

# I - B360 兵庫県南部地震による地震動が非線形系の応答に与える影響について

建設省土木研究所 正会員 山本 浩一  
建設省土木研究所 正会員 田村 敬一  
建設省土木研究所 正会員 本田 利器

## 1.はじめに

現在の土木構造物の耐震設計には、弾性設計と非線形性を考慮した保有水平耐力設計の2段階設計が取り入れられているが、非線形性を取り入れた設計は歴史も浅く、地震動と構造物の非線形挙動については解明されていない事項も多い。特に兵庫県南部地震では、多くの土木構造物が甚大な被害を受けており、直下型地震を考慮した構造物の非線形挙動を解明し、これを耐震設計に反映させることが重要である。

そこで、地震動特性が、非線形挙動をする構造物に与える影響を解明するために、 $R\mu$ （リダクションファクター）により兵庫県南部地震による強震記録について検討を行った。

## 2.解析手法

本研究では、1質点系弾塑性型せん断バネモデルにより非線形時刻歴応答解析を行い、 $R\mu$ スペクトルにより整理を行った。 $R\mu$ は、系が弾性領域内で耐えるために必要な降伏耐力( $F_y$ )と、弾塑性応答が目標とする靱性率( $\mu$ )を与える場合の降伏耐力( $F_y$ )との比で表されるもので、図1のように求められる。すなわち、 $R\mu$ はエネルギー一定則における $\sqrt{2\mu-1}$ に相当するものである。この場合の $F_y$ は、目標の靱性率になるように降伏耐力を変化させ収束計算を行い求めた。このようにして求まる $R\mu$ を複数の線形の固有周期に対して計算を行い、 $R\mu$ スペクトルを作成した。なお、計算に用いた内部減衰 $h$ は線形・非線形ともに $h=0.05$ とした。

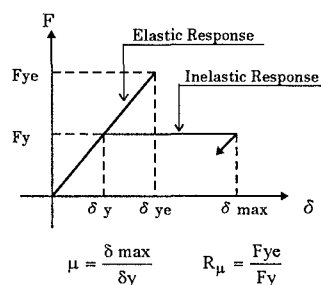


図1  $R\mu$ の計算方法

表1 計算に用いた強震記録

| 番号 | 観測地点名           | 地震名        | M   | 最大加速度(gal) |
|----|-----------------|------------|-----|------------|
| 1  | 開北橋(TR)         | 1978年宮城県沖  | 7.4 | 414        |
| 2  | 開北橋(LG)         |            |     | 364        |
| 3  | 板島橋(TR)         |            |     | 217        |
| 4  | 板島橋(LG)         | 1968年日向灘沖  | 7.5 | 197        |
| 5  | 津軽大橋(LG)        | 1983年日本海中部 | 7.7 | 278        |
| 6  | 神戸海洋気象台(NS)     |            |     | 818        |
| 7  | 大阪ガス集合供給所(N27W) |            |     | 802        |
| 8  | JR 鷹取駅(NS)      | 1995年兵庫県南部 | 7.2 | 642        |
| 9  | 東神戸大橋(N12W)     |            |     | 327        |
| 10 | ポートアイランド(NS)    |            |     | 341        |

※ LG及びTRは、それぞれ、橋軸方向及び橋軸直角方向を表す

計算に用いた強震記録を表1に示す。表中の番号は図4の凡例と一致しており、1～5番までは過去の強震記録の5波形で、6～10番までは兵庫県南部地震の強震記録の5波形である。

## 3.解析結果

非線形時刻歴応答解析を行うに際し、履歴モデルを定める必要があるが、ここではまず3種類の履歴モデルについて $R\mu$ スペクトルを求め、履歴モデルによる影響を検討することにする。計算に用いた履歴モデルは、完全バイリニア・剛性低下型バイリニア及び武田モデルである。図2に神戸海洋気象台の強震記録による $\mu=8$ の3種類の履歴モデルによる $R\mu$ スペクトルを示す。これによると履歴モデルによる影響は小さいことがわかる。この特徴は開北橋記録についても同様であるため、以下の解析では最も単純な完全バイリニアモデルを採用する。

