

鋼板接着補強済 RC 床版の下面修繕工法の確立に向けたパイロット工事の取組み

阪神高速道路(株)管理本部管理企画部保全技術課 笹脇 壮太
阪神高速道路(株)管理本部管理企画部保全技術課 青井 一
阪神高速道路(株)計画部調査課 岩里 泰幸
阪神高速道路(株)管理本部大阪保全部保全事業課 井垣 芽生

要 旨

阪神高速道路が2015年度に着手した大規模更新・修繕事業において、昭和48年より前の道路橋示方書で設計されたRC床版で施工後に鋼板接着補強されたもののうち、耐疲労性の低下が懸念されるものに対し、その程度に応じて鋼板の取替・部分補強等の対策を行うこととしている。その中でも特に鋼板の取替については、施工性や施工中の安全性の確保の課題がある。今回、本格的な工事の実施に先行して、堺線の3径間を対象にパイロット工事と位置付けた鋼板接着補強済RC床版の鋼板取替を実施した。本稿は、パイロット工事にて確認した鋼板取替の施工性や調査結果について報告し、今後の方針について考察した。

キーワード:RC 床版, 鋼板接着補強, 鋼板取替, パイロット工事

はじめに

阪神高速道路が 2015 年度に着手した大規模更新・修繕事業において、RC 床版に対しては昭和48年より前の道路橋示方書で設計され鋼板接着補強されたもののうち、疲労耐久性の低下が懸念されるものに対し、その程度に応じて取替・部分補強・予防保全等の対策を行うこととしている。

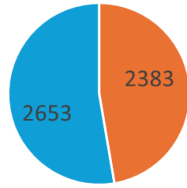
また、疲労耐久性の著しい低下が懸念されるRC床版は、取替を行うこととし、これまでに15号堺線玉出入口で6径間、12号守口線で1径間の床版取替を実施している。一方、床版自体の取替を行うほど耐疲労性が低くないが、損傷が顕在化し、そのままでは長期的に健全性が維持できないと考えられるRC床版に対しては、鋼板取替、添

接板の追加、鋼板接着樹脂の再注入等の修繕（以下、「大規模修繕」という）を行うことになる。

これらの対策の中でも、特に鋼板取替については鋼板取替時における床版の抜け落ち等が懸念される。また、阪神高速道路におけるRC床版は、約5,000径間（約15万パネル）存在し、そのなかでも鋼板接着補強されたRC床版は約2,400径間（約7万パネル）となる。大規模修繕対象となっている径間のうち、1,700径間以上においてRC床版下面の補強鋼板に不良音や漏水といった損傷がみられており効率的な施工も求められる（図-1）。

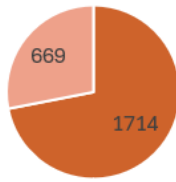
このため、全面的な工事の実施に先立って施工手順および対策内容を確認するために、3径間（竣工年度：1969年、鋼板接着年度：1972年～1993年）を対象にパイロット工事と位置付け実施した鋼板接着補強済RC床版の鋼板取替工事に

RC床版における鋼板接着の有無（径間）



■ 鋼板接着あり ■ 鋼板接着なし

鋼板接着済床版における大規模修繕対象（径間）



■ 大規模修繕対象 ■ 修繕対象外

図-1 阪神高速道路における RC 床版の内訳

表-1 修繕方法選定表

		工事点検					OK
		漏水系損傷 (Aランク)	鋼板変形 (顕著なもの)	不良音 (50%程度以上 / パネル)	その他損傷 (50%程度未満 / パネル)	その他損傷 (アンカー異常、シーリングはく離、桁からのずれ (挙動あり))	
補強構造調査	ハンチ鋼板なし	補強鋼板貼り替え (断面修復, ひび割れ注入)					
	添接板なし	補強鋼板貼り替え (断面修復, ひび割れ注入)		再注入	添接板追加	修繕	別途検討
	OK						END



