

I - B353

支承と橋脚に塑性化が生じる場合の橋の地震応答特性

(株)荒谷建設コンサルタント 正会員 高橋 光紀
建設省土木研究所 正会員 運上 茂樹

1. はじめに

橋が大地震を受けた場合には、橋脚躯体のみならず支承や基礎など複数の箇所では非線形挙動するので、橋全体系の耐震性を考える場合には、このような非線形部材の挙動を適切に評価することが重要である。橋脚や支承など複数箇所では非線形の履歴特性を有する構造系の大地震時に対する安全性を評価するには、各部材の非線形域の応答量を推定することが必要となる。このような非線形応答は、各部材の非線形履歴復元力特性を有する解析モデルに置換し、非線形動的解析を行うことにより求めることができるが、実際の設計では、これをより簡便に算出することができれば有効となる。

本文は、支承と橋脚に非線形履歴特性を考慮した場合に、非線形応答を弾性応答から推定する手法として Newmark らにより提案されたエネルギー一定則¹⁾に着目し、動的解析結果との比較を行い複数箇所に非線形性が生じる場合に対する適用性を検討した結果をとりまとめたものである。

2. 動的解析モデル

動的解析で対象としたのは、図-1に示す橋脚の橋軸方向である。橋脚は高さ13.5mの張出し式鉄筋コンクリート橋脚で、支承は免震支承(高減衰積層ゴム支承)を、基礎は場所打ち杭を用いた杭基礎を想定した。解析では、橋脚を図-2のように2質点系にモデル化した。基礎は杭基礎であるが、支承と橋脚に非線形履歴特性を考慮した場合の検討を行うため本解析では固定とした。橋脚と基礎の非線形の履歴特性は、それぞれバイリニア型とし、粘性減衰定数としては、橋脚では5%、支承では0%とした。

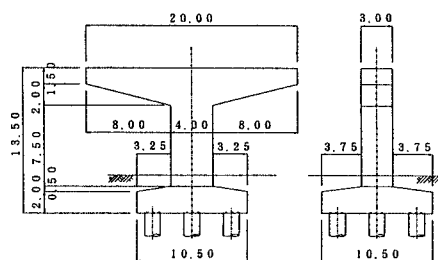


図-1 解析対象橋脚

入力地震動としては、既往の強震記録を「道路橋示方書・同解説V耐震設計編」²⁾に規定される加速度応答スペクトルに近い特性を有するように振動数領域で振幅調整した加速度波形を用い、地震動ごとに、地盤種別Ⅰ種～Ⅲ種についてそれぞれ3波形、合計18波形を入力地震動とした。

動的解析のケースとしては、図-2に示す支承の剛性の1次勾配(K_{B1})、2次勾配(K_{B2})及び降伏荷重(Q_y)をそれぞれ変化させた。なお、本来は支承の特性を変化させると橋脚の断面や基礎の設計が異なってくるが、ここでは橋脚の非線形特性は一定とした。

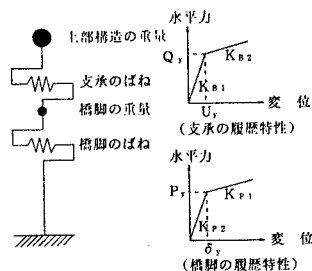


図-2 解析モデル

3. 弾性応答に基づく非線形応答の推定法

支承と橋脚の2箇所では非線形履歴特性を有する場合のエネルギー一定則を図-3に示すように仮定した。すなわち、支承の等価エネルギーと橋脚の弾塑性エネルギーの和が全体系の弾性エネルギーと等しいと仮定すると式(1)が得られる。なお、ここでは計算の簡略化のため橋脚の履歴特性は完全弾塑性型として算出した。

$$\frac{P_E^2}{2K_R} = \frac{P_y^2}{2K_P} + (\mu - 1) \frac{P_y^2}{K_P} + \frac{P_y^2}{2K_B} \quad (1)$$

