

## 建設分野における技術開発とその成果

構造技術センター 次長 清水 満  
構造技術センター 課長 林 篤



本報告では鉄道建設分野における技術開発とその成果について説明します。天井落下対策については高耐力の耐震ブレースによる補強方法を開発し、実用化を進めています。線路上空の吊り荷作業については適用範囲拡大のための検討を行い、実施工に活用できるようマニュアルを整備しています。非開削による線路下空間構築技術については、ワイヤーにより地盤を切削しながら掘削する工法の開発により大幅な工期短縮を可能にしました。ホテルドリームゲート舞浜で実用化した吊り免震工法については、最新の建築基準法改正に対応できるよう改良を検討しています。

### 1. はじめに

不特定多数の人が利用する鉄道施設は重要な社会インフラであり、その安全確保は必要不可欠ですが、老朽化あるいは既存不適格となった設備に対しては改修が必要となる場合があります。新たなインフラ整備の場合も同様ですが、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、独自の制約条件のもとに進めていく必要があります。お客さまと列車の安全を確保しながら工事を行うためには、安全性と効率性を両立する技術が必要となるため、新たな技術開発を行っています。本報告では、これら技術開発の成果を活用し、安全性向上やプロジェクト推進に活用している事例を紹介します。

### 2. 鉄道施設の安全性を確保するための技術…耐震天井の開発

天井落下対策については、2003年の十勝沖地震による空港ターミナルビルでの被害、2005年の宮城県沖地震によるスポーツ施設での被害を受け、当社においても対策手法について検討を進めてきました。また、2011年3月11日の東日本大震災では、幸い人的被害には繋がらなかったものの、当社管内の仙台駅をはじめとするいくつかの駅舎において落下事象が発生しました。国においても本年8月に天井落下対策に関する政令が制定されるなど、安全対策が急務となっているところ です。

過去の地震による天井の落下事故では、天井と壁等との衝突や、天井に大きな上下動が作用したこと、天井下地材

が過度に変形したこと等に起因し、最終的にはクリップ（野縁と野縁受けを固定する金物）やハンガー（野縁受けと吊りボルトを固定する金物）が作用する荷重に耐えきれずに変形し、天井下地が外れて仕上げ材とともに脱落した事例が多く見られます。天井落下対策を行うにあたっては、地震時に天井面に作用する慣性力を適切に構造躯体に伝達することが重要になります。

天井落下対策の代表的な考え方として、ブレースによる補強が挙げられます。これは、ブレース材を設置し天井下地の剛性を高め、慣性力による天井の変形を抑える方法です。天井と壁など他の構造体との間にはクリアランスを設け、地震時の衝撃を最小限に抑え、天井と柱や壁との取り合い部分等の損傷を一部に留めます。

大規模空間や高層建物では、地震時に天井面に作用する水平力が大きくなる傾向があり、それに伴い設置する耐震ブレース本数が多く必要になり、コスト、工期の増大要因となります。また、天井裏に配管等の設備が多い建物では耐震ブレースを設置すること自体が困難な場合もあります。

従来の耐震ブレースは、図1に示すように上下の取り付け部分の破壊により耐力が決定していました。これでは耐震ブレースそのものの性能を十分に活かさないため、取り付け金具を高強度のものに改良し、ブレースの性能を最大限発揮させることを目的とした開発を行いました。

