

## 内部に水平ひび割れを有する道路橋床版の補修・補強とその効果

Repair and reinforcement of bridge deck having horizontal internal cracks

市川友範\*, 後藤昭彦\*\*, 石田信寿\*\*\*,  
松浦紀行\*\*\*\*, 佐藤貢一\*

Tomonori Ichikawa, Akihiko Goto, Nobutoshi Ishida,  
Noriyuki Matsuura, Kouichi Sato

\*奈良建設株式会社 (〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜 1-13-3)  
\*\*株式会社 高速道路総合技術研究所 (〒194-8505 東京都町田市忠生 1-4-1)  
\*\*\* 西日本高速道路株式会社 (〒651-1412 兵庫県西宮市下山口 145 番地)  
\*\*\*\*奈良建設株式会社 (〒531-0071 大阪府大阪市北区中津 1-10-2)

This report performs repair of the horizontal crack, and reinforcement of the slab, and it describes the result of having measured the amount of slab bending in order to check that effect.

The horizontal crack checked existence by the non-destructive test. Repair poured in the epoxy resin. Reinforcement of the slab adopted the undersurface increase thickness reinforcement construction method.

As a result of the bend amount measurement, the flexible volume decreased after construction. The slab rigidity was recovered by repair and reinforcement of the slab which the horizontal crack produced inside, and it was checked that fatigue durability improves.

*Key Words: crack, the slab rigidity, the bend amount*

キーワード: ひび割れ, 床版剛性, 下面増厚補強

### 1. はじめに

コンクリート床版は輪荷重の繰返し作用による広義の疲労により損傷が進行する。1方向のひび割れから始まり、2方向にひび割れが発生し漏水や遊離石灰が確認されるようになる。このような損傷が進行した床版の内部には水平ひび割れが生じ、床版の剛性を低下させることが近年指摘されている。

今回報告する中国自動車道荒神川橋は経年劣化による床版の損傷により舗装にポットホールが生じ、平成19年7月に超速硬コンクリートにより補修、同9月に同箇所の再劣化に対する緊急対策的にエポキシ樹脂の注入を行っている。この際に1mm以上の床版たわみが確認されている。

本橋は両側をトンネルで挟まれているため、日々の車線規制による上面劣化の部分補修は行われていたが、長期の車線規制を伴う上面からの補強対策は困難であった。そこで橋梁下面から対策が可能なポリマーセメントモルタルを使用した吹付による床版下面増厚工法を採用した。

また床版たわみの大きい箇所は増厚部と既設床版が一体化しないことが懸念されるため、調査を行い長期耐久性の向上のためエポキシ樹脂注入を行った。

今回の下面増厚工法は吹付け機械化施工により施工の合理化を図り、施工性、経済性、の向上を図った工法である。補強効果については参考文献<sup>1)2)3)</sup>で報告されている。

本報告では、たわみ量が増大した箇所に水平ひび割れが存在することを非破壊検査法により確認し、エポキシ樹脂注入による補修を行い、床版の補強は下面増厚補強工法により行い、補修・補強後、たわみ量計測を行い効果を確認した。

