

報告

阪神高速道路における既設 RC 床版の損傷事例

中谷文哉*, 笹脇壮太**, 堅田琴美***, 増田裕介*, 劉佳*, 前川敬彦*

* 内外構造株式会社 点検調査部 (〒541-0053 大阪府大阪市中央区本町 2 丁目 5 番 7)

** 阪神高速道路株式会社 管理本部 (〒552-0006 大阪市港区石田 3 丁目 1 番 25)

*** 阪神高速技術株式会社 調査点検事業所 (〒541-0053 大阪府大阪市中央区本町 2 丁目 5 番 7)

阪神高速道路の RC 床版は約 15 万パネルあり、そのうち約 7 万パネルで鋼板接着工法等による補強が実施されている。近年は、補強された RC 床版の一部で床版内部の水平ひび割れや床版上面の砂利化等の劣化が顕在化している。また、未補強の RC 床版についても、疲労劣化や材料劣化、施工的な要因が影響したと考えられる損傷が発生している。そこで本稿では、定期点検結果を整理・分析し、RC 床版の大半が健全に近い状態であることを確認した。しかし、その一方で損傷が進展する傾向にあることも確認した。

また、これまでに発生した代表的な損傷事例についても紹介した。

キーワード：RC 床版、損傷事例、鋼板接着工法

1. はじめに

阪神高速道路では、1972 年に発生した床版陥没事例を契機として、予防保全も兼ねた RC 床版の補強が精力的に実施されてきた。しかし、古いもので補強後 50 年以上が経過しており、補強された RC 床版（以下、補強済 RC 床版という）の一部で床版内部の水平ひび割れや床版上面の砂利化等の劣化が顕在化している。また、未補強の RC 床版（以下、未補強 RC 床版という）についても、疲労劣化や材料劣化、施工的な要因が影響したと考えられる損傷が発生しており、老朽化対策を目的とした床版取替が一部で実施されている。

そこで本稿では、現状把握として整理した RC 床版の資産数や定期点検による損傷状況を報告する。また、これまでに発生した代表的な損傷事例についても紹介する。

1971 年以前の基準で設計された RC 床版である。適用基準はデータベースになく竣工年度に着目すると、1971 年以前に竣工した RC 床版は補強がほぼ完了している。1972 年以降に竣工した RC 床版では、損傷状況等に応じた維持管理が行われており、補強率はそれほど高くない。

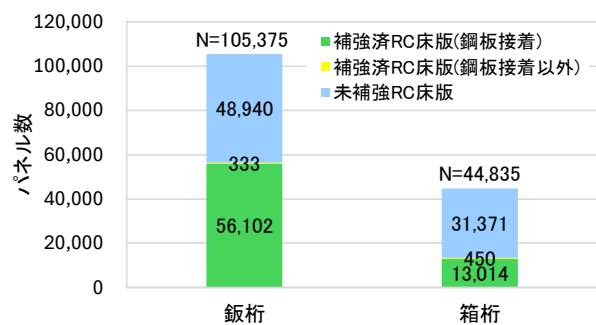


図-1 RC 床版の資産数

2. RC 床版の資産数

RC 床版の資産数を図-1 に示す。なお、RC 床版は主桁と横桁、対傾構等で格子状に区切られたパネルで整理した。阪神高速道路の RC 床版は約 15 万パネルあり、縦桁の RC 床版が多い。また、約 7 万パネルの RC 床版には鋼板接着工法や縦桁増設工法、炭素繊維シート接着工法による補強が実施されており、鋼板接着工法による補強（以下、鋼板接着補強という）がほとんどを占める。

