

鉄道営業線における既設開削トンネルの耐震補強（その2） - 鋼製パネル組立工法の適用拡大 -

東京急行電鉄（株） 正会員 高倉 鉄也 小里 好臣
東急建設（株） 井上 善広 味田 二郎
（株）大林組 正会員 ○佐藤 清 正会員 坂平 佳久

1. はじめに

筆者らは鋼製パネル組立補強工法を用いて、営業線における地下駅舎の中柱の耐震補強を実施している¹⁾。補強対象のうち扁平な断面を有する柱（壁式柱）については、既往の設計指針の適用範囲外と考えられたため、実大供試体による実証実験により耐震性能を確認した。本報では壁式柱への鋼製パネル組立工法の適用事例として、数値解析による現状の応答評価から実証実験によって対策仕様を決定するまでについて報告する。

2. 検討断面

鋼製パネル組立工法²⁾は高架橋への適用を前提に開発された工法であり、同工法の設計・施工指針³⁾に示されるように、一般的な高架橋断面を模擬した□600mm×600mm、および□900mm×900mmの供試体による正負交番載荷試験の結果に基づいて性能評価を行っている。一方、同工法は人力施工が可能で、溶接を必要としない施工性の良さから地中構造物の中柱補強にも適用されており、筆者らも営業線の地下駅舎に対して鋼製パネルによる中柱の補強を実施してきた。しかしながら、図-1に示すような2000mm×500mmの扁平断面を有するRC壁式柱については、塑性ヒンジ区間での長辺方向のパネルのはらみ出しなどにより、既存の設計・施工指針で規定する性能を確保できない可能性が懸念された。そこで、実大実験供試体による正負交番載荷実験を実施し⁴⁾、鋼製パネル組立工法による補強の適用性を検討した。

2. 検討断面の耐震診断と目標性能の設定

補強前の耐震診断は、動的非線形解析と静的非線形解析の組合せによって実施した。まず構造部材を非線形梁要素（M ϕ トリリニア+武田型履歴特性）、地盤を非線形平面ひずみ要素（修正ROモデル）とした動的解析を実施し、構造物の層間変位が最大となる時刻の変位分布を算出した。入力レベル2地震動（スペクトルⅡ適合波）⁵⁾とした。次に構造物の非線形性を考慮した静的FEMモデルを構築し、動的解析によって得られた変位分布を強制変位として載荷することで構造物の応答を算出した。静的解析は構造物非線形性を部材非線形および材料非線形として考慮した解析を実施し、両者の結果を総合的に判断した。照査の結果、中柱は上階、下階ともにせん断破壊し、曲げ変形性能も不足する（損傷レベル4）⁵⁾ことが確認された。これらの結果に基づき、鋼製パネル組立工法によってせん断耐力および曲げ変形性能の向上を図ることとした。ただし、壁式柱の曲げ変形性能の補強効果については、実大供試体による正負交番載荷実験を実施し、補強後の耐震性能を直接評価することとした。補強後の目標性能については、耐震診断時に実施した動的応答解析の結果を参考に決定した。図-3は動的解析による構造物の層間変位最大時の変形モードと層間変形角を示している。地中構造物の変形は地盤と構造物の相互作用に依存するが、地盤変位の影響が支配的と言える。そこで、補強後も同程度の変形が構造物に生じると仮定し、補強後の θ_n （最大曲げ耐力後の耐力降下域で降伏耐力を維持できる最大の部材角）が、動的解析によって算出された変形角 θ_d （=0.026）を上回るこ

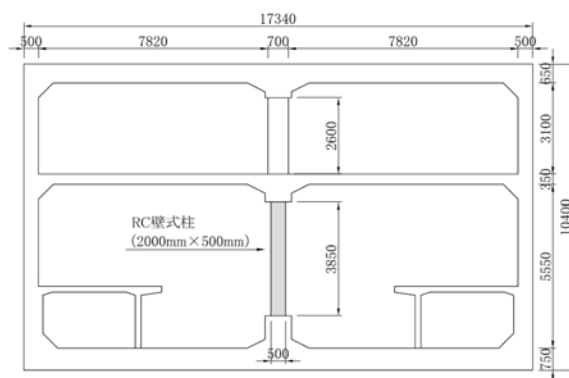


図-1 検討断面

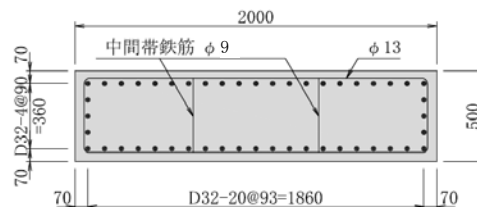


図-2 RC壁式柱の断面図

キーワード 耐震補強、動的応答解析、開削トンネル、駅舎、鋼製パネル組立工法、正負交番載荷実験

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組東京本社 生産技術本部都市土木技術部 TEL 03-5769-1305

