

施設研究

ニュース

No. 366 2021.2. 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

コンクリート構造物の維持管理手引きの発刊

1. はじめに

平成 19 年に刊行された鉄道構造物等維持管理標準¹⁾（以下、維持管理標準）では、検査から措置、記録までの維持管理について、性能規定化の流れを踏まえて体系化がなされたとともに、検査および措置の標準的な方法が示されました。一方で、構造物に発生する変状、検査や措置の方法は、多種多様であり、また、維持管理標準発刊以降、実務に役立つ多くの研究が行われてきました。このような背景のもと、鉄道コンクリート構造物の効率的な維持管理を目的に平成28年度から3年間にわたり、学識経験者、鉄道事業者、鉄道総研等の関係者で構成される「鉄道コンクリート構造物の維持管理に関する検討会」が設置され、「鉄道コンクリート構造物の維持管理の手引き」（以下、本手引き）がまとめられました。

2. 維持管理手引きの概要

本手引きは、維持管理標準の構成にしたがって、最新の維持管理に関する知見や具体の検査、措置の方法について記載しました。本手引きの目次構成を表 1 に示します。本手引きでは、維持管理標準の付属資料のうち、技術の進展があった事項の更新、および維持管理標準の付属資料に記載のない事項を新たな資料としてまとめました。具体的には、各種調査や措置の方法、最近発生した地震の復旧事例を踏まえた地震後の検査および措置の方法の紹介、また、維持管理標準にしたがった維持管理事例、さらに、実構造物における代表的な変状事例について写真を用いて紹介しました。以下に、本手引きの内容の一部を紹介します。詳細については、国交省の各運輸局より配布の本手引きをご覧ください。

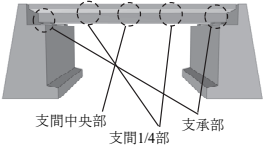
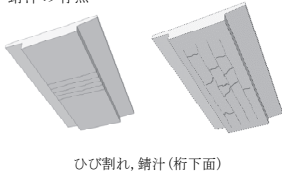
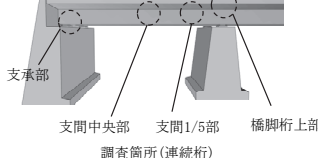
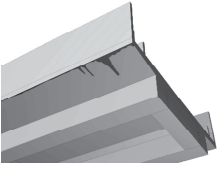
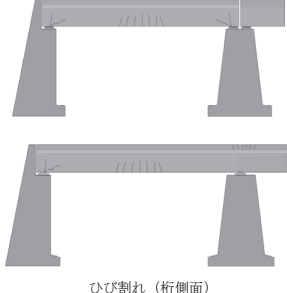
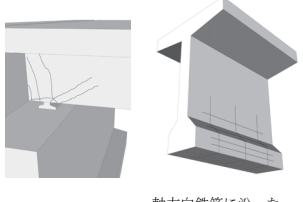
3. 全般検査

全般検査は、構造物の変状の有無およびその進行性等を把握し、性能を低下させる変状、またはそのおそれのある変状を抽出することを目的に2年ごとに実施する検査です。そのため、鉄道事業者における負担が大きく、効率化がもとめられています。本手引きでは、維持管理標準の健全度の判定例の更新

表 1 維持管理手引きの目次構成

1 章 総則 1.1 PC 桁に関する技術基準の変遷 2 章 維持管理の基本 3 章 初回検査 3.1 初期ひび割れの発生しやすい箇所の例 4 章 全般検査 4.1 全般検査における健全度の判定例 4.2 はく落が発生しやすい箇所の例 5 章 個別検査 5.1 鉄筋探査機によるかぶり測定法 5.2 かぶりコンクリート品質の測定方法 5.3 たわみ測定の方法と活用 6 章 随時検査 6.1 地震による変状に関する調査および措置 6.2 地震による変状に対する健全度判定および復旧方法の例 6.3 地震で被災した構造物の復旧事例	7 章 措置 7.1 耐久性の回復・向上を目的とした補修 7.2 補修方法の概要と適用上の留意点 7.3 表面処理工法における材料選定の留意点 7.4 導電塗料を用いた PC 桁の曲げひび割れ検知 8 章 記録 8.1 設計や施工に関して記録する資料の例 維持管理事例集 1. 既存ラーメン高架橋柱の断面修復 2. 高靱性セメントボードを用いた既存高欄の補修 3. 電気防食を用いた PC 桁の補修 参考資料 1. 変状事例集 2. 構造物の代表的な部位の名称
--	--