## 2. 対象橋梁・補修履歴

荒神川橋の主要緒元を表-1に、補修履歴を表-2に、上り線一般図を図-1に、示す。

表-1 橋梁緒元

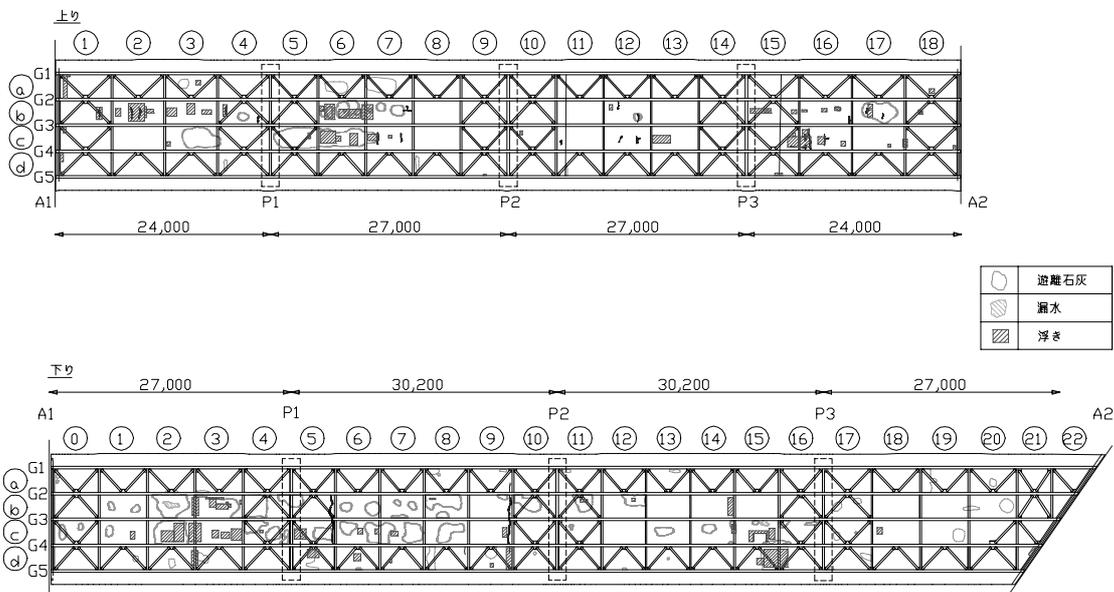
構造形式		4 径間連続非合成鉄桁橋
橋長	上り線	102.8m
	下り線	115.3m
支間	上り線	24+27+27+24m
	下り線	27+30.2+30.2+27m
幅員		13.5m
床版	材質	コンクリート
	支間	2,950mm
	床版厚	200mm

表-2 補修履歴

H19.7	舗装表面のポットホールが頻発 その後、樹脂注入が数箇所実施されるが内容詳細不明
H20.5	橋梁全体におけるたわみ分布を把握→床版たわみ計測
H21.10,11	集中工事→床版上面より浮き箇所をウォータージェットではつり、ジェットコンクリートで補修
H22.3	床版状況調査（損傷範囲、水平ひび割れの有無） →ひび割れ調査、衝撃弾性波法（CTM）調査、コア削孔による壁面観察
H22.3~5	樹脂注入→床版下面より樹脂注入による補修
H22.5	床版状況調査（樹脂注入状況の確認） →衝撃弾性波法（CTM）調査
	たわみ量測定調査（樹脂注入による効果の確認）
H22.5~7	下面増厚補強工（ポリマセメントによる吹付け）
H22.7	たわみ量測定調査（増厚補強による効果の確認）

