

空間創造の研究開発の現状と グループ経営ビジョン2020における今後の展望 —鉄道・生活サービス事業の基盤強化、 交通結節点としての駅機能向上のための空間創造技術—

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 次長
増田 達



JR東日本は長期経営構想「グループ経営ビジョン2020—挑む—」を2008年度からスタートさせました。10年後を見据えた、実施すべき目標を掲げています。「究極の安全」を基盤とした「7つのギアチェンジ」を掲げ、キーワードとして、「企業価値向上に資する投資を積極的に進める」、「新たな事業分野への途を拓く」、「東京圏鉄道ネットワークを磨く」、「2017年度までに生活サービス事業で全営業収益の4割程度まで引き上げる」が掲げられています。それら達成のために線路上空建物を初めとする各種の鉄道インフラストラクチャーの整備・再構築が重要となります。本小論では、それらの投資・建設工事を円滑に推進するために必要なコストダウン・工期短縮・品質および快適性向上等に資する土木・建築系の空間創造に関する研究開発の現状と今後の展望について述べます。

1. はじめに

JR東日本は長期経営構想「グループ経営ビジョン2020—挑む—」(以下、「GV2020」と略す)を2008年度からスタートさせました。「究極の安全」を基盤とした「7つのギアチェンジ」を掲げ、キーワードとして、「企業価値向上に資する投資を積極的に進める」、「新たな事業分野への途を拓く」、「東京圏鉄道ネットワークを磨く」、「2017年度までに生活サービス事業で全営業収益の4割程度まで引き上げる」が掲げられています。それら達成のために駅空間の価値向上のために線路上空建物の整備や拠点駅などにおける駅機能向上のための改良工事、首都圏等の鉄道ネットワーク強化などの鉄道インフラストラクチャーの整備・再構築が重要となります。それらの投資・建設工事を円滑に推進するためには、従来からの取組みに継続して、コストダウン・工期短縮・品質および快適性向上等に資する土木・建築系の空間創造に関する研究開発をさらに発展させていくことが重要となります。

これより、本小論では、土木・建築系の空間創造の研究開発の現状と今後の展望について述べます。

2. 鉄道・生活サービス事業の基盤強化、駅機能向上のためのインフラ整備を支援する空間創造の研究開発領域

GV2020において、「継続する挑戦」として「研究開発を

積極的に推進する」とあり、そのなかで、「究極の安全の追求」、「安定性・信頼性の向上」、「マーケットの拡大・創出」、「地球環境への貢献」の4つのテーマの柱が掲げられています。それぞれに対応する空間創造の研究開発領域・キーワードを以下に示します(図1)。また、各テーマ・キーワードを短期、10年後、未来志向の時間軸と経営課題型、課題解決型、提案型のカテゴリー分けしたポートフォリオを図2に示します。

本号では、「(1) 安全性向上」に関する研究開発成果として、「耐震機能を有するエスカレーターの開発」、工事にともなう軌道変状発生抑止についての研究開発として、「線路下横断工法(COMPASS工法)の変位抑制管理手法」、「夏期工事における軌道変状対策手法」について紹介しま