写真-1 下面から撮影した補強鋼板の損傷の例（腐食）

関する施工性や調査結果について報告することとし、これらを反映した今後の方針を検討した。

1. RC 床版大規模修繕の概要

RC 床版大規模修繕工事の修繕方法としては表-1 に従い方針を決定するものとし、現在想定している調査・施工内容は以下を考えている。

まず鋼板取替時には対策の選定および補強鋼板を撤去する場合の安全性の確認を目的として、補強鋼板撤去前の調査を実施する。

次に鋼板撤去前の調査結果から補強鋼板の取替が必要と判断した場合、1 枚単位（以下、「パネル」という）で補強鋼板を撤去した後、RC 床版本体の健全性について確認し、新設の補強鋼板を設置する。

さらに補強鋼板撤去後の調査で、健全性が低下しており耐疲労性が低いと判断された場合は今後の床版取替を検討することとしている。

また、補強鋼板取替は以下の損傷や構造が確認された場合に分けて実施する。

1-1 補強鋼板の腐食

鋼板に合計 0.2 m² 以上の腐食があり、床版機能を喪失する恐れがある損傷（写真-1）に対しては、再塗装等の補修では損傷の進行の抑制にはなるが、性能の回復が見込めないこと、また漏水による RC 床版本体の損傷も疑われることから、既設の補強鋼板を撤去し、RC 床版本体の健全性を確認したうえで、新しい補強鋼板に取替える。

1-2 補強鋼板の著しい浮き

補強鋼板の浮きのみの場合でも浮きの範囲が広い（全体の 50%以上の範囲で浮きが発生している）場合には、樹脂の再注入のみでは確実に性能が回復しない可能性が高いこと、また RC 床版本体が損傷している可能性もあることから、既設の補強鋼板を撤去し、RC 床版本体の健全性を確認したうえで、新しい補強鋼板に取替える。

1-3 旧基準による補強構造

1980 年以降の補強構造は、図-2 に示すとおり

補強鋼板同士の境界部は添接板で連結し、また床版端部のハンチ部にも曲げ加工した補強鋼板を設置する構造となっている。

一方で、1979年以前に設置された旧基準（昭和46年以前）による補強構造は、添接板やハンチ部の補強鋼板がないものがある。これらのうち、ハンチ部に補強鋼板がないもの（図-2①）については、ハンチ部のみに新たな補強鋼板を追加した場合、境界部が弱点となることが懸念されるため、補強鋼板の取替えを検討している。

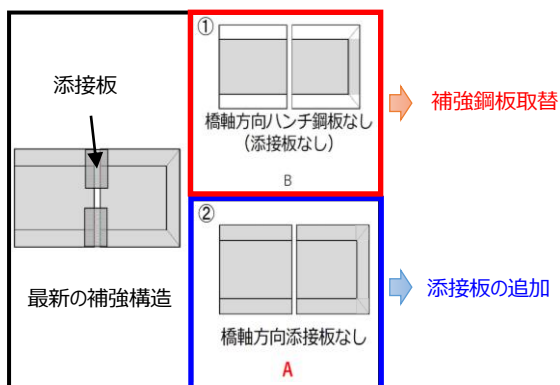


図-2 最新の補強構造と旧基準による補強構造の例

2. パイロット工事の施工

2-1 施工概要

パイロット工事の実施フローを図-3に示す。表-1に示したとおりRC床版大規模修繕工事では損傷内容等に応じて補強鋼板取替の実施の有無を判断することを想定しているが、本パイロット工事では、課題の多い鋼板取替の施工および補強鋼板撤去後における調査結果に関するデータを可能な限り多く得ることを目的に、対象径間全ての補強鋼板を取替えることとした。

