

## 直接基礎の非線形性を考慮した連続ラーメン橋の耐震性に関する一検討（動的解析）

オリエンタル建設(株) 正会員 ○町 勉  
 オリエンタル建設(株) 正会員 吉川 卓  
 オリエンタル建設(株) 正会員 角本 周

### 1. はじめに

橋梁の耐震設計では、基礎形式が岩盤に設置される直接基礎の場合には、一般に地盤の変形の影響が少ないとして基礎を固定とするか、地盤の変形を考慮する場合でも線形の地盤バネで評価している<sup>1)</sup>。しかしながら、レベル2地震動が作用した場合には、直接基礎の浮上りおよび地盤の降伏によって直接基礎が非線形挙動を示すものと考えられる。そこで、基礎を固定として設計したPC連続ラーメン橋を対象に、直接基礎の非線形性を考慮した非線形動的解析を行い、橋軸方向の耐震性に与える影響および静的解析結果との相違について検討を行った<sup>2)</sup>。

### 2. 検討対象橋梁

検討は、図-1に示す中央径間100m、橋脚高30mまたは60mのPC連続ラーメン橋を対象に行った<sup>3)</sup>。ここで、橋脚の橋軸方向に対する鋼材配置は、橋梁全体系で震度法および地震時保有耐力法により決定し、動的解析により照査した結果を用いた<sup>2)</sup>。また、直接基礎の寸法は、岩盤の種類を軟岩とし、フーチングの根入れが無い状態を想定して、道路橋示方書<sup>4)</sup>に準拠して決定した。

### 3. 解析モデルおよび非線形特性

解析モデルは2次元骨組モデルとし、上部構造は全断面有効剛性を有する線形はり要素とした。橋脚は、上下端に塑性ヒンジを考慮して非線形回転バネを設け、塑性ヒンジ領域以外は非線形はり要素でモデル化した（履歴復元力特性は武田型）。一方、直接基礎のモデルは、基礎を固定としたモデルおよび基礎底面に非線形回転バネを設置した回転バネモデルの2種類とした（図-2）。なお、フーチング躯体は剛部材としてモデル化した。

直接基礎の非線形特性は、鉄道標準<sup>5)</sup>を参考に、基礎の浮上りおよび地盤の降伏による最大抵抗モーメントを考慮したトリリニアモデル（3次剛性を0）とした。ここで、地盤降伏時の地盤反力度は、道路橋示方書における常時に対する最大地盤反力度の上限値<sup>4)</sup>の3倍と仮定している。また、履歴復元力特性は、根入れの無い直接基礎の载荷実験<sup>6)</sup>によると履歴ループが面積の小さい鳥の嘴状の形状となり原点指向性を示していることから、本検討では非線形弾性モデルを用いることとした。

動的解析における減衰マトリックスはRayleigh減衰より設定し、基本振動数の減衰定数は上部構造を5%、橋脚を2%、基礎バネを10%としたひずみエネルギー比例減衰より算出した。入力地震動はタイプI、IIの各3波形とした。

