

PC 鋼材の破断に伴うプレストレスの変化に関する実験的検証

(社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 ○高橋 功  
 同上 正会員 貝原巨利  
 日本道路公団試験研究所 正会員 長田光司  
 同上 正会員 野島昭二

1. はじめに

従来の PC 構造物の補強は、車両の大型化対策が主流であり、PC 鋼材破断に伴う構造物安全性の回復を目的とした例はほとんど無い。しかしながら、既存ストックの増加に伴い比較的適切な施工が行なわれていた PC 構造物でも厳しい環境等により、PC 鋼材の破断が報告されつつある<sup>1)</sup>。PC 鋼材の破断に伴うプレストレスの損失範囲は、グラウト材料やブリーディングの影響によって異なる可能性があるが、実際の構造物を想定して、これらを検討した例はほとんどなく、補強設計時には PC 鋼材の破断の有無を想定して安全側に設計が行なわれている。そこで、本研究では、過去のグラウトの配合を用いて、支間中央部や曲げ上げて配置した定着部周辺で PC 鋼材が破断したことを想定した供試体を再現し、PC 鋼材破断時におけるプレストレスの損失範囲を検討するとともに、実物の PC 桁を用いて検証することとした。

なお、PC 桁定着部周辺で PC 鋼材が破断した場合は、外ケーブル補強の適用が困難であり、架け替え以外の対策では不十分となる場合もある。このような場合、即時の架け替えは社会的影響が大きく、破断の程度によっては、応急的に支点を前方に移動させモニタリングのもと、計画的な対策が望まれる。本研究の結果は、このような定着部周辺の PC 鋼材の損傷に対する対策に有益な情報を与えるものと考えられる。

2. 供試体による確認実験

2. 1. 実験概要

昭和 44 年の建設省標準設計では、曲げモーメントに対して合理的に PC 鋼材を配置するために主桁上縁部に箱抜きを設け、PC 鋼材の約半分を定着していた<sup>2)</sup>。上縁箱抜きは跡埋めコンクリートの止水性の問題から PC 鋼材が腐食しやすい環境にあり、この部分の付着強度を把握する事は重要であると考えられる。そこで、上縁定着の PC 鋼材をモデル化して実験を行った。

実験を行った供試体の形状を図-1 に示す。グラウトの混和剤は使用実績の多いものを選定して用いた。また、ブリーディング対策の有無として、アルミニウム粉末を添加した場合と添加しない場合の 2 タイプを 2 体ずつ製作しグラウト材の比較と付着強度のバラツキを確認することとした。使用したグラウトの配合を表-1 に示す。

PC 鋼材の緊張は、コンクリート材齢 7 日で行い破断耐力の 70% (Pt=536kN) を導入した。すべての供試体の PC 鋼材緊張後、図-2 にしめすように傾斜台上に設置し、供試体の下側からグラウトを注入した。傾斜台角度は、当時の構造物で最大となる

側面図

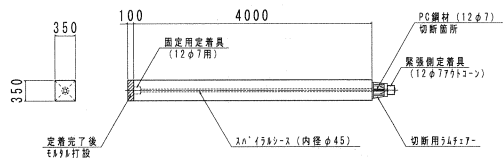


図-1 グラウト付着確認試験供試体  
 表-1 グラウトの配合

タイプ	W/C (%)	水 W(kg)	セメント C(kg)	混和剤 P(g)	アルミニウム粉末 A(g)
A	42	42	100	250	7
B	42	42	100	250	—