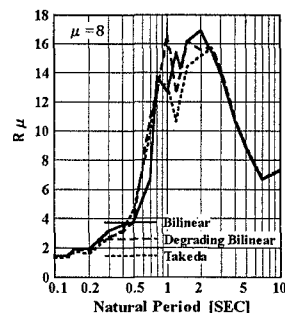


図2 神戸海洋気象台強震記録による各履歴モデルの $R\mu$ スペクトル

【キーワード】 非線形応答・時刻歴応答解析・兵庫県南部地震・地震動特性・靱性率

〒305 茨城県つくば市旭1番地 TEL 0298-64-4963 FAX 0298-64-0598

次に、開北橋と神戸海洋気象台の強震記録による $R\mu$ スペクトルを図3に示す。これによると、開北橋記録の $R\mu$ スペクトルは、広い周期帯で $R\mu$ の値は大きく、また靱性率による $R\mu$ の変化も大きい。一方、神戸海洋気象台記録の $R\mu$ スペクトルは、短周期側では靱性率によらず値が小さく、固有周期が0.5secを越えたあたりから急激に立ち上がり2.0sec付近でピークを迎えている。また、ピークの現れ方が、大きな一つの山で形成されており、開北橋記録の $R\mu$ スペクトルとはかなり形状が異なっている。そこで、兵庫県南部地震で観測された強震記録による $R\mu$ スペクトルと、過去に観測された強震記録による $R\mu$ スペクトルの違いを検討するため、 $\mu=8$ について過去の地震及び兵庫県南部地震による強震記録（表1参照）の $R\mu$ スペクトルを求め、それを重ねて表示したものを図4に示す。これによると、兵庫県南部地震は、いずれの記録も神戸海洋気象台に見られるような傾向があり、過去の強震記録とは $R\mu$ スペクトルの形状がかなり異なっていることがわかる。

そこで、兵庫県南部地震による強震記録の $R\mu$ スペクトルの特徴を検討するために、正弦波1周期のみの波形による $R\mu$ スペクトルを求めた。ここで計算した正弦波の周期は $T=1.0\text{sec}$ である。図5にその $R\mu$ スペクトルを示す。この正弦波1周期の $R\mu$ スペクトルは兵庫県南部地震によるものと似た傾向を示していることがわかる。このことから、主要動の繰返し回数が少なく、その周期が比較的に長いような衝撃的な波形が、兵庫県南部地震による強震記録の $R\mu$ スペクトルの特徴として現れているものと考えられる。

#### 4. おわりに

$R\mu$ スペクトルにより、過去の地震と兵庫県南部地震による強震記録が、構造物の非線形挙動に及ぼす影響について検討を行った。これによると、兵庫県南部地震による $R\mu$ スペクトルには、過去の地震とは異なる傾向があることがわかった。また、3種類の非線形履歴モデルについて $R\mu$ スペクトルを求めたが、モデルによる明確な差は認められず、兵庫県南部地震の $R\mu$ スペクトルの特徴は、地震動自体の特徴であると考えられる。また、正弦波1周期の $R\mu$ スペクトルは、兵庫県南部地震のものと似た傾向を示しており、衝撃的な波形が $R\mu$ スペクトルの特徴として現れているものと考えられる。

過去の研究でも、 $R\mu$ スペクトルに関して幾つかの評価式が提案されている<sup>例えば1)</sup>が、これらの式は地震動特性を考慮して提案されているものは少ない。したがって、今後、 $R\mu$ に影響を与える地震動特性を把握し、耐震設計に反映させる方法を検討していくことが重要である。

【参考文献】 1) Miranda, E. and Bertero, V. V., "Evaluation of Strength Reduction Factors for Earthquake-Resistant Design" Earthquake Spectra, Vol. 10, No. 2, 1994

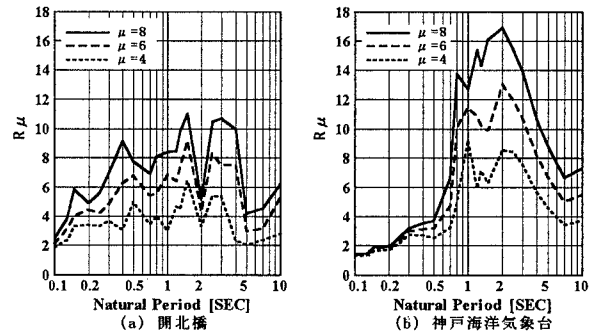


図3 開北橋と神戸海洋気象台強震記録の $R\mu$ スペクトル

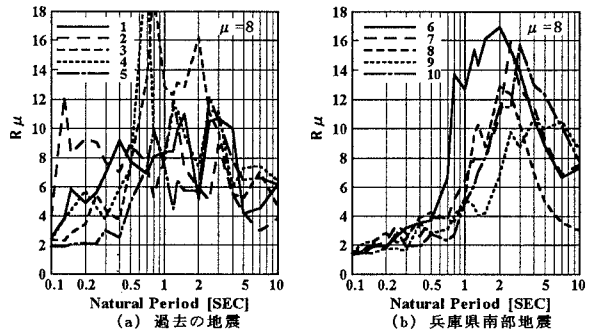


図4 過去の地震と兵庫県南部地震の $R\mu$ スペクトル ( $\mu=8$ )

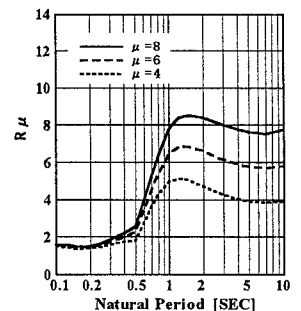


図5 正弦波1周期の $R\mu$ スペクトル