

構造物に関する最近の研究開発成果と今後の課題

小西 真治*

The Latest Achievements and Future Theme of Research and Development on Structural Technology

Shinji KONISHI

Structures Technology Division has been researching and developing a practicable technology for design and maintenance of railway structures. Recently, the principal objectives of the activity are to introduce the performance-based design method into design standards, improvement of earthquake-resistant design, seismic retrofitting, maintenance, and environmental technologies, and reducing construction costs.

This paper describes the latest achievement and future themes of our research and development with several examples.

キーワード：構造物，性能規定化，耐震設計・耐震補強，維持管理，環境

1. はじめに

構造物技術研究部では鉄道構造物の設計や維持管理に関する実務に役立つ研究開発を進めてきた。最近では、主として鉄道構造物の性能規定化に関する研究、耐震設計・補強や維持管理に関する研究・開発を進めている。また、環境に係わる研究開発や建設コストの削減に係わる研究開発も進めている。ここでは構造物技術研究部が最近取り組んでいる研究・開発の成果の概要と今後の課題について述べる。

2. 性能規定化に関する研究

現在、3種類の設計標準について、性能規定化を目的とした改訂作業を行っているので紹介する。

2.1 鋼・合成構造物標準の改訂

平成4年に「鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物編）」（以下、鋼・合成標準）が発刊されてから既に16年が経過している。そこで、鋼・合成標準改訂のため委員会・幹事会を設置し（委員長：依田照彦 早大教授，幹事長：館石和雄 名大教授），各種技術課題に取り組んできたが、近々、新しい鋼・合成標準が発刊される予定である。

この鋼・合成標準では、高性能鋼材を含む新材料の鉄道橋への適用性、鋼部材の座屈耐荷力評価法、合成桁のずれ止めの設計法および支承部の耐震設計法などに関する事柄について新たに盛り込むと共に、性能規定型への移行による設計法の見直しも図っている。

2.2 基礎構造物標準の改訂

基礎構造物に関しては、平成9年に「鉄道構造物等設計標準・同解説（基礎構造物編）」（以下、基礎標準）が発刊され11年が経過している。この間、「鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）」（以下、耐震標準）の発刊、地盤調査法や現行工法の技術レベルの向上、また、信頼性設計法、高性能材料、新工法等に関する新しい取り組みにより、現行の基礎標準では十分な対応ができなくなってきた。そこで、平成16年度から平成19年度にかけて基礎構造物の設計標準の性能規定化並びに新工法を導入した新しい基礎構造物の設計標準の策定を進めてきた。具体的には鉄道構造物の「安全性」「使用性」「復旧性」に立脚した基礎構造物の制限値の設定やプレボーリング根固め工法、回転杭工法、シートパイル基礎などの施工性や経済性に富んだ新工法を標準工法に導入した。最終委員会を終え、現在、平成21年度通達および刊行に向け出版編集作業を実施しており、スムーズな基準改訂に向け鋭意努力している最中である。

2.3 耐震標準の改訂

現在の「鉄道構造物等設計標準（耐震設計）」は、平成7年の兵庫県南部地震で土木構造物が甚大な被害に遭ったのを契機に以前の耐震設計法を全面的に改訂したものである。しかし、その後の地震工学分野の研究の進展や新潟県中越地震など比較的大きな地震が近年多数発生していること、および本格的な性能規定型設計標準に移行するため、国土交通省の指導のもとに、平成17年3月から耐震標準に関する検討委員会を設置し、平成20年度末までに改訂原案を作成する予定で検討作業を実施している。

改訂の主な検討項目としては、地震動の定義と要求性

* 前構造物技術研究部 部長（現事業推進室長）

特集：構造物技術

能（安全性、復旧性）、設計地震動（応答スペクトル、地震動波形）、地盤種別（動的解析結果との整合）、非線形スペクトル法（適用範囲、履歴モデル、降伏点の定義）、照査方法（部材の損傷レベルの制限値）等である。現在、これらの検討結果を踏まえ、改訂条文案の作成を行っているところである。

3. 耐震設計・補強に係わる研究開発と主な成果

耐震に関しては、設計用地震動の研究、耐震性能に優れた構造の研究、耐震性評価法の研究、既設構造物の耐震性評価・補強の研究を進めている。ここでは、地震動と耐震性評価法について紹介する。

3.1 既存鉄道施設の耐震性能評価に用いる地震動の設定¹⁾

鉄道システムの地震時安全性をバランス良く向上させるためには、各施設の耐震性を共通の指標で評価する必要がある。この研究では、土木、建築、電柱など周期帯域が異なる施設群を考えた場合に、どの程度の周期領域を考慮して地震動を設定するべきかを検討した（図1）。その結果、分割波を数種類入力した最大応答値と包絡波1波を入力した最大応答値の結果がほぼ整合しており、包絡型1波で耐震性評価用地震動として代表可能であることが分かった。