□：今回の実施対象

平面図



断面図

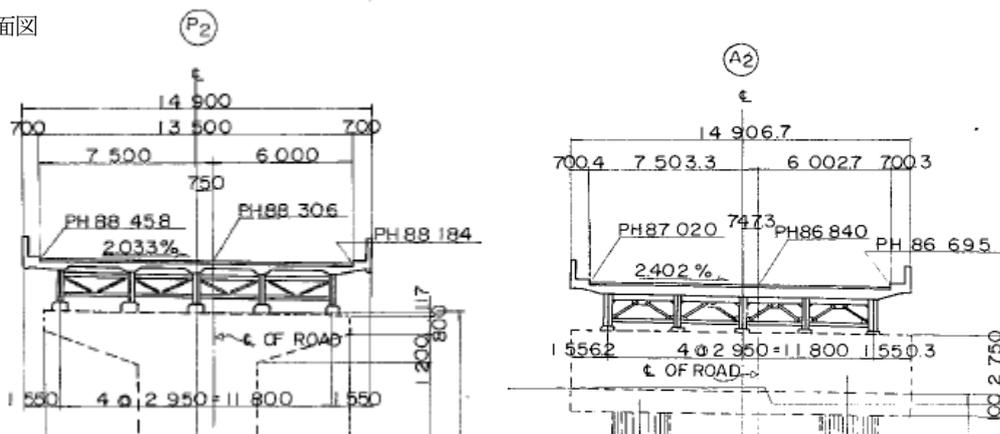
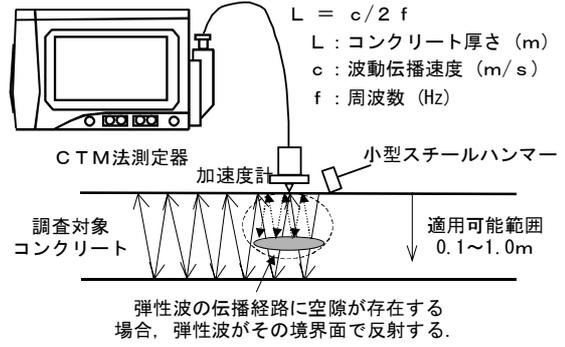
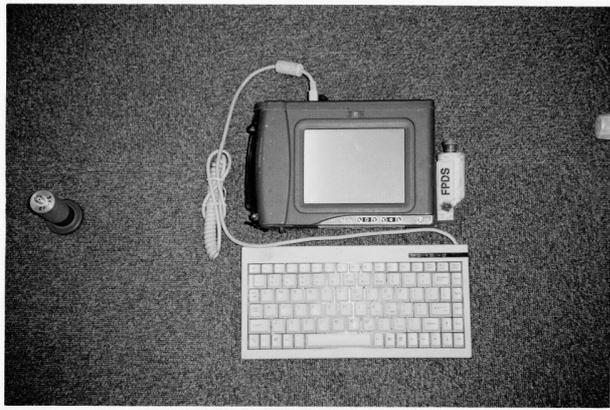
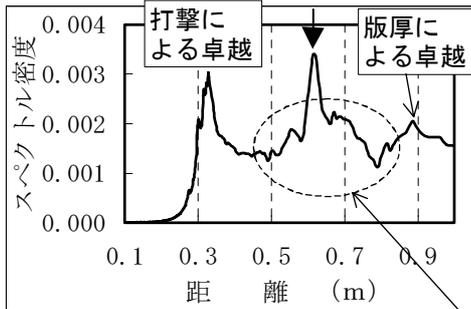


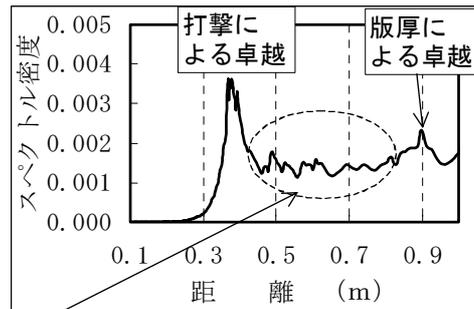
図-1 一般図及び損傷図



内部空隙(65cm付近)でスペクトル密度の卓越が顕著に現れる



スペクトル密度の卓越がみられない



版厚までの範囲において、欠陥部(内部空隙)による卓越があるか否かを確認する。

図-2 測定器と測定原理

### 3. 水平ひび割れの調査と補修箇所

過去のたわみ量調査により局部的に1mmを超えるたわみ量が計測されていた。計測された範囲を中心に衝撃弾性波法により床版内部調査を行い、水平ひび割れの有無を確認した。

衝撃弾性波法 (CTM) は、床版表面に加速度計を押し当て、その近傍を小型スチールハンマーで打撃を与えることにより発生する衝撃弾性波の繰返し反射波を測定器内で高速フーリエ変換 (FFT) 処理し、材質等によって決まる伝播速度を与えることにより、周波数を長さに換算したものとしてディスプレイに表示するものである (図-2)。さらに本調査では床版内部に欠陥が確認された箇所のコア抜きを行い、床版内部の状況のモニタリングも行った。

CTMによる調査の結果、上り線4パネル・下り線10パネルで、床版内の水平ひびわれが推定できる波形が観察された。床版下面に顕著な損傷が確認できないパネルにおいても、水平ひびわれの存在が検出された。また、上り線2パネル2箇所、下り線6パネル9箇所でコア削孔を行った結果、上り線では全て、下り線では5パネル6箇所においてひびわれが確認できた。これはCTMによるものと同様の傾向であり、水平ひびわれは圧縮鉄筋