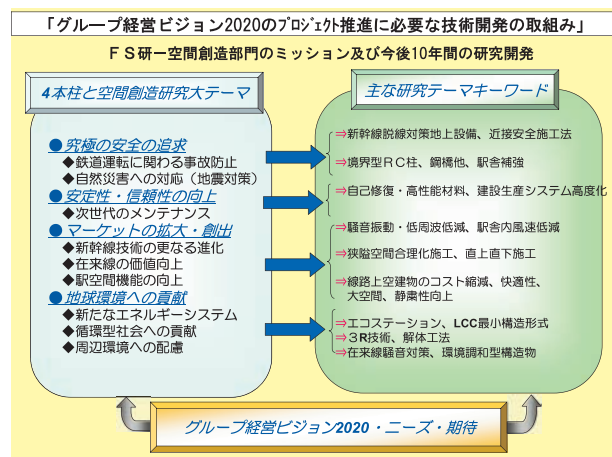


図1 GV2020と今後の空間創造研究開発

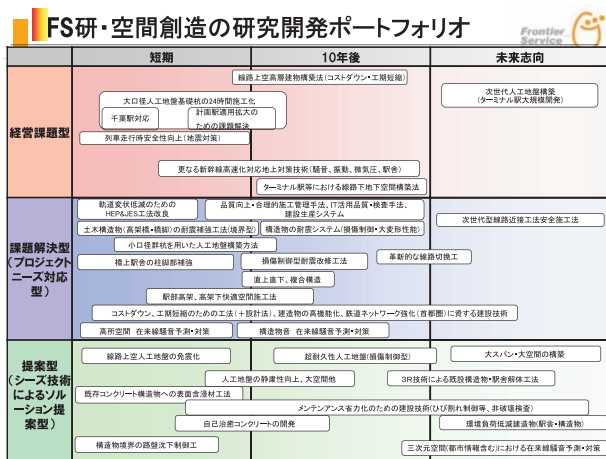


図2 空間創造の研究開発ポートフォリオ

す。「(2) 信頼性向上」に関して建造物の耐久性向上・品質向上に資する研究開発として、「表面含浸材による構造物の品質向上、省メンテナンス化」、「自己治癒コンクリートによる高機能コンクリート」について紹介します。「(3) 線路上空・拠点駅整備等マーケット拡大」に関する研究開発として、「線路上空建造物のコストダウンのための新たな架構法」、「増築建造物を利用した駅舎全体系の地震応答低減架構法」、「駅構内等の狭隘空間で施工可能な小口径場所打ち杭工法」について紹介します。「(4) 地球環境・沿線環境保全」に関する研究開発として、「高所空間における在来線鉄道騒音について」、「地盤振動対策のための設計・施工法」について紹介します。

3. 各技術領域における研究開発の方向性

4つの技術領域ごとにロードマップを示し、現状の技術開発を俯瞰しつつ、今後の研究開発の方向性について述べます。なお、今後、プロジェクトの進捗状況や技術的課題の難易度・解決所要時間・優先順位、研究開発リソース、社外技術動向などを勘案しつつ必要な追加・見直しなどを行いながらGV2020の実現に向けた取組みを推進していきます。

(1) 建造物の地震対策、列車走行時の安全確保について (図3、4)

1) 建造物の安全性向上・地震対策について

①既設建造物（土木）の耐震補強・地震対策

土木構造物については、これまで新幹線および南関東・仙台などのエリアにおける、倒壊のおそれの高いせん断破壊先行型のラーメン高架橋・橋脚の耐震補強を優先的に施

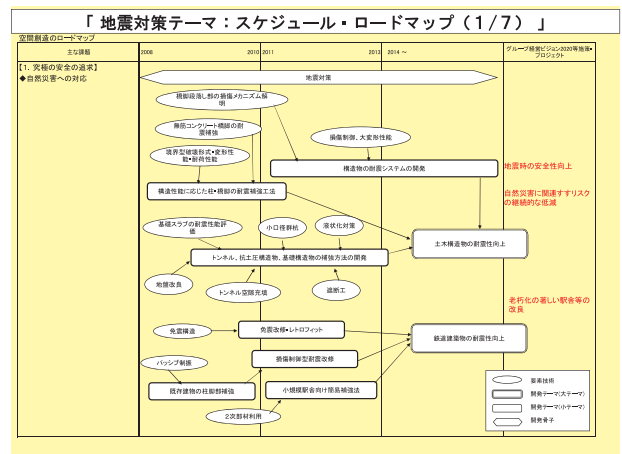


図3 建造物地震対策の研究開発ロードマップ

工完了・施工中で、対策工事費のコストダウン、利用高架等さまざまな施工環境下においても効率的な施工が可能となる各種の耐震補強工法が技術開発され、水平展開されています^{1)、2)}。ところで、鉄道ネットワークのラインとしての鉄道構造物の耐震性能を高めるため、今後、曲げ・せん断破壊境界型の柱・橋脚補強や無筋コンクリート構造物などさまざまな建造物の安全性を高める計画があり、その際の対策工を合理的に行えるための研究開発を進めています。中長期的にも多様な建造物（建設年次の古い抗土圧構造物等）の対策工のコスト削減のニーズに対応した施工法開発が必要になってくるものと考えています。

