

## プレキャスト構造の特徴を考慮した 鉄道 RC ラーメン高架橋の設計法の開発

### 1. はじめに

建設現場での省力化や工期短縮等の生産性向上の観点から、プレキャストコンクリート（以下、PCa）構造の適用拡大への需要は高まっています。鉄道高架橋に PCa 構造を効率的に適用するためには、PCa 構造の特徴を設計に反映し、施工性や経済性を確保することが重要です。ここでは、鉄道構造物で最も多い RC ラーメン高架橋を対象に、①PCa 構造の接合時期に応じた収縮ひずみの設計値や、②接合面に関するせん断補強方法、③施工性を考慮した上層梁の接合構造について提案するとともに、これらを適用した時の施工日数やコストについて試算しました。

### 2. PCa 構造の接合時期に応じた収縮ひずみの設計値の提案

骨組解析で適用可能な PCa 構造の接合時期を考慮した不静定力の算定に用いるコンクリートの収縮ひずみ  $\epsilon'_{cs}$  を提案するために、非線形有限要素解析 (FEM) により検討しました<sup>1)</sup>。設計耐用期間である 100 年後も予測可能な FEM を活用し、形状寸法や水掛かり等の影響を考慮した収縮ひずみの予測式を適用しました。 $\epsilon'_{cs}$  は、柱基部の曲げモーメントの最大値と、別途実施した梁に一樣な収縮ひずみを与えたときの曲げモーメントが一致する収縮ひずみとして算定しました (図 1)。梁の製作から柱との接合までの期間  $t'$  (≒梁の存置期間) が大きくなると、 $\epsilon'_{cs}$  は小さくなるのがわかります。100 日程度以上とした場合、現行の場所打ちコンクリートの場合の収縮ひずみ  $150 \times 10^{-6}$  に対して  $\epsilon'_{cs}$  は  $125 \times 10^{-6}$  に低減できることを提案しました。

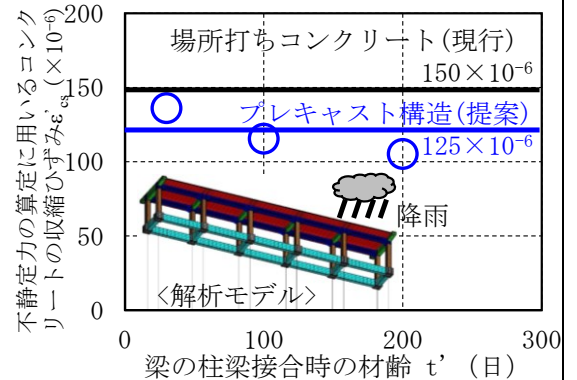


図 1 材齢  $t'$  と  $\epsilon'_{cs}$  の関係

### 3. 接合面に関するせん断補強方法

接合面を有する RC 梁の接合面がせん断耐力に及ぼす影響や、接合面の近傍のスターラップの太径化やシアキー (図 2) による補強効果を明らかにするため、実験を実施しました<sup>2),3)</sup>。接合面を設けることで軸方向鉄筋に沿ったひび割れや接合面におけるずれが発生し、梁の剛性やせん断耐力が低下することを確認しました (図 3)。一方で、接合面近傍のスターラップの太径化により軸方向鉄筋に沿ったひび割れの進展を抑制し、あるいはシアキーの設置に

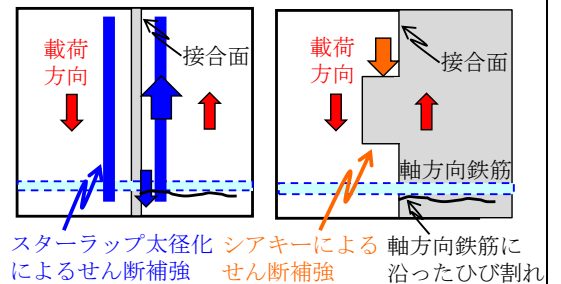


図 2 接合部の補強

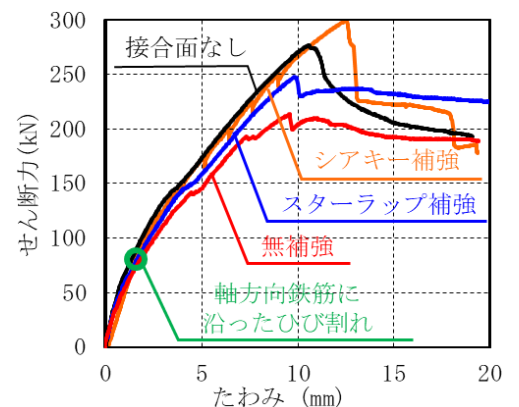


図 3 せん断力とたわみの関係

より接合面におけるずれを抑制することで、無補強と比較して剛性やせん断耐力は向上することがわかりました。また、FEMにより、スターラップの配置位置や径に依存した補強効果を明らかにするとともに<sup>4)</sup>、ラーメン高架橋上層梁の接合面に対して、接合面のない梁と同等以上のせん断耐力となるスターラップに関する仕様を定めました。