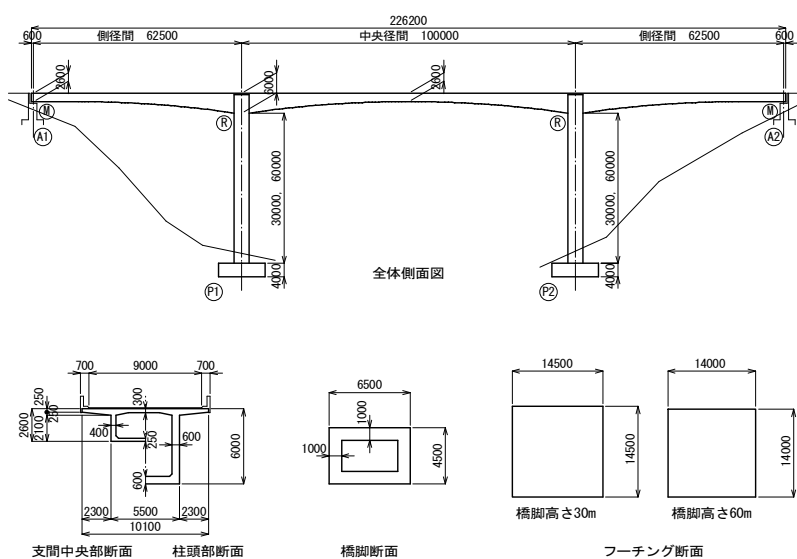


図-1 検討対象とした連続ラーメン橋

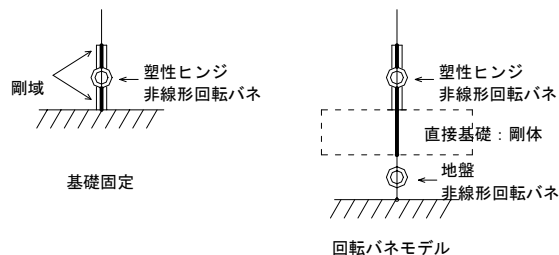


図-2 基礎地盤のモデル化

キーワード：PC連続ラーメン橋、直接基礎、非線形性、非線形動的解析

連絡先：〒102-0093 東京都千代田区平河町2-1-1 オリエンタル建設(株) 技術部 TEL;03-3261-1176 FAX;03-3261-1139

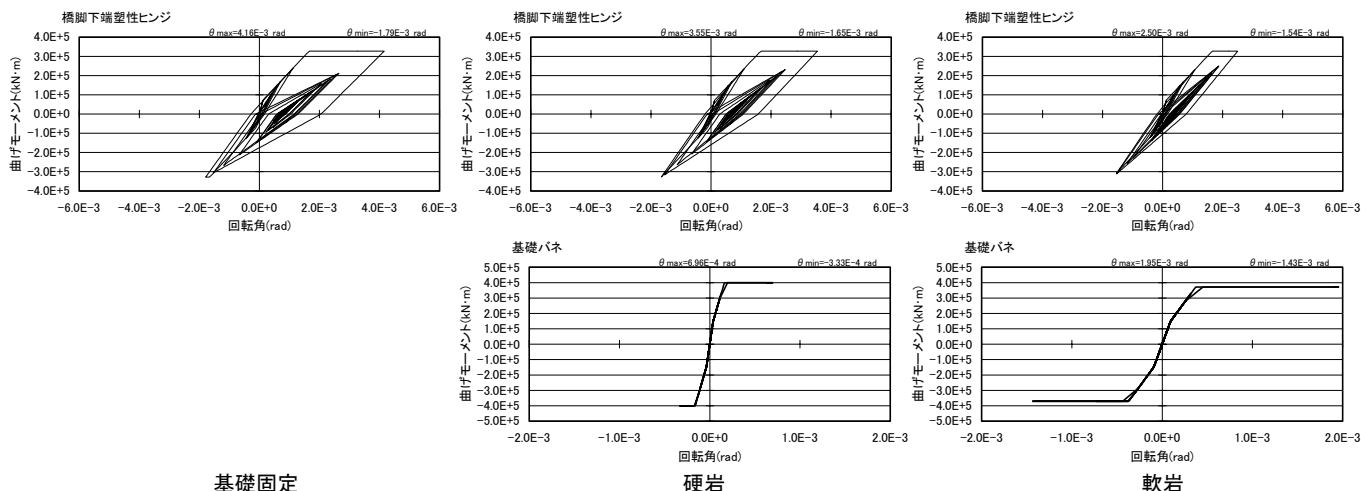


図-3 タイプII地震動に対する橋脚下端塑性ヒンジおよび基礎バネの応答履歴曲線 (H=30m)

表-1 各解析ケースの上部構造最大応答変位, 塑性ヒンジおよび基礎バネの応答塑性率 (3波形平均)

|                | 橋脚高 30m |       |       |       |       |       | 橋脚高 60m |       |       |       |       |       |
|----------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                | タイプI    |       |       | タイプII |       |       | タイプI    |       |       | タイプII |       |       |
|                | 固定      | 硬岩    | 軟岩    | 固定    | 硬岩    | 軟岩    | 固定      | 硬岩    | 軟岩    | 固定    | 硬岩    | 軟岩    |
| 上部構造最大応答変位 (m) | 0.181   | 0.185 | 0.189 | 0.237 | 0.238 | 0.238 | 0.641   | 0.616 | 0.603 | 0.356 | 0.356 | 0.358 |
| 橋脚応答塑性率        | P1 上端   | 0.64  | 0.64  | 0.63  | 0.78  | 0.77  | 0.75    | 0.69  | 0.63  | 0.46  | 0.46  | 0.45  |
|                | P2 上端   | 0.66  | 0.65  | 0.64  | 0.78  | 0.78  | 0.77    | 0.75  | 0.69  | 0.63  | 0.46  | 0.46  |
|                | P1 下端   | 1.50  | 1.28  | 0.97  | 2.46  | 2.10  | 1.41    | 1.22  | 0.89  | 0.75  | 0.61  | 0.60  |
|                | P2 下端   | 1.71  | 1.36  | 0.98  | 2.24  | 1.89  | 1.31    | 0.90  | 0.90  | 0.76  | 0.66  | 0.64  |
| 基礎応答塑性率        | P1 基礎   | —     | 3.80  | 4.37  | —     | 4.84  | 5.85    | —     | 11.49 | 9.14  | —     | 0.93  |
|                | P2 基礎   | —     | 4.46  | 4.89  | —     | 4.46  | 5.93    | —     | 12.05 | 9.55  | —     | 1.33  |

