

## 空間創造技術の研究開発の現状と今後の展望

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  
清水 満



フロンティアサービス研究所では、GV2020において掲げられた4つの柱、「究極の安全の追求」、「マーケットの拡大・創出」、「安全・信頼性の向上」、「地球環境への貢献」を基にそれぞれに対応する研究テーマを定め、研究開発を進めています。本号では、地震対策、近接施工、次世代の建設生産システム、新幹線の高速化、工事費のコストダウン、騒音対策をキーワードに、現在進めている代表的なテーマについて紹介します。

今後取組むべきテーマとしては、地震などの安全対策、構造物の品質向上、施工中の安全性の向上、線路上空空間の施工法、沿線環境保全をキーワードに紹介します。

### 1. はじめに

フロンティアサービス研究所は、2001年12月に設立され、サービスデザインと構造システムデザインの2チーム体制で、「最先端の技術とお客さま視点による、駅、社内サービスのイノベーションとそれを支える安心な構造物の実現」を目標に研究開発に取り組んでいます。

このうち構造チームにおいては、GV2020において掲げられた4つの柱、「究極の安全の追求」、「安全・信頼性の向上」、「マーケットの拡大・創出」、「地球環境への貢献」を基に、それぞれに対応する空間創造技術に関する研究テーマを定め研究開発を進めています。

本号では、「究極の安全の追求」のテーマとして建築構造物や土木構造物に対する地震対策と、近接工事における既設構造物への影響予測手法の開発について紹介します。また、「安全・信頼性の向上」に関するテーマとして、次世代の建設生産システムに関する研究について紹介します。「マーケットの拡大・創出」のテーマとしては、新幹線の高速化に向けた取組みや、線路下の開削工事のコストダウンについて紹介します。「地球環境への貢献」に関するテーマとしては鋼鉄道橋の騒音対策について紹介します。

### 2. 空間創造技術の研究開発

#### 2.1 地震対策に関連した研究開発

##### 2.1.1 線路上空建物における地震対策

線路上空に構築される建物は、一般の建物と異なり地中梁の設置が困難であるなど、設計施工上の厳しい制約条件

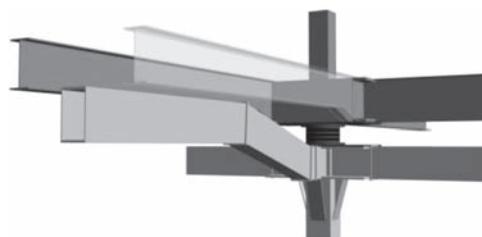


図1 免震層周りの架構形式

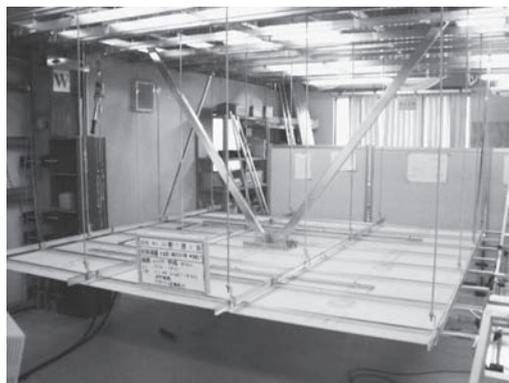


図2 開発した耐震天井

があります。このため、免震技術を線路上空建物に適用することにより地震応答を低減させ、建設時の工期短縮とコストダウンを目指しています。この適用についての開発を「厚肉積層ゴム免震部材を利用した低層線路上空建物の開発」として報告します。

東北地方太平洋沖地震では、東北新幹線仙台駅をはじめ在来線の駅においても天井材が落下するなどという被害が発生しました。この地震以前にも、芸予地震、十勝沖地震、宮城沖地震などで体育館などの大規模空間を有する建築物で発生しており、大規模な地震に対応した耐震天井が求め

