

東海道新幹線 16 駅と在来線 20 駅のプラットホーム上家を耐震補強, ダンパーによる新工法を開発

家 倉 優 人・塚 脇 喜 章

東海旅客鉄道(株)では、駅の地震対策として駅舎の耐震化や天井の脱落対策を順次進めている。プラットホーム上家については、2011年3月の東日本大震災による被災事例を踏まえ、地震発生時の安全性をより一層高めるため、各駅のプラットホーム上家の耐震診断や補強方法の検討を進め、2021年7月より耐震補強工事を実施している。なお、実施にあたっては、柱・梁の接合部にダンパーを取り付ける新工法を開発し、新幹線駅及び一部の在来線駅に採用することとした。本稿では、この新工法について紹介する。
キーワード：地震, 上家, 高架橋, 耐震補強, 制振技術, 増幅機構付減衰装置

1. はじめに

2011年の東日本大震災において、プラットホーム上家では梁の下フランジや柱脚のアンカーボルト破断など、倒壊こそしなかったものの、大きな被害が発生した。その後、2013年に「特定鉄道施設等に係る耐震補強に関する省令」が制定され、平均乗降客数等の条件に該当するプラットホーム上家に対して耐震化の努力義務が課された。2017年には、(公財)鉄道総合技術研究所が「鉄骨造旅客上家の耐震診断指針(以下、指針)」を整備した。これを受け当社保有の上家に対して、指針に基づく耐震診断を実施した結果、高架橋上のプラットホーム上家(以下、高架上家)においては柱の耐力不足を補うため3面に補強柱を取り付けるなど、膨大な補強が必要であることがわかった(図-1)。

これは、

- ・既設高架上家の柱梁接合部・柱脚に関する知見が十分でないため、実際の性能にかかわらず性能を低く評価せざるを得ないこと
- ・高架上家の柱脚を固め過ぎると高架橋への反力が大きくなり、高架橋側の補強も必要で、補強が更に大きかりになってしまうため、高架上家単体での補強を前提としていること

などによる。

指針に基づく補強では工期が長く、コストが大きいだけでなく、施工後にホームの有効幅員が狭くなり旅客サービスへの影響が懸念される。

これらの課題に対して、実験・解析により高架上家の実際の性能(以下、耐震限界性能)を把握し、他駅

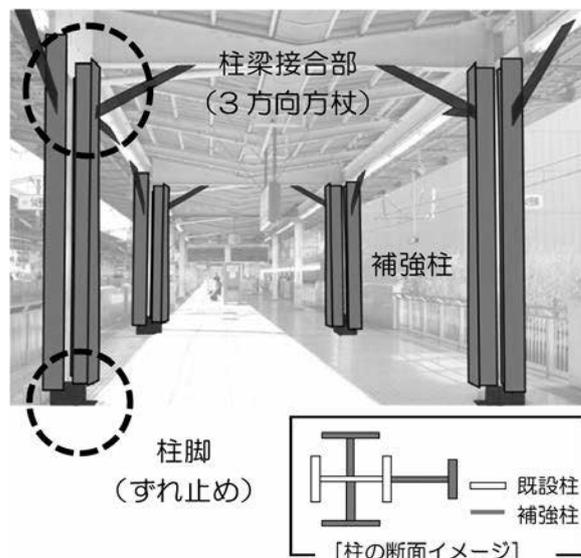


図-1 指針に基づく補強

への展開を見据えて評価法を開発することとした。また、補強が必要な場合の対策として、高架上家の特性に合わせた合理的な補強方法を開発した。

2. 耐震限界性能の評価

(1) 研究対象

東海道新幹線の高架上家の中から、柱梁接合部・柱脚が標準的な新横浜駅をモデル駅とした。柱梁接合部・柱脚の耐力や変形性能を把握するため、図-2に示す線路直交方向(強軸)・線路平行方向(弱軸)を抜き出した実物大の試験体を製作し、地震力を想定した水平力を繰り返し載荷する実験並びにFEM解析を実

