

論文

阪神高速道路における鋼板接着 RC 床版の健全性に関する検討

前川敬彦*, 佐藤彰紀**, 坂本直太***, 平山智啓*

*内外構造(株), 技術開発部, (〒541-0053 大阪市中央区本町 2-5-7)

**阪神高速道路(株), 大阪管理局 (〒552-0006 大阪市港区石田 3-1-25)

***阪神高速技術(株), 技術部 (〒541-0053 大阪市中央区本町 2-5-7)

阪神高速道路の鋼板接着 RC 床版は, 大規模更新・修繕事業の対象構造物で, 今後も長期にわたって使用可能かどうかを判断していく必要がある。しかし, 鋼板接着 RC 床版は, RC 床版の状態が直接視認できない構造であることから, 健全性の評価方法等に課題がある。現在は, 対象箇所を選定方法に関する検討が実施されており, その判断基準に資するためのデータ取得として微破壊による内部調査や床版たわみ測定が実施されている。そこで本稿では, 微破壊による内部調査や床版たわみ測定の結果を報告する。また, 床版たわみによる健全性の推定やその評価方法についても提案する。

キーワード: 鋼板接着 RC 床版, 床版たわみ

1. はじめに

阪神高速道路では, RC 床版の補強工法として, RC 床版の曲げ耐力や疲労耐久性を大幅に向上させる鋼板接着工法が採用されている。この工法で補強された RC 床版(以下, 鋼板接着 RC 床版という)は, 現在約 7 万パネルあり, RC 床版の全数約 15 万パネルの 4 割強に相当する。また, 一部の鋼板接着 RC 床版は補強後の経過年数が 40 年を超えている。近年は, 上段鉄筋や下段鉄筋付近で発生した水平方向のひび割れ(以下, 内部ひび割れという)や, 床版上面付近の砂利化が一部で確認されており, 鋼板接着 RC 床版の劣化が顕在化し始めている。しかし, 鋼板接着 RC 床版は, RC 床版の状態が舗装と補強鋼板で直接視認できない構造であることから, 現行の調査手法では耐荷性能および耐久性(以下, これらを健全性という)の低下度合いを適切に評価することが困難な状況にある。一方で鋼板接着 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ことから, 健全性を評価し, 今後も長期にわたって使用可能かどうかを判断していく必要がある。現在は, 同事業の対象箇所の選定方法に関する検討が実施されており, その判断基準に資するためのデータ取得として微破壊による内部調査(以下, 微破壊調査という)や床版たわみ測定が積極的に実施されている。

そこで本稿では, 同じ路線内の本線部や入路部で実施した微破壊調査結果を報告する。また, 主に微破壊調査の対象パネルで実施した床版たわみ測定結果を報告する。さらに, 床版たわみによる健全性の推定結果を報告する

とともに, 健全性の評価方法についても提案する。

2. 微破壊調査

微破壊調査は, 同じ路線内で, 1968 年の鋼道路橋の床版設計に関する暫定基準(案)以前の基準が適用され, 補強鋼板接着前に A ランク¹⁾以上のひび割れや漏水・遊離石灰が発生していた鋼板接着 RC 床版の中から, 作業性を考慮して 86 パネル(本線部: 68 パネル, 入路部: 18 パネル)選定し実施した。なお, 入路部は同じ入路内で選定した。また, 選定径間はいずれも 1969 年に竣工した鋼合成鉄桁橋で, 床版厚は 170~180mm となっている。

2.1 調査方法

微破壊調査は, Single i 工法を採用し, 以下の手順で調査した。

- 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 削孔箇所をファイバースコープで撮影

Single i 工法では, カラー樹脂でひび割れ等の変状箇所を着色し, ファイバースコープを深さ方向に移動させてその状況を撮影した。撮影データは持ち帰って柱状図化し, 変状の発生位置やひび割れ幅等を確認した。柱状図化した撮影データおよび確認した変状を図-1 に示す。この事例では, 床版下面から 22mm 付近に 0.7mm 程度のひび割れ(着色部)が発生していた。なお, この事例では確認していないが, 砂利化の確認例も図中に示した。

