

偏載荷重を受ける鉄道駅部RCラーメン高架橋の耐震設計(その3)

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 ○松橋 宏治

阪急設計コンサルタント(株) 正会員 山口 武志 正会員 五貫 慎

1. はじめに

大都市部における鉄道連続立体交差事業において、構造計画に際し立地条件や用途の影響を多分に受けたために、構造物に載荷される荷重が構造物の剛芯に対して大きく偏芯した(以下、偏載荷重と言う)駅部RCラーメン高架橋の耐震設計事例を報告する。本稿はこの内、非線形FEM解析による柱のねじりに対する照査について述べる。

2. 検討の背景

本構造物の一般形状寸法およびFEM検討対象柱を図-1に示す。本柱は、構造物に対する3次元非線形動的骨組み解析(以下、骨組み解析と言う)の結果、ねじりモーメントが生じ、せん断力を同時に受ける場合のねじり耐力¹⁾に対する照査を満足しない部材であった。仮に文献1)の設計式で照査を満足させるには、部

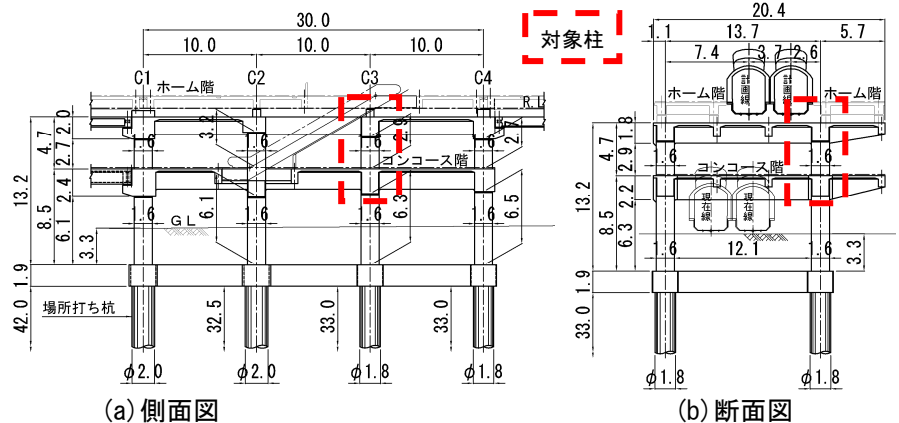


図-1 一般構造寸法(単位:m)

材断面の更なる増加,あるいは複合構造等への構造変更が必要となるが、駅部コンコースの柱でこれ以上の断面増加による建築計画への影響や、また構造変更をした場合の工事費増大などの面から計画の変更が困難な状況であった。また、前述したねじり耐力の設計式は相当安全側に定められたものであるとの記述²⁾もあり、またこの設計式は帯鉄筋が降伏する場合の相関関係式で、せん断スパン比が $a/d=1$ 程度と極短く、破壊モードが異なる可能性のある本対象柱に対して適用するのは合理的ではないと考えられた。そこで、より精緻な照査法として、3次元非線形FEM解析を用いることとした。

3. 解析モデル

解析モデルは、検討対象柱のみ取り出したモデルとした。図-2に解析モデル図を示す。柱の両端にはスタブを設け、下端を固定し上端を回転拘束することで逆対称曲げとなるモデルとした。柱部分は20節点アイソパラメトリック要素とし、鉄筋配置に応じた要素分割を行っている。スタブは弾性要素、柱部分はRC/無筋要素である。柱の断面配筋図を図-3に示す。軸方向鉄筋はD35、帯鉄筋はD25が柱軸方向に100mm間隔で配置されている。鉄筋の材質はSD490、コンクリート強度は $f_{ck}=50\text{N/mm}^2$ である。RC/無筋要素にはTension Stiffening/Softeningを考慮し、柱の両端部では局所変形を考慮するため、接合要素を定義している。また、コンクリートの圧縮軟化特性を要素寸法に応じて定義することにより軸方向鉄筋の座屈を考慮している³⁾⁴⁾。

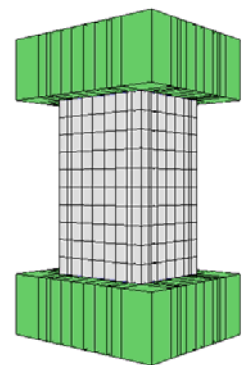


図-2 解析モデル図

4. 解析手法

本解析では、骨組み解析で得られた断面力をFEM解析モデルに導入することとした。載荷する荷重は、表-1に示す水平荷重を上スタブに載荷するとし、以下の2通りの載荷パターンで実施した。

パターン①: 曲げモーメント、せん断力を直行2方向で再現した後、ねじりモーメント

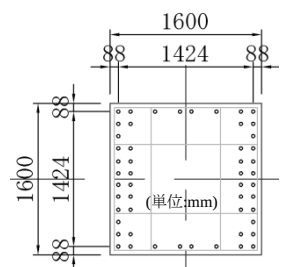


図-3 柱断面配筋図

キーワード RC ラーメン高架橋 偏載荷重 耐震設計 ねじりモーメント 非線形FEM解析

連絡先 〒541-0052 大阪府大阪市中央区安土町2丁目3番13号大阪国際ビルディング パシフィックコンサルタンツ(株) 06-4964-2318

トを漸増载荷する。

パターン②：曲げモーメント，せん断力，ねじりモーメントを同時に漸増载荷する。

なお，骨組み解析結果における本柱の断面力分布は，完全な逆対称曲げ状態ではなかったが，FEM 解析においてこれを忠実に再現することは困難であることから，FEM 解析では安全側に最大断面力での逆対称曲げを想定した。

