

## 報告

## 静的および衝撃荷重試験による撤去床版のたわみ評価

角間恒\*, 横山広\*\*, 梶谷浩\*\*\*, 久保善司\*\*\*\*, 西弘明\*

\*博(工), (国研) 土木研究所 寒地土木研究所(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

\*\*博(工), 大日本コンサルタント, インフラ技術研究所(〒330-6011 埼玉県さいたま市中央区新都心11-2)

\*\*\*工博, 金沢大学教授, 理工学域地球社会基盤学類(〒920-1192 石川県金沢市角間町)

\*\*\*\*博(工), 金沢大学准教授, 理工学域地球社会基盤学類(〒920-1192 石川県金沢市角間町)

著者らは、凍害や ASR による劣化が進行した RC 床版を対象にした、健全度評価および対策技術の開発に取り組んでいる。本報では、その一環として、北海道内の山間部において約 50 年間供用され、凍害および ASR に起因する砂利化および層状ひび割れが進行した実橋撤去床版を用いて、静的荷重試験および衝撃荷重試験によるたわみ評価を行った結果について報告する。

キーワード：撤去床版，静的荷重試験，衝撃荷重試験，たわみ評価

## 1. はじめに

鋼橋の RC 床版（以下、床版）では、上面の砂利化や内部の水平・層状ひび割れが維持管理における着目点となっており、これら舗装下や床版内部で発生する劣化の早期発見を目的とする点検・調査手法の開発が積極的に行われている。一方、それらの結果が耐荷性・耐久性評価に結びついていないのが現状であり、膨大な量の劣化床版を相手に、対策優先度の順位付けや対策手法の選定の確に行うため、点検・調査結果を基に健全度を定量的に評価する手法の開発が求められている。

こうした中、著者らは、寒冷地で多数報告されている凍害や ASR により劣化した床版を対象に、耐荷性・耐久性評価および対策技術の開発に取り組んでいる。本研究では、その一環として、北海道内の山間部において約 50 年間供用され、凍害および ASR に起因する砂利化および層状ひび割れが進行した実橋撤去床版<sup>1)</sup>を対象に、静的荷重試験および衝撃荷重試験によるたわみ評価を行った結果について報告する。

## 2. 試験方法

## 2.1 試験体

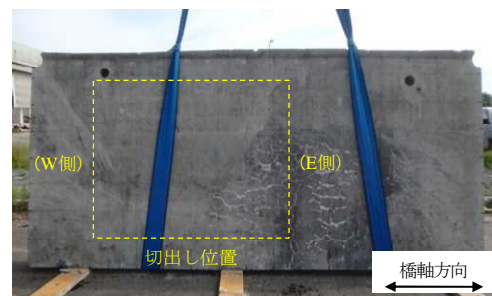
試験には、昭和 40 年に建設された実橋床版から切出して整形した試験体 2 体 (No.2, No.3)、および、本橋梁の竣工時を再現して製作した試験体 1 体 (No.1) を使用した。表-1 には試験体の基本諸元を示しており、No.2 および No.3 では、試験体中央の橋軸直角方向 1,600mm×橋軸方向 2,300mm を切出し部としている。対象橋梁の適

表-1 試験体の基本諸元

項目	単位	諸量	
寸法 <sup>*1</sup>	mm	2,350×3,000	
厚さ	mm	170	
主鉄筋 (φ16) <sup>*2</sup>	有効高	mm	130(40)
	間隔	mm	100(200)
配力鉄筋 (φ13) <sup>*2</sup>	有効高	mm	115(55)
	間隔	mm	200(200)