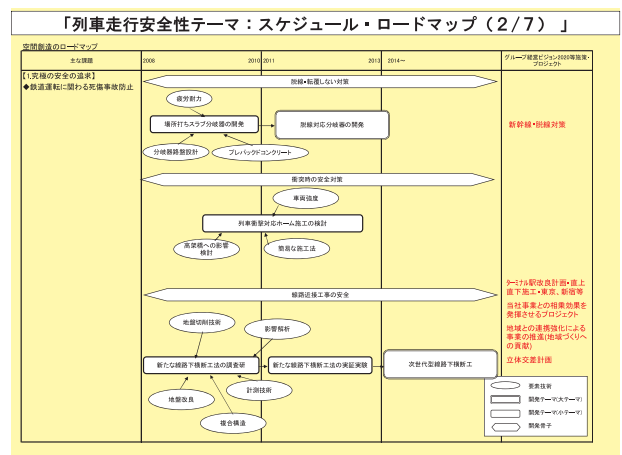


図4 列車走行安全性テーマの研究開発ロードマップ

②既設建造物（建築）の耐震補強・地震対策

1995年に施行された耐震改修促進法（3階建以上かつ1000㎡以上の特定建築物が対象）と2005年の国土交通省通達（一日平均利用客が乗降1万人以上、かつ、折返し設備を有する又は他路線と接続している駅が対象）があり、それらに該当する駅舎、橋上駅、駅ビル一体型駅舎について

耐震補強を推進されています。それら耐震補強工事の効率化・コストダウンに資する技術開発成果として、隣接建物を利用した橋上駅舎耐震補強工法や新たな耐震機能を有する昇降機活用工法などがあります。また、既存駅舎等(1981年改正建築基準法以前の既存不適格建物の場合)に併設して線路上空建物等を増築する際に現行法と同程度程度の耐震性能を確保できる(既存週及への対応)補強工法として柱脚部補強工法の研究開発を進めています。

2) 列車走行時の安全確保

線路近接工事の安全性向上に関して既開発工法であるCOMPASS工法の掘削時の軌道変状抑止をさらに向上するために、本工法で施工された工事現場の各種計測結果の評価を基に、軌道変状抑止管理手法の開発を行いました。また、2006年にHEP&JES工法を用いた工事現場で重大な輸送障害を発生させた事故後、社内の「線路下横断工安全委員会」での議論を受け、従来のHEP&JES工法の改良の技術開発を進めています。安全・安定輸送のために工事期間を短縮化することがリスク回避のために必要であるといった観点より従前、開削工事で使用されていた工事桁を併用する複合的な工法の優位性を確認しながら工期短縮に資する工事桁の改良開発も視野に入れていくこととなります。

2004年10月の新潟県中越地震で新幹線脱線事故が発生したことに鑑みL型車両ガイド等については既に導入されています。その他の対策として走行列車の安全を確保できる衝撃対応ホームや土路盤上分岐部のコンクリートスラブ化の研究開発を進めています。

(2) 建造物の信頼性向上・品質向上のための研究開発について (図5)

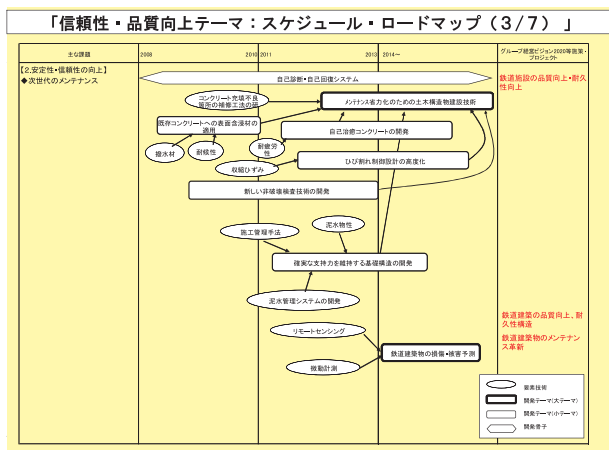


図5 建造物品質向上の研究開発ロードマップ

1) 構造物品質向上

コンクリート構造物の品質に関しては、剥離・剥落事象の発生抑止のために新たな知見等を入れ、「工事標準仕様書」が数次の改定がなされました。ところで、近年、新たに建設直後のコンクリートひび割れ発生抑止の必要性が注目されています³⁾。粗骨材の物性、耐震性確保や施工環境・現地条件による構造計画等から鉄筋コンクリートの拘束が大きくなる構造形式などの種々の理由により、コンクリートの収縮が大きくなり、耐久性に影響するひびわれが発生します。これより、ひび割れ制御設計の高度化に関する研究をはじめています。