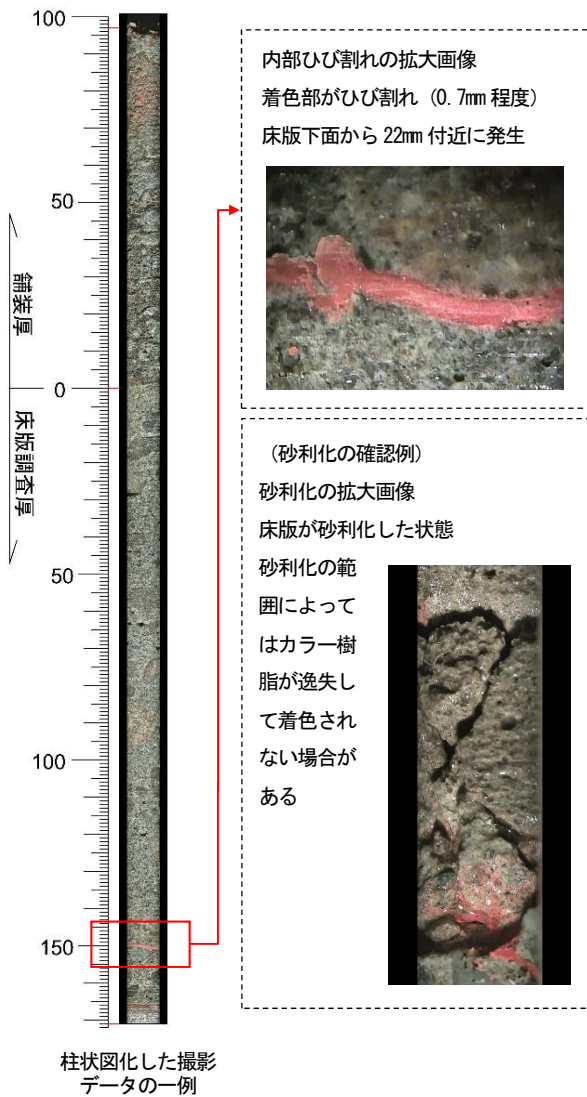
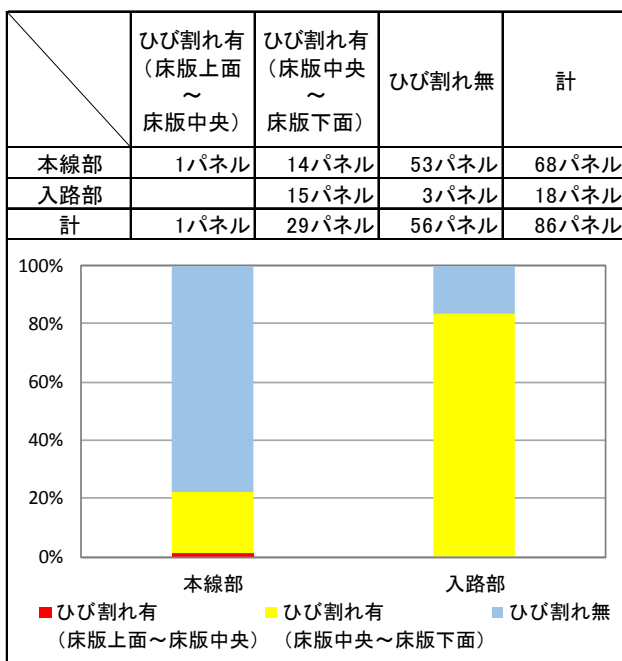


図-1 柱状図化した撮影データおよび確認した変状例

表-1 微破壊調査結果



2.2 調査結果

微破壊調査結果を表-1に示す。内部ひび割れは86パネル中30パネルで確認した。内部ひび割れの確認位置は、床版上面から床版中央間で1パネル、床版中央から床版下面間で29パネルとなっており、床版下面側(主に下段鉄筋付近)が大半を占めていた。また、今回の調査範囲では、本線部より入路部で内部ひび割れが多く確認される傾向にあった。

3. 床版たわみ測定

床版たわみ測定は、内部ひび割れの有無による床版たわみの傾向把握や、鋼板接着RC床版の健全性の推定を目的としたもので、内部ひび割れを確認した本線部の2径間および入路部の4径間で実施した。なお、以降に示す測定パネルの○番号は後述する4章とも共通している。

3.1 測定対象床版の概要

(1) 本線部

本線部の2径間は、直線橋(以下、A径間という)および曲線橋(以下、B径間という)で、いずれも橋長25mの鋼単純合成鉄桁橋(1969年竣工)である。

A径間は、床版厚170mm、床版支間3170mmのRC床版で、1976～1993年に鋼板接着補強されている。床版たわみ測定は、図-2に示すように、下り線の追越車線側に位置する①～④パネル、ならびに上り線の追越車線側に位置する⑤および⑥パネルで実施した。微破壊調査は各パネルとも走行車両の荷重位置付近の2箇所で行った。内部ひび割れは、①、②、⑤および⑥パネルで各2箇所確認し、いずれも下段鉄筋位置に発生していた。