\*1 橋軸直角方向×橋軸方向

\*2 括弧内は上側鉄筋の諸量



(a) No.2



(b) No.3

写真-1 切出し位置の状況

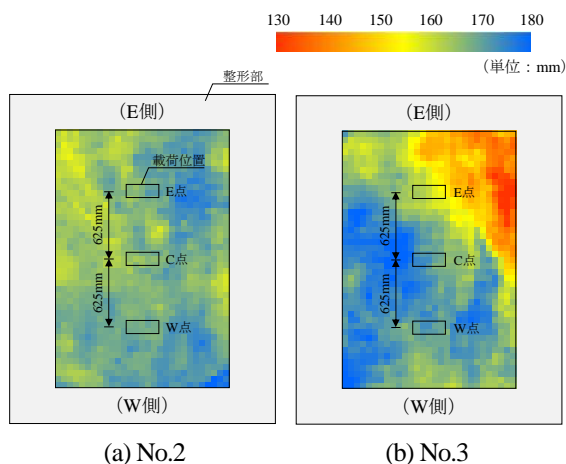


図-1 床版厚の計測値

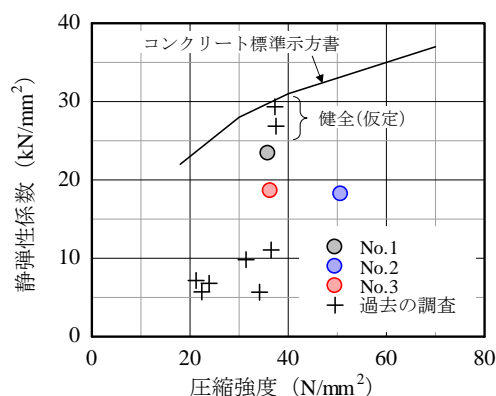


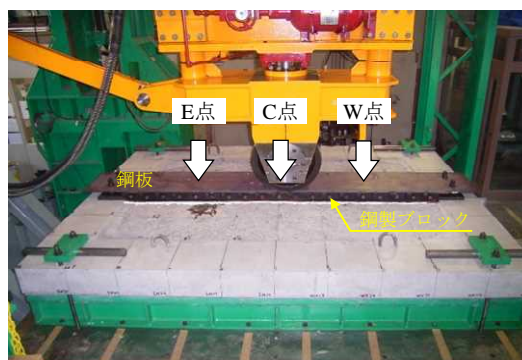
図-2 コンクリートの圧縮試験結果

用示方書は昭和39年鋼道路橋設計示方書であり、過去の調査<sup>1)</sup>により、凍害とASRの影響により床版上面15～55mmの砂利化および床版全厚にわたる層状ひび割れが発生している箇所があることを確認している。

写真-1はNo.2およびNo.3の切出し位置における下面の変状状況であり、写真中の黄色破線は試験体の切出し位置を示す。No.2は切出し位置の一部に、No.3は切出し位置の全面に白色析出物を伴うひび割れが発生していた。

図-1には、No.2およびNo.3について、3次元レーザースキャナ(TOPCON社製GLS-2000)を使用して整形後の床版厚を計測した結果を示す。下面の変状が軽微なNo.2では床版厚のばらつきが相対的に小さく、設計床版厚170mmとの差は±10mm程度であった。一方、No.3では位置による床版厚のばらつきが大きく、E側に向かうにつれて砂利化が顕著になり、床版厚が130mmまで減少している部分もあった。

図-2には、No.1の製作時に採取したテストピースならびにNo.2およびNo.3の切出し位置付近で採取したコンクリートコアから得た静弾性係数と圧縮強度の関係を、本床版を対象にした過去の調査結果<sup>1)</sup>および土木学会コンクリート標準示方書における同関係とも示す。No.2およびNo.3の切出し位置付近で採取したコアの静弾性係数は約18kN/mm<sup>2</sup>であり、健全部の約60%まで低下し



(a) 静的載荷試験



(b) 衝撃荷重載荷試験

写真-2 試験状況

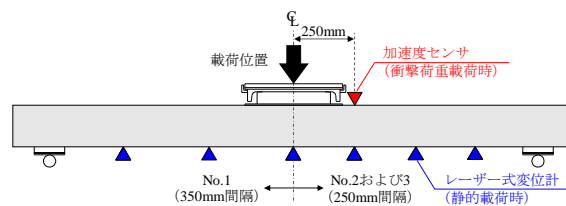


図-3 たわみ計測の概要

ていた。また、過去の調査結果を含めると本床版の劣化部では静弾性係数が5～20kN/mm<sup>2</sup>の範囲にあった。

## 2.2 載荷方法

たわみの計測は、寒地土木研究所が所有する輪荷重走行試験機を使用した静的載荷試験、および、小型FWD試験機(東京測器研究所製FWD-Light)を使用した衝撃荷重載荷試験により実施した(写真-2)。

