常時微動計測による常設型の橋脚健全度評価システムの長期稼働試験


鈴木　亜季
Aki Suzuki
前 防災技術研究部
地盤防災研究室
研究員


西脇　博也
Hiroya Nishiwaki
防災技術研究部
地盤防災研究室
研究員


藤原　将真
Shoma Fujiwara
防災技術研究部
地盤防災研究室
主任研究員


渡邉　諭
Satoshi Watanabe
防災技術研究部
地盤防災研究室長

はじめに

近年，降雨の激甚化にともなう急激な河川の増水により橋脚周囲の地盤が洗掘され，最終的に橋脚が沈下・傾斜・流出するといった災害が増加しています（図1[1]）。このような洗掘災害を受ける橋脚基礎は河川の流れの中にあるため，増水時に基礎周辺の状態を確認することは困難です。そのため，増水後の運転再開の可否を判断するために，モニタリングにより橋脚の健全性を正しく評価することが求められています。そこで，鉄道総研では，橋脚天端両端部で計測した常時微動☞を基に，河川橋脚の健全度を評価する指標である固有振動数☞を推定するアルゴリズムを実装した常設型の橋脚健全度評価システム（以下，常設型システム）を開発[2]し

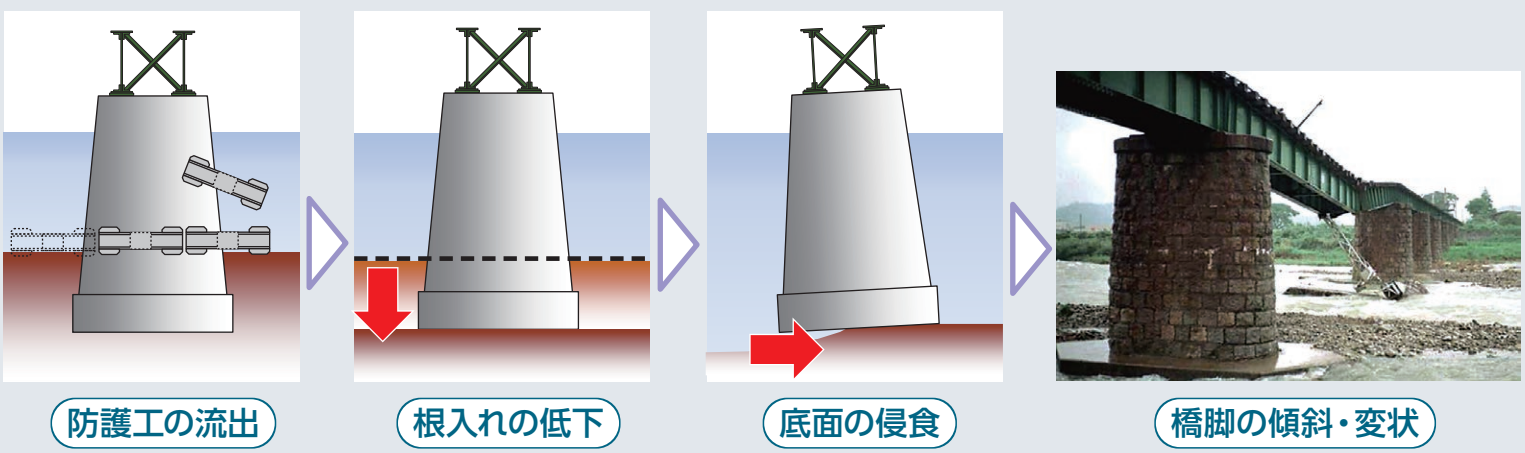
☞ **常時微動**

風・波浪などの自然現象や，道路交通・工場などの人口的な振動などを発生源として，構造物などが常に微小に振動する現象のこと。単に微動ともいう。

☞ **固有振動数**

振動系の質量と弾性的な性質から決まる一定の振動数。橋脚においては，質量と周辺地盤の剛性から決まる固有の振動数のことを指す。

図1　橋脚の洗掘災害



ています。常設型システムはデータ通信機能を有し，橋脚基礎の健全度をリアルタイムで監視することが可能です。しかし，常設型システムは実橋脚での稼働実績が少ないことから，本稿では，実橋脚に常設型システムを設置し，固有振動数の推定精度を検証した結果を紹介します。