B径間は、床版厚180mm、床版支間3180～3243mmのRC床版で、1976～1980年に鋼板接着補強されている。床版たわみ測定は、図-3に示すように、上り線の追越車線側に位置する⑦～⑩パネルで実施した。微破壊調査は各パネルとも走行車両の荷重位置付近の2箇所で行った。

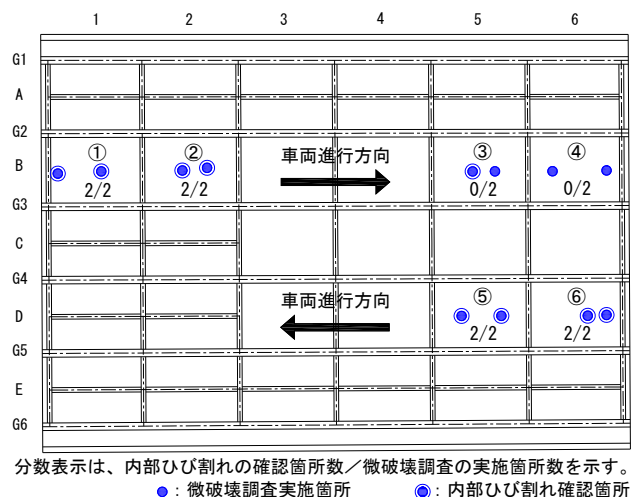
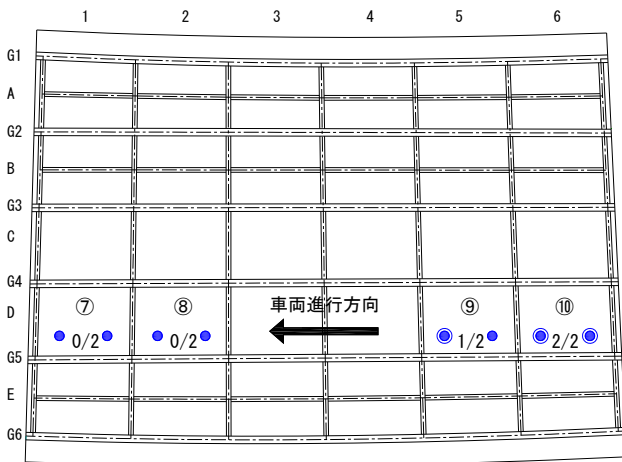
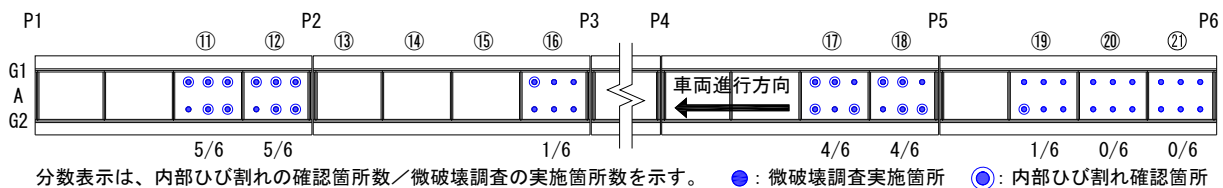


図-2 A径間の測定パネルと微破壊調査実施箇所



分数表示は、内部ひび割れの確認箇所数／微破壊調査の実施箇所数を示す。
●：微破壊調査実施箇所 ●：内部ひび割れ確認箇所

図-3 B 径間の測定パネルと微破壊調査実施箇所



分数表示は、内部ひび割れの確認箇所数／微破壊調査の実施箇所数を示す。●：微破壊調査実施箇所 ●：内部ひび割れ確認箇所

図-4 C 入路の測定パネルと微破壊調査実施箇所

した。内部ひび割れは、⑨パネルで1箇所、⑩パネルで2箇所確認し、いずれも下段鉄筋付近に発生していた。

(2) 入路部

入路部（以下、C入路という）は、直線橋で、橋長22mの鋼単純合成鉄桁橋（1969年竣工）が5径間で構成されている。RC床版は、床版厚が180mm、床版支間が4000mmで、1980～1982年に鋼板接着補強されている。床版たわみ測定は、図-4に示すように、⑪～⑳パネルで実施した。微破壊調査は、⑬～⑮以外のパネルで、各パネルとも走行車両の荷重位置付近の6箇所で行った。内部ひび割れは、⑯および⑲パネルで各1箇所、⑰および⑱パネルで各4箇所、⑪および⑫パネルで各5箇所確認し、いずれも下段鉄筋付近に発生していた。