られてきていました。そこで大規模地震にも対応可能な耐震天井の開発成果を、「建物上層の大規模空間に対応した耐震天井の開発」として報告します。

## 2.1.2 RC 橋脚の地震後補修を考慮した研究

RC橋脚が地震時に基部で損傷した場合、その橋脚が河川内にある場合には、復旧に際して仮締め切りや仮設栈橋などにより損傷部まで掘削・補修する必要が生じ、復旧期間の長期化と復旧コストの増大を招くことが考えられます。そこで大規模地震によりRC橋脚が損傷した場合でも損傷箇所をコントロールし、損傷部の補修が容易に可能な位置にできるような研究を行っております。これについては「鉄筋の途中定着を有するRC橋脚の曲げ損傷に関する基礎研究」として報告いたします。

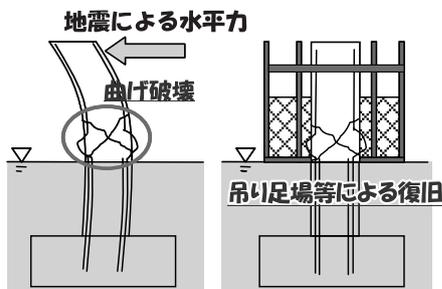


図3 復旧が容易な部位での損傷

## 2.2 近接工事における構造物への影響予測手法の開発

線路上空に構造物を建設する場合、軌道や既設構造物に近接して杭を施工する必要が生じます。このような杭の近接施工にあたっては、走行する列車の安全性はもちろん、近接する構造物にも影響を与えずに施工を行う必要があります。このため、安全性の確保のため杭の施工に先立ち地盤改良などの補助工法を実施しますが、補助工法の必要性やその適正な範囲を設定するためには、杭の近接施工の影響を適切に評価する手法が必要となります。

そこで計画段階での簡易な影響解析手法として、「せん断強度低減法」を組込んだFEM解析ソフトウェアを開発してきました。これについて、「せん断強度低減法を用いた場所打ち杭の孔壁挙動解析手法の開発」として報告します。

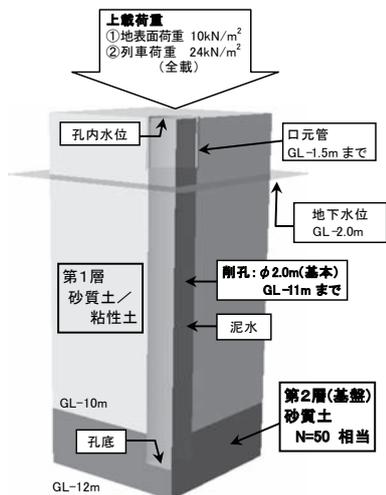


図4 パラメータスタディで用いた解析モデル

## 2.3 次世代に向けた建設生産システムに関する研究

当社における建設・改良プロジェクトでは、企画・計画段階から調査・設計、工事、維持管理段階にいたるまで、多くの組織の担当者が関係しています。プロジェクトの進捗に伴う業務プロセス段階ごとの組織間の引継ぎは、主に紙の図面により行われ、データについては部門・系統ごとに個別に蓄積されております。こういった段階ごと、部門別に個別に情報を保有する仕組みを改め、構造物の高品質化と効率的な管理に適した新たな建設システムを構築することが重要と考えています。

そこで新たな建設生産システムの定義付けを行い、このシステムを実現するための第一段階として、調査・設計段階の3次元モデル化について検討を行っております。今回はこれについて「次世代の建設生産システムに関する基礎研究」として報告します。