2) アセットマネジメントに寄与する建設・構造技術

一般にコンクリート構造物の変状は、初期欠陥、損傷および劣化に分類されますが、維持管理するうえで時間とともに構造物の性能低下が生じる劣化の対応がアセットマネジメントにおいて重要となります⁴⁾。こうした背景より、「表面保護工設計施工指針(案)」(土木学会2005)を参考にし、事業者として、新設構造物への適用上の施工上の留意すべき仕様などに関する研究や、さらに、さまざまな表面状態に対応した既設構造物の吸水抑制効果の定量把握に基づく施工仕様などに関する研究開発を行っています。また、コンクリート構造物の維持管理手間・費用の縮減のためには建設時の施工品質が健全であることが必要ですが、万一、施工品質不十分な箇所などがあった場合の健全化の手法について基礎的なレベルから研究開発に着手しています。これらの研究開発成果がLCAや建造物の戦略的なアセットマネジメントに寄与できることが期待されます。

3) 建造物等内部の可視化技術について

新設構造物に関しての品質確保は受注施工者(請負者)による品質管理と発注者(監督員)による竣工検査(受入検査)が厳格適正に実施されることによって行われます。施工後に可視不可となる鉄筋等の施工内容については施工途中における確認が必要となります。また、既設建造物の改良工事や再構築等において既設建造物内の鉄筋・鉄骨などの鋼材量・形状が精度よく把握できれば設計・施工プロセスの効率化が期待されます。ところで、現状、コンクリート構造物の非破壊による配筋状況把握手法として、電磁波レーダや電磁誘導による鉄筋探査計などが使用される場合が多いようですが三次元的に精度良く計測し(鉄筋位置、本数)、かつ、それを可視化・画像化する

ることは通常の検査手法では困難です⁵⁾。これより、産業界における非破壊診断技術の進展も期待されることより、先端探査技術保有機関との連携も視野に入れながら建造物への適用に関する基礎研究を着手する予定です。

また、駅構内掘削や線路下工事で支障物、埋設物の確認などを工事計画段階で精度よく把握できる地盤内可視化技術への期待も大きいことから、建設工事への適用も未来志向テーマとして取組んでいきたいと思ひます。

4) ICT 活用建設生産システムの高品質化

ICT（インフォメーション・コミュニケーション・テクノロジー）による建設現場の高品質化・技術革新が進められています。例えば、建築業界では、一般民間ビルを対象にBIM（Building Information Modeling）手法が研究・展開されています。BIMとは、建物・建造物を3次元モデル(CAD)によるデータベースを設計プロセスで構築することによって、設計・施工・維持管理の管理・品質を連携させ、施工前に設計・構造ディテールの問題点を把握し（フロントローディング）、完成系イメージを設計・施工各階層で共有させ品質向上・生産性向上などに役立たせる手法です。

建設・改良プロジェクトは企画段階から調査・設計・施工・供用後維持管理までの多くの部署・担当者が関係します。また、施工プロセス一つとっても多くの工事種類・専門工事から構成されています。建造物の高品質化を図るため、可視化3次元モデルによる各主体者間の意思疎通が有効ではないかと想定され、その利活用、また、視覚化・無線通信・ICタグ・非破壊技術等とICTとの連携も効果的と想定されます。これら、ICT活用建設生産システムは業務執行の仕組みに直結し、また、鉄道工事に合致するような改良・開発が必要と思われますので、中長期的な研究開発テーマとして視野に入れていきたいと思ひます。