表2 健全度の判定例の記載例（本手引き 4.1）

構造物	変状種別	重点調査箇所	調査項目	状態の例	判定
RC 桁	ひび割れ	単純桁 ・ 支承部 ・ 支間中央部 ・ 支間1/4部  支間中央部 支間1/4部 支承部 調査箇所(単純桁)	・ ひび割れの幅【解説1-2】 ・ ひび割れの方向 ・ 進行程度【解説1-3】 ・ 発生位置 ・ 錆汁の有無  ひび割れ, 錆汁(桁下面)	構造物全体 ・ 破壊状態のもの ・ ひび割れから鉄筋の錆汁がみられるもの【解説2-1】 中央部 ・ 幅数mm程度で、かつ上面が圧壊しているもの【解説2-2】 ・ 幅数mm以上のもの【解説2-2】 ・ 幅が0.3mm程度以上のものが多数発生しているもの【解説1-4, 2-3】 ・ 幅が0.2mm程度以下のものが多数発生しているもの 支点部 ・ 斜めひび割れが、支点方向に軸方向鉄筋に沿って進行し、幅の大きいもの【解説1-6, 2-4】 ・ 斜めひび割れの幅が、0.3mm程度以上のもの【解説2-5】 ・ 斜めひび割れの幅が、0.2mm程度以下のもの ・ 支点から垂直にひび割れが生じているもの ・ 支承部のコンクリートが圧壊しているもの【解説1-7】	AA A AA AA A B AA A B,C A A
		連続桁 ・ 支承部 ・ 支間中央部 ・ 支間1/5部（曲げモーメント反曲点部） ・ ゲルバー部（ゲルバー桁）  支承部 支間中央部 支間1/5部 橋脚桁上部 調査箇所(連続桁) ・ 水掛かり箇所（湿潤状態が長く続く箇所）【解説1-1】  片持スラブの水切り部周辺	 ひび割れ(桁側面)  桁端部のひび割れ 軸方向鉄筋に沿ったひび割れ【解説1-10】		

と判定例の解説を記載しました（本手引き 4.1）。健全度の判定例のうち、RC 桁の記載の一部を表2に示します。本手引きでは、状態の例におけるひび割れ幅、アルカリシリカ反応の記載方法、支承部の状態の例および構成などについて、現行の維持管理手標準の判定例を更新しました。さらに、公衆安全を脅かす剥落に着目し、検査の着目点と変状が発生しやすい箇所を整理しました（本手引き 4.2）。

4. 個別検査

本手引きでは、かぶり測定に関して、維持管理標準の発刊以降に開発された鉄筋探査機の適用性について、電磁誘導法（渦流式）による筋探査機の適用性や留意事項をまとめました（本手引き 5.1）。また、コンクリートの表層品質を非破壊で測定する方法（本手引き 5.2）、桁に大きな異常がないことを簡易に把握する指標となる列車載荷時のたわみ測定の活用法や評価例、留意点（本手引き 5.3）をまとめました。

5. 随時検査

本手引きでは、地震後、早期に列車運行するため、近年の地震における復旧事例を踏まえ、ラーメン高架橋および橋りょうを対象とした健全度判定、応急復旧と本復旧の方法をまとめました（手引き 6.2）。また、過去の地震で被災した構造物の復旧事例を調査し、損傷状態、健全度判定、復旧方法の実事例を図や写真をできるだけ多く用いて、まとめました（手引き 6.3）。

6. おわりに

鉄道事業者および検査、措置等の実務に関わる技術者において、本手引きが、鉄道コンクリート構造物の維持管理に少しでも役立てば、幸いです。最後に、本手引きの刊行にあたり、ご尽力いただいた委員各位、貴重な情報を提供いただいた鉄道事業者各位のご協力に対して、深く感謝します。

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）コンクリート構造物，2007.1
執筆者：構造物技術研究部 コンクリート構造研究室 田所敏弥

スラブ軌道てん充層の額縁補修

1. はじめに

スラブ軌道において凍害などで劣化した既設てん充層の額縁補修では、スラブ軌道各部補修の手引き¹⁾に示されている通り、側面および端部から 100mm 程度の深さまでをはつり取り、そこに CA モルタル系あるいは樹脂系の補修材を注入しています。CA モルタル系の補修材（以下、CA 補修材という）を用いる場合は、脆性破壊が生じないように耐アルカリガラス繊維マットにより補強しています。しかし、補強材として使用しているガラス繊維マットの入手が困難となったため、これに代わる継続的に入手可能な代替品の選定が求められています。本稿では、その代替候補の選定を行うとともに、従来品および代替候補品で補強した CA 補修材の供試体に対する重錘落下試験および曲げ载荷試験を実施し、曲げ破壊に対する性能の比較を行いましたので、その結果を紹介します。