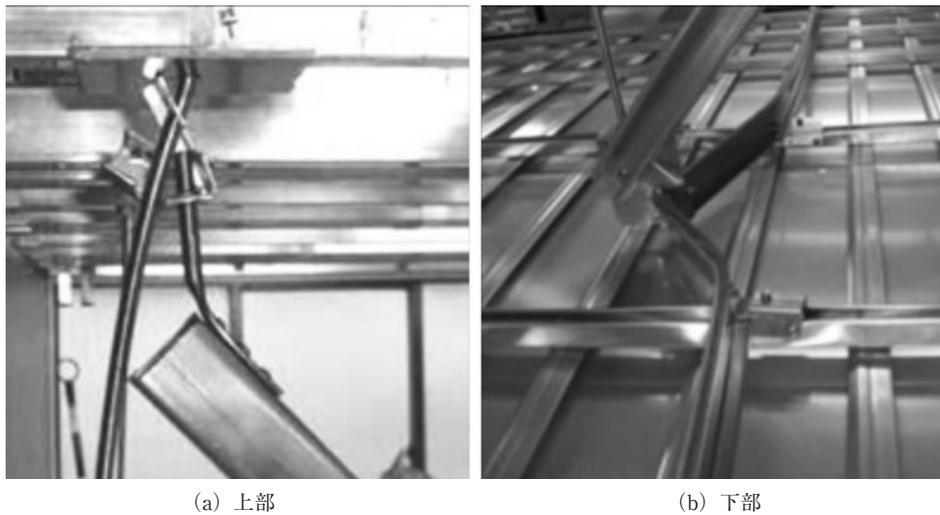


図1 従来型の耐震天井の破壊性状

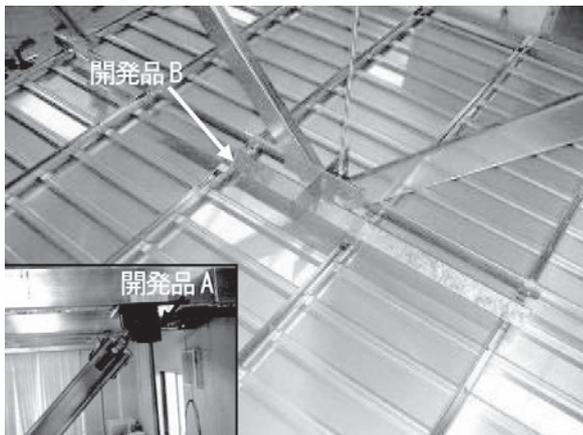


図2 耐震ブレース取り付け金具

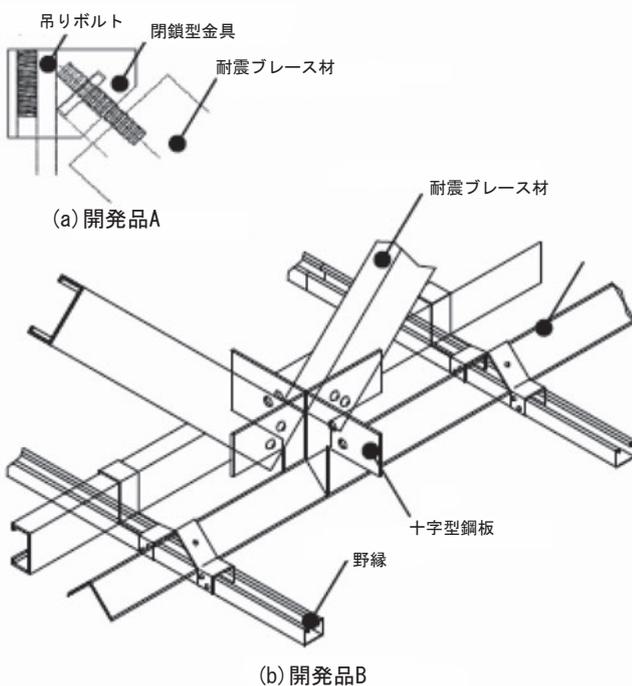


図3 耐震ブレース構法

開発した金具を図2、3に示します。開発品Aは上部の取り付け金具で、吊りボルトを覆う閉鎖型の形状とすることにより固定度を高めています。下部の取り付け金具には開発品Bを適用します。これは、野縁と接続する山形鋼と十字形の鋼板から構成されます。十字形の鋼板により、1箇所野縁工法、野縁受け方向のいずれの方向にもブレース材を取り付けられるようになっています。

