

壁柱部材の載荷実験と FEM 解析による耐震性能評価

JR 東海 正会員 ○中原 祐介
 JR 東海 正会員 岩田 秀治
 JR 東海 正会員 鈴木 亨

1. はじめに

これまで東海道新幹線の地震対策として様々な取組みを実施してきた。RC 構造物の強化としては、脆性的なせん断破壊の防止を図るため、高架橋柱の鋼板巻き補強などの耐震補強を実施してきた。

高架橋の中には、矩形では無い壁状の柱部材を持つ RC ラーメン高架橋がある。(以下、壁式高架橋:図 1)。この構造は、鉛直力を中間柱で、水平力をブロック中央の橋台部で負担するもので、中間柱の壁柱部は断面 200 cm×30 cm と非常に薄く、幅/高さ=1/23~1/33 というもので、東海道新幹線で最も多い 60 cm 角柱を持つ標準高架橋の 1/10 と比較して、スレンダーな形であるといえる。加えて、コンクリート容積当たりの鉄筋量は、120kg/m³ 程度で従来の標準高架橋より少ない低鉄筋量で設計されている。その性能については過去に何度か検討がされているものの、柱部材が壁状で、鉄筋比が低いため、設計基準の照査適用範囲外となり、正確な耐震性能の評価には至らなかった。本論文では、壁柱部をモデル化した試験体を用い、交番載荷試験と FEM 解析により耐震性能評価を行うものである。

2. 壁柱部の載荷実験

(1) 試験方法

試験体は壁式高架橋の壁柱の 1/2 縮小モデル (図 2) で、載荷方法は最外縁の鉄筋につけたひずみゲージが降伏ひずみに達した時の変位を δy とし、 $\pm 0.5 \sim 12 \delta y$,

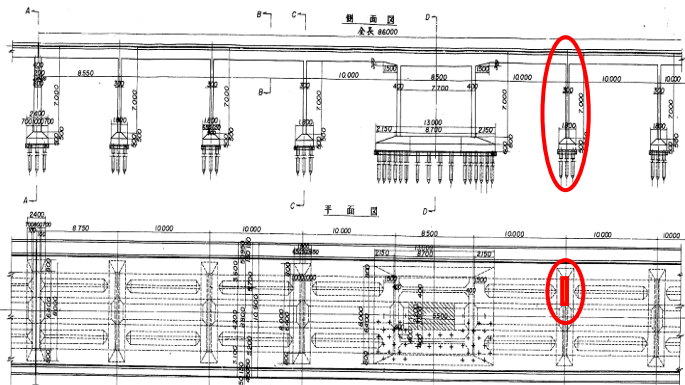


図 1 壁式高架橋

の各 3 サイクルと、押切載荷とした。試験体には、死荷重+列車荷重相当分を付加した状態で、逆対称曲げモーメントを作用させた。

(2) 実験結果

荷重-変位関係を図 3 に、試験体の損傷状況を写真 1 に示す。水平荷重、約 50kN において、壁脚部に曲げひび割れが発生し、0.5 δy において脚部に曲げひび割れが発生した。2 $\delta y \sim 4 \delta y$ にかけて曲げせん断ひび割れに進展し、圧縮縁においてコンクリートの圧壊が見られた。6 δy にかけて、さらに曲げせん断ひび割れが分散して発生、また進展し、帯筋のひずみが大きくなり始めた。20 δy にて脚部のせん断ひび割れが大きく開き、圧縮縁にて主筋が座屈、帯筋が破断し、軸方向力を保てなくなり実験を終了した。履歴曲線はややスリップ型を示したが、変形性能に優れたループを呈する形となった。

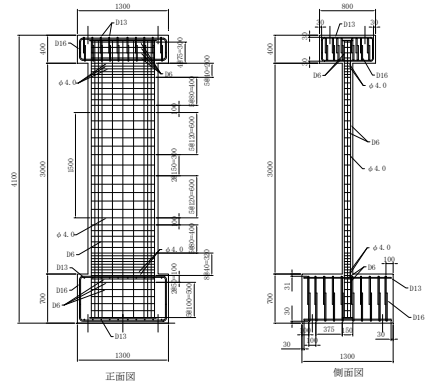


図 2 壁柱部の試験体

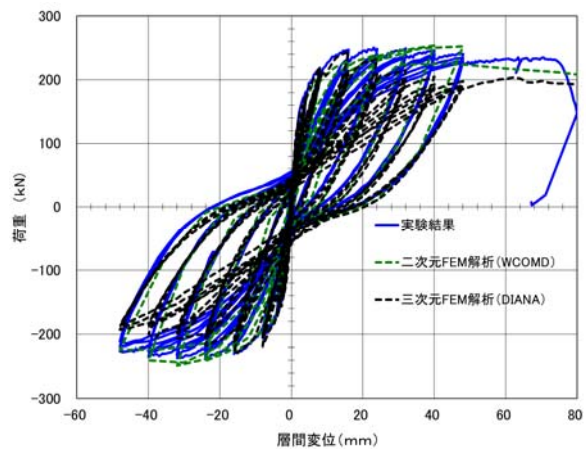


図 3 荷重-変位関係

キーワード 壁式高架橋, 載荷実験, FEM 解析, 耐震性能

連絡先 〒450-6061 愛知県名古屋市中村区名駅一丁目 1 番 4 号 JR セントラルタワーズ

3. FEM 解析による検証

(1) 実験結果の検証

(a) 解析モデル

非線形 FEM 解析により、解析結果を検証した。使用材料定数は、前述の試験体と同じ諸元値を用いた。解析プログラムには、WCOMD を使用し、二次元 RC 要素を用いてモデル化 (図 4 (a)) を行い、ひび割れは分散モデルで考慮した。载荷条件は、実験時と同様に軸力を载荷し、繰返しプッシュオーバー解析とした。

