

アルカリシリカ反応で損傷した道路橋床版 —橋梁インフラの維持補修事例の紹介—

伊戸康清* 島田 守** 五島孝行*** 柴田辰正**** 大田孝二*****

1. はじめに

道路橋の維持管理に関する話題が取り上げられる機会が増えてきている。特に、鋼道路橋の場合はその損傷の多くがコンクリート床版（以下、RC床版という）に係る維持管理上の問題とされており、地方の道路においては維持管理の財源不足の問題もあって、床版の補修や打ち替えが円滑に行われていない状況である。

道路橋床版は昭和40年代に建設された床版の損傷事例の多さから研究が進み、構造面では主として床版厚さを増したり、鉄筋量を増やすなどの基準の改訂の結果、近年の新しい橋梁では輪荷重の繰り返しに対する耐久性が確保されてきている。これに対し、床版に用いられるコンクリート材料面については、塩害や凍害、アルカリシリカ反応（以下、ASR）等によるいわゆる材料劣化による耐荷力の低下が問題となっている。ここでは、ASRを示すRC床版（以下、ASR床版という）について、従来の化学や鉱物学からのアプローチではなく、耐荷力の低下に関する構造力学の面からの調査・検討を行ったので報告する。

ASRを示すコンクリートは、一般的には橋脚やフーチングなど比較的マッシブなコンクリートにおいて問題視されてきた。一方、輪荷重を受ける道路橋のRC床版においては上下方向の拘束が少ないため、ASRが生じると、RC床版は鉛直方向に膨張することから床版内部には水平方向にひび割れが生じ、この部分に滞水が生じることになる。床版内の水の滞留は、輪荷重によって床版の疲労耐久性に著しく影響するため¹⁾、その意味でASR床版はその耐久性が大きな問題となることが予想される。

今回、既往の調査でASRであることが判明している床版の取替え工事が行われたことから、この機会を捉えて床版コンクリートの調査を実施できたので、損傷状況ならびにコンクリート強度や押し抜きせん断耐力等の試験結果について報告する。

2. 対象橋梁の概要

調査を実施した橋梁は福井県の九頭竜湖畔に架かる「向東洞橋」で、昭和42年に建設され2連の単純桁からなる鋼合成桁橋である。福井と岐阜を結ぶ国道158号に架かる2車線の橋梁であるが、大型車の日交通量は両方向で600台程度であり、大型車交通量としては少ない。本橋は2連のうちの1連は過去に床版を取り換えているため、今回の調査対象は建設以来約45年供用されてきた残りの1連（支間35.3m）とした。

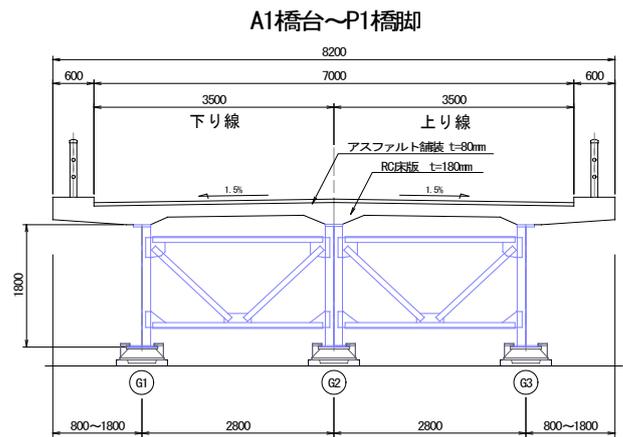


図-1 上部構造断面図



写真-1 床版損傷状態の全容

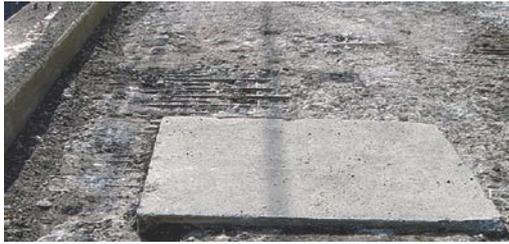


写真-2 鉄筋の露出状況



写真-3 床版の下面の状況



写真-4 取り外した底鋼板（床版と接触面側）



写真-5 床版のコア抜き（右側が床版下面）

そのRC床版は床版厚の不足が指摘されているいわゆる39床版（昭和39年の道路橋示方書によって設計された床版）で、3本の主桁（桁間2.8m）で支持された構造で、その厚さは18cmであり、下面が鋼板接着工法で補修されている。地覆と高欄は比較的新しく、地覆幅は設計当時の標準の40cmから60cmに変更されている。したがって、今回、地覆コンクリートは調査対象としていない。橋梁断面を図-1に示す。床版の取替え工事は現橋の横に仮設橋