金具の強度確認のため、図4に示すような天井ユニットの静的加力試験を実施しました。

試験体は鋼製天井下地材を用いた2,100mm×2,700mmの実物大の天井を用いました。この実験では、天井懐高さ、加力方向、仕上げ材の種類をパラメータとしています。実験により、開発品の破壊モードはブレース材の座屈となり、接合金具は若干の変形に留まることが確認されました。また、いずれの加力方向においても、従来の2倍程度の剛性、耐力を有しており、ブレースの本数を半分程度に縮減できることになります。



図4 静的加力試験

本開発の成果を活用し、駅舎天井の落下対策を鋭意推進しています。

## 3. 鉄道近接工事において施工時間を拡大するための技術

### 3.1 線路上空における吊り荷作業

線路上空で人工地盤などを施工する際には、お客さまの安全や列車の運行を確保できるよう慎重に施工計画を立てます。例えば図5のような人工地盤上での吊り荷作業がある場合、落下などの恐れがあるために夜間の線路閉鎖作業としている場合が多く見られました。その結果、限られた時間間

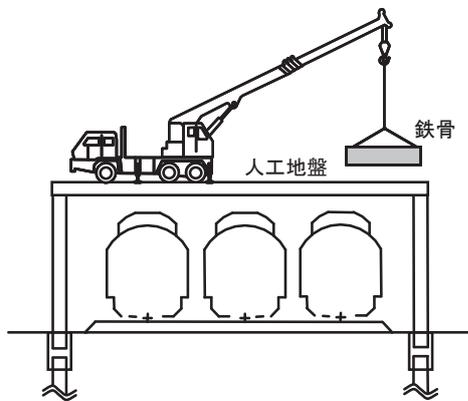


図5 人工地盤上の吊り荷作業のイメージ

合いでの作業となり、工期が長大化する大きな要素の一つとなっています。

この対策として、線路上空人工地盤の床版上を工事用の覆工板で防護する方法を検討しました(図6)。これにより、吊り荷落下時の本設躯体の損傷を防ぐことができます。2011年に制定したマニュアル<sup>1)</sup>では、当面の対象プロジェクトの施工条件に基づき、吊り荷重と吊り高さを限定して適用範囲を定めました。一方、吊り荷作業はプロジェクト毎に条件が異なるため、今回、適用範囲の拡大を目的として追加検討を行いました。

追加検討では図7に示すような落下実験を実施し、覆工板の損傷状況を確認した上で、FEM解析によるシミュレーションを行い、概ね実現象を再現できることを確認しました(図8)。