表 1 補強材の種類

2. 補強材の代替品

従来品および代替品の補強材を表 1 および図 1 に示します。代替品

名称	分類	形状	目付量 (g/m ²)
耐アルカリガラス繊維マット (GSM)	従来品	マット状	625
道路舗装用ガラスメッシュ	代替品	メッシュ状	396

の選定に際しては、国内で流通している製品であること、形状が短繊維状のものではなくマット状あるいはメッシュ状であること、耐アルカリ性を有していることを条件に選定を行いました。耐アルカリガラス繊維マット（以下、従来品という）は線状のガラス繊維をマット状に不規則に積層した構造、道路舗装用ガラスメッシュ（以下、代替品という）はガラス繊維を格子状に組み合わせた構造となっています。また、目付量は従来品が 625g/m²、代替品が 396g/m²となっています。

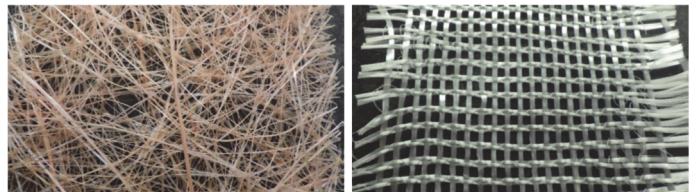


図 1 補強材の外観（左：従来品、右：代替品）

3. 試験の概要

(1) 供試体の概要

A 社および B 社の 2 社の配合による CA 補修材（いずれも曲げ強度 2.8N/mm²）を型枠内に注入し、高さ 50mm×幅 100mm×長さ 400mm の供試体を作製しました。各供試体には図 2 に示す通り円筒状に巻いた補強材を挿入し、各試験用に表 2 に示す層数の供試体を用意しました。なお、作製した供試体は温度 20℃、湿度 65%の恒温室で 14 日間養生しました。

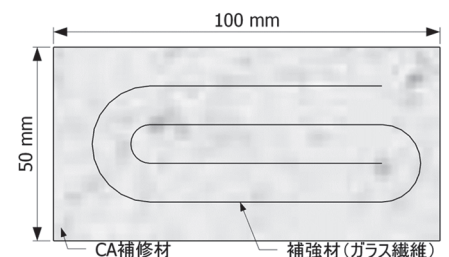


図 2 補強材の挿入方法
(短手断面：4 層の場合)

(2) 重錘落下試験

重錘落下試験は、供試体を支点間距離 300mm の支持台に置き、重量 3.34kg の弾丸状の鋼材の重錘を初期高さ 10cm から 5 回落下させ、供試体の破壊が見られなかった場合は 10cm ずつ落下高さを上昇させ、各高さ 5 回ずつ落下させる方法で行いました（図 3）。

なお、落下高さは 90cm を上限とし、90cm での落下回数は 30 回を上限としました。試験の終了点は、CA 補修材が破断し供試体が破壊した場合または落下高さ 90cm で落下回数 30 回まで破壊に至らなかった場合としました。なお、式(1)により破壊エネルギー（累積）を求めました。

$$\text{破壊エネルギー}(N \cdot m) = \text{重錘質量}(kg) \times \text{重力加速度}(m/s^2) \times \text{累積落下高さ}(m) \quad \cdots \text{式(1)}$$

表 2 供試体一覧

補強材種別	補強材挿入層数	数量
なし	-	3
従来品	3	3
代替品	3	3
代替品	4	3
代替品	5	3
代替品	6	3

各試験ケースの 3 回平均の破壊エネルギーの比較結果を図 4 に示します。A 社, B 社ともに代替品 4 層以上の場合で従来品の 3 倍以上と大きく上回る結果となりました。これは重錘落下時の衝撃荷重により CA 補修材にひび割れが生じたのち、従来品は速やかに繊維が破断し供試体が破壊に至ったのに対し、代替品は試験終了まで繊維が破断することなく衝撃荷重に抵抗したためと考えられます。

(3) 曲げ載荷試験

曲げ載荷試験では三等分点曲げ試験を実施し(図 5)、荷重-変位関係から中央変位 12mm までの破壊エネルギーを算出しました。載荷速度は 1.0mm/min としました。