近傍 (かぶり 30mm) に生じているケースが多く確認された。

図-3に水平ひび割れと上面側のポットホールに浮きが生じていることが確認され、樹脂の注入処置を実施した箇所を示す。

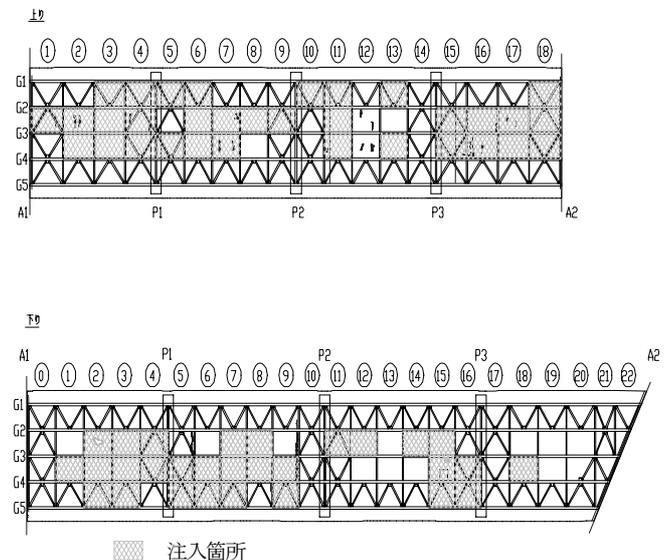


図-3 樹脂注入箇所

#### 4. 水平ひび割れの補修

水平ひび割れの樹脂注入は交通開放下で床版下面から施工を実施した。径φ28mm、深さ150mmの注入孔を水平ひび割れが生じている範囲に1m格子で削孔した。この注入孔にプラグを取り付け、水によりひび割れ内部の洗浄を行った。圧を0.05MPa～0.1MPaに設定し、舗装面のふくれに注意しながら水の汚れが少なくなるまで洗浄を行った（写真－1）。洗浄したひび割れに水中硬化型エポキシ樹脂を注入しひび割れ内部を充填した。（写真－2）

施工完了後、衝撃弾性波法（CTM）による調査を行い注入が問題なくできていることを確認した。



写真－1 水平ひび割れ洗浄状況



写真－2 水平ひび割れ樹脂注入状況

#### 5. 下面増厚補強工

下面増厚工法の施工手順を図－4に、状況を写真－3～6に示す。

コンクリート表面処理工はウォータージェット・小型ブレーカを併用し床版下面の脆弱層を取り除いた。

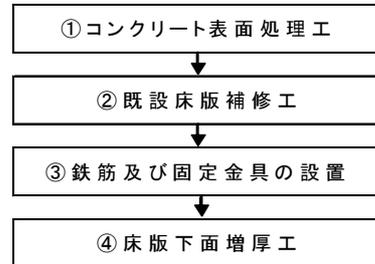
補強鉄筋はD10筋を配置し、主桁上部のハンチ端まで配置しコンクリートアンカーで固定した（図－5）。

ポリマーセメントモルタル吹付けではコンクリート表面にプライマーを噴霧し、湿式吹付け工法により吹付け下面増厚した。

補強構造では補強部分と既設床版の一体化を図るこ

とが補強効果を発揮させる条件となる。施工は本線上の交通規制をせず実施した。交通振動下で床版下面に吹付け増厚施工する場合、床版のたわみ量や交通振動で既設床版と増厚部分との一体性が図れるかが問題となる。本工事では、交通振動下で床版下面に吹付け増厚施工しても十分な付着強度を発揮でき、一体化することが確認されている材料と施工方法を選定した。

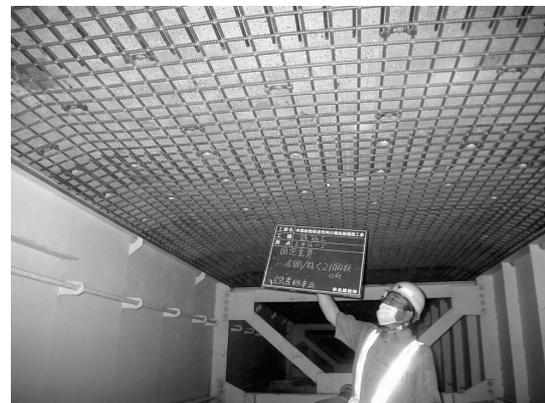
交通振動下での一体性は参考文献<sup>2)</sup>において報告されている。