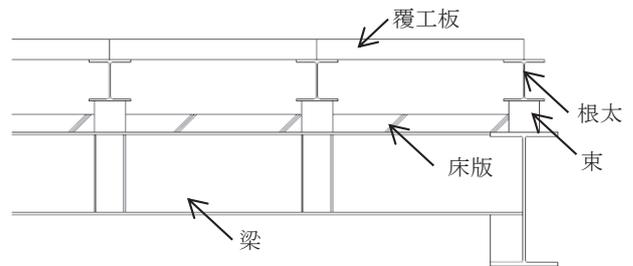


図6 床版の防護方法

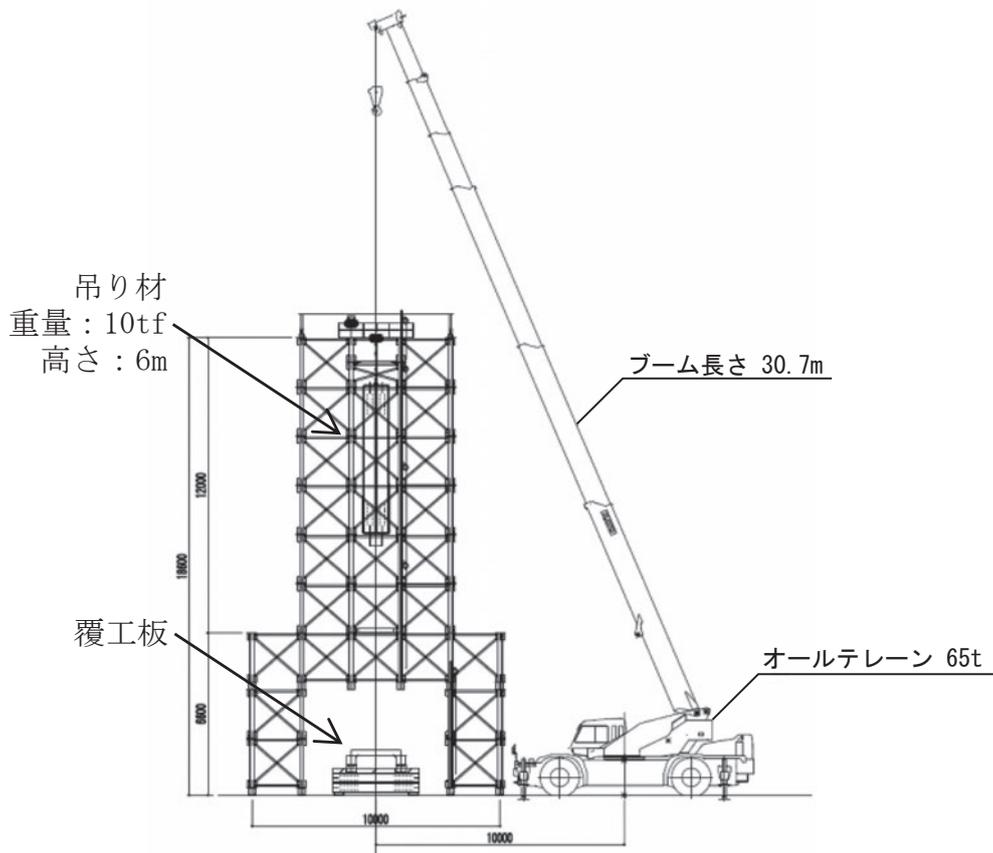


図7 落下実験

検討の過程で吊り材の径も損傷に影響を与えることがわかったため、高さ、荷重とともに影響因子に加えました。

これらの検討から解析により安全性が確認された範囲を新たな適用範囲としました。得られた知見を早見表形式でまとめ、施工可能な条件を簡単に確認できるよう、マニュアルの整備を進めています。

### 3.2 非開削による線路下空間構築技術の開発

線路下に道路等の地下空間を構築する工事においては、

工事桁を架設してその下を掘削する開削工法や、鋼製の元素を線路側方の立坑から挿入し空間を構築する非開削工法があります。当社では非開削工法のひとつとして、鋼製の元素を継手で勘合して地中に挿入することにより一体化したボックスカルバートを構築するJES工法を開発し、今までに100件を超える線路下構造物を施工してきました。

線路下工事においては、列車走行時の安全性を確保することが大前提ですが、平成18年にはJES工法により3件の輸送トラブルが発生しています。そこで、上床元素挿入作

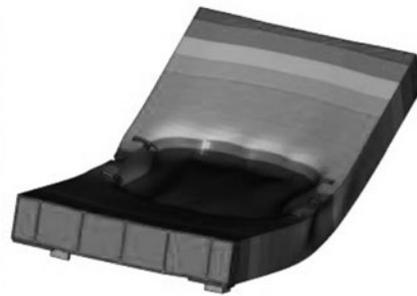
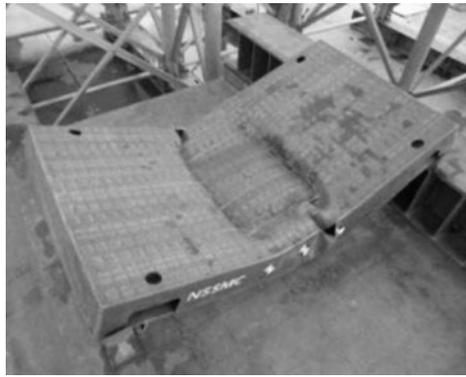


