

寒冷地における複合劣化床版のたわみ評価

角間 恒・西 弘明

1. はじめに

北海道における道路橋RC床版では、凍害による上面の土砂化が深刻であり、これまでに床版の抜け落ちに至る事例が報告されている¹⁾。また、近年では、凍害とアルカリシリカ反応（以下「ASR」という。）が複合的に進行した床版が顕在化しつつある状況にある。

凍害やASRが進行した床版では床版内部に層状ひび割れが発生する特徴があり²⁾、維持管理の場面においては、層状ひび割れを早期に検知にすることで、構造特性に与える影響を的確に評価したうえで効果的な対策を講じることが求められる。

寒地土木研究所寒地構造チームでは、凍害とASRによる複合劣化が進行した床版の点検・調査・性能評価手法の開発に取り組んでいるところであり、これまでに、北海道の山間部において49年間供用された橋梁の撤去床版を用いて、劣化状況の調査や層状ひび割れの発生深さを推定する手法の検討を行ってきた^{3),4)}。

本稿では、凍害とASRによる複合劣化が進行した床版の構造特性を把握するための一検討として、上記撤去床版の静的載荷試験によりたわみ計測およびたわみ評価方法の検討を行った結果について報告する。

2. 対象橋梁

対象橋梁は、昭和40年に竣工された昭和39年鋼道路橋設計示方書に準ずる2径間単純合成鋼桁橋（図-1）であり、49年間供用された後の平成26年に供用を終えている。本橋は凍害危険度⁵⁾かつ反応性骨材が使用されている可能性が高い地域⁶⁾を架橋位置とし、既存資料の調査や床版から採取したコンクリートの偏光顕微鏡観察³⁾により、凍害とASRの両者の影響を受けていることを確認している。また、平成22年度の道路交通センサスによる大型車交通量は192台/日（上下合

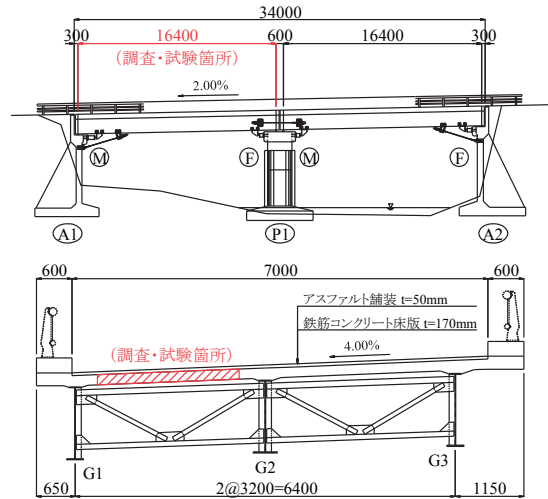


図-1 橋梁の側面図および断面図



写真-1 床版下面の状況

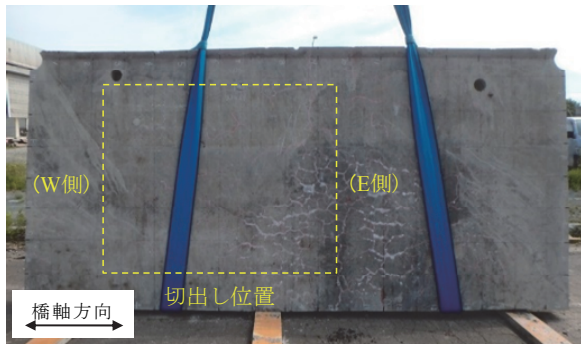
計）であり、疲労の影響は小さい橋梁と考えられる。なお、供用期間中に床版補修や防水層の敷設は行われていない。

写真-1は、供用終了後に撮影した床版下面の写真であり、漏水および白色の析出物を伴うひび割れが発生していた。写真-2は、後述する床版試験体No.2およびNo.3から採取したコンクリートコア（以下「コア」という。）の微細ひび割れ発生状況を調査した結果の一例であり、No.3では、試験体全面において、コア全長にわたる層状のひび割れが発生していることを確認している。

