

## 報告

## 阪神高速道路における鋼板接着 RC 床版の調査事例

平山智啓\*, 佐藤彰紀\*\*, 坂本直太\*\*\*, 真野勝美\*

\*内外構造株式会社 技術開発部 (〒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 大阪管理局 (〒541-0056 大阪府大阪市中央区久太郎町 4-1-3)

\*\*\* 阪神高速技術株式会社 技術部調査点検課 (〒550-0005 大阪府大阪市西区西本町 1-4-1)

阪神高速道路では、鋼桁の鉄筋コンクリート床版に対する基本的な補強工法として鋼板接着工法を選定しているが、床版コンクリートを直接視認できないため、健全性評価が困難となっている。本稿では定期点検において蓄積されたデータを机上調査によりとりまとめた RC 床版の損傷実態や、供用中の鋼板接着工法により補強された RC 床版における微破壊調査結果と各種パラメータの関係性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、内部ひび割れ、微破壊調査

## 1. はじめに

阪神高速道路は、昭和 39 年に供用が開始され、現時点での供用延長は約 260km におよぶ。また、供用延長のうち橋梁構造が約 85% を占めており、土工区間の多い都市間高速に比べ、橋梁構造物の占める割合が高くなっている特徴がある。

橋梁構造物の RC 床版に着目すると、阪神高速道路には、現在約 15 万パネルが存在している。疲労耐久性の観点からみると、現行の床版設計基準（道路橋示方書等）に比べ、床版厚、鉄筋量、床版支間等が厳しいことから、主に昭和 46 年以前の基準で設計された RC 床版に対しては、下面からの鋼板接着補強を実施してきた。

現在、鋼板接着により補強された RC 床版（以下、鋼板接着 RC 床版という）は、阪神高速道路に約 7 万パネル存在し、大規模修繕事業の対象となっているが、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。

本稿では、大規模修繕実施箇所の選定手法の提案を目的に実施した机上調査と、供用中の鋼板接着工法により補強された RC 床版における微破壊調査結果と各種パラメータの関係性について整理したものを報告する。

## 2. 机上調査

阪神高速道路には、約 15 万パネルの RC 床版が存在することから、大規模修繕実施対象箇所を効率的に抽出する必要がある。

そこで、阪神高速道路が維持管理する RC 床版につい

て、対象構造物ごとに橋梁諸元、点検・損傷データ、補修履歴等を整理・分析した。

## 2.1 収集データの整理・分析の概要

収集データの整理・分析は、昭和 48 年度以前に竣工した鋼桁の RC 床版（軽量コンクリート床版を含む）を対象とし、2,688 径間（66,211 パネル）のデータ整理・分析を実施した。

データ収集には、阪神高速道路で稼働している保全情報システム（以下、保全情報という）より橋梁諸元、点検・損傷データ、補修履歴等構造物の基本データを収集し、構造物の建設時材料、補修材料のデータ、各種の詳細結果については、各種調査報告書、研究成果報告書、補修・補強履歴、および文献等よりデータ収集した。

なお、収集データの整理項目は以下のとおりである。

- ①竣工年度・適用基準・床版厚
- ②床版防水実施状況
- ③損傷状況（定期点検データ）
- ④補修補強の実施状況
- ⑤建設前の路下状況（河川の有無）
- ⑥大型車通行量（トラフィックカウンター）
- ⑦文献等

本稿では、収集データのうち、永続的な使用に対するリスクの高い構造物を抽出するためのパラメータとして、適用基準時期、床版厚、床版防水、建設前の路下状況、輪荷重載荷、および補強前の損傷度に着目した。

収集データの整理・分析結果を実施するにあたり、各種パラメータとパネル判定結果（点検・損傷データ）を比較した。阪神高速道路における点検におけるパネル判定のランク分けについては、表-1 に示す。