また、補強鋼板取替の課題の一つとして、補強鋼板撤去時の安全性の確保と効率的な施工の両立が挙げられることから、施工手順の安全対策を検討した¹⁾。

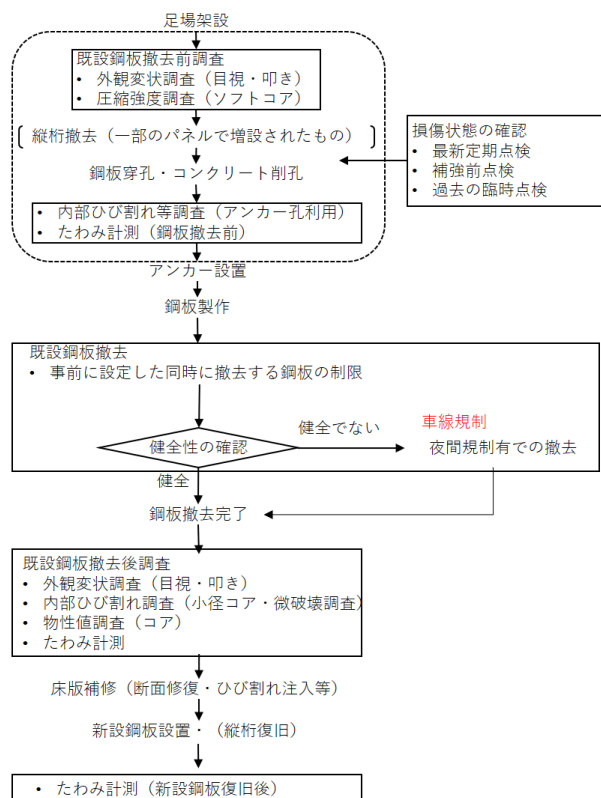


図-3 パイロット工事の実施フロー

2-2 鋼板撤去時の安全対策

(1) 先行アンカー打設・鋼板製作

補強鋼板を撤去することで耐荷性能が低下する状態を極力短い期間とするために、既設の補強鋼板撤去前にアンカー設置および新設補強鋼板の製作を行った。本手法では鋼板撤去前にアンカー工を行うため、既設の鋼板への孔明が必要である。鋼板への孔明の径はφ50とし、新設鋼板を仮止めするアンカーφ16削孔時に床版内部の鉄筋と干渉した際には、φ50の内側で削孔位置を変更できるように施工性に配慮した。また、これによって補強鋼板を撤去した際にRC床版本体が著しく損傷していた場合に、速やかに新設補強鋼板を設置し安全性を確保することができる。

(2) 同時に撤去する鋼板の制約

鋼板を1枚撤去した場合に比べ、複数枚連続的に撤去した場合の方が発生する応力が大きいことが考えられるため、隣り合う鋼板を同時撤去せず、できるだけ車線規制を実施せずに施工した。