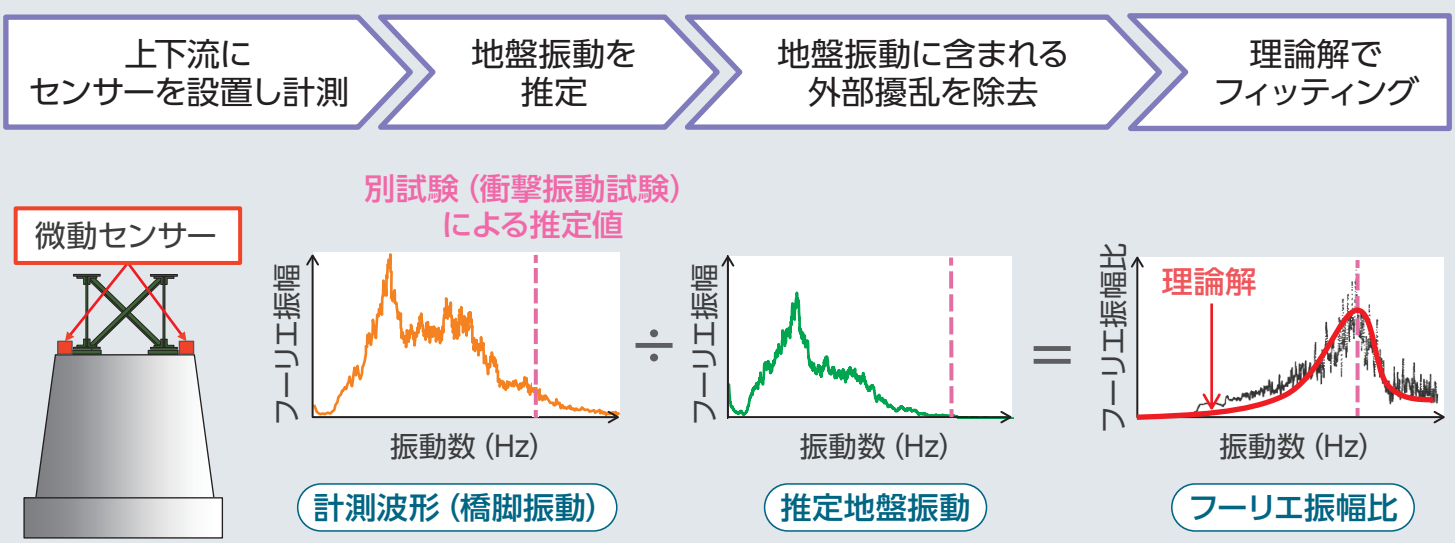
常時微動計測を用いた固有振動数の推定方法

本試験では，常時微動計測を用いた固有振動数の状態監視手法（以下，微動手法と呼ぶ）[1)]を用いて固有振動数を推定しています。微動手法は，橋脚天端両端部で計測された常時微動の演算処理により固有振動数の変化を増水前後で連続的に捉えることができることから，橋脚の健全度を常時モニタリングすることができます。固有振動数の推定の流れを図2に示します。常時微動の計測値そのものには外部錯乱の影響が入っているため，このままでは固有振動数の推定を行うことはできません。そこでこの図のように，微動手法で地盤振動を推定し，得られた地盤振動のフーリエ振幅を用いて計測波形を処理することで，外部擾乱を除去します。このような処理を行うことで固有振動数を明確化し，さらに共振曲線（理論解）より固有振動数を推定します。これにより，技術者の経験の有無に影響することなく自動的かつ連続的に固有振動数を推定できる利点を持っています。