(3) 線路上空建物・拠点駅整備改良等マーケット拡大を支援する研究開発（図6～9）

1) 駅空間機能の向上のためのインフラ整備・線路上空建物プロジェクト推進に資する研究開発

設計計画・施工計画の工夫等によってコストダウン・工期短縮の実現に資する技術開発として以下のテーマを考えています。

①施工法に関するテーマ。駅構内・ホーム上・線路間の杭施工を行う場合に軌道防護工事が少なくなり、昼夜施工が可能となれば大幅な工事費縮減につながります。

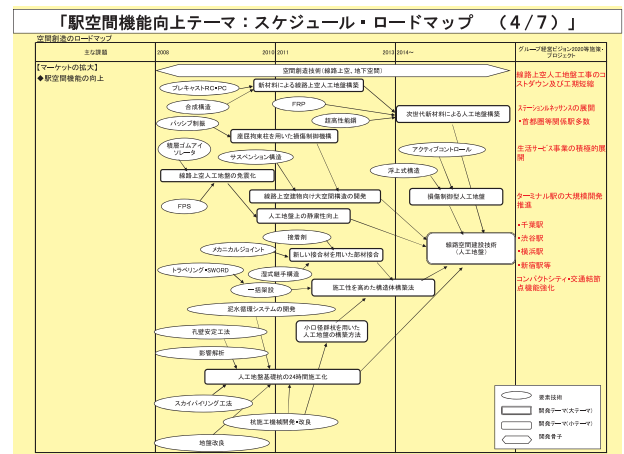


図6 駅機能向上の研究開発ロードマップ

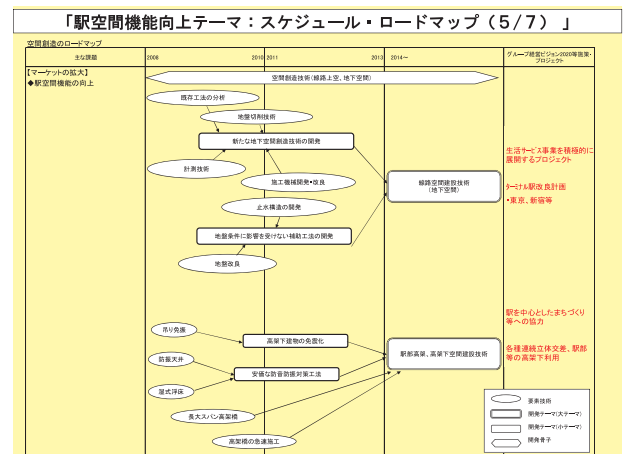


図7 駅機能向上の研究開発ロードマップ

現在、3m程度の大口径杭を必要とする駅改良・駅ビル建替え工事への適用を目標に社内工事主管部署とともに取組んでいます。また、施工環境・構造計画より、線路上空からの杭施工や中小口径群杭基礎とした場合が有利となる場合も想定されますので、それらの設計施工法開発も重要であると考えています。また、本号で掲載しています駅構内における開削工事やホーム改良において小型施工機械で本設杭施工が可能となる工法の展開もフォローアップしていく予定です。

②構造形式・構造計画・新材料導入に関するテーマ。線路上空建物へ損傷制御機構（免震構造や制振構造を利用した地震時の建物損傷を制御した建築構造システム）を導入すると、地震時荷重の損傷を特定部位に集中させ構造系全体への荷重分散が図られる構造系のメリットがあるため、在来架構工法（剛接合によるラーメン構造）に比較すると躯体・部材のスリム化による工事費縮減が期待されます。また、今後、駅空間の快適性・安全性向上

等を視野に入れた大スパン、大空間化の検討、また、線路上空中高層建物の検討も必要になると考えています。その際、損傷制御機構を用いた架構法の開発が有効な手段ではないかと考えています。さらに、従来の鋼製柱・梁部材にかわる軽量・高性能な新材料や新たな柱梁部材接合工法など、チャレンジングなテーマは多くありますのでリソース・優先度などを勘案しながら進めていく予定です。

2) 在来線の価値向上のためのインフラ整備・鉄道ネットワーク強化プロジェクト推進に資する研究開発

各種プロジェクトの円滑推進のため、さまざまな技術課題解決のために技術開発が求められています。現在、以下のような技術開発テーマを工事実施部署とともに実施しています。①在来工法の鉄筋配置より高い密度で鉄筋を配置する狭隘空間においても施工可能な鉄筋コンクリート構造柱の設計施工法開発、②鋼コンクリート複合構造のラーメン高架橋や人工地盤において柱梁接合構造の施工性を容易にするための開発、③国内建設市場で汎用品・リース品として広く流通している汎用H形鋼を用いて新たな加工不要（あるいは最小限の補強）となる鉄道

用工事術（駅改良等の線路下開削工事期間中に仮設の工事術）の使用可否の性能評価、および補強が必要となる場合のその仕様提案の開発を行う予定です。その他、各種プロジェクト推進に資する課題解決のために必要な技術開発を進めていく予定です。

(4) 地球環境への貢献 (図 10)

