

1. はじめに

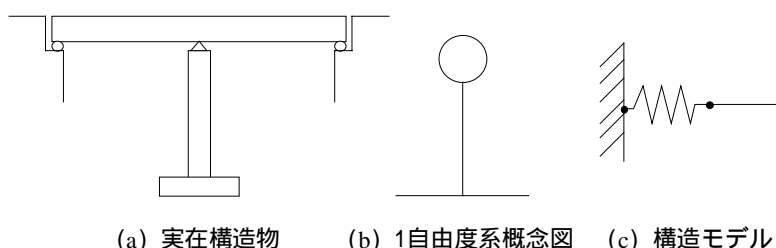
近年、発生が予想されている東海地震や東南海地震、さらにそれらの連動型地震では、断層規模が非常に大きいため、地震動継続時間が数分程度と非常に長くなることが予想されている。現在、これらの地震による被害予測は、計測震度を基に行われている。しかし、計測震度は、地震動継続時間の影響があまり考慮されていない指標となっている。そこで、本研究では RC 構造物を解析対象とし、継続時間の異なる地震動加速度波形を入力外力として地震応答解析を行い、地震動継続時間の違いが RC 構造物に及ぼす影響を検証する。また、地震応答解析をより簡便に行うために、解析対象を多自由度系モデルから 1 自由度系モデルに縮約し、構造物の基本的な情報（形状、高さ、質量等）から地震動継続時間の影響を考慮した被害予測の適用性を検討した。

なお、本研究における地震応答解析の方法は、構造物を節点とはりから成る平面モデルとし、地震加速度波形を入力加速度として一方向に入力し、離散型運動方程式を解くことにより地震応答解析を行った。減衰はレイリー減衰、減衰定数 0.02 とした。数値解析には Newmark- β 法を用いた。

2. 1 自由度系モデルへの縮約

2.1 1 自由度のモデル化

図-1 (a) のような構造物を図-1 (b) のような 1 自由度系の構造物に置き換える。さらに、その 1 自由度系の構造物を図-1(c) のようにモデル化する。今回は、対象とする構造物を 1 本柱形式の高さ 15m ~ 35m の橋脚を有する道路橋とした。また、図-1 (c) にある 2 つの節点間を単位長さの剛体要素とし、材端ばねを非線形ばねとすることで、構造物の復元力特性を表現した。



(a) 実在構造物 (b) 1自由度系概念図 (c) 構造モデル

図-1 1 自由度系構造モデル

2.2 復元力特性

本節では、復元力特性の決定方法を示す。複数のある程度形状の似た道路橋に対して静的単方向載荷解析を行い、構造物全体の水平抵抗力-変形量 ($P - \Delta$) 関係を求める。水平抵抗力 P を等価質量 M で割り、同様に変形量 Δ を構造物高さ H で割ることで $P/M - \Delta/H$ 関係が求められる。ここで等価質量とは、構造物頂部の水平変位を 1 としたときの構造物高さ方向での水平変位割合を質量に掛けたものである。このように求められた $P/M - \Delta/H$ 関係を図-2 に示す。

次に、各構造物について求めた $P/M - \Delta/H$ 関係の平均を取り解析対象構造物の高さおよび等価質量を入力することで得られる水平抵抗力-変形量関係を、その構造物の 1 自由度系モデルでの復元力モデルとした。

3. 1 自由度系モデルの評価

3.1 評価方法

本節では、1 自由度系モデルにおける解析結果を多自由度系モデルにおける解析結果と比較し、第 2 章の方法によって求められた復元力特性が適当であるかを検証する。解析対象構造物は 橋 P1 橋脚とした。入力地震動は 119 成分の地震動加速度波形である。観測記録は気象庁、旧運輸省港湾技術研究所、旧建設省土木研究所および防災科学研究所 K-NET 等のものである。

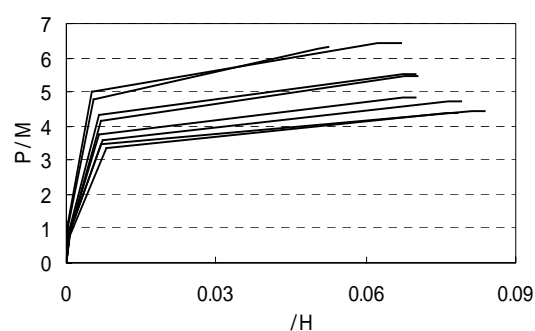


図-2 桁橋 (8 種類) 復元力特性

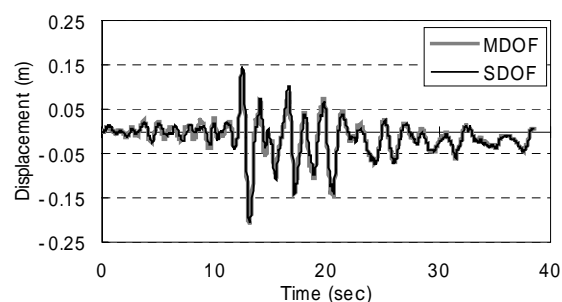


図-3 橋の時刻歴応答変

3.2 評価結果

1 自由度系モデルにおける解析結果と多自由度系モデルにおける解析結果から得られた時刻歴応答変位を重ねたものを図-3 に示す。入力地震動は広尾沖地震（1962年）とした。図-3 より、両モデルがほぼ等しい挙動を示していることが確認できた。同様に、119成分の地震動加速度波形すべてでほぼ等しい挙動を示すことを確認した。

