

報告

阪神高速道路における鋼板接着 RC 床版詳細調査報告

永井伴英*, 鈴木英之**, 藤田賢司***, 出淵貴之*, 平山智啓*

* 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 2-5-7)

** 阪神高速道路株式会社 保全交通部 (〒530-0005 大阪市北区中之島 3-2-4)

*** 阪神高速技術株式会社 土木事業部 (〒550-0005 大阪府大阪市西区西本町 1-4-1)

阪神高速道路の鋼板接着により補強された RC 床版は、大規模更新・修繕事業の対象構造物となっているが、内部の RC 床版が直接視認できない構造であることから、健全性把握が困難となっている。本稿では、供用中の鋼板接着により補強された RC 床版における詳細調査で確認した内部変状の実態や各種パラメータとの関係について整理したものを報告する。

キーワード：鋼板接着 RC 床版、床版内部調査、床版内部変状

1. はじめに

阪神高速道路は、日交通量が約 70 万台で、大型車交通量は一般道路の約 6 倍となっており、過酷な使用状況にある。また、1964 年の供用開始から現在までの供用延長は約 260km で、その 8 割以上が橋梁構造物となっている。

橋梁構造物のうち RC 床版に着目すると、阪神高速道路の構造物資産は現在約 15 万パネル(主桁と対傾構または横桁とで囲まれた面)となっている。1972 年に RC 床版の陥没が発生し、これを契機として 1971 年以前の基準で設計された RC 床版に対しては床版下面から鋼板接着による補強が実施されている。

現在、この工法により補強された RC 床版(以下、鋼板接着 RC 床版という)は、RC 床版全数の 4 割強に相当する約 7 万パネルとなっており、大規模更新・修繕事業の対象でもある。しかし、鋼板接着 RC 床版は、内部の RC 床版が直接視認できない構造であることから、健全性の評価やその調査方法に関する知見が十分に蓄積されていない。

そこで本稿では、実橋床版の詳細調査で得られた結果をもとに、鋼板接着 RC 床版の内部変状の実態や各種パラメータとの関係を整理した結果を報告する。

2. 詳細調査の概要

詳細調査では、鋼板接着前の変状の有無、定期点検結果、陥没・砂利化等の発生履歴、舗装打換時の過切削による床版厚減少が疑われる箇所などを考慮して選定された鋼 I 桁の鋼板接着 RC 床版を有する 124 径間(1,624 パネル)を対象として、床版内部調査、床版上面のかぶり

厚さ調査およびコア削孔調査を実施した。

2.1 床版内部調査

小口径穿孔による床版内部調査の手順を以下に示す。

- ① φ5mm で調査箇所を削孔
- ② 削孔箇所にカラー樹脂を注入(変状箇所の着色)
- ③ φ10.5mm でカラー樹脂注入箇所を再削孔
- ④ 削孔箇所をエンコーダーおよびファイバースコープを使用して床版内部を撮影

なお、上記手順で取得した撮影データは、持ち帰って机上で画像処理し、変状の発生位置やひび割れ幅等についてデータ整理を行った。

2.2 床版上面のかぶり厚さ調査

電磁波レーダ探査法により床版上面のかぶり厚さ調査を実施した。調査パネルを有するレーン(1 径間内の主桁に囲まれた範囲)毎に、レーン中央付近を橋軸方向に電磁波レーダ探査機を舗装面で走査し、データの取得を行った。また、コア削孔によりコンクリート床版の上段鉄筋を露出させ、かぶり厚さを実測し、比誘電率を補正した。なお、床版のかぶり厚さは、内部鉄筋(芯かぶり 30mm, 主筋 D16, 配力筋 D16 が主体)を考慮し、かぶり厚さ(純かぶり) 22mm をしきい値として評価した。

2.3 コア削孔調査

コア削孔調査では、調査パネルを有するレーン毎に、コアマシンで外径 φ68mm×高さ 150mm 程度のコア試料を 3 本採取し、圧縮強度試験、塩分量測定を実施することを基本とした。