3.2 測定方法の概要

測点配置を図-5に示す。床版たわみは、隣接する両主桁の下フランジに仮柱を固定し、仮柱間に設けた不動梁に高感度変位計（東京測器研究所：CDP-10）を設置して測定した。各パネルの測点は、対傾構間の中央で、床版支間のL/4、L/2および3L/4の3点とした。床版たわみは不動梁とRC床版の相対変位の変化量とした。不動梁は、片方を単純支持、もう片方を可動支持とした。

床版たわみ測定では、表-2に示すように、約20tの大型3軸トラックを時速20～60km程度で走行させる動的荷重試験を実施した。荷重位置は、主桁位置と車線配置の関係から、床版支間中央と試験車の片側ダブルタイヤの中央が重なる片輪荷重とした。有効測定回数は3回で、

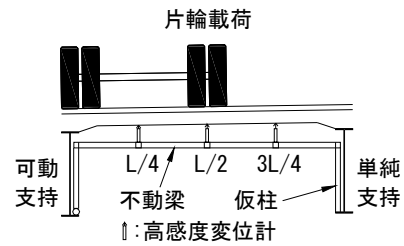


図-5 測点配置

表-2 試験車の軸重値

	A径間	B径間	C入路
前軸重量	5.8 t	5.8 t	4.9 t
後軸重量-前	7.0 t	7.0 t	7.4 t
後軸重量-後	7.1 t	7.1 t	7.6 t
合計	19.9 t	19.9 t	19.9 t

その平均値を床版たわみとして整理した。

3.3 床版たわみの測定結果

(1) A 径間

桁端部側パネルの床版たわみを図-6に、径間中央側パネルの床版たわみを図-7に示す。なお、各測定値は平均値±0.01mmの範囲に収まっている。床版支間中央たわみは、桁端部側パネルでは、内部ひび割れが0箇所の④パネルで0.23mm、内部ひび割れが2箇所の①パネルで0.24mm、同様に2箇所の⑥パネルで0.26mmとなっており、内部ひび割れの確認箇所数と床版たわみの大きさが相関していた。一方で径間中央側パネルは、内部ひび割れが0箇所の③パネルで0.31mm、内部ひび割れが2箇所の②パネルで0.28mm、同様に2箇所の⑤パネルで0.33mmとなっており、内部ひび割れの確認箇所数と床版たわみの大きさに相関が見られなかった。床版たわみの断面方向の分布については、各パネルとも概ね二次放物線上にプロットされており、劣化の局所的な進展はないものと推測される。

(2) B 径間

桁端部側パネルの床版たわみを図-8に、径間中央側パネルの床版たわみを図-9に示す。なお、各測定値は平均値±0.01mmの範囲に収まっている。床版支間中央たわみは、桁端部側パネルでは、内部ひび割れが0箇所の⑦パネルで0.23mm、内部ひび割れが2箇所の⑩パネルで0.26mmとなっており、内部ひび割れの確認箇所数と床版たわみの大きさが相関していた。また、径間中央側