RC 床版の竣工年度別補強状況を図-2 に示す。主な補強対象は、床版厚が薄いなどの要因で輪荷重の繰り返し载荷に対する疲労耐久性が相対的に低い傾向にある

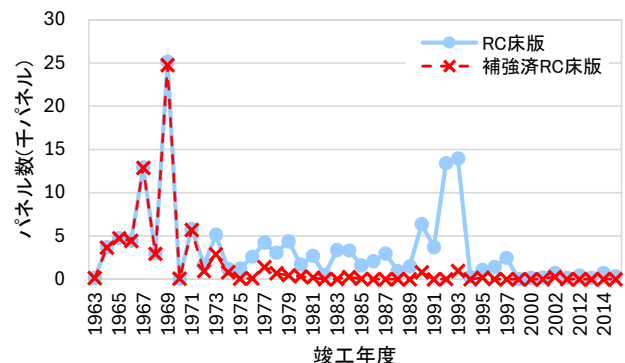


図-2 RC 床版の竣工年度別補強状況

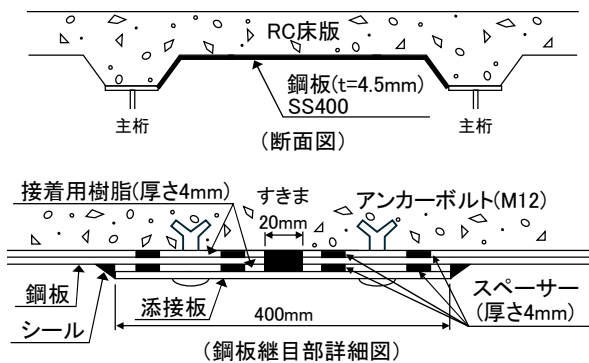


図-3 鋼板接着補強の概要

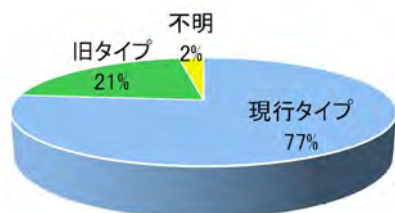


図-4 鋼板接着補強された鈑桁 RC 床版の補強タイプ

鋼板接着補強の概要を図-3に示す。鋼板接着補強は、RC床版に4.5mm厚の鋼板を接着用樹脂で一体化させ、押抜きせん断耐力の向上によりRC床版の疲労耐久性を大幅に向上させる工法である。阪神高速道路では1972年から鋼板接着補強が実施されており、実施時期で補強タイプが異なる。現行タイプは、ハンチ部を含む全面に鋼板を接着し、隣接する鋼板同士を添接板で連結している。また、経済性や予防保全等を考慮しレーン単位の補強が基本である。一方、旧タイプは、補強方法に関する知見が当時は十分でなく、ハンチ部の鋼板や添接板がなかった。また、パネル単位の補強が基本であった。その後の検討でハンチ部への鋼板接着や添接板による連結、レーン単位の補強が順次採用され、1980年頃に現行タイプが確立されている。なお、現行タイプは、旧タイプと比較して高い補強効果が期待できるとの報告¹⁾がある。

鋼板接着補強されたRC床版の補強タイプはデータベースにない。しかし、鈑桁については定期点検時に補強タイプを確認しており、それを整理すると図-4に示すとおりとなる。鋼板接着補強された鈑桁RC床版の77%が現行タイプで補強されている。

3. RC床版の損傷状況

2014年度から5年に1回の頻度で定期点検を実施しており、2023年度で2巡目が完了した。定期点検では、近接目視を基本として、損傷ごとに状態の悪い順からs, a, b, cランク(表-1参照)の点検1次判定を行っている。また、aランク損傷に対しては、損傷の進行性と部材の冗長性を考慮した点検2次判定が行われている²⁾。

鋼板接着補強の補強タイプを確認した鈑桁RC床版の

表-1 定期点検の判定区分²⁾

判定区分		損傷状況
s	s1	機能低下が著しく、構造物の安全性から緊急に対策の必要がある場合
	s2	第三者への影響があると考えられ、緊急に対策の必要がある場合
a	a	機能低下があり、対策の必要がある場合 第三者に対し影響を及ぼす恐れ等があり、対策の必要がある場合
	b	損傷の状態を観察する必要がある場合
c	c	損傷が軽微である場合

