

同一応答スペクトルを有する模擬地震波による弾塑性応答の変動性

群馬工業高等専門学校 環境都市工学科（名古屋大学大学院博士課程） 正会員 北原武嗣
 名古屋大学 理工科学総合研究センター フェロー会員 伊藤義人

1. はじめに 兵庫県南部地震以降，構造物の耐震設計において，弾塑性挙動を明確に照査することが求められるようになった．この際，地震荷重は弾性応答スペクトルの形で示されることが多い．道路橋示方書では，地震時水平耐力法を用いて，弾性応答スペクトルから弾塑性応答を推定することになる．しかしながら，構造物の弾塑性挙動は地震波の非定常性の影響を受けるため，同一の弾性応答スペクトルを有する複数の波による応答結果は，通常異なったものとなる．したがって，同一の弾性応答スペクトルを有する地震波群による弾塑性応答の変動性を把握することは，耐震設計にとり重要な課題であると考えられる．地震波の非定常性として，位相特性と継続時間が考えられるが，本研究では，位相特性のみを取り上げた．

2. 模擬地震波 同一の弾性加速度応答スペクトルを有する地震波群として，道路橋示方書のタイプレベル2の応答スペクトルをターゲットとした模擬地震波を50波作成した．模擬地震波は，図-1に示すJennings型の包絡曲線になるように，正弦波合成法によって作成した．位相特性は乱数として与え，初期位相の値を変化させることで50波を作成した．図-1において $0 \sim T_a$ 間は放物線， $T_b \sim T_c$ 間は指数関数型の曲線で表される．作成した模擬地震波の弾性加速度応答スペクトルを図-2に示す．図-2から，周期2,3秒以上の範囲においてややばらつきが大きい，全体的にターゲットスペクトルに良く収束しているといえる．

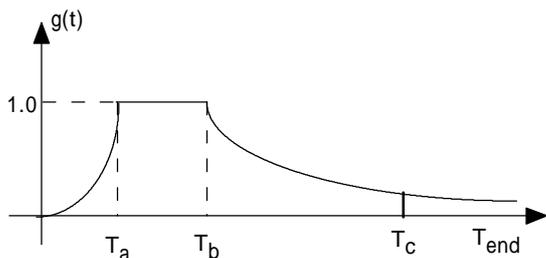


図-1 Jennings型包絡曲線

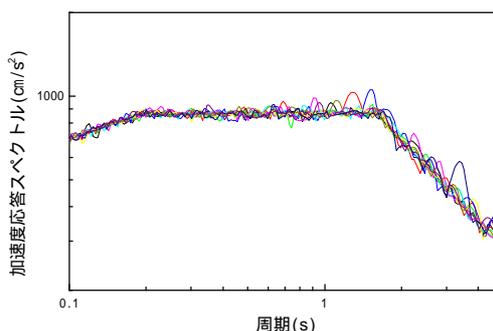


図-2 模擬地震波の加速度応答スペクトル

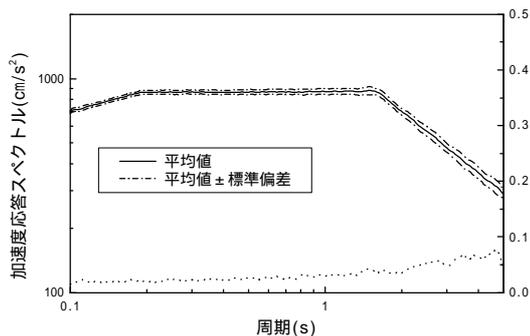


図-3 加速度応答スペクトルの統計値

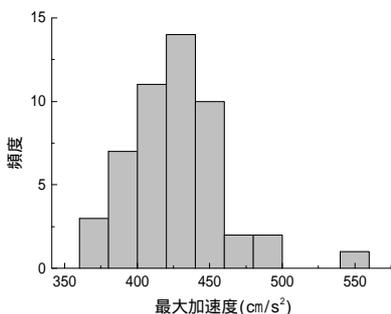


図-4 最大加速度分布

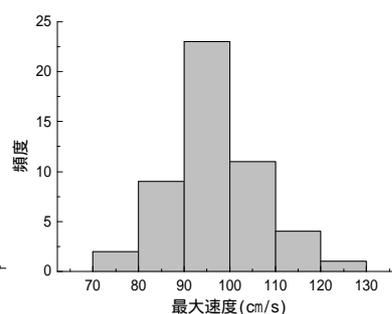


図-5 最大速度分布

図-3には，実線で加速度応答スペクトルの平均値を，1点鎖線で平均値±標準偏差の値を，また，点線で変動係数の値を示している．図-3から，平均値はターゲットスペクトルに良く合致していることが，また周期2秒程度以下では変動係数が0.02～0.04程度と十分に小さいことがわかる．次に，作成した模擬地震波の

