

プロジェクトを支えた研究開発と今後の展望

R&D to Support the Railway Construction Projects - Present State and Future Outlook

東日本旅客鉄道株式会社 JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所 首席研究員

谷口 善則



フロンティアサービス研究所では、発足以来、建設工事の主管部門と連携をとりながら、研究開発を進めてきました。これまで上野東京ラインをはじめ、数多くプロジェクトにフロンティアサービス研究所の研究成果を導入してきました。本号では、これまでにプロジェクトに導入された研究開発の概要と近年行ってきた研究開発の代表的なテーマについて紹介いたします。

1. はじめに

2001年12月、JR東日本研究開発センターにフロンティアサービス研究所が設置されました。これにより、従来の建設工事の主管部門である建設工事部・工事事務所でのみで実施してきた研究開発が、フロンティアサービス研究所による研究開発と相互に推進する体制となり、技術やニーズ等の情報交換を密にしながら幅広い研究開発を実施してきました。

今年は上野東京ラインや北陸新幹線の開業など大きなプロジェクトの節目の年になりました。フロンティアサービス研究所では、このような大きなプロジェクトをはじめ、様々な建設工事プロジェクトを支える技術の研究開発を発足からこれまでの間、進めてまいりました。本号ではこれまで取り組んできた研究開発の成果とこれからの研究分野の展望について述べたいと思います。

2. 建設プロジェクトを支えた研究開発成果

この春開業した上野東京ラインの構造物を構築するために「構造物(角型鋼管)の変形性能を高める柱部材の開発」、「基礎スラブを活用した新しい耐震構造の開発」の研究開発を推進し、プロジェクトへの導入を図りました。これらの開発は、既設の構造物を活かしながら、現行の設計基準の要求性能を満足するために構造物を補強する工法です。

「構造物(角型鋼管)の変形性能を高める柱部材の開発」は、既設の新幹線高架橋の角型鋼管柱の耐震性能を向上させるため、角型鋼管内にスパイラル鉄筋を配置することで、柱の地震時変形性能を向上させる工法です。この工法の開発により、既設の角型鋼管柱の耐震性能の向上が可能となったことから、コストの低減に貢献した工法であると言えます。

「基礎スラブを活用した新しい耐震構造の開発」は、柱前面の地盤抵抗や基礎スラブの影響を適切に考慮することによって、既設の高架橋に対して基礎スラブを設置することが高架橋の基礎部の簡易な耐震補強工法のひとつになると考え実験・解析により検討を行いました。表層地盤や基礎スラブが地震時の基礎構造物に作用する水平力を低減し、基礎スラブを設置することが高架橋基礎の耐震補強工法となり得ることが明らかとなり、高架橋基礎の大きがかりな増設等が不要となりました。

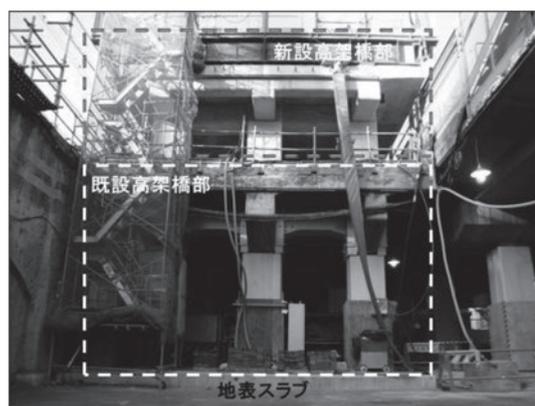


図1 基礎スラブ施工完了状況

上野東京ライン以外のプロジェクトにもフロンティアサービス研究所の研究成果が数多く取り入れられています。

例えば、液状化地盤上の高架化工事におけるコストダウンのための気泡モルタル盛土の鉛直支持工法を開発を行いました。気泡モルタルの圧縮強度を高めるとともに、杭部材により盛土体を支持する構造形式を開発し、高架橋のアプローチ盛土に採用されました。

また、線路上空に人工地盤を張る場合などで線路と線路の間やホーム上に構築しなければならない柱は、限られたスペー

スを有効活用するためその径をスリムすることが求められました。

現行の鉄筋コンクリートの設計標準では柱径をスリムにすることができないことから、一般的に極厚のコンクリート充填鋼管柱が用いられてきました。極厚の鋼管は特注品となることから、工費や工期に影響を与えます。これに対し開発した工法は、現行基準の鉄筋コンクリートの適用範囲（軸方向鉄筋比6%）を上回る量の軸方向鉄筋を多段に束ねて設置し、これを帯鉄筋で補強することによって、柱径を抑え、耐力・変形性能の向上を実現させた工法です。この工法は鉄道橋の柱部材に採用されました。