表-1 点検におけるパネル判定のランク分け

判定区分	S		A	B	C	OK
	S1	S2				
	機能低下が著しく、道路構造物の安全性から緊急に対策の必要がある場合	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	機能低下があり、対策の必要がある場合	損傷の状態を観察する必要がある場合	損傷が軽微である場合	左記以外
点検項目	不良音	路下で第三者の用に供されており、かつ落下防護ネットが未設置の箇所において以下の状況が確認される	鋼板1枚の1/2程度以上の範囲	鋼板1枚の1/2以下の範囲	わずかにある	-
	漏水・遊離石灰		泥水や錆汁を伴う著しい漏水・遊離石灰	顕著な漏水・遊離石灰	漏水・遊離石灰の流出がわずか	-
	鋼板のさび・腐食		0.2m <sup>2</sup> 以上の腐食・広範囲のさび	腐食・広範囲のさび	さびが点在	-
	鋼板の変形		著しい変形やずれ	一部に変形	軽微な変形	-
	シール部のはく離	① 鋼板の腐食が著しく、腐食片が欠落する恐れがある	広範囲のはく離かつ、車両通過時に鋼板が挙動	広範囲のはく離	一部にはく離	-
	アンカーボルト・ボルトシール部	② 鋼板端部シール材にわれ・挙動が見られはく離するおそれがある	アンカーボルトに破断・抜け落ちが見られ、かつ、車両通過時に鋼板が挙動	アンカーボルトに破断・抜け落ちが見られる	アンカーボルトのシール部が欠損	-
その他損傷	③ ボルトシール部にき裂や挙動があり、ボルトまたはシール材が落下する恐れがある	① 主桁上フランジ・端横桁からのずれ・浮きがありかつ、車両通過時に挙動 ② 床版相互が接触 ③ 型枠鋼板取り付けボルトが鋼板1枚当たり2本以上の欠損がある	① 主桁上フランジ・端横桁からのずれ・浮きがある ② 床版遊間が不良 ③ 端横桁からのずれ・浮き(挙動なし)があり、さびが流出 ④ 型枠鋼板取り付けボルトが鋼板1枚当たり2本以上の欠損がある、またはゆるみがある	端横桁との間にすき間はあがるが挙動していない	-	