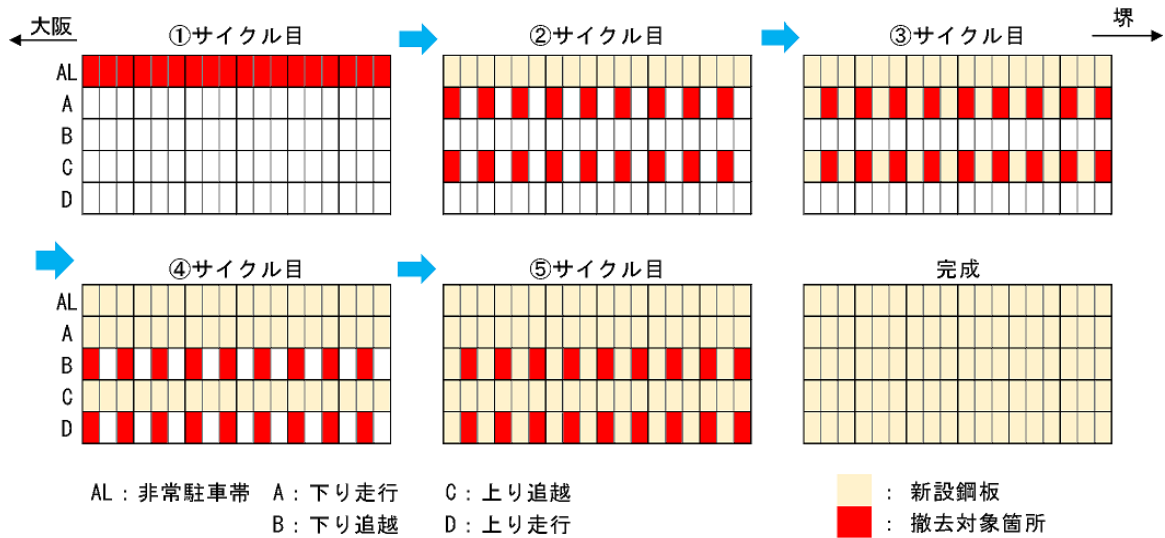


図-4 パイロット工事の施工サイクル (径間 B)

		パネル無し					
		1993年(平成5年)		1993年(平成5年)		1993年(平成5年)	
AL	C	0%	C 添接あり	C 添接あり	C 添接あり	C 添接あり	C 添接あり
G1	C	52% → 健全	47% → 健全	29% → 健全	32% → 健全	40% → 健全	58% → 健全
A	C	29.7N/mm ²	(41.7)N/mm ²	26.4N/mm ²	34.0N/mm ²	34.0N/mm ²	34.0N/mm ²
G2	C	26% → 健全	26% → 健全	26% → 健全	30% → 健全	47% → 健全	54% → 健全
B	C	23.2N/mm ²	31.0(32.1)N/mm ²	30.6N/mm ²	30.6N/mm ²	30.6N/mm ²	30.6N/mm ²
G3	C	13% → 健全	3% → 健全	10% → 健全	3% → 健全	1% → 健全	16% → 健全
C	C	40.8N/mm ²	48.2N/mm ²	30.7N/mm ²	(23.1)N/mm ²	(23.1)N/mm ²	(23.1)N/mm ²
G4	C	47% → 健全	43% → 健全	52% → 健全	48% → 健全	37% → 健全	52% → 健全
D	C	36.6N/mm ²	(31.5)N/mm ²	40.1N/mm ²	40.1N/mm ²	40.1N/mm ²	42.7N/mm ²
G5	C	0.414 → -0.405	-0.676 → -0.584 → -0.482	-0.661 → -0.628 → -0.440	-0.701 → -0.661 → -0.481	-0.652 → -0.574	-0.488 → -0.495
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S7
	1	2	3	4	5	6	6

高速規制ありの鋼板撤去パネル(計 10 パネル)

3サイクル目

A2 たわみ計測値 (レーン最大)、水平ひび割れの疑い

A4 物性値、水平ひび割れの疑い

C2 たわみ計測値、水平ひび割れの疑い

C3 物性値、水平ひび割れの疑い

4サイクル目

B2 たわみ計測値 (レーン2番目)

B4 たわみ計測値 (レーン最大)

B6 その他損傷の疑い

D3 Aランク、水平ひび割れの疑い

D4 Aランク、たわみ計測値 (レーン最大)

D6 その他損傷の疑い

【凡例】

鋼板接着年度

補修前の損傷ランク・添接、縦桁の有無

鋼板損傷割合 → 床板状況

通常コア圧縮強度 (ソフトコア強度)

撤去前→撤去後→復旧後たわみ値 (mm)

※復旧後たわみ値については実施分のみ記載

※A~OKのランクは鋼板補強以前の床板点検結果より

図-5 径間 A の高速規制ありでの鋼板撤去パネルの選定

(3) 鋼板撤去時の本線の車線規制

今回のパイロット工事では、図-4 に示すサイクルで施工を実施した。1 サイクル目は非常駐車帯での施工性および千鳥施工の検証 (昼間施工・車線規制なし)、2 サイクル目は本線において夜間車線規制ありで活荷重が載荷されない状態で鋼板を撤去した。

