

施設研究 ニュース

No. 337 2018. 9. 1

公益財団法人 鉄道総合技術研究所 施設研究ニュース編集委員会

打音試験による軌道スラブ底面の隙間の評価

1. はじめに

新幹線の主要な軌道としてスラブ軌道があります。スラブ軌道を構成する軌道部材の一つである軌道スラブは、その底面の所定の範囲をてん充層で支持されているものとして設計されています。しかし、一部の区間では軌道スラブとてん充層の境界部に隙間が生じ、設計と異なる支持条件となっています。このようなスラブ軌道の中にはひび割れが生じている軌道スラブもあり、スラブ軌道を維持管理していくためには、この隙間の範囲を適切に評価する必要があります。そこで、打音試験により軌道スラブ底面の隙間の範囲を評価する方法について検討しましたので、その結果について紹介します。

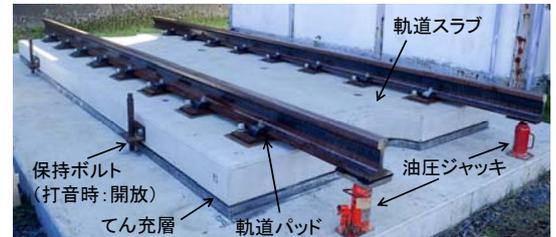


図1 実物大スラブ軌道供試体の外観

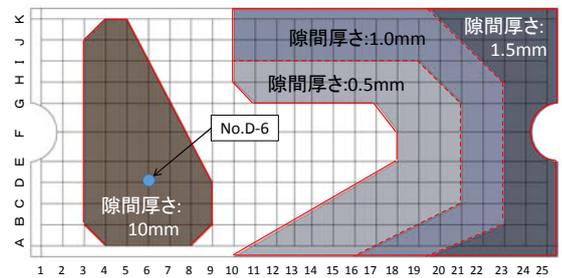


図2 隙間の範囲と打音試験の位置

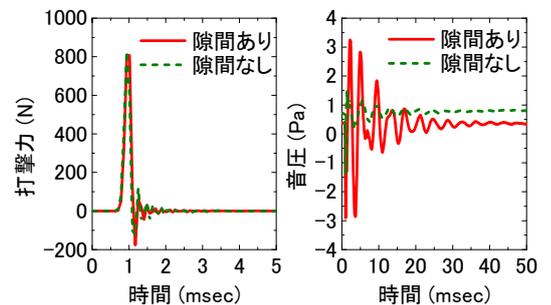
2. 打音試験による隙間の評価方法の検討¹⁾

図1に示す実物大スラブ軌道供試体を用いて打音試験による隙間の評価方法に関する検討を行いました。実物大スラブ軌道供試体の軌道スラブとてん充層の間には図2に示す隙間を設けました。打音試験は図2に示したA~Kの測線および1~25の測線の全ての交点に対して実施し、図3に示すように軌道スラブの表面をインパルスハンマーで打撃し、その際に軌道スラブのたわみ振動で生じる音圧をマイクロフォンで測定しました。なお、隙間がある状態で打音試験を行った後に隙間へCAミルクを注入することで補修し、再度同じように打音試験を行いました。



図3 打音試験の状況

測定結果の例として、図2に示したNo.D-6における打撃力と音圧の時刻歴波形を図4に示します。コンクリートの内部欠陥やトンネル覆工背面の空洞等の検査では音圧の最大値を打撃力の最大値で除した振幅比を用いて評価するのが一般的です。一方で、打撃で生じるたわみ振動の共振周波数は隙間の範囲や形状の影響を受ける²⁾ことが知られていますので、スラブ軌道の隙間については共振周波数の音圧の振幅を同じ周波数における打撃力の振幅で除した値を「共振周波数の振幅比(以下、「共振振幅比」とする)」と定義して評価することとしました。



(a) 打撃力 (b) 音圧
図4 打音試験による時刻歴波形の例

図4の時刻歴波形に対する共振振幅比を図5に示します。補修前後で比較すると、たわみ振動が大きい「隙間あり」の方が「隙間なし」よりも共振振幅比が大きくなることが確認できました。「隙間あり」の条件で得られた共振振幅比のマップ図を図6に示します。図6中の枠線で示した隙間の範囲内の共振

共振振幅比のマップ図を図6に示します。図6中の枠線で示した隙間の範囲内の共振

振幅比は 0.015～0.020Pa/N 程度よりも小さくなる傾向が確認されました。そこで、図 7 に示すように共振振幅比 0.015 Pa/N および 0.020Pa/N でマップ図を二値化しました。図 7 より、共振振幅比 0.010～0.020Pa/N が隙間を判定する上での境界になるものと考えられます。