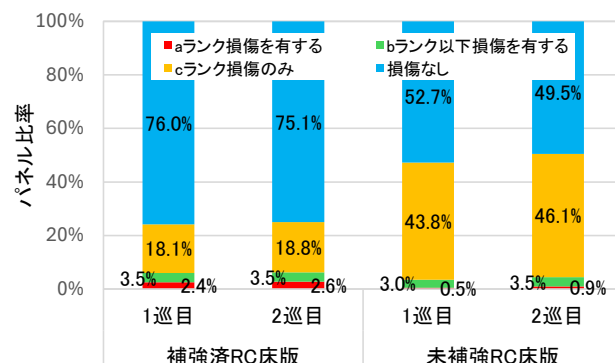
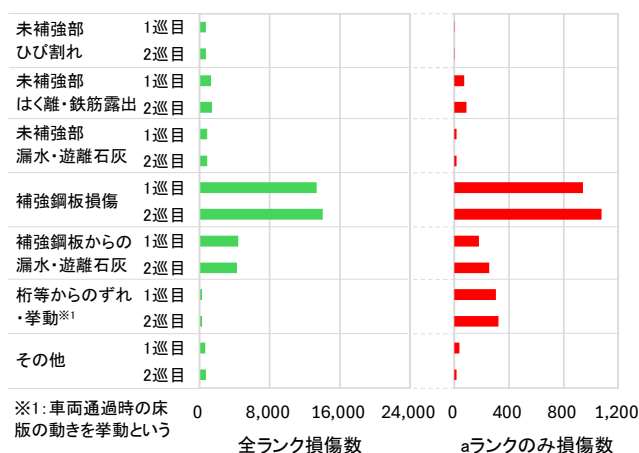


図-5 鈑桁 RC 床版の損傷状況



※1: 車両通過時の床版の動きを挙動という

図-6 損傷項目別発生状況 (補強済 RC 床版)

損傷状況を図-5に示す。なお、同図は点検1次判定で整理しており、第三者影響に着目したs2ランクはaランクに含めた。また、パネル数で整理しているが、阪神高速道路の定期点検がパネルごとの判定でないため、ここでは各パネルが有する損傷の最大ランクで整理した。鈑桁RC床版は損傷なしまたはcランク損傷のみのパネルがほとんどを占める。s1ランク損傷を有するパネルはなく、aランク損傷を有するパネルについても補強済RC床版で3%弱、未補強RC床版では1%弱と僅かであった。また、1巡目との比較では、補強済RC床版、未補強RC床版ともそれぞれのパネル比率に大きな変化は見られない。しかし、損傷なし以外のパネル比率は1巡目と同等か僅かに増加しており、損傷が進展する傾向が見られる。

損傷項目別発生状況について、補強済RC床版を図-6に、未補強RC床版を図-7に示す。なお、同図は損傷数で整理しており、全ランクの合計とaランクのみを並

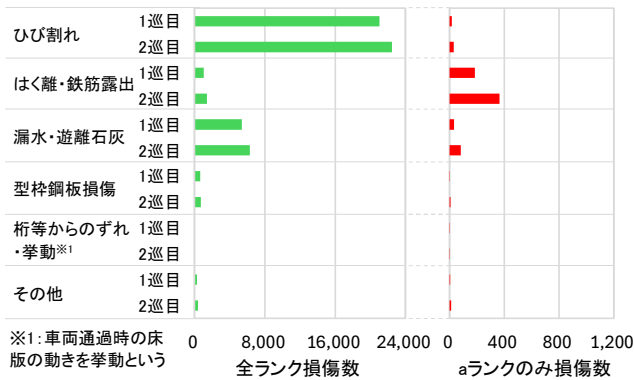


図-7 損傷項目別発生状況（未補強 RC 床版）

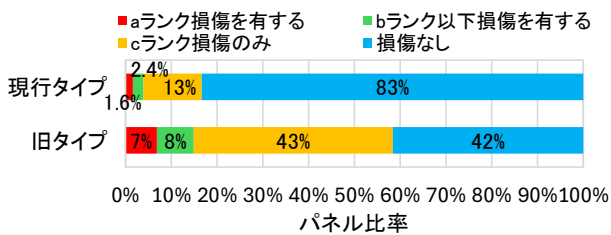


図-8 補強タイプ別の損傷状況

記した。補強済 RC 床版は、全ランクでは補強鋼板損傷（さび・腐食、不良音等）や補強鋼板からの漏水・遊離石灰が多く発生しており、a ランクのみではこれらの損傷に加え桁等からのずれ・挙動も多くなっている。未補強 RC 床版は、全ランクではひび割れや漏水・遊離石灰が多く発生している。しかし、a ランクのみでははく離・鉄筋露出が際立って多く、1 巡目からほぼ倍増している。