小断面地下空間構築工法であるCOMPASS工法の開発を実施しました。COMPASS (COMPAct Support Structure method) 工法は、線路下または道路下に歩行者用通路など小断面のアンダーパスを構築するために開発した工法です。

構造物の外周の地盤を地盤切削ワイヤーにより切削し、その後方から防護用の鉄板を挿入した後、防護用の鉄板で囲まれた内部を掘削しながらプレキャストボックスカルバートをけん引します。この工法は大糸線や烏山線のこ道橋に採用されました。

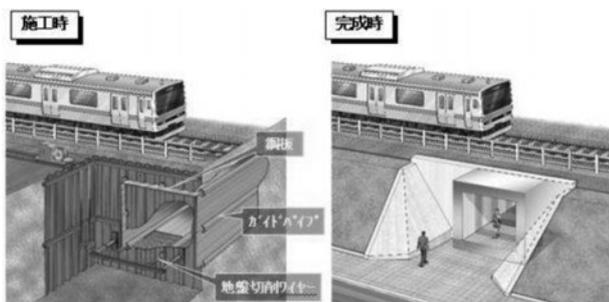


図2 COMPASS工法概要図

狭隘な線路空間において仮設の杭を安全に施工するために先端強化型鋼管杭工法の開発を進め、線路下構造物を構築する前段の軌道を仮受けする工事桁の支持杭に適用されています。

3. 近年進めてきた研究開発の成果

近年取り組んできた研究テーマで本号に取り上げていないものに新幹線の高速化があります。新幹線の高速化はさまざまな系統で取り組んでいるプロジェクトです。そのうち土木・建築系としては、桁の挙動、駅舎内の列車風、トンネル微気圧波対策工、騒音低減工、地盤振動低減などのテーマについて研究開発を推進しています。

本章では本号で取り上げた研究開発成果の概要について紹介いたします。

「駅舎天井の落下防止対策」

東北地方太平洋沖地震では、東日本一帯に甚大な被害をもたらした。非構造部材である天井仕上げ材が落下する被害も報告されています。現在、お客様の安全性確保の観点から天井の耐震化工事が進めています。天井の耐震化構法については、ブレース構法と落下防止構法があります。ブレース構法は天井ふところに組まれている天井下地材に対して、ブレース補強する構法で、課題は、ブレースを設置するために支障するケーブル等を移設する必要があり、工事費や工事期間を要します。その対策の一つとして落下防止構法としてのサポート構法を開発しました。サポート構法は天井の下面で、室内側から保持部材で支えるため、天井ふところの作業を大幅に軽減することができました。本工法について報告いたします。



図3 実験前の試験体の状況

「鉄骨大梁の軸方向スチフナによる補強工法」

既存の建物を耐震補強する方法としては、ブレース等の新規耐震要素を配置し、建物全体としての強度を向上させる方法が一般的です。しかし軌道やプラットホームの上空を利用した鉄道特有の建物（線路上空建築物）では、ブレース等の配置は列車運行やお客様の流動等を阻害する場合があります。そのような場合、建物全体の強度向上ではなく、H形鋼大梁の塑性変形能力自体を向上させることで耐震性能を向上させる方法が考えられます。

本研究では、このような既存の建物の大スパンのH形鋼大梁に対し、ウェブに軸方向スチフナ（材軸に平行な補強鋼板）を溶接接合することで塑性変形能力を向上させる工法について載荷試験と数値解析で検討をおこないましたので、その結果を報告いたします。

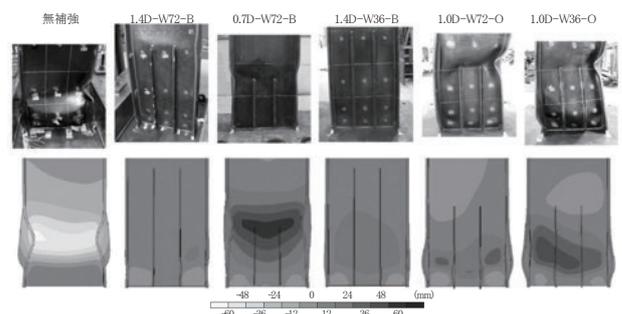


図4 載荷試験結果と数値解析結果

「集中配置鉄筋で高引張強度領域を構築した RC 梁のせん断破壊挙動に関する基礎的検討」

RC梁部材の設計では、曲げ性能で断面形状が決定され、せん断性能は要求性能を満足するようにせん断補強鉄筋量の配置を行います。このような設計では、RC梁部材にせん断補強鉄筋が多量に配置される場合があります。