3. 営業線のスラブ軌道における隙間の評価¹⁾

営業線のスラブ軌道で打音試験による隙間の評価を行いました。対象とする軌道スラブは目視にて列車通過時に動的な変位が生じていることを確認しています。打音試験は図 8 に示す I～III の 3 点で実施しました。打音試験の終了後に、同一箇所の軌道スラブ上面からコアを削孔し、注水による水位の低下によって隙間の有無も確認しました。なお、図 8 にはスラブ軌道の側面から厚さ 0.5mm の薄板を挿入することで確認した隙間の範囲を示しています。

I～III に対する打音試験で得られた共振振幅比と周波数の関係を図 9 に、注水試験と共振振幅比の結果を表 1 に示します。I および II の共振振幅比は、それぞれ 0.012 Pa/N および 0.017Pa/N であり、これら 2 箇所の水位は低下しませんでしたので、隙間は生じていなかったと考えられます。一方、III の共振振幅比は 0.037Pa/N であり、水位が低下したことから隙間が生じていたと考えられます。以上より、2 章の実物大スラブ軌道供試体に対する打音試験の結果を踏まえると、調査したスラブ軌道においても共振振幅比 0.020Pa/N を目安として隙間の判定ができると考えられます。スラブ軌道の側面から隙間の範囲を測定する方法では、III の位置には 0.5mm 以上の隙間がないと考えられましたが、打音試験を用いることでより正確に隙間の範囲を評価できるものと考えられます。

4. おわりに

軌道スラブとてん充層の境界部に生じている隙間の範囲を打音試験により評価するための検討を行い、その結果を用いて営業線のスラブ軌道において隙間を評価できる可能性があることを確認しました。今後は、営業線での打音試験データを蓄積するとともに、より効率的に打音試験を行う方法について検討を進める予定です。

参考文献

- 1) 高橋他：打音試験による鉄道用軌道スラブ底面の隙間の評価に関する基礎的研究，コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム，Vol.6，pp.217-222，2018
- 2) 浅野他：コンクリート内部欠陥の形状が打撃音周波数特性に与える影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp. 1839-1844，2004

