

鋼板接着補強床版の維持管理に関する検討

大阪建設部 工事企画グループ 佐々木 一則
技術管理室 技術開発グループ 十名 正和

要 旨

RC床版の維持管理に関しては、昭和47年の床版陥没事故を契機に種々の検討結果を踏まえて、鋼板接着工法による補強を実施しており、全床版パネル約145,000パネルの約40%にあたる約59,000パネルが補強されている。近年、一部の補強床版で不良音（主に鋼板剥離と想定）、漏水などの損傷が発見されており、点検要領および補修要領の改訂を目的として、検討委員会を設置して検討を進めた。実橋損傷床版の不良音面積が大きい箇所アンカーボルトの健全度を調査した結果、破断等の損傷は確認されなかった。また、実橋載荷試験により健全部と剥離部の床版たわみ量に差異がないことやアンカーボルト周辺の鋼板ひずみ量からアンカーボルトにせん断力が作用している傾向を窺わせる結果が得られた。

キーワード：RC床版、鋼板接着補強、剥離、漏水、実橋載荷試験

はじめに

阪神高速道路における橋梁の鉄筋コンクリート床版（以下、RC床版という）の損傷に関しては、昭和47年に供用開始後数年しか経過していない大阪堺線および大阪守口線において床版陥没損傷が発生し、関係者に大きな衝撃を与えた。これを機に、検討委員会を設置して、ひび割れ損傷メカニズム・疲労破壊機構・疲労寿命の予測・損傷度の評価・補強工法の選定など多岐にわたる検討¹⁾を行った結果、損傷は、①大型車交通量の増大と重量超過車の走行、②床版厚さの不足（昭和46年の通達以前の設計では、床版支間3mで17～18cm、現行基準では24～25cm）、③配力筋の不足（昭和42年の通達以前の設計では、配力筋は主筋の25%以上と規定、現行基準の1/3～1/4程度）などの要因が複合して生じるものと推測され、コンクリート片の剥落防止も兼ねた鋼板接着工法による補強

対策を主として実施し、現在に至っている。表-1にRC床版に関する示方書、通達等の変遷¹⁾を示す。

表-1 RC床版に関する示方書、通達等の変遷

項目	分類	S39	S42	S43	S46	S48	S53～
適用基準および示方書	道路橋示方書		鋼道路橋の一方向鉄筋コンクリート床版の配力、鉄筋量設計要領	鋼道路橋の床版設計に関する暫定基準(案)	鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版の設計について	道路橋示方書	道路橋鉄筋コンクリート床版の設計、施工について 道路局企画課長通達
通達および発行年月		S39.11	S42.9	S43.5	S46.3	S48.2	S53.4
主要規定の内容	輪荷重(P)*1	8,000kgf		8,000kgf (9,600kgf)			
	曲げモーメント方向	$\frac{0.4P(\ell-1)}{\ell+0.4}$ [ただし2、 $\ell < 4$ m]		0.8 (0.12 ℓ +0.07) P			
	配力筋方向	規定なし		0.8 (0.10 ℓ +0.04) P			
	鉄筋の許容応力度(SD30)	1,800kgf/cm ²		1,400kgf/cm ²		1,400kgf/cm ² で200kgf/cm ² 程度余裕をもたせる。	
配力筋量(配/主)	主筋の25%以上	主筋の70%以上		(0.10 ℓ +0.04)/(0.12 ℓ +0.07)			
	最小床版厚	14cm		3 ℓ +9 \geq 16cm	3 ℓ +11 \geq 16cm		*3 d=k ₁ ·k ₂ ·d ₀

これまでに全床版パネル約145,000パネルの約40%にあたる約59,000パネルについて、対策が必要と判定し補強を実施しているが、近年、一部の

補強床版において、主に鋼板の剥離に起因するものと想定される不良音や漏水などの損傷が発見され、補修を実施したものもある。現時点で損傷数は少ないが、その損傷メカニズムや安全性能の評価、再補修工法などについては未確立であり、今後の維持管理における課題となっている。このような状況の中、平成15年度に「RC床版の維持管理に関する検討委員会」(委員長:大阪大学大学院松井繁之教授(当時))を設置して、点検要領の改訂(損傷判定基準・点検手法の見直し)や補修要領の改訂(補修工法の確立)を目的として検討を進めてきた。