圧縮強度試験は、JISA 1107 に準じて行った。また、塩分量測定は、採取コアを使用して、床版上面付近、上段

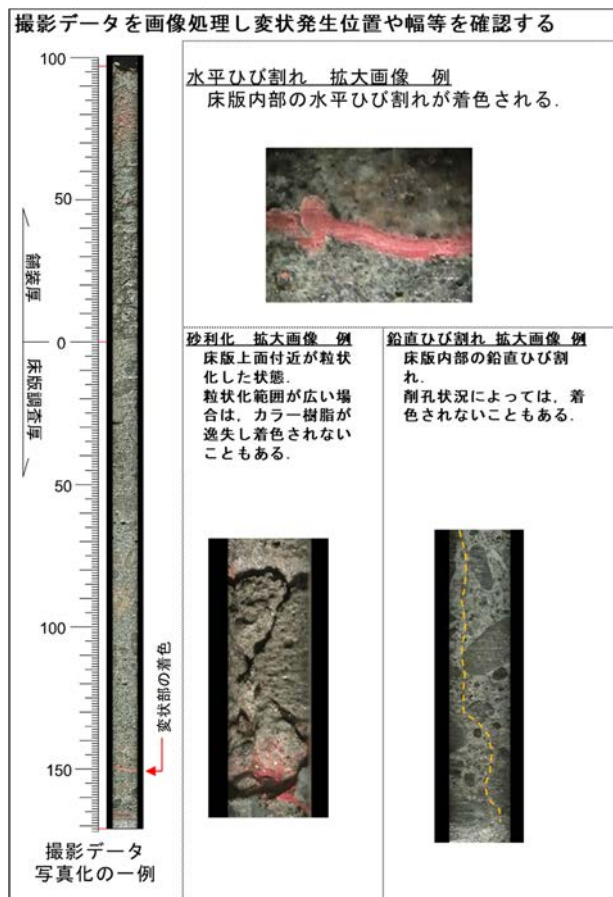


図-1 変状の画像例

鉄筋付近、床版中央付近および下段鉄筋付近に該当する位置で実施した。測定用の試料は、採取位置毎にコンクリートカッターで 10mm 厚にカットしたコア試料を 150 μm 以下に粉碎し、そこから 5g 採取したものを使用した。また、塩分量は蛍光 X 線分析装置により塩化物イオン濃度を測定した。

なお、測定値は、式(1)で算出した普通ポルトランドセメント使用時の腐食発生限界塩化物イオン濃度²⁾と比較し評価した。

$$C_{lim} = -3.0 \left(\frac{W}{C} \right) + 3.4 \quad (1)$$

ここに、 C_{lim} : 腐食発生限界塩化物イオン濃度 (kg/m³)
 W/C : 水セメント比 (55%と仮定)

3. 鋼板接着 RC 床版の内部変状の実態

3.1 床版内部調査の結果

水平ひび割れ、砂利化および鉛直ひび割れの画像例を図-1に、調査結果を図-2に示す。1,624 パネルのうち、水平ひび割れが 111 パネル、砂利化が 2 パネル、鉛直ひび割れが 7 パネル、水平ひび割れと鉛直ひび割れの複合が 1 パネルの計 121 パネルで変状を確認したが、大半のパネルは変状が確認できなかった。