施した。さらに、それらの結果を踏まえて高架橋・高架上家一体モデルを作成し、地震応答解析により高架上家の耐震性能を確認することとした。

(2) 現地調査

建設年度・構造の特徴を調査し、竣工図と現地の状況を確認するため、現地調査を実施した。部材の断面測定、柱の仕上げ材を一部撤去して柱脚を確認し、現物を踏まえた試験体を製作した。

(3) 実験

実験状況として、柱梁接合部（強軸）の試験体は図一3 (a) に示すように、柱が水平に、梁が垂直になるように設置した。柱脚の試験体は図一3 (b) に示すように、高架橋を模した鉄筋コンクリート基礎上部に柱を固定した試験体とした。実験方法は、正負交番漸増繰り返し載荷を行い、各接合部の性能を確認した。

(a) 柱梁接合部の実験結果

柱梁接合部（強軸）の水平力と変形角の関係を図一4 (a) に示す。指針に基づく耐震診断では、弾性限界内しか評価できないが、塑性化後も一定の耐力を保持した状態で変形角 1/20 まで、粘り強い変形性能を確認できた。なお、変形角 1/20 以降は、図一5 (a) の通り、柱フランジに局部座屈が発生した。また、弱

軸については水平力の最大値は異なるものの、同様の傾向であることを確認した。

(b) 柱脚の実験結果

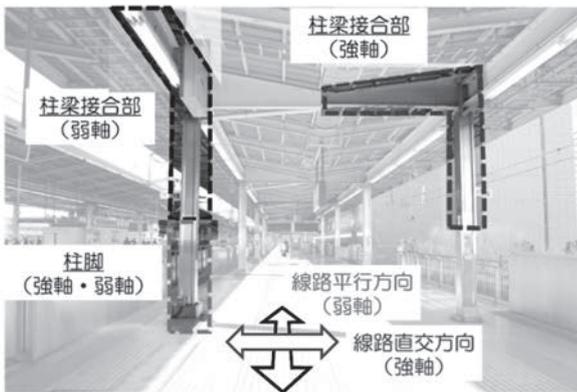
柱脚（弱軸）の曲げ耐力と変形角の関係を図一4 (b) に示す。指針に基づく耐震診断では、回転剛性・曲げ耐力がゼロ（ピン接合）の想定であったが、一定程度の回転剛性（5 MN・m/rad）・曲げ耐力（約 60 kN・m）があることを確認した。なお、図一6 (a) の通り、アンカーボルトの伸び（塑性化）により、ベースプレートが浮き上がる現象を確認した。柱梁接合部と同様に変形角 1/20 まで安定した挙動であることが確認でき、強軸も同様の傾向であることを確認した。

(c) 限界変形角の設定

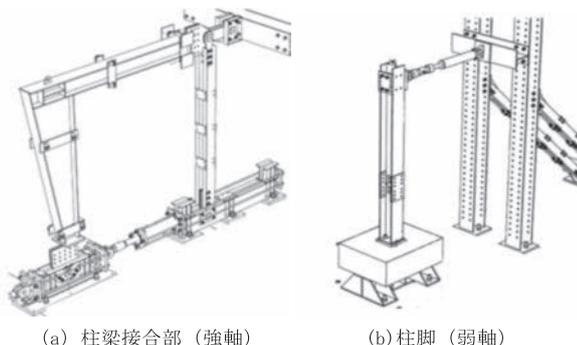
柱梁接合部、柱脚の実験より、変形角 1/20 に達しても十分な耐力を保有していることを確認し、以降の検討に用いる変形の指標（限界変形角）を 1/20 と設定した。

(4) 評価法の確立

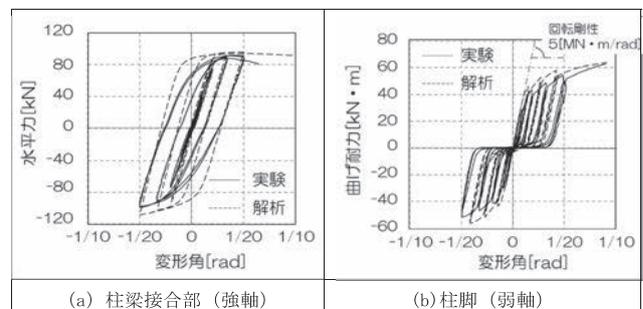
実験と同条件で FEM 解析をした結果（図一5 (b)、図一6 (b)）、柱梁接合部・柱脚ともに、実験を精度よく再現することができた。作成した FEM モデルのパラメータ（柱幅や板厚など）を変更して解析することで、他駅も FEM 解析により接合部の性能が評価可



