

3径間連続PCT桁橋における横締めPC鋼棒の破断原因究明および補修検討

首都高速道路(株) ○井田 達郎
 首都高速道路(株) 坂本 豊
 (一財)首都高速道路技術センター 佐藤 裕輔

1. 損傷状況

首都高速都心環状線の千鳥ヶ淵地区(昭和39年供用)において、3径間連続PCT桁橋の端横桁で、上部工補強工事に伴う横桁側面の不陸修正を実施していたところ、横締めPC鋼棒の破断が確認された。破断部周辺のコンクリートは、遊間側からスパン中央側にはらみ出しており、押されるように破壊していた。また、破断部周辺のシース管は腐食により欠落しており、破断したPC鋼棒には錆が付着していた。主桁と横桁の打継部には湿り気があり、橋面上からの水道ができていたことが確認できた。

損傷が確認された箇所は、主桁本数が5主桁から8主桁へと変化する箇所であった。また、伸縮継手直下の橋脚上には、遊間を埋めるほどの土砂の堆積が確認され、雨水の流入や交通振動などにより強固に締め固められた状態であった(図-1)。

当該橋梁の床版は、プレキャスト主桁間に場所打ちコンクリートを打設し、横締めPC鋼棒を配置することでプレキャスト桁の上フランジを一体化した「間詰め床版」であり、間詰めコンクリートの打継目から水が浸入しやすい構造である。また、端横桁部のため伸縮継手部からの漏水も考えられる立地条件である。千鳥ヶ淵水上公園上に水面から約2mに架設された橋梁であるため、高架下からの水蒸気などによる水の介入も懸念される。