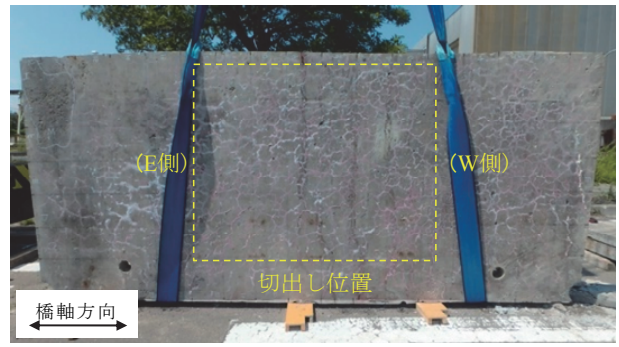
3. 静的載荷試験の概要

3.1 試験体

試験には、撤去床版から切出して周囲を整形し

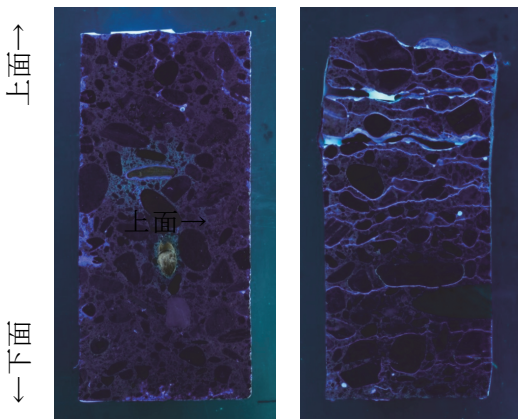


(a) No.2



(b) No.3

写真-3 試験体切出し位置



(a) No.2

(b) No.3

写真-2 微細ひび割れ観察結果

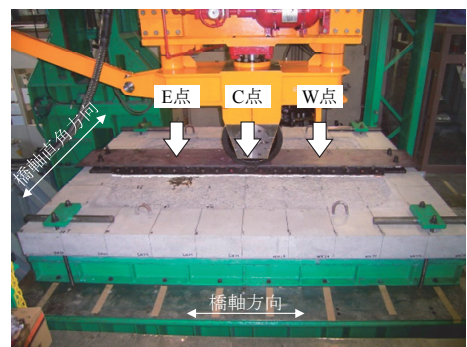


写真-4 静的載荷試験の状況

表-1 静弾性係数試験結果 (鉛直方向)

試験体	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
No.1	35.9	23.4
No.2	45.3	26.1
No.3	29.9	7.8

た試験体2体 (No.2、No.3)、および、比較のために本橋の健全時を想定して新規製作した基準試験体1体 (No.1) を使用した。試験体寸法は、橋軸直角方向2,000mm×橋軸方向3,000mmである。

写真-3には、No.2およびNo.3の切出し位置を示しており、No.2では切出し位置の一部に、No.3で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。また、後述する静的載荷位置 (C、E、W点) で床版厚を計測したところ、No.3のE点において土砂化により設計床版厚から15mm程度の床版厚の減少が見られたが、その他の位置では床版厚の減少は見られなかった。

表-1に、No.1のコンクリート打設時に製作したテストピース、ならびに、No.2およびNo.3の切出し位置付近で床版鉛直方向に採取したコアの静弾性係数試験の結果を示しており、No.3において静弾性係数の著しい低下が見られた。

3.2 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により実施した (写真-4)。試験体の支持方法は、橋軸直角方

向端部は単純支持、橋軸方向端部は弾性支持とし、四隅には浮き上がり防止材を設置した。

載荷は試験体中央 (C点) および中央から橋軸方向に±625mmの位置 (EおよびW点) の3箇所で行われ、鋼製の載荷ブロックを介して荷重100kNを作用させたときの床版下面のたわみをレーザ式変位計により取得した。

4. 試験結果

4.1 たわみ分布

図-2には、静的載荷試験から得られた100kN載荷時のたわみ分布を示す。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、撤去床版 (No.2、No.3) では、No.1と同様の放物線型の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。