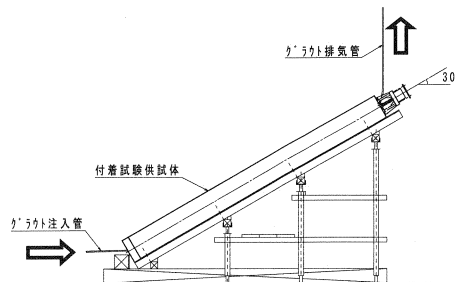


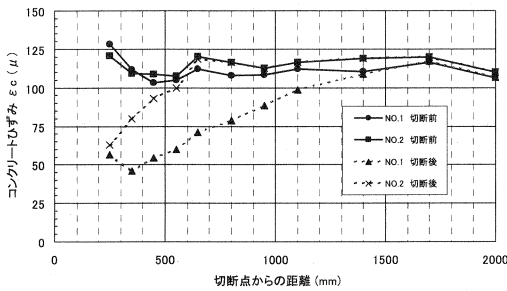
図-2 グラウト注入方法

曲げ上げ角度を想定し 30 度とした。

PC 鋼材の切断は、グラウトの材齢 28 日以降にまで放置し素線を 1 本ずつ切断した。この時、切断時のプレストレスの変化量は、緊張時から PC 鋼材切断後まで供試体に貼付したひずみゲージにより経時的に測定した。

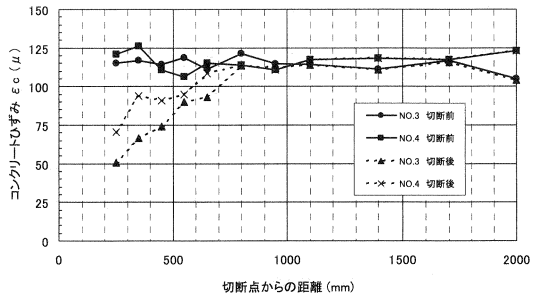
### 2. 2. PC 鋼材切断後の挙動

図-3, 4 に供試体側面に貼付したひずみゲージの変化を示す。プレストレス導入前を 0 とした場合、切断前にプレストレス導入により生じた圧縮ひずみは、各供試体ともに約 110  $\mu$  であった。これに対し、PC 鋼材切断直後のプレストレスの低下範囲は、アルミニウム粉末を添加したタイプ A の供試体では 650mm と 1400mm であり、ばらつきを示した。一方、アルミニウムを添加しないタイプ B の供試体では 650mm と 800mm であり、ばらつきは小さかった。今回の実験では、供試体端部から 250mm の位置からひずみゲージを貼付したが、最も切断位置に近い位置でも PC 鋼材切断後 50  $\mu$  程度の圧縮ひずみが残留していた。



※ 圧縮ひずみを正とする

図-3 切断時ひずみ挙動 (タイプ A)



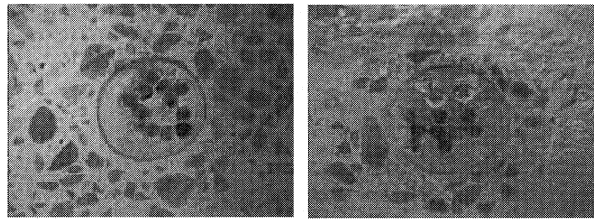
※ 圧縮ひずみを正とする

図-4 切断時ひずみ挙動 (タイプ B)

### 2. 3. 考 察

#### (1) グラウトの充填度

写真-1 に、供試体の緊張端から 200mm の位置を切断した状況を示す。写真に示すとおりタイプ A、タイプ B ともにグラウトは十分に充填されており、写真に示した以外の 800mm、1200mm でも同様の状況であり、全体的にグラウトの充填は良好であったと判断できる。



タイプ A

タイプ B

写真-1 グラウト充填状況 (供試体端から 200mm)

#### (2) PC 鋼材切断後の挙動

本実験では、アルミニウム粉末の添加がないグラウトではプレストレスの損失範囲が 700mm 程度に限定されていたが、アルミニウム粉末の添加により 1400mm 程度の損失範囲があるものも生じさせた。これは、アルミニウム粉末の添加による気泡の発生により圧縮強度が低下することが一因にあげられる。

また、定着長は PC 鋼線の素線径 7mm に対して 100~200 倍の範囲となるが、配置している鋼線 12 本を一本の鋼材と換算すれば、33~67 倍程度となる。これは、プレテンション方式の構造物に適用される道路橋示方書の定着長 65  $\phi$  に相当している。以上の結果から、ブリーディングの発生が懸念されるグラウト材料であっても、グラウトの充填が良好に施工されている場合、示方書から算出される定着長を期待できることが示された。