3・4 サイクル目については図-5 で示すような損傷程度が大きい恐れがあると判断した 10 パネ

ル分の鋼板を夜間車線規制ありで撤去した。夜間で撤去した鋼板の床版部が健全と判断したため、残りの鋼板は昼間の車線規制なしで撤去した。なお本工事では荷重車 (20 t) を載荷させ、臨場確認にて挙動を確認し、異常がなければ健全と判断した。

夜間車線規制ありと判断した鋼板は図-5 に示すようにパネルごとに鋼板接着年度・鋼板補強前の損傷ランク・たわみ値等を整理し、レーンごと

に最大たわみ値、構造物に対する損傷状況の判定を示す損傷ランクがAランク、水平ひび割れの疑いあり等が含まれるものを選定した。

5 サイクル目はこれまでのサイクルで確認した床版状態や調査結果から床版が十分に健全であると判断し、全て昼間の車線規制なしで鋼板を撤去した。

2-3 現地調査

鋼板撤去前調査による判断の検証、今後床版取替の必要性の判断材料を目的とし、補強鋼板撤去前後にRC床版本体の詳細調査を実施した。調査内容は下記のとおりである。

(1) 外観変状調査

既設鋼板および床版の損傷状況を確認することを目的として、近接目視・打音調査による外観変状調査を実施した。

(2) たわみ計測

様々な要因の影響を受ける床版の耐荷性能を総合的に評価できる手法として、たわみ計測を実施した。ただし、たわみ計測は補強鋼板撤去前に加え撤去後の耐荷性能そのものを評価するため、鋼板撤去後および鋼板復旧後にも行い、結果を比較検証した。

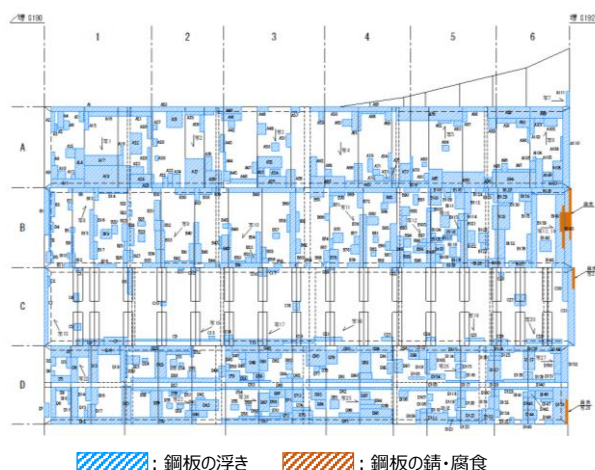
(3) 内部ひび割れ調査（微破壊調査）

内部損傷の確認は補強鋼板撤去前に新設補強鋼板用に新たに開けるアンカー孔に CCD カメラを挿入して実施することとした。しかし、アンカー孔の深さまでしか内部の状況を確認できないため、鋼板撤去後に改めて小型内視鏡を用いて小径コア（φ25）による内部ひび割れ調査を実施した。

3. パイロット工事の調査結果

3-1 鋼板撤去前外観変状調査結果

図-6 に外観変状調査の結果を示す。補強を行った時期が場所によって異なっており、Cレーンは他のレーンに比べて補強をしたのが新しく、添接板が設置されておりプライマー処理を施してい



	対象面積	浮き面積	浮き率	補強年
Aレーン	86.4m ²	33.3m ²	38.5%	1978年
Bレーン	86.4m ²	30.1m ²	34.8%	1976年
Cレーン	86.4m ²	6.8m ²	7.9%	1993年（添接板有）
Dレーン	86.4m ²	45.9m ²	45.9%	1974～1978年