#### 4. 上層縦梁の接合構造の開発

ラーメン高架橋の上層縦梁への適用を想定した接合構造(図4)を開発し、部材性能を検証しました<sup>5)</sup>。接合部は場所打ちコンクリートですが、機械式継手を用いず、グラウトの注入等を不要としました。また、接合部の耐力等をPCa梁より大きくすることで、PCa梁の基部(接合部前面)で塑性化させ、梁の変形性能が接合部の諸元に依存しにくい構造としました。なお、PCa梁は接合部の断面高さより小さくなるため、運搬、揚重、コスト等の観点からも優位となります。

実験結果から、PCa梁の基部で塑性ヒンジが形成されることがわかりました。また、荷重-変位関係(図5)は、接合部の変形や接合面における伸出しを考慮することで、コンクリート標準に示される変形性能算定式で評価できます。また、FEMにより圧縮ストラットが確認されたことから、接合部ではフック間で力が伝達されるといった力学的な点も含めて、提案した接合構造の成立性を示しました(図6)。

#### 5. 開発した設計法と接合構造の効果の試算

開発した設計法および接合構造を用いた試設計を行い、施工日数やコストに及ぼす影響を試算しました。一般的なRCラーメン高架橋に対し、運搬・揚重の制約の範囲内で、スパンを10mから12.5mに延長し、PCa梁の断面高さは1.6mから1.3mに縮小できることや、従来のフルPCaに対し、施工日数は5%程度、コストは10%程度減少できる可能性があることがわかりました。

#### 6. おわりに

本稿では、プレキャスト構造の特徴を考慮した鉄道高架橋の設計法を提案しました。提案した設計法や接合構造の仕様は、今後、手引き等に反映します。

本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

#### 参考文献

- 1) 堂内悠吾, 中田裕喜, 渡辺健, 中村麻美, 石田哲也: 部材の接合時期を考慮したRCラーメン高架橋の不静定力の評価, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第21巻, pp.456-461, 2021.10
- 2) 西尾悠吾, 中田裕喜, 渡辺健, 田所敏弥: 接合面およびせん断補強鉄筋量が単純支持RCはりのせん断耐荷機構に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.2, pp.289-294, 2021
- 3) 山上晶子, 中田裕喜, 渡辺健, 田所敏弥: 接合面を有する単純支持および両端固定支持RCはりのシアキーによるせん断補強効果, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.45, No.2, pp.943-948, 2023
- 4) 大野又稔, 中田裕喜, 渡辺健, 田所敏弥: プレキャストコンクリート構造のせん断伝達メカニズムとスターラップによる補強効果の解析的検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.44, No.2, pp.44-49, 2022
- 5) 本田健二郎, 大野又稔, 中田裕喜, 渡辺健, 田所敏弥, 西村知晃, 安保知紀: ラーメン高架橋における半円形フック同士の応力伝達を用いた接合構造の成立性に関する実験的検討, 令和4年度土木学会第77回年次学術講演会, V-296, 2022

