

建設分野における技術開発とその成果

Technological developments and results in construction field



東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター 次長 清水 満 課長 林 篤

We work to resolve many difficulties about constructional conditions in the railway field. On the way to prevent ceilings from falling, we developed the new method that can reduce work volumes and achieve efficiency in construction. On the suspension system for seismic and vibration isolation practically used in Hotel Dream Gate Maihama, we have improved it to achieve more efficiency and adapt to new codes. On effective utilization about spaces above railway tracks in the future, we have evaluated the structural performance of footing beams. On crossing structures under railway tracks and foundation piles in a station, we develop construction methods during train operation hours. On the construction of Ueno-Tokyo Line, We developed the reinforcing methods of existing structures. Here we explain these technological developments and results.

1. はじめに

鉄道施設の安全性、利便性の向上を目的とした施策に取り組む建設部門において、その施工環境の厳しさは永遠の課題といえます。鉄道工事は基本的に列車を運行しながらの作業となるため、特に既存設備更新の際には制約を克服するための工夫が不可欠ですが、現場作業が支配的な建設工事ではその条件も一律ではなく、都度課題を克服する、テーマ毎の技術開発にも精力的に取り組んできました。ここでは、安全性向上やプロジェクト推進を目的とした建設分野の技術開発事例を紹介します。

2. 天井落下対策の更なる合理化

初版の「耐震天井設計施工マニュアル」では、“耐震ブレース構法”“耐震クリップ・ハンガー構法”の2種類の構法が規定されていました。“耐震ブレース構法”は名前の通り慣性力に対し斜め材を設けて抵抗する方法ですが、ブレース上部の躯体に追加の補強が必要となったり、設置のために既存の天井仕上材の撤去復旧が生じることがあります。天井懐寸法が十分でなかったり、天井裏支障物が多くある場合には、ブレース材の設置自体が困難な場合も多く見受けられます。この課題を解消するため、天井下地材のクリップ、ハンガーに開き止めの補強を行ったものが“耐震クリップ・ハンガー構法”です。しかし、天井の形状、規模等に関して適用範囲があり、対応できない場合があります。また、天井下

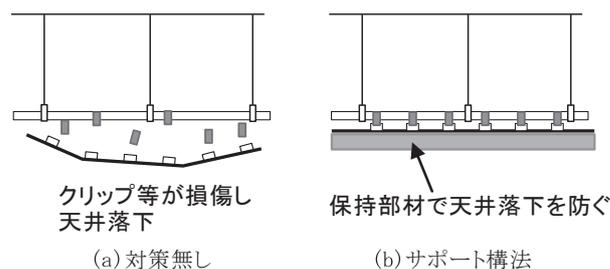


図1 サポート構法のイメージ

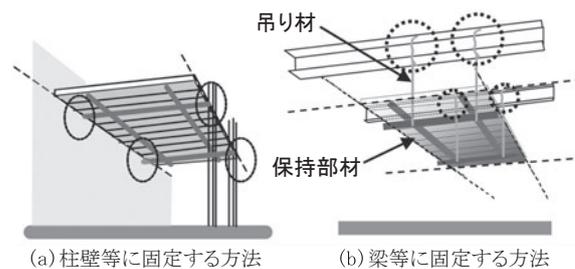


図2 保持部材の固定方法

地材補強のための天井裏作業が発生すること、天井裏支障物により作業が困難なことなど依然として課題が残っていました。

そこで、天井裏での作業を極力少なくするため、図1に示すような“サポート構法”を新たに開発しました¹⁾。この方法は、天井の室内側に建物躯体に固定した水平保持部材を配し、損傷した天井の落下を防ぎます。この際の保持部材の躯体への固定方法には、図2のように柱や壁等の鉛直部材を用いる方法と、梁等の水平部材を用いる方法があります。このうち後者では、保持部材を上部躯体から吊り下げため、

天井面、保持部材の水平移動が拘束されず、地震時の水平力により天井面が大きく揺れる可能性があります。そのため、保持部材で支持された天井面の地震時挙動を振動台実験により把握し、安全性を確認しました。

本構法は、マニュアル改訂に際して標準の構法と位置付けられ、その後、多くの天井で適用されています。

駅コンコースにおける本構法の適用事例を表1および図3に示します。この事例では保持部材を個別に吊ったため吊り箇所が天井面積に対して多くなりましたが、それでも既構法と比較して天井裏作業は少なくなり施工効率が向上しました。また、保持部材に軽量のアルミ材を使用したことも効率化に寄与したと考えられます。

サポート構法は天井面直下の作業となるため、天井高さによっては仮設方法によりコストが左右されます。また、吊り材のための天井点検口設置がコスト面、作業性の課題となりますが、全てを天井点検口にせず、開口を金属板等で塞ぐ方法でも対応出来ることがわかりました。