図-6 鋼板撤去前外観変状調査の結果（径間 A）

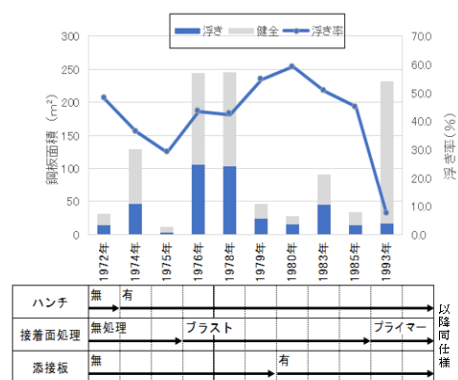


図-7 鋼板設置年度別浮き率（3径間）

る。損傷も他のレーンに比べて明らかに鋼板の浮きが少ない。他の2径間についても概ね同様の傾向であった。また、鋼板接着補強された年度別に浮き率を整理した結果を図-7 に示す。1993年の補強については、プライマーが施工されていない1985年以前の補強に対して浮き率は低かった。また、1985年以前では施工年度による浮き率に大きな差は見られないため、経年年数の違いによるものでなく、特に接着面のプライマー処理が浮きの発生や進展の抑制に対して有効に機能していると考えられる。

3-2 内部損傷調査結果

今回の新設鋼板用のアンカー孔を利用した調査では、床版内部のマイクロクラックやジャンカといった損傷が確認できた。床版内部の状態は鮮明に確認できるが、直視のみであるため、ひび割れ等を正確に検出するのは困難であった（写真-2）。しかし、正確に視認できるようなひび割れや損傷があった場合には有効である可能性がある。

3-3 鋼板撤去後外観変状調査結果

撤去した鋼板の接着面の状況を写真-3(a)～(c)に示す。本工事の対象径間は、1972年～1993年に鋼板接着補強されているため、鋼板接着面の処理方法は、プライマー処理・ブラスト処理・無処理の3パターンがある。ブラスト処理・無処理の鋼板は、写真-3(b)、(c)のように接着面が広範囲にわたって腐食していた。鋼板接着され2008年に橋面防水工が施工されるまでの間、防水処理が不十分で鋼板上面に水分が供給された可能性や、施工時の結露等の影響により付着阻害が生じてい



写真-2 全周ひび割れ（内部損傷調査）

た可能性が考えられる。鋼板の接着面が腐食している場合、浮きが生じている箇所にエポキシ樹脂を注入してもRC床版と十分な合成効果が得られない可能性がある。一方でプライマー処理された鋼板は、腐食がほとんど生じていなかった。鋼板表面の処理方法の違いによる鋼板撤去の容易さには違いはなかった。

鋼板撤去後のRC床版状況を写真-3(d)～(f)に示す。補修を必要とする床版下面の損傷（浮き・はく離・鉄筋露出等）が確認されたものは、床版面積の4%程度であり、確認されたひび割れは全て0.1mm以下で補修を要しなかった。鋼板接着時期、たわみ計測値による違いと床版下面の損傷状態に相関はなかった。また、鋼板接着前にAランク判定されていた床版もRC床版下面の外観性状に問題がなく、事前に実施した圧縮強度やたわみ計測から連続版として健全であることが確認された。

鋼板補強される前に生じていたと推定されるひび割れは、鋼板接着時に注入したエポキシ樹脂が充填されていることが確認されたことや補修を必要とするひび割れが検出されなかったことから鋼板接着補強の有効性が確認できた。