常設型システム

常設型システムは，橋脚天端部に設置する橋軸直角・鉛直方向の微動が計測可能なセンサー部，常時微動データの収録および制御を行う計測制御部，長期間の計測を可能とする電源部，データを送受信できるデータ通信部，計測データを格納するデータ格納部，微動手法を実装したデータ分析と解析結果の閲覧が可能な解析表示部から構築されます。システムの構成を図3に示します。主な特徴として，データ通信機能を有していることから，遠隔でリアルタイムに橋脚の健全度を確認できること，計測する時間間隔を変更でき長期稼働が可能であることがあげられます。

図2　微動手法を用いた固有振動数の推定の流れ



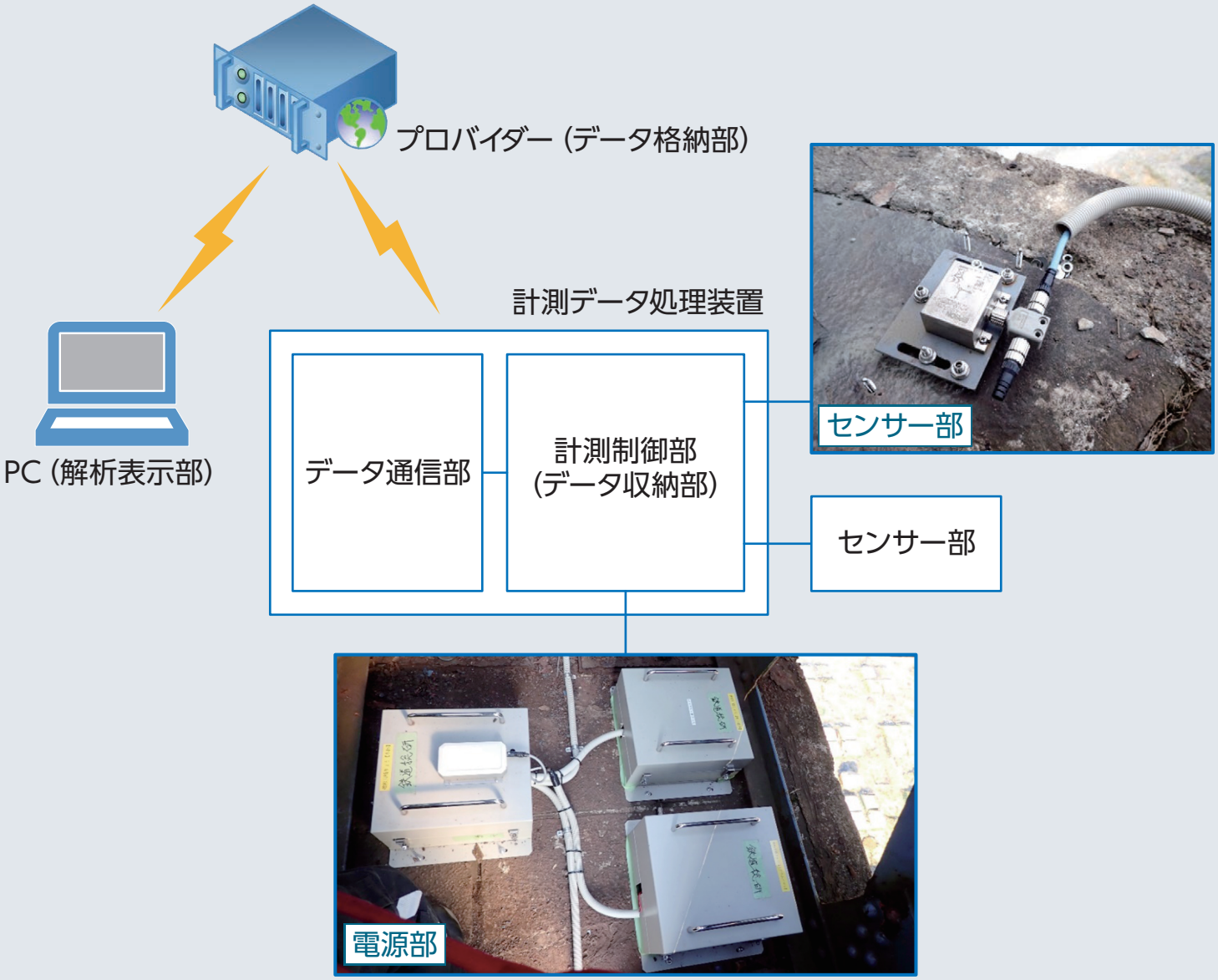


図3　常設型システムの構成

実橋脚での長期稼働試験[3)]