図8 覆工板の損傷状況（実験および解析）

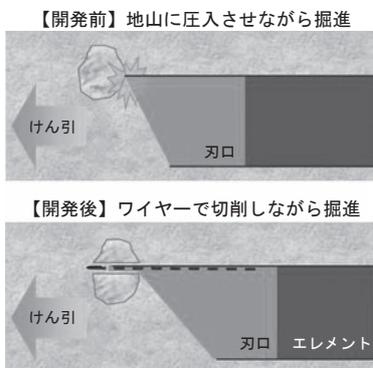


図9 地盤切削JES工法の開発

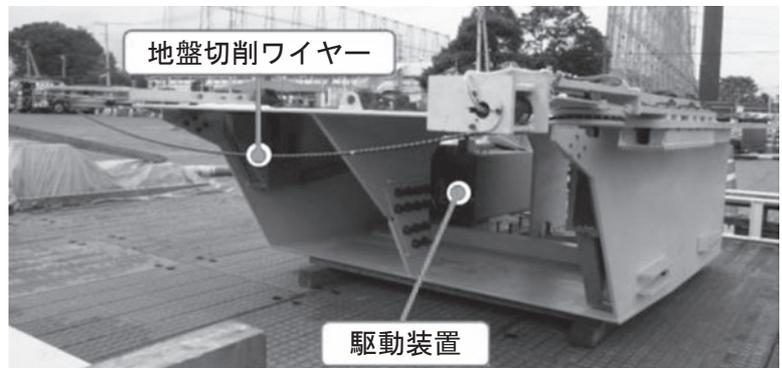


図10 地盤切削JES工法（刃口）

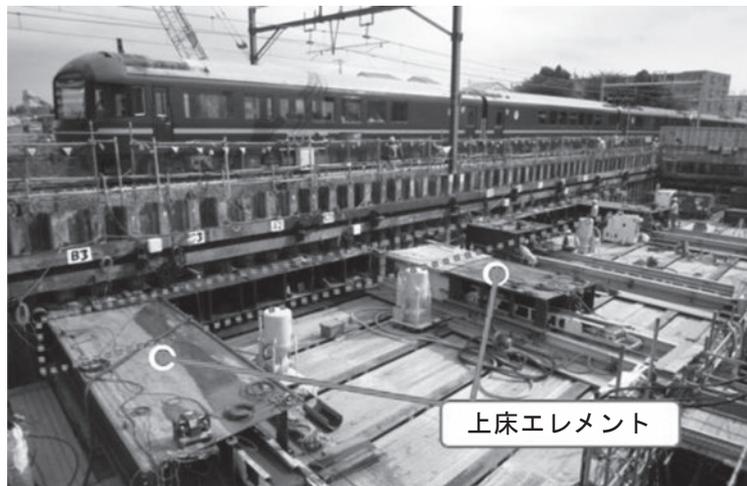


図11 施工状況（上床版元素への適用）

業等軌道に影響が考えられる作業は、線路閉鎖間合いでの施工とされてきています。しかしながら、線路下工事を夜間線路閉鎖間合いに限定することは、工期や工事費の増大を招くだけでなく、軌道下に長期間エレメントの刃口を存置することになり、安全性の面からも問題がありました。そこで、施工時の軌道変状を抑えることが可能で列車運行時間帯でも施工可能な地盤切削JES工法を開発しました。

地盤切削JES工法は、非開削工法で用いられる刃口先端に地盤および玉石などの支障物を切削するワイヤーを回転させる機構をもった新しい掘進方法です。地盤切削ワイヤーにより地盤および支障物を切削しながら掘削することで、従来懸念されていた支障物の押込みによる軌道隆起や、過掘りによる軌道沈下や陥没を防ぐことが可能となります。また、3次元円筒すべりの検討を行い、刃口先端のルーフを従来のものより長くしており、刃口上部の地盤の緩みを防止することも可能となりました。これにより、列車運行時間帯にエレメント掘進が可能となり、大幅な工期の短縮が可能となりました。