執筆者: 構造物技術研究部 コンクリート構造研究室 山上晶子

担当者: 構造物技術研究部 コンクリート構造研究室 中田裕喜, 渡辺健

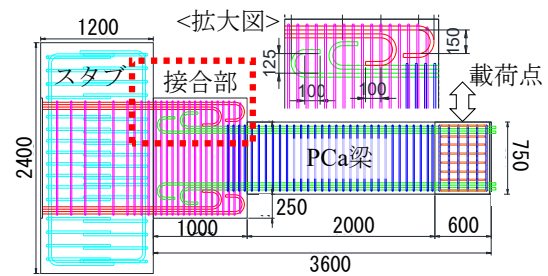


図4 開発した縦梁の接合構造

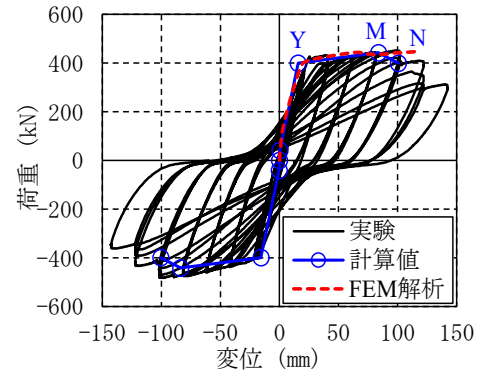


図5 荷重-変位関係

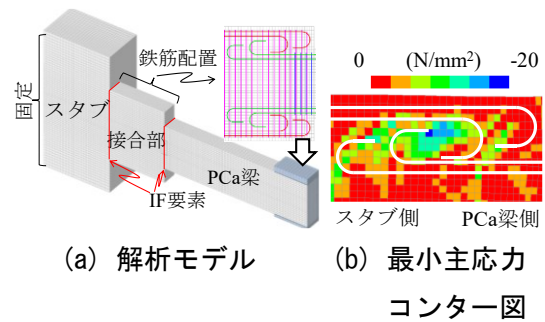


図6 解析モデルと解析結果

# 鋼構造物の防食用塗料の JIS 改正

## 1. はじめに

日本国内では、日本工業規格（JIS）において、様々な塗料が規定されています。この度、鋼構造物の防食用途として用いられ、有機溶剤を媒体とし、粉末状の亜鉛である亜鉛末を配合した塗料（以下、ジンクリッチ系塗料と呼びます）を規定している JIS K 5552 「ジンクリッチプライマー」と JIS K 5553 「厚膜形ジンクリッチペイント」が改正されることになりました。本稿では改正の概要と、改正に伴う鉄道構造物への影響について解説します。

## 2. 改正の概要

ジンクリッチ系塗料とは、鋼材に塗布した際に塗料中の亜鉛末が鋼材に接触することで、鋼材より先に亜鉛が腐食して鋼材を防食するという犠牲防食作用を期待できる塗料を指します。樹脂にアルキルシリケートと呼ばれる材料を用いたものを無機系、エポキシ樹脂を用いたものを有機系またはエポキシ樹脂系と呼び、薄膜タイプのをジンクリッチプライマー、厚膜タイプのをジンクリッチペイントと呼びます。

今回、改正対象となるのは、JIS K 5552 に規定される無機ジンクリッチプライマーと、JIS K 5553 に規定される無機ジンクリッチペイントです。これらの塗料は、固体である亜鉛末と、アルキルシリケート、硬化剤、各種顔料、溶剤（有機溶剤）から構成される液状の混合物で構成されており、主に新設鋼構造物の工場塗装時に用いられています。今回の改正により、亜鉛末に加えて、ペースト状の亜鉛末（以下、亜鉛末ペーストと呼びます）が追加されることになりました（表 1）。

表 1 JIS K 5552 と JIS K 5553 で規定される塗料種の概要

JIS 番号	塗料名称	改正前	改正後
K 5552	1 種：無機ジンクリッチプライマー	アルキルシリケートをビヒクルとした、1 液 1 粉末形のもの。	アルキルシリケートをビヒクルとした、1 液 1 粉末形又は 1 液ペースト形のもの。
	2 種：有機ジンクリッチプライマー	今回の改正での変更点はないため、割愛	
K 5553	1 種：厚膜形無機ジンクリッチペイント	アルキルシリケートをビヒクルとした、1 液 1 粉末形のもの。	アルキルシリケートをビヒクルとした、1 液 1 粉末形又は 1 液ペースト形のもの。
	2 種：厚膜形有機ジンクリッチペイント	今回の改正での変更点はないため、割愛	

この背景としては、亜鉛末の製造にあたっては粉塵爆発の懸念があることなどによって国内での亜鉛末の供給体制が減少していることや、近年の材料技術の向上によって亜鉛末ペーストの安定的な製造が可能になったことが挙げられます。また、亜鉛末ペーストを用いたジンクリッチ系塗料は、JIS に規定されていないものの既に実用化されており、多くの実績をあげているほか、JIS の規定品との比較において遜色のない品質を確保していることが確認されています。以上により、亜鉛末ペーストを用いたジンクリッチ系塗料を JIS に適用するため、当該の JIS が改正されるに至りました。

## 3. 鉄道鋼構造物への影響

鉄道総研では、鋼構造物の塗装に関する技術マニュアルとして「鋼構造物塗装設計施工指針」（以下、塗装指針と呼びます）を作成しており、複数の鉄道事業者にも活用いただいています。

塗装指針では、新設鋼構造物や既設鋼構造物に対する塗装工事の設計、施工、検査に関する情報が記載されているほか、対象とする鋼構造物の耐用年数や適用する部材に応じて複数の塗装仕様を規定して

おり、その際に使用する塗料を SPS (Soken Paint Standard) と呼ばれる塗料規格で規定しています。その中には JIS でも規定されている塗料があり、この場合には SPS または JIS のいずれかの規定項目を満足した塗料であれば使用できるように記載されています(表 2)。しかしながら、実際の現場においてはどちらか一方の規格のみを参照するケースも想定されます。この場合に使用する塗料の品質確認を SPS の規定項目のみで確認してしまうと、今回の JIS の改正により、JIS の規定項目を満足しているにも関わらず SPS の規定項目を満足していないために当該の塗料を使用できない、といったことが生じてしまいます。このような事態を防ぐため、今回改正された無機ジंकリッチプライマーと無機ジंकリッチペイントについては、各々の塗料の SPS (SPS 66053-8 および SPS 66053-9) の品質項目および材料の記載内容を表 3 に示すように読み替えることで、SPS の規定項目を満足することができます。