上記の損傷状況および構造特性を踏まえ、横締め鋼棒の破断原因推定および補修検討を実施した。

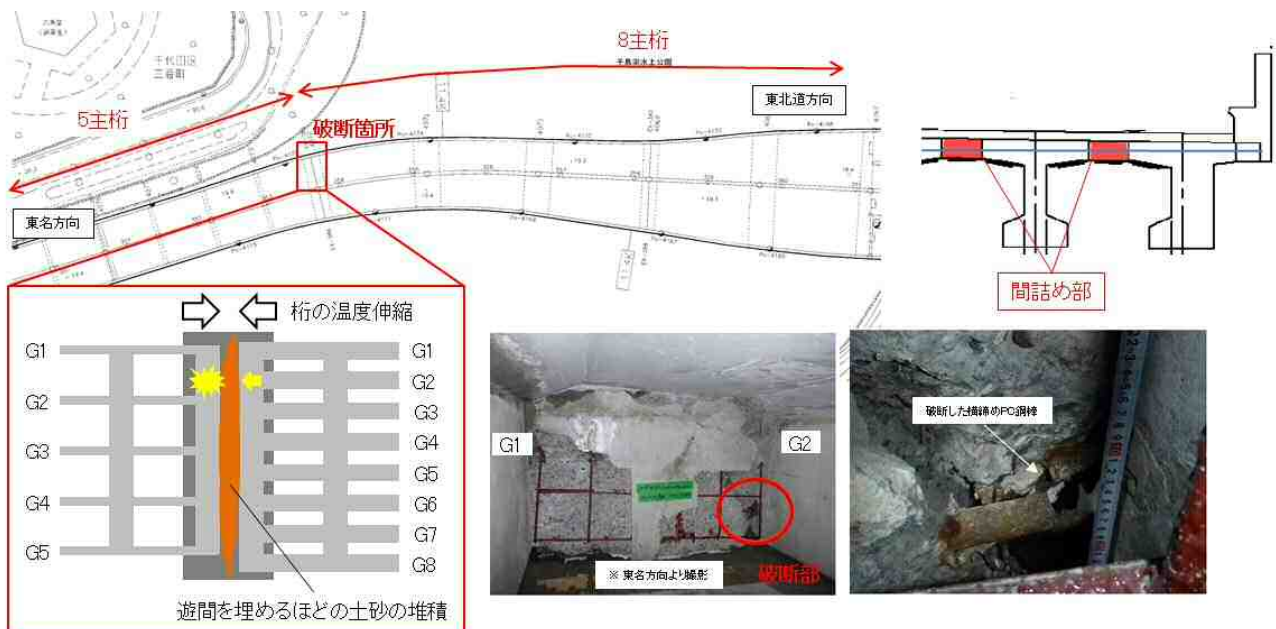


図-1 損傷状況および構造概要

2. 構造概要

当該橋梁は、千鳥ヶ淵水上公園上にかかるため、施工上支保工を組むことができなかったことから、主桁は全てプレキャスト桁となっており、プレキャスト桁を架設後、現場で横桁、床版を施工してい

る。

縦締めは、 $\phi 5 \times 12$ のPC鋼線をくさび定着方式（フレシナー工法）にて定着しており、横締めは $\phi 24$ のPC鋼棒（SBPR785/930）を使用している。また、景観上、桁高は1mに抑えられており、15mスパン、30mスパンからなる橋梁である（図-2）。

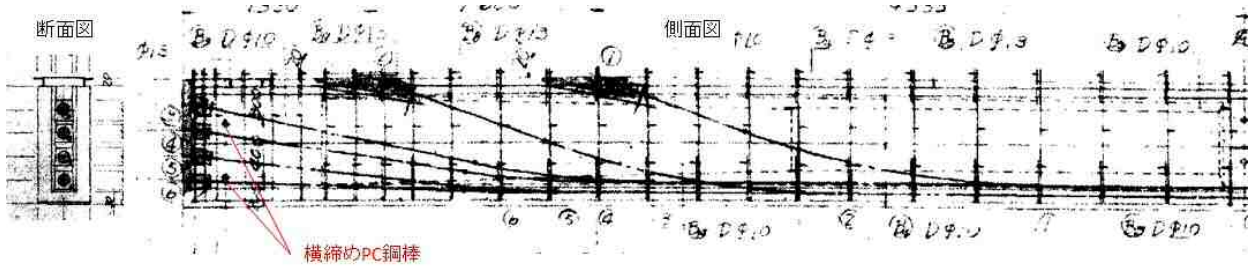


図-2 構造概要図

3. 損傷原因の推定

損傷原因推定のため、破断したPC鋼棒を採取し、外観観察、破面観察、断面組織観察、成分分析を実施した。分析方法および結果を以下に示す。

3.1 外観観察

外観は、破断部を目視および実体顕微鏡で観察した。破断部はシースが欠落し、PC鋼棒が腐食していたが、破断部から10cm程度離れるとシース管の腐食は見られず、PC鋼棒も健全であると推測された。破断部は腐食が著しく、破断面を突き合わせると、外周部の一部に腐食により減肉したと推測される断面欠損が確認された。破断面の錆の堆積状況から、破断後長期間経過したことが示唆された。酸洗後の破断面を見ると、中央部は比較的錆が落ちやすいが、外周は錆が残存し、より顕著に腐食しているものと推測される（写真-1）。

なお、酸洗後の破断面に疲労破壊に見られるビーチマークは観察されなかった。



写真-1 外面観察状況

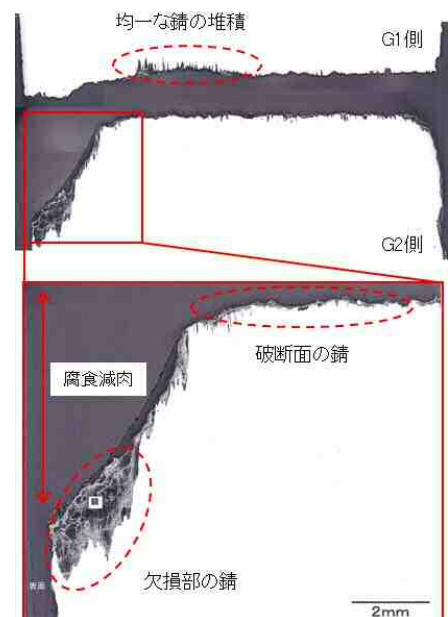


写真-2 破面観察および断面組織観察

3.2 破面観察および断面組織観察

破断面の破面形態を実体顕微鏡および走査型電子顕微鏡 (SEM) で観察した。破面には過荷重破断破面に見られるディンプルに類似した模様が観察されたが、腐食によるピットとの区別ができず、破面形態の特定は困難であった。