施工を通じて、吊り材上部に躯体等が無い場合や天井懐が高い場合の対応、照明設備等天井添架物と保持部材の干渉した場合対処等の課題が確認できました。

表1 施工天井概要

天井面積	29.84m ²	天井懐	0.6m
天井高さ	2.6m	仕上材	アルミスパンダレル
保持部材	3本	吊箇所	6箇所



図3 サポート構法施工状況（左：施工前、右：施工後）

3. 吊り免振工法の改良

劣悪な振動・騒音環境にある鉄道高架下スペースの有効活用を目的として開発された“吊り免振工法”は、ホテルドリームゲート舞浜において実用化されていますが、あと施工アンカー使用に関する建築基準法の厳格化に伴い、法的な取り扱いが困難になりました。また、吊り架構は高架橋柱の脇に設置され、建物計画上デッドスペースになるため、吊り長さを短くすることが有効です。これらの課題を解決するため、吊り架構にあと施工アンカーを用いず、かつ吊り長さを短くす

る改良を行いました²⁾。

吊り免振工法では、高架橋の柱際に鉄骨造の支柱と梁で架構を構成し、その架構から上下に防振ゴムを備えた吊り材で建物を懸架します。今回の改良では、図4のように高架橋と吊り架構をあつ施工アンカーに代えて鉢巻状の鉄骨で接合し、さらにそれを鉛直部材で支持する方法を採用しました。

防振性能を確保するためには、従来型と同等以上の鉛直剛性を確保する必要があるため、部分実大実験を実施し性能確認を行いました。また、図5に示す鉄道高架下における現地振動測定も実施し、接合ディテールに起因する顕著な振動の増幅がないことを確認しました。

振り子の周期は吊り長さのみに依存するため、吊り長さを短くすることによって周期が短くなり、免震効果の低下や高架橋との動的相互作用の影響が懸念されます。また、吊り材の上下は球座を用いて回転可能なディテールとしていますが、特に振幅が小さい場合には球座の摩擦による動特性への影響が懸念されます。さらには吊り材の曲げ変形の影響も考えられるため、吊り周期の合理的な評価手法を確立し、より正確な動的特性を把握する必要があります。

そこで、吊り免振架構の復元力特性に関して、等価せん断ばねの組合せで評価する簡易モデルを提案し、FEM解析との比較検討を行いました。また、その復元力特性の割

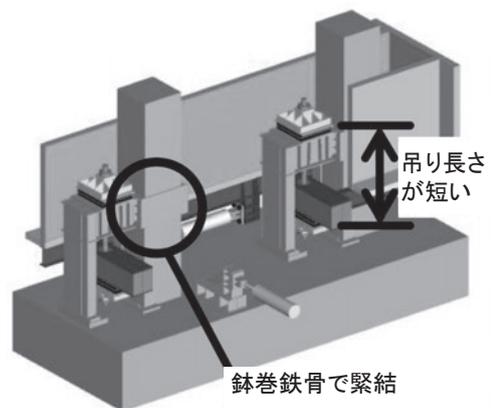


図4 改良型吊り免振工法の架構形式



図5 吊り架構接合部の現地振動測定状況

線剛性を用いて算出した等価固有周期は既往の実大自由振動実験の結果と良い対応を示すことを確認しました。さらに、球座部の摩擦係数に関する実験的検討を行い、摺動面にグリスを塗布した場合は動摩擦と静止摩擦に差がなく、面圧、摺動速度によらず安定的であることを確認しました。

4. 地中梁の構造性能定量評価

都市部、特にターミナル駅等においては線路上空空間の高度利用のニーズが依然として旺盛です。一方、線路上空建築物では、線路直下での基礎工事が困難なことから、地中梁を設けない1柱1杭形式が多く採用されていますが、この構造形式では水平力に抵抗する基礎構造は杭のみとなることから、適用範囲を高さ31m以下に限定しています³⁾。この構造形式で更なる建築物の高層化を図る場合には杭が巨大化し、合理的な設計が困難となる、施工不可能となる等の懸念があります。

杭断面の縮減には地中梁の設置が有効と考えられます。そこで、地中梁の構造性能への寄与度を定量的に把握するために、図6に示す高さ約38m、7階建ての建築物を対象として比較検討を行いました。これは、設計標準の適用範囲外の建物規模ですが、仮に従来の線路上空建築物と同様に1柱1杭形式の基礎形式とした場合を比較対象として、地中梁の断面寸法を変化させ、それに合わせて杭径を変更しながら、静的増分解析および時刻歴応答解析を行いました。その結果、この条件下では、1柱1杭形式で必要杭径が3.8mとなるのに対し、断面寸法1.25m×1.25m程度以上の地中梁を設けることにより、現実的な杭径に抑えつつ、同等の耐震性能を満足できることが分かりました⁴⁾。