図－4 施工手順



写真－3 ウォータージェット施工状況



写真－4 補強筋設置状況



写真-5 PCM吹付けによる増厚状況



写真-6 PCM増厚完了

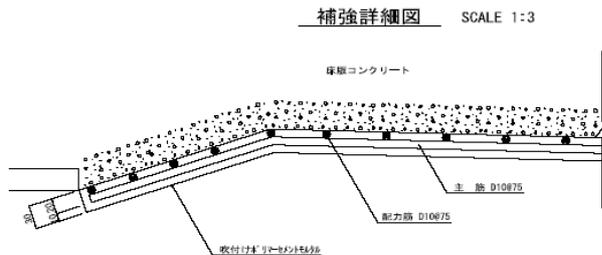


図-5 下面増厚工法の標準断面

施工環境は足場や主桁・横桁等を吹付け材料の飛散から防護するためシート養生した。そのため施工中および養生期間中の環境は外気からシート遮断され、比較的湿潤状態と保温状態が保たれている状況であった。施工中に実施したPCMの品質管理試験では付着強度試験および圧縮強度試験を実施し、材齢7日強度で所定の圧縮強度と付着強度が発揮された(表-3)。

表-3 PCM強度試験結果

	強度 ( $\sigma$ ) N/mm <sup>2</sup>	規格値 N/mm <sup>2</sup>	試験法
圧縮強度	37.2	24.0	JHS432
付着強度	2.53	1.7	建研式

## 6. たわみ量の測定

### 6.1 測定方法

測定は一般車を対象として連続測定を行い振幅の頻度分析を行った。

活荷重載荷時には、床版たわみとともに主桁のたわみが生じる。したがって、床版のたわみ量を求めるためには主桁たわみ量をキャンセルする必要がある。このため、今回の測定は図-6に示したとおり隣接する主桁間にアルミ製の不動梁を渡し、その不動梁と床版の相対距離を高感度変位計により測定した。不動梁はマグネットベースにより主桁に固定した。このとき、主桁間のたわみ差によって不動梁に変形が生じないように両端をヒンジ構造とした。

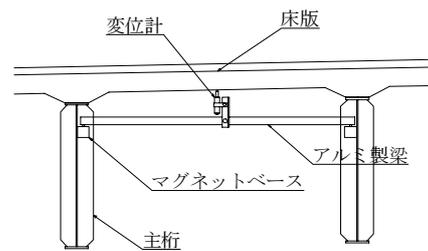


図-6 不動梁を利用した床版たわみ測定

### 6.2 測定システム

本計測では10分間の応答変形測定と24時間連続測定による方法で計測を行った。

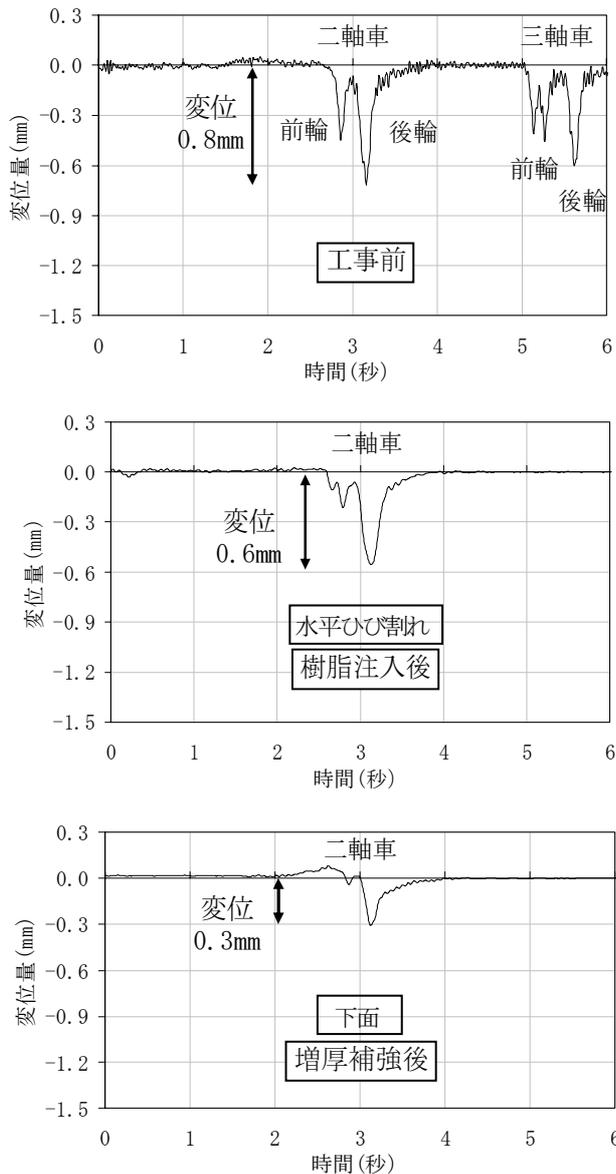
10分間の移動測定は変位計からの出力信号を計測用パソコンに取り込んだ応答波形から正常なたわみ波形が測定できていることを確認した。