図-5 と同様の方法で整理した補強タイプ別の損傷状況を図-8 に示す。旧タイプと比較すると、現行タイプは損傷なしのパネルが大半を占めており、a ランク損傷を有するパネル比率についても 2%弱と僅かであった。

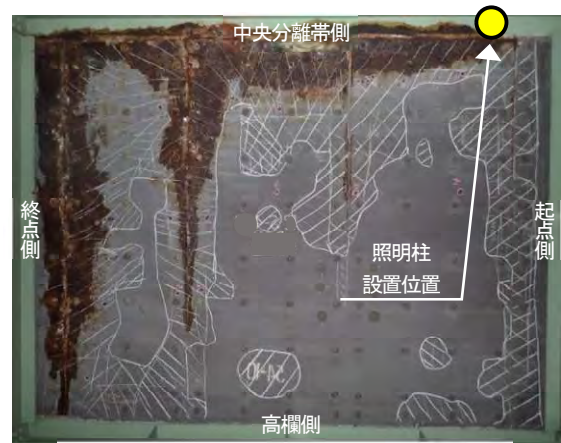
4. RC 床版の損傷事例

代表的な損傷事例として、a ランク損傷としての報告が多い補強済 RC 床版の補強鋼板損傷や未補強 RC 床版のはく離・鉄筋露出を紹介する。また、局所的に発生した床版上面の再劣化や耐荷性能の低下が懸念される未補強 RC 床版のひび割れ等についても紹介する。

4.1 補強済 RC 床版

(1) 補強鋼板の腐食および不良音

補強鋼板の腐食および不良音の発生状況を写真-1 に示す。損傷パネルを有する高架橋は、1967 年にしゅん工した鋼単純合成鈹桁橋で、床版厚が 180 mm、床版支間が 3,850 mm である。また、1979 年に鋼板接着補強されている。当該損傷は 2009 年に a ランクと判定され、補強鋼板が広範囲に腐食し、断面欠損（写真-2 参照）が部分的に発生していた。また、不良音（補強鋼板の接着不良）も



注) 図中のハッチングは不良音の発生箇所を表す

写真-1 補強鋼板の腐食および不良音の発生状況



写真-2 腐食箇所における断面欠損状況



写真-3 ハンチ部補強鋼板の腐食状況

腐食箇所を中心として広範囲に発生していた。本橋は床版防水工が実施済であるが、漏水が確認されている。損傷原因は、損傷パネルの起点側中央分離帯に照明柱が設置されており、アンカーボルト部から路面水が床版内部に浸入し、それが床版下面に到達したことで腐食が発生したと推測される。また、損傷パネルが終点側かつ高欄側に下り勾配であることから、接着不良の隙間に路面水が流下して腐食範囲が拡大したと推測される。

(2) ハンチ部補強鋼板の腐食

ハンチ部補強鋼板の腐食状況を写真-3 に示す。損傷パネルを有する高架橋は、1966 年にしゅん工した鋼単純合成鈹桁橋で、床版厚が 170 mm、床版支間が 2,940 mm である。また、1990 年に鋼板接着補強、1996 年に主桁連結



写真-4 補強鋼板のはく離状況

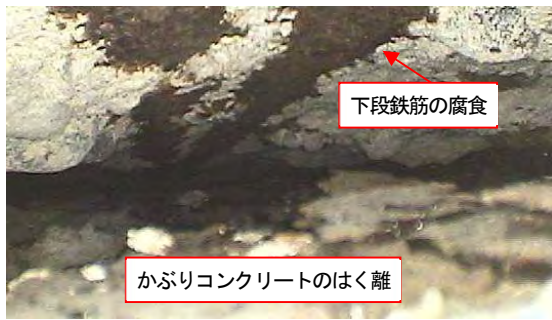


写真-5 段差箇所の内部状況



写真-6 補修時の床版上面状況 (2017年)



