

京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和  
 京都大学工学部 学生員 ○柳川 智史  
 JR 東海コンサルタント 正会員 岩田 秀治

## 1. はじめに

近年、耐震設計法において、『力に基づく設計法』と、『変位に基づく設計法』を組み合わせ、必要変位-強度スペクトルが提案された。これは、弾塑性耐震設計において、プッシュオーバー解析より得られるキャパシティー曲線と組み合わせ、構造物の力と変位に対する安全性を同時に照査することを目的とした新たなものである。

本研究では、まず、この必要変位-強度スペクトルに着目して各種地震動に対する応答図を作成した。次に、建設予定の構造物の設計地震動に対する同スペクトルを算出し、模型実験によるキャパシティー曲線と比較・検討することによって、構造物の安全性の照査を試みた。

## 2. 必要変位-強度スペクトル図の、耐震設計への適用方法

### 2.1 必要変位-強度スペクトル

応答スペクトルは、線形モデルについて、地震波に対し、減衰比  $h$  と固有周期  $T$  を色々変えて最大応答値を計算し、減衰比  $h$  をパラメータとして、横軸に固有周期  $T$ 、縦軸に最大加速度  $S_a$ 、最大速度  $S_v$ 、最大変位  $S_d$  をとってプロットしたものである。また、変位-加速度応答スペクトルは、横軸に最大変位  $S_d$ 、縦軸に最大加速度  $S_a$  をとったスペクトルである。

これに対し、必要強度スペクトルは、弾塑性モデルに対し、塑性率  $\mu$  を色々変えて、横軸に固有周期  $T$ 、縦軸に必要強度(降伏強度)をとったスペクトルであり、必要変位-強度スペクトルは横軸に最大変位、縦軸に必要強度をとったスペクトルである。図 1~3 に、完全弾塑性モデルの兵庫県南部地震の神戸海洋気象台記録 NS 成分に対する必要強度スペクトル、変位スペクトル及び必要変位-強度スペクトルを示す。塑性率  $\mu=1, 2, 4, 6, 10$  とする。

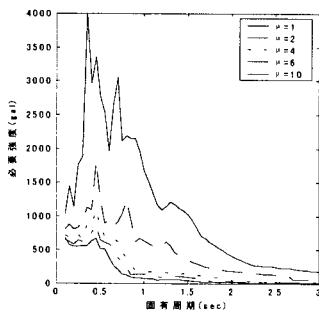


図 1 必要強度スペクトル

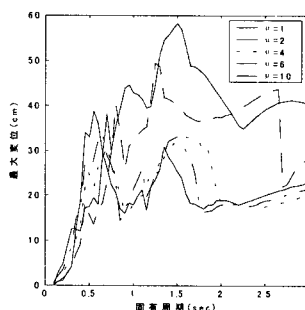


図 2 変位応答スペクトル

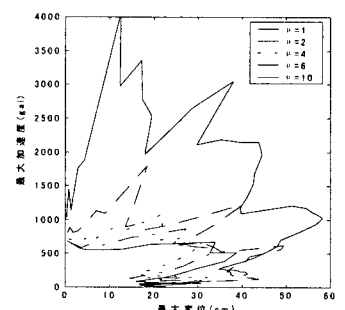


図 3 必要変位-強度スペクトル

### 2.2 キャパシティー曲線と必要変位-強度スペクトルの比較による構造物の安全性照査方法

本研究では、RC ラーメン橋脚の安全性を、供試体に水平漸増荷重を与える実験により得られる変位-復元力関係のデータから、キャパシティー曲線を作成し、必要変位-強度スペクトル図と比較することにより、設計強度及び変位を求めるとともに、安全性の照査を行う。

実験により得られる RC 橋脚の復元力-変位関係において、力を等価質量で除して、加速度-変位関係(キャパシティー曲線)に変換する。同じグラフに動的応答解析によって得られる必要変位-強度スペクトルをいくつかの塑性率  $\mu$  に対してプロットする。

キャパシティー曲線において、終局変位  $D_{max}$  を降伏変位  $D_y$  で除して塑性率  $\mu$  を求める。この塑性率  $\mu$  と

等しい塑性率に対して描かれた必要変位-強度スペクトルとキャパシティー曲線とを比較し、キャパシティー曲線が必要変位-強度スペクトルを突き抜けていれば、構造物の終局変位が設計地震動による最大応答値を上回っているため、安全であるといえ、両曲線の交点が、設計に必要な変位及び強度(加速度)を示している。