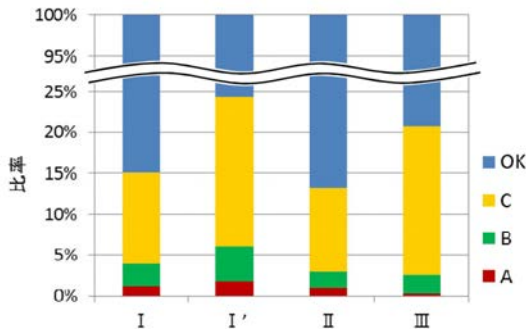


図-1 適用基準時期と鋼板接着 RC 床版のパネル判定結果

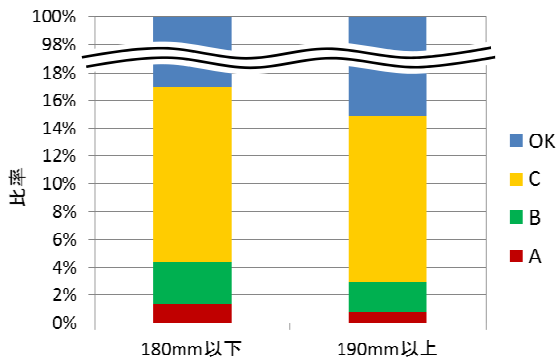


図-2 床版厚と鋼板接着 RC 床版のパネル判定結果

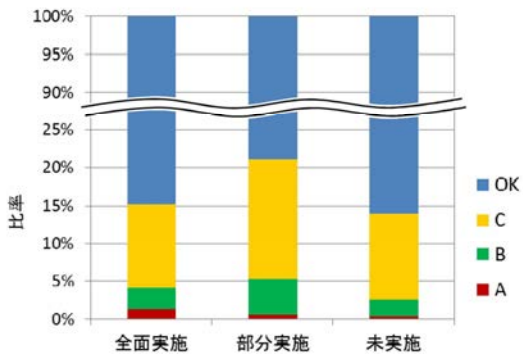


図-3 床版防水の実施範囲とパネル判定の関係

## 2.2 収集データの整理・分析の結果

各種パラメータの収集データの整理・分析結果を以下に列挙する。

### (1) 適用基準時期

設計基準は古い基準ほど設計条件が悪くなることから、適用基準時期ごとの損傷状況に優位差がみられるものと推測し、損傷状況との関係について分析した。

ここでは、適用基準時期を以下のとおり分類している。

I : 昭和 31 年または昭和 39 年の道路橋示方書を適用した RC 床版

I' : I かつ昭和 42 年の配力筋の設計要領に準拠した RC 床版

II : 昭和 39 年の鋼道路橋示方書で、かつ昭和 43 年の建設省暫定基準に準拠した RC 床版

III : 昭和 48 年の道路橋示方書を適用した RC 床版

適用基準時期と鋼板接着 RC 床版のパネル判定結果を図-1 に示す。鋼板接着 RC 床版のパネル判定は不良音を除いたパネル判定としている。A ランクの比率は、適用基準時期 I' がもっとも高くなっているものの、おおむね適用基準時期が古くなるにつれて高くなっている。

### (2) 床版厚

床版厚は RC 床版の疲労耐久性に影響を与えることが知られており、床版厚で優位差がみられるものと推測し、損傷状況との関係について分析した。

床版厚と鋼板接着 RC 床版のパネル判定結果を図-2 に示す。床版厚は適用基準時期 I の床版支間 3.85m での標準厚 180mm をしきい値として整理しており、鋼板接着 RC 床版のパネル判定については不良音を除いたパネル判定としている。A ランクの比率は、180mm 以下の床版厚で高くなっており、A ランクは床版厚が 180mm 以下の RC 床版で多く発生する傾向にあるといえる。

### (3) 床版防水の有無

湿潤状態における RC 床版の疲労寿命は、乾燥状態の疲労寿命に比べて、極端に低下するといわれており、床版防水の有無で損傷状況に優位差がみられるものと推測し、損傷状況との関係について分析した。

床版防水の実施範囲とパネル判定の関係を図-3 に示す。なお、床版防水は、設計条件が最も悪い適用基準時期 I の RC 床版を対象に、パネル単位で実施状況を整理しており、鋼板接着 RC 床版のパネル判定については不良音を除いたパネル判定としている。

これによると、A ランクの比率は、床版防水が未実施の RC 床版よりも全面実施や部分実施された RC 床版で高くなっており、床版防水が実施された RC 床版で A ランク損傷が多く発生する傾向となっている。なお、この原因については、漏水等の床版損傷が確認され、床版防水も未実施の径間は、通行止め工事等を利用し、床版防水が実施されてきている。しかし、本検討の対象となる RC 床版は大半が鋼板接着補強されており、鋼板接着 RC 床版の A ランク損傷、特に不良音については現段階で有効な補修方法が確立されておらず、A ランク損傷が経過観察対応で補修されていないことが考えられる。

#### (4) 建設前の路下条件

建設前に河川上であった箇所は、施工条件が厳しかったため、コンクリート品質に係る潜在的な弱点を有しやすいと考えられることから、損傷状況との関係について分析した。

建設前の路下条件と、パネル判定の関係を図-4 に示す。なお、鋼板接着 RC 床版は不良音を除いたパネル判定としている。ここからは、A ランクの比率は、河川（河川敷、水路含む）、河川以外とも同程度となっており、鋼板接着 RC 床版を含む現在の判定ランクについては、建設前の路下条件による違いはほとんど見られない。

#### (5) 補強前の損傷度

補強前の損傷度は、補強後の損傷発生やその後の進展速度に何らかの影響を与えると考えられることから、補強前の損傷度で補強後の損傷状況に優位差がみられると推測し、損傷状況との関係について分析した。

補強前のパネル判定と最新時のパネル判定の関係を図-5 に示す。

A ランクの比率は、補強前のパネル判定が悪くなるにつれて高くなっていることから、最新時の A ランクは補強前の損傷度が高い RC 床版で多く発生する傾向にあるといえる。