試験体の支持方法は、橋軸直角方向端部は丸鋼による単純支持、橋軸方向端部はH形鋼を使用した弾性支持とし、四隅には浮き上がり防止材を設置した。

静的載荷試験は試験体中央(C点)および中央から橋軸方向に625mm(EおよびW点)の3箇所での実施し、不陸修整用のエポキシ樹脂を塗布した上に、橋軸直角方向幅300mm×橋軸方向幅120mmの鋼製ブロックを介して荷重100kNを作用させた。衝撃荷重載荷試験はCおよびW点で実施し、鋼製ブロック上に質量10kgの重錘を高さ500mmから落下させた。

たわみの計測方法として、静的載荷試験では、試験体

下面に設置したレーザー式変位計により計測し、衝撃荷重載荷試験では、載荷位置から橋軸直角方向に 250mm の位置の試験体上面に設置したセンサから取得した加速度データを積分処理して求めた (図-3)。

### 3. 試験結果

#### 3.1 静的載荷試験

##### (1) 試験結果

図-4 は、静的載荷試験から得られた 100kN 載荷時における橋軸直角方向へのたわみ分布であり、試験体および載荷位置によりたわみの大きさに差異はあるが、いずれも載荷点を中心とする左右対称なたわみ分布となった。

表-2 には、載荷点直下でのたわみを一覧にして示す。No.2 では、各点でたわみの差異は少なく、100kN 時のたわみは 1.13~1.17mm であった。前述したとおり、No.2 の E 点付近には下面に白色析出物を伴うひび割れが発生していたが、床版剛性への影響は認められなかった。また、竣工時を再現した No.1 (たわみ 1.06~1.16mm) と比較してもたわみは同程度となっており、床版剛性の観点では No.2 は健全な状態であったと考えられる。

No.3 では、載荷点によりたわみが異なり、W、C、E 点の順に 1.21mm、1.44mm、1.75mm となった。図-1 に示したように、本試験体では W 側から E 側に向かうにつれて砂利化による床版厚の減少が顕著になっており、これが剛性低下に大きく影響している。一方、本試験体では、切出し時に行った切断面の観察により床版上面から下側鉄筋までの範囲に層状ひび割れが発生していることを確認しているが、床版厚の減少が顕著でない箇所 (W 点) においては、No.1 および No.2 と比較してもややたわみが増加する程度であり、100kN による静的載荷では、層状ひび割れが床版剛性に与える影響は大きくない。

##### (2) 異方性板理論によるたわみ計算

たわみの増加が確認された No.3 について、異方性板理論によるたわみの評価を行った。ここでは、床版厚およびコンクリートの静弾性係数を変数とし、実測値を基に床版厚 3 水準 (170、155、140mm) および静弾性係数 4 水準 (30、20、10、5kN/mm<sup>2</sup>) の組合せによる合計 12 ケースについて計算を行った。なお、本計算はコンクリートを全断面有効とする弾性計算である。

表-3 には、計算により得られたたわみを、竣工時を想定したたわみ (床版厚 170mm、静弾性係数 30kN/mm<sup>2</sup>) に対する比 (以下、たわみ比) により示す。表では、No.3 の W、C、E 点での劣化状況に対応する条件での計算結果を着色しており、薄い灰色で着色したセルは砂利化による床版厚の減少はない (または少ない) が層状ひび割れによる静弾性係数の低下がある箇所 (W 点および C 点)、濃い灰色で着色したセルは砂利化による床版厚の減少および層状ひび割れによる静弾性係数の低下がある箇所 (E 点) に対応する。No.3 の W 点および C 点では、