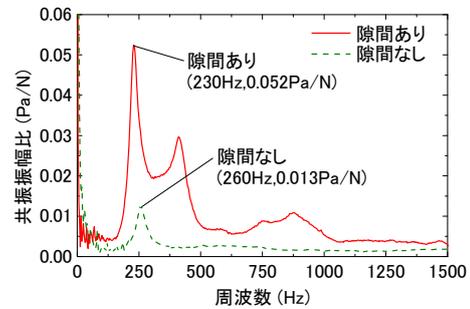


図 5 共振振幅比の例

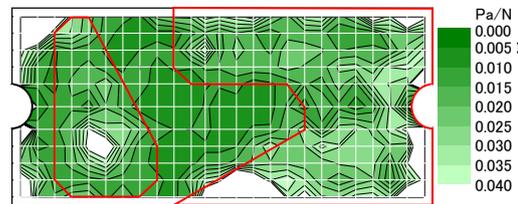


図 6 共振振幅比のマップ図

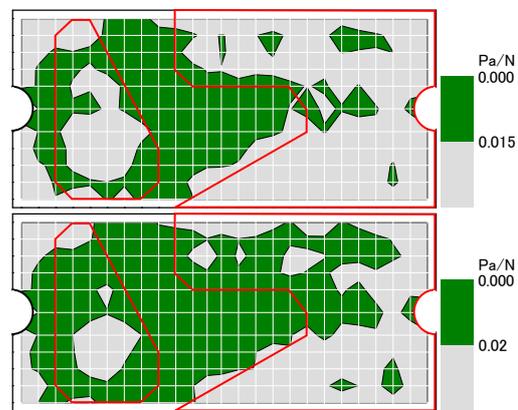


図 7 二値化した共振振幅比のマップ図

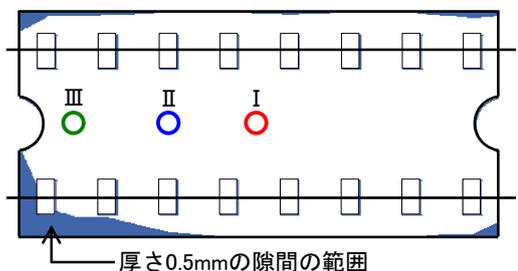


図 8 打音試験を実施する測線

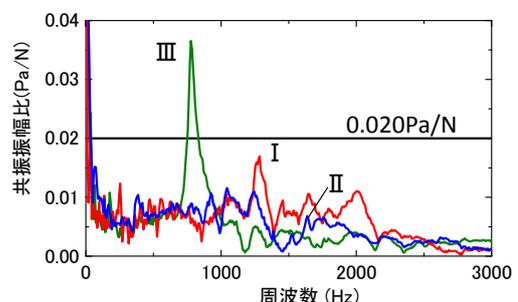


図 9 共振振幅比と周波数の関係

表 1 注水試験と共振振幅比の結果

	I	II	III
水位の低下	なし	なし	あり
共振振幅比	1.2×10^2	1.7×10^2	3.7×10^2

執筆者：軌道技術研究部 軌道・路盤研究室 高橋貴蔵
 担当者：軌道技術研究部 軌道・路盤研究室 小滝康陽，桃谷尚嗣

リベット桁下フランジの疲労き裂に対する補強工法

1. はじめに

鋼板や形鋼をリベットで組み合わせた鋼桁(以下、リベット桁)が、明治から昭和中期にかけて多数架設され、現在もその大半が供用されています。このリベット桁では、支承部の下フランジに図1のような疲労き裂が頻繁に発生しています。

このような疲労き裂に対して、下フランジの交換による補修が行われていますが、施工の際に桁の仮受けが必要となるため、毎回の補修に相当の費用を要しています。したがって、疲労き裂の数が多くなり補修の時期が集中すると、補修に必要な予算を確保することが困難になります。

そこで、疲労き裂が発生したリベット桁の安全性を確保しつつ、疲労き裂に対する補修の時期を平準化できるようにするため、補修が行われるまでの当面の期間における疲労き裂の進展を抑制する新たな補強工法を開発しました。本稿では、補強工法の開発において実施した検討の内容と工法概要を紹介します。

2. リベット桁下フランジにおける疲労き裂の発生・進展原因

疲労き裂に対する補強工法を検討するうえで、疲労き裂の発生・進展原因を把握しておくことが重要です。そこで、既設のリベット桁の支承部を模擬した載荷試験および FEM 解析を行うことにより、疲労き裂の発生・進展原因を分析しました。その結果、リベット桁の支承や端補剛材に図2(a)のような隙を生じている場合に、通過列車の荷重によって下フランジが支承の隙に落ち込むことにより、下フランジに高い応力が発生して疲労き裂の発生・進展につながり得ること、および下フランジの落ち込みは端補剛材が下フランジに接していると生じにくく、端補剛材の隙が下フランジの発生応力を左右する要因となることがわかりました(図2(b))。

以上より、疲労き裂の発生・進展原因は、支承の隙への下フランジの落ち込みによるものであり、この下フランジの落ち込みは端補剛材の隙をなくすことで抑制される可能性があることを見出しました。