#### (6) 輪荷重載荷の有無

RC 床版の疲労は大型車等による活荷重の繰返し作用が大きく影響していることから、輪荷重載荷の有無や大型等の累計交通量の大小により損傷状況に優位差がみられるものと推測し、損傷状況との関係について分析した。

輪荷重載荷の有無と、パネル判定の関係を図-6 に示す。これによると、A ランクは輪荷重が載荷される RC 床版で多く発生しており、輪荷重載荷の有無が RC 床版の損傷発生に影響を与えている結果となった。なお、A ランクは輪荷重が載荷されない RC 床版でも発生しているが、これについては疲労劣化以外の要因で発生した可能性が高いと考えられる<sup>2)</sup>。

### 2.3 机上調査のまとめ

収集データを整理・分析した結果、各種パラメータと、各パネル判定結果の A ランク比率に着目すると、適用基準時期、床版厚、補強前の損傷度、および輪荷重載荷については、永続的な使用に対するリスクの高い構造物を抽出するために有効なパラメータであると判断した。

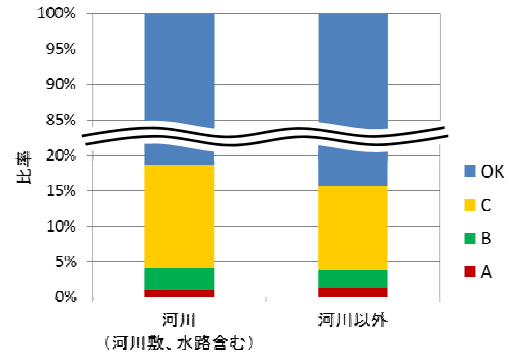


図-4 建設前の路下条件とパネル判定の関係

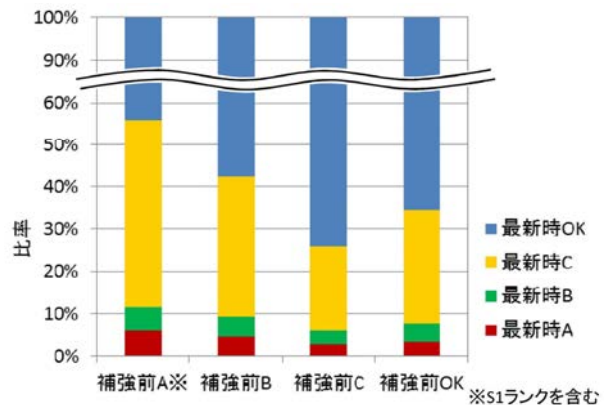


図-5 補強前のパネル判定と最新時のパネル判定の関係

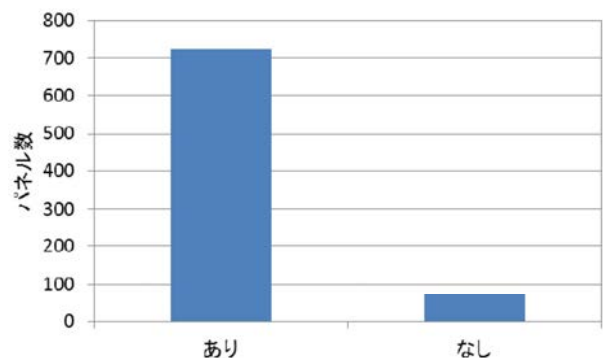


図-6 輪荷重載荷の有無とパネル判定の関係

### 3. 鋼板接着 RC 床版の微破壊調査

阪神高速道路における、供用中の鋼板接着 RC 床版に対して、微破壊調査を実施し、内部ひび割れの有無と鋼板接着 RC 床版の各種パラメータとの関係を整理した。微破壊調査は、先に述べた机上調査結果をもとに作成した選定フローにより選定（以下、「フロー選定」という）した調査箇所および車載型レーダー探査により別途選定（以下、「レーダー選定」という）された調査箇所に対して実施した。なお、今回選定した調査箇所は、各選定方法に基づき抽出することを基本としているが、交通状況、規制条件により、路線ごとの調査数量に偏りがある。