補強材なし、従来品 3 層、代替品 3 層および代替品 4 層の 3 回平均の荷重-中央変位関係を図 6 に示します。いずれの場合も 2~3kN 程度でひび割れが発生しましたが、従来品はその後緩やかに荷重が増加し、最大荷重に達したのち補強材の繊維が破断し、急激に荷重が低下しました。代替品も同様にひび割れ発生後緩やかに荷重が増加し最大荷重に達しましたが、A 社の場合は 3 層、4 層いずれの場合もその後緩やかに荷重が低下しました。一方 B 社の場合は最大荷重に達したのち荷重が低下したものの、従来品よりも高い荷重を維持しました。なお、2 社いずれも中央変位 12mm に至るまで補強材の繊維が破断することはありませんでした。また、代替品 5 層および 6 層についても試験を行った結果、最大荷重は代替品 4 層以上の場合で A 社, B 社ともに従来品 3 層を上回る結果となりました。つづいて、各試験ケースの破壊エネルギーを図 7 に示します。破壊エネルギーで比較すると、代替品 3 層以上で A 社, B 社ともに従来品を上回る結果となりました。これは、最大荷重に達したのちの荷重の低下の程度が代替品の方が小さかったためと考えられます。

4. おわりに

本稿では、軌道スラブてん充層の額縁補修用 CA 補修材の補強材の代替品の曲げ破壊に対する性能確認試験を行った結果を紹介しました。今後はスラブ軌道各部補修の手引き¹⁾を改訂することを計画しており、補強材として道路舗装用ガラスメッシュを加え、4 層以上を挿入することを標準とする予定です。