本研究は、せん断補強鉄筋の過密配筋の解消とせん断破壊の制御を目的に、せん断スパン内に高引張強度領域を配置する構造について、模型試験体による実験的な検討を行いました。二種類の引張強度の高い領域を配置したRC部材の破壊性状や既往のせん断耐力式での検討、3次元非線形FEMを用いた数値解析による破壊時状況の検討を行いましたので報告いたします。

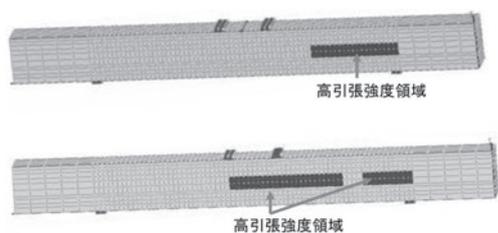


図5 非線形FEM用解析モデル図

「豆板補修部を有する RC 柱の交番載荷試験」

コンクリート構造物の初期欠陥である豆板が発生した場合、一般的には、豆板を取り除いて断面修復する方法により補修が行われています。しかし、豆板を取り除いて断面を修復する方法では、打継ぎ界面の付着強度が低下するため、修復界面での剥離が発生しやすいという欠点があります。このような弱点となる界面を作らない補修を行うことを目的とし、豆板を取り除かず樹脂注入を行う新たな補修方法を提案し、補修した材料レベルでの検証を行ってきました。今回は、部材レベルでの性能確認を行うために、RC柱の柱下端部に豆板が発生した場合を想定した試験を行いました。柱下端かぶり部に豆板を補修した箇所を有する試験体を作製し、水平交番載荷試験を行った結果について報告いたします。

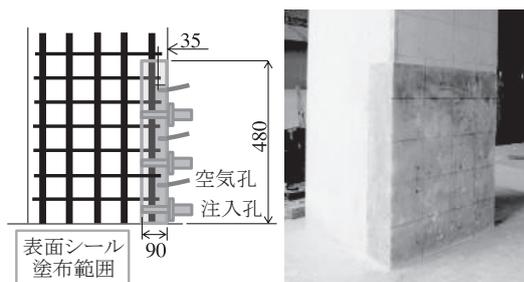


図6 提案補修試験体の補修概要と補修完了後の状態

「地震時車両走行性に影響を与える構造諸元の検討」

新潟中越地震や東北地方太平洋沖地震での新幹線脱線

事象を受け、地震時車両走行安全性に影響を与える構造物の諸元について研究を進めています。

地震時の走行安全性は、設計耐用期間内に発生するL1地震動に対し、構造物の変位を走行安全性上定まる制限値内に留めることで確保されており、「地震時の横方向の振動変位」および「地震時の軌道面の不同変位」が設計限界値に達していないことを確認することとしています。

本研究は、振動変位に対する不同変位の影響を把握することを目的として、解析的な検討と支承部についてはサイドブロックおよび支承部補強（補強枠）の不同変位抑制効果について検討を行いましたので報告いたします。

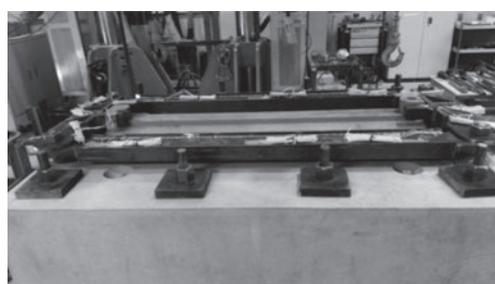


図7 補強枠試験状況

「橋台背面盛土の沈下抑制工法の開発」

過去に発生した地震における鉄道構造物の橋台の被害は、橋台と背面盛土との間に相対変位が生じているものが多くみられます。この相対変位の原因は、①橋台の前方への変形に伴う背面盛土の落込みによるもの、②背面盛土自体の揺すり込み沈下、③軟弱地盤における地盤と盛土の振動による土の強度低下などによるものといわれています。橋台と背面盛土との間の相対変位は、軌道面に著しい変位が発生することになり、列車の走行安全性の低下につながることになります。また、首都直下型地震の近年中の発生が予測されており、鉄道事業者にとって既存構造物の耐震補強を行っていくことは喫緊の課題であるといえます。