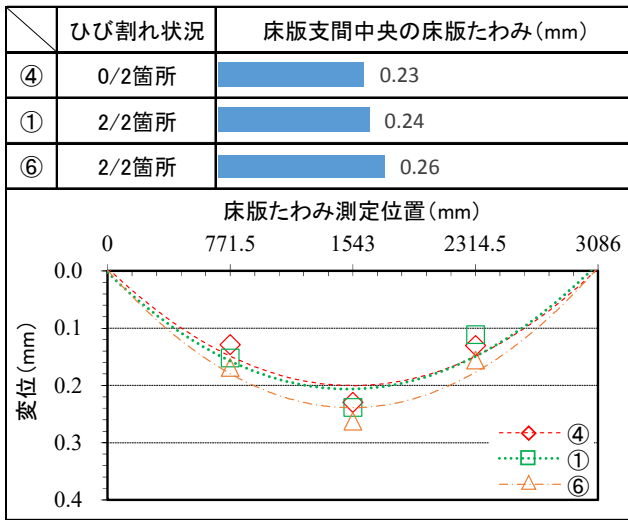


図-6A 径間の桁端部側パネルの床版たわみ

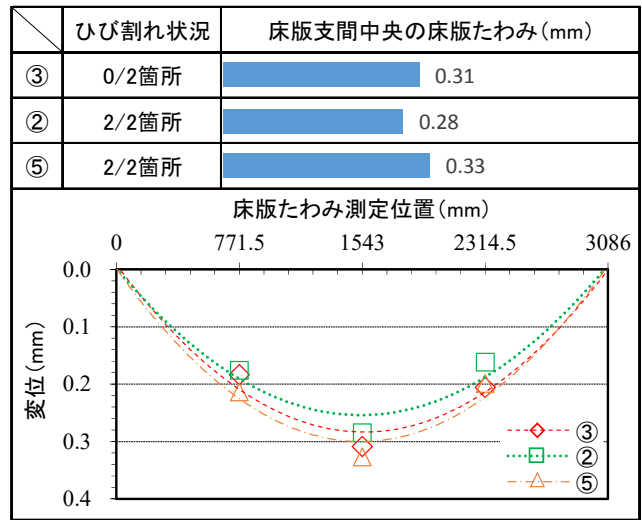


図-7A 径間の径間中央側パネルの床版たわみ

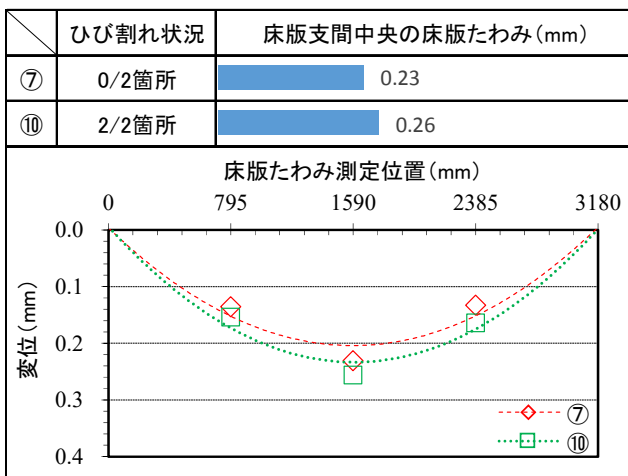


図-8B 径間の桁端部側パネルの床版たわみ

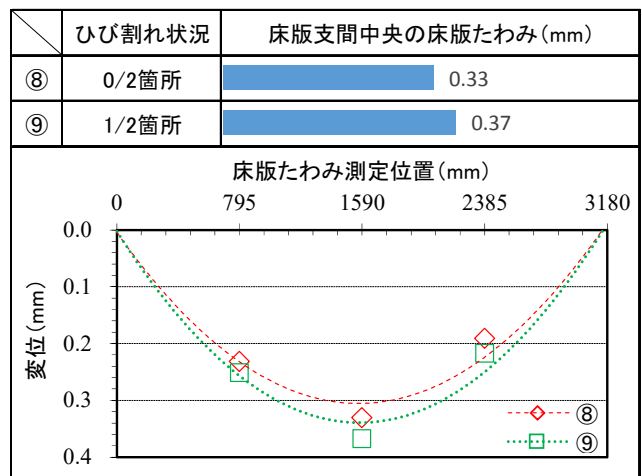


図-9B 径間の径間中央側パネルの床版たわみ

パネルについても、内部ひび割れが0箇所⑧パネルで0.33mm、内部ひび割れが1箇所⑨パネルで0.37mmとなっており、内部ひび割れの確認箇所数と床版たわみの大きさが相関していた。床版たわみの断面方向の分布については、各パネルとも概ね二次放物線上にプロットされており、劣化の局所的な進展はないものと推測される。

(3) C 入路

微破壊調査を実施した桁端部側パネルの床版たわみを図-10に、径間中央側パネルの床版たわみを図-11に示す。なお、各測定値は平均値 $\pm 0.02\text{mm}$ の範囲に収まっている。床版支間中央たわみは、桁端部側パネルでは、内部ひび割れが0箇所⑭パネルで0.47mm、内部ひび割れが1箇所⑯パネルで0.48mm、内部ひび割れが4箇所⑰パネルで0.49mm、内部ひび割れが5箇所⑱パネルで0.51mmとなっており、内部ひび割れの確認箇所数と床版たわみの大きさが相関していた。また、径間中央側パネルについても、内部ひび割れが0箇所⑳パネルで0.40mm、内部ひび割れが1箇所㉑パネルで0.48mm、内部ひび割れが4箇所㉒パネルで0.54mm、内部ひび