本稿は、要領改訂に係る基礎的な検討結果の概要を示すもので、①「定期点検結果に基づく鋼板接着補強床版の損傷実態」、②「維持管理における検討課題」を整理した上で、実橋損傷床版の調査結果として、③「鋼板剥離部におけるアンカーボルトの健全度調査結果」④「鋼板接着健全部と剥離部における載荷試験結果」の以上4項目について述べる。

1. RC床版の維持管理の概要

1-1 定期点検

定期点検は、道路構造物の点検要領に基づき実施しており、補強床版は目視による他、必要に応じてたたき点検により不良音、アンカーボルトのゆるみなどを点検している。点検項目と判定基準を表-2に示す。

1-2 補強

鋼板接着工法による補強は、昭和50年代中頃までは、基本的に昭和46年以前の示方書で設計された損傷Aランク以上のパネルを対象としてきたが、大阪管内において昭和57年度よりBランクのパネル、さらに昭和61年度からは橋軸方向で損傷床版に挟まれたパネルなども積極的に補強されるようになった。その後、平成5年の車両制限令の改正を受けて、昭和46年以前に設計されたものを全て補強することになった²⁾。

補強は、鋼板接着工法により実施(狭隘部などでは炭素繊維シートによる補強の事例がある)しており、厚さ4.5mmの鋼板をアンカーボルトで固定し、4mmのすき間に樹脂を注入して一体化する工法を採用している(図-1参照)。

表-2 点検項目と判定基準³⁾

工種	点検項目	判定区分	S	A	B	C
補修済床版	不良音			たたき点検において、鋼板1枚の1/3程度以上の範囲に不良音がある。	たたき点検において、鋼板1枚の1/3程度以下の範囲に不良音がある。	たたき点検において、不良音がわずかにある。
	漏水および遊離石灰			鋼構造体に、Aランクの腐食を生じさせている。	①漏水、遊離石灰の著しい流出がある。 ②鋼構造体に、Bランクの腐食を生じさせている。	漏水、遊離石灰がわずかにある。
	さびおよび腐食			①鋼板に0.2㎡程度の腐食がある。 ②鋼板全面積(パネル)の1/2以上にさびがある。	①鋼板に0.2㎡未満の腐食がある。 ②鋼板全面積(パネル)の1/2未満にさびがある。	鋼板にさびが点在している。
	鋼板の変形			鋼板の著しい変形や、ずれが認められる。	鋼板の一部に変形が認められる。	変形はあるが軽微である。
	シール部のはく離			シール部の一辺を超える範囲に進行性のはく離がある。	シール部の一辺にわたり、はく離がある。	シール部の一部にはく離、またはひび割れがある。

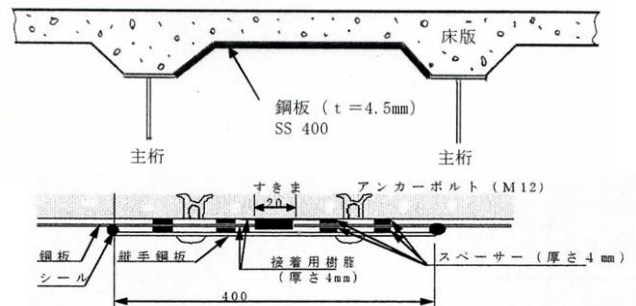


図-1 鋼板接着補強概要図⁴⁾

2. 鋼板接着工法による補強床版の損傷実態

2-1 点検実施状況

各路線において5年程度の周期により目視による外観状況とたたき点検を実施している。なお、たたき点検については、平成4年度の点検要領の改訂により、前回の点検でAランクと判定された部分のみ実施することとなり、Bランク以下については目視点検となっている。なお、本稿では点検当時の点検要領の判定ランクにより示している。

2-2 損傷事例(Aランク)

(1) 鋼板剥離の発生事例

写真-1は、たたき点検により発見された鋼板の

不良音の範囲を示している⁵⁾。主桁ハンチ部に連続したものや添接版部などに発生しており、パネル全域に不良音を確認される事例も数例ある。

また、非常駐車帯部のパネルで、ほぼ全域にわたる不良音を確認された事例もあり、活荷重が常時載荷されていない箇所においても発生していることから、鋼板剥離の要因として、活荷重による疲労以外のものがあることを示唆している。



