

I - B145 地震時保有水平耐力法に用いる RC 橋脚の履歴特性を非線形梁要素で表現するためのモデル化の提案

東京工業大学社会人博士課程 正会員 矢部正明 東京工業大学 工学部 フェロー会員 川島一彦

1. まえがき

図-1は、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編（以下、道示とする）における水平力-水平変位関係を示したものである。降伏時は、初降伏する点と原点を結ぶ直線が終局水平耐力 P_u と交差する点と定義されている。このようにして求められる水平力-水平変位関係が、図-1に示した完全弾塑性型の骨格曲線（太線）である。図中の3つの破線で表された骨格曲線は、H2道示やH7復旧仕様で用いられていたものである。本報告では、漸増水平荷重を作用させたとき、その水平力-水平変位関係が図-1の太線で示した骨格曲線と同じになるような、RC橋脚の非線形梁要素によるモデル化の提案を行う。

2. 非線形動的解析モデル

図-2に対象とした非線形動的解析モデルを示す。モデル1は、橋脚基部に弾塑性回転バネを設け、橋脚躯体は剛体としたモデルである。弾塑性回転バネの降伏点は、図-1に示した降伏変位 δ_y を慣性力作用位置から橋脚基部までの距離 H で除した回転角 θ_y と、降伏耐力 P_y に距離 H を乗じた曲げモーメント M_y によって定めた。このようにすると、モデル1の水平力-水平変位関係は、図-1の太線で示した骨格曲線と完全に同じになる。モデル2と3は、塑性ヒンジ領域に弾塑性回転バネを設け、塑性ヒンジ領域より上の部分には非線形梁要素を用いたモデルである。モデル2は弾塑性回転バネを橋脚基部に設置し、モデル3は塑性ヒンジ領域の中央に弾塑性回転バネを設置した。モデル4と5は、塑性ヒンジ領域を含めた橋脚躯体全体を非線形梁要素によって表したモデルである。モデル4は非線形の判定を梁要素の中央で、モデル5は非線形の判定を梁要素の両端で行うモデルである。モデル2～5は、塑性ヒンジ領域よりも上の部分の変形を考慮したモデルであり、その部分は、道示に従って求められるひびわれ時、初降伏時、終局時の3点で表されるトリリニア型の非線形梁要素を用いた。ひびわれ時を考慮したのは、塑性ヒンジ領域よりも上の部分では弾性域にとどまる領域があるからである。モデル2～5の塑性ヒンジ領域に用いる弾塑性回転バネや非線形梁要素のひびわれ時と降伏時の変形量は、慣性力作用位置の水平変位 δ を、塑性ヒンジ領域の変形による変位 δ_p とそれより上の部分の変形による変位 $\int \phi y dy$ に分離して次式によって求めた。

$$\delta_p = \delta - \int \phi y dy \quad (1) \quad , \quad \theta_p = \delta_p / H_0 \quad (2) \quad , \quad \phi_{PU} + \phi_{PL} = 2\delta_p / (L_p H_0) \quad (3)$$

ここに、 θ_p は δ_p となる弾塑性回転バネの回転角、 H_0 は慣性力作用位置から弾塑性回転バネの設置位置までの距離、 ϕ_{PU} と ϕ_{PL} は塑性ヒンジ領域の曲率分布の上端と下端の値、 H_0 は慣性力作用位置から塑性ヒンジ領域の曲率分布の重心位置までの距離である。モデル4は、非線形の判定を梁要素の中央で行うので、 ϕ_{PU} と ϕ_{PL} は塑性ヒンジ領域の中心位置の曲率を用いる。慣性力作用位置の水平変位 δ はひびわれ時と降伏時に着目しているので、塑性ヒンジ領域の弾塑性回転バネや非線形梁要素は、トリリニア型のモデルとなる。何れのモデルとも、弾塑性回転バネと非線形梁要素の履歴則は、図-3に示す剛性低下型の履歴則を用いた。また、各モデルとも降伏以後の剛性は、初期剛性の1/1000とした。

3. 非線形動的解析モデルの比較

図-4は、各モデルの慣性力作用位置に漸増水平荷重を作用させたときの水平力-水平変位関係である。モデル2～5は、ひびわれが発生する点で一度折れ曲がった後、降伏点に到達している。各モデルとも降伏変位と、降伏以後の水平力-水平変位関係は、道示と同じとなっていることがわかる。

表-1は、地震時保有水平耐力法に用いるII種地盤の標準波形II-II-1を入力地震動とした非線形動的解析の結果である。モデル2～5は、何れの応答値とも近い値が得られているが、モデル1は橋脚躯体の曲げ変位が他の地震時保有水平耐力法、鉄筋コンクリート橋脚、非線形動的解析