図7 (a) には地中梁のコンクリート量および地中梁と杭のコンクリート総量の関係を示します。地中梁の躯体数量は基礎構造全体に対して支配的ではなく、杭と地中梁を合算した総躯体数量は1柱1杭形式の場合に最大となり、地中梁を設けることで減少することがわかります。図7 (b) は地中梁のコンクリート量と長期荷重時に杭に作用する単位面積当たりの軸力の関係です。剛強な地中梁を設けるほど杭断面が縮減されます。1柱1杭形式では地震時水平力で杭の断面寸法が決定するため、単位面積あたりの長期軸力は約1000kN/m²程度と小さくなります。これは良好な支持地盤の許容支持力(2500kN/m²程度)に対しては過大ですが、地中梁を設けることでより効率的な杭の設計をすることが可能となります。

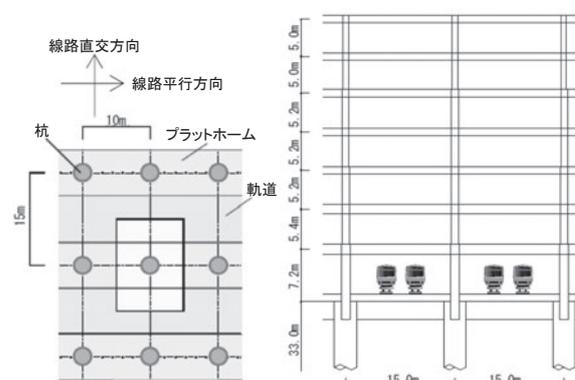


図6 検討対象の線路上空建築物

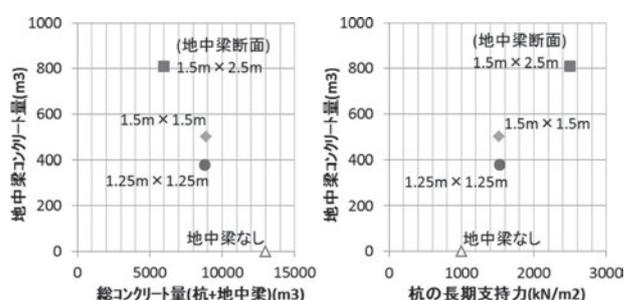


図7 基礎構造の躯体数量と杭支持力の比較

5. 列車運行時間帯の近接施工を可能とする技術開発

JR東日本では、輸送の安全・安定輸送を確保したうえで日中の列車運行時間帯でも近接施工が可能な施工法を開発し、この成果を「列車運行時間帯の近接工事設計施工マニュアル」に反映し実施してきています。

5.1 地盤切削 JES 工法⁵⁾

線路下に道路等の構造物(線路下横断構造物)を構築する工法には、工事桁により線路を仮受・開削する開削工法や線路をいじらず構造体を横方向から挿入する非開削工法があり、当社では列車運行に影響が少ない非開削工法の HEP&JES工法を開発し施工を行っています。非開削工法でもっとも軌道変状リスクの高い作業は上床エレメントの挿入であり、このリスクを取り除くため地盤切削JES工法開発し、列車走行時も施工を可能としました。

地盤切削JES工法は、刃口先端上部に地盤および玉石などの支障物を切削できるワイヤーを回転させる機構を有する掘進方法で、これにより従来工法で懸念された支障物の押込みによる軌道隆起を防ぐことが可能となりました。

5.2 孔壁防護併用場所打ち杭工法⁵⁾

大都市圏などの駅改良プロジェクトにおいては、高度利用された駅構内において杭の施工を実施するため、線路に近

接ししかも狭隘な条件下で施工を行う必要があります。

そこで、安全性を確保しつつ工期短縮とコストダウンを実現するため、掘削と同時に孔壁防護を施工できる「孔壁防護併用場所打ち杭工法」を開発し、実用化しました。

6. 上野東京ラインの建設に用いられた新技術

上野東京ラインは、新幹線高架橋下部工に継ぎ足す形で鋼ラーメン橋台・橋脚を構築し、その間をPC桁や鋼桁を架設することにより構築された構造物です。既設の新幹線高架橋は、建設時に重層部の荷重を考慮した設計を行っていましたが、耐震設計は当時の設計基準で行われていたため、現在の大規模地震動に対しては耐震性能を満たさない部位があることがわかり補強を行う必要がありました。そこで、既設鋼ラーメン橋台・橋脚部は、スパイラル鉄筋を用いた角形鋼管中の内部の補強方法⁶⁾を開発し、アプローチ部のRCラーメン高架橋部においては、杭基礎部材の補強のため地表スラブ工法⁷⁾を開発しました。

