有限フーリエ振幅、 T を継続時間、 ϕ_k をフーリエ位相、 N を振動数成分の数として式(1)のように表わされる。詳細は文献1)に譲るが、式(1)における T 、 ϕ_k 、 N に適当な値を与え、 $z(t)$ を作成し、 A_k の値を順次修正しながら繰り返し計算を行なうことにより、その加速度応答スペクトルが目標とするものに一致するような $z(t)$ が求められる。本研究では、この際の目標応答スペクトルとして文献2)に規定されている設計加速度応答スペクトルのもととなる平均加速度応答スペクトルを選び、3種地盤に対する小規模および中規模地震を対象とした。また基本震度は200 galとし、強震部の継続時間 $T_G(sec)$ は文献3)を参照し、式(2)より決定した。ここに、 M はマグニチュード、 Δ は震央距離である。そして、

$$z(t) = \sum_{k=1}^N A_k \cos\left(\frac{2\pi k t}{T} + \phi_k\right) \quad (1)$$

$$T_G = 0.197 10^{0.179M} \Delta^{0.254} \quad (2)$$

全継続時間 T は地震動の位相差分を正規分布と考えたこと、ならびに本研究で用いた高速フーリエ変換のデータ数 N が2の累乗となる必要があることから、 $0.02 \cdot N$ (0.02 は $z(t)$ の時間間隔 sec) が $6 \cdot T_G$ 以上となる最小の N を求め、それより決定し、位相差分の標準偏差 σ は式(3)より算出した。なお、この模擬地震動の作成方法では式(3)の標準偏差 σ が強震部の揺がりに、また位相 ϕ_k の平均 μ が強震部の位置に関係することになるため、本研究ではこれらの作成パラメータ(σ 、 μ 、 T 等)を2、3変化させ、試行錯誤的に10個の模擬地震動を作成した。図1にその代表的な加速度波形とそのフーリエスペクトルを示す。

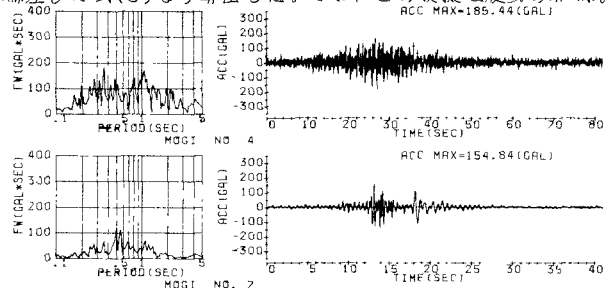


図 1

3 エネルギー応答の基本式 1質点系モデルに、地震動 $x_0(t)$ が $t=t_0$ で入力してから、ある時刻 t までのエネルギー応答に関する基本式は、運動方程式を積分することにより次式のように表わされる。ここに、 x は相対変位、 \dot{x} は相対速度、 \ddot{x} は相対加速度、 h は減衰定数、 ω は固有円振動数、 $Q(\omega)$ は復元力であり、左辺第1項は運動エネルギー、第2項は減衰エネルギー、第3項は履歴エネルギー、右辺は地震動による入力エネルギーを表わす。なお、本解析では、微小増分時間内では各応答値が直線的に変化するものとみなし、式(4)の積分は台形公式により、また、各時刻における x 、 \dot{x} 、 \ddot{x} 等の各応答値は線形加速度

$$\int_{t_0}^t x \ddot{x} dt + 2h \int_{t_0}^t \dot{x} \ddot{x} dt + \omega^2 \int_{t_0}^t Q(x) dx = - \int_{t_0}^t \ddot{x}_0 x dt \quad (4)$$

法により求め、復元力特性($Q(x)$)としてはBi-linear型モデルを用いた。そして、構造物の特性パラメータとしては、固有周期 T_E 、減衰定数 μ 、弾塑性剛性比 k_p および降伏強度比 γ を選び、 T_E には0.1~5.0秒の範囲を対数軸上で19等分して得られる20通りの値、 μ には0.01, 0.025, 0.05, 0.075, 0.1、 k_p には0, 0.125, 0.25, 0.375, 0.5 および γ には0.25, 0.5, 0.75 の値を用いて解析した。