試験概要

実施した長期稼働試験の概要を示します。対象橋りょうは，図4に示す橋長157.7mの8径間のデックガーター橋です。下部構造は直接基礎☞であり，過去の被災状況から洗掘の危険性が高いと推定された7P橋脚を常設型システムの設置箇所として選定しました。7P橋脚は高さ7.96m，天端幅は3.96mであり，常設型システムを約17か月間設置しました。なお，本橋りょうは常設型システム設置後から11か月後に河川増水に伴う洗掘被災を受けており，その際には7P橋脚は根入れが約2m低下しています。常設型システムの設置時には衝撃振動試験☞を行っており，得られた橋脚，桁および付帯構造物の固有振動数を表1に示します。洗堀

☞ **直接基礎**

構造物の重さを地面の表面近くの固い地盤でそのまま支える基礎形式。地盤条件が良い場合に使われ，杭などを使わないシンプルな構造である。

☞ **衝撃振動試験**

重錘などで構造物に直接打撃力を与え，構造物の固有振動数を測定して基礎的な諸元を得るとともに健全性を判定する非破壊検査法。



図4　対象橋りょう

被災時に計測システムのエラーが発生し一時計測を中断しましたが，その期間を除いて継続的にデータの収集を実施しました。

計測結果

図5に洗掘被災が発生した8月を含む3月から11月における推定固有振動数の経時変化を示します。このグラフから，被災前のデータは，衝撃振動試験で得られた橋脚の固有振動数の値（16.2Hz）に対して12Hz～21Hzと，推定値のばらつきが大きいことが読み取れます。一方で，橋脚の根入れが大幅に低下した被災後の推定固有振動数の分布は，12Hz付近に収束しており，全体的に推定固有振動数の値が低下しています。このことから，常設型システムを用いることで，根入れの低下に伴う橋脚の固有振動数の低下がモニタリングできたと考えられ，遠隔からでも橋脚の健全度の評価ができることを示しました。また，被災後に推定固有振動数のばらつきが落ち着いた要因として，橋脚の根入れの低下によって橋脚自身が揺れやすくなったことが考えられます。具体的には，被災前は橋脚の健全度が高く揺れにくいことに加え，風などの外力によって揺れやすい桁や橋側歩道といった付帯構造物の振動に対して常時微動による橋



構造物名		推定固有振動数(Hz)
7P橋脚	水平	16.2
	鉛直	16.2
7G桁	水平	5.0
	鉛直	11.7
8G桁	水平	5.1
	鉛直	10.0
付帯構造物	鉛直	14.4