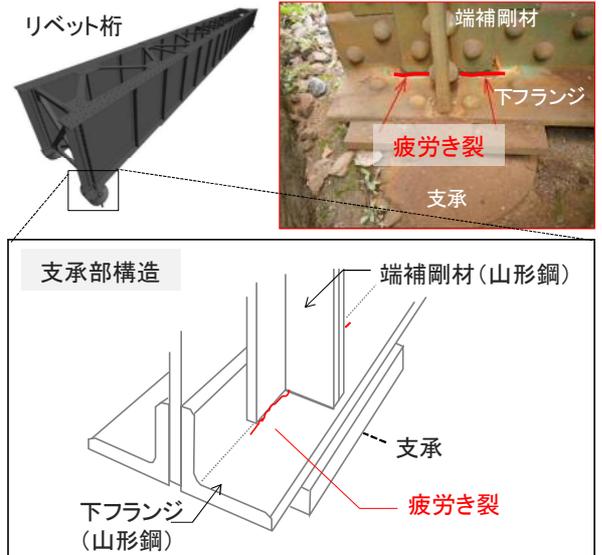


図1 リベット桁支承部の疲労き裂

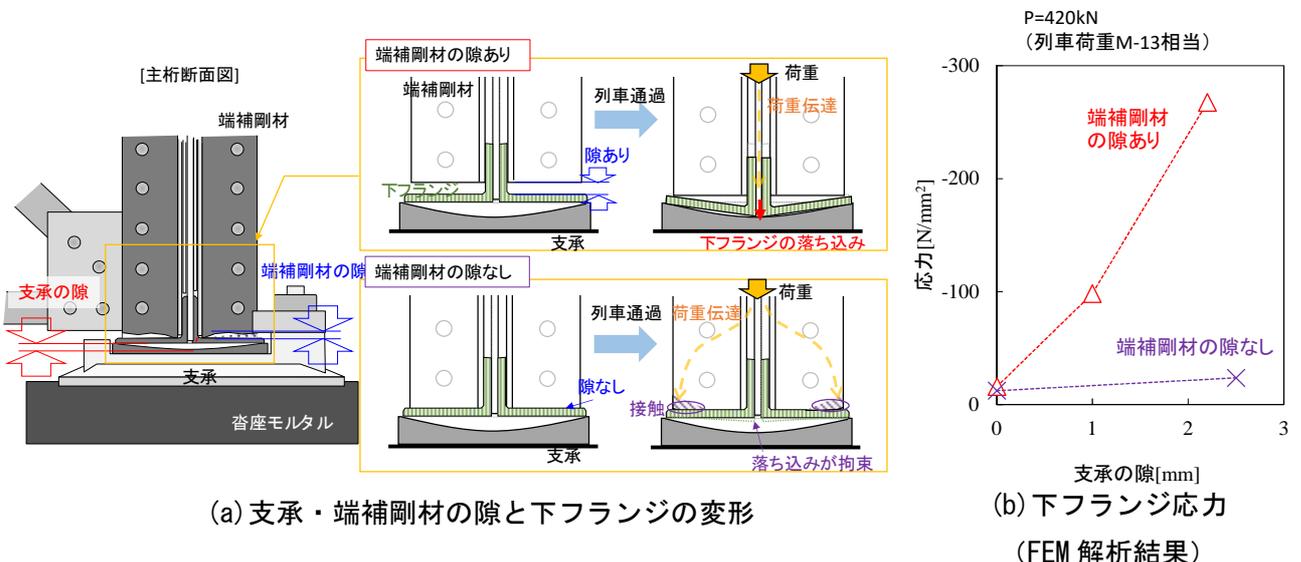


図2 リベット桁下フランジの変形と応力

3. 補強工法の概要

開発した補強工法の概要を図3に示します。本工法は、疲労き裂が発生したリベット桁の端補剛材に補強部材を設置することで、疲労き裂の進展を抑制するものです。この補強部材は、下フランジと密着させることで端補剛材の隙をなくし、下フランジの落ち込み拘束します。

本工法では、補強部材を下フランジと確実に密着させるため、両者の間に接着剤の層を設けています。リベット桁では多くの場合に下フランジ上面が腐食しており凹凸があるため、補強部材と下フランジ間の不陸を接着剤によって調整できるようにしました。一方で、接着剤は鋼材と比べて強度が低いため、通過列車の荷重で接着剤が破壊しないよう、接着剤への過大な応力集中を防止する必要がありました。本工法では、補強部材をL形として接着剤に加わる力を分散させるとともに、補強部材の厚さや長さをパラメータとしたFEM解析により、接着剤の応力集中を軽減し得る補強部材寸法を選定しました。