### 3. 必要変位-強度スペクトル図による RC 橋脚の安全性照査

#### 3.1 実験に用いた RC 橋脚モデルとキャパシティー曲線

構造物の部分模型に水平漸増荷重を与える実験を行い、その復元力特性に相似則を適用することにより、実構造物のキャパシティー曲線を求めた。

実験で想定した構造物は図4に示すような RC ラーメン橋脚である。実験に用いた供試体は、1本の橋脚の半分の高さのものを縮尺比  $r=2.1875$  として  $1/r$  倍に縮小したモデルを用いた。

水平漸増荷重は、供試体の最上部、つまり1本の橋脚の中間点に相当する点に与えた。実験より得られるキャパシティー曲線及びそれを完全弾塑性モデルに近似した曲線を図5に示す。

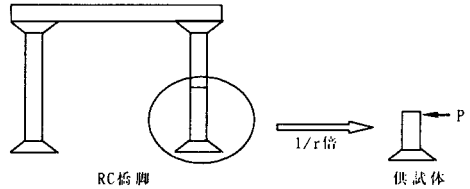


図4 RC橋脚と実験モデル

#### 3.2 入力波及び必要変位-強度スペクトル

本解析で用いる入力波形は、JR 用の設計地震動の、断層近傍直下型地震、普通地盤を想定したスペクトル II-G3 地震動とした。この入力波に対する完全弾塑性モデルの必要変位-強度スペクトルを図6に示す。

#### 3.3 必要変位-強度スペクトルとキャパシティー曲線の比較による安全性照査

モデル化した完全弾塑性型キャパシティー曲線より、降伏変位 9.77cm、降伏強度 842.0gal、また最大変位は 33.90cm となる。これより、塑性率  $\mu = \text{最大変位}/\text{降伏変位} = 33.9\text{cm}/9.77\text{cm} \approx 3.47$  となる。

次に必要変位-強度スペクトルと、完全弾塑性型に近似したキャパシティー曲線とを比較するが、RC 橋脚の塑性率は、 $\mu = 3.47$  であったので、この塑性率に対する必要変位-強度スペクトルと、モデル化したキャパシティー曲線とを比較しなければならない。 $\mu = 3.47$  に対する必要変位-強度スペクトル図を作成し、このスペクトル図とモデル化したキャパシティー曲線とを重ね合わせたものを図7に示す。

両曲線を比較すると、モデル化したキャパシティー曲線が同じ塑性率の必要変位-強度スペクトルを突き抜けている(RC 橋脚の最大変位が応答値を超えている)ため、RC 橋脚は、この地震動に対して安全であるといえる。また、両曲線の交点より、必要変位及び強度は、それぞれ 16.0cm、842.0gal である。

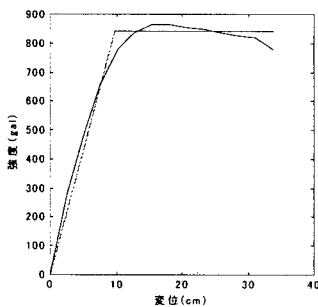


図5 キャパシティー曲線

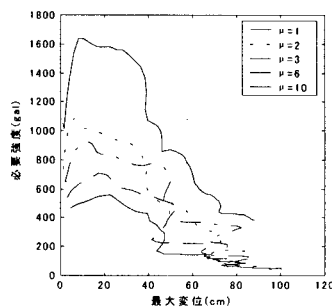


図6 必要変位-強度スペクトル(JR)

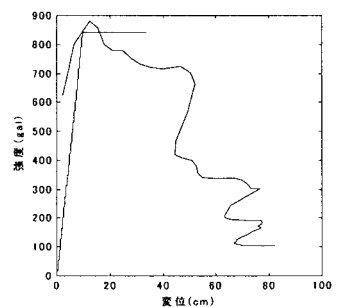


図7 両曲線の比較

## 4. まとめ

JR 用入力波の必要変位-強度スペクトルと水平力漸増荷重実験による RC 橋脚のキャパシティー曲線との比較により構造物の安全性が示された。この安全性照査方法はスペクトルとキャパシティー曲線が描かれていれば簡単に、かつ加速度と変位、つまり、構造物の地震荷重に対する保有耐力と最大(許容)変位に対する安全性を同時に照査することができるために耐震設計において大変有用である。