4. 解析結果

図-3に、橋脚下端塑性ヒンジおよび基礎バネの応答履歴曲線の一例を示す。また、表-1に、各解析ケースの応答値の3波形平均を示す。直接基礎の非線形性を考慮した静的解析では、基礎が降伏した後、橋脚下端は降伏せずに橋脚上端のみが降伏する<sup>2)</sup>。一方、非線形性を考慮した動的解析では、橋脚高 30m の場合には基礎および橋脚下端は降伏に達するが橋脚上端は降伏しない結果となり、橋脚高 60m の場合には基礎のみが降伏に達する結果となった。また、軟岩→硬岩→基礎固定の順で橋脚下端の応答塑性率は大きくなっている。なお、上部構造の最大応答変位は、非線形性を考慮してもほぼ同じ結果となった。

図-4に、橋脚高 30m の場合の P1 橋脚における静的解析とタイプ II-1 地震動における動的解析による応答曲げモーメントを比較して示す。直接基礎の非線形性を考慮した場合、基礎降伏時は静的解析と動的解析ではほぼ同等の分布となっている。一方、静的解析では基礎降伏後に橋脚下端塑性ヒンジの曲げモーメントが低下しているのに対して、動的解析では基礎降伏後も曲げモーメントが増加しており、動的解析の最大変位時は静的解析のメカニズム状態とは分布形状が異なる結果となった。

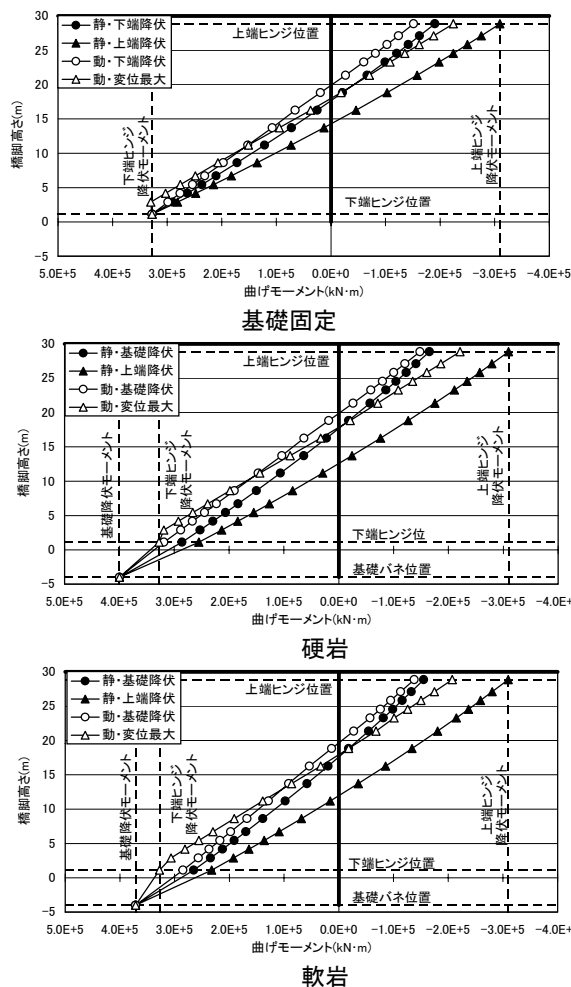


図-4 橋脚の曲げモーメント分布

<参考文献> 1) 道路橋示方書, 耐震設計編, 1996.12 2) 吉川・町・角本: 直接基礎の非線形性を考慮した連続ラーメン橋の耐震性に関する一検討 (静的解析), 2001.10 3) 角本・町・吉川: PC連続ラーメン橋の張出し施工時の耐震性能に関する一検討, 第4回保有耐力法シンポジウム論文集, 2000.12 4) 道路橋示方書, 下部構造編, 1996.12 5) 鉄道構造物等設計標準, 基礎構造物・抗土圧構造物, 1997.3 6) 羽矢・西村: 大地震力を考慮した直接基礎の設計法の提案, 土木学会論文集, 1998.6