この工法を適用した高崎線二ツ家Bvでは、当初計画では10ヵ月を要する見込みであった上床エレメントの施工を半分の5ヵ月で安全に施工を完了できました。今後この工法の適用の拡大により、線路下工事の大幅な工期短縮を図っていきたいと考えています。

## 4. 線路上下空間を有効利用するための技術… 吊り免振工法の改良

高架下空間の有効利用を図るために、図12に示すように高架橋柱にフレームを懸架し、そのフレームから建物を吊る“吊

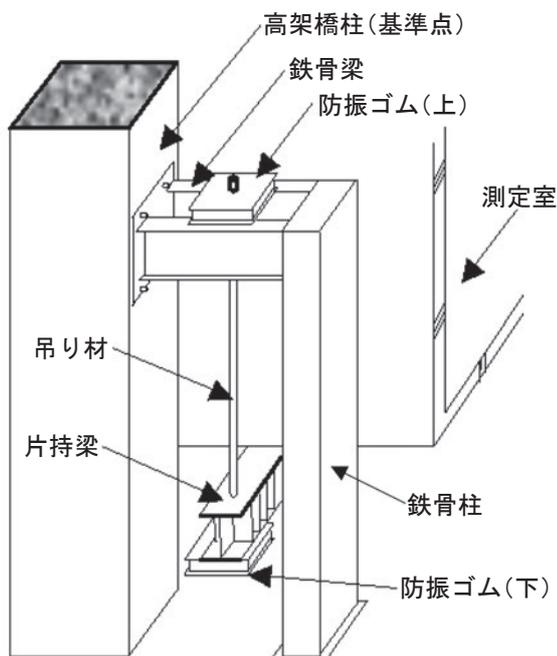


図12 従前の吊り架構の詳細

り免振工法”が開発されています<sup>3)</sup>。この工法によって、免震効果により地震時の建物応答が低減され、高架橋への構造的な影響を最小限にするとともに、高い防振防音性能が得られ、高架下にも静粛性が求められる空間の構築が可能となります。本工法はホテルドリームゲート舞浜において適用されています。

一方、平成19年の建築基準法改正に伴い、耐震補強工事以外でのあと施工アンカーの使用に関して規制が強化されました。従前の方法では建物を吊るために設ける鉄骨のフレームと高架橋の柱の接続にあつては施工アンカーを使用しているため、法律上の取り扱いが困難になることが想定されます。そこで、あと施工アンカーを用いずに、建物荷重を高架橋柱に伝達する方法を検討します。防振性能はフレーム剛性と密接な関係があるため、いかに固定度を確保するかがポイントとなります。

吊り架構は高架橋柱の脇に設置されるため、建物を使用する上ではデッドスペースになります。これを改善するために吊り長さを短くすることも検討の対象です。振り子の周期は吊り長さのみに依存するため、周期が短くなることによる免震効果の低下や高架橋との動的相互作用の影響について検討する必要があります。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ことを目的に検討を進めます。

## 5. おわりに

新築、改修を問わず、鉄道工事には厳しい制約条件が伴うため、今後もこれを克服するための技術開発を推進していきます。既往の技術に関しては社会動向の変化に対応してリニューアルすることも必要です。また、水平展開のためのマニュアル作成など、導入環境の整備に努めることも重要になります。

### 参考文献

- 1) 列車運行時間帯の近接工事設計施工マニュアル、建設工部局・設備部、2011
- 2) 滝沢他：地盤切削JES工法による列車運行時間帯における線路下横断工の施工、SEDNo.41、2013
- 3) 大迫他：高架下建物の防音防振（吊り免震）工法の開発、JR East Technical Review No.6、2004