また、内陸活断層型地震と海溝型地震に関し、最近の地震記録を元に地震規模と震源距離を補正することにより、上記の特性を持った地震動（サンプル波）を作成し

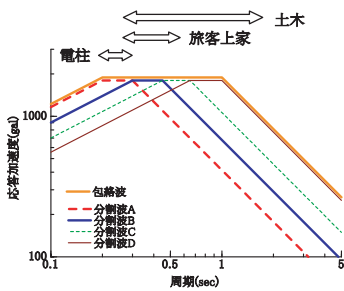


図1 各施設の周期領域と分割波・包絡波の設定

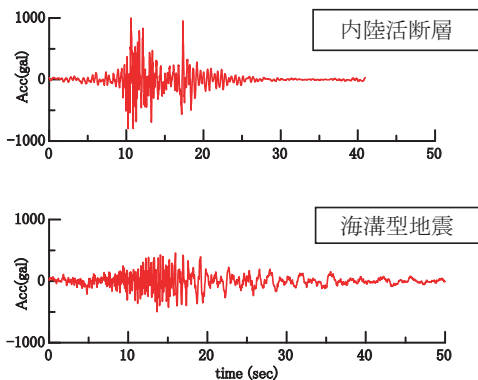


図2 耐震性評価用地震波の例

た（図2）。なお、実際の適用にあたっては、断層の有無や位置などを勘案して、適宜補正して用いることになる。

3.2 地震に対する簡易な土構造物の耐震性評価法の開発¹⁾

近年、大地震による被害が土構造物においても発生している。しかし、土構造物は延長が長いことから、耐震補強を実施するにあたり簡易に要注意箇所を適切に抽出する方法が求められている。関東大震災や兵庫県南部地震などの被災事例の検証、土構造物の主要諸元（構造形式、高さ、勾配など）に対する影響度、地盤の違いによる揺れやすさなど地震における土構造物の被災に関する主要なファクターを考慮したうえで、耐震性を簡易に評価し要注意箇所の抽出を行い、対策等の優先順位を選定する手法を構築した。

複雑な計算をせず、土構造物の構造形式などから耐震性の評価ができるフロー（図3）を作成した。特に地震動・地盤状況の評価については、既往のデータから要注

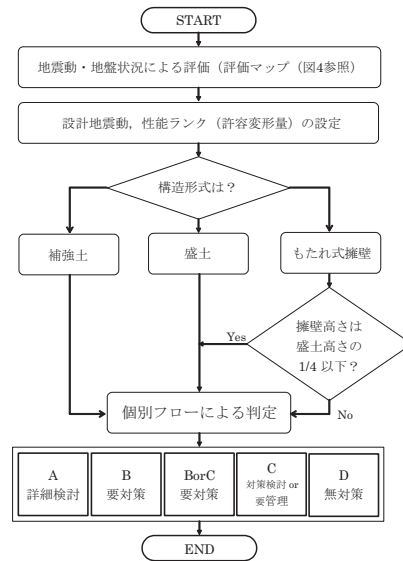


図3 盛土の耐震性の評価手法例（フロー）

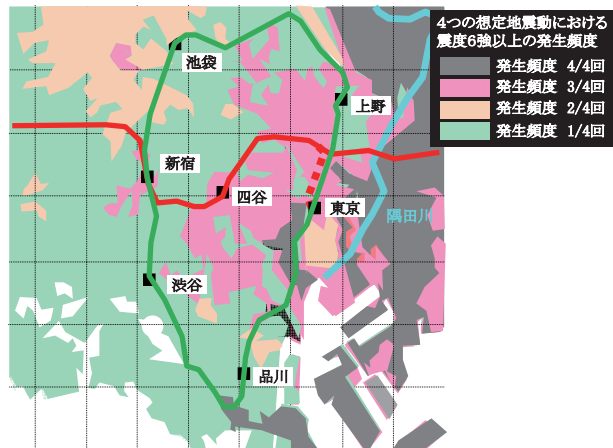


図4 要注意箇所抽出マップの例

意箇所を抽出するマップ（図4）を提案し簡易に検討を行うことを可能とした。

4. 維持管理に係わる研究開発と主な成果

経年が50年を超える鉄道構造物が増える中、維持管理の分野では、従来の点検・健全度診断技術の研究開発に加え、ITを活用したモニタリングシステムやリニューアール技術の研究開発も精力的に進めているので紹介する。