4 解析結果 本研究で作成した模擬地震動は、入力地震動の最大加速度を200 galとした場合の加速度応答スペクトルが等しくなるという統一した基準をもっている。したがって、この点を基準として作成した地震動をそのまま用いて、各地震動に対する構造物の降伏変位も各周期ごとに同一にして解析し、模擬地震動特性(作成パラメータ σ , μ , T の相違)が各応答値に及ぼす影響について比較検討した。詳しいことは講演当日紹介することとし、ここでは弾塑性入力エネルギー(WEP)、履歴吸収エネルギーの弾塑性入力エネルギーに対する比(WHP/WEP)および履歴吸収エネルギーによる等価速度の弾性最大速度に対する比($\sqrt{2}WHP/VELMAX$)に対する結果をそれぞれ図2、図3、および図4に示す。図2より(WEP)は、継続時間 T および強震部の拡がり σ によつて差がみられ、 T および σ が大きくなるにつれて応答値も大きくなることわかる。図3より(WHP/WEP)は、長周期領域において T による差がみられ、 T が大きいものの応答値が大きくなり、0.5秒付近で落ち込む傾向がみられるが、強震部の拡がり等の影響はあまりみられない。また、図4より($\sqrt{2}WHP/VELMAX$)は、 T が大きくなると応答値が少し大きくなるが、この比も地震動特性の影響をあまりうけないことがわかる。

5 まとめ 同一の加速度応答スペクトルをもつ模擬地震動であっても、その作成パラメータ、すなわち継続時間、強震部の拡がり等によつて各応答値にかなりの差が生ずる場合がある(ただし、応答値の比をとった場合にはこれらの影響が相殺され、その差がみられなくなる場合が多い)。よつて、このような模擬地震動を用いて構造物の応答値を検討する場合にも、実地震動の場合と同様に、特性の異なる数種の地震動を作成し、総合的に検討することが必要と思われる。

6 参考文献

- 1) 沢田 勉・平尾 潔 目標応答スペクトルに合致する模擬地震動の一作成法, 第17回地震工学研究発表会, 講演概要, 1983年 7月
- 2) 日本道路協会 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 丸善, 1980年 11月
- 3) 沢田 勉・永江正広・平尾 潔, 位相差分による地震動継続時間の定義とその統計解析, 土木学会論文報告集, 第368号 I-5, 1986年 4月

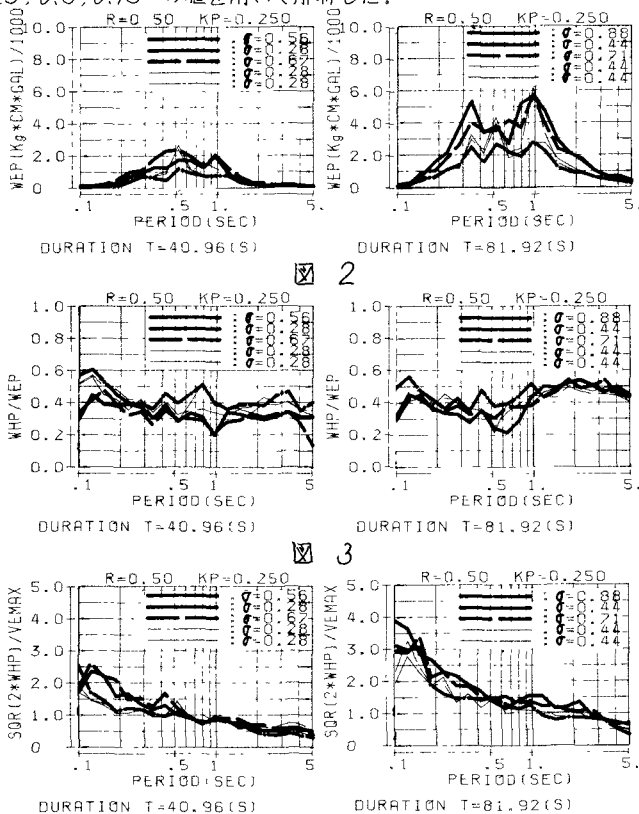


図 4