を設けたため、全面交通止めという好条件下で床版調査を行うことができた。

3. ASR床版の損傷状況

3.1 床版上面の状況

アスファルト舗装撤去時の床版上面を写真-1に示す。床版上面は鉄筋が露出している箇所も多く、一見して床版の損傷劣化がかなりの程度まで進行している。床版の上面は平坦な部分はほとんどなく、ハンマーを用いた打音の調査では地覆部を除いて、床版全面にわたって鈍い音をする。上側鉄筋が露出している部分の写真を写真-2に示す。かぶりコンクリートが割れて剥がれている状態が分かる。なお、矩形状に見えるコンクリートは超速硬コンクリートの補修跡で、舗装を剥いで床版に直接打設したと思われる、以前に床版損傷が生じた位置ということになる。ASR床版は輪走行位置だけでなく、床版全体が大きく損傷している。

3.2 床版下面の状況

床版下面は鋼板接着工法で補強されているが、鋼板下面からの打音による調査では、ほとんどの部位で鈍い音が生じて鋼板が床版に密着していない状態であることが分かる。

鋼板を剥がした床版下面の状況を写真-3に示す。緑色に見えるのは鋼板接着に用いられた鋼板のプライマーであり、その上に接着剤樹脂（エポキシ樹脂）が見える。ボルトは床版に鋼板を取り付ける目的で用いられた打込み式アンカーである。接着樹脂がない部分は、床版下面にはモルタル分がなく、粗骨材が見えている。

写真-4は剥がした鋼板の上面、すなわち床版と接触していた部分を示したものである。ほとんどの面積で固結した白い析出物（エフロレッセンスが主体と思われる、以下、析出物と呼ぶ）が樹脂を覆っており、析出物の上面の凹凸形状からこの析出物が粗骨材と接していたことが分かる。接着した鋼板によって滞水が生じ、水によるASRの促進によりひび割れが大きくなり、さらに輪荷重によって滞水した水が被圧水となってひび割れ幅を増大させたものと考えられる。輪荷重の移動によるひび割れ部に滞水した水が加わることで、コンクリートのすり磨きが増長され、すり磨きによってモルタル部分から生じた泥状生成物が固結して析出物として鋼板上面付近の剥離面の隙間に堆積したことが考えられる。

土研センター

3.3 現場におけるコア採取と調査結果

調査ではφ75mmのコアを複数採取し、コンクリート強度や静弾性係数の測定を予定していた。しかし、現場において採取されたコアは写真-5の例から分かるように、コアには水平方向にひび割れが生じており、特に下側鉄筋位置付近に大きなひび割れが生じていた。また、写真では分かりにくいですが、床版上側にも比較的大きなひび割れ（水が含まれているのが観察できる）が水平方向に走っていた。コアは比較的床版の損傷の少ない部分を選定したにもかかわらず、一体として採取できないものが多く、圧縮試験を行うのに必要なJISの高さと直径比を満たすものは6本中、僅かに1体のみであった。そのコアを用いて実施した圧縮試験の結果は、コンクリート強度が16.5N/mm²、静弾性係数は0.228×10⁴N/mm²であり、強度は通常の6割程度、静弾性係数は1割程度でしかなかった。このことは、床版および合成桁が構造上の安全性を確保することが困難な状況にあることを示唆している。

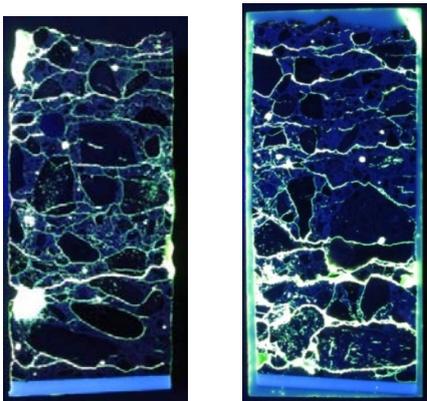


写真-6 蛍光塗料含浸法によるコアのひび割れ (床版表面側が写真の上側)

また、蛍光塗料含浸法を用いて、コアに生じているひび割れを可視化した結果を写真-6に示す。これによると明らかに、ひび割れは水平方向に生じており、床版の下側鉄筋付近で大きなひび割れが生じていることが分かる。

4. 切出し床版の押し抜きせん断試験

比較的健全と思われる床版部分(1.2m×1.2m)を現場の床版から切出し、2辺支持(支間1.0m)、100×100mmの載荷板を支間中央に設置し、押し抜きせん断試験を行った。載荷の様子を写真-7に示す。また、載荷試験の結果を図-2に示す。図中の凡例にある健全(青線)とは、比較のためコンクリートの設計強度30N/mm²、フック筋での定着を行っ

た厚さ16cmの同じ大きさの比較試験体の結果である。なお、切出した床版の床版厚は18cmであった。最大耐荷力は健全供試体では青、切出した床版は緑(図のNo.5)、橙(同No.4)、赤(同No.2)で、それぞれ、330、174.6、166.8、134.6 kNであった。