断面組織観察は、破断部縦断面を鏡面研磨し、エッチング前後のミクロ・マクロ組織を光学顕微鏡にて観察した。破断部断面のエッチング前の組織から、欠損部は最大3mm欠落し、結晶化した厚い錆も確認され、腐食により減肉したものと推測される。破断面は、100 μ mの均一な錆の堆積が確認された。破断面に縦筋状に伸びた腐食痕が多数観察され、介在物に沿って進行した腐食と推測される (写真-2)。

3.3 成分分析

破断面の腐食生成物を採取し、成分分析を実施した。EDS定性分析の結果、鉄の錆組成0, Fe, Caの他に、微量なSが確認された。Sは自動車排気ガスなどに含まれており、腐食を促進することが知られている。そのため、通常の雨水や結露に含有されたSが腐食を促進したことが想定される (表-1)。

表-1 EDS定性分析結果 (mass%)

	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe
分析A	10.7	45.2	-	0.2	0.3	1.0	0.3	5.1	0.6	36.5
分析B	6.1	39.0	0.5	-	0.7	1.9	0.2	1.5	0.6	49.5

3.4 損傷メカニズムと補修イメージ

破断部から10cm程度離れた箇所は、PC鋼棒、シース管ともに健全であったことから、破断部は安定的に水と酸素の供給があり、腐食環境となっていたと推測される。

PC鋼棒は、欠損部の腐食が特に著しく、破断面と腐食深度が異なることから、腐食開始時期に違いがあると推測される。また、欠損部だけでなく、破断面にも均一な錆の堆積が見られることから、PC鋼棒の破断はかなり前に起きていたことが推測される。欠損部と破断面の減肉量の関係から、供用から早い段階で、局所的な減肉によりPC鋼棒の耐力が低下し、破断に至ったことが考えられる。

上述の損傷メカニズムを踏まえ、床版上面からの水の供給を遮断するため、床版防水の施工を実施し、横締めPC鋼棒が既に破断した箇所については、横桁の耐荷性能確保のため、既設と同等のプレストレス力の導入が必要であると考えられる (図-2)。