参考文献

1)公益財団法人 鉄道総合技術研究所：スラブ軌道各部補修の手引き，2015 年 12 月

執筆者：軌道技術研究部 軌道・路盤研究室 早川容平

担当者：軌道技術研究部 軌道・路盤研究室 高橋貴蔵，三澤祥文，桃谷尚嗣

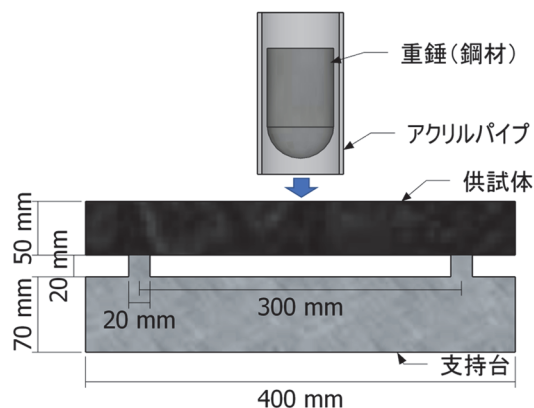


図 3 重錘落下試験の概要図

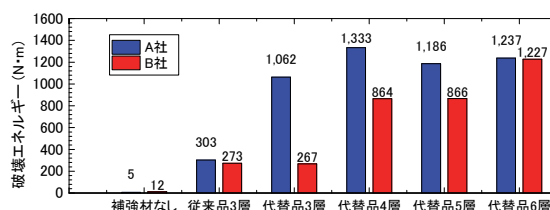


図 4 破壊エネルギー（重錘落下試験）

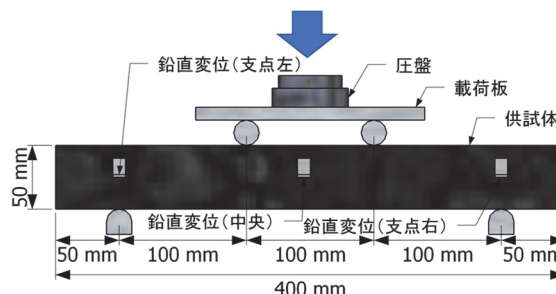


図 5 曲げ載荷試験の概要図

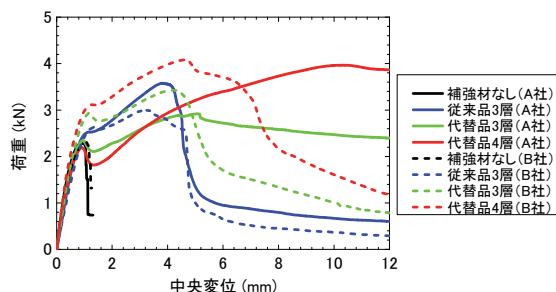


図 6 荷重-変位関係（曲げ載荷試験）

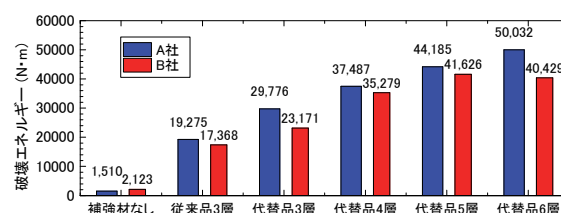


図 7 破壊エネルギー（曲げ載荷試験）

道床碎石の吸水時の物性

1. はじめに

道床バラストに使用される碎石は、最低3年に1度の頻度で、その品質を調べ、求められる性能を満たしているかを確認されています。この品質を調べるための試験を石質試験と呼び、図1の各試験から構成されています。これらの試験は、吸水耐圧強度試験を除けば、基本的に乾燥状態の試料を用いて実施されます。吸水耐圧強度は、バラストの使用環境を考慮して、湿潤状態で一軸圧縮試験を実施することで求められます。様々な岩石における、乾燥時の一軸圧縮強さに対する吸水耐圧強度の比と吸水率との関係を図2に示します。ほとんどのケースにおいて、比が1を下回っており、湿潤時に一軸圧縮強さが低下することが分かります。

このように、岩石の個としての強度が湿潤時に低下することが分かっていますが、岩石の集合である碎石としての強度が、乾燥状態と吸水状態でどのように異なるかは明確にされていません。そこで、本稿では、乾燥した状態と、水分を含んだ状態とで、碎石の物性がどのように異なるかを調べた結果を報告します。

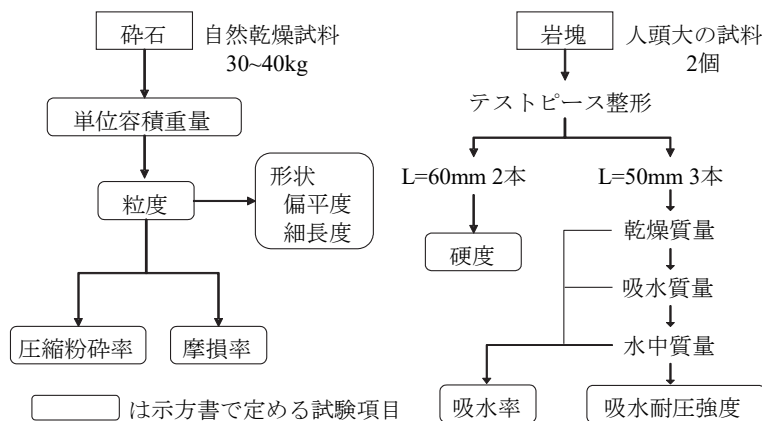


図1 石質試験のフロー

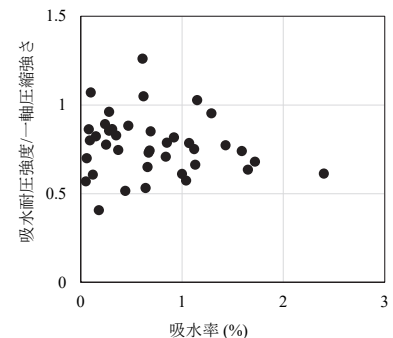


図2 吸水率と一軸圧縮強さ・吸水耐圧強度の比（参考文献1）を基に作成）

2. 吸水率の経時変化

吸水状態の岩石を試験に用いるにあたり、浸水時間と岩石が含む水分量の関係を調べました。ここでは、岩石中の水分量について、「岩石自体の重さ」に対する「岩石が含んだ水の重さ」の割合を示す吸水率の変化について報告します。図3には、110℃で24時間乾燥させた岩石を浸水させた場合の、岩種毎の吸水率の経時変化を示しています^{2),3)}。浸水を開始してから急激に吸水率が増加しており、乾燥した岩石への水の浸透にはほとんど時間がかからないことが分かります。また、図4には、4週間以上浸水させた岩石を水から引き揚げ、空气中で乾燥させた場合の、岩種毎の吸水率の経時変化を示しています^{2),3)}。乾燥時の吸水率の変化は、吸水時の吸水率の変化と比べると緩やかです。また、150時間経過後もある一定量の吸水率を保って

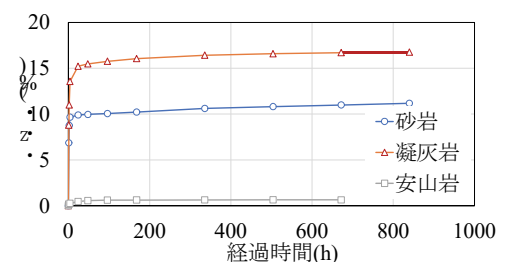


図3 浸水時の吸水率変化^{2),3)}

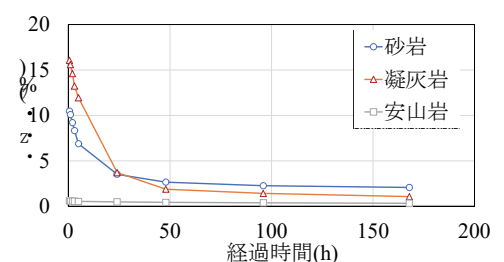


図4 乾燥時の吸水率変化^{2),3)}

おり、完全に乾燥するまでには時間が掛かることを示しています。石質試験では、吸水耐圧強度試験や吸水率試験は 98 時間の浸水後に試験を実施します。図 3 からは浸水 98 時間後では、吸水率の変化は微小となっているので、岩石を十分に吸水させるためには、概ね妥当な時間設定と考えられます。