3-4 たわみ計測結果

鋼板撤去前後のたわみ値の変化を確認するため、鋼板撤去前後・新設鋼板復旧後に総重量20tの荷

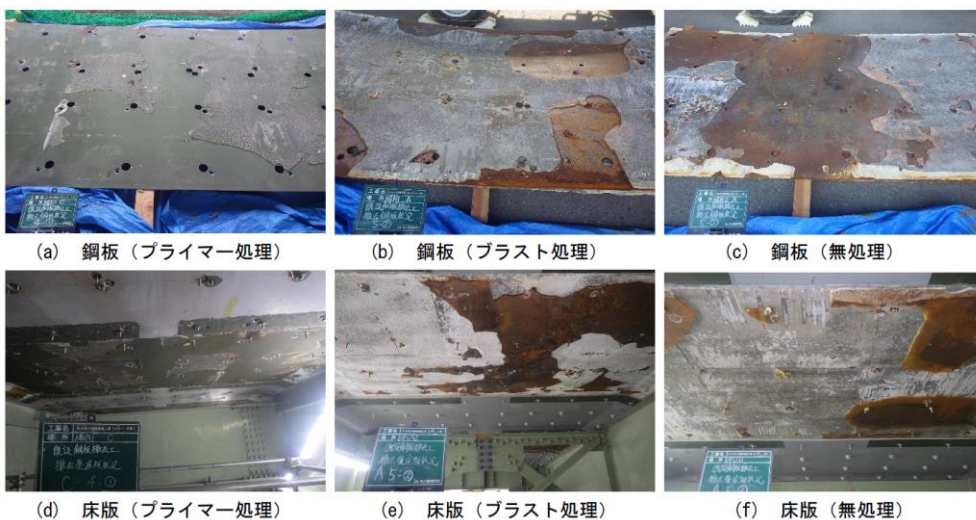


写真-3 床版撤去後の状況

重車による動的載荷により、非常駐車帯を除く全パネルで車両通過時の相対的なたわみ値を計測した。各径間Bレーンの温度補正をしたたわみ計測結果を図-8に示す。他の3レーンについても概ね同様の傾向であった。

鋼板撤去後は、隣接する既設または新設鋼板がある状態で無補強床版のたわみを計測した。図-8より、鋼板の撤去前後で、床版のたわみ値は0.1～0.2 mm程度増加し、各パネルほぼ一律に増加していることがわかる。また他工事の別の床版における鋼板補強前の計測値は2.0 mm程度であり²⁾、本施工における鋼板を1枚おきに撤去した場合の計測値は0.3～0.9 mmと50%以下の値を確認した。これにより鋼板を1枚おきに撤去したことで、たわみの増加を大きく抑制できたと言える。これは隣接する補強された鋼板が活荷重の多くを分担し、無補強部分での分担率が低くなっているためと考えられる。

鋼板取替後は、おおむね撤去前の状態まで値が小さくなった。またたわみと相関があると想定していた図-5に示す鋼板接着年度や補強前の損傷ランクには、明確な傾向や相関は見られなかった。

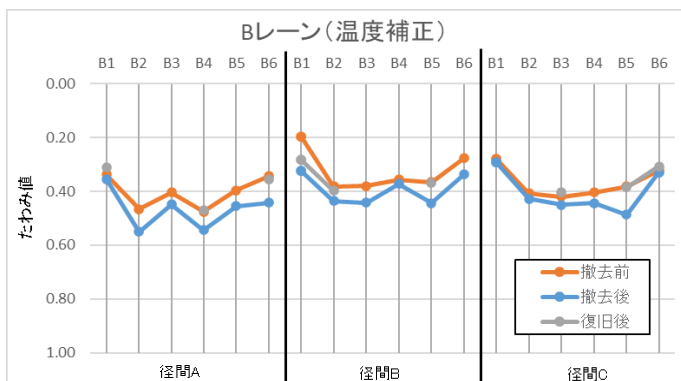


図-8 たわみ計測結果 (Bレーン)

4. まとめ

本パイロット工事では、鋼板取替施工性の確認（鋼板撤去時の安全性の確保、施工性・手順の確認）を行った。また、施工メニュー決定（鋼板取替の有無）や規制の有無の判断のための調査を実