表 2 塗装指針で規定している塗料種

塗料名	規格番号	対応する JIS 規格
鉛・クロムフリー長ばく型エッチングプライマー	SPS 66062-3	—
鉛・クロムフリーさび止めペイント	SPS 66053-13	JIS K 5674 1種
長油性フタル酸樹脂塗料	SPS 66033-4	JIS K 5516 2種
無機ジंकリッチプライマー	SPS 66053-8	JIS K 5552 1種
厚膜型無機ジंकリッチペイント	SPS 66053-9	JIS K 5553 1種
厚膜型エポキシ樹脂ジंकリッチペイント	SPS 66053-11	JIS K 5553 2種
厚膜型エポキシ樹脂系塗料下塗	SPS 66099-14	JIS K 5551 B種
厚膜型エポキシ樹脂系塗料下塗・低温用	SPS 66099-14	—
ポリウレタン樹脂塗料用中塗	SPS 66099-10	JIS K 5659 中塗り
ポリウレタン樹脂塗料用中塗・低温用	SPS 66099-10	—
ポリウレタン樹脂塗料上塗	SPS 66099-11	JIS K 5659 上塗り
厚膜型ポリウレタン樹脂塗料上塗	SPS 66099-21	JIS K 5659 上塗り
厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	SPS 66099-12	JIS K 5551 C種 1号
厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料・低温用	SPS 66099-12	JIS K 5551 C種 2号
厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料上塗, 同低温用	SPS 66099-12	—
無溶剤型変性エポキシ樹脂塗料	SPS 66099-20	—
ガラスフレーク塗料	SPS 66099-18	—
超厚膜型エポキシ樹脂塗料	SPS 66099-19	—
劣化亜鉛面用厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料下塗	SPS 66099-41	—
劣化亜鉛面用厚膜型ポリウレタン樹脂塗料上塗	SPS 66099-42	—
水系エポキシ樹脂塗料	SPS 66099-30	—
水系ポリウレタン樹脂塗料用中塗	SPS 66099-32	—
水系ポリウレタン樹脂塗料上塗	SPS 66099-31	—
亜鉛めっき面用変性エポキシ樹脂系塗料, 同・低温用	SPS 66099-43	—

表 3 各 SPS の読み替え方法

- ・ 1. 品質 項目「容器の中での状態」における品質の記載内容

SPS 番号	現行の記載内容	読み替え内容
66053-8	粉は微小で一様な粉末であるものとする。	粉は微小で一様な粉末であるものとする。
66053-9	液はかき混ぜたとき堅い塊がなくて一様になるものとする。	液およびペーストはかき混ぜたとき堅い塊がなくて一様になるものとする。

- ・ 2. 材料 冒頭の記載内容

- ・ 現行の記載内容 : 1 液 1 粉末
- ・ 読み替え内容 : 1 液 1 粉末および 1 液 1 ペースト

#### 4. おわりに

現在、鉄道総研では、2024 年度の発刊を目標として、近年の塗料・塗装技術動向や、塗装工事における課題に対応した、塗装指針の改訂作業を実施しています。その作業では、今回の JIS の改正内容も反映する予定です。

執筆者：材料技術研究部 防振材料研究室 坂本達朗

担当者：構造物技術研究部 鋼・複合構造研究室 小林裕介

# 鉄道基礎・抗土圧構造物の維持管理の手引き

## 1. はじめに

基礎・抗土圧構造物の維持管理は、「鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）基礎・抗土圧構造物（以下、維持管理標準）」に準拠して実施されています。鉄道総研では、国土交通省からのご委託を受け、維持管理標準を補足する資料として、維持管理の実業務に資する「鉄道基礎・抗土圧構造物の維持管理の手引き（以下、「基礎・抗土圧構造物の維持管理の手引き）」を作成しました。手引きは鉄道基礎・抗土圧構造物の維持管理に関する検討会（2019年～2022年、委員長：京都大学 杉山教授）での検討・審議を経て、維持管理の実務に活用するように2023年7月に鉄道局より通達される予定です。

また、近年、夏季に線状降水帯などの発生により、激しい豪雨が長時間続き河川が増水・氾濫する例が多くあります。鉄道基礎・抗土圧構造物のうち、河川をまたぐ橋である「河川橋りょう」はこうした降雨の影響を受けやすく、夏季の豪雨時に多くの被害が発生しています（図1）。このため、河川橋りょうに関する検討内容を先行的に取りまとめ、2021年に「鉄道河川橋りょうにおける基礎・抗土圧構造物の維持管理の手引き（以下、河川橋りょうの手引き）」を作成し、先行的に公開することで、豪雨災害に対する河川橋りょうの維持管理に活用して頂いています。本稿では、上記の経緯で作成した「河川橋りょうの手引き」、「基礎・抗土圧構造物の維持管理の手引き」の概要と特徴を簡単に紹介します。