写真-1 不良音の事例（斜線部が不良音範囲）

(2) 漏水・遊離石灰発生事例

写真-2、写真-3に漏水によるさびおよび遊離石灰が発生している事例を示す。漏水は、箱桁張出部床版の縦桁部(地覆部付近)や中央分離帯部直下などの雨水の滞留しやすい箇所や配管貫通部の止水処理不良などが原因と考えられる。

写真-4は、主桁フランジ付近から漏水している事例であるが、泥水が流出していることから床版に貫通亀裂が発生していることが考えられ、早急に対策が必要な損傷事例である。



写真-2 中央分離帯部からの漏水・遊離石灰の事例



写真-3 配管貫通部からの漏水・遊離石灰の事例



写真-4 主桁フランジ直下からの泥水流出事例

2-3 損傷実態の整理

定期点検結果(平成14年度まで)を基に、阪神高速道路における鋼板接着補強床版の損傷実態を整理すると以下のとおりとなる⁵⁾。

- ・ 補強床版(約59,000パネル)の約90%は健全な状態にある。しかし、比率は少ないが対策が必要(Aランク)と判定されたパネルが158パネル(0.3%)報告されている。
- ・ 損傷種別は、① たたき点検時の「不良音(鋼板剥離)」、② 鋼板端部や継目部よりの「漏水、遊離石灰」、③ 補強鋼板の「さび」が主体である。
- ・ 1点検サイクル間で損傷度が上位ランクに移行しているパネルが補強床版の2.1%ある。比率は低い、補強床版の損傷は経年的に進行していることが窺える。

また、損傷実態から以下のことが推測できる。

鋼板の剥離は、活荷重が常時載荷されていない箇所でも発生していることから、注入樹脂や施工面の処理の問題、床版のたわみなどによる樹脂厚の不均等など、疲労以外の要因が関係していることが考えられる。

著しい漏水が見られる箇所は、雨水が滞留しやすい地覆部や中央分離帯付近であり、床版防水工が施されていない箇所や施工が不完全であることなどが考えられる。

3. 検討課題と検討方法

鋼板接着補強床版の維持管理に関する検討課題と検討方法を以下のように整理した。

3-1 点検

(1) 不良音(鋼板剥離)

現行では目視および鋼板のたたき点検を行っているが、点検の合理化および精度向上の検討が必要である。例えば非破壊検査手法を活用することなどが考えられる。

これに関しては、旧湊町入路床版を用いて「赤外線サーモグラフィ法」により不良音と鋼板剥離の関係について検討した。検討結果については、整理中のため別途報告する予定である。

(2) アンカーボルトの健全性

アンカーボルトは鋼板の固定用であり、設計上はせん断力を考慮していない。鋼板の不良音の範囲が大きい場合には、アンカーボルトにかかる負荷が増大している可能性があるため、緩みや破損の有無を調査する必要がある。例えばたたき点検や超音波探傷法を活用することなどが考えられる。

これに関しては、3号神戸線の実橋損傷床版でアンカーボルトの健全度調査を実施した。

3-2 損傷判定基準の見直し

現行の判定基準では、不良音の範囲が鋼板面積の1/3以上のものをAランク(補修対象)としているが、既往の研究では、約2/3まで剥離が進行しても曲げ剛性低下の影響はないとする報告⁶⁾もあり、判定基準の妥当性について検討する必要がある。

ある。これに関しては、15号堺線の損傷床版において載荷試験を行い、剥離に伴う鋼板と床版のずれ性状、床版のたわみ、アンカーボルト周辺の補強鋼板に発生するひずみ量を測定して影響を検討した。

3-3 再補修方法の確立

現行では、不良音の判定がAランクに位置づけられた床版パネルの一部で、樹脂の再注入による補修を実施しているが、補修効果の検証や補修方法について検討が必要である。

これに関しては、補修床版の追跡調査と補修の施工法に関する調査(再注入樹脂の材料・配合・付着特性、注入圧など)により検討を進めており、別途報告する予定である。

4. 検討結果

4-1 実橋床版のアンカーボルト健全度調査

(1) 調査の目的

3号神戸線の鋼板接着補強床版における鋼板剥離部への樹脂再注入施工に際し、不良音箇所のアンカーボルトの健全度を調査することにより、鋼板剥離がアンカーボルトに与える影響を確認するための基礎資料とすることを目的とする。

(2) 調査対象箇所

本調査では、①床版ハンチ部の広い範囲に不良音がある、②鋼板面積の1/3以上に不良音がある、の2項目の観点により調査対象とした。調査パネルの損傷状況および調査対象ボルトの位置を図-2に示す。