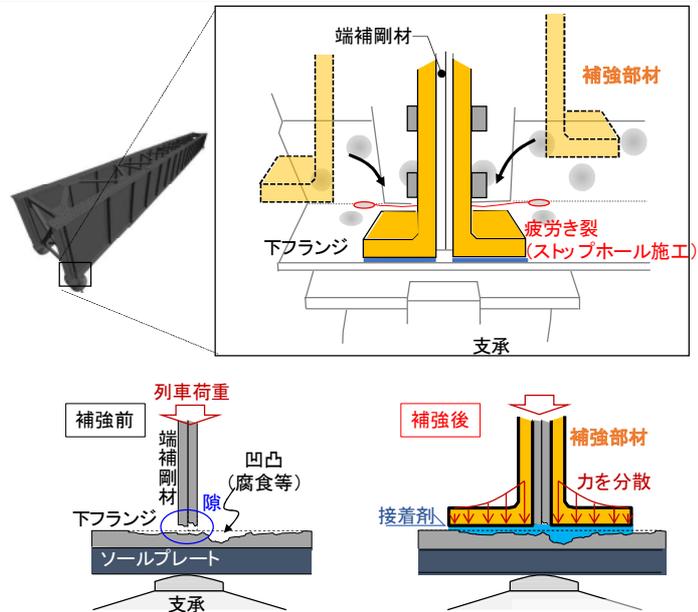


図3 補強工法概要



図4 補強部材設置状況

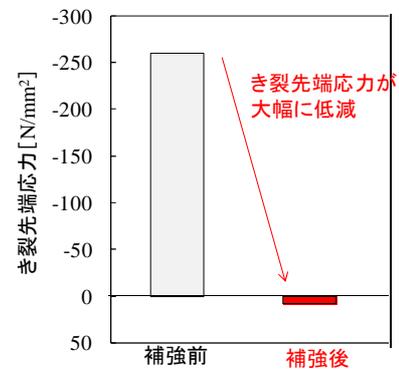


図5 補強前後のき裂先端応力

4. 補強工法の疲労き裂進展抑制効果

補強工法の効果を検証するため、リベット桁を模擬した試験体に疲労き裂を導入し、ストップホール(φ12mm)を施工したうえで補強部材を設置して列車荷重相当(P=420kN)の载荷を行いました(図4)。その結果、補強後では疲労き裂先端の応力が大幅に低減されることがわかりました(図5)。さらに、補強後の試験体に対して370万回(10両編成、列車本数200本/日の場合の5年分相当)の载荷を行い、列車荷重の繰り返しによって疲労き裂が進展しないことを確認しました。なお、本検討では試験期間の制約から上記回数で载荷を終了していますが、载荷終了後の接着剤に目立った損傷はなく補強の効果もほとんど変化していないため、载荷回数をさらに増やしても疲労き裂が進展する可能性は低いと考えられます。これらの結果より、開発した補強工法は、少なくとも数年間は疲労き裂の進展を抑制することが可能であるといえます。また、列車本数の少ない線区ではさらに長期的な効果も期待されるため、場合によっては本工法が恒久対策にもなり得ます。

5. おわりに

本稿で紹介した補強工法は、桁の仮受けが不要であり、従来の補修より少ない費用で施工できます。したがって、疲労き裂の補修に必要な予算をすぐに確保できなくても、本工法の適用により当面の期間の疲労き裂進展を抑制できるため、疲労き裂の数が多くなった場合でも補修の時期を平準化することが可能になります。

参考文献：1) 鎌田渚，木村元哉，山口善彰，矢野恵美子：鋼鉄道橋支承部下フランジのき裂発生機構，土木学会第63回年次学術講演会講演概要集，1-068，pp.135-136，2008.9.

執筆者：構造物技術研究部 鋼・複合構造研究室 吉田善紀

橋脚天端両端部で計測した微動に着目した 固有振動数同定手法

1. はじめに

河川橋脚は増水時に橋脚基礎周辺の地盤の流出により基礎の根入れが減少し、沈下や傾斜、転倒に至ることがあります（図1）。特に、直接基礎あるいは木杭基礎で根入れの浅い旧式橋脚で被災する事例が多く¹⁾、過去には重大事故や長期の輸送障害を引き起こした事例もあります。したがって、運転中止規制値を超える河川増水後に列車運行を再開するためには橋脚の健全性を把握する必要がありますが、河川の流水中にある基礎周りの地盤状態を目視により確認することは困難です。

現状では、衝撃振動試験で得られる橋脚の固有振動数の変化から橋脚基礎の健全性を把握することが一般的ですが（図2）、作業性・安全性の観点から増水時や増水直後の実施は容易ではありません。

また、センサを設置すれば橋脚の固有振動数を常時計測することが可能な微動計測もありますが（図3）、地盤振動や桁振動の影響を受けやすいため、微動計測で得られたスペクトル波形から橋脚の固有振動数を判定することが難しい場合があります、その適用範囲が限定されることが課題となっています。

そこで、橋脚天端両端部で計測した微動データに着目して地盤振動を推定することで、橋脚振動が地盤振動に埋もれてしまうようなスペクトル波形から橋脚の固有振動数を見つけ易くする手法を開発しました。本稿では、この微動を用いた橋脚の新しい固有振動数同定手法²⁾（以下、提案手法）の概要を実橋脚への適用例を通して報告いたします。

2. 提案手法の概要と実橋脚への適用例

図4の左上段に示す直接基礎橋脚において、橋脚天端両端部（センサA、B）と地盤上（センサC）で微動計測を実施しました。なお、提案手法では地盤振動を計測する必要はありませんが、提案手法により推定した地盤振動の検証のために地盤上での計測を実施しています。

提案手法により固有振動数を同定する手順は以下のとおりです（図4）。①橋脚天端両端部で橋軸直角方向と鉛直方向の微動を計測します。なお、図4の中央上段に示す橋脚上で計測した微動のスペクトル波形には衝撃振動試験から得られた固有振動数を併せて示していますが、微動のスペクトル波形から固有振動数を同定することは困難であることがわかります。そこで、まず、既往の研究成果より、②橋脚上で計測された微動は地盤振動とそれに応答する橋脚のロッキング振動の和であると仮定します。その仮定を踏まえると、③橋脚天端両端部の2つのセンサで計測した微動の鉛直成分の差は、橋脚のロッキング振動の鉛直成分であると考えられます。④橋軸直角方向と鉛直方向の微動からロッキング振動の角度が得られるため、ロッキング振動の鉛直成分から水平成分が求められます。⑤橋脚上で計測し