図1 洗掘で被災した橋脚の例

表1 手引きの目次と内容および対応する維持管理標準

章/資料番号	項目	内容	対応する維持管理標準		
共通	共-1	基礎・抗土圧構造物の特徴と構造形式	基礎・抗土圧構造物の特徴と構造形式について概説	—	
	共-2	河川橋りょうにおける河床の変化と局所洗掘現象	河床の変化と局所洗掘が発生するメカニズムについて概説	—	
	共-3	河川橋りょうの被災事例と局所洗掘に注意すべき橋りょうの着眼点	過去の被災事例の概要および代表的な被災事例を収集し、局所洗掘に注意すべき橋りょうの着眼点を整理	—	
	共-4	参考資料一覧	手引きの内容に関連する文献・書籍のリスト	—	
1章	1-1	総則および用語の定義	手引きの適用範囲を提示し、基礎・抗土圧構造物ならびに河川に関する用語を定義	1章 総則	
2章	2-1	基礎・抗土圧構造物の検査の考え方	【維持管理標準】2章「維持管理の基本」に関して検査の考え方の概説と、本手引き(案)における各資料の活用方法の提示	2章 維持管理の基本	
3章	3-1	基礎・抗土圧構造物の初回検査	基礎・抗土圧構造物の初回検査における調査項目と調査方法を記載	3章 初回検査	
4章	4-1	基礎・抗土圧構造物の全般検査	基礎・抗土圧構造物の全般検査の考え方や、着眼点、調査項目、判定事例を記載	4章 全般検査	
	5章	5-1	基礎・抗土圧構造物の個別検査	基礎・抗土圧構造物の個別検査における健全度判定の考え方を記載	5章 個別検査
		5-2	基礎・抗土圧構造物の個別検査における調査	基礎・抗土圧構造物の個別検査における目視調査の着目点および地盤調査方法の選定の考え方を記載	
		5-3	河川橋りょうの橋脚周辺の洗掘深の調査方法	河川橋脚における洗掘深の計測方法や評価の考え方を記載	
		5-4	衝撃振動試験による橋脚・ラーメン高架橋の評価	衝撃振動試験による橋脚・ラーメン高架橋の評価の基本的な考え方と評価例を記載	
5-5	衝撃振動試験による抗土圧擁壁の評価	衝撃振動試験による抗土圧擁壁の健全度の評価方法を適用性の検証結果と合わせて記載			
6章	6-1	基礎・抗土圧構造物の随時検査	基礎・抗土圧構造物の随時検査における着眼点や留意点と、河川橋りょうの局所洗掘に対する随時検査の考え方を記載	6章 随時検査	
7章	7-1	基礎・抗土圧構造物の措置	基礎・抗土圧構造物の措置の方法と時期の基本的な考え方を記載	7章 措置	
	7-2	抗土圧擁壁の監視および補修・補強の方法	抗土圧擁壁の監視および補修・補強の方法を記載		
	7-3	河川橋りょうの監視の方法	河川橋りょうにおける局所洗掘に対する監視の方法について事例を記載		
	7-4	洗掘対策工の選定	洗掘対策工の選定時の考え方や施工事例の紹介		
	7-5	基礎・抗土圧構造物の措置事例	基礎・抗土圧構造物の監視および補修・補強の事例を紹介		
	7-6	洗掘被災橋りょうの再供用による復旧事例	洗掘で被災した橋りょうの再供用による応急復旧事例の考え方と事例を紹介		
付属資料	付4-1	洗掘探点表における探点例	洗掘探点表を活用する場合の探点事例を記載	付属資料4 洗掘を受けやすい橋梁を抽出するための探点表	
	付5-1	河川橋りょう橋脚の安定計算例	河川橋脚の安定計算例の概要を記載	付属資料5 橋脚基礎の安定性の評価および洗掘対策工の選定	
	付6-1	河川橋りょうの洗掘対策工の変状事例・対応例	河川橋りょうの洗掘対策工の変状事例に対する検査と措置の例を記載	付属資料6 基礎の変状事例・対策事例	
	付7-1	橋脚の固有値解析例	橋脚の固有値解析の例および解析手順の考え方を記載	付属資料7 各種調査法概要	

黒：河川橋りょうの手引きで作成、基礎・抗土圧構造物の手引きでそのまま活用、青：河川橋りょうの手引きで作成、基礎・抗土圧構造物の手引きで更新、赤：基礎・抗土圧構造物の手引きで新規作成