### 3. 実物大切断実験

#### 3. 1. 実験概要

実物大切断実験に使用した試験体は、高速道路の本線橋として27年間供用後に撤去されたポストテンションPC単純T桁の主桁である<sup>3)</sup>。試験体は2体であり(以下、「A桁」および「B桁」と称する)、主ケーブルとしてPC鋼線12φ7が5本配置されており、すべての鋼材が桁端部に定着されている。桁Aでは、PC鋼材定着部付近が、桁Bでは、支間中央付近のPC鋼材が腐食破断したことを想定し、切断後のプレストレスの再分配の影響範囲についてコンクリートに生じるひずみ変化について計測した。実験では写真-2に示すように、A桁では桁端部で5本のPC鋼材すべてを、B桁では支間中央部で5本中2本のPC鋼材を切断し、桁表面に連続的に設置したコンクリートひずみゲージによりプレストレスの損失の程度およびその範囲を確認した。実験手順を図-5に示す。

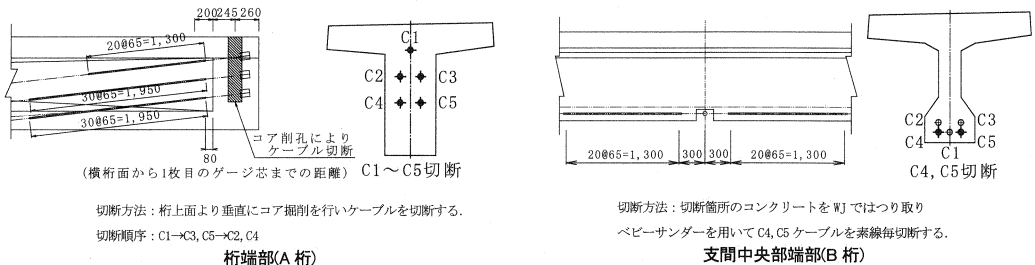
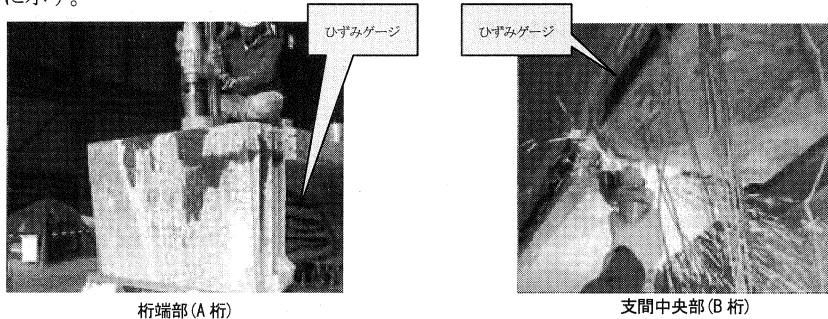


図-5 ケーブル切断手順

#### 3. 2. 実験結果

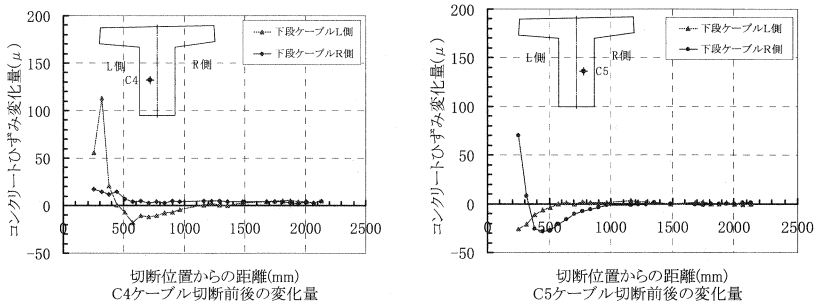
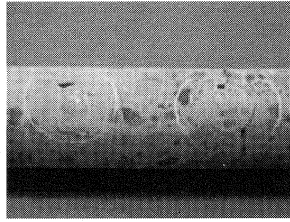
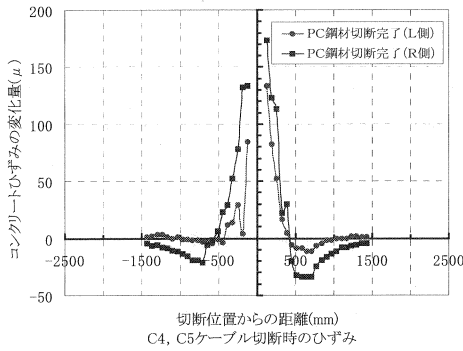
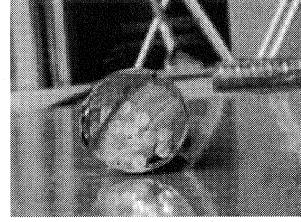