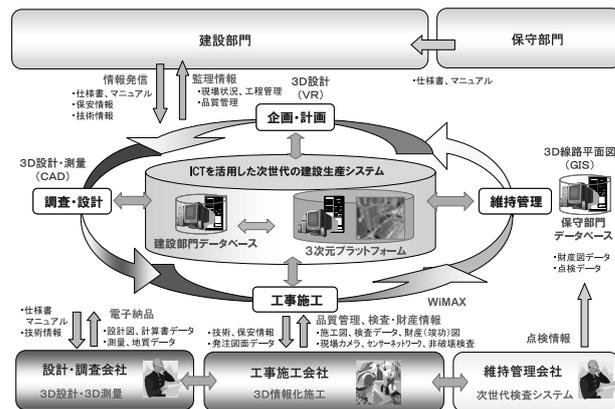


図5 次世代建設生産システムのイメージ

## 2.4 新幹線高速化に向けた取組み

### 2.4.1 高架橋のたわみ低減化の研究

新幹線の土木構造物は、基本的に設計最高速度を260km/hとして設計されています。このため新幹線の高速化にあたりコンクリートの桁の安全性を検査したところ、最高速度が300km/hを超えると設計標準で決められている乗り心地から定まるたわみの基準値を満足しない桁があることがわかりました。この桁のたわみ低減対策として、本来構造部材ではない既設防音壁を構造物の一部として活用できる工法の開発を行いました。今回はこの開発を「既設防音壁の拘束を利用したPC桁のたわみ低減工法の開発」として報告します。

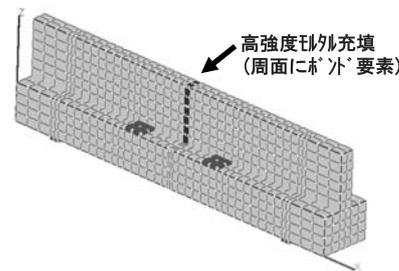


図6 防音壁の拘束効果の解析モデル

### 2.4.2 高速化に伴う地盤振動の研究

新幹線の高速化に伴い、新幹線ルート周辺における地盤振動の影響が危惧されました。特に東北新幹線では地盤が良好な区間での地盤振動の影響が危惧されました。そこで既往の予測手法の良質地盤への適応の検討を行いました。その結果の報告と今後の進め方について、「地盤振動の解析的検討手法の開発」として報告します。

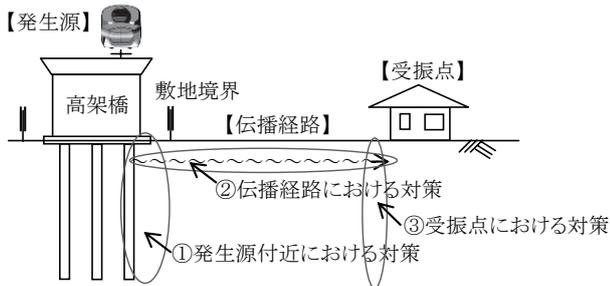


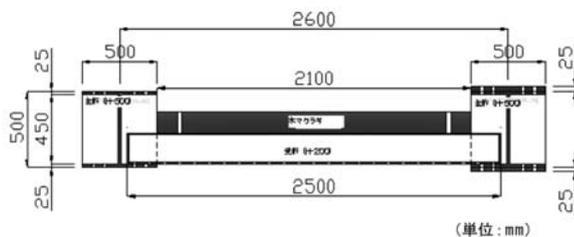
図7 地盤における振動対策

### 2.5 線路下空間の構築技術に関する研究

線路下に構造物を構築する場合、工事桁で軌道の仮受けをしながら開削工法によって施工する工事桁工法が広く採用されています。JR東日本では、工事桁としてマクラギ抱き込み式工事桁を用いるのが一般的であり、この工事桁の製作は本設桁と同様にビルトアップにより行われるため、鋼材の切断や孔あけなどが伴い、材料調達も含めた長い製作工期や高い製作費が必要となります。このため工事桁の製作がプロジェクトの推進の課題となっています。

そこで、通常の鋼製山留め材として用いられているリース材を桁の構成部材とした工事桁を開発しました。これにより入手が容易で加工も軽微ですむことから、製作工期を短縮でき製作コストも大幅に下げることが可能となりました。