## 2. 「河川橋りょうの手引き」および「基礎・抗土圧構造物の維持管理の手引き」の概要

「基礎・抗土圧構造物の維持管理の手引き」の内容を表1に示します。「基礎・抗土圧構造物の手引き」は、「河川橋りょうの手引き」の内容をもとに、基礎・抗土圧構造物全般を対象を拡張し、維持管理の基本から、全般・個別・初回・随時検査における検査の着目点や判定例、措置や基礎・抗土圧構造物の個別検査に用いられる衝撃振動試験の適用範囲や実施方法、健全度の判定方法や適用上の留意点など、維持管理の全般に関する内容を追記しています。

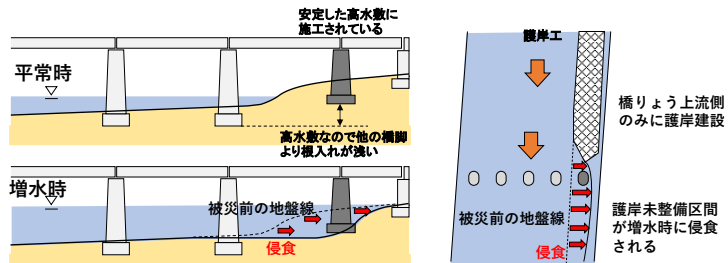


図2 河川断面の変化による河川橋りょうの被災の模式図

構造物	変状種別	調査箇所	変状原因の推定例	判定例	判定*
根固め工・ブロック・かこ	不陸	施工範囲の上下流の端部	増水による洗掘	施工範囲の上流端部の全体が浸食を受け不陸、流失および傾斜が生じているもの	A
		上流方		施工範囲の上流端部の一部が浸食を受け不陸、流失および傾斜が生じているもの	B
		下流方		施工範囲の下流端部の河床全体が落着による侵食を受けているもの、あるいは一部は一部の侵食により下流方端部の一部のブロック等が流失しているもの	A
		上流方		施工範囲の下流端部の河床の一部が落着による侵食を受けているもの	B

\*A:運転保安、旅客および講習などの安全ならびに列車の性情運行の確保を脅かす、またはその恐れのある変状等があるもの、B:将来、健全度Aになる恐れのある変状等があるもの

図3 洗掘防護工の判定例

「河川橋りょうの手引き」では、前述した先行作成の経緯から、特に増水時の局所洗掘による河川橋りょうの被害を防止するために、洗掘が発生しやすい河川橋りょうの特徴、洗掘に対する調査方法や健全度の判定方法、具体的な対策工などについて取りまとめています。図2には、被災事例から見た洗掘が発生しやすい河川橋りょうの特徴の例として、河川橋りょうの上流側に護岸を建設したことにより河川断面が変化して被災した橋脚の例を示しています。河川橋りょうにおいては、洗掘への備えとして安定で堅固な地盤に基礎を建設し、十分な根入れを確保するように配慮されてきました。しかし、供用過程における河川護岸の整備工事などにより、河川橋りょう周辺の断面が建設時から変化した場合などには、本来は洗掘や侵食の作用を受けないはずの橋脚が倒壊する例があります。また、河川橋りょうには洗掘への備えとして洗掘防護工が施工されている場合もありますが、これまで洗掘防護工の調査に関する具体的な着目点や判定例は十分に整理されていませんでした。そこで、図3に例を示すように洗掘防護工の変状に応じた調査箇所や変状原因の推定、健全度の判定例などをビジュアルベースで整理しました。

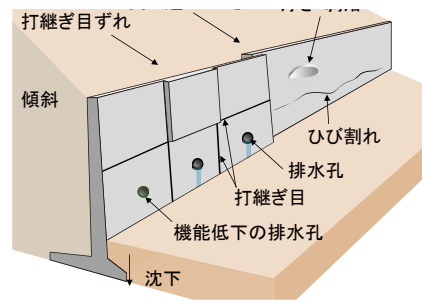


図4 擁壁の変状例

「基礎・抗土圧構造物の維持管理の手引き」では、「河川橋りょうの手引き」から、前述した様に基礎・抗土圧構造物全般に適用範囲を拡張するために、擁壁や橋台などに関する記述を特に充実化させました。

擁壁の変状は、図4に示すように、外的要因に起因する場合と壁体等の劣化に起因する変状があり、変状が外的要因に起因する場合には重篤な返上となり易いことや、盛土・切土・周辺斜面にも変状が生じている場合には変状が著しく進行する恐れがあることなどを、検査時の着眼点として強調しながら追記しました。また、擁壁には多様な形式が存在するため、形式ごとに全般検査における健全度の判定例を整備しました。