図1 橋脚の傾斜・転倒事例



図2 衝撃振動試験の様子

図3 常時微動計測の様子

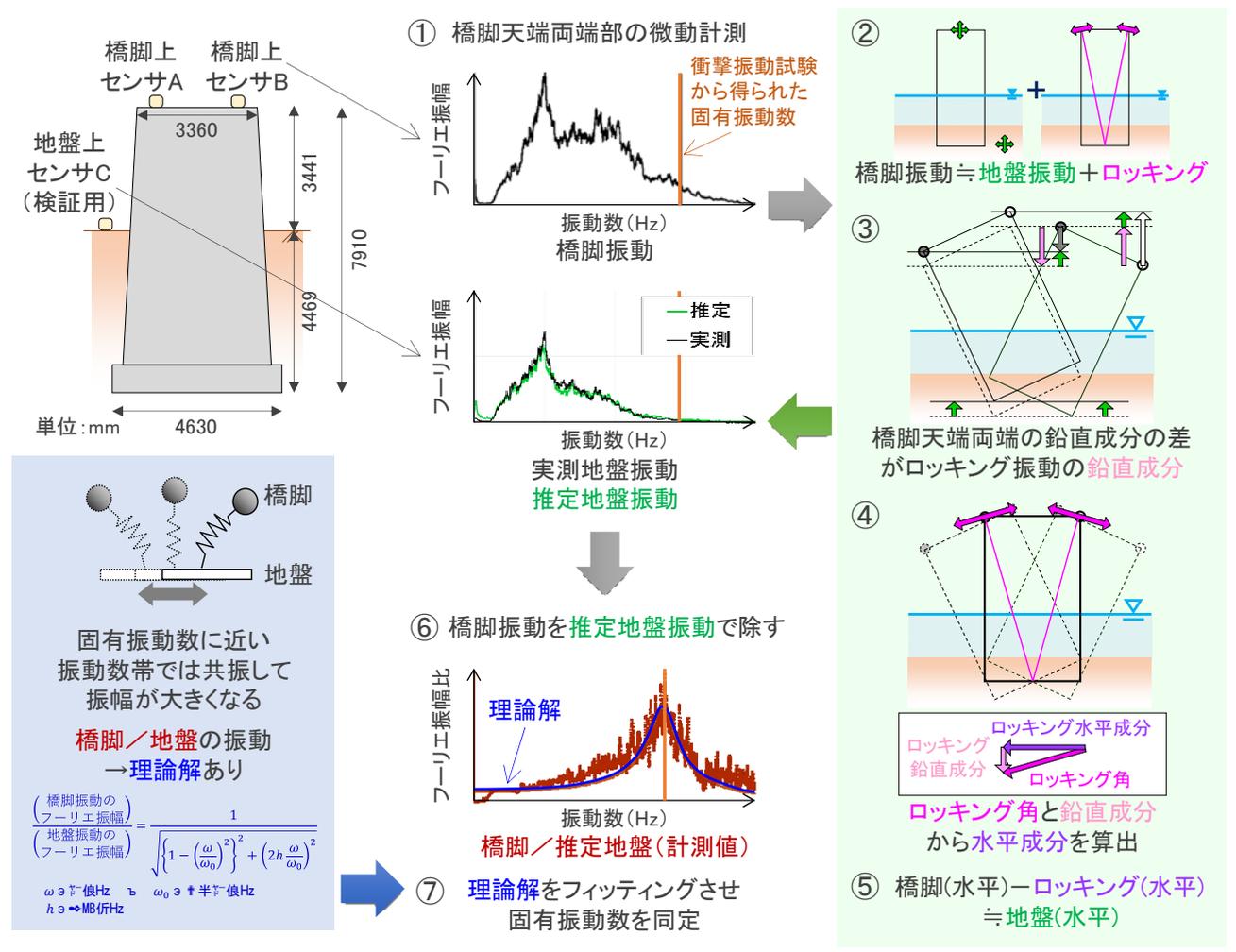


図4 提案手法の適用手順

た微動の水平成分からロッキング振動の水平成分を引くと、地盤振動の水平成分が得られます。実測した地盤振動（センサC）と推定した地盤振動を比較すると（図4の中央中段）、両スペクトル波形は良く一致しています。⑥橋脚上で計測した微動の水平成分を推定した地盤振動の水平成分で除すことで、フーリエ振幅比（計測値）を算出します。図4中の左下段に示すような粘性減衰を有する1質点系ばねモデルでは、地盤振動に対する橋脚振動は固有振動数と減衰定数の2つをパラメータとする理論解で表すことができるため、⑦計測値に理論解をフィッティングすることで橋脚の固有振動数を同定します。同定した固有振動数は衝撃振動試験で得られたそれと良く一致しています（図4の中央下段）。