この開発については、「鋼製山留材を使用した工事桁の開発」として報告します。



- 主桁: H500 × 500 × 25 × 25 (リース材)
- 受桁: H200 × 200 × 8 × 12 (リース材)
- 添接板 PL: 1200 × 500 × 25 (リース材)
- ボルト: M22 (F10T)
- マクラギ: 木 (L=2100, b=200, h=140)
- 締結装置: 犬クギ

図8 実大載荷試験体 (断面)

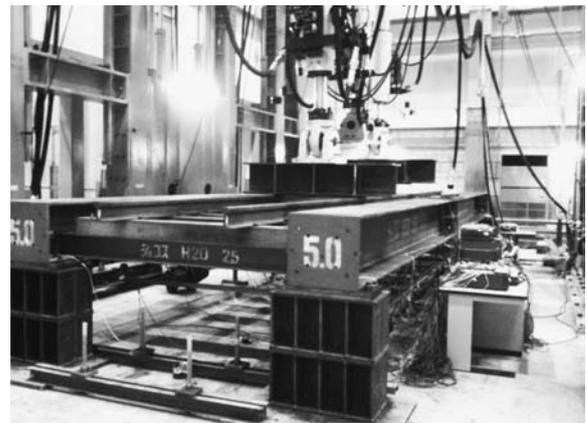


図9 実大載荷試験状況

### 2.6 鋼鉄道橋の騒音対策

在来線沿線において、構造物音（列車走行により鋼桁など構造物が振動することにより発生する音）が卓越する鋼鉄道橋に対する騒音対策は、沿線環境の保全の観点から重要な課題と考えています。しかしながら、鋼鉄道橋から発生する構造物音を含めた沿線騒音の定量的な予測方法は未だ整備されていないのが現状です。そこで今回、関東近郊の在来鉄道橋において構造物音および振動の測定を行い、鋼鉄道橋の主要振動部位の振動とその振動に伴って放射される構造物音の関係について調査し、騒音の予測手法を構築しました。その結果、予測制度として概ね3dB以下の精度で予測できることができました。今回はこの予測手法について「数値計算による構造物音を含む在来鉄道騒音の予測」として報告します。

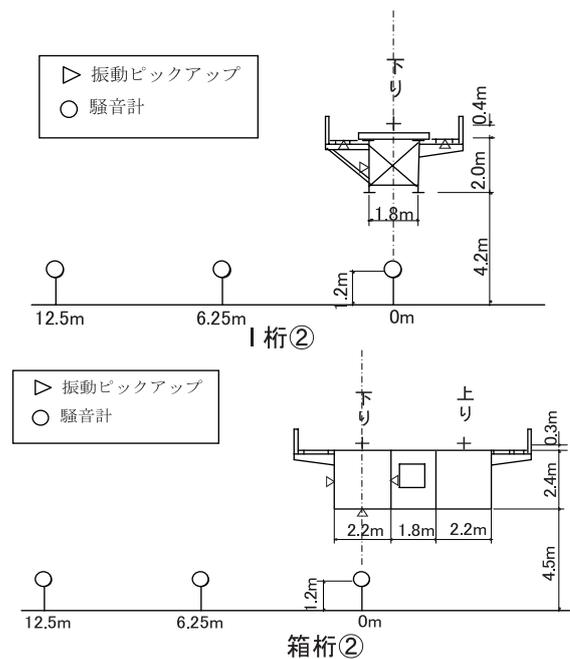


図10 鋼鉄道橋における振動、騒音測定

## 3. 空間創造技術の今後の取組み

### 3.1 地震などの安全対策に関する研究開発

既設土木構造物の地震対策としては、これまで新幹線および南関東・仙台などのエリアにおいて、高架橋などのせん断破壊先行型構造物の耐震補強を進めてまいりました。現在、高架橋などの構造物においては、曲げ・せん断破壊境界型や曲げ破壊型の構造物を対象に補強を進めております。これらの対策工を効率的に進めるためにさらに研究開発を進めていくことを考えています。