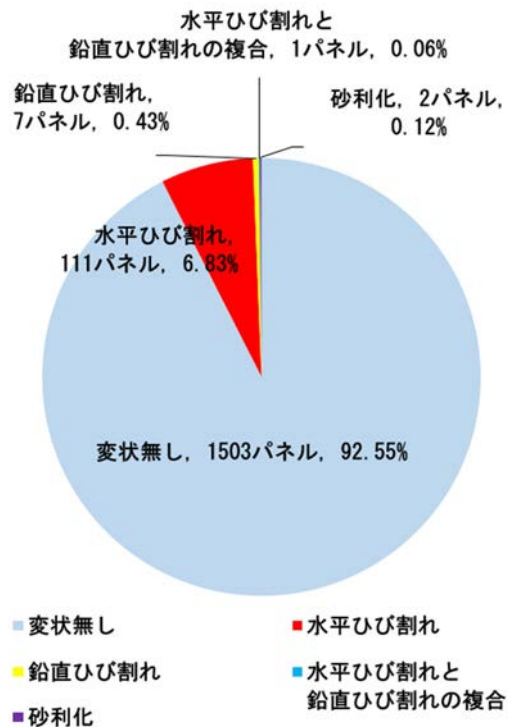


図-2 床版内部調査結果

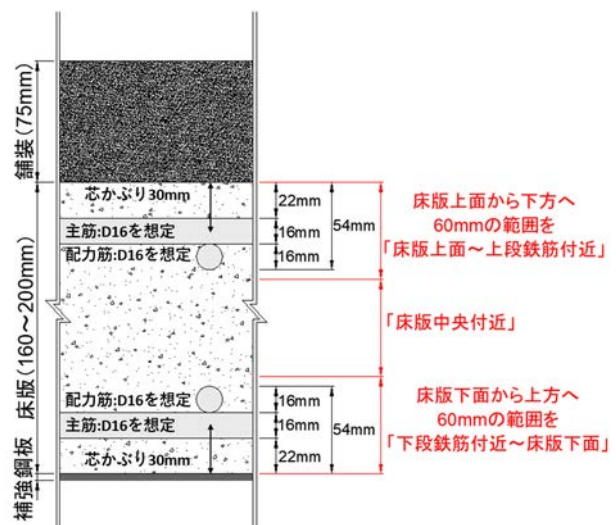


図-3 厚さ方向の位置区分図

3.2 変状の発生位置傾向

厚さ方向の位置区分図を図-3に示す。厚さ方向の位置区分は、調査パネルの床版厚 (150~200mm) と内部鉄筋 (芯かぶり 30mm, 主筋 D16, 配筋 D16 が主体) を考慮し、床版上面から下方へ 60mm の範囲を「床版上面～上段鉄筋付近」、床版下面から上方へ 60mm の範囲を「下段鉄筋付近～床版下面」とし、両者に挟まれた範囲を「床版中央付近」とした。

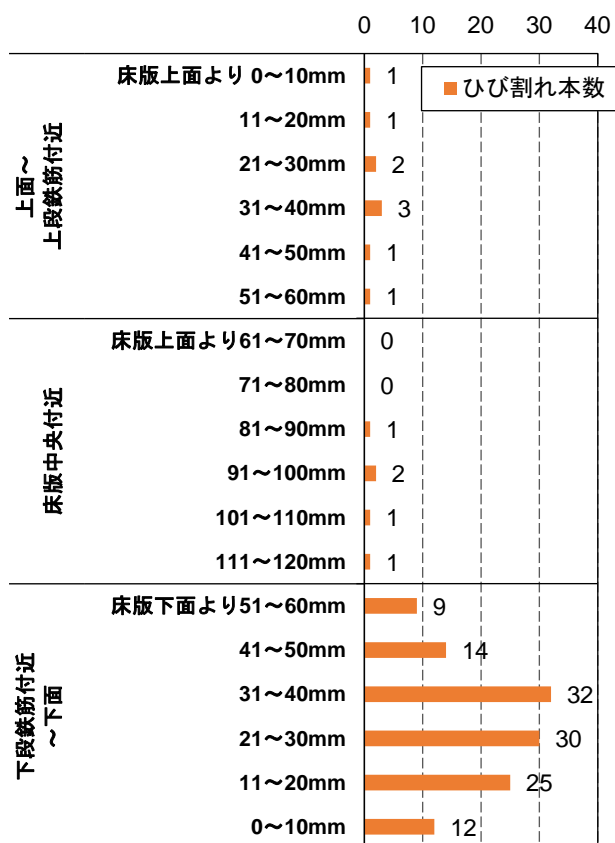
位置区分別の変状パネル数を表-1に示す。なお、同一パネル内で、同一の変状が異なる位置区分にそれぞれ

表一 位置区分別の変状パネル数

変状発生位置区分	変状	パネル数
上面～上段鉄筋付近	砂利化	2パネル
	鉛直ひび割れ	1パネル
	水平ひび割れ	7パネル
床版中央付近付近	鉛直ひび割れ	1パネル
	水平ひび割れ	5パネル
下段鉄筋付近～下面	鉛直ひび割れ	7パネル
	水平ひび割れ	104パネル

※同一パネル内で、異なる位置区分に変状を有する場合や異なる変状を有する場合は別々のパネルとして集計した。

水平ひび割れ発生本数



図一 床版深度別水平ひび割れ発生本数

生じている場合や、異なる変状を有する場合は別々のパネルとして集計した。これによると、砂利化は床版上面～上段鉄筋付近の範囲に発生していた。水平ひび割れおよび鉛直ひび割れは、各位置区分で発生しているが、そのうち9割程度は下段鉄筋付近～床版下面の範囲に発生していた。

