

I - B203

橋脚の剛体ばねモデルによる三次元弾塑性解析

東北大学大学院 学生員 生出 佳
宇都宮大学 正会員 中島 章典
宇都宮大学 正会員 斉木 功

1. はじめに

道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編によると、橋脚の耐震設計を行う際には、水平二方向の慣性力が同時に最大値を取る可能性は低いことから、水平一方向地震動のみを考慮した二次元平面内での設計が行われてきた。このため、地震動を受ける橋脚の弾塑性挙動に関する多くの研究も、二次元解析により行われてきている。しかし、阪神大震災以後、大地震に対する橋脚の挙動を把握するに当たっては、二方向の慣性力を同時に考慮した二軸曲げ、ねじりを受ける場合の動的弾塑性挙動の解明が必要とされている¹⁾。

そこで本研究では、二軸曲げ、ねじりなど必要最低限の挙動を考慮した、橋脚の新しい三次元弾塑性解析手法を構築し、水平二方向地震動を考慮した三次元モデルと水平一方向地震動のみを考慮した二次元モデルとの動的弾塑性挙動の比較検討を行った。

2. 解析モデルおよび解析方法

本研究では、図-1に示すような、はり柱部材を剛体要素とそれぞれを結合する長さや質量を無視できるばねからなる剛体ばねモデルにモデル化した。各剛体要素の自由度は、その重心位置における三方向変位と、三軸回りの回転の6自由度とした。剛体要素間のばねには、複数の軸ばねと二本のせん断ばね、ねじり回転ばねを用いた。複数の軸ばねで x 方向の軸力と y, z 軸回りの曲げの弾塑性挙動を追跡し、二本のせん断ばねで y, z 方向の弾性挙動を、ねじり回転ばねで x 軸回りのねじりの弾性挙動を追跡した。対象構造物は、図-2に示す箱型断面を有する鋼製の単柱式橋脚と逆L字型橋脚の二種類とした。各諸元は、図に示す通りである。せん断ばね、回転ばねは、剛体要素断面の重心位置に設置した。軸ばねの取り付け位置は、図-2に示すように断面を分割した各分割断面の重心位置とし、応力-ひずみ関係を表す軸ばねの復元力特性を完全弾塑性型とした。なお、対象としている構造物の幾何学的非線形性の影響は小さいとして無視した。

3. 静的弾塑性応答解析の結果と考察

単柱式橋脚の静的解析による軸力 N_x と全塑性曲げモーメント M_y, M_z の相関曲線を図-3に示す。実線は理論値²⁾、黒丸は解析値である。解析値が理論値にほぼ一致していることがわかる。ここで解析値とは、三方向の力の比率を変えて解析を行った場合の、基部の全断面塑性時の軸力と曲げモーメントを図示したものであり、これが以後用いる破壊曲面となる。

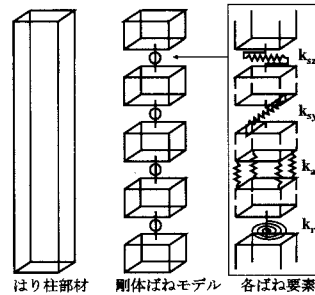


図-1 解析モデル

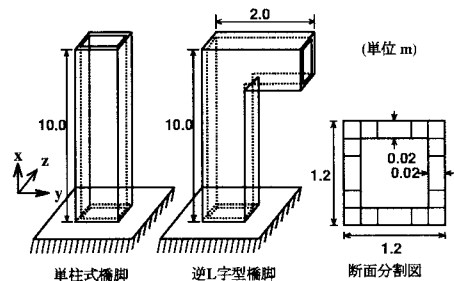


図-2 対象構造物

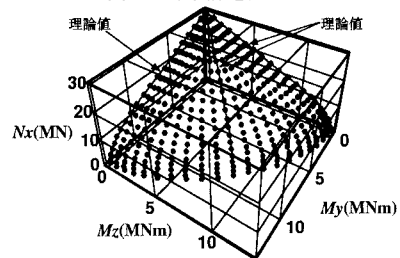


図-3 軸力・曲げモーメントの相関曲線

4. 動的弾塑性応答解析の結果と考察

例として、入力地震波にJR鷹取駅記録のNS方向とEW方向の水平二方向地震波を用いた場合の解析結果を示す。水平二方向の地震波のうちNS方向の地震波を図-2の解析モデルの y 軸方向に入力し、EW方向の地震波を z 軸方向に入力した。

上部構造質量を300tとし、これによる軸力を考慮した単柱式橋脚の場合の結果を図-4に示す。橋脚基部における二方向曲げモーメントの相関曲線を図-4-aに示す。図中の黒丸は、図-3において軸力300tが作

Key Words: 橋脚, 静的・動的弾塑性解析, 剛体ばねモデル, 二軸曲げ, ねじり

〒321-8585 宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6208 Fax.028-689-6230