4.1 ITを活用したトンネルの変状監視システム¹⁾

導電塗料を塗布すれば、形成された電気回路の「導通・絶縁」から、ひび割れの発生を検出できる。これまでは、導電塗料の構成上ひび割れ発生位置を特定できなかったが、塗布パターンを検討と専用機械の開発により、絶縁状態ひび割れ発生位置の特定²⁾が可能となった（図5、6）。また、トンネル内の計測は列車間合いで実施されるため、短時間での計測が要求される。そこで、小型の無線センサを開発することにより、覆工表面の大掛かりな配線作業を解消し短時間施工が可能となった。その他、設置後配線の垂れ下がりの不安解消といった利点もある。これらの技術を組み合わせることにより、トンネルの適切な変状監視と経済性の向上が実現することとなる。

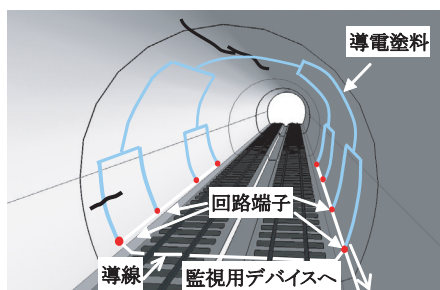


図5 導電塗料によるひび割れ検知

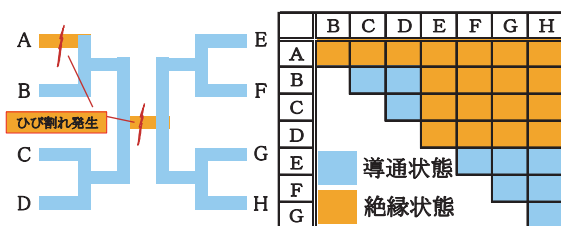


図6 ひび割れ発生位置の同定方法

4.2 既設鋼橋のリニューアール化技術の開発¹⁾

既設鋼鉄道橋の半数以上が60年を超えて供用されている。これらの橋梁の中には腐食や疲労、騒音などの問題を持つものも存在する。そこで、既設鋼橋の橋まくらぎの部分コンクリート床版に置き換え、合成構造化して橋梁を再生する手法（図7）を開発した。プレキャストコンクリート床版を用いた施工法を用いれば、夜間作業などの短時間施工に適用可能である。このときの鋼桁

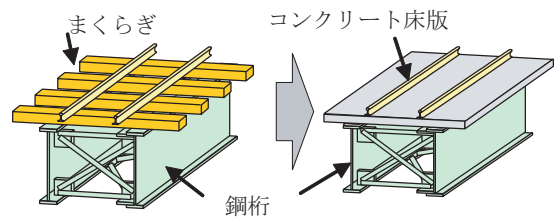


図7 既設鋼橋の合成構造化

と床版の接合法として、固定金具とモルタルを用いた方法を考案し、載荷試験により接合部が合成構造化に十分な強度を持つことを示した。本手法により、腐食や疲労を抑制することによる維持管理の軽減、耐荷力・耐久性の向上、列車通過時の騒音の低減などが期待できる。

5. 環境対策に係わる研究開発と主な成果

環境については、振動・騒音等の環境の保全に関する研究、駅空間の快適性に関する研究を進めている。ここでは騒音・振動の低減に関する研究開発を紹介する。

5.1 低騒音鋼・複合橋¹⁾

都市内に鋼橋を適用する場合、列車通過時の振動や騒音が問題となることがある。また、建設コスト削減への要望がこれまでになく高くなっている。そこで、新技術や高性能材料を用いた、低騒音・低コストを実現する新形式の鋼・複合橋について検討した。

はじめに、軌道からの加振力を遮断する方策として、フローティング構造を用いた新形式の鋼橋（図8）を開発した。フローティング床版およびフローティングラダー軌道により防振性能が飛躍的に向上し、振動速度レベルを約10dB低減できることを走行試験等により確認した。

さらに、高強度・高じん性の橋梁用高性能鋼（BHS）とゴムラテックスモルタル（RLM）の新形式の鋼橋への適用を検討した。鋼重を約5%削減するとともに、鋼桁表面にRLMを吹きつけることにより、鋼桁の騒音低減も可能であることを確認した。