割れが5箇所㉓パネルで0.55mmとなっており、内部ひび割れの確認箇所数と床版たわみの大きさが相関していた。床版たわみの断面方向の分布については、各パネルとも概ね二次放物線上にプロットされており、劣化の局所的な進展はないものと推測される。

4. 床版たわみによる健全性の推定

RC床版では実測たわみ値と理論たわみ値を用いて劣化度を評価する手法が提案されている²⁾。しかし、鋼板接着RC床版は、理論たわみ値の算出方法に課題があるため、評価手法の構築にまで至っていない。そこで本稿では、床版サイズが類似した鋼板接着RC床版をそれぞれ比較する方法で健全性の推定を試みた。

4.1 A 径間

A径間は、床版サイズが類似し、同様の測定を実施した床版たわみ³⁾(床版厚170mm, 床版支間3200~3270mm)を基準値として健全性の推定を試みた。桁端部側パネルの比較を図-12に、径間中央側パネルの比較を図-13に

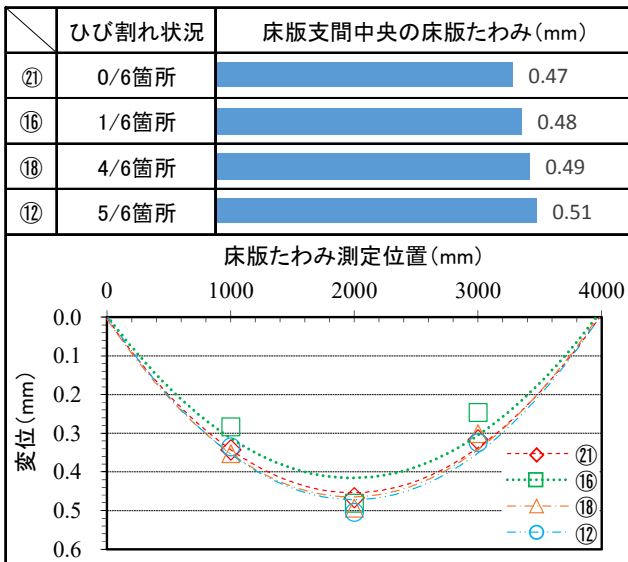


図-10 C 入路の桁端部側パネルの床版たわみ

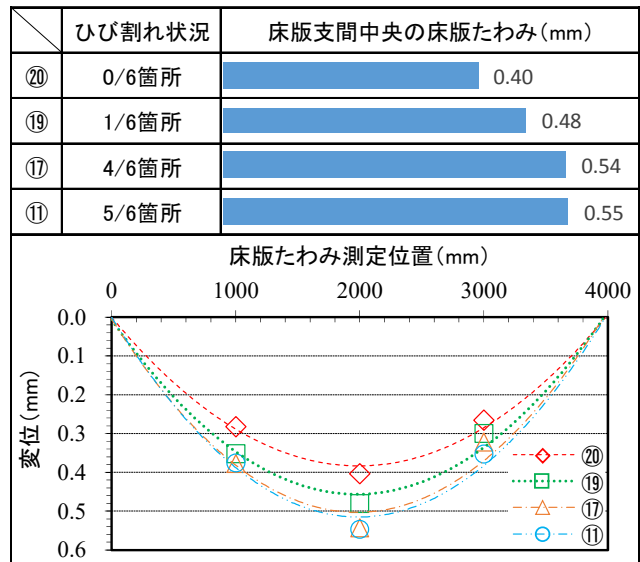


図-11 C 入路の径間中央側パネルの床版たわみ

示す。なお、桁端部側の基準値は、上段鉄筋および下段鉄筋付近で内部ひび割れを確認し、健全性の大幅な低下が確認されたパネルの結果である^{3),4)}。また、径間中央側の基準値は健全と判断されたパネルの結果である^{3),4)}。

桁端部側のパネルでは、床版支間中央たわみは、内部ひび割れの有無によるたわみ差が 10%程度生じているが、各パネルとも基準値の 60%程度であった。内部ひび割れの全体的な発生状況は把握できていないが、各パネルとも断面方向の分布が概ね二次放物線上にプロットされていることや、後述する径間中央側パネルの推定結果を踏まえると、各パネルは概ね健全な状態であると推定され、内部ひび割れの有無による健全性の差もほとんど生じていないと推測される。

径間中央側のパネルでは、床版支間中央たわみは、内部ひび割れの有無によるたわみ差が 10%程度生じているが、各パネルとも基準値を下回っている。また、内部ひび割れの全体的な発生状況は把握できていないが、断面方向の分布も概ね二次放物線上にプロットされていることを踏まえると、各パネルは概ね健全な状態であると推定され、内部ひび割れの有無による健全性の差もほとんど生じていないと推測される。