鉄道総研では、作成した手引き類を踏まえた維持管理標準の更新や研究開発を通じて、引き続き鉄道の安全・安定輸送に貢献してまいります。

執筆者：構造物技術研究部 基礎・土構造研究室 中島進

担当者：構造物技術研究部 基礎・土構造研究室 佐名川太亮, 萩谷俊吾

防災技術研究部 地盤防災研究室 渡邊諭

# レール締結装置の試験の手引きの改訂

## 1. はじめに

鉄道総研・鉄道技術推進センターでは、鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造に準じたレール締結装置の性能照査において実施されている試験方法を整理し公知とすることを目的として、2020年にレール締結装置の試験の手引きを発行しました。また、手引きに基づき実施した性能照査の実例を照査例として併せて示しました。（詳細については、施設研究ニュース No.363 の記事「レール締結装置の試験の手引き」をご参照ください。）

この試験の手引きおよび照査例は、発行後、レール締結装置に関する各種試験を実施する際の参考として活用されている他、現在進められているレール締結装置の試験に関する国際標準化活動において、規格審議の議論の場で活用されています。

今回、試験の手引きおよび照査例の発行後に実施した研究開発を通して得られた知見を反映した改訂版を発行しました。本稿ではその概要と改訂のポイント、また改訂に際し実施した試験の荷重条件算定方法に関する検証結果についてご紹介します。

## 2. レール締結装置の試験の手引きおよび照査例の構成

試験の手引きは、2つのパートから構成されています。第Ⅰ部「レール締結装置の試験の手引き」では、設計の一般（性能項目と性能確認試験、設計応答値の導出と設計限界値の設定）、試験方法（組立、各種ばね定数、静的・動的载荷、電気絶縁抵抗、レールふく進抵抗について言及し、巻末には各種試験で得られたデータの整理方法の実例を示しています。また、第Ⅱ部では、第Ⅰ部に示された試験の手引きに基づき、具体的なレール締結装置を対象とした照査例を紹介しています。

## 3. 試験の手引き改訂のポイント

試験の手引きの改訂にあたり、実際に手引きをレール締結装置の性能確認試験の実施に際しご活用頂いている鉄道技術推進センターの会員様からのご意見や、手引き発行後も引き続き課題であった点を踏まえ、下記の点について改訂版に反映することにしました。

- 試験軌道を構築して試験を実施する必要のあった継目部用レール締結装置の性能照査を、レール締結装置一組での試験に置き換えて実施する方法の内容と検証結果
  - 2020年以降の国際規格の発行状況を踏まえ、国際標準化の現況に関する情報を更新
- このうち、継目部用レール締結装置一組で性能照査を実施する性能照査法の詳細を次章に示します。

## 4. 継目部用レール締結装置一組での性能照査法の検討

継目部用のレール締結装置の性能照査では、レール締結間隔が一定でなく、一般部用と継目部用ではレール締結装置の性能が異なることから、従来手法ではレール締結装置一組に作用する荷重条件の算定できませんでした。このため、実物の構成部材を用いて長さ5m程度の試験軌道を構築し、これに対して設計作用を直接作用させる二方向载荷試験（図1）を実施しており、労力とコストを要する大掛かりな試験となることが課題でした。

そこで、継目部用レール締結装置についても、一般部用と同様にレール締結装置一組で試験を実施できるようにする目的で、過去に提案したFEMレール小返り解析モデル（詳細は施設研究ニュース No.322 の記事「レール締結装置の性能確認に用いる荷重算定法の改良点」を参照）を基本とし、継目部用レール締結装置や継目板を含むレール継目部を模擬した新た

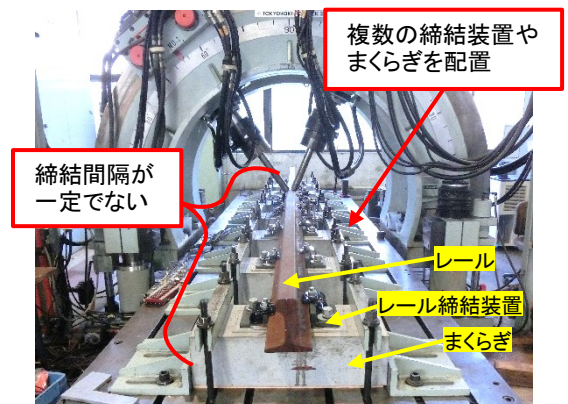


図1 試験軌道による試験の実施状況

な FEM 継目部レール小返り解析モデル (図 2) を構築し、継目部用レール締結装置一組に作用する分散荷重を算定する手法を検証しました。

同じ軌道条件と荷重条件を設定し、輪重と横圧の比率に応じて載荷角度を変えながら実施した試験軌道の載荷試験と解析モデルによる載荷解析の結果を比較し、この結果に基づき解析モデルの設定条件を見直した結果、レール変位やレールの小返り角が良好に一致することが分かり、継目部を模擬した解析モデルを用いて分散荷重を算定することの妥当性が確認できました (図 3)。

