

I - B323 兵庫県南部地震に対するエネルギー一定則の適用性および精度

九州大学工学部 学生員○山本智弘 九州大学工学部 フェロー 大塚久哲  
九州大学工学部 正会員 松田泰治 九州大学工学部 学生員 山口 斉

1. まえがき

平成7年に起こった兵庫県南部地震は、今まで日本で観測されてきた大きな振幅が長時間くり返して作用するプレート境界型の地震ではなく、継続時間は短い振幅が極めて大きい内陸直下型の地震であった。

今回改訂された道路橋示方書においては、これまでと同様に、震度を設計水平震度から等価水平震度へと下げるときにエネルギー一定則を使用している。本研究では、兵庫県南部地震で観測された地震動を用いて1自由度モデルによる応答解析を行い、エネルギー一定則による推定結果と比較し、内陸直下型地震動への適用性およびその精度に関する検討を行った。

2. 解析方法

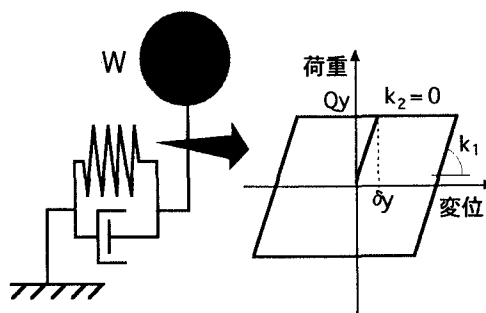
本解析では、鉄筋コンクリート橋脚を弾完全塑性のバイリニア型復元力特性を有する1自由度系にモデル化した。解析モデルおよび復元力特性を図-1に示す。

2.1 非線形時刻歴応答解析

本解析では、数値積分法のなかのNewmark-β法(β=1/6:線形加速度法)を用いて、図-1に示す解析モデルおよび復元力特性に対して神戸海洋気象台NS方向、JR西日本鷹取駅EW方向、東神戸大橋橋軸直角方向の地盤面の加速度波形を用い非線形時刻歴応答解析を行った。各入力加速度波形を図-2.1から図-2.3に示す。本解析では道路橋示方書に基づき、許容塑性率μを与えたときに、どの程度まで降伏荷重を落とせるかを弾性固有周期Tが0.1~2.0秒のケースにおいて計算した。

2.2 エネルギー一定則

エネルギー一定則は、線形系の最大応答変位から非線形系の最大応答変位を簡便に計算できる手法として、N.M.Newmarkらにより1960年に提案されたものであり、比較的短周期の範囲で精度がよいとされてきた。すなわち、まず、図-1の解析モデルに対して線形動的解析により、弾性最大応答変位δ<sub>E</sub>を求める。そ



$W=mg=1000(tf)$  ,  $h=0.05$  ,  $k_2=0(tf/cm)$   
 $k_1=4m \pi^2/T^2(tf/cm)$  ,  $g=980(cm/sec^2)$

m: 質点の質量                      Q<sub>y</sub>: 降伏荷重  
g: 重力加速度                      δ<sub>y</sub>: 降伏変位  
h: 粘性減衰定数                    k<sub>1</sub>: 第1剛性  
T: 弾性固有周期                    k<sub>2</sub>: 第2剛性

図-1 解析モデルと復元力特性

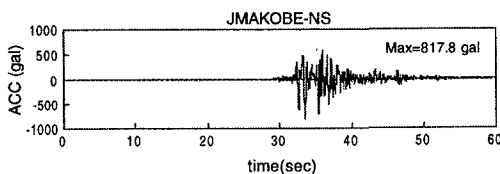


図-2.1 入力加速度波形(JMAKOBE-NS)

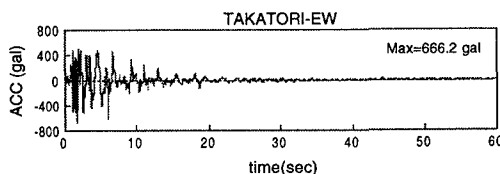


図-2.2 入力加速度波形(TAKATORI-EW)

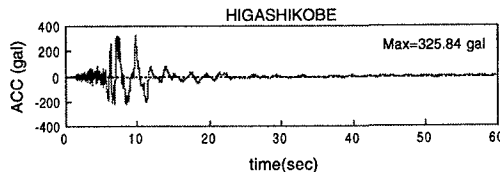


図-2.3 入力加速度波形(HIGASHIKOBE)