また、建設年次の古い無筋コンクリート構造物や盛土構造物の補強も進めていく必要があります。これらの構造物については、地震に対する安全性の評価手法を確立したうえで対策方法を検討する必要があるため、土槽などの実験設備を整備・活用して早急に進めることを考えています。

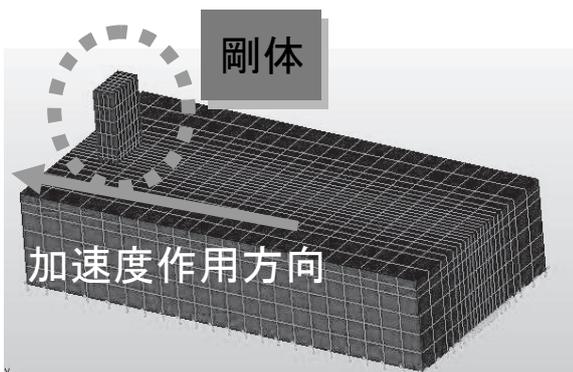


図11 旧構造物の転倒限界評価法の研究

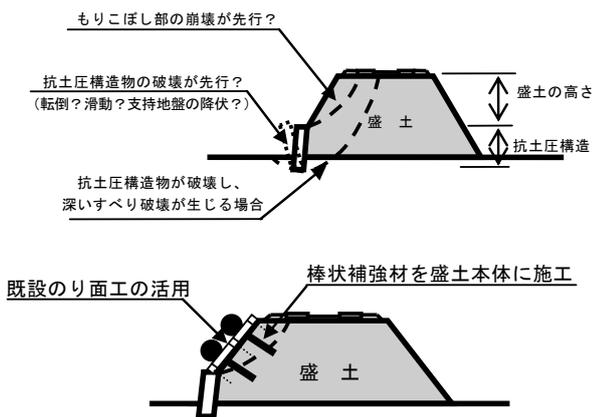


図12 盛土構造物の補強に関する研究

東北地方太平洋地震においては、津波のほか地盤の液状化など、過去にはない大規模な被害が発生しました。これらについては、既設構造物の対策だけではなく新設構造物に対しても研究開発を進める必要があると考えております。

新設の線路上空建物の地震対策としては、低層建物について免震部材を利用した研究開発を進めてきましたが、今後は中高層線路上空建物への適用も考えられます。これ

については免震部材の中高層建物に対する効果を検証しながら研究開発を進めていきます。

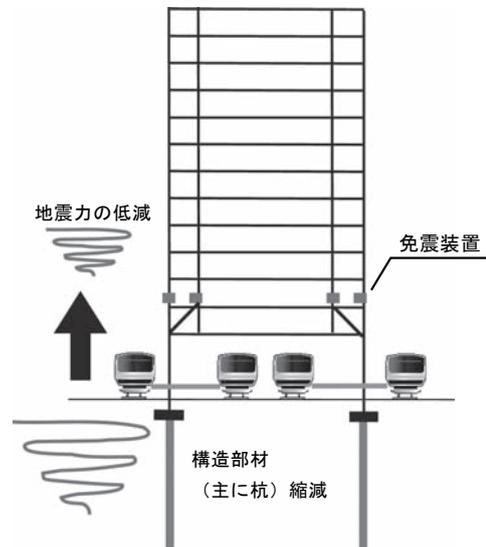


図13 中高層線路上空建物の免震防振化の研究

### 3.2 構造物の安全・信頼性の向上に関する技術開発

#### 3.2.1 構造物の品質向上

コンクリート構造物においては、粗骨材の物性、施工環境、部材条件などによりコンクリートの収縮が大きくなり、耐久性に影響を与えるひび割れが発生することがあります。このひび割れ発生メカニズムを解明することにより、発生の予測や対処方法を確立することを目的に研究を始めています。