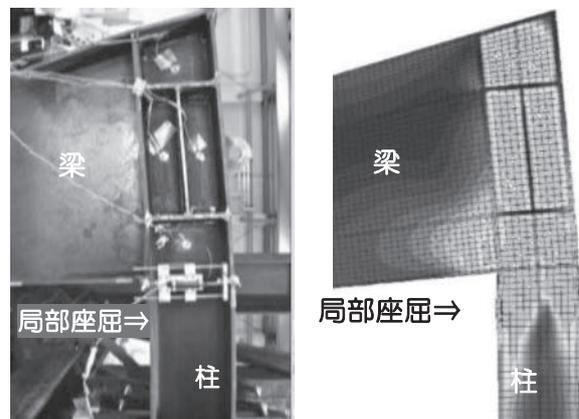
図一2 試験体部位



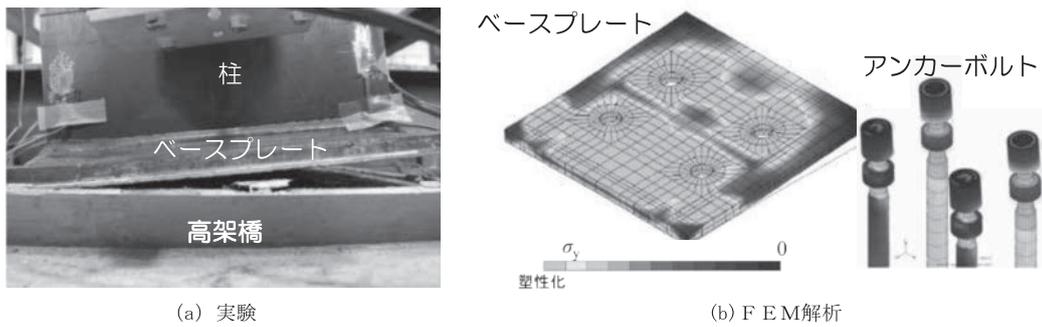
図一3 実験状況



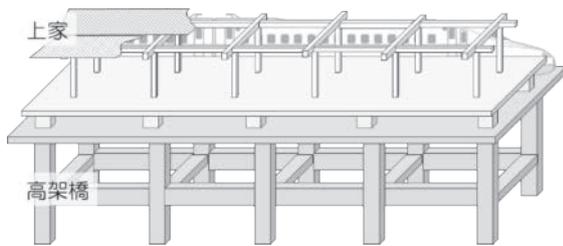
図一4 実験結果



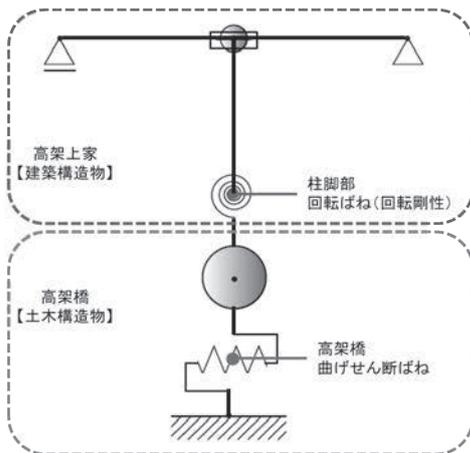
図一5 最大変形時の柱梁接合部



図一6 最大変形時の柱脚



(a) 解析対象概要図



(b) 解析モデル

図一7 地震応答解析の対象範囲

能となり評価法として確立した。

(5) 地震応答解析結果

評価法による結果を図一7に示す高架上家・高架橋一体モデルに反映し、地震応答解析を実施した。

地震応答解析は建築基準法に準じた3波の異なる位相の地震動にてそれぞれ解析を実施した。その結果、線路直交方向（強軸）は最大変形角 1/22 と接合部の破断による倒壊のない、十分な耐力・変形性能を確認でき、耐震性能は十分で補強が不要であることを確認した。線路平行方向（弱軸）は最大変形角 1/19 となり、耐力・変形性能が線路直交方向（強軸）と比較して劣るため、補強が必要となった。