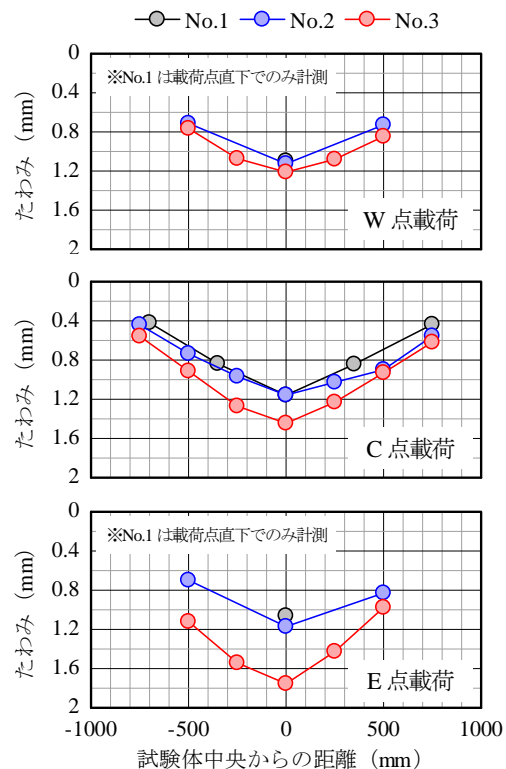


図-4 橋軸直角方向のたわみ分布

表-2 静的載荷試験によるたわみ実測値

試験体	W 点	C 点	E 点
No.1	1.10 (0.99)	1.16 (1.05)	1.06 (0.96)
No.2	1.13 (1.02)	1.16 (1.05)	1.17 (1.06)
No.3	1.21 (1.09)	1.44 (1.30)	1.75 (1.58)

※括弧内の数字は No.1 の平均値に対する比

表-3 異方性板理論によるたわみ比

		静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )			
		30	20	10	5
床版厚 (mm)	170	1.00	1.44	2.54	4.22
	155	1.30	1.83	3.16	5.13
	140	1.69	2.35	3.95	6.17

■ No.3 の W 点および C 点の状況に対応

■ No.3 の E 点の状況に対応

たわみ比の実測値 (No.1 のたわみに対する比) が 1.09 および 1.30 であったのに対し、計算によるたわみ比は 1.44~4.22 となっており、静弾性係数の実測値を用いてたわみを計算したとき、実測値と計算値ではたわみの増加に乖離が見られた。E 点においても同様であり、実測によるたわみ比が 1.52 であるのに対し、計算によるたわみ比は 1.83~6.17 となり、計算においてたわみ増加が大きくなる結果となった。

たわみ増加に大きな乖離が見られた原因として、層状ひび割れの進行による材料特性の異方性化が挙げられる。すなわち、層状ひび割れが発生した床版では、一般的な調査におけるコア採取方向 (鉛直) と活荷重作用時の主

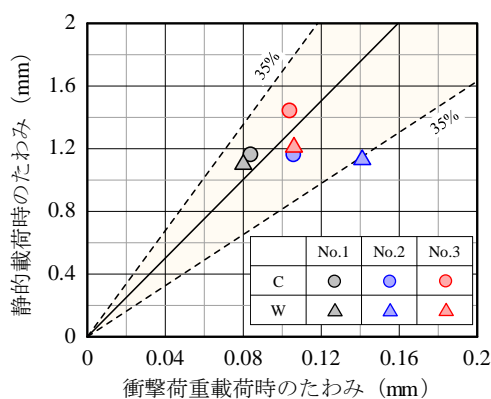


図-5 静的たわみと衝撃たわみの比較

応力方向（水平）とではコンクリートの力学的特性が異なることが推察され、床版厚さ方向のコアから得られる静弾性係数では、層状ひび割れが進行した床版のたわみを適切に評価できないと考えられる。このようなコア採取方向の違いによる力学的特性の差異は、既往の研究<sup>2)</sup><sup>3)</sup>においても報告されているところである。なお、たわみ比の実測値および計算値を参考にすると、本床版の層状ひび割れ部における水平方向の静弾性係数は 20～30N/mm<sup>2</sup>程度であると推定される。この静弾性係数の妥当性については、本床版を使用して水平方向へのコンクリートの力学的特性を調査するなどして、今後検証したい。