写真-7 補修後の泥の噴出状況 (2019年)

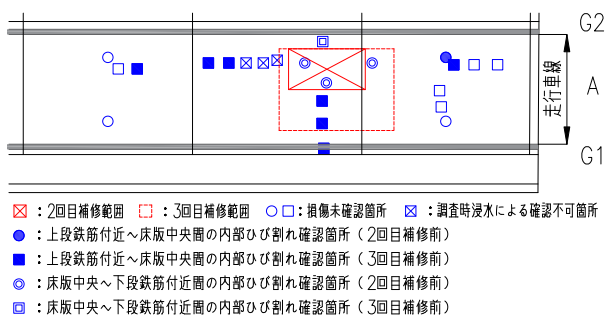


図-9 床版内部の微破壊調査結果

され、1998年に桁間充填でジョイントレス化されている。当該損傷は2017年にaランクと判定され、ハンチ部の補強鋼板が広範囲に腐食し、端横桁との境界部では局所的な断面欠損が発生していた。本橋は床版防水工が実施済である。点検時に漏水は確認されていないが、補強鋼板や端横桁の腐食は前回点検から進展している。損傷原因は、桁間充填部等から路面水が床版内部に浸入し、床版下面に到達したことで腐食が発生したと推測される。

(3) 補強鋼板のはく離

補強鋼板のはく離状況を写真-4に示す。損傷パネルを有する高架橋は、1968年にしゅん工した鋼単純合成鈑桁橋で、床版厚が180mm、床版支間が3,650mmである。また、1975年に鋼板接着補強されている。当該損傷は2013年にaランクと判定され、補強鋼板のはく離が輪荷重の載荷位置を中心として広範囲に発生し、隣接する補強鋼板との間に最大12mm程度の段差が生じていた。本橋は床版防水工が実施済で、床版上面も概ね健全であることが詳細調査で確認されている。しかし、床版下面の段差箇所では下段鉄筋の腐食やかぶりコンクリートの剥離が確認されている(写真-5参照)。また、コンクリート物性値は問題ないが、塩分量が下段鉄筋付近で1.5kg/m³、中性化深さが床版下面から15mm程度となっていた。損傷原因は報告されていないが、下段鉄筋が腐食環境下にあったことが要因の一つと考えられる。

(4) 床版上面の再劣化

補修時の床版上面状況を写真-6に、補修後の泥の噴出状況を写真-7に、床版内部の微破壊調査結果を図-9に示す。損傷パネルを有する高架橋は、1969年にしゅん工した鋼単純合成鈑桁橋で、床版厚が180mm、床版支間が3,850mmである。また、1975年に鋼板接着補強されており、床版下面の損傷は確認されていない。2017年に舗装面の損傷が初めて確認され、それ以降、同じ箇所での損傷の再発と補修が繰り返されてきた。損傷は降雨後に発生することが多く、簡易補修時に床版上面の砂利化や内部鉄筋の露出が確認される場合もあった。舗装下に滞水した雨水が床版上面の劣化を促進し、損傷の再発を繰り返したと考えられる。本橋は2023年にRC床版の全面取替が実施されているが、それまでに劣化部の除去を伴う補修が3回実施されてきた。2回目の補修時には床版内部の微破壊調査を実施し補修範囲が決定されたが、再劣化を繰り返した。3回目の補修時に損傷箇所周辺の状態をより詳細に調査した結果、内部ひび割れが広範囲に発生していることを確認した。結果的に補修範囲が十分でなかったことが再劣化を繰り返した要因と推測される。

4.2 未補強RC床版

(1) はく離・鉄筋露出

はく離・鉄筋露出状況の一例を写真-8に示す。当該



写真-8 はく離・鉄筋露出状況の一例



写真-11 舗装面の状態 (ケース 2)



写真-9 舗装面の状態 (ケース 1)



写真-12 床版下面状況の一例 (ケース 2)



写真-10 床版下面状況の一例 (ケース 1)