(b) 解析結果

荷重変位曲線を図 3 に、ひび割れ状況を図 5 (a) に示す。1δy で壁脚端部に曲げひび割れが進展し、2δy で曲げせん断ひび割れの移行、その後、多くのひび割れが進展するものの、破壊には至らず、実験状況とよく一致した。

(2) 三次元モデルでの検討

(a) 解析モデル

壁式高架橋は、線路方向の水平力を分担する橋台部、線路直角方向の水平力を分担する中間柱に分かれており、高架橋全体モデルを用いて地震動に対するねじれなどの三次元的な挙動も検証する必要がある。その第一段階として、三次元 FEM モデルによる解析を実施した (図 4 (b))。解析プログラムには、汎用有限要素解析コード DIANA (前川モデル) 使用した。コンクリート部分は、ソリッド要素に分散ひび割れモデルを用い、回転ひび割れモデルとした。圧縮側の挙動については、弾塑性破壊モデルを用いて、引張側の挙動については、Hordijk 型の引張軟化を用いて、破壊エネルギーは 0.1 とした。鉄筋の降伏基準については、von mises とし、完全弾塑性モデルとした。事前に離散ひび割れモデルをひび割れ幅の最大箇所であったスタブと壁柱の断面変化部に適用し、解析を実施したが、感度は小さく、また実験においてもひび割れは分散傾向にあり、設定は行わないこととした。

(b) 解析結果

荷重 - 変位曲線を図 3 に、ひび割れ状況を図 5 (b) に示す。実験値および WCOMD での解析と同様に、ひび割れが分散して進展、その後、破壊に至らないことなどよく一致し、三次元 FEM 解析モデルでの妥当性を確認した。

4. まとめ

- ・ 鉄道設計基準での照査では、本対象の壁柱部材は、

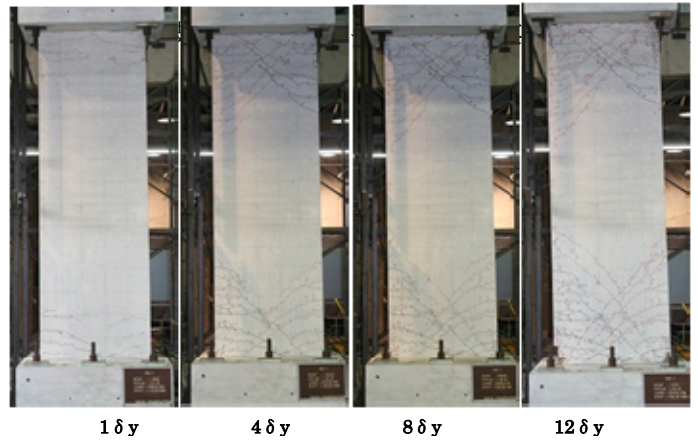


写真1 損傷状況

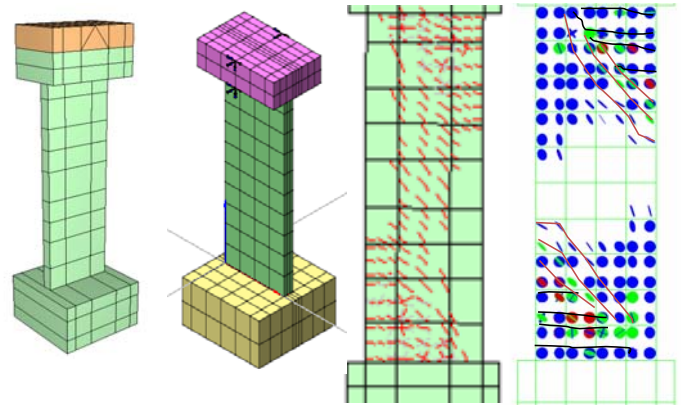


図4 解析モデル

図5 ひび割れ状況 4δy

左(a)WCOMD, 右(b)DIANA 左(a)WCOMD, 右(b)DIANA

(b)ひび割れを○で表示。载荷方向と直角方向の両方にひび割れ発生。

解析 (WCOMD, DIANA) では、共に脆性的なせん断破壊は生じない結果となった。これは、せん断力の算定照査式では最外縁付近の主筋しか考えないという安全サイドによるものであり、せん断耐力には、逆算すると中立軸付近までの鉄筋が有効だと考えられる。

- ・ 壁柱部材には多数のクラックが生じるものの、分散して発生し、顕著な主筋の座屈、耐力低下は生じず、良好な変形性能を発揮することを確認した。
- ・ 実験結果と WCOMD による FEM 解析結果は、曲げ耐力、変形性能およびスリップ型の紡錘形履歴形状ともに極めて精度よく一致することを確認した。
- ・ 今回構築した三次元 FEM 解析モデル (DIANA 前川モデル) を、高架橋全体系モデル展開し、ねじれなどの三次元的な挙動を今後検証する。

参考文献 : 岩田秀治, 関雅樹, 前川宏一: コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, 壁柱部材を有する RC ラーメン高架橋の载荷試験と FEM 解析による耐震性能評価, 2010.