一方、妥当性を確認した解析モデルを用いてレール締結装置一組に作用する分散荷重を算定し、これを用いて性能照査のための二方向載荷試験を実施するにあたっては、継目部を模擬した試験用レールが必要です。そこで、この試験荷重を適用するための継目部試験レールを考案しました。図 4 に試験レールの概要を示します。部材の組合せによりレールと継目板を一体化した断面形状とすることで、継目板底部上面を締結ばねが押さえるレール締結装置の締結状態を正確に模擬でき、また試験条件に応じて変化する試験レールの荷重載荷点の高さを腹部の調整部材を入れ替えて任意に調整することが可能です。

この試験レールを用いてレール締結装置一組での試験を実施し、試験軌道での試験結果とレール変位を比較したところ、両者は概ね一致しており、検証した試験荷重の算定法が妥当であることを確認しました。この検証結果を踏まえ、改訂版の試験の手引きに検証した手法の詳細を記載しました。

### 5. 今後の活用について

改訂版のレール締結装置の試験の手引きおよび照査例については、2022年3月に発行されて鉄道総研・鉄道技術推進センターの会員向けに公開されています。今後はレール締結装置について試験により性能照査を実施する際の指針として、より一層活用されることが期待されます。

執筆者：軌道技術研究部 軌道構造研究室 弟子丸将

担当者：軌道技術研究部 軌道構造研究室 玉川新悟

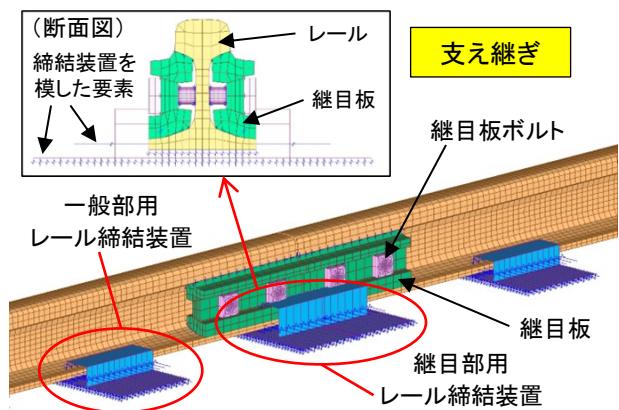


図 2 FEM 継目部レール小返り解析モデル

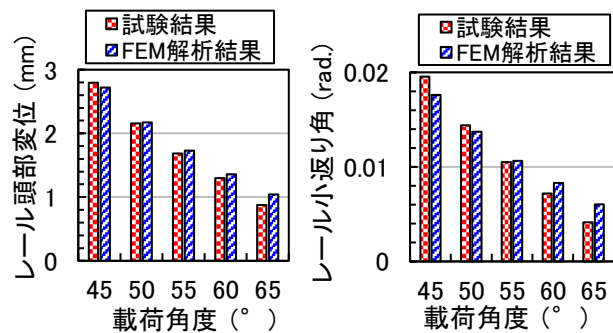
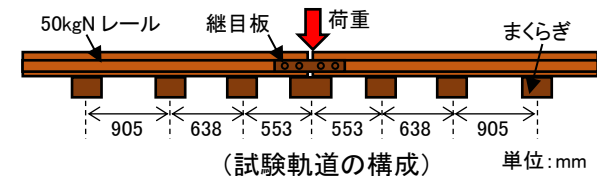


図 3 解析と試験の比較 (荷重 100kN 時)

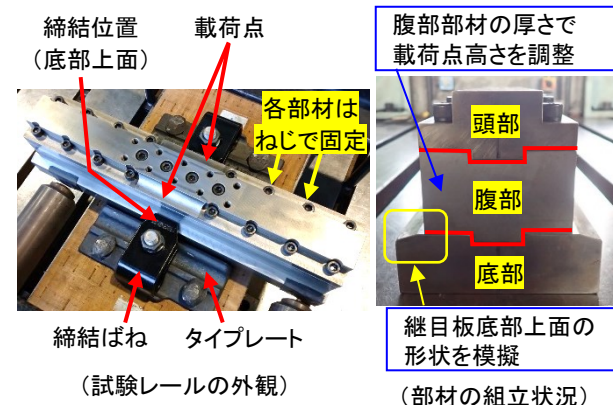


図 4 継目部用試験レールの概要 (単位: mm)

**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 テータを鉄道総研HPに掲載しています。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](http://www.rtri.or.jp/rd/rd_news.html))にアクセスしてください。**

発行者：柴田 宗典 【(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：小納谷 優希 【(公財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 レールメンテナンス】