5. 解析結果

解析の結果を以下に示す。図-4 には，ねじりモーメント-ねじり角関係を示す。また図中には，表-1 に示す設計応答値のねじりモーメント（=1173.0kN・m）も示した。図-4 より，設計応答値である発生荷重 100% 荷重時点まで，何れの载荷パターンにも目立った剛性低下は生じていない。载荷パターン①では，設計応答値以降も大きな剛性低下はなく，柱にはほとんど損傷が生じない結果となった。载荷パターン②では，設計応答値直後に剛性が低下する第 1 折れ点が見られるものの，以降も耐力および剛性は保持し続け，ねじりモーメント 2700kN・m 程度，ねじり角 0.3° 程度で勾配が概ねフラットとなり最大荷重を迎えている。

最大主（引張）ひずみのコンターを図-5 に示す。図-5 では，载荷パターン①と②について設計応答値相当の 100% 荷重荷重時と最大荷重時について示した。100% 荷重時では，何れの载荷パターンでもねじりの影響によるひずみ分布は顕著には見られず，基部の曲げ引張側に集中している。最大荷重時では，パターン①において部材の各面で対角状に最大主ひずみが発生し，ねじりの影響が比較的現れたひずみ状態であるのに対し，パターン②では方向性の無いひずみ状態で，曲げ・せん断・ねじりが複合したひずみ状態と言える。また，パターン②の最大荷重時では，柱両端の広い範囲に大きなひずみが分布しており，これが最大耐力を迎えた要因と考えられる。

以上の結果から，本検討柱は骨組み解析で得られた設計応答値に対してねじり破壊することはない，十分な耐力・剛性を有していることが明らかとなった。更にねじりを加え，ねじり耐力の評価となると，曲げおよびせん断力との相関があることは载荷パターン①と②の比較で明らかとなり，設計式と同様の傾向ではあるが，最大限に曲げモーメントおよびせん断力を载荷したパターン②の最大ねじりモーメントは 2700kN・m 程度で，設計応答値の 2 倍以上の耐力を有していることが明らかとなった。

6. まとめ

骨組み解析による設計応答値に対し，ねじり耐力の設計式による照査を満足しないせん断スパン比が $a/d=1$ 程度の RC 高架橋柱に対し，3 次元非線形 FEM 解析による照査を実施した。その結果，骨組み解析による応答値に対してねじり破壊は生じず十分な剛性および耐力を保持していること，ねじり耐力は少なくとも設計応答値の 2 倍以上は有していることが明らかとなり，本構造物の耐震性能は要求性能を満足することが示された。

参考文献 1) 鉄道総研：鉄道構造物等設計標準・動解説 コンクリート構造物，2004.1 2) コンクリート構造物の限界状態設計法指針(案)：土木学会コンクリートライブラリー第52号，1983. 3) 岡村他：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技報堂出版，1991. 4) Maekawa, K., Pimanmas, A. and Okamura, H.: Nonlinear mechanics of reinforced concrete, Spon Press, London, 2003.

表-1 载荷荷重

項目	単位	値
水平力(kN)	X方向	kN
	Y方向	kN
軸力*(kN)	kN	2000.0
ねじりモーメント	kN・m	-1173.0

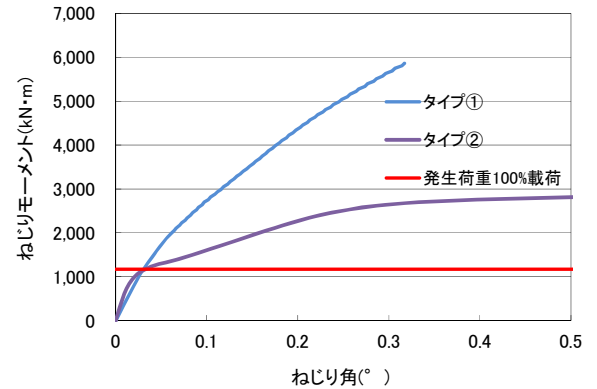


図-4 ねじりモーメント-ねじり角関係

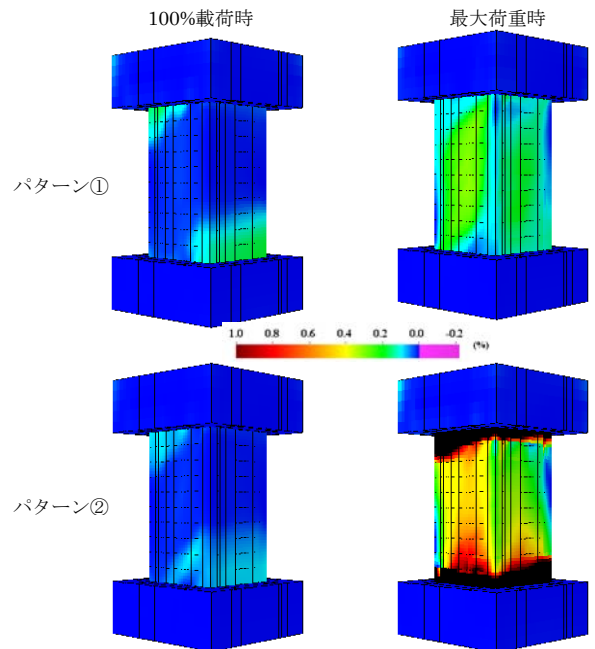


図-5 最大主ひずみコンター図