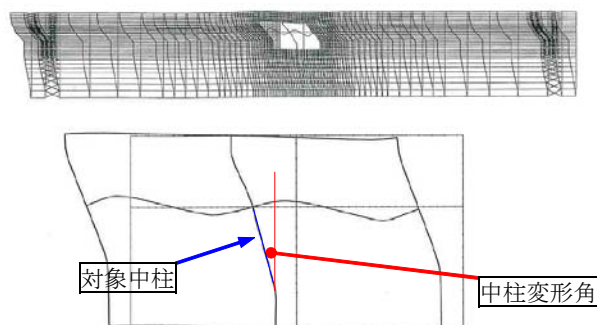


図-3 動的応答解析による層間変形角の評価

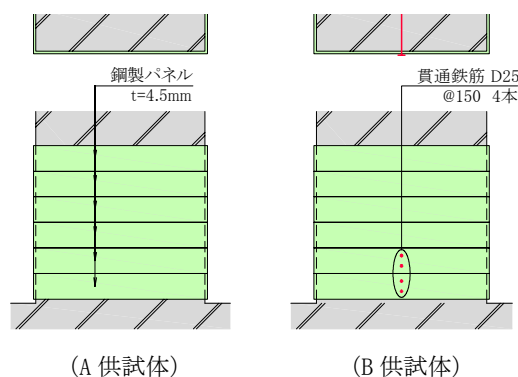


図-5 実証実験における供試体

とを目標性能とした。これはレベル2地震時に対する補強後の損傷レベルを3とすることを意味する。

3. 補強案と正負交番載荷実験の結果

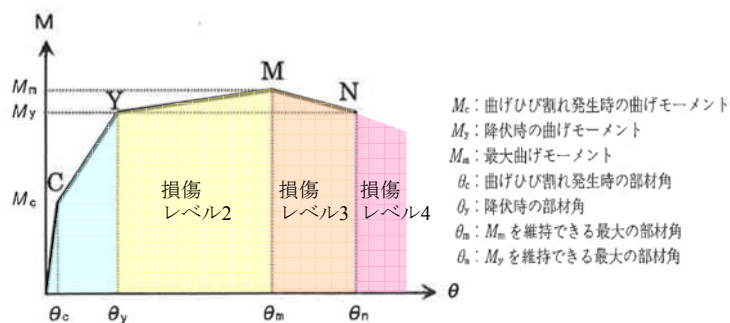
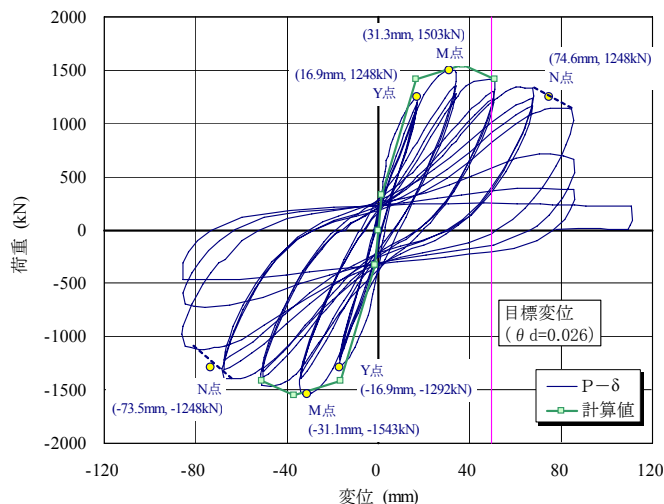
実験対象としたのは図-5に示すA, Bの2ケースである。鋼製パネルはA, B共通で、せん断耐力を確保するために必要な厚さとしている。両者の違いは曲げ変形性能、すなわち塑性ヒンジ部における主鉄筋の拘束効果の違いにある。A 供試体は通常の鋼製パネル組立工法と同じ仕様であるのに対して、B 供試体は主鉄筋の拘束効果を向上させるために、柱固定端から1D (=500mm) 区間において、4本の貫通鉄筋によって表裏のパネルを固定した。実験結果を図-6および表-1に示す。実験の詳細については文献4)を参考にされたい。表-1は各供試体の θ_n と目標性能を比較している。貫通鉄筋を用いないA 供試体でも目標値を上回っており、通常の鋼製パネル組立工法によってレベル2地震時にも損傷レベル3を確保できることが確認された。また、貫通鉄筋を加えたB 供試体の場合、変形性能はさらに向上する(目標性能の2倍)こともわかった。

5. まとめ

地下駅舎の壁式柱を対象に、鋼製パネル組立工法の適用性を検討した。レベル2地震動に対する補強後の目標性能を損傷レベル3と設定し、実大供試体を用いた正負交番載荷実験によって補強後の性能を確認したところ、パネルによる補強のみで目標とする耐震性能を得られることが確認できた。貫通鉄筋を使用すると耐震性能がさらに向上することもわかった。今後は鋼製パネル組立工法の長所を活かし、より幅広く適用性を検討していきたい。

参考文献

- 1) 鋼製パネル組立補強工法による営業線地下駅舎の耐震補強(その1) 補強計画と工法選定, 土木学会第66回年次学術講演会(投稿中)
- 2) 長縄卓夫, 岡野素之, 小松章, 相京博幸: 鋼製パネル組立てによるRC柱の耐震補強に関する研究, 構造工学論文集 Vol.52A, 521-528, 2006年3月
- 3) 財団法人鉄道総合技術研究所: 既存鉄道コンクリート高架橋柱当の耐震補強設計・施工指針「鋼製パネル組立補強編」, 平成18年9月
- 4) 渡辺哲, 武田篤史, 坂平佳久, 豊福浩司: 鋼製パネル組立補強工法の壁式柱への適用, 土木学会第65回年次学術講演会, 平成22年9月
- 5) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 平成19年10月

図-4 部材端部の曲げモーメントと部材角の関係⁴⁾図-6 動的応答解析による層間変形角の評価⁴⁾表-1 正負交番載荷実験による曲げ変形性能⁴⁾

供試体	θ_n
A	0.038 (>0.026)
B	0.054 (>0.026)