#### 3.1 フロー選定による調査箇所の抽出

机上調査をもとに作成した調査箇所を選定するフローを図-7に示す。フロー選定では、104 パネルを抽出し、微破壊調査を実施した。

#### 3.2 レーダー選定による調査箇所の抽出

レーダー探査は電磁波レーダー搭載車により舗装上面を走行し、舗装はく離・砂利化・水平ひび割れ・床版上面の滞水の疑いがある箇所を抽出するものである。

レーダー選定では、車載型レーダー探査により別途選定された、損傷発生の疑いがある箇所 60 パネルを抽出し、微破壊調査を実施した。

#### 3.3 調査方法

コンクリート内部に発生したひび割れを調査する方法として、微破壊調査 Single i 工法<sup>3)</sup>を採用し、コア削孔調査による、圧縮強度試験も実施した。

##### (1) 微破壊調査

Single i 工法の調査手順の模式図を図-8に示す。

調査手順は、① コンクリート削孔（φ5mm）→② カラー樹脂注入（変状箇所の着色）→③ コンクリート削孔（被せ掘り）→④ ファイバースコープでの撮影

（被せ掘り、φ10.5mm）→④ ファイバースコープでの撮影 である。

Single i 工法では、カラー樹脂により変状箇所が着色される。また、エンコーダによって深さを確認し、撮影（動画）データを写真化することで変状発生位置や幅等を把握する。本調査では、内部ひび割れ、砂利化、および舗装はく離といった変状を確認した。図-9に各変状の概要と変状例や、撮影（動画）データを写真化した一例を示す。