モデルよりも大きくなっている。非線形要素の応答履歴ループの面積の和によって表される履歴エネルギーは、橋脚躯体の曲げ変位が大きいモデル1において大きい、他のモデルはほぼ同程度の値となっている。モデル2～5の塑性ヒンジ領域の履歴エネルギーに着目すると、何れのモデルとも橋脚躯体の4割強の値を示しており、塑性ヒンジ領域に損傷が集中していることがわかる。

4. あとがき

塑性ヒンジ領域以外の部分の変形が無視できないようなRC橋脚の非線形動的解析モデルとしては、モデル1のように橋脚基部に弾塑性回転バネを設け、橋脚躯体は剛体としたモデルは適当でないことがわかった。

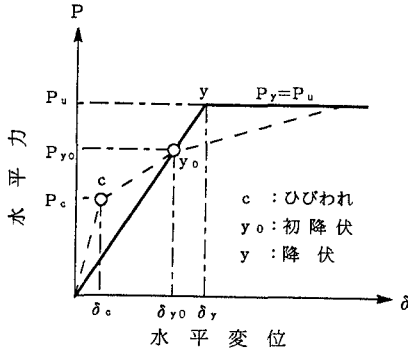


図-1 RC橋脚の水平力-水平変位の関係

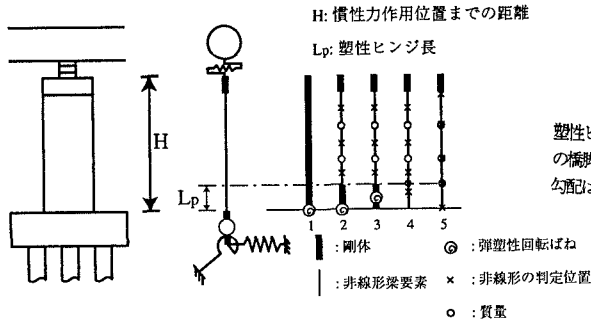


図-2 対象とした非線形動的解析モデル

表-1 非線形動的解析結果の比較

モデル	上部構造変位(cm)	橋脚躯体曲げ変位(cm)	上部構造加速度(gal)	橋脚天端加速度(gal)	橋脚躯体の履歴エネルギー(tfm)	塑性ヒンジ領域の履歴エネルギー(tfm)
1	57.8	38.8	1285	997	502	502
2	49.9	17.0	1272	975	316	140
3	49.8	17.0	1273	977	316	139
4	49.8	17.0	1274	977	316	139
5	49.9	16.7	1287	974	319	133

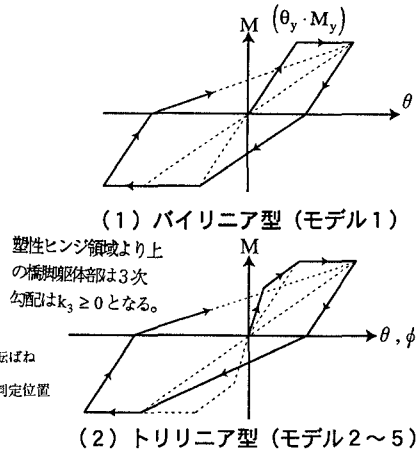
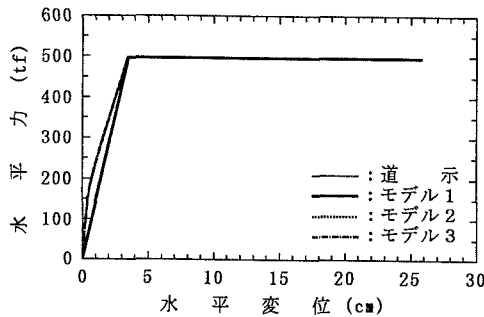
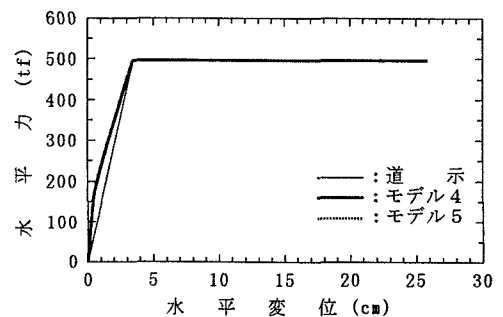


図-3 非線形要素の履歴則



(1) 弾塑性回転バネ (モデル1～3)



(2) 非線形梁要素 (モデル4と5)

図-4 漸増水平荷重を作用させて得られる非線形動的解析モデルの水平力-水平変位関係