4. 地震応答解析

4.1 解析方法

解析対象構造物は、第3章で復元力特性を求める際に採用したものと似た形状ということから、構造物高さ15m、25m、35m、等価質量がそれぞれ290t、318t、342tである2径間単純桁橋形式の道路橋とした。

入力する地震動加速度波形は第3章で用いたものと同じのものを使用し、各地震加速度波形について計測震度が5.0から7.0まで0.5刻みの5段階になるよう振幅調整を行った。地震動継続時間を表す指標は T_{90} （累乗加速度パワーが全体の5～95%となる時間）とした。また、地震動継続時間の長短の判断基準として119成分のほぼ平均値に当たる20秒で区切り、地震加速度波形を2つのグループとした。さらに、各地震動加速度波形についてスペクトル解析を行い、卓越周期が1.0秒以上のものを長周期地震動、1.0秒未満のものを短周期地震動と分類した。

なお、本研究で使用した解析プログラムでは地震動継続時間の影響を十分に再現できない為、文献調査の結果を参考に、降伏変位を超える載荷繰り返し回数により終局変位を変化させるで、地震動継続時間の影響を再現し、継続時間の影響を考慮した損傷評価を行うこととした。

4.2 解析結果

解析結果の一例から、橋脚高さ15m、25m、35mにおける計測震度-平均損傷率関係を図-4 に示す。図-4 より、継続時間が長い場合、継続時間が短い場合よりも平均損傷率が大きくなることが示された。その比率は計測震度が大きくなるほど大きくなり、橋脚高さ計測震度が5.0のときには1.31倍だったものが、計測震度7.0のときには2.0倍となった。ここで、地震動継続時間の分類ごとに同じ平均損傷率になる場合の計測震度を調べた。他の高さについても同様に、ほぼ等しい結果が得られた。

$$I' = 1.26I - 1.2 \quad (2)$$

ここで、 I' : 継続時間が長い地震動の計測震度

I : 継続時間が短い地震動の計測震度

ただし、計測震度 I は5以上とする

I' を被害予測に用いる計測震度とすれば、式(2)を用いて継続時間の長い地震動の計測震度を割り増すことで（例： $I=6.0$ $I'=6.36$ ）海溝型巨大地震に対する被害予測の精度を高めることができると考えられる。

5. まとめ

本研究では長い地震動継続時間がRC構造物の被害に及ぼす影響を、1自由度系モデルを用いた地震応答解析により検証した。その結果、計測震度が同じであっても地震動継続時間が長い場合には構造物の損傷が大きくなることを示した。

また、地震動継続時間の影響を考慮した計測震度の検討も行い、海溝型巨大地震に対して計測震度の割り増しを行う関係式を示した。今回は、対象が高さ15～35mの単純桁橋形式の道路橋という限定されたものとなったが、今後、ラーメン橋や様々な形式の構造物を解析対象とし、解析例を増やしていくことによって、海溝型巨大地震に対する被害予測の精度を高めることが可能であると考えられる。

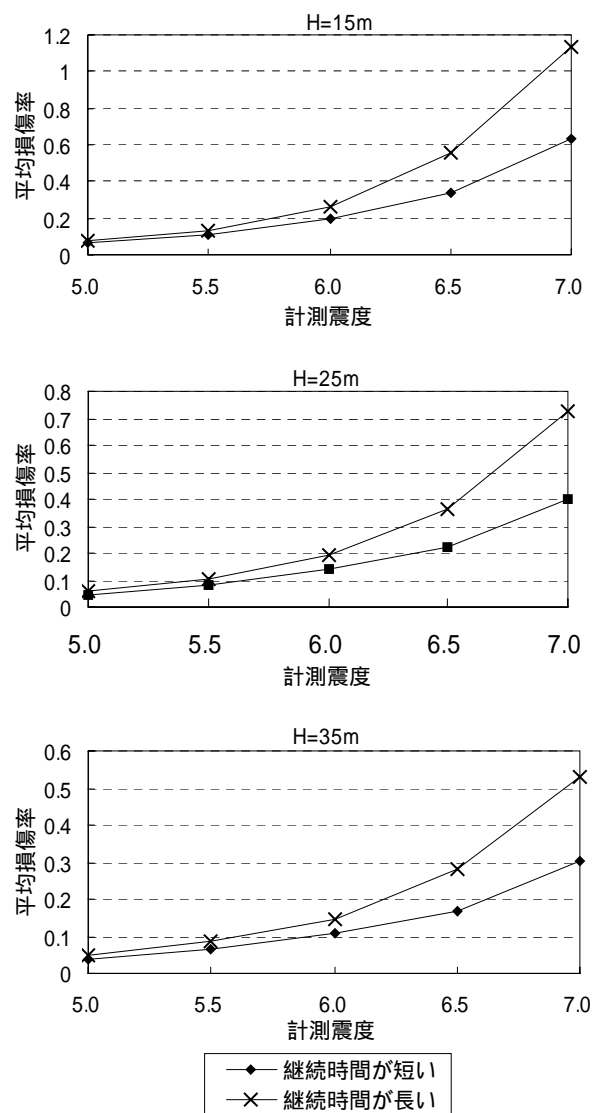


図-4 計測震度-損傷率関係