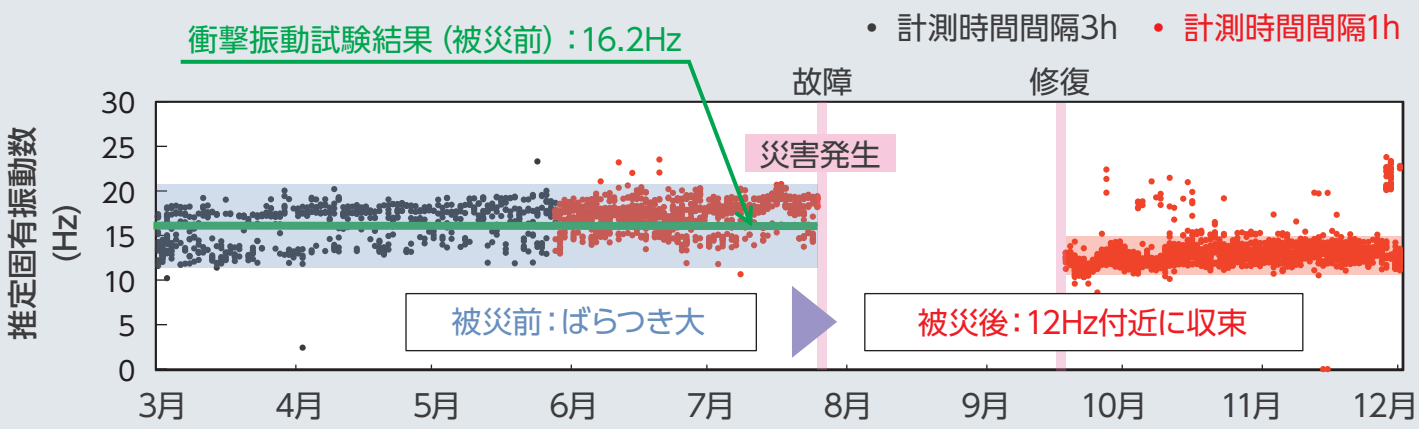
表1　衝撃振動試験による結果

脚の揺れが埋没しやすかった状況でした。一方，洗掘に伴う根入れの低下により橋脚が揺れやすくなり，ほかの構造物よりも橋脚自体の固有振動数が卓越したと推察されます。

図6に被災前後の微動手法によるフィッティング結果の一例を示します。この図より，被災前には16Hz，18Hz付近にて卓越（波形のピーク）が見られますが，被災後には確認できなくなり，新たに9Hz付近にて卓越が見られるようになります。また，被災前後で変わらず確認できた5Hz，12Hz，14Hz付近の卓越は，表1で示したように橋脚以外の構造物の固有振動数であると考えられます。これらから，被災前の橋脚の固有振動数は16Hz付近であり，今回の洗掘被災による根入れの低下に伴い，16Hz付近から9Hz付近までと約7Hz低下した可能性も示唆されます。

一方で，冒頭でも述べたように微動手法を用いた固有振動数の推定では，被災後の固有振動数は12Hzに収束していることが読み取れます。これは，上部工の固有振動数である12Hzおよび14Hz付近の卓越によって，理論解の算出時に影響を受けていることが考えられます。この結果から，対象橋脚のように橋脚の固有振動数