##### (2) 圧縮強度試験

調査箇所を有する径間でコアを各3本採取した。コアはコア外径 φ68mm×高さ 150mm 程度とし、圧縮強度試験は JISA 1107 に準じて実施した。

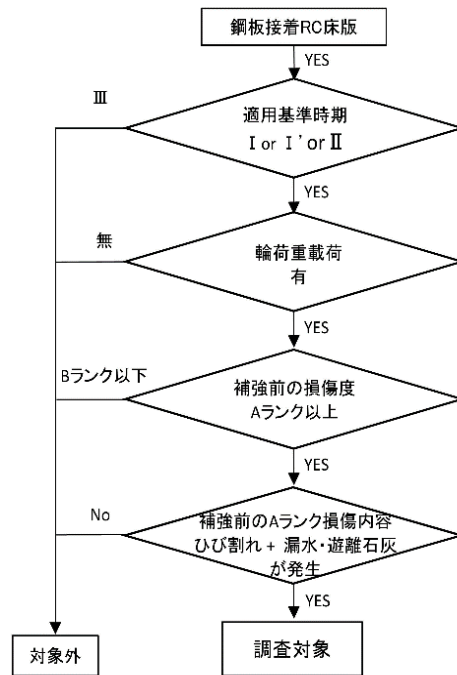


図-7 調査箇所選定フロー

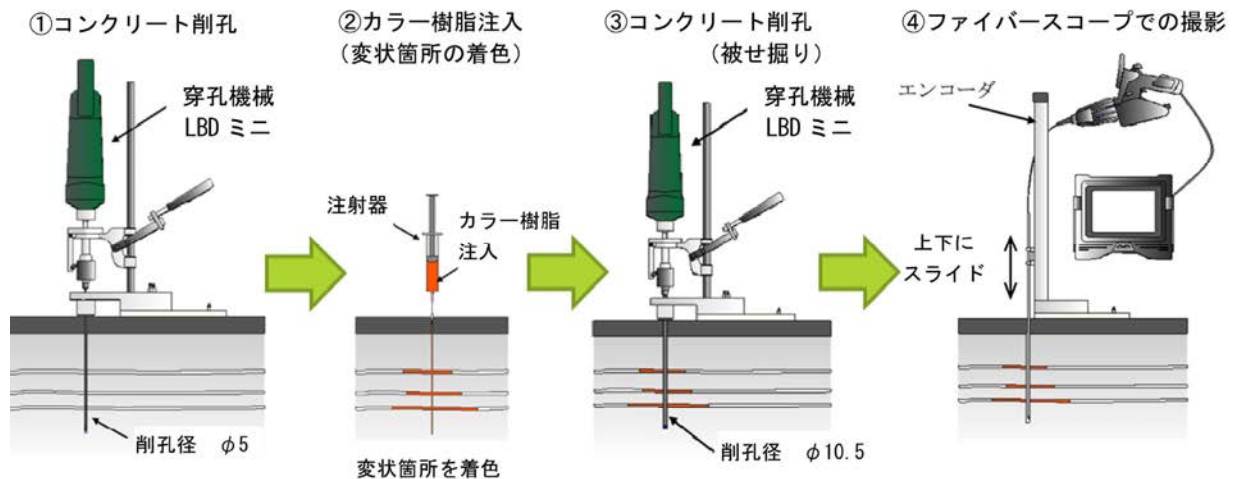


図-8 single i 工法 調査手順の模式図



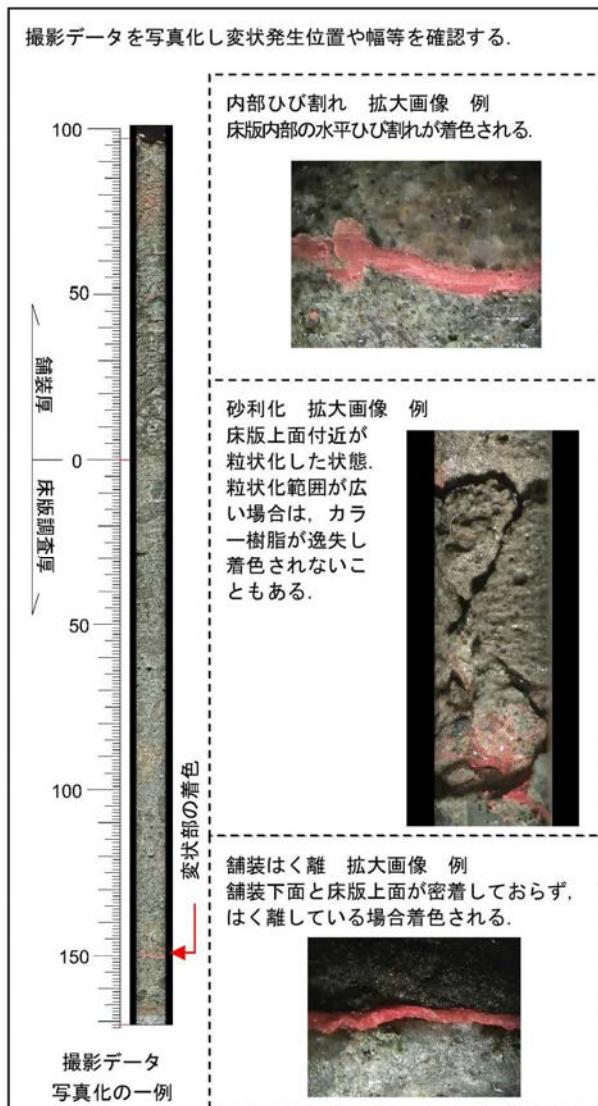


図-9 Single i 工法 撮影データ写真化および変状の一例

表-2 フロー選定による微破壊調査結果

路線	微破壊調査数量	内部ひび割れ有 (上段鉄筋位置 ～ 床版上面付近)	内部ひび割れ有 (下段鉄筋位置 ～ 床版下面付近)	内部ひび割れ 無
A	62パネル	2パネル	2パネル	58パネル
B	3パネル	0パネル	0パネル	3パネル
C	1パネル	0パネル	0パネル	1パネル
D	32パネル	1パネル	3パネル	28パネル
E	6パネル	2パネル	0パネル	4パネル
総計	104パネル	5パネル	5パネル	94パネル