水平ひび割れに着目し、深度別に水平ひび割れの発生本数を整理したものを図一に示す。水平ひび割れは、下段鉄筋付近～床版下面の範囲に集中しており、その中でも主筋位置に相当する床版下面から21～40mmの範囲に最も多く発生していた。なお、下段鉄筋の腐食状況については把握していない。

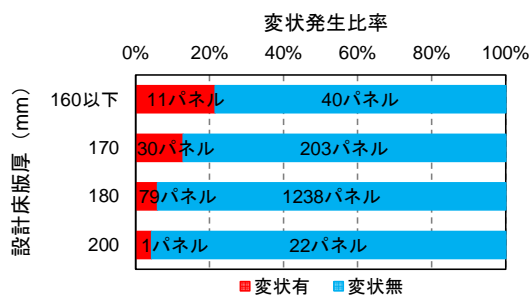
表二 比較パラメータと比較パネル数

パラメータ	比較パネル数	
設計床版厚	1624パネル	
実測床版厚 ^{※1}	1501パネル	
床版上面のかぶり厚さ ^{※2}	1535パネル	
圧縮強度試験結果 ^{※2}	1539パネル	
塩分量測定結果 ^{※3}	床版上面付近	1600パネル
	上段鉄筋付近	1539パネル
	床版中央付近	1528パネル
	下段鉄筋付近	1600パネル

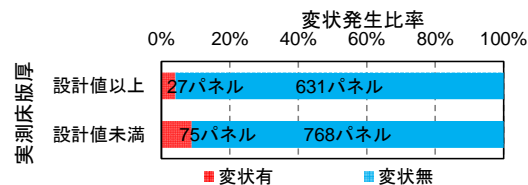
※1 床版内部調査時に、補強鋼板まで削孔出来ていないデータ（実測の床版厚が不明）を除外した。

※2 調査実施時期によっては、床版上面のかぶり厚さ調査や圧縮強度試験を一部実施していない箇所がある。

※3 調査実施時期によっては、塩分量測定実施時の採取深度が異なり、一部実施していない箇所がある。



図一 設計床版厚と内部変状の関係



図二 実測床版厚と内部変状の関係

4. 各種パラメータとの関係

各種パラメータと内部変状の関係を比較した。表二にパラメータと比較パネル数を示し、以下に列挙する。

4.1 床版厚と内部変状の関係

設計床版厚と内部変状の関係を図一に示す。設計床版厚は180mmのパネルが大半を占めており、設計床版厚別では床版厚が小さくなるにつれて変状発生率が高くなっている。

実測床版厚と内部変状の関係を図二に示す。これによると、実測床版厚が設計値未満のパネル総数は843パネル、設計値以上が658パネルと、設計値未満の方が3割程度多くっており、設計値未満のパネルで変状発生率は設計値以上のおよそ2倍となっている。なお、設計値未満となった原因として、施工誤差等で竣工時から不足している場合や竣工後に舗装打換時の過切削等で減少する場合が考えられるが、設計値未満のパネルがどちらに該当するかは不明である。また、変状発生時期も不明であることから、床版厚不足が変状発生にどのように影響したかは明らかでない。

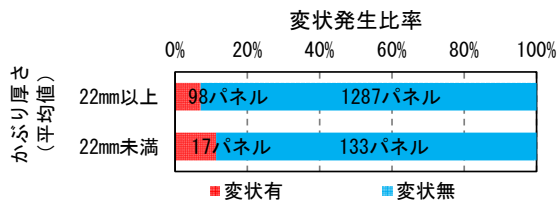


図-7 かぶり厚と内部変状の関係

4.2 床版上面のかぶり厚さと内部変状の関係

床版上面のかぶり厚さと内部変状の関係を図-7 に示す。かぶり厚さがしきい値 (22mm) 未満のパネルでは、しきい値以上のパネルと比較し、変状発生率が高くなっている。なお、かぶり厚さがしきい値未満である原因として、施工誤差等で竣工時から不足している場合や竣工後に舗装打換時の過切削等で減少した場合が推察されるが、明確な原因は不明である。また、変状発生時期も不明であることから、かぶり厚さ不足が変状発生にどのように影響したかは明らかでない。