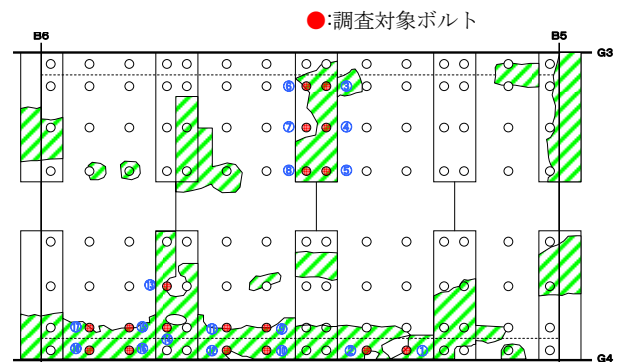


図-2 調査パネルの損傷状況および調査位置の例

(3) 調査方法

調査はアンカーボルトのシールキャップを取り外し、シール材を除去した後超音波探傷法によりボルト破断の有無を確認することとし、ボルトの全長を計測し、鋼板表面からのボルト突出長、鋼板の厚さ(4.5mm)ならびに想定される注入樹脂厚(4.0mm)との関係から推定した。

なお、ハンチ部については注入樹脂厚の変動が大きいと考えられるため、鋼板1パネルにつき1箇所の穿孔調査により樹脂厚を確認した。また、ハンチ部のボルトについては、シール材を全て除去するため、ボルト頭部をたたき点検によりガタツキの有無を調査した。

(4) 調査結果

今回調査を実施した50本のアンカーボルトの内45本については、ボルト計測長が想定されるボルトの長さにはほぼ近い値を示しているため破断は無いと判断した。

しかし、一部の箇所で想定されるボルト長の半分以下の値で計測されたものがあった。そこで、ナット、ワッシャーを撤去し、さらにコンクリートアンカーのシールド頭部までボルト周りの樹脂を除去した上でボルトの状態を観察した結果、ボルトの破断は確認されなかったが、シールド頭部においてボルト軸部に無理に曲げられたと思われる著しい変形が認められた。これに関しては、超音波の反射位置はボルト変形部またはシールド内側に位置していることやナット、ワッシャーをセットしてナットを強く締め込むことによりボルトの抜け出しがなかったことから、検出された超音波エコーはボルト中間部のネジ部において反射したものと推定するのが妥当と考え、当該ボルトに破断は無いと判定した。今回の調査では、鋼板剥離部のアンカーボルトにおいて破断は確認されなかった。

4-2 鋼板接着補強済床版の荷重試験

(1) 試験の目的および対象床版の損傷状況

本試験は、鋼板が剥離している状況において

- ① アンカーボルトに作用するせん断力の傾向を

推定すること、② 鋼板とコンクリート床版のずれ性状の確認を目的として、実橋補強床版を対象に試験車走行による荷重試験を行った。図-3に対象床版の損傷状況を示す。

試験対象床版は、ハンチ部および鋼板の継ぎ目部に約30%の剥離部を有し、隣接して剥離の無い比較的健全な箇所があるパネルである。床版厚は18cmであり、鋼板接着補強は昭和53年度に施工されている。