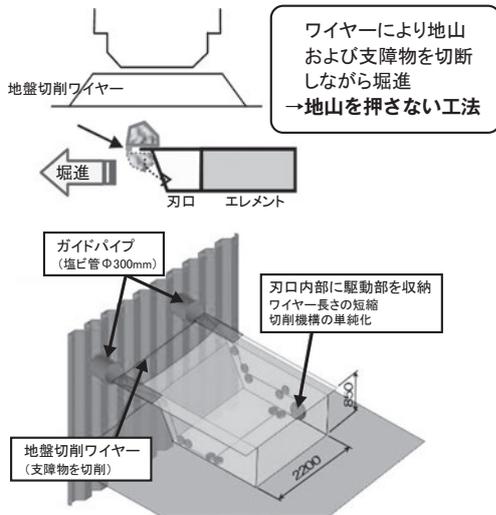


図8 地盤切削JES工法の概要

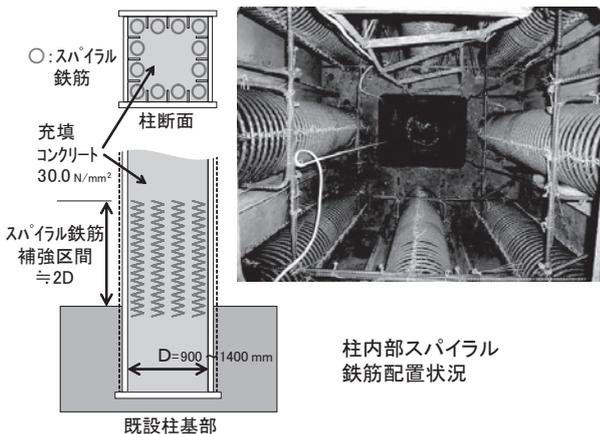


図9 既設高架橋の耐震補強方法

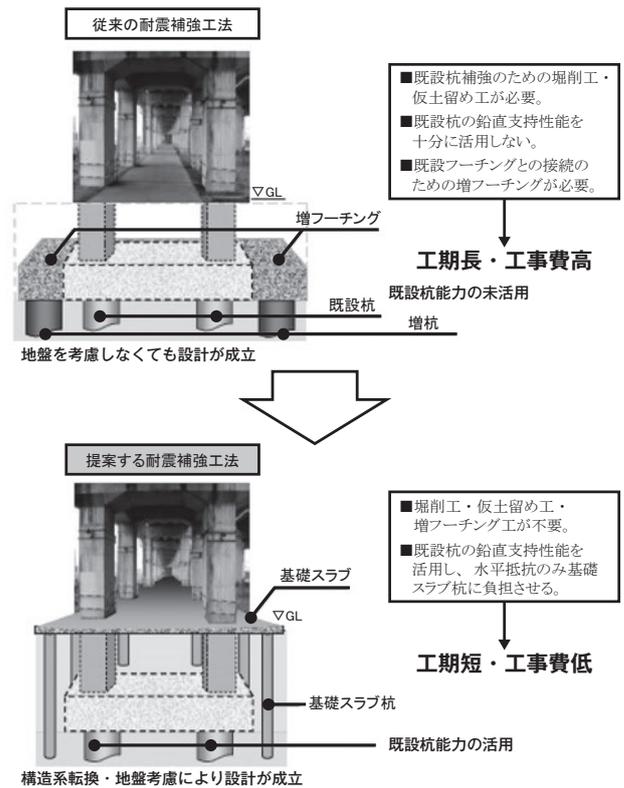


図10 地表スラブ工法の概要

7. おわりに

以上、いくつかの検討事例を紹介しましたが、今後も鉄道工事には厳しい制約を伴うことは避けられないと思われます。個別の状況を克服するために技術開発を行い、きめ細かい対応によりプロジェクトを推進していく必要があります。さらに、汎用性のある要素技術については導入環境の整備も重要であり、水平展開のためのマニュアル整備なども並行して行っています。こうした1つ1つの活動が、総合的な建設技術の向上に繋がると考えます。

参考文献

- 1) 大野貴信：スパンドレル天井の落下防止対策に関する研究、鉄道建築ニュース、2015.3
- 2) 原口他：あと施工アンカーを用いない吊り免振架構の開発、SED、No.44、2014.11
- 3) 線路上空建築物（低層）構造設計標準2009、鉄道建築協会、2009.7
- 4) 山高他：線路上空建築物の基礎形式に関する解析的検討、日本建築学会学術講演梗概集、2015.9
- 5) 清水満：鉄道建設分野における技術開発と実用化、建設施工機械、vol.66、No.12、2014.12
- 6) 山口他：既設角形鋼ラーメンの補強方法、SED No.33、2010.1
- 7) 藤原他：基礎スラブを用いた杭基礎の耐震補強効果に関する実験的研究、土木学会論文集A、vol.65、No.2、2009.4