### 3.2 衝撃荷重載荷試験

図-5 には、静的載荷試験によるたわみ（以下、静的たわみ）と衝撃荷重載荷試験によるたわみ（以下、衝撃たわみ）との関係を示す。静的たわみは 100kN 載荷時の載荷点直下での値（表-2）、衝撃たわみは載荷点から橋軸直角方向に 250mm 離れた位置での値であり、後者については荷重 10kN に換算したときのたわみとし、各載荷点で 3 回の試験を実施したときの平均値により示す。

静的たわみが同程度である No.3 の C 点を除く 5 データにおいて、衝撃たわみは 0.080～0.141mm、平均値に対するばらつきは 35%程度であり、静的たわみと比較してばらつきが大きくなった。本研究では載荷ブロックを介して衝撃荷重を作用させたため、これが計測値に影響を与えた可能性が考えられたが、No.1 において試験体上に直接載荷したとき、計測値に有意な差は見られなかった。

No.3 の C 点を含めると、静的たわみと衝撃たわみが比例関係になる傾向こそ見られるが、撤去床版（No.2 および No.3）に限ると、静的たわみと衝撃たわみで大小関係が一致しておらず、衝撃荷重載荷試験では No.3 の C 点での剛性低下を捉えることができたとは言い難い。この原因として、No.3 では試験体上面のうき・剥離や層状ひび割れの進行により重錘が載荷ブロック等を介して試験体に衝突した時の反発度が低下し、試験体への入力エネルギーが低下したことなどが考えられる。

限られたデータによる検討ではあるが、本研究におけ

る衝撃荷重載荷試験からは、上面の砂利化や内部の層状ひび割れが進行した床版に対しては、たわみのみでは健全度評価を的確に行えない可能性があることが示唆される。

### 4. おわりに

本研究では、凍害および ASR に起因する砂利化および層状ひび割れが進行した実橋撤去床版を対象に、静的載荷試験および衝撃荷重載荷試験によるたわみ評価を行った。その結果から得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 静的載荷試験の結果、本研究の範囲においては、内部の層状ひび割れがたわみに与える影響は小さく、砂利化による床版厚の減少が剛性低下の支配的な要因になっていたと考えられる。
- 2) 異方性板理論によるたわみ計算により、床版厚さ方向に採取したコアから得られる静弾性係数では、層状ひび割れが発生した床版のたわみを適切に評価できない可能性があることを示した。
- 3) 衝撃荷重載荷試験では、撤去床版の劣化が顕著な箇所においてたわみが小さくなる結果となり、静的載荷試験で得られた砂利化および層状ひび割れによる剛性低下を捉えることができなかった。

本研究における撤去床版および床版試験体については、現在、梁試験体の静的耐荷力試験による剛性低下メカニズムの検討や輪荷重走行試験による残存疲労耐久性の評価を行っているところである。今後、これらの結果についても報告していきたい。

### 謝辞

本研究の実施にあたり、北陸・道路メンテナンス会議に設置された「道路橋の維持管理における各構成部材の限界状態ならびに AI 技術の活用に関する検討ワーキンググループ」の委員各位にご助言をいただきました。ここに付記し、感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 角間恒, 佐藤孝司, 西弘明: 北海道において複合劣化を受けた鋼橋 RC 床版の調査事例, 寒地土木研究所月報, No.770, pp.13-18, 2017.
- 2) 田附伸一, 津吉毅, 石橋忠良, 松田芳範, 今井勉: ASR により損傷した RC 部材の耐荷力に関する実験的研究, 土木学会論文集 E, Vol.63, No.1, pp.166-177, 2007.
- 3) 廣井幸夫, 戸田圭彦, 山本貴士, 高木祐介: ASR 劣化した PC 梁試験体における耐荷性能推定技術に関する研究, プレストレストコンクリート工学会第 24 回シンポジウム論文集, pp.257-262, 2015.

(2018 年 7 月 20 日受付)