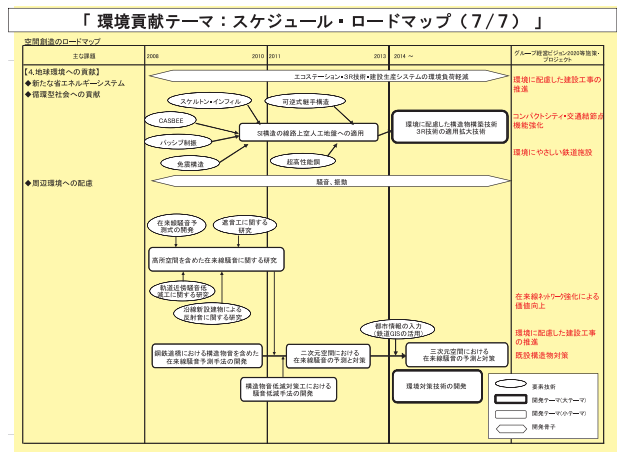


図10 環境貢献の研究開発ロードマップ

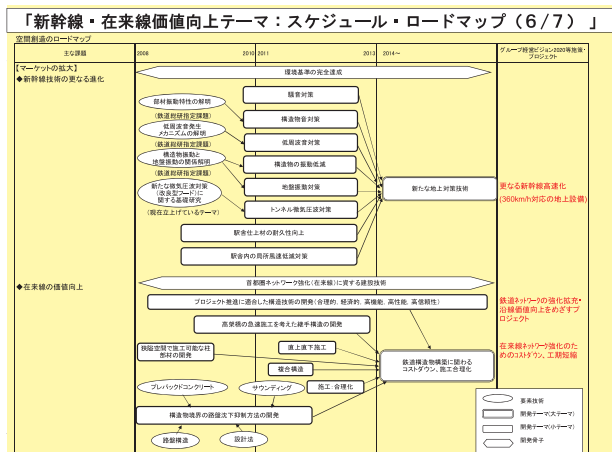


図8 新幹線・在来線価値向上の研究開発ロードマップ



図9 線路上空建物の研究開発テーマ

1) 沿線環境保全

新幹線沿線騒音予測と対策については、別号で論文掲載しておりますので、ここでは在来線騒音予測・対策に関する研究開発について述べます。新設又は大規模改良工事等を行う場合、「在来鉄道の新設又は大規模改良に際しての騒音対策の指針について」（1995年、環境省）において必要な対応が述べられています。騒音予測に関して工事計画に関連するうえでの留意点は、①騒音予測・評価は、近接側軌道中心線からの距離が12.5m、地上1.2mの地点の値であること、②騒音予測手法として、1980年代～1990年代の研究成果に基づく手法が例示され、それらが予測作業時の準拠手法となっていることです⁶⁾。

プロジェクト推進、既設建造物対応等で沿線環境に配慮した合理的な工事計画に資するために以下の課題解決のために研究開発を進めています。

- ①既往の予測式では高所空間（地上1.2m以上の予測点・評価点より上方の空間）での騒音予測が実際の値より大きく推定されることが実測結果などより明らかになっていますので、合理性にかける対策工が立案されることも想定されます。これより、既往研究⁷⁾を参考にし、高所空間における予測手法の改良・高精度化にかかわる研究を進めています。
- ②近接建造物などの反射・遮蔽等の影響や特定の近隣建

造物の細かな条件など局所的な沿線施設の考慮を行うためには、①に加えて、騒音伝播モデルを改良した物理則を取り込んだ数値解析手法（有限差分法など）の改良開発が必要となるためその研究も進める予定です。

③従来からの鉄道在来線予測の対象は連続立体交差事業等において多数存在するコンクリート高架橋を対象にしています。ところで、コンクリート構造物よりも鉄道走行時の構造物音が卓越する鋼製橋梁においては、音の放射特性が解明されていないため予測手法が整備されていません。今後、既設橋梁への対応や急速施工等の優位性より鋼製系橋梁が選定される場合のスポット的な騒音予測・対策工の必要性も想定し、基礎的な調査研究を行う予定です。

④予測結果にもとづいて対策工事を行う場合、工事費縮減のための効果的な騒音低減工が求められます。現在、音源付近の騒音低減などの基礎的な研究開発に取り組んでいますが、高架橋等に荷重負荷が大きくなり風圧軽減遮音工など今後、関係メーカーとの共同研究なども視野に入れています。