24時間連続測定は1分間ごとの最大変位、最小変位、ゼロ点を記録する方法で行った。なお、床版たわみは輪荷重による影響が大きく、現象が非常に早いため0.01秒でサンプリングを行い最大、最小変位量を求めている。

### 6.3 応答波形測定結果 (10 分間移動測定)

たわみ変位の振幅頻度分析を行いその最大値ならびに過積載車の影響を除いた平均的なたわみ量を評価した。

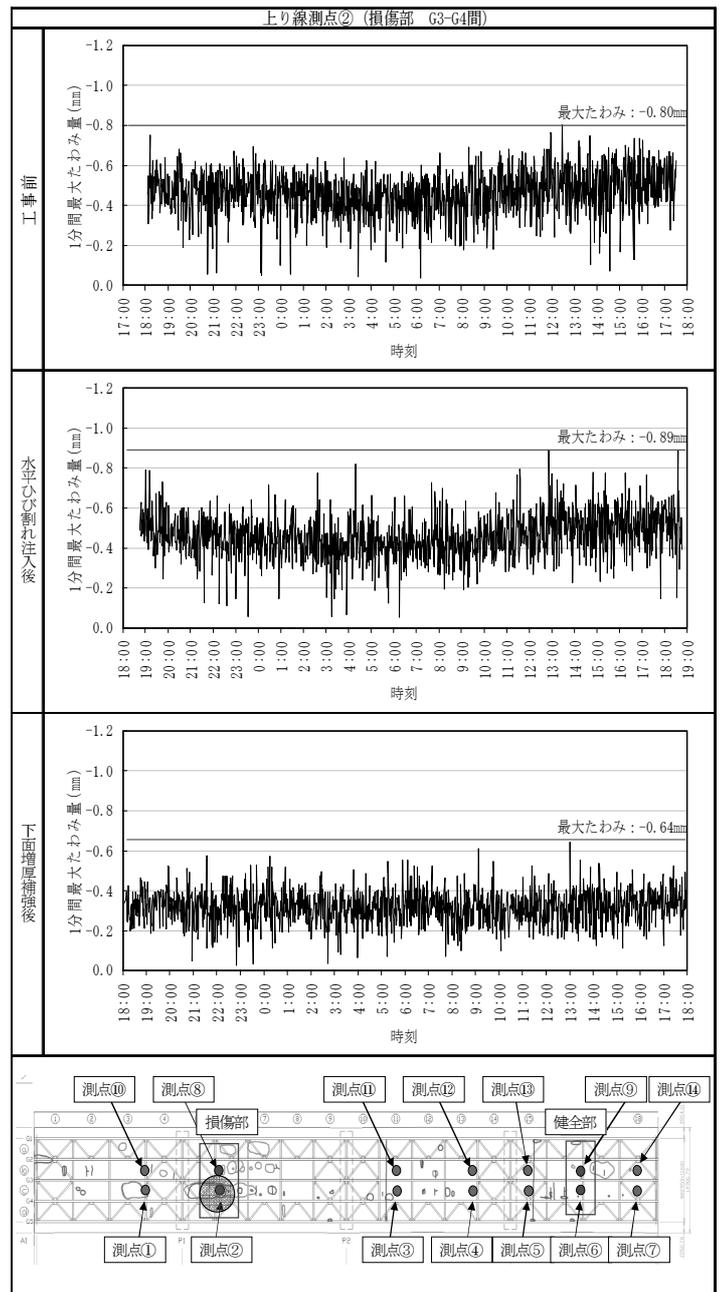
最大たわみが発生した時の波形を補強前、水平ひび割れ注入後、下面増厚補強後で比較した結果の代表例を図一七に示す。波形では二軸車が通過した直後に前輪がタンデム軸の三軸車が通過していることがわかる。たわみ変位はこのように車両が存在しない状態と車輪通過時のピークの差を軸ごとに読み取ったものである。また、振幅は小さいものの変位波形には若干の振動成分が含まれている。この振動成分は主桁の振動のほか、不動梁の振動成分が含まれていると考えられる。上り線測点⑤では補強前に最大 0.8mm の相対たわみ量が計測されたが、水平ひび割れの注入後には 0.6mm となり、下面増厚補強後には 0.3mm に低下した。