表-3 レーダー選定による微破壊調査結果

路線	微破壊調査数量	損傷数量	損傷内容
A	52パネル	1パネル	舗装はく離
E	8パネル	3パネル	舗装はく離
総計	60パネル	4パネル	

### 3.4 調査結果

#### (1) フロー選定

フロー選定により微破壊調査を実施した結果を表-2に示す。調査箇所 104 パネルに対して、10 パネルで内部ひび割れを確認した。内部ひび割れを確認したパネルのうち、上段鉄筋から床版上面付近にひび割れを確認したものは、5 パネル、下段鉄筋から床版下面付近にひび割れを確認したものは、5 パネルであった。

フロー選定により微破壊調査を実施したパネルにおいて、内部ひび割れを確認したパネルは、10%程度であった。調査実施箇所をフロー選定により抽出することによって、効率的に内部ひび割れを確認できるものと考えられるが、路線ごとの調査数量に偏りがあることから、今後のデータ蓄積が必要と考える。

#### (2) レーダー選定

レーダー選定により微破壊調査を実施した結果を表-3に示す。

路線 A では 52 パネル中 1 パネル、路線 E では 8 パネル中 3 パネルで舗装はく離を確認した。

レーダー選定により抽出した箇所で行った微破壊調査では、床版コンクリート内部のひび割れを確認することができなかったが、フロー選定に比べ、調査数量や調査対象路線が少なく、分析データとしては偏りがあったことが影響している可能性がある。

### 3.5 内部ひび割れと各パラメータの関係

フロー選定と、レーダー選定により実施した、微破壊調査結果と各種パラメータとの関係を整理した。

なお、整理対象データはすべて本線部における鋼板接着 RC 床版である。

着目するパラメータは、適用基準時期、床版厚、および圧縮強度試験結果とし、着目理由や内部ひび割れとの関係を以下に示す。

#### (1) 適用基準時期

フロー選定において、調査箇所を抽出するパラメータとして設定されていることから着目した。適用基準時期と、内部ひび割れ発生率の関係を図-10に示す。なお、適用基準時期の分類は、先に述べた、2.2 収集データの整理・分析の結果 (1)適用基準時期に示すものと同じ分類とした。

図-10 では、最も古い適用基準時期にあたる、適用基準時期 I の内部ひび割れ発生率が最も小さかった。適用基準時期 I は、良質な骨材が使用でき、ポンプ打設が一般化する前の時代に竣工していることから、高品質のコンクリートを使用できた可能性があることや、床版支間長の違い、供用開始から鋼板接着補強が実施されるまでの期間等の要因が影響している可能性がある。