損傷は沿岸部や山間部の路線で多く発生しており、a ランク損傷のほとんどが床版の打継目で発生していた。また、損傷パネルを有する高架橋の多くは床版防水工が未実施である。損傷原因は、路面水が床版の打継目を通して床版内部に浸入し、下段鉄筋が腐食・膨張したことでかぶりコンクリートがはく離したと推測される。

(2) 耐荷性能の低下が懸念されるひび割れ等

合流部における舗装面の状態およびその床版下面状況の一例について、ケース 1 を写真-9～写真-10 に、ケース 2 を写真-11～写真-12 に示す。ケース 1 の高架橋は、1977 年にしゅん工した鋼単純合成鈹桁橋で、床版厚が 220 mm、床版支間が約 3,600 mm である。ケース 2 の高架橋は、1978 年にしゅん工した鋼単純合成鈹桁橋で、床版厚が 220 mm、床版支間が約 3,500 mm である。両ケース

とも分岐合流部を有する高架橋で、ケース 1 の合流部のみ床版防水工が未実施である。合流部の舗装面にポットホールや泥の噴出が連続的に発生しており、それら損傷の床版下面には漏水・遊離石灰やさび汁を伴った 2 方向のひび割れが高密度に発生していた。ひび割れは前回点検でも確認されているが、判定ランクはケース 1 が b ランク、ケース 2 が c ランクであった。両ケースにおいて損傷が急激に悪化した要因としては、損傷発生箇所の圧縮強度が大きく低下していたため、通行車両による輪荷重の繰り返し載荷で疲労劣化が発生し、路面水の浸入が疲労劣化を促進させたと報告している³⁾。

今回、圧縮強度の低下要因を推定するため、両ケースのコア採取と圧縮強度試験を報告する。コア採取箇所と圧縮強度試験結果について、ケース 1 を図-10 に、ケース 2 を図-11 に示す。ケース 1 の圧縮強度は、設計基準強度 32N/mm^2 に対し $21.6\sim31.7\text{N/mm}^2$ の範囲に分布している。圧縮強度が低い箇所は損傷が顕著に発生した合流部以外でも確認されており、橋全体が低い傾向にあることから、材料または施工的な要因で当初から圧縮強度が全体的に低かったと推測される。損傷が顕著に発生した合流部では、圧縮強度が低いため、輪荷重による疲労が促進されてひび割れが発生し、路面水の滞水や浸入で材料劣化が促進されたと推測される。一方、ケース 2 の圧縮強度は、調査パネルに偏りがあるが、設計基準強度 32N/mm^2 に対し $19.7\sim33.1\text{N/mm}^2$ の範囲に分布している。圧縮強度が低い箇所は損傷が顕著に発生した合流部のみとなっており、本線部や分岐部の圧縮強度は設計値付近であった。合流部の圧縮強度が低い要因としては、橋桁

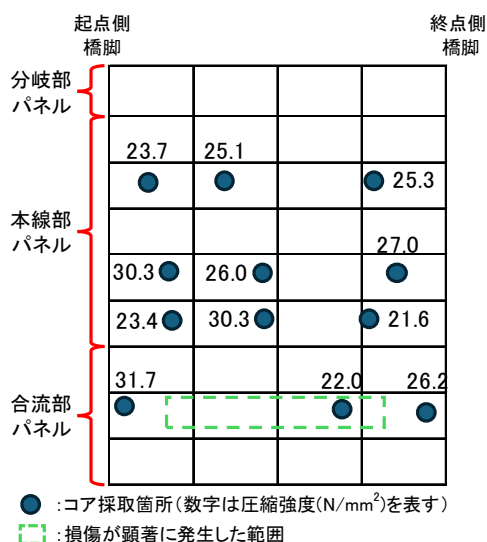


図-10 コア採取箇所と圧縮強度試験結果 (ケース 1)