キーワード エネルギー一定則、バイリニア型モデル、動的応答解析、塑性率

連絡先 〒812 福岡市東区箱崎6-10-1 九州大学工学部 建設都市工学科 TEL 092-642-3268

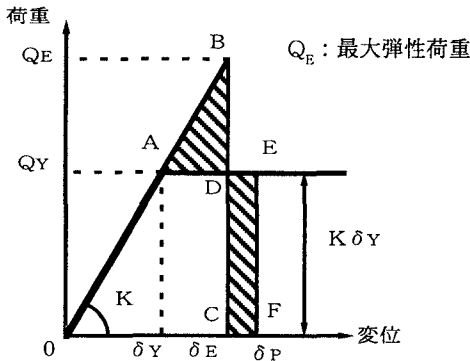


図-3 エネルギー一定則の概念図

して図-3より、 $\delta_p$ までに蓄えられるひずみエネルギー( $\triangle OBC$ に相当する)と、 $\delta_p$ までに蓄えられたひずみエネルギー(台形OAEFに相当する)が等しくなるように $\delta_p$ を求めてやると、 $\delta_p$ が弾塑性系の最大応答変位を近似している。塑性率が与えられたときは降伏荷重は式(1)より求められる。

$$Q_r = \frac{Q_E}{\sqrt{2\mu-1}} \quad (1)$$

### 3. 解析結果

弾性固有周期が0.1秒から2.0秒までのケースについて、塑性率を1から10まで変えたときのエネルギー一定則により求めた降伏荷重と時刻歴解析により求めた降伏荷重の比を図-4.1から図-4.3に示す。(ただし、平均値は0.1秒から2.0秒までの全平均である。)ここで時刻歴解析では、所要の塑性率を満足する降伏荷重をトライアルアンドドエラーによって求めた。

JMAKOBÉ-NSは周期が0.4,0.6秒では、両者の比はほぼ1であるが、それ以上の長周期構造物では、塑性率が大きくなるにつれ、両者の比が大きくなっている。TAKATORI-EWは周期1.2秒を除けば、両者の比が0.7~2.0程度におさまっている。HIGASHIKOBEは短周期領域でエネルギー一定則の値が時刻歴解析結果を下回る結果となっているが、他の地震波に比べて全体的に変動は小さいといえる。

### 4. まとめ

兵庫県南部地震で観測された代表的な波形に対してエネルギー一定則を適用したところ、平均すると安全側の値を示したが、構造物の周期と波形の組み合わせによって、エネルギー一定則が危険側の値を示す場合もあり、その詳しい分析およびより精度の高い応答推定法の開発が望まれる。

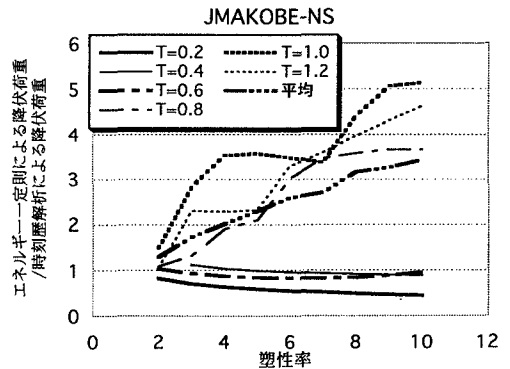


図-4.1 エネルギー一定則の精度(JMAKOBÉ-NS)

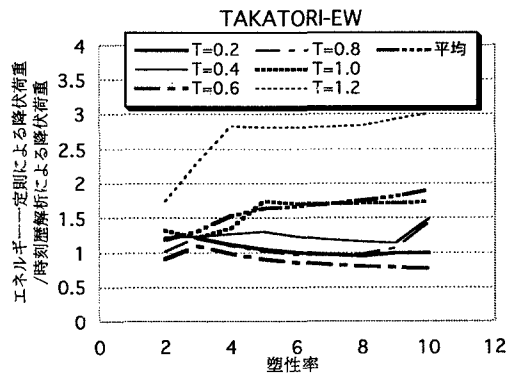


図-4.2 エネルギー一定則の精度(TAKATORI-EW)

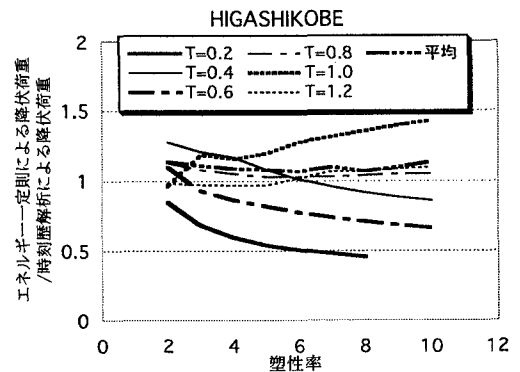


図-4.3 エネルギー一定則の精度(HIGASHIKOBE)

### 参考文献

- 1) Newmark N.M. and A.S. Velesost, "Effect of Inelastic Behavior on the Response of Simple System to Earthquake Motions", II WCEE,1960
- 2) 柴田明徳：最新耐震構造解析、森北出版、1981
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 v 耐震設計編、1996