Key Words : 弾性応答スペクトル，弾塑性応答，変動，橋脚

〒371-8530 前橋市鳥羽町580 群馬工業高等専門学校 環境都市工学科 TEL:027-254-9189

表-1 最大加速度，最大速度の統計値

	平均値	標準偏差	変動係数
最大加速度	427.4 (cm/s ²)	35.2 (cm/s ²)	8.23 (%)
最大速度	96.4 (cm/s)	9.08 (cm/s)	9.42 (%)

表-2 解析諸元

モデル名称	降伏水平力 (kN)	降伏水平変位 (cm)	固有周期 (s)
RC38	5570	4.23	0.38
RC44	5490	4.12	0.44
RC56	1490	3.88	0.56
RC61	1450	3.92	0.61
RC71	1380	3.27	0.71

最大加速度と最大速度のヒストグラムを図-4，図-5に示す．図-4，図-5より最大加速度は375～545cm/s²程度，最大速度は75～125cm/s程度の範囲で分布していることがわかる．また，最大加速度と最大速度の平均値，標準偏差および変動係数を表-1に示す．表より，最大加速度は8.2%，最大速度は9.4%の変動係数を有しており，同一の弾性加速度応答スペクトルを有する模擬地震波でも，地震波の最大加速度や最大速度は約10%弱の変動係数を有する程度にばらつくことがわかる．

3．解析対象 現行の道路橋示方書により2種地盤上の橋脚として一次設計されたRC橋脚を検討対象とした．検討に用いた橋脚の諸元を表-2に示す．表-2に示したように対象とした橋脚は固有周期が0.38～0.71秒の間に分布している．これらの橋脚を1質点のばね-質点系モデルとし，基礎固定として解析を行った．復元力特性は，D-トリリニアモデルを用いた．2．で作成した模擬地震波50波を各解析モデルに入力し，弾塑性時刻歴解析を行った．各橋脚に対する50個の応答解析結果を用いて弾塑性応答の変動性を検討した．

4．解析結果 解析結果を図-6に示す．縦軸は時刻歴解析で求めた最大応答変位を降伏水平変位で除した値を，横軸は解析モデルの固有周期を表している．また図中， \blacksquare は解析結果を， \circ ， ∇ はそれぞれ，各解析モデルの最大応答変位/降伏水平変位の平均値，平均+標準偏差，平均-標準偏差を示している．また，最大応答変位/降伏水平変位の平均値と変動係数の値を表-3に示す．これらの図表から，最大応答変位/降伏水平変位の平均値は，2.03～2.34の間に，変動係数は22.6～26.2%の間に分布しており，構造物の固有周期にかかわらずほぼ等しい値となっていることがわかる．また，最大応答変位/降伏水平変位の最大値と最小値では3倍程度の差があることがわかる．したがって，設計において，弾性応答スペクトルから弾塑性応答を推定するときには，これらのばらつきを考慮すべきであると考えられる．

表-3 解析結果の平均値と変動係数

解析モデル	平均値	変動係数
RC38	2.12	22.8
RC44	2.34	26.2
RC56	2.05	24.6
RC61	2.18	22.6
RC71	2.03	23.2

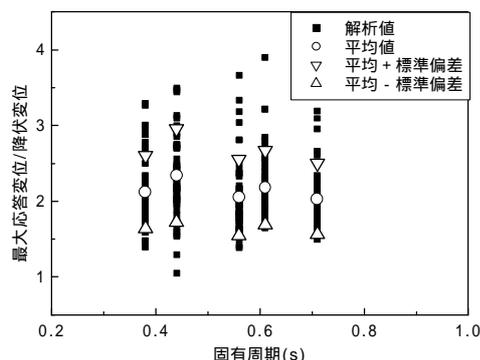


図-6 解析結果

5．結論 同一の弾性応答スペクトルを有する模擬地震波による弾塑性時刻歴解析を行い，弾塑性応答の変動性を検討した．検討の結果，同一の弾性応答スペクトルの地震波においても，弾塑性応答は25%程度の変動係数を有するばらつきのあることがわかった．今後，位相特性のみでなく継続時間をも考慮して同様の検討を行う予定である．また，弾塑性応答の変動性を定量的に評価するためには，検討に用いる地震波群の母数に対する統計的評価も必要である．