3. 合理的な補強方法の提案

(1) 補強方針の策定

補強が必要な線路平行方向（弱軸）に対する補強方針を次のように定め、補強方法を検討する。

- ・高架橋の余力の範囲内で、可能な限り柱脚を補強する（柱脚の弱軸について、強軸と同程度に補強）
- ・高架橋への反力を抑制するため、ダンパーを設置し地震エネルギーを吸収（高架上家の柔構造を活かす）

(2) 柱脚補強案の検討

柱脚の弱軸について、強軸と同程度の回転剛性となるよう、表一1に示す回転剛性の異なる3パターンの補強案に対する実験及びFEM解析を実施し、補強効果を検証した。回転剛性の比較結果を図一8(a)に示す。これより、最も簡易な補強①でも、強軸と同程度の回転剛性を確保できることを確認した。また、最大曲げ耐力の比較結果を図一8(b)に示す。いずれの補強方法も最大曲げ耐力は同程度であることから、高架橋への影響は補強方法によらず一定となり、高架橋の余力等に応じて補強②や補強③も適用できることを確認した。

(3) ダンパー仕様について

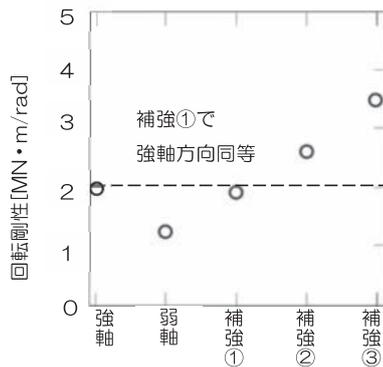
高架橋により増幅される地震動に対して、上家に作用する地震力を低減するだけでなく、高架橋への反力を抑制することを目的としてダンパーを設置する。ダンパーの仕様は、

- ・大小様々な地震に適用可能であること
- ・耐候性が十分にあること
- ・既存上家の構造に影響を与えないこと

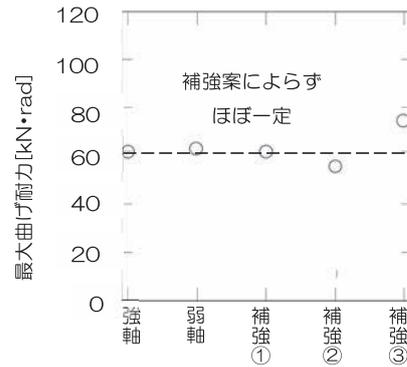
の条件を満足する図一9に示す低出力型の増幅機構付減衰装置をダンパーとして想定することとした。

表一 柱脚補強案

	補強①	補強②	補強③
補強イメージ			
補強方法(仕様)	カバープレート (H=600)	補強① +コンクリート充填 (Fc=24kN)	補強② +あと施工アンカー (M24)
実験結果			