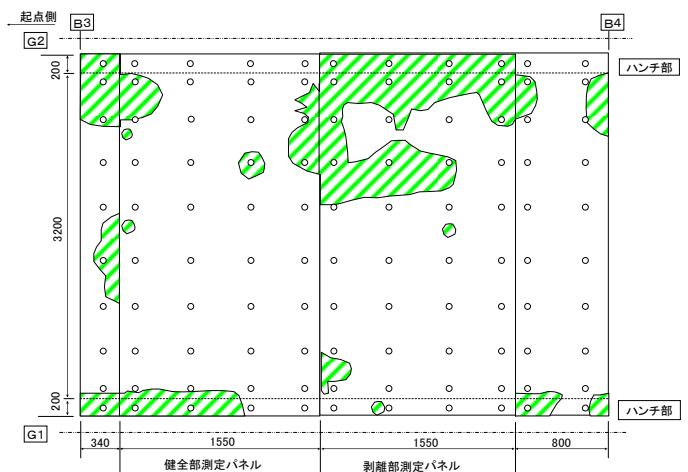


図-3 対象床版の損傷状況

(2) 試験の概要

1) 試験要領

荷重試験は、3軸ダンプトラック(総重量196kN, 20tf)を用いて、高速道路上を1車線規制して行った。試験車の荷重位置を図-4に示す。

2) 測定内容

① 補強鋼板のアンカーボルト周辺のひずみ

アンカーボルト周辺における補強鋼板のひずみを測定し、ひずみ分布からアンカーボルトに作用しているせん断力の傾向を推定することとした。

② 鋼板と床版のずれ性状

a) 主桁上フランジとハンチ部の鋼板のずれ挙動をクリップゲージ式変位計にて測定した。

b) 健全部と剥離部が隣接していることから、その境界部に κ ゲージを設置し鋼板間の相対的なずれ挙動を計測した。

③ RC床版の変形(たわみ)

床版のたわみ量を測定した。

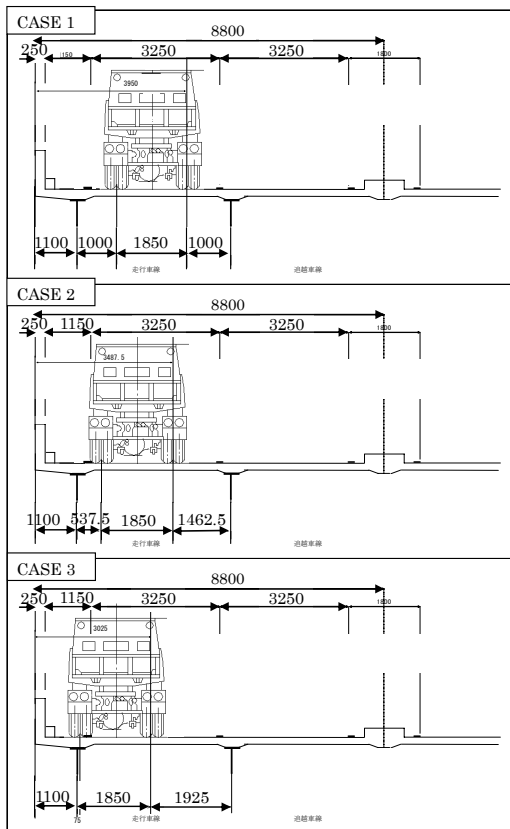


図-4 試験車載荷位置図(載荷ケース)

(3) 試験結果

鋼板接着健全部と剥離部における載荷車両通過時の応答波形を比較した一例を図-5に示す. 測定結果の評価は, たわみが最も大きくなる載荷 CASE 1 の応答波形により行った.

1) 床版たわみ

たわみ量は, 健全部(HA-1, HA-2)と剥離部(HB-1, HB-2)で有意差がない(図-5 最上段参照).

2) 鋼板間のずれ変位

<橋軸方向>

① 車両の各軸が鋼板の継目位置に載荷された際の変位量は, 健全部(PI-2X)で0.01mm程度, 剥離部(PI-1X)で0.02mm程度である(図-5 2段目赤線参照).

② 剥離部の変位波形(PI-1X)は, 健全部とは異なり負領域になる部分がある(図-5 2段目右側赤線参照).