図14 分割施工の弱点部予防方法に関する研究

また、線路に近接したコンクリート構造物の施工においては、梁やスラブなどを一体に施工することが困難であり、分割して施工するケースが多々あります。分割施工の場合、この目地部が耐久性に対する弱点となるおそれがあります。この目地部のひび割れ防止対策や鉄筋の防錆方法などについての研究も始めています。

一方品質管理において、現在さまざまな分野の品質管理にICTが用いられています。この手法の工事施工段階の構造物管理に対し適用することを考えています。例えばICタグ

を構造物に設置し、これを介して構造物情報の参照や品質管理記録の登録を行う仕組みや、ITVに次元モデル画像を投影できる仕組みを構築し、施工中の構造物と完成形を対比できるような管理手法の研究を始めています。



図15 ICTを活用した構造物管理に関する研究

### 3.2.2 施工中の安全性の向上

駅や高架橋基礎などの構造物に近接して地下空間を構築する場合、施工時の地盤の緩みにより近接構造物に変状を与えるおそれがあります。この近接構造物への影響を防ぐため、開削工法ばかりでなく非開削工法も含めた施工時の地盤の緩みを高い精度で予測するための研究を始めています。

### 3.3 線路上下空間などマーケット拡大に関する研究開発

駅改良やバリアフリー化の推進などにおいて、駅舎や営業線直下の空間の活用が望まれています。しかし駅や営業線下の施工においては、制約条件が多く施工効率が悪いいため、工期やコストの面から課題が多いのが現状です。そこで、開削工法を対象に短期間で施工可能で安全な土留めによる効率的な地下空間の構築方法の研究を始めています。

また、線路上空建物の建設においては列車直上での作業となるため、通常は夜間線路閉鎖間合いの短時間作業となり、完成までに長い期間を要することになります。これを列車走行時でも施工を可能とするためには、安全な吊り荷落下対策が必要になります。この合理的な防護工を確立するため、落下物の形状・重量、落下高さ、衝突面の状態などをパラメータとした落下試験を行い、さまざまな規模の線路上空建物の建設に対応できる防護工の設計ルールの開発を行っています。

### 3.4 沿線環境保全に関する研究開発

鋼鉄道橋の在来線騒音予測手法については、これまでの研究開発により構造物音を含めた騒音の予測手法まで確立してきました。この予測手法をさらに発展させ、制振材などの音源対策による騒音低減効果が把握可能な予測手法の研究に取り組んでいます。

また、すでに開発済みの新幹線用騒音低減装置「ニデス(NIDES)」を新幹線高速化など、さらに騒音対策を有する箇所にも適用可能とするため、逆L型などの防音壁にも適用可能とする研究も行っています。



図16 鋼鉄道橋の在来線騒音対策に関する研究

## 4. おわりに

空間創造技術に関わる研究開発においては、現地の制約条件や現在現場で用いられている技術など、現場の実態を十分に把握していることが重要です。このためには、日常の研究がデスクワークに偏ることなく、現場に足繁く通い、現場の担当者との意見交換を十分に行うことが必要です。また一方では、視野を広く持つことも必要です。他社や海外の技術動向や、他機関の研究所の動向や大学などにおける研究動向についても目を向ける必要があります。

また、空間創造技術に関する研究開発においては、即時かつ効率的な推進が求められます。このため、フロンティアサービス研究所では、効率的な実験を自ら行えるように各種実験設備を拡充してきました。特に昨年は、従来の交番載荷試験装置や曲げ試験装置などに加え、大型疲労載荷試験装置、準動的載荷試験装置、水平振動試験装置、材料劣化促進試験装置などの大型試験装置を追加整備しました。さらに今年度は、基礎構造物、地下構造物の効率的な開発を目指して、土槽試験装置を整備する予定です。

しかしながら、研究開発業務の環境や試験設備を拡充しただけでは効率的な研究開発が進められるものではありません。フロンティアサービス研究所では、現場の課題を敏感に捉えられる感性を持ち、試験装置を自ら操作し、新たな知見を貪欲に求めていく人材を育てながら、引き続き研究開発を進めていくことを考えています。