図一七 たわみ波形の変化

### 6.4 応答波形測定結果 (24 時間連続測定)

連続測定では測定を開始してから 1 分ごとに最大値、最小値および中位値 (ゼロ点) を計測して記録している。図一八に、最大値と中位値の差より得られた正たわみの経時変化の代表例 (上り線測点②) を示す。これより、たわみの大きさは 24 時間をとおしてみると、変動の中央値が補強前 0.5mm 程度であったものが、水平ひび割れの注入後 0.45mm 程度となり、下面増厚補強後には 0.3mm 程度に低減していることが分かる。また、変動の振幅も補強前後で比較すると低減していることが明らかである。このことから、本橋の床版は水平ひび割れ注入、下面増厚補強、上面劣化部補修により床版剛性が向上したことが分かる。



図一八 連続測定結果

## 7. まとめ

工事前の床版は損傷ランクで評価すると部分的には打替えを要する状況であった。床版のたわみ量の測定や衝撃弾性波法による損傷調査により、床版内部に水平ひび割れや上面側のポットホールは補修部分に浮きが生じていることが確認された。床版に通常確認される二方向ひび割れに加え、これらの内部ひび割れにより床版剛性が低下し、たわみ量が増大することが分かった。

水平ひび割れの樹脂注入および床版下面の増厚補強により、床版たわみ量は低減し、工事前に懸念された1mmを越えるような比較的大きな床版たわみの発生も確認されていない。これより、今回の対策により、当初の目的どおり床版たわみの抑制が実現されており、妥当性が得られたものといえる。

今回の荒神川橋床版のように床版内部に水平ひび割れが生じ、剛性が低下することにより大きなたわみ量が生じ、損傷が進行している床版と判断される事例が他にもあるように考えられる。それらの床版では非破壊検査等を用いて水平ひび割れなどの内部欠陥の有無を確認することが必要と考えられる。水平ひび割れなどの内部欠陥が生じている場合は樹脂注入による補修工法と下面増厚工法を併用することにより、床版剛性は向上し耐久性が保持されるようになるものといえる。

本工事に先立ち舗装にポットホールが生じ床版上面

が損傷している箇所は可能な限り超速硬セメントモルタルで断面復旧し、橋面防水を実施している。今回実施した床版下面からの対策工法は交通解放下で施工ができる工法であるが、下面からの補強工法であるため床版上面からの漏水や浸透水があると早期劣化することが懸念される。そのため、橋面側に防水等の処置を十分実施することが必要であるものと考えられる。

今回のような補修・補強を行っても、今後問題が起これないとは言えない。点検計画を立て（工事完了後、2年：初期点検、5年：定期点検、日常点検等）早期に異常が発見できる体制を作ることが必要と考える。

## 参考文献

- 1) 下面増厚した RC 床版のせん断補強効果と疲労耐久性の評価に関する実験的研究，土木学会論文集 Vol63, No.4, pp768～779（平成 19 年 7 月）
- 2) 吹付け下面増厚補強した道路橋 RC 床版の補強効果：コンクリート工学年次論文報告集 Vol22, No3, pp517～522（2000.6）
- 3) 中央道 仙川高架橋の CFRP グリッドを用いた RC 床版下面増厚補強：コンクリート工学 Vol44, No.4（2006.4）