4.2 B 径間

B 径間は、類似の測定事例がないことから、内部ひび割れが 0 箇所^㉑および^㉒パネルの床版たわみを基準値として健全性の推定を試みた。桁端部側パネルの比較は図-8 に、径間中央側パネルの比較は図-9 に示している。内部ひび割れを確認したパネルの床版支間中央たわみは、桁端部側、径間中央側とも内部ひび割れが 0 箇所のパネルより 10%程度大きい。この差が健全性の違いによるものかは不明であるが、A 径間のたわみ差が 10%程度であることを踏まえると、内部ひび割れの有無による健全性の差はほとんど生じていないと推測される。

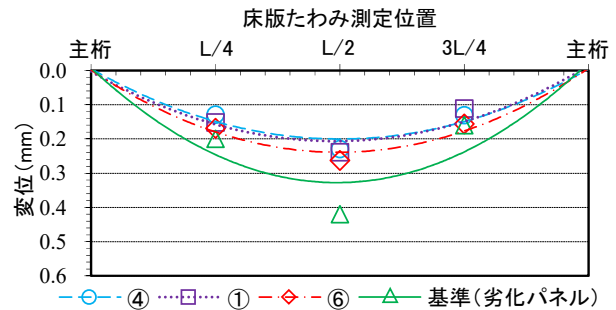


図-12 A 径間の桁端部側パネルの床版たわみ比較

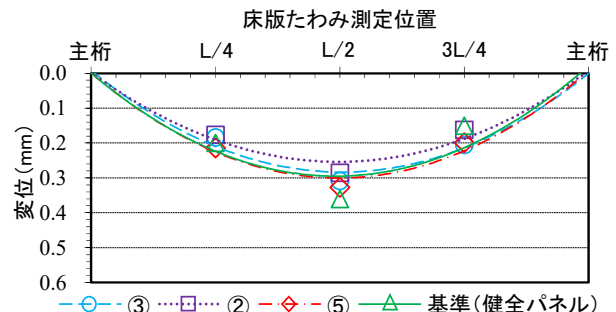


図-13 A 径間の径間中央側パネルの床版たわみ比較

4.3 C 入路

C 入路は、微破壊調査が未実施の^㉑～^㉓パネルを対象に、内部ひび割れが 0 箇所^㉕および^㉖パネルの床版たわみを基準値として健全性の推定を試みた。桁端部側パネルの比較を図-14 に、径間中央側パネルの比較を図-15 に示す。桁端部側の^㉑パネルは、床版たわみが基準値と同程度で、断面方向の分布も概ね一致していることから、^㉖パネルと同程度の健全性と推定される。一方で径間中央側の^㉑パネルは、床版支間中央たわみが基準値の約 2 倍に相当する 0.81mm で、断面方向の分布も二次放物線上から大きく外れている。文献³⁾や文献⁴⁾の結果を踏まえると、床版支間の中央付近で劣化が進展し、健全性も大幅に低下している可能性がある。^㉑パネルは、床

版たわみは 0.62mm と比較的大きいが、断面方向の分布は概ね二次放物線上にプロットされていることから、劣化の局所的な進展はないが、健全性は⑭パネルに次いで低下していると推定される。

5. 健全性の評価方法の提案

著者らは、今回のように床版支間中央たわみが断面方向の二次放物線上から大きく外れた鋼板接着 RC 床版を過去にも確認している³⁾。当該床版は、鋼板撤去後に切り出されており、側面では上段鉄筋および下段鉄筋付近に内部ひび割れが、下面では全面に鉛直ひび割れが発生しており、中央付近の鉛直ひび割れは漏水を伴っていた。また、中央付近には広範囲の浮き・はく離も発生しており、露出鉄筋は腐食していた。さらに、当該床版を利用した輪荷重走行試験では健全性の大幅な低下も確認されている⁴⁾。これらを踏まえると、床版支間中央たわみが断面方向の二次放物線上から大きく外れた原因として、局所的に進展した劣化が中央付近の健全性を大幅に低下させたためと考えられ、このことが補強鋼板を異常に変形させたと考えられた。今回の調査でも床版支間中央たわみが断面方向の二次放物線上から大きく外れた鋼板接着 RC 床版を確認しており、健全性の大幅な低下が懸念される。なお、文献³⁾では、床版支間中央と試験車中心が重なる両輪荷重も実施しているが、断面方向の分布は概ね二次放物線上にプロットされていた。また、健全と判断した鋼板接着 RC 床版とのたわみ差も小さく、版としては健全に近い状態であったと判断している。