2) 建設生産システムにおける環境負荷低減

中長期的に駅や鉄道輸送ネットワーク強化に関する設備投資が計画されていくなかで、建設生産システムにおける環境負荷低減、3R（リデュース、リユース、リサイクル）技術や長寿命鉄道建築技術が必要になってきます。その際、新設建造物を対象にしたLCC・環境負荷軽減のための設計・施工・架構方法だけではなく、既設建造物・鉄道施設の解体・再構築が必要となる場合の解体工事の環境負荷軽減が必要になってくると想定されます。

当社自身が「環境適合解体工法」に関する研究開発を実施した近年の事例として、以下があります。マクラギとバラストを固結した省力化軌道区間をバラスト軌道へ有道床化する工事が必要となる場合（線路下横断工事や工事桁架設等）、騒音・振動発生抑制目的で静的破砕材（内部膨張系破砕工法の一つで、セメント系膨張材をコンクリート躯体に削孔・充填し時間経過により発生する膨張圧を利用してコンクリート破砕する工法）を使用した道床とグラウトの充填層破砕工法を研究開発しました⁸⁾。削孔本数・配置を工夫することで、在来工法（ブレーカー等による破砕）に比較し、一日あたり作業量が約2倍にできることを検証し、その後、夜間作業時の騒音・振動軽減の必要がある工事などで使用されています。

一般に建造物は長期耐用年数で設計されているため、

建設時に改築や躯体の再利用に配慮した設計がなされていません。これより、多くの場合、「スクラップ・アンド・ビルド」により、既設建造物・建物は、圧砕系工法やブレーカー系工法により全面解体されます⁹⁾。これまで発注事業者側の解体工事への技術的関心が高くなく、専門家・施工者に依存する工事種類でもあったことより、この分野の技術革新は少ないようです。しかし、既設建造物の解体工事がプロジェクトのコスト・行程等に重要な位置を占めるプロジェクト発現も想定し、環境適合型の新しい解体工法の可能性も建設市場のなかで関心が高まっている状況も視野に入れ、事業者としての取組みの必要性の有無も考えていければと思います。

5. まとめ

巻頭言の石橋忠良・JR東日本執行役員の特集記事において述べられているとおり、GV2020における多くの土木・建築系プロジェクト推進に必要な設計・施工・補修補強など工事に関連する研究開発を将来ともに円滑・効果的に行う必要があります。それら、鉄道インフラストラクチャーの整備等に資する研究開発を推進させるという明確なミッションを期待された組織として、プロジェクト推進・実施箇所との協調強化、大学・建設関係企業との関係性、インハウスエンジニアとしてのコア技術（設計力、構造計画力、施工計画力、解析力、コスト試算力等）を高め、次世代を担う人材を中核とした研究開発面からの強力な技術支援を推進していきたいと考えています。

参考文献

- 1) 石橋忠良；鉄道コンクリート構造物の大地震時の都市機能維持への取り組み，コンクリート工学，pp.4-7，Vol.46，2008.1
- 2) 菅野貴浩・荻原郁男・鈴木裕隆・長澤徹；JR東日本におけるRC橋脚の耐震補強について，JREA，vol.49，No.6，2006
- 3) 丸山久一；コンクリート構造物の損傷事故とマネジメント，土木学会誌，pp.25-28，Vol.93，No.1.2008
- 4) 例えば，宮川豊章；コンクリート構造物の耐久性照査手法，橋梁と基礎，pp.66-68，No.8，2008
- 5) 魚本健人；「非破壊検査」ではかる—コンクリート構造物への応用，土木学会誌，pp.81-84，Vol.85，2000.1
- 6) (財)鉄道総合技術研究所；在来鉄道の新設または大規模改良に際しての騒音に関する手引き，2001年3月
- 7) 安部由布子・長倉清・北川敏樹；在来鉄道騒音の予測手法に関する検討，日本音響学会騒音・振動研究委員会，2005年1月
- 8) 山田啓介・相原宏任・兼吉孝征・松井彩；省力化軌道充填層破砕工法について，土木学会年次学術講演会，2006
- 9) 鈴木宏一；各種解体工法の紹介，コンクリート工学，pp.118-123，Vol.46，No.1，2008