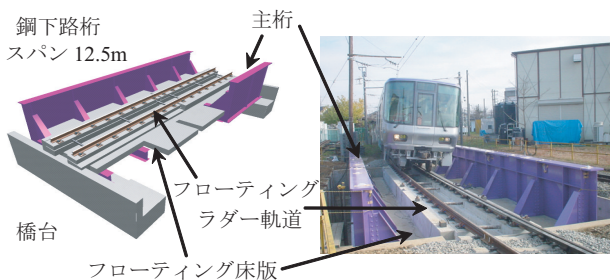


図8 フローティング構造を用いた新形式の鋼橋

特集：構造物技術

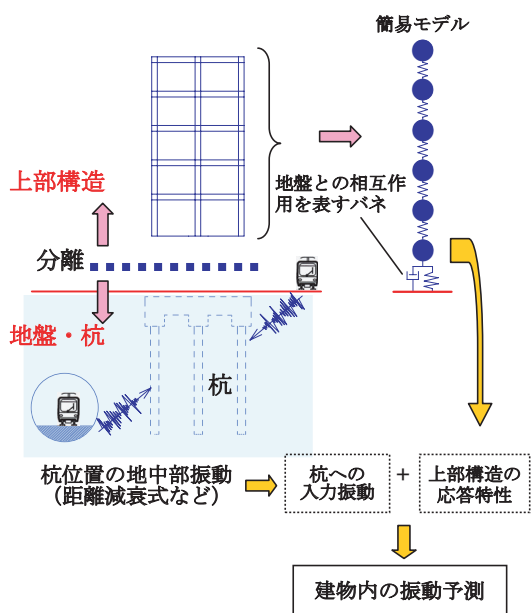


図9 振動予測手法の概要

5.2 鉄道振動の建物への簡易な伝搬予測手法の開発¹⁾

鉄道沿線の環境問題は、近年、重要性が増しつつある。建物が密集する都市部では、列車走行に伴い発生する地盤振動が建物内に伝搬したり、部材の振動により生じる室内騒音(固体音)が問題となることがある。そこで、杭基礎模型やシリコン模擬地盤模型を用いた振動実験などを行い、地盤から建物に振動が伝搬する際の入力損失現象や逸散減衰現象等のメカニズムを明らかにし、地盤・杭と上部構造を分離した単純なモデルによる簡易な振動予測手法を提案した(図9)。予測値と実測値との比較から、提案手法が実用上十分な精度であることを確認した。

6. 建設に係わる研究開発

建設費節減に関する研究開発にも力を入れている。高架橋については、横梁の経済的な設計法、高強度鉄筋を用いたコンクリート部材の疲労設計法、鉄筋コンクリート部材接合部の高性能化の研究等を行った。また、CFT(コンクリート充填鋼管)部材を柱のみでなく基礎構造物まで適用する構造の研究開発、シートパイル基礎のような中間支持された基礎構造物の支持力変形特性に関する研究等を進めるとともに、線路下横断に用いる小断面エレメント推進工法の設計土圧に関する研究を行った。

7. 今後の課題

技術基準に関しては、様々な種類の設計標準が増え体

系的にわかりにくくなっているため、共通する内容は共通編を作るなど、分りやすい体系にしていく必要がある。また、近年、限界状態設計法から性能照査型設計への移行を進めて来たが、設計計算で非線形領域まで扱う場合が出てきたことから、設計が複雑になった。このため、簡易な照査方法や照査システムについての要望も多く、今後、これらの取組みを進めたい。

維持管理関係の研究では、今後、古い構造物が増えますます需要が大きくなることや人口減少による労働力不足が顕在化することから、省力化やリアルタイムの状況把握が望まれている。すなわち、リアルタイムの安全性評価、検査・補修の自動化、ロボット化の研究を進める必要がある。また、老朽化した鉄道構造物の活線下での補修・補強やリニューアル技術についても力を注ぐ必要がある。

地震、斜面崩壊、河川増水による被害等の災害は異常気象等から今後増加する可能性が高い。このような防災に関する技術の研究開発も他の研究部と協力して取り組んでいく必要がある。特に、構造物技術研究部では研究内容から、鉄道構造物の被災後のスピーディな対処技術として、災害被害予測システムや早期復旧支援システムの開発に取り組む必要がある。

さらに、将来、現在にも増して都市部へ人口集中が起こる可能性が高いことから、都市間の高速度輸送の要望が高くなることも予想される。このため、振動・騒音等の環境対策技術、高速で経済的な建設技術の研究開発等に取り組む必要がある。

8. おわりに

構造物に係わる技術開発はこれまで多くの実績を上げてきたが、今後、取り組むべき課題も多い。これらの解決に向けて鉄道事業者や鉄道に関連した活動をされている皆様のお役に立つ技術の開発を進めていきたいと考えている。ご協力をお願いしたい。

なお、ここで紹介した研究の一部は国土交通省の補助金を受けて実施したものである。

文献

- 1) 鉄道総研:2007年度主要な研究開発成果,鉄道総研,2008.5
- 2) 橘直毅,仲山貴司,小島芳之,中西祐介:トンネル覆工の全般的なひび割れ監視システムの開発,第63回土木学会年次学術講演会,第VI部門,2008.9