

## 軸方向ひび割れが生じたプレストレストコンクリート橋の調査

(独)土木研究所構造物メンテナンス研究センター 正会員 ○青柳 聖  
 (独)土木研究所構造物メンテナンス研究センター 木村 嘉富  
 (独)土木研究所構造物メンテナンス研究センター 花井 拓  
 前(独)土木研究所構造物メンテナンス研究センター 中島 道浩

### 1. はじめに

近年、維持管理が重要視されるなか橋梁点検等でコンクリート橋梁における損傷として、様々なひび割れ損傷が確認されている。このため、コンクリート橋梁に発生したひび割れ損傷については、その損傷要因および発生状況を分析し、適切な評価を行ったうえで対応を行う必要がある。

そこで、特にプレストレストコンクリート桁で軸方向ひび割れが発生している実橋梁において、ひび割れ状況ならびに構造性能への影響を把握することを目的として、ひび割れ深さ、アルカリシリカ反応（以下、ASR）、荷重車両による静的載荷試験等の調査を実施した結果について報告を行う。

### 2. 調査対象橋梁の概要

本調査では、供用30年前後経過した2橋を対象に調査を行った。両橋ともに桁側面や下面に軸方向ひび割れが発生し、特に桁側面のひび割れは遠望目視でも十分確認できる状況から、せん断補強鉄筋の損傷等による構造性能への影響が懸念された。表-1に橋梁概要および橋梁状況として、構造図、ひび割れ損傷図、桁側面状況写真を示す。

表-1 橋梁概要および橋梁状況

橋梁名	A 橋		B 橋	
路線名	市道		市道	
交差条件	河川		県道	
橋長	33.09m (支間長 2×15.9m)		52.10m (支間長 18.3+33.0m)	
橋梁形式	単純PCプレテン中空床版橋(2連)		2径間連続PCボス騰中空床版橋	
竣工年	1983年11月 (供用29年)		1980年5月 (供用32年)	
構造図				
ひび割れ損傷図				
桁側面状況写真	<p>拡大図 No. 3</p> <p>G10側面No. 3付近 ひび割れ幅2.0mm</p>		<p>拡大図 No. 2</p> <p>南側側面No. 2付近 ひび割れ幅3.0mm</p>	

### 3. 調査内容と結果

調査対象橋梁では、桁側面および下面にて軸方向のひび割れが発生しており、ひび割れ深さによっては、主桁剛性の大幅な低下や、せん断補強鉄筋の損傷等が懸念された。そこで、ひび割れ性状、発生原因、構造性能への影響の把握を目的に、表-2に示す調査を実施した。

#### 3. 1 ひび割れ調査結果

目視調査におけるひび割れ損傷を表-1に示した。桁側面で最大となるひび割れ幅が、A橋で2.0mm、B橋で3.0mmと大きなひび割れが発生している。

B橋で大きなひび割れが確認された原因としては、図-2に示すようにハンチ部に沿った鉄筋が配筋されておらず、拘束が小さいためひび割れが大きく発生したと考えられる。

コア削孔 (φ25) にて採取したコアより確認したひび割れ深さ、および中性化深さ調査の結果を表-3に示す。

ひび割れ先端がコア内にとどまっていることが確認できたひび割れの深さは、A橋で52~58mm、B橋で72~106mmであった。ひび割れ深さは、図-1および図-2に示す配筋概要図から、A橋、B橋ともに概ねせん断補強鉄筋位置までであった。

採取したコアにて中性化深さ調査を行った結果は、A橋ではほぼ表面付近、B橋では平均12mmであった。中性化進展速度は、プレテン桁であるA橋の方が低いことがわかる。

A橋・B橋ともに中性化深さは鉄筋位置までは達しておらず、ひび割れからは、錆汁等鋼材腐食が推定される状況が見られないことから、鋼材腐食に起因したひび割れとは考えにくい。

#### 3. 2 ASR調査

ひび割れ発生原因としては、コンクリート材料に起因することが考えられた。

採取したコア表面(写真-1)の目視調査を行った。A橋、B橋ともにASRの特徴である粗骨材周辺の反応リム、白色の滲出物を確認した。

そこで、主桁側面でひび割れを含んで採取

表-2 調査内容

調査項目	A 橋	B 橋
ひび割れ位置・幅・深さ	目視、クラックスケール、コア削孔箇所にて棒状スキャナ	
内空調査	棒状スキャナ、CCDカメラ	
圧縮強度/静弾性係数	コア採取による圧縮強度試験	
中性化調査	コア採取によるフェノールフタレイン法	
ASR調査	SEMによる反応性骨材観察、EDSによる構成元素の定性分析	コア採取断面を目視調査
静的載荷試験	荷重車両による静的載荷	