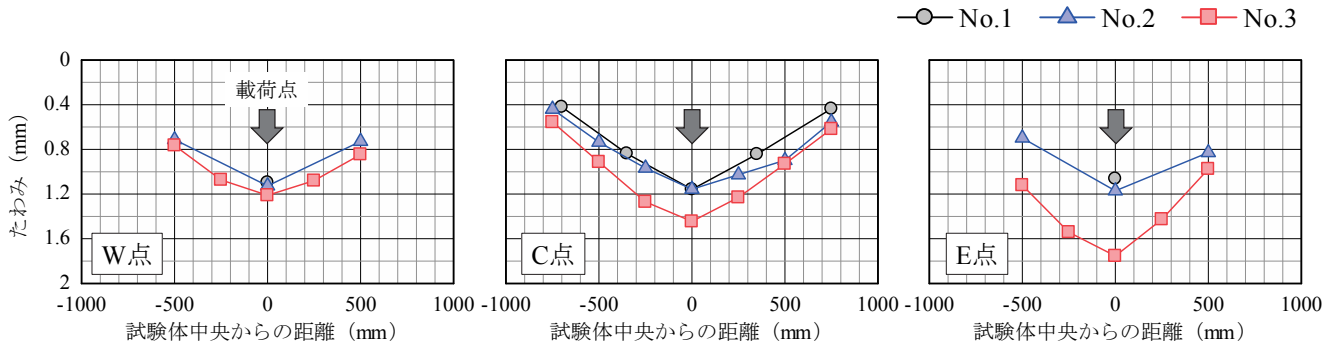


図-2 橋軸直角方向のたわみ分布

表-2 荷重点直下のたわみ (単位: mm)

試験体	W点	C点	E点
No.1	1.10	1.16	1.06
No.2	1.13	1.16	1.17
No.3	1.21	1.44	1.75

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のたわみ(1.06~1.16mm)と比較してもたわみは同程度であり、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、荷重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。前述のとおり、No.3ではE点において土砂化による床版厚の減少があり、これが剛性低下に大きく影響している。また、床版厚の減少がなかったWおよびC点においても、No.1およびNo.2と比較してたわみが大きくなっており、試験体全面にわたる層状ひび割れの発生が剛性低下の要因になっていたと推察される。

4.2 異方性板理論によるたわみ計算

No.3を対象に異方性板理論によるたわみ計算を行い、次式から求める疲労によるたわみ劣化度 η を基に、層状ひび割れが発生した床版のたわみを評価する方法を考察した。

$$D = \frac{w - w_0}{w_c - w_0} \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

ここに、D：たわみ劣化度、w：実測たわみ、 w_0 ：コンクリートを全断面有効としたときの計算たわみ、 w_c ：コンクリートに引張力負担を無視したときの計算たわみである。 w_0 および w_c の計算に際して、床版厚は実測値に基づく170mm(WおよびC点)または155mm(E点)とし、静

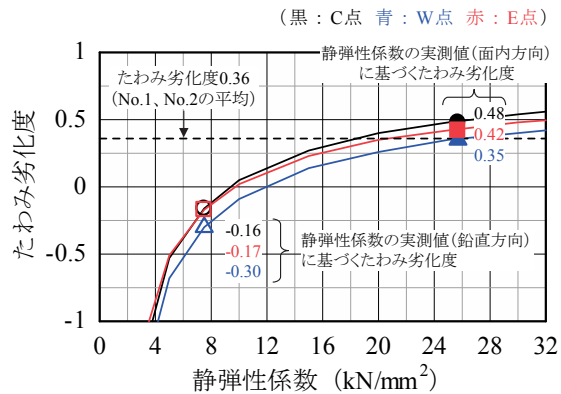


図-3 たわみ劣化度

弾性係数を表-1の実測値を参考にして2.5~35.0kN/mm²の範囲で様々に変化させた。なお、参考として計算したNo.1およびNo.2のたわみ劣化度は0.32~0.38(平均0.36)で同程度であった。

図-3には、静弾性係数を変化させてたわみ劣化度を計算した結果を実線で、たわみ計算にNo.3での静弾性係数の実測値(7.8kN/mm²)を用いたときのたわみ劣化度を中空プロットで示している。鉛直方向の静弾性係数に基づくたわみ劣化度はC、E、W点の全てで負の値となり、全断面有効とした計算たわみが実測値よりも大きい、すなわち、たわみを過大(剛性を過小)に算出する結果となった。これは、層状ひび割れによって材料特性の異方性が顕著になるため、鉛直方向に採取したコアの特性では床版の構造特性を的確に評価できない可能性があることを示唆している。