4.3 圧縮強度と内部変状の関係

圧縮強度と内部変状の関係を図-8 に示す。なお、調査パネルの大半は設計基準強度が 28N/mm² であることから、図中ではこれを基準値として 10N/mm² 刻みで区分した。これによると、圧縮強度は設計基準強度以上のパネルがほとんどで、圧縮強度別では圧縮強度が小さくなるにつれて変状発生率が高くなっている。なお、圧縮強度が 28N/mm² 未満のパネルでは変状が確認できなかった。この範囲のパネルが 6 パネルと極端に少ないことが影響したと考えている。

4.4 塩化物イオン濃度と内部変状の関係

塩化物イオン濃度と内部変状の関係を図-9 に示す。なお、腐食発生限界塩化物イオン濃度は 1.8kg/m³ (以下、しきい値という) である。これによると、しきい値以上となったパネル数が最も多い深度は床版上面付近であり、次いで下段鉄筋付近であった。変状発生率は下段鉄筋付近のしきい値以上となるパネルで最も高くなっている。なお、今回の結果から鉄筋腐食との関連性が疑われるが、調査の範囲では鉄筋の腐食状況は確認できなかった。

5. まとめ

鋼板接着 RC 床版の詳細調査で得られた結果をもとに、内部変状の実態や各種パラメータとの関係を整理した。

以下に結果をまとめる。

- (1) 内部変状の大半が水平ひび割れであり、その約 9 割が、下段鉄筋付近～床版下面の範囲で確認された。
- (2) 設計床版厚が小さくなるほど、変状発生比率が高くなる傾向が見られた。また、実測床版厚に着目する

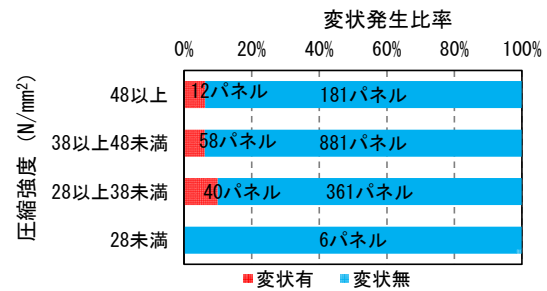


図-8 圧縮強度と内部変状の関係

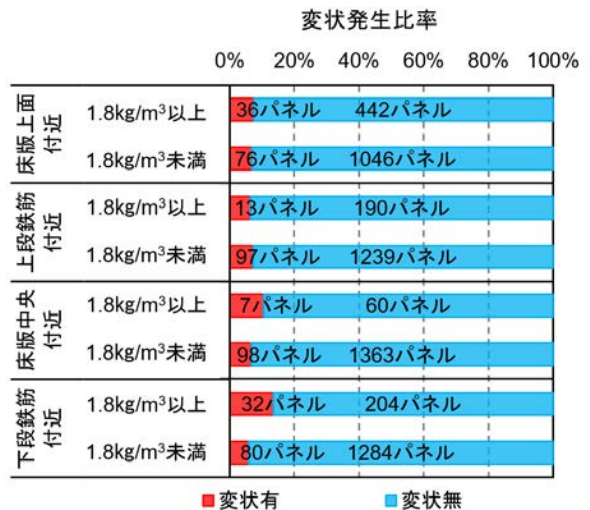


図-9 塩分量測定結果と内部変状の関係

と、実測床版厚が設計値未満の場合、設計値以上の場合より、変状発生比率が高かった。

- (3) 床版上面側のかぶり厚さが 22mm 未満の方が 22mm 以上の場合よりも変状発生率が高かった。
- (4) 圧縮強度 28N/mm² 以下を除くと、圧縮強度が小さくなるほど変状発生比率が高くなる傾向が見られた。
- (5) 塩化物量測定結果より、変状発生率は下段鉄筋付近でしきい値以上となるパネルが最も高くなっていた。

6. おわりに

今回は変状の有無と各種パラメータとの関係のみに着目したが、詳細調査は現在も継続していることから調査が終了次第、より詳細な分析を予定している。

参考文献

- 1) 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, (財)阪神高速道路管理技術センター, 技報 第 13 号, pp:130-137, 1994.4
- 2) 2018 年制定 コンクリート標準示方書 維持管理編, 土木学会, 2018.10

(2022 年 7 月 8 日受付)

(2022 年 9 月 9 日受理)