表-3 ひび割れ調査結果 (上 : A 橋, 下 : B 橋)

調査位置	第1径間 (A1-P1)			第2径間 (P1-A2)		
	G1桁側面					
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
表面ひび割れ幅 (mm)	1.5	1.2	1.3	0.6	1.3	0.3
ひび割れ深さ (mm)	52	43	49	58	47	52
鉄筋探査によるかぶり (mm)	50	46	43	43	48	49
中性化深さ (mm)	1mm未満	1mm未満	1mm未満	1mm未満	1mm未満	1mm未満
備考	下方進展※1			上方進展※1		

※1 採取したコア外にひび割れが進展したため、ひび割れ先端が確認できないもの

調査位置	第1径間 (A1-P1)			第2径間 (P1-A2)			第2径間
	桁側面 (ハンチ部)			桁側面 (ハンチ部)			桁下面
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7
表面ひび割れ幅 (mm)	3.0	3.0	1.5	1.5	1.1	2.0	0.4
ひび割れ深さ (mm)	106	49	72	78	72	89	5
中性化深さ (mm)	9	11	11	14	15	10	12
備考	上方進展※1			上方進展※1			

※1 採取したコア外にひび割れが進展したため、ひび割れ先端が確認できないもの

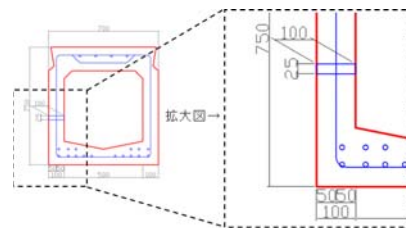


図-1 A 橋配筋概要図

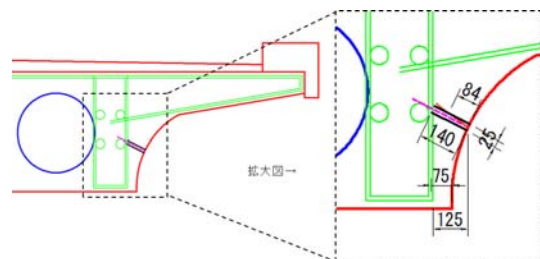


図-2 B 橋配筋概要図

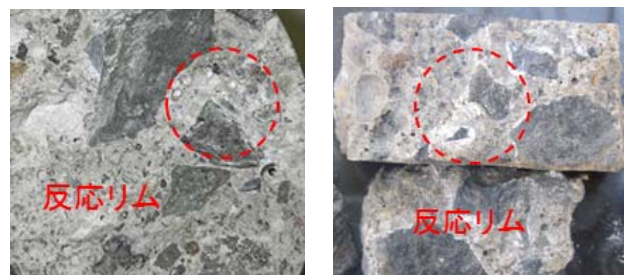


写真-1 コア表面 (左 : A 橋, 右 : B 橋)

したA橋のコアを用いて、実体顕微鏡，走査顕微鏡(SEM)観察，エネルギー分散型X線装置(EDS)による定性分析を実施した。実体顕微鏡から，粗骨材の多くに反応リム，白色および透明な滲出物，骨材粒子のひび割れを確認した。透明な滲出物が認められた骨材粒子の二次電子像(写真-2)より，ASR生成物の典型的な形態を確認した。滲出物はゼリー状であり，定性分析結果(図-3)より，Si(ケイ素)を主成分とした他，Ca(カルシウム)，K(カリウム)，Na(ナトリウム)を含むことから，ASRにより生成したゲルと判断した。

以上より，A橋・B橋ともにひび割れの発生原因としては，ASRに起因すると考えられる。

### 3. 3 圧縮強度・静弾性係数

静弾性係数の低下を確認する目的で圧縮強度試験を実施した。圧縮強度-静弾性係数の関係を図-4に示す。A橋・B橋の劣化部(ひび割れ発生付近)にて，圧縮強度に比して静弾性係数の低下を確認した。静弾性係数の低下は，ASRによる微細ひび割れによるものと考えられる。

### 4. ひび割れの構造性能への影響

ひび割れが構造性能に与える影響を確認する目的で，A橋にて静的載荷試験を行った。

#### 4. 1 静的載荷試験

桁下面のひび割れが全体的に発生している第2径間について，図-5に示すような荷重車両(20t/台)2台を用いて，車両の後方を向き合わせとした状態で，5箇所の載荷位置にて静的載荷試験を実施した。計測項目は，主桁のたわみ，主桁下面のひずみ，外桁側面のひずみ，およびひび割れの開き・ずれとした。G1側載荷時におけるたわみとひずみ計測結果を図-6，図-8に，G10側載荷時におけるたわみとひずみ計測結果を図-7，図-9に示す。