3. 吸水時の岩石の強度

吸水状態の砕石を用いて圧縮粉碎試験を実施し、吸水時の砕石としての強度を調べました。このとき、吸水時間は 2 章の試験結果から、98 時間としました。圧縮粉碎試験は、内径 220mm、高さ 280mm の鉄製容器に砕石を詰め、25kN/min で最大 500kN まで载荷し、载荷により砕石がどの程度粉碎されたかを調べる試験です。図 5 に圧縮粉碎率の考え方を示します。圧縮粉碎率は、試験前の粒径加積曲線で囲まれる面積 F_v と、試験後の粒形加積曲線で囲まれる面積 F_n の差 $F_n - F_v$ を、 F_v に対する百分率として求めます。図 6 に、安山岩の自然乾燥させた砕石と 98 時間浸水させた砕石について、圧縮粉碎試験前と後の粒度分布の変化を示します^{2),3)}。この粒度分布をもとに圧縮粉碎率を計算すると、乾燥状態では 19.7%、湿潤状態では 24.5%となります。これは、湿潤時には、より砕石が粉碎されやすいことを示しています。

以上の結果は、砕石が水を含んだ際には、強度が低下する傾向にあることを示しています。したがって、実際の使用環境におけるバラストの強度を十分な安全性を考慮して評価するためには、吸水による岩石の強度低下の影響を考慮する必要があると考えられます。

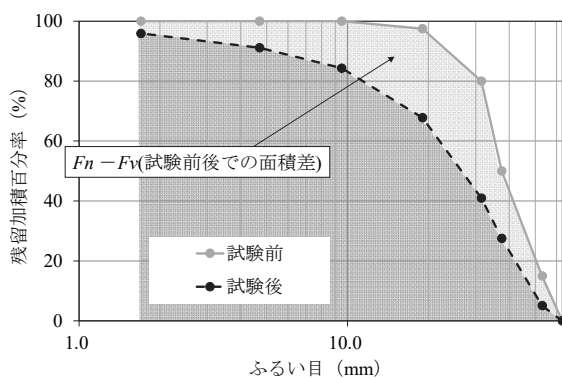


図 5 圧縮粉碎率の考え方

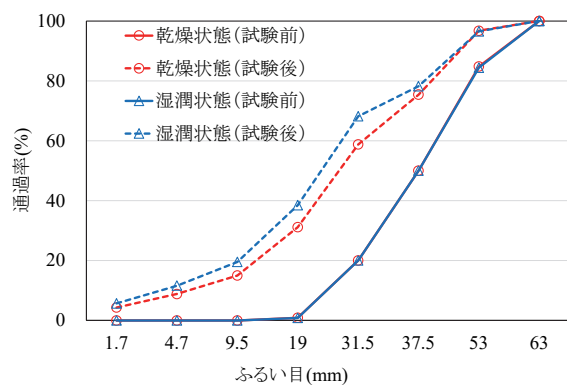


図 6 圧縮粉碎試験時の通過率の比較^{2),3)}

4. おわりに

本稿では、岩石の吸水率と砕石の物性に関する試験結果を紹介しました。現在の石質の基準が決められてからおよそ 50 年が経過し、バラストを取り巻く環境は当時と変化しています。今後も、バラストの品質の評価について検討を続けたいと考えています。

参考文献

- 1) 大島洋志, 中林好範: 道床バラストの石質基準および試験法の改正に関する研究一附. 道床バラスト仕様書に基づく過去 20 年の成績一, 鉄道技術研究所速報, No.75-154, pp.1-205, 1975
- 2) 河村祥一, 川越健: 乾湿によるバラストの圧縮粉碎率の違いに関する基礎的検討, 日本応用地質学会平成 30 年度研究発表会講演論文集, pp.111-112, 2018
- 3) 川越健, 河村祥一: 鉄道の道床バラストに用いられる岩石の物性とその吸水時の変化, 第 47 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.74-79, 2020