<鉛直方向>

① 車両の各軸が鋼板の継目位置に載荷された際

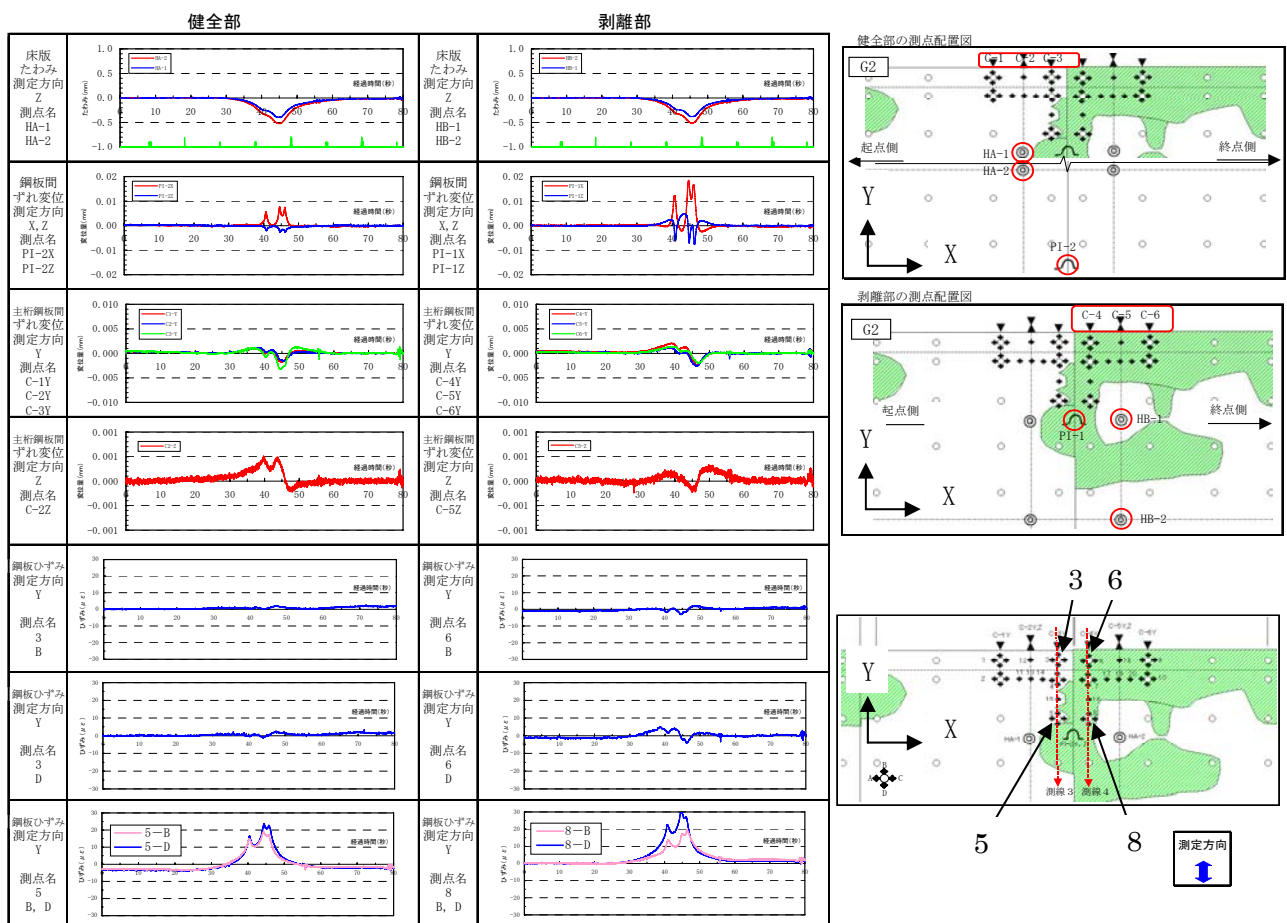


図-5 測定結果図(走行ケース1, 1回目)

の変位量は、健全部(PI-2Z)で0.002mm程度、剥離部(PI-1Z)で0.008mm程度である(図-5 2段目青線参照)。

② 剥離部は、健全部に比べ変位量が大きく、変位波形に正負の交番が認められる(図-5 2段目参照)。

3) 主桁と鋼板間のずれ変位

<橋軸直角方向>

① 健全部(C-1Y, C-2Y, C-3Y)と剥離部(C-4Y, C-5Y, C-6Y)の変位応答波形に有意差はない(図-5 3段目参照)。

② 剥離部の測点 C-4, 5, 6 の変位応答波形に有意差はない(図-5 3段目右側赤・青・緑線参照)。

4) 鋼板のひずみ

① 主桁近傍のハンチ部における橋軸直角方向のひずみは、健全部(3-D)ではほとんど発生していないが、剥離部(6-D)では $10\mu\varepsilon$ ($\pm 5\mu\varepsilon$)程度のひずみが生じている(図-5 下から2段目参照)。

② 床版支間中央部における橋軸直角方向のひずみは、健全部(5-B, 5-D)よりも剥離部(8-B, 8-D)の方が大きくなっている(図-5 最下段参照)。

5) まとめ

約30%程度の剥離が発生している補強床版について、載荷試験により挙動を確認した結果、床版たわみ量が小さいことや鋼板間、主桁～鋼板間のずれ挙動の性状から判断して、せん断剛性低下の傾向は確認されなかった。また、剥離による曲げ剛性の低下も、供用上問題となるレベルではないものと考えられる。しかし、剥離部のアンカーボルト周辺では、鋼板に発生するひずみ量が左右で異なっている状況が確認できたことから、鋼板の剥離によってアンカーボルトにせん断力が作用している傾向が推定できる。今回測定されたアンカーボルト周辺のひずみ量の差は $10\mu\varepsilon$ 程度と小さいが、鋼板端部に顕著な挙動が確認されていないにもかかわらずこのような状況が確認されたことから、剥離部の大きさ・形状により、アンカーボルトに相当の力が作用する可能性があることを示唆している。したがって、鋼板に剥離が認められる場合は、鋼板端部の挙動やアンカーボルトの