G1側載荷時における8m位置でのG1桁とG2桁のたわみと下面ひずみについては，最大たわみが同程度なのに対して，G1桁の下面ひずみはG2桁に対して約1.5倍大きくなった。G10側載荷時における8m載荷位置でのたわみと下面ひずみについては，最大たわみ，下面ひずみともにG10桁の方がG9桁より若干大きい傾向となったが，G1桁とG2桁については，たわみは同程度なのに対して，下面ひずみではG1桁が若干大きくG1側載荷時と同様な傾向であった。また，G1桁とG10桁側面のひずみ分布からは，G1桁で桁側面に発生した軸方向ひび割れを挟んだ位置を境として，平面保持の特性が失われつつある傾向が見られた。

今回の調査結果より，G1桁とG2桁のたわみと下面ひずみに特徴が見られたことから，以下のような状況が考えられる。

G1桁の下面ひずみがG2桁よりも大きいことに着目すると，G1桁の断面剛性がG2桁よりも低下してい

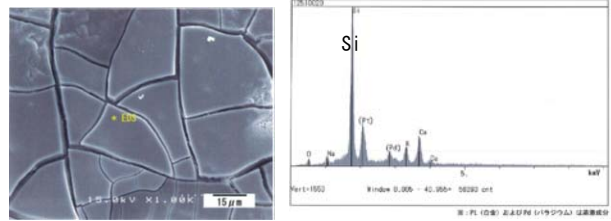


写真-2 二次電子像

図-3 定性分析結果

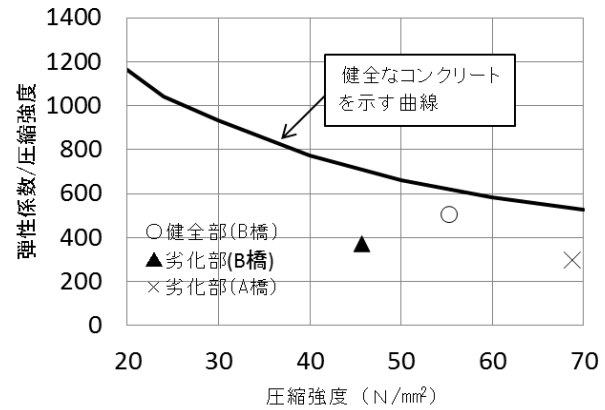


図-4 圧縮強度-静弾性係数

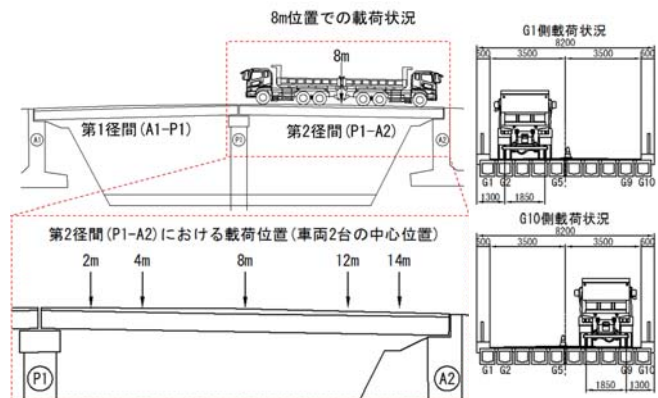
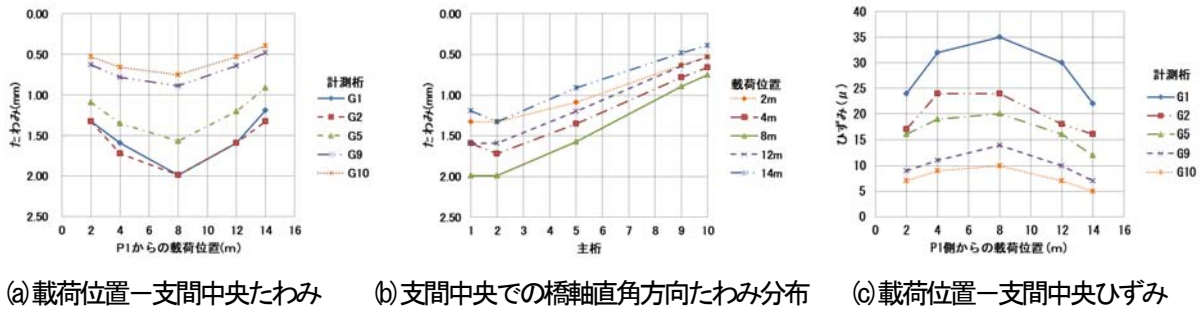