キーワード 非線形地震応答、エネルギー一定則

〒730 広島市中区舟入南4-14-15 TEL 082-234-5661 FAX 082-234-4961

〒305 つくば市旭1番地 TEL 0298-64-4966 FAX 0298-64-4424

ここで、 P_y ：橋脚の降伏荷重、 P_E ：全体系の水平荷重、

μ ：応答塑性率、 K_B ：支承の等価剛性、

K_P ：橋脚の降伏剛性（ $= P_y / \delta_y$ ）、

K_R ：支承と橋脚の合成剛性（ $= K_B K_P / (K_B + K_P)$ ）

また、式(1)は式(2)のようにも表せる。

$$P_y = \frac{1}{\sqrt{1+2(\mu-1)K_R/K_P}} P_E \quad (2)$$

ここで、 $K_R = K_P$ 、すなわち支承の剛性が無限大の場合には従来のエネルギー一定則と一致する。

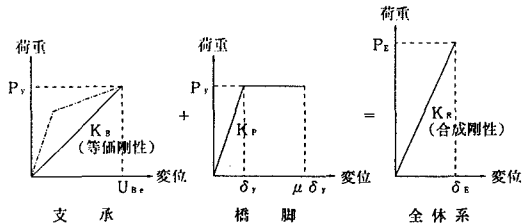


図-3 支承と橋脚に非線形の履歴特性を有する場合のエネルギー一定則

4. エネルギー一定則の適用性の検討

動的解析結果のうち支承と橋脚の両者が塑性域に入ったケースについて、式(2)によるエネルギー一定則から線形応答値を算出した。

図-4は、横軸に動的解析結果より得られた橋脚の応答塑性率 μ を、縦軸にエネルギー一定則より求めた応答塑性率 μ を取り、その関係を示したものである。なお、値は各地盤種別ごとに3波形の平均値を示している。また、比較のために従来のエネルギー一定則の結果も併せてプロットしている。

これを見ると、従来のエネルギー一定則より算出した応答塑性率は、応答塑性率が2以下の場合には動的解析結果とほぼ一致するが、それより大きくなると動的解析結果の方が大きくなる傾向がある。

これに対して式(2)によるエネルギー一定則から算出した応答塑性率は、タイプI、タイプIIの地震動とも動的解析結果より大きな値を示している。タイプIの地震動の場合では動的解析の値の約2倍、タイプIIの地震動の場合では約3倍となる。データ自体は地震動の特性によりばらつくものと考えられるが、式(2)による値が全体として動的解析よりも数倍大きくなる理由としては、式(2)による方法では弾性応答を算出する際に橋脚の履歴減衰を考慮せず、支承の等価減衰定数と5%の粘性減衰のみで橋の減衰定数を算出したためと考えられる。このため、橋脚が大きく塑性化する場合には減衰が大きくなるため、これを考慮することによってより精度を高めることが可能と考えられる。

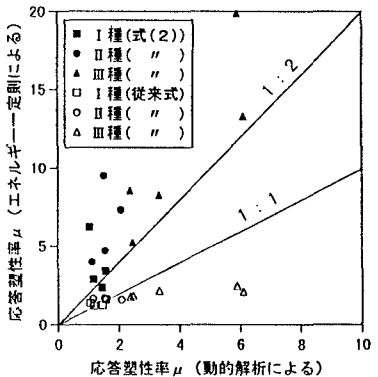
5. まとめ

支承と橋脚に非線形の履歴特性を考慮した場合に、非線形応答を弾性応答から推定する手法としてエネルギー一定則に着目し、その適用性を検討した。本検討結果によれば、式(2)によるエネルギー

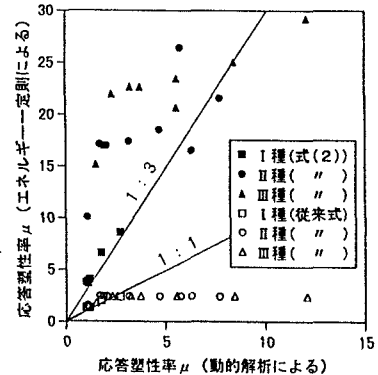
一定則は、動的解析と傾向的には比較的良好に一致している。ただし、タイプI、タイプIIの地震動とも応答塑性率の値は、全体として動的解析よりも数倍大きくなるが、これは、減衰の評価により影響が生じたものである。今後、支承と橋脚、及び全体の減衰について検討を加える必要がある。

参考文献

- 1) Veletsos, A.S. and Newmark, N.M.: Effect of Inelastic Behavior on Response of Simple Systems to Earthquake Motion, Proc. 2nd WCEE, 1960
- 2) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，平成8年12月



(1) タイプI地震動の場合



(2) タイプII地震動の場合

図-4 動的解析結果とエネルギー一定則による結果の関係