そこで、たわみ計算に用いるコンクリートの力学特性について検討するため、No.3の切出し位置に隣接する箇所において床版面内方向にコアを採取して静弾性係数試験を実施し、式(1)よりたわみ劣化度を求めた。コアの採取位置は、上側鉄筋と下側鉄筋の間とした(写真-5)。表-3に試験結果を示しており、静弾性係数はC1、C2、C3の順に27.2、24.2、7.6kN/mm²であった。C3にお

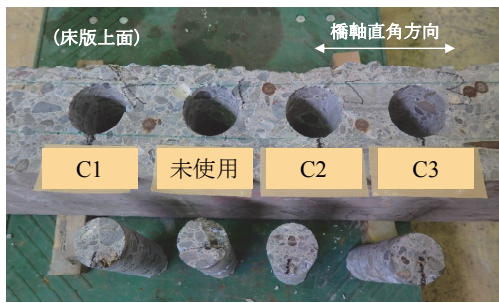


写真-5 コア採取の状況

表-3 静弾性係数試験結果（面内方向）

試験体	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)
C1	23.4	27.2
C2	22.3	24.2
C3	19.4	7.6

いて静弾性係数が小さくなったのはコア軸直角方向にひび割れが発生していたためであり、この結果を除外すると、面内方向の静弾性係数の平均値は25.7kN/mm²であった。図-3中には、面内方向の静弾性係数の実測値（25.7kN/mm²）を基に計算したたわみ劣化度を中塗りプロットで示しており、C、E、W点の順に0.48、0.42、0.35であった。ここで、No.2とNo.3は同一車線の連続する位置から切出していること、大型車交通量より本橋が供用中に受けた疲労の影響が小さいと考えられることから、No.2とNo.3でたわみ劣化度が同程度になると仮定すると、面内方向の静弾性係数を用いることで層状ひび割れが発生した床版のたわみを概ね評価できていると推察される。

5. まとめ

本研究では、北海道の山間部で49年間供用されて凍害およびASRによる層状ひび割れが発生した実橋床版のたわみ計測およびたわみ評価方法の検討を行った。その結果、(1) 床版内部に発生した層状ひび割れの影響により剛性の低下が生じること、(2) 床版鉛直方向に採取したコアの静弾性係数によるたわみ計算ではたわみを過大に算出（剛性を過小に評価）する可能性があること、(3) 床版面内方向の静弾性係数を用いることで床版のたわみを評価できる可能性があることを示した。

本床版に関しては、残存する耐荷性・疲労耐久

性を把握するための各種試験を実施したところであり、今後は、それらの結果を踏まえ、実橋床版の健全度を的確に評価するための性能評価手法について検討する予定である。また、本報告では面内方向の特性を用いた性能評価の可能性について言及したが、実際の調査において床版面内方向の静弾性係数の取得は困難であることから、これを推定する手法についても併せて検討していきたい。

謝 辞

本研究は、金沢大学、(一社)日本建設機械施工協会施工技術総合研究所との共同研究により実施したものである。ここに付記し、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 澤松俊寿、岡田慎哉、山崎達哉：一般国道275号志寸川橋の床版陥没について-防水層を含めた床版の劣化損傷状況の調査-、北海道開発技術研究発表会、維24、2013
- 2) 土木学会：道路橋床版の維持管理マニュアル2016、2016
- 3) 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
- 4) 角間恒、渡邊晋也、西弘明、小野秀一：超音波法による床版の層状ひび割れ発生深さの評価、第10回道路橋床版シンポジウム論文報告集、pp.119~122、2018
- 5) 長谷川寿夫：コンクリートの凍害危険度算出と水セメント比限界値の提案、セメント技術年報XXIX、pp.248~253、1975
- 6) 中井俊英：北海道におけるASR反応性骨材の実態について、開発土木研究所月報、No.425、pp.35~40、1988
- 7) 松井繁之、前田幸雄：道路橋RC床版の劣化度判定法の一提案、土木学会論文集、第374号、pp.419~426、1986

角間 恒



土木研究所寒地土木研究所寒地基礎技術研究グループ寒地構造チーム主任研究員、博士（工学）
Dr. Ko KAKUMA

西 弘明



土木研究所寒地土木研究所寒地基礎技術研究グループ寒地構造チーム上席研究員、博士（工学）
Dr. Hiroaki NISHI