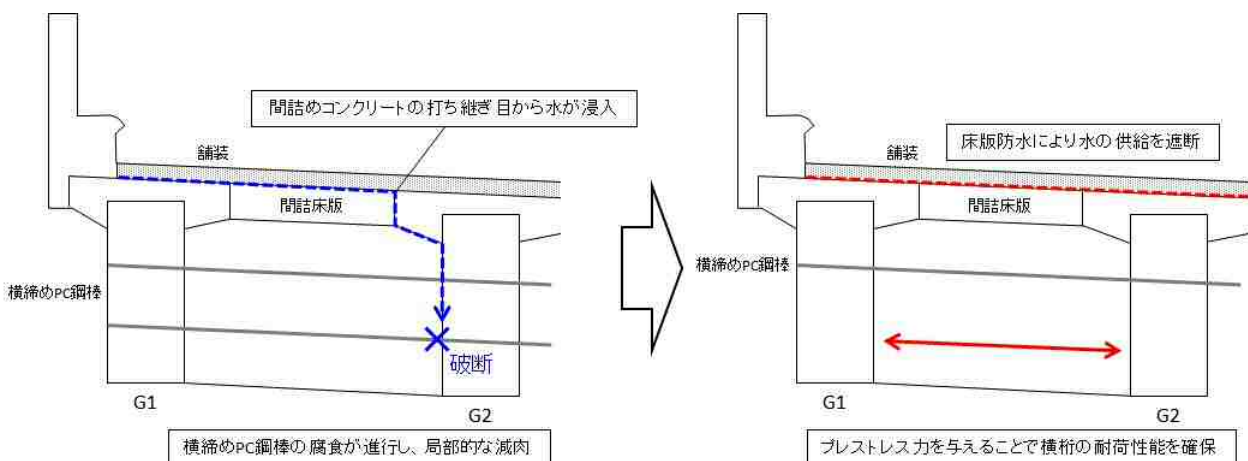


図-2 損傷メカニズムと補修イメージ

4. 超音波調査による破断確認

上述の損傷原因を踏まえ、当該橋梁において超音波調査を実施し、同種損傷の有無の確認を行った。調査位置は、横締めPC鋼棒の定着部における浮きや鋼棒先端部の露出など、PC鋼棒の破断が懸念される変状が確認された箇所とした。調査は、横締め鋼棒の先端から超音波を入力し、対面側の底面から反射されてきた波を受信することで、鋼棒の長さを推定する方法により、破断していた場合の破断位置を確認した。

調査の結果、破断箇所と同位置で、腐食により断面欠損している横締めPC鋼棒を1本確認した。なお、その他の箇所においては、横締めPC鋼棒の破断は確認されなかった。

5. 補修方法の検討

当該橋梁は、横桁1本につき横締めPC鋼棒が上下に2段配置されており、下段1本の破断により橋梁の耐荷性能が不足することが懸念される。

当該箇所は、主桁PCの定着部が密に配置されており、端横桁部に横締めPC鋼棒を配置することが困難であった。そのため、端横桁部を避け、外ケーブル工法を採用した。

また、ひび割れ範囲において、断面修復を行うため一時的に横桁を撤去する必要があることから、破断のない上段側横締めPC鋼棒も切断することとした。外ケーブルは、既設PC鋼棒2本の図心に近い位置に配置し、既設の横締めPC鋼棒2本分の緊張力を導入することで補修を行うこととした（図-4）。

補修に先立ち、遊間の堆積物の撤去、押し出されたコンクリートの撤去および断面修復を実施した。現在、引き続き、補修を進めているところである。

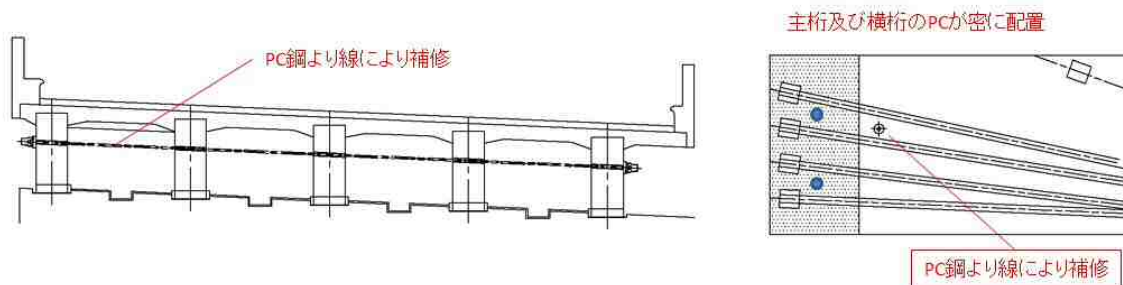


図-4 外ケーブル補強概要図

6. まとめ

当該箇所のように、構造上、水の供給が懸念される箇所では定期的に接近点検を行い、変状を確認することが重要である。また、点検の結果、変状の見られた箇所においては、超音波調査などにより現状のPC鋼棒の破断の有無を確認する詳細調査が必要である。

事前の予防策としては、打継目からの水の浸入を防ぐための床版防水を徹底し、必要に応じて、グラウト再充填などによりPC鋼棒への防錆処置を施すことが重要であると考えられる。なお、当該箇所においては、今後、同様の損傷が生じないように、床版防水および横締めPCへのグラウト再充填を施工済みである。

また、当該損傷の主要因ではないものの、遊間への土砂の堆積などがなく、路面清掃などの日常管理を行うことも必要であると考えられる。