執筆者: 防災技術研究部 地質研究室 河村祥一

担当者: 防災技術研究部 地質研究室 川越健, 長谷川淳, 西金佑一郎

近年の保守用車の荷重実態調査

1. はじめに

鉄道橋りょうは、旅客や貨物を輸送する車両のみでなく、軌道や電力設備等の維持管理を目的とした車両（以下、保守用車）も走行するため、保守用車に対する照査も必要である。照査を行う場合は、実際の軸配置、軸重および速度をもとに行うのが望ましいが、簡易には当該橋りょうの設計時の列車荷重と比較する方法もある。近年の保守用車は様々な車両があるが、それらがどの程度の荷重か調査した事例がない。そこで、本資料では、保守用車に対する照査を行う際の参考資料になることを目的に、近年の保守用車について標準列車荷重の相当値を算出して荷重の実態を調査した。

2. 保守用車の種類

JR 各社に比較的重量の大きいと思われる保守用車の情報を頂き、これを調査対象とした。表 1 に、対象とした約 50 車両の内訳を示す。内訳は、新幹線用と在来線で分け、更に用途で、レール削正などの保線作業車、架線延線などの電気作業車、トンネル覆工などの土木作業車の 3 つに分類した。

3. 標準列車荷重相当値の算出方法

保守用車は、軸配置や軸重が種類によって大きく異なるため、直接比較できるようにするため、標準列車荷重の相当値を算出した。図 1 に、標準列車荷重である、EA 荷重、M 荷重、H 荷重の軸配置を示す。EA 荷重は機関車、M 荷重は電車や内燃動車、H 荷重は新幹線をモデル化した荷重である。なお、新幹線をモデル化した他の荷重として P 荷重もある。

本検討で用いた標準列車荷重の相当値は、保守用車の軸配置および軸重によって単純梁に生じる最大の曲げモーメントまたはせん断力と、同じ断面力を生じさせる標準列車荷重の軸重値である。例えば、M相当値は式(1)により算出される。

$$M\text{相当値}=\text{MAX}\left(\frac{M_{\text{保守用車}}}{M_{\text{M-18}}}, \frac{V_{\text{保守用車}}}{V_{\text{M-18}}}\right) \times 18 \quad (1)$$

ここで、Mは曲げモーメント、Vはせん断力を示す。

添字の保守用車はこれによる断面力、M-18は標準列車荷重M-18による断面力を表す。相当値は、曲げモーメントとせん断力から算出される相当値の大きい方としている。M相当値は、在来線用の各保守用車について、スパン1m～50m（0.01m刻み）について式(1)により算出した。式(1)と同様に、新幹線用の保守用車についてH相当値とP相当値、すべての保守用車についてE相当値を算出した。

4. 保守用車の標準列車荷重相当値の傾向

図 2 に、各保守用車について、スパンと標準列車荷重相当値の関係を示す。図は、保守用車を、保線作業車、電気作業車、土木作業車毎に色分けし、同種の車両で重量の重い車両や特徴的な車両に車種名を示している。

図 2(a)は M 相当値を示しているが、全体の傾向として、スパン 10m 以下の短い領域において M 相当値は最大値を示す。これは、牽引車と作業車のように同一車両で編成されていない場合の特徴で、先頭の重い牽引車のみが載荷されるスパンの短い領域で相当値が高くなるのが理由である。図 2(b)に H 相