状態に十分留意する必要があると思われる。

6. まとめ

(1) 定期点検結果に基づき、阪神高速道路における鋼板接着補強床版の損傷実態を整理すると、補強床版の約90%は健全な状態にあるが、対策が必要と判定されたパネルも発見されている。

(2) 損傷は、不良音や漏水、遊離石灰が主体であり、劣化は経年的に進行していることが窺える。

(3) 鋼板の剥離は、疲労以外の要因でも発生することが推定できる。

(4) 著しい漏水が見られる箇所は、雨水が滞留しやすい地覆部や中央分離帯部であった。

(5) アンカーボルトの健全度調査では、不良音箇所を対象に50本を調査したが、破断などの損傷は無かった。ハンチ部の一部のボルトでは施工時に生じたボルトの屈折が確認された。

(6) 約30%程度の剥離が発生している補強床版について載荷試験により挙動を確認した結果、床版たわみ量や鋼板間、主桁～鋼板間のずれ挙動は微小量であり、剛性低下の傾向は確認されなかった。

(7) 剥離部のアンカーボルト周辺では、鋼板に発生するひずみ量に差異が認められたことから、アンカーボルトにせん断力が作用している傾向が窺える。

おわりに

鋼板接着補強床版は、概ね健全な状態にあるが、一部の床版では対策が必要と判定される損傷が生じており、経年的に進行していることがわかった。今後、構造物の高齢化が進む中で、安全・安心・快適な道路の提供のために維持管理の重要性は一層高まっている。とりわけ過酷な使用環境下にある床版の維持管理に資するために、これまで得られた検討結果や継続検討中の課題をとりまとめ、点検要領と補修要領の改訂を行う予定である。

また、RC床版の耐久性向上のために、地覆部の止水対策や滞水の水抜き対策など、より一層の

止水・防水対策の検討を進めるとともに、炭素繊維シートを用いた補強床版の維持管理方法についても検討が必要と考えている。

謝辞

本稿は、「RC床版の維持管理に関する検討委員会」における検討成果の一部をとりまとめたものである。検討に際して貴重なご指導・ご助言を頂きました大阪大学名誉教授・大阪工業大学 松井繁之教授、大阪工業大学 堀川都志雄教授をはじめ関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

1) 阪神高速道路公団, (財)阪神高速道路管理技術センタ

- 一：道路橋RC床版のひびわれ損傷と耐久性, 平成3年12月
- 2) 上田芳夫, 山口良弘, 杉江功：鋼板接着によるRC床版の補強効果の検証, 阪神高速道路公団技報第13号, 1993年
- 3) 阪神高速道路公団：道路構造物の点検要領, 平成17年10月
- 4) 阪神高速道路公団：道路構造物の補修要領, 平成17年4月
- 5) 阪神高速道路公団, (財)阪神高速道路管理技術センター:RC床版の維持管理に関する検討委員会報告書(平成15年度), 平成16年3月
- 6) 松井繁之, 中井博, 栗田章光, 黒山泰弘：鋼板接着工法により補強したRC床版の疲労特性, 合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, 1986年9月

A STUDY ON THE MAINTENANCE OF THE SLABS REINFORCED BY GLUED STEEL PLATES

Kazunori SASAKI and Masakazu TONA

It has become apparent in recent years that some of the slabs reinforced with glued steel plates come to have damage such as peeling and water leakage. With these observations, studies were made on the load-carrying capacity and retrofitting methods of these slabs.

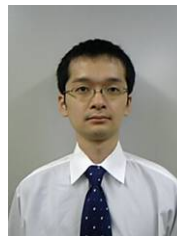
The results of the loading tests on existing bridges showed that there was little difference in deflection between the healthy slabs and the damaged ones and that the latter ones have a tendency of increased sheering force on anchor-bolts.

佐々木 一則



阪神高速道路株式会社
大阪建設部 工事企画グループ
Kazunori Sasaki

十名 正和



阪神高速道路株式会社
技術管理室 技術開発グループ
Masakazu Tona