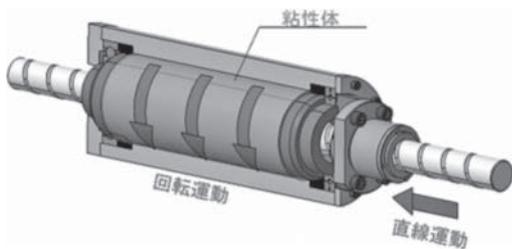


(a) 回転剛性の比較

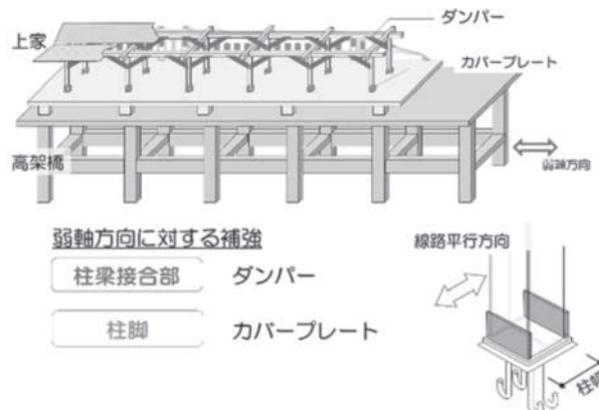


(b) 最大曲げ耐力の比較

図一 8 柱脚補強案の検討結果



図一 9 ダンパー概念図



図一 10 開発する補強方法のイメージ

(4) 合理的な補強方法の提案

以上の検討より, 補強方法を以下の通り提案する(図一 10)。

- ・線路直交方向(強軸): 十分な耐震性, 補強不要
- ・線路平行方向(弱軸): 柱脚…カバープレート
柱梁接合部…ダンパー

補強後の高架上车・高架橋(図一 11)に対する地

震応答解析の結果, 地震時の変形角が 1/19 から 1/22 と改善され, 実験で安定した性能を確認できた限界変形角 (1/20) 以内となり, 必要な耐震性能が確保できることを確認した。

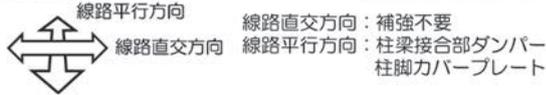


図-11 開発した補強方法



写真-1 補強箇所（柱梁接合部）



写真-2 補強箇所（柱脚）

4. まとめ

高架上家の柱梁接合部・柱脚に対する実験・解析により、以下の結論を得た。

- ・高架上家の耐震限界性能は、指針による耐震診断結果よりも高く、線路直交方向（強軸）は補強不要
- ・作成した柱梁接合部・柱脚のモデルを用いた評価法により、柱幅や板厚などが異なる高架上家についても、実験を実施することなく評価が可能
- ・線路平行方向（弱軸）の補強については、高架橋への反力を考慮し、柱脚をカバープレート補強した上で、高架上家の柔構造を活かし、ダンパーにより減衰を付加することが合理的

5. おわりに

東海旅客鉄道㈱では、開発した新工法を採用し、東海道新幹線は品川駅を除く16駅、在来線はお客様のご利用が1日1万人以上の駅のうち、対策不要の駅や今後補強要否の検討を行うレール造の上家（柱や梁にレールを使用した上家）等を除く20駅を対象に、プラットホーム上家の耐震補強工事を実施している。既に、東海道新幹線新横浜駅（写真-1, 2）、東海道本線焼津駅、西焼津駅、磐田駅、安城駅、笠寺駅の施工が完了し、残る駅についても順次設計、施工を実施している。また、レール造の上家についても、耐震補強により地震発生時の安全性をより一層高めるべく、更なる新工法の開発に取り組んでいる。

JICMA

《参考文献》

- 1) (一社) 鉄道建築協会：鉄道建築ニュース 2011.12月号 特集主幹論文「東日本大震災」
- 2) (公財) 鉄道総合技術研究所鉄道技術推進センター：鉄骨造旅客上家の耐震診断指針, 2017.3
- 3) 家倉, 塚脇, 吉原, 西本, 佐藤, 井上 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)「既存旅客上家鉄骨架構の構造性能評価 その1～その5」, pp.1083-1092, 2020.9
- 4) (一社) 鉄道建築協会：鉄道建築ニュース 2020.12月号 特集 主幹論文「高架上家の耐震化について」
- 5) 家倉, 菅原, 住岡, 玉井, 吉原, 西本, 高塚 日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿)「古レール造上家架構の構造性能評価 その1～その3」, pp.1095-1100, 2023.8

【筆者紹介】

家倉 優人 (いえくら ゆうと)
東海旅客鉄道㈱
静岡支社 施設部施設課
担当課長



塚脇 喜章 (つかわき よしあき)
東海旅客鉄道㈱
建設工事部 建築工事課
係長