#### (2) 床版厚

机上調査において、A ランク損傷は床版厚が 180mm 以下の場合に多く発生する傾向があることが確認されてい

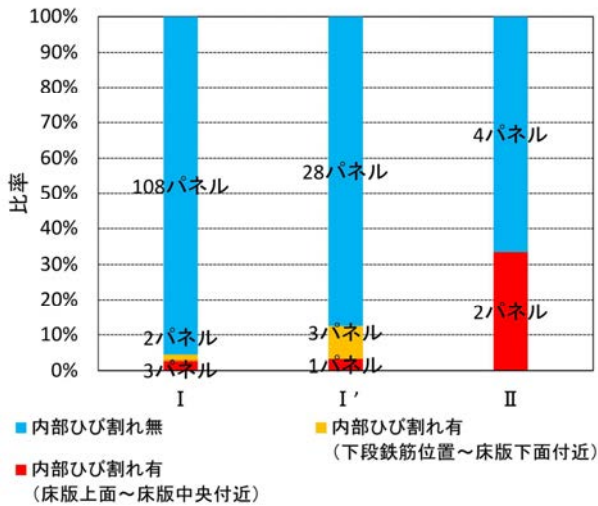


図-10 適用基準時期と内部ひび割れ発生率

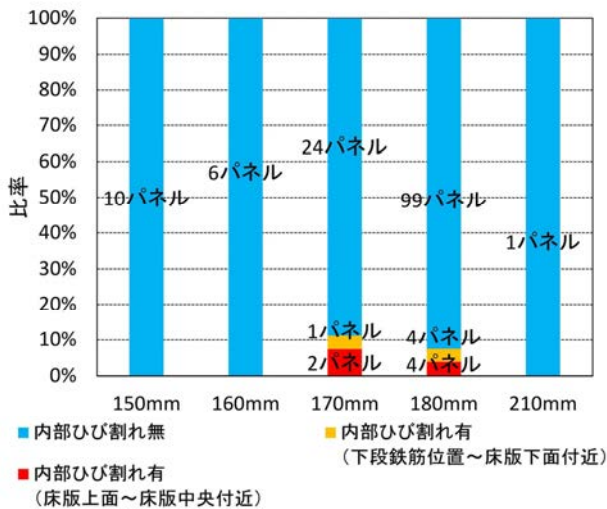


図-11 床版厚と内部ひび割れ発生率

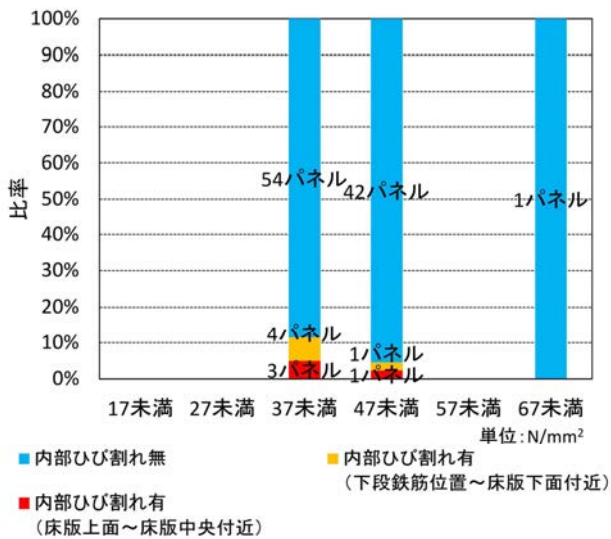


図-12 圧縮強度と内部ひび割れ発生率

ることから着目した。

床版厚と、内部ひび割れ発生率の関係を図-11 に示す。内部ひび割れ発生率は、床版厚が薄くなるほど増加する可能性があり、床版厚 170mm が最も高くなっている。しかし、床版厚 160mm 以下では、内部ひび割れは確認されなかった。

### (3) 圧縮強度

圧縮強度の大小と、内部ひび割れ発生率を比較することを目的に着目した。

圧縮強度と、内部ひび割れ発生率の関係を図-12 に示す。なお、圧縮強度試験は、微破壊調査を実施した 151 パネル中 106 パネルで実施した。内部ひび割れの発生率は圧縮強度の低いパネルで高くなる傾向にあり、圧縮強度の大小と内部ひび割れ発生率に有意差がみられた。

## 4. まとめ

本稿では、定期点検において蓄積されたデータを机上調査により整理・分析した結果、および供用中の鋼板接着 RC 床版における微破壊調査の結果と、鋼板接着 RC 床版の各種パラメータとの関係性について整理した。

机上調査では、各種パラメータとパネル判定における A ランク比率に着目して、データの整理・分析をおこない、適用基準時期、床版厚、補強前の損傷度、および輪荷重載荷が、永続的な使用に対するリスクの高い構造物を抽出するために有効なパラメータであると判断した。

微破壊調査は Single i 工法により床版内部状況の確認を実施し、机上調査結果をもとに作成した選定フローにより選定した箇所と、別途実施したレーダー探査結果により選定した箇所を中心に調査を実施した。内部ひび割れ発生率と、鋼板接着 RC 床版の各種パラメータとの関係性を整理した結果、内部ひび割れ発生率は、圧縮強度の大小で有意差を確認した。ただし、微破壊調査は、現時点では限られた路線でしか実施していないため、分析データとしては偏りがあり、今後もデータの蓄積が必要と考えている。

### 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ー: 道路橋 RC 床版のひび割れ損傷と耐久性, 平成 3 年 12 月
- 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, 2016 年 6 月
- 3) NETIS 新技術情報提供システム, 登録 No. HK-150004-A

(2018 年 7 月 20 日受付)