表 1 対象保守用車の一覧表

	用途	車両数
新幹線	保線作業車	14
	電気作業車	3
	土木作業車	6
在来線	保線作業車	19
	電気作業車	3
	土木作業車	0

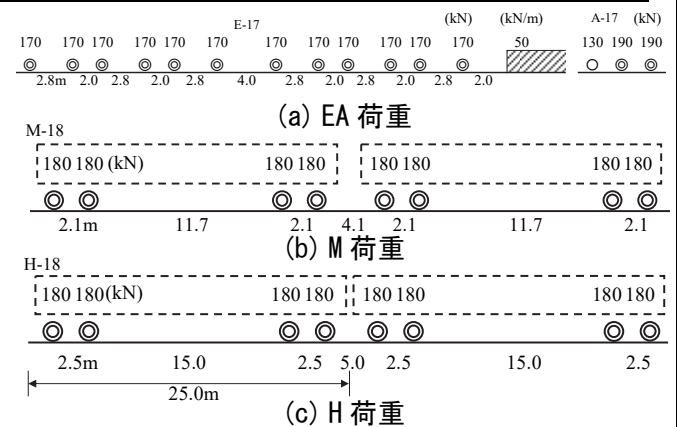


図 1 標準列車荷重

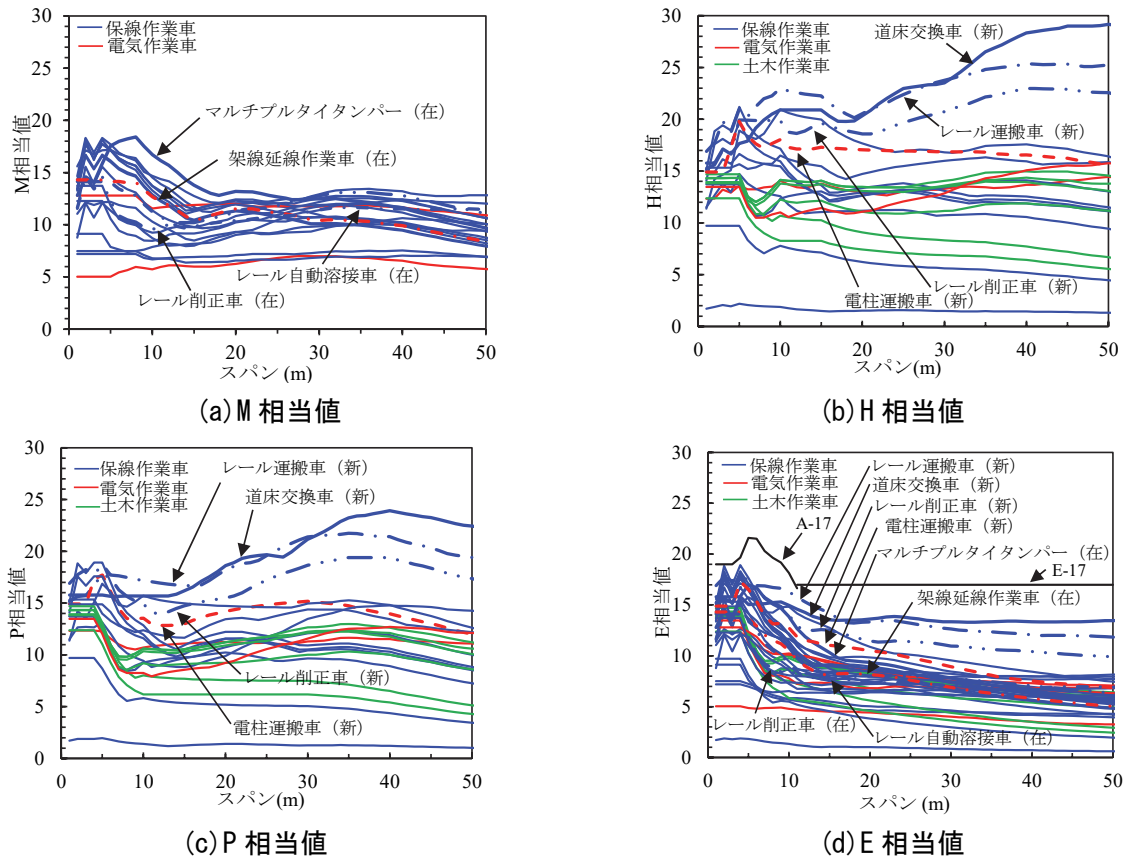


図2 保守用車の相当値

当値，図2(c)にP相当値をそれぞれ示すが，新幹線用の保守用車では，レール運搬車や道床交換車など車両数が多いものでは，スパンが長い領域で最大値となる傾向を示す．なお，H相当値やP相当値がかなり大きい値のものもあるが，これらについてN荷重の相当値を算出したところ最大でもN-16程度であり，これまで設計に用いられているN荷重以下である．

図2(d)は全保守用車のE相当値を示すが，スパン10m以下で最大値を示す傾向がある．図には，A荷重であるA-17のE相当値も示しているが，スパンが短い領域ではスパンとE相当値の関係はA荷重と概ね同じ傾向を示し，今回対象とした保守用車の相当値はいずれもA-17以下である．また，スパンが長い領域では，E相当値はスパンに対する変動が小さい．このことから，保守用車を現行の標準列車荷重で表現する際はEA荷重を用いることが可能と考えられ，今回対象とした保守用車はEA-17で包含されることがわかった．

5. まとめ

本資料では，保守用車に対する照査を行う際の参考資料になることを目的に，近年の保守用車について標準列車荷重の相当値を算出して荷重の実態を調査した．なお，現行の設計標準では作用の種類の一つに「軌道作業車荷重」があるが，近年多種多様な保守用車があるため，今後「保守用車荷重」に名称が変わる予定である．

執筆者：鉄道力学研究部 構造力学研究室 成田顕次

担当者：鉄道力学研究部 構造力学研究室 池田学

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：小林 裕介 【(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：木次谷 一平 【(公財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 軌道・路盤】