写真-7 押し抜きせん断試験の載荷方法

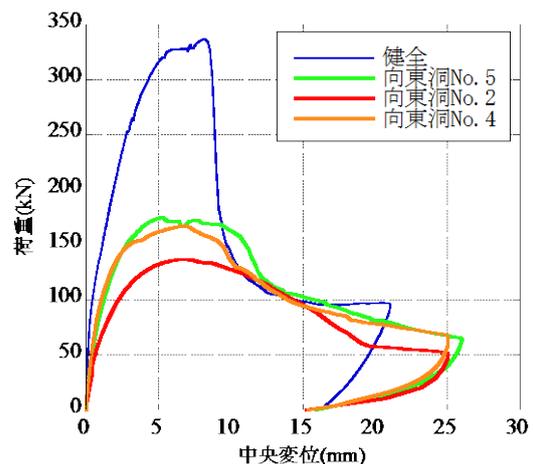


図-2 押し抜きせん断試験結果

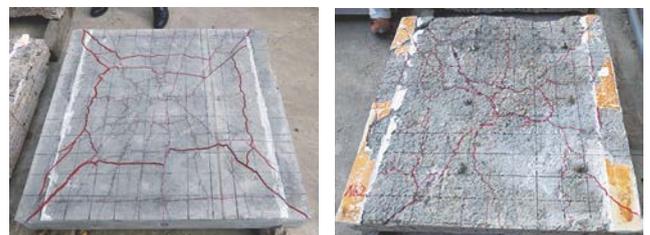


写真-8 左は健全供試体、右はNo.2供試体

床版の破壊形態としては、健全供試体では床版底面に段差およびひび割れが発生する一般的な押し抜きせん断破壊形状を呈した(写真-8左)。一方、切出し床版では徐々にたわみが増え、下側鉄筋の付着が切れてたわみが大きくなり、下側鉄筋が床版端部ではコンクリート表面から内側に滑って食い込むのが観察された(写真-9)。No.2供試体の破壊後の状況を写真-8の右に示す。



写真-9 鉄筋の滑りによる食い込み

今回の切出し床版は健全供試体のせん断耐力の半分にも達せず、せん断耐力はきわめて低い値を示した。そのせん断耐荷力の大きさは現行の道路橋示方書の輪荷重（100kN）に最大衝撃（0.4）を考慮した程度であり、安全に対する余裕がほとんどないレベルであった。載荷面積が輪荷重の大きさに比して小さいことや、実際には接着鋼板による荷重分散効果が期待できるなど、安全に対する多少の余力があったと考えられるが、床版コンクリートの耐力は大きく損なわれていた。切出し床版が比較的損傷状態が少ない部分を選んだことを考えると、橋梁全体では、さらに低いせん断耐力を示す箇所があることが想定された。

5. 結論

ASRを呈する「向東洞橋」の床版調査を実施した結果、以下のことが分かった。

- ① 床版は輪走行位置だけではなく、路面全体が大きく損傷しており、舗装撤去作業で上側鉄筋が露出する例が多く見られた（写真-2）。
- ② 床版には水平方向に数多くのひび割れが発生しており、上下の鉄筋位置に比較的大きなひび割れが見られる傾向があった（写真-5）。
- ③ 鋼板接着工法で補強された床版下面には、滞水の影響が見られ、鋼板上面は広範囲でコンクリ

ート生成物が泥状に溜まった状態が観察された（写真-4）。

- ④ コア（φ75mm）をいくつか採取したが、圧縮試験のJIS規定のコア長さとの比を満たすコアがほとんど採取できない状態であった。唯一条件を満たすコアによる圧縮強度、静弾性係数は、それぞれ通常の6割程度の16.5N/mm²、通常の1割程度の0.228×10⁴N/mm²であった。
- ⑤ 押し抜きせん断試験では、押し抜きせん断耐力が健全な場合の半分程度であり、輪荷重に衝撃を考慮した程度の荷重強度しかなかった。

6. あとがき

今回は過去の調査結果でASRを呈する床版であることが判明していた状態での調査を行うことができた。ただ、他の研究事例では、床版の凍害（凍結融解）においてもよく似た傾向が観察できるとの情報もある。今後、床版コンクリートの材料劣化と床版疲労との関係など、広い知識をベースにこの研究を続けていきたいと思っている。

謝 辞

本調査は、福井県土木部道路保全課・福井県奥越土木事務所の協力のもと、（一財）土木研究センターと、太平洋セメント(株)、住友大阪セメント(株)、金沢大学、日本大学工学部の「アルカリシリカ反応による損傷床版補修に関する共同研究」の一環で行ったものである。関係者にこの場を借りて厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 松井：移動輪荷重を受ける道路橋RC床版の疲労強度と水の影響について、コンクリート工学協会、第9回コンクリート工学年次講演論文集、pp.627～632、1987。

伊戸康清*

福井県奥越土木事務所
道路保全課 主任
Yasukiyo ITO

島田 守**

福井県奥越土木事務所
道路保全課 主査
Mamoru SHIMADA

五島孝行***

一般財団法人土木研究
センター企画・審査部
兼コンクリート研究室
次長
Takayuki GOTO

柴田辰正****

一般財団法人土木研究
センター企画・審査部
兼コンクリート研究室
次長
Tatsumasa SHIBATA

大田孝二*****

一般財団法人土木研究
センター企画・審査部
長兼コンクリート研究
室長、工博
Dr.Koji OTA