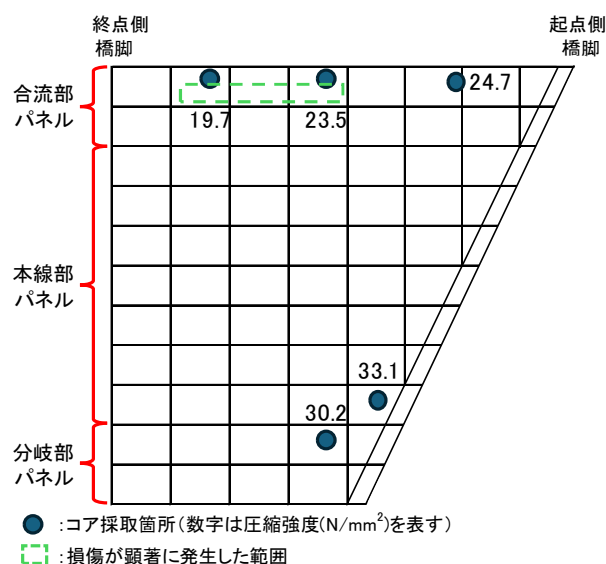


図-11 コア採取箇所と圧縮強度試験結果 (ケース 2)

構造が本線部と分岐合流部の一体桁であることや、橋面の横断勾配が分岐部から合流部へ 4%の片勾配であることなどが影響していると考えられる。とくに桁形状が幅員約 39m のバチ桁で、橋面の縦断勾配もほとんど水平であることから、建設時のコンクリート打設や養生方法等の施工品質により勾配上側の合流部付近で強度低下が発生したと推測される。また、ケース 1 と同様に路面水の滞水や浸入により合流部の材料劣化が促進されたと推測される。

以上の調査結果や発生経緯を踏まえて床版コンクリートの圧縮強度の低下要因を推定すると、建設時におけるコンクリート打設時の施工不具合 (材料の品質、施工順序、養生方法等) による初期欠陥や合流部における路面水の滞水と床版内部への浸入が考えられる。また、劣化

進行過程としては、初期の強度不足による耐荷性能の低下した床版が、通行車両による輪荷重が繰り返し載荷されたことで当初設計より疲労劣化が早く進行し、さらに雨水や凍結防止材を含んだ路面水の床版上面での滞水や損傷箇所への浸入が材料劣化をさらに加速させたと考えられる。

5. まとめ

RC 床版の資産や定期点検による損傷状況を整理・分析した。結果を以下にまとめる。

- ・阪神高速道路の RC 床版は約 15 万パネルあり、鈑桁の RC 床版が多くなっている。また、補強済 RC 床版は約 7 万パネルあり、鋼板接着補強がほとんどを占める。
- ・鈑桁 RC 床版は損傷なしまたは c ランク損傷のみのパネルがほとんどを占める。しかし、損傷なし以外のパネル比率は 1 巡目と同等か僅かに増加しており、損傷が進展する傾向が見られる。
- ・補強済 RC 床版の a ランク損傷は補強鋼板損傷 (さび・腐食、不良音等)、補強鋼板からの漏水・遊離石灰および桁等からのずれ・挙動が多くなっている。一方、未補強 RC 床版の a ランク損傷は、はく離・鉄筋露出が際立って多く、1 巡目からほぼ倍増している。

6. おわりに

鈑桁 RC 床版は現状では健全か健全に近い状態のパネルがほとんどである。しかし、未補強 RC 床版の一部で路面水の影響と考えられる損傷が顕在化しており、損傷が増加する傾向にあることがわかった。また、分岐合流部を有する高架橋では、広幅員やバチ桁などの形状的な特徴により施工不具合の発生する可能性が通常部より高いと考えられる。今回の調査結果は損傷発生要因の推定要素の一つであるが、今後はこうした損傷発生要因の視点も持ち、分岐合流部における床版の損傷発生傾向が把握できるよう調査を継続し、新たな損傷メカニズムの解明に寄与できればと考えている。

参考文献

- 1) 阪神高速道路公団, 阪神高速道路管理技術センター: 道路橋 RC 床版のひびわれ損傷と耐久性, 平成 3 年 12 月
- 2) 阪神高速道路株式会社, 阪神高速技術株式会社: 道路構造物の点検要領, 令和 6 年 4 月
- 3) 金春峰ら: 阪神高速道路の分合流部における未補強 RC 床版の損傷事例, 第 79 回土木学会年次学術講演会, CS19-01, 2024

(2024 年 7 月 12 日受付)