3. おわりに

提案手法の実用化のイメージとして、衝撃振動試験で現状の固有振動数が既知の橋脚においては、提案手法で衝撃振動試験と同じ固有振動数が同定できることを確認したうえで、微動計測による常時健全度評価が可能になるものと考えています。また、提案手法が実用化されれば、河川増水後の早期運転再開に資するデータが提供できるだけでなく、衝撃振動試験による検査を微動計測に置き換えることによる検査の効率化も期待できます。ただし、現時点では実橋脚への適用事例数が限られているため、今後さらに実橋脚への適用事例を蓄積することで提案手法の妥当性を確認する予定です。

参考文献

1) 村上温：鉄道橋の洪水時被災機構と安全管理に関する研究，鉄道技術研究報告，No.1307，pp.41-49，1986. 2) 樺健典，渡邊諭，宮下優也：橋脚天端の両端部で計測した微動に着目した固有振動数同定手法，鉄道工学シンポジウム論文集，2016

執筆者：防災技術研究部 地盤防災研究室 内藤直人

担当者：防災技術研究部 地盤防災研究室 渡邊諭，布川修

軌道保守管理データベースシステム「LABOCS」のポータルサイト開設と今後のメンテナンス体制のお知らせ

1. はじめに

軌道保守管理データベースシステム「LABOCS」は、鉄道総研が開発し、(株)ジェイアール総研情報システム(以下、JRSI)が販売している軌道検測データ等処理するソフトウェアで、JR旅客会社や一部の民鉄、また軌道保守会社や鉄道関連メーカー等に導入されています。LABOCSは、軌道の維持管理に特化した機能を加えながら今でも成長し続けており¹⁾、現代の軌道管理に欠かせないツールになっています。本稿では、LABOCSのユーザーに対するサポート体制の強化、および今後のメンテナンス体制について紹介します(図1)。

2. LABOCSポータルサイトの開設

LABOCSの情報発信およびユーザーサポートを充実させるために、新たに「LABOCSポータルサイト」を開設します(図2)。本サイトは、JRSIのHP内にリンクがあり、「公開サイト」と「ユーザー専用サイト」から構成されています。

「公開サイト」は、どなたでも自由に閲覧できるようにしており、LABOCSの概要や歴史、価格表等を掲載しております。

「ユーザー専用サイト」は、LABOCSユーザーのみに通知するIDとパスワードを入力することで閲覧できるようになっており、機能(コマンド)追加やバグ修正の更新情報等に加えて、最新版マニュアル等を掲載予定です。ユーザーIDとパスワードの発給準備が整い次第、ユーザーの皆さまにJRSIから連絡させていただきます。なお、本サイトは開設したばかりであり、今後皆さまのご意見・ご協力をいただきながら、コンテンツを充実させていきたいと考えております。

3. 今後のメンテナンス体制

(1) Ver.3シリーズのメンテナンス終了とVer.4シリーズのリリース

図1の通り、2017年7月に最新版(Ver.4.1)をリリースしております。Ver.4シリーズは、Windowsの64bitOS(Windows7/8/10)に正式対応するとともに、これまでに鉄道総研が研究用に開発してきた各種機能を一般のユーザーにも積極的に開放するようにしております。また、Ver.4シリーズの開発・販売に伴い、Ver.3シリーズでの新規機能開発を2018年度末(予定)で終了させていただきます。数年中には、メンテナンスも終了させていただく予定ですので、現在、Ver.3シリーズをご活用の方は、Ver.4シリーズへの計画的な移行をご検討下さい。

(2) Ver.4.1で一般開放した代表的な機能の例

Ver.4.1で一般開放した代表的な機能としては、「相互相関法による高精度位置補正機能²⁾」があります。本機能は、従来のデータデポによる位置合わせで発生することのあった軌道検測データ間の数m程度の位置ずれを、波形間のパターンマッチングを行うことにより、0.25m以内に補正するものです。本機能



図1 LABOCSの系譜と今後の予定



図2 LABOCSポータルサイトのトップ画面
(URL:<http://www.jrsi.co.jp/labocs/index.html>)