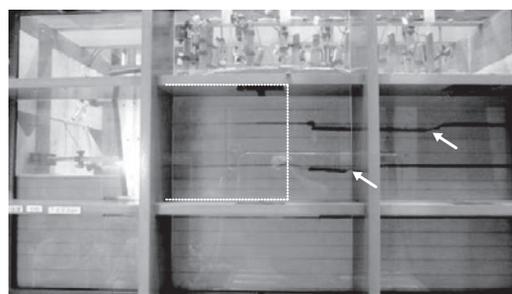


図8 試験体加振終了時の崩壊状況

本研究では、地震時の橋台と背面盛土の相対変位を抑制することを目的に、橋台背面盛土内に軌道の脇に沿って柱列状の改良体を造成することで、背面盛土の沈下抑制を図る工法を考案しました。橋台および背面盛土の模型を用いた振

動台実験を行い、補強効果、補強メカニズムを実験的に確認した内容について報告いたします。

「地盤振動低減工法に関する基礎研究」

列車が高速で走行すると、橋桁から橋脚に振動が伝わり、橋脚を加振源として地盤に振動を伝播します。その結果、付近の家屋の窓や戸が揺れたりすることがあります。

また、列車の高速化に伴い、橋脚から地盤へ伝わる振動が大きくなることが想定され、高速列車のさらなる速度向上の実現に際して、地盤振動対策は重大な課題のひとつとなっています。2007年より実効性の高い地盤振動対策工の設計施工法の確立を目的とし、振動対策工の試験施工、地盤振動の現地測定、構造物周辺地盤の地盤振動の予測および対策工を実施した場合の振動低減効果を評価する手法の開発を実施してきました。

地中防振壁による振動低減効果の予測精度の向上を図るためには防振壁の諸元が振動低減効果に及ぼす影響を適切にモデル化する必要があります。そこで、地中防振壁による振動低減効果の評価を実験的に検討したので報告いたします。

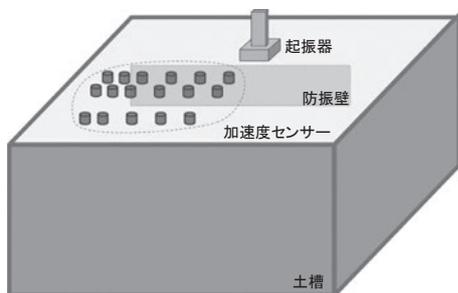


図9 土槽を用いた実験概要図

「タブレットとICタグを用いた構造物情報管理支援ツールの研究」

本研究は、建設工事の構造物の施工段階における品質管理業務の効率化を主眼に、建設生産システムにおける情報の記録、交換、利用の円滑化を実現するための媒体の開発を行ってまいりました。ここでは自動認識技術を活用した情報管理支援ツールについて検討を行いましたので報告いたします。



図10 構造物管理用ICタグと支援ツールの画面

4. これからの方向性と将来への展望

先に述べたように、フロンティアサービス研究所の研究開発は、これまで建設工事のコストダウンに資する工法開発、地震対策、新幹線の高速化などを主体的に取り組んできました。今後の研究テーマの方向性に関しては、コストダウンや構造物の補修・補強という基本的なスタンスから大きく変わることはないと思います。しかしながらフロンティアサービス研究所が発足してこれまでの間、社会環境は大きく変化しています。その変化はますます加速しているように感じます。建設産業を取り巻く環境も生産労働人口の減少、労働者の高齢化や熟練工の減少などが想定されます。変化に対応した研究開発、例えば熟練工がいなくても施工できるコストミナムな構造形式や工法の開発、人手に頼らないでも所用の品質が確保できるICT技術などを用いた品質管理手法などを進める必要があるように感じています。

また既存構造物に関しては、列車密度の低い地方線区などの橋りょうを対象に適切に残存余寿命を評価できる手法や余寿命を考慮した上で構造物を延命化する工法の開発などに取り組んでいます。経年が経った構造物の耐力を正しく評価し、使えるものは適切に使う、小規模な損傷を簡易な補修により延命化を図り、経営資源の有効活用を図るような研究開発が必要であると感じています。

5. おわりに

フロンティアサービス研究所で研究開発し、実際にプロジェクトに導入された技術と本号で取り上げた研究概要について紹介させていただきました。

私たちを取り巻く環境はものすごいスピードで変化しています。その変化に対応し、当社にとって必要となる施工法や構造形式、建設支援技術などをイメージし、今後の研究開発につなげていかなければなりません。

そのためには、これまでと同様、関係部署と連携を密に取りながら、技術開発の体制を構築し、そして開発成果の導入を円滑に進めつつ、時として技術開発を通して「人材の育成と技術継承」を図りながら、次世代に繋がる研究開発を進めたいと考えています。