このように、床版たわみは、曲げ耐力が大幅に向上した鋼板接着 RC 床版であっても、断面方向の分布状況で健全性の評価が可能と考えられる。また、劣化位置や範囲についても、二次放物線と床版たわみの位置関係である程度把握可能と考えられる。測定方法については、動的荷重試験であれば測定コストの低減が可能である。なお、微破壊調査は、調査箇所と削孔数が調査精度に大きく影響するため、費用対効果の面で課題がある。

以上から本検討では、床版支間の L/4、L/2 および 3L/4 の 3 点で床版たわみを測定し、断面方向の分布状況から鋼板接着 RC 床版の健全性の評価する方法を提案する。なお、微破壊調査は、現状では異常な床版たわみが測定された場合の内部確認等の利用が想定される。

6. まとめ

鋼板接着 RC 床版の微破壊調査や床版たわみ測定を実施し、床版たわみによる健全性の推定を試みた。また、健全性の評価方法についても提案した。以下にまとめる。

- (1) 今回調査した鋼板接着 RC 床版は床版下面側（主に下段鉄筋付近）で内部ひび割れが多く発生していた。また、入路部で多く確認される傾向にあった。

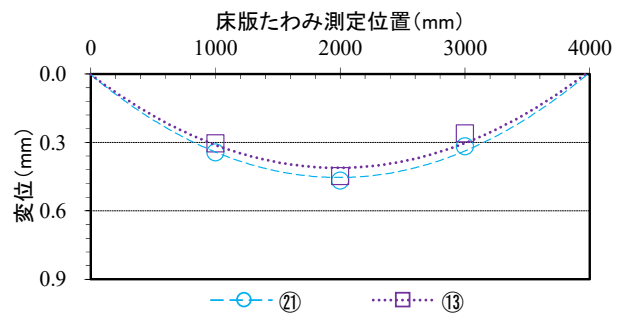


図-14 C 入路の桁端部側パネルの床版たわみ比較

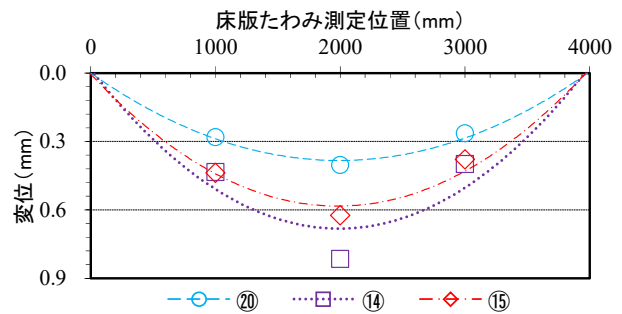


図-15 C 入路の径間中央側パネルの床版たわみ比較

- (2) 片輪荷重の床版支間中央たわみは、床版サイズが類似する本線部で 0.2~0.4mm 程度、床版支間がより大きい入路部で 0.4~0.8mm 程度であった。
- (3) 今回調査した本線部の鋼板接着 RC 床版は、概ね健全な状態と推定され、内部ひび割れの有無による健全性の差もほとんど生じていないと推測された。
- (4) 今回調査した入路部では、健全性の大幅な低下が懸念される鋼板接着 RC 床版を確認した。
- (5) 床版支間の L/4、L/2 および 3L/4 の 3 点で床版たわみを測定し、断面方向の分布状況から鋼板接着 RC 床版の健全性の評価する方法を提案した。

7. 今後の課題

C 入路は床版を撤去し調査する計画があるが、鋼板接着 RC 床版のたわみや状態に関する調査事例は十分でない。また、床版サイズが異なる場合の評価方法など解決すべき課題も多いことから、今後も同様の調査を実施し、提案した健全性の評価方法を検証していく予定である。

参考文献

- 1) 阪神高速道路(株)：道路構造物の点検要領，平成 27 年 7 月
- 2) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，2007
- 3) 前川ら：変状・劣化の程度が異なる鋼板接着 RC 床版のたわみ測定，土木学会第 71 回年次学術講演会，2016
- 4) 佐藤ら：鋼板接着補強された既設 RC 床版の輪荷重走行試験，第 48 回阪神高速道路技術研究発表会論文集，平成 28 年 5 月

(2018 年 7 月 20 日受付)