によって、異なる日や時間の検測データの位置を高精度に合わせる事が可能となり、営業車による高頻度検測データの自動処理等、様々な場面で活用されています。

(3) Ver.4 シリーズの今後の開発予定

Ver.4 シリーズでは、今後も、2～3 年程度の間隔でバージョンアップを計画しています。図 1 の通り、次回は 2020 年夏頃に Ver.4.2 をリリースする予定です。今後のバージョンアップでは、LABOCS ユーザーからの要望での機能追加も予定しておりますので、必要な追加機能があれば、是非ご相談下さい。鉄道業界の発展に寄与する機能と判断された場合には、鉄道総研が機能を開発・提供させていただきます。

(4) LABOCS 関連システムの開発・受注体制の強化

LABOCS は、デジタルデータ処理を行うための、正確には、軌道管理に特化した機能を多数実装したソフトウェアですので、データ処理を行うためのプログラム（バッチファイル）を正確に記述しなければ、鉄道の安全・安定輸送を損なう恐れがあります。したがって、軌道管理と LABOCS の両方に精通した技術者がプログラムを記述し、LABOCS をベースとしたシステムを構築する必要があると考えています。この観点において、鉄道総研と JRSI は相互に協力し、鉄道事業者等からの LABOCS 関連システムの開発・受注体制を構築しております。システム開発をご検討中の方は、是非ご相談下さい。

4. その他の話題～InnoTrans2018 への出展～

LABOCS は、2018 年 9 月 18 日～21 日に、ドイツのベルリンで開催される InnoTrans2018（世界最大の鉄道技術見本市）の鉄道総研ブースにおいて、出展を予定しております（図 3）。InnoTrans2018 に、ご参加予定の方は、是非、お立寄り下さい。

5. おわりに

LABOCS は軌道管理に欠かせないツールとして多くの鉄道事業者等でご活用いただいております。鉄道総研では、LABOCS を鉄道業界の共有財産として、今後も引き続き、開発・維持し、発展させていきたいと考えておりますので、皆さまのご理解とご協力をよろしくお願い申し上げます。

参考文献

- 1) 田中博文：軌道保守管理データベースシステム LABOCS（ラボボックス）の機能紹介と新バージョンのリリース，新線路，Vol.69，No.7，pp.24-26，2015.7.
- 2) 田中博文，山本修平，大島崇史，三和雅史：高頻度検測データに対応した軌道変位の局所的な急進箇所抽出・予測法，鉄道総研報告，Vol.31，No.12，pp.41-46，2017.12.

※LABOCS／ラボボックスは、鉄道総研の登録商標です。

執筆，担当者：軌道技術研究部 軌道管理研究室 田中博文

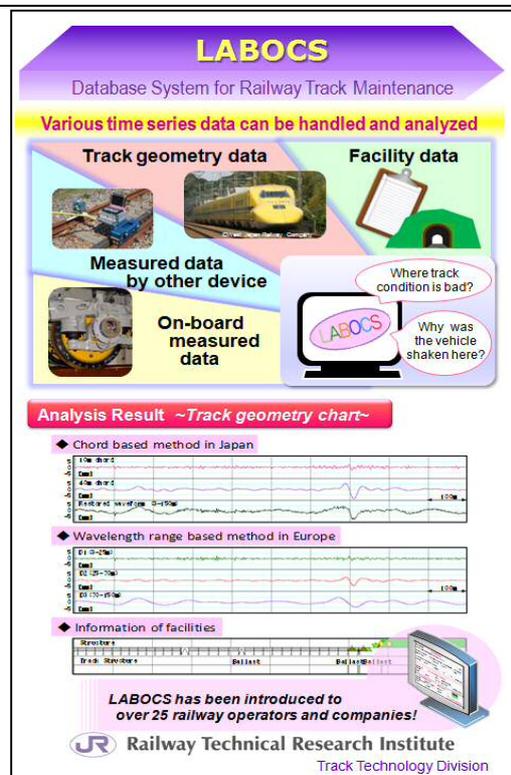


図 3 InnoTrans2018 の展示パネル

編集委員会からのお知らせ：2014 年度より施設研究ニュースの pdf データを鉄道総研HPに掲載いたします。詳しくは、鉄道総研HPのトップページから【研究開発】⇒【研究ニュース】⇒【施設研究ニュース】(http://www.rtri.or.jp/rd/rd_news.html)にアクセスしてください。

発行者：渡辺 勉 【(公財) 鉄道総合技術研究所 施設研究ニュース編集委員会 委員長】
 編集者：木下 果穂 【(公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 トンネル】