図-5 載荷方法の概要

たことが想定されるが、一方でG1桁とG2桁のたわみは同程度であることから、G2桁が重ね梁の状態に近い挙動を示した可能性も考えられる。

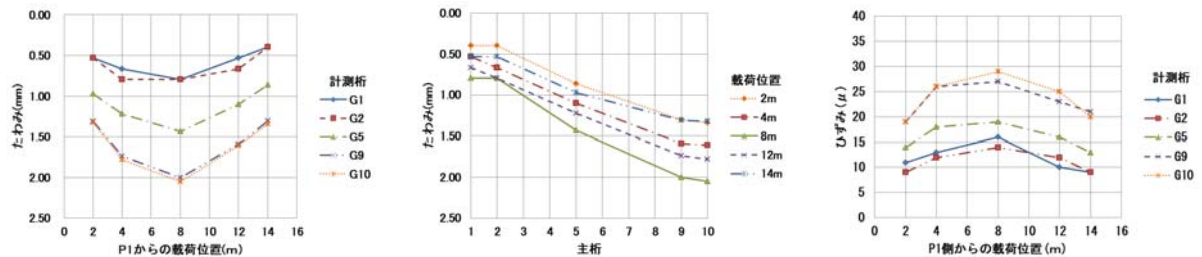
ただし、荷重試験中における主桁のたわみおよび下面ひずみの計測においては、線形挙動を逸脱するような急激な値の増加や、外桁側面でのひび割れの開きおよびずれは計測されなかった。このことから橋梁全体系としては、軸方向ひび割れによる大きな剛性低下は考えにくい。

G1桁では外桁のため雨水の影響を受けやすいこと、G2桁では横断勾配により桁上面に滞水が生じやすいことから、それぞれASRの進行による劣化が進展しやすい環境条件にあると考えられる。



(a) 荷重位置—支間中央たわみ (b) 支間中央での橋軸直角方向たわみ分布 (c) 荷重位置—支間中央ひずみ

図-6 G1 側荷重時のたわみと下面ひずみ



(a) 荷重位置—支間中央たわみ (b) 支間中央での橋軸直角方向たわみ分布 (c) 荷重位置—支間中央ひずみ

図-7 G10 側荷重時のたわみと下面ひずみ

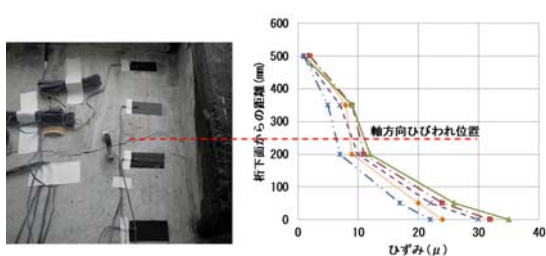


図-8 G1 桁側面ひずみ分布 (G1 側荷重時)

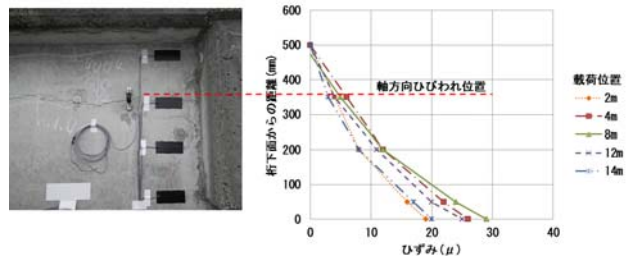


図-9 G10 桁側面ひずみ分布 (G10 側荷重時)

5. まとめ

今回調査した2橋については、以下のことがわかった。

- ・軸方向ひび割れの深さは、せん断補強鉄筋程度で、部材を貫通するひび割れまでは至っていない。
- ・中性化深さは、表面付近程度で鋼材位置まで達していないことから、鋼材腐食は考えにくい。
- ・骨材周辺の滲出物や静弾性係数の低下より、ひび割れの発生原因としては、ASRが考えられる。
- ・荷重試験より、個々の桁の劣化による微妙な違いが計測された。ただし、荷重重量範囲内においては、橋梁全体系として大きな剛性低下までは至っていない。

【謝辞】本調査を実施するあたり、橋梁を管理する自治体の方々、国土交通省関東地方整備局（道路部道路管理課（道路保全企画室）、関東技術事務所）のご協力のもと調査を行いました。ここに関係各位に深く感謝致します。