図5　推定固有振動数の経時変化



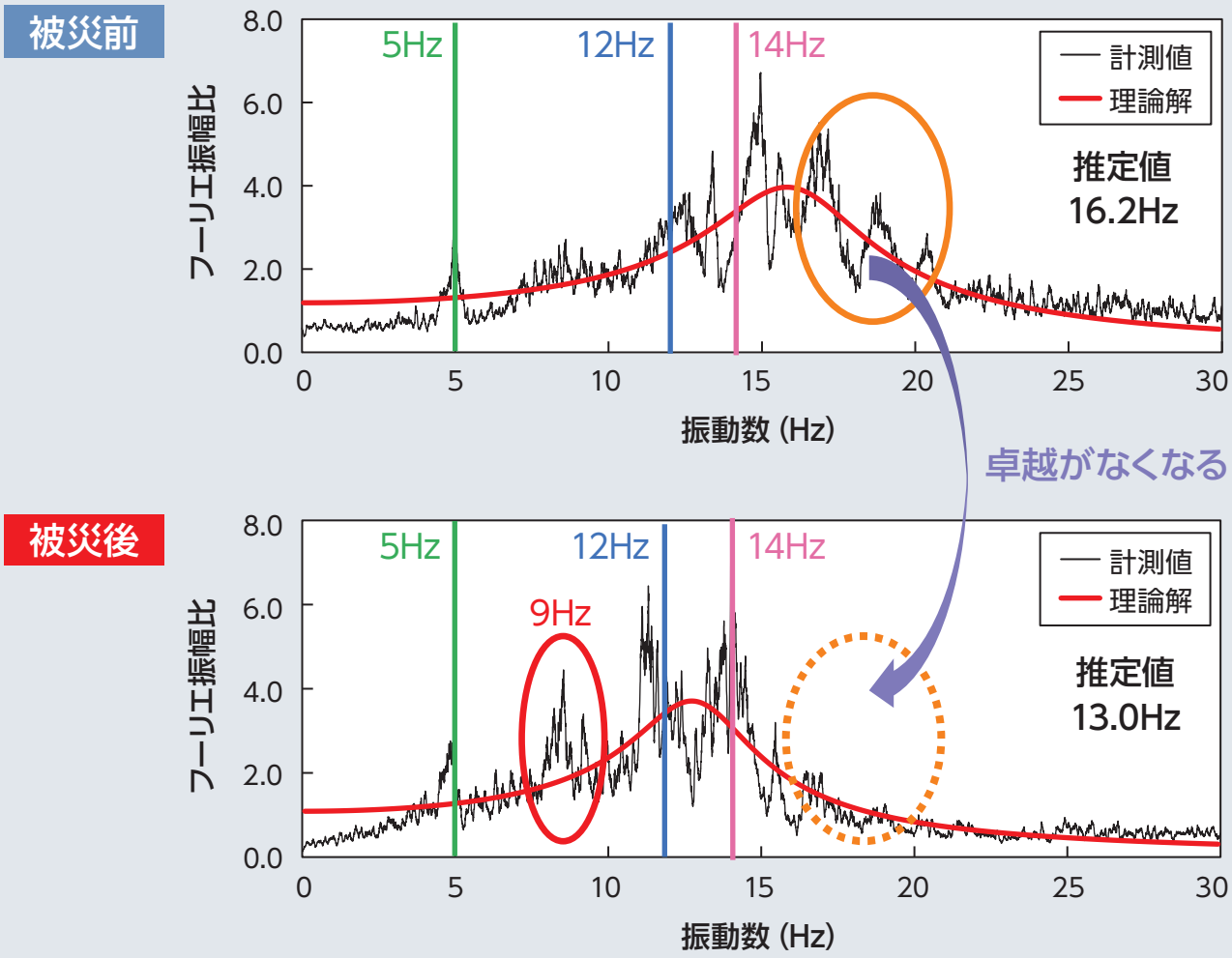


図6　被災前後の微動手法によるフィッティング結果の一例

付近に付属しているほかの構造物の固有振動数が存在する橋脚では，橋脚の推定固有振動値に影響が強く出ると考えられます。これらの結果から，従来用いてきた自動的に固有振動数を推定する手法についても見直しが必要であることが分かりました。今後は，周囲の構造物の影響をできるだけ除去し，橋脚単体の固有振動数をより正確に推定できるよう，手法の改良を進めていくことが重要だと考えています。

おわりに

本稿では常設型システムによって，洗掘被災前後の連続的な固有振動数の変化を把握できたことから，増水時に洗掘被害の有無を判断する手法として有効であることを示しました。一方で，推定値に桁や付帯構造物などの影響が強く出ることから，今後も計測結果を蓄積し，本システムの適用範囲の明確化と精度向上に取り組む予定です。RRR

文　献

1）渡邉諭，欅健典：橋脚基礎の振動から安定性を評価する，RRR，Vol.78，No.3，pp.8-11，2021
2）欅健典，湯浅友輝，内藤直人，渡邉諭:橋脚天端両端部の微動計測による橋脚基礎地盤の洗掘に対する健全度評価手法，地盤工学ジャーナル，Vol.13，No.4，pp.319-327，2018
3）鈴木亜季，藤原将真，西脇博也，渡邉諭：洗掘被災橋りょうで実施した長期稼働試験に基づく常設型微動計測システムの精度検証，令和7年土木学会全国大会第80回年次学術講演会，2025

■ 2026年5·6月号の訂正とお詫び

RRR誌2026年5・6月号に誤植がございました。ここに訂正してお詫び申し上げます。

頁	箇所	誤	正
35	本文右段 1行目	外部擾乱（かく） ※赤枠のルビの誤り	外部擾乱（じょう）