施した。本検討で得られた知見を以下に示す。

- ①旧基準（昭和48年の道路橋示方書より前の基準）で設計されたRC床版は、現行基準で設計された床版に比べ、床版厚、鉄筋量、床版支間等の面で、耐疲労性に劣る構造となっているが、今回のパイロット工事の対象とした鋼板接着RC床版では、RC床版本体の耐疲労性に影響を与えるような外観変状や物性の低下は確認されなかった。
- ②RC床版下面の状態は健全であり、ひび割れの発生も少なかったことから、過去に実施された鋼板接着補強の有効性を確認できた。
- ③鋼板の接着面が腐食している場合、浮きが生じている箇所にエポキシ樹脂を注入してもRC床版と十分な合成効果が得られない可能性がある。このことから今後の施工においては浮きが少ない部分であっても腐食している鋼板については鋼板取替も補修方法の候補の一つとして検討する。
- ④鋼板の表面処理方法と浮きの範囲はある程度の相関があると考えられ、プライマー処理された鋼板は腐食がほとんど生じていなかった。
- ⑤鋼板接着年度、補強前の損傷ランク、鋼板損傷割合、鋼板撤去前調査である物性値調査や床版たわみ計測等より、健全と判断されたパネルについては3サイクル目以降、車線規制を行わず交通開放下で鋼板撤去を実施したが、問題なく施工できた。
- ⑥鋼板を千鳥で撤去することで、たわみを小さく抑えることができ、施工中の安全性を確認できた。

おわりに

今後、1,500径間以上のRC床版下面補強鋼板の大規模修繕工事を進めていく中で、本稿で得られた知見をふまえ、以下の点を考慮し、選定表や施工方法を更新していく予定である。

- ①従来、定期点検ではパネル単位で損傷データを

蓄積しており、本パイロット工事においてもそれらに基づいて取替の可否を判定した。鋼板の修繕という観点から考えると鋼板単位での判定のほうがより丁寧な補修が可能となる可能性がある。調査方法とデータの整理方法を見直す必要がある。

- ②本パイロット工事では床版下面の状態が健全であったことから、補強鋼板の外表面視結果ならびにその他の調査結果と損傷状態があまりリンクしなかった。本パイロット工事や今後発注される大規模修繕工事の調査結果を整理し、床版自体の損傷度とリンクする、より平易で簡便な調査方法および劣化指標を模索する必要がある。上記のことに注意し、調査方法の効率化や簡略

化を進め、大規模修繕工事のコスト削減、省力化につなげることを目指す。

謝辞：本工事の実施にあたり、ご理解、ご協力頂きました地元住民の皆さまをはじめ関係機関の皆さま、ならびに共同で工事を行ったショーボンド建設(株)の皆さまに改めて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 松嶋秀記, 田ノ上誠次, 鈴木英之, 伊佐政晃: 報告 鋼板接着で補強された RC 床版の補強鋼板取替えに関する検討, コンクリート工学年次大会, 2022.
- 2) 前川敬彦, 久利良夫, 佐々木一則, 飛ヶ谷明人, 青木康素: 鋼板接着補強 RC 床版の維持管理に関する検討, 道路橋床版シンポジウム論文報告集, Vol.7, pp.13-18, 2012.6.

TOWARD THE ESTABLISHMENT OF A CONSTRUCTION METHOD FOR STEEL PLATE REPLACEMENT ON REINFORCED CONCRETE SLABS

Sota SASAWAKI, Hajime AOI, Yasuyuki IWASATO and Mei IGAKI

In the large-scale renewal and repair project that Hanshin Expressway Company Limited started in FY2015, reinforced concrete slabs designed to the specifications for road bridges before 1973 and retrofitted with bonded steel plates after construction are inspected, and, where there is concern about a decline in fatigue resistance, the existing steel plates are replaced or partially reinforced. Whether to apply replacement or partial reinforcement is determined depending on the degree of deterioration. With the steel plate replacement, in particular, there are issues in terms of workability and safety assurance during construction. Prior to the full-scale work, a pilot project of steel plate replacement was carried out on the RC slabs retrofitted with bonded steel plates on three spans of the Sakai Route. This paper reports the workability and survey results found during the steel plate replacement pilot project and discusses future approaches based on the findings.

笹脇 壮太



阪神高速道路株式会社
管理本部 管理企画部
保全技術課
Sota SASAWAKI

青井 一



阪神高速道路株式会社
管理本部 管理企画部
保全技術課
Hajime AOI

岩里 泰幸



阪神高速道路株式会社
計画部 調査課
Yasuyuki IWASATO

井垣 芽生



阪神高速道路株式会社
管理本部 大阪保全部
保全事業課
Mei IGAKI