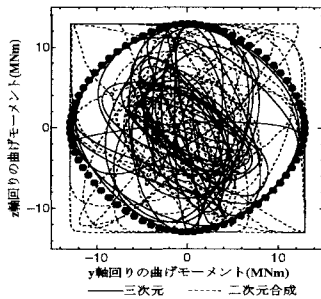


図-4-a 二方向曲げモーメントの相関曲線

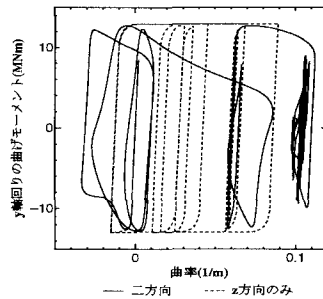


図-4-b y 軸回りの曲げモーメント曲率関係

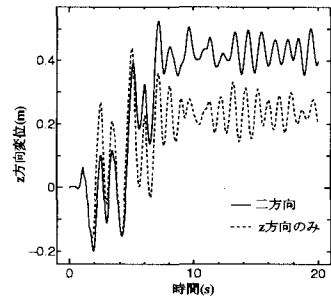


図-4-c z 方向変位の時刻歴

図-4 単柱式橋脚

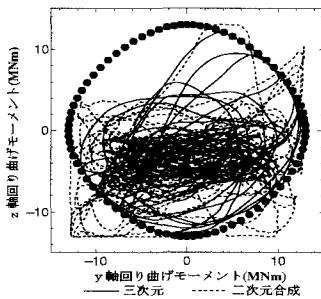


図-5-a 二方向曲げモーメントの相関曲線

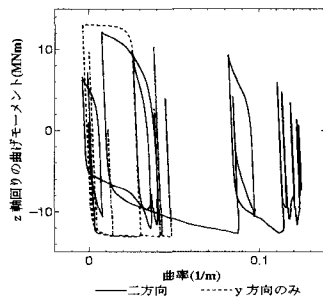


図-5-b z 軸回りの曲げモーメント曲率関係

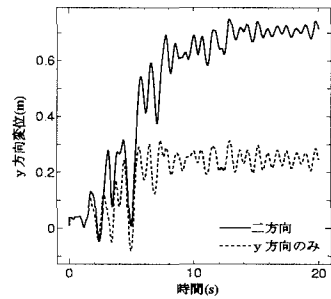


図-5-c y 方向変位の時刻歴

図-5 逆L字型橋脚

用するときの破壊曲面である。実線は、水平二方向に地震動を受けた時の三次元解析による y 軸、 z 軸回りの曲げモーメントの経時変化であり、破線は、水平一方向ずつに地震動を入力した時の二次元解析による経時変化を合成したものである。三次元解析では、 y 軸回りに曲げモーメントが作用しながら、 z 軸回りの曲げモーメントも作用することになるので、 y 軸回りの塑性曲げモーメント、 z 軸回りの塑性曲げモーメントの範囲が相互に変化していることがわかる。さらに、三次元解析において曲げモーメントが常に破壊曲面内もしくは破壊曲面上を動いているのに対し、二次元解析では、破壊曲面を超えて挙動していることがわかる。図-4-b は二次元解析と三次元解析による基部の y 軸回りの曲げモーメント-曲率関係を示す。三次元解析の結果が、塑性曲げモーメントの変化による影響を受けた形をしていることがわかる。図-4-c は二次元解析と三次元解析による橋脚頂部の z 方向変位の時刻歴を示すが、同図に見られるように、二つの挙動が異なっていることがわかる。なお、図-4-b, 4-c の「二方向」とは二方向に地震動を入力したときの三次元解析による結果であり、「 z 方向のみ」とは z 方向のみの一方向に地震動を入力したときの二次元解析による結果である。

次に、張り出し部先端に上部構造質量 180t 及び対応する荷重を付加した逆L字型橋脚の結果を図-5に示す。凡例は図-4と同じである。橋脚基部における二方向曲げモーメントの相関曲線を図-5-aに示す。図中の黒丸は、図-3において軸力 180t が作用するとき

の破壊曲面である。逆L字型橋脚の張り出し部先端に鉛直荷重が作用しているため、二次元解析、三次元解析とも、 z 軸回りの曲げモーメントは片側に偏って挙動していることがわかる。図-5-b は二次元解析と三次元解析による基部の z 軸回りの曲げモーメント-曲率関係を示す。最大曲率は三次元解析の結果が二次元解析の結果より大きくなっていることがわかる。図-5-c は二次元解析と三次元解析による橋脚頂部の y 方向変位の時刻歴を示す。同図に見られるように、二つの挙動が単柱式橋脚の場合に比べ大きく異なっていることがわかる。

5. おわりに

本研究では、橋脚の三次元動的弾塑性挙動を追跡できる簡易な三次元解析手法を構築し、この三次元モデルを用いて、水平二方向の地震作用を受ける鋼製橋脚の基本的な大地震時挙動を検討した。三次元解析では、水平二方向の塑性曲げモーメントが変化するのに対し、二次元解析では、水平二方向の塑性曲げモーメントは常に最大値を取り続ける。このため二次元解析における弾塑性挙動は、三次元解析における弾塑性挙動と異なり危険側になるので、二次元解析による三次元解析の挙動の推定は容易ではないことを明らかにした。

参考文献

- 1) 土木学会・鋼構造新技術小委員会・耐震設計研究WG：鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術，1996.7.
- 2) 太田俊昭：新体系土木工学 8，構造物の非弾性解析，土木学会編，技報堂，1980.