図-6 桁端部PC鋼材切断時のひずみ挙動(A桁)

図-6にB桁におけるPCケーブル切断によるプレストレスの損失範囲を示す。支間中央部のゲージは、切断位置から125mmの位置を起点に連続的に貼付けてある。図-6から切断後のPCの応力変動状況は左右ほぼ均等であることがわかる。また、鋼材の付着範囲としては圧縮応力がピークとなっている点までとすれば600~700mm程度と推察できる。



桁端部の状況 (A 桁)



支間中央部の状況 (B 桁)

写真-3 主桁のグラウト充填状況

※PC 鋼材切断前を0とし、切断によるプレストレス解放を正とする  
図-7 支間中央部 P C 鋼材切断時のひずみ挙動 (B 桁)

図-7 に A 桁における PC ケーブル切断によるプレストレスの損失範囲を示す。図-7 に最下段の C4 ケーブルと C5 ケーブル切断時の切断ケーブルにそった実測値を示す。桁端部のゲージは切断位置から 250 mm の位置を起点に連続的に貼付けてある。この結果から、切断後の PC 鋼材の付着範囲としては 600mm 程度だったと推察できる。写真-3 に切断位置付近の断面を示す。写真-3 に示されたとおり、A 桁、B 桁ともにグラウトはほぼ完全に施工されており、供試体と同等であったことがわかる。

#### 4. 結論

本研究の範囲内で、以下に示す事項を確認した。

- ①過去のグラウトの配合を用いて、支間中央部や曲げ上げて配置した定着部周辺で PC 鋼材が破断したことを想定した供試体を再現し、PC 鋼材破断時におけるプレストレスの損失範囲を検討した結果、グラウトが十分に施工されている場合のプレストレス損失範囲は、道路橋示方書に示されるプレテンション PC 鋼材の定着長に相当する 65 φ 程度である。
- ②撤去桁を用いた実物における PC 鋼材破断時のプレストレス損失範囲は、グラウトが十分に施工されている場合 30 φ 程度あり、供試体で確認された範囲内であった。

なお、今後、さらなる事例収集や疲労等への検討を十分に行えば、PC 鋼材の端部定着が損傷し PC ケーブルが破断した場合でも、グラウトの有無に対する詳細な調査や適切なモニタリングを行なうことにより、暫定的な処置としてプレストレスが損失していない位置に仮支点を設置し、計画的な掛け替えが可能な時期までの供用を行うことが可能となる。

#### 謝辞

本稿は、日本道路公団試験研究所と(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会との共同研究「PC 橋の補修・補強技術に関する実験研究」の一部をとりまとめたものである。本研究に多大なご指導、ご協力を頂いた横浜国立大学名誉教授の池田尚治博士をはじめ、各委員、川田建設(株)・(株)ピーエス三菱技術研究所、その他関係各位に心から感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 西川幸一・石川克典・野島昭二・江良和徳：外ケーブルにより補強する PC 剛性床版桁橋の補強効果の検証, プレストレストコンクリート技術協会, 第 13 回論文集 (2004 年 10 月) p451-p456
- 2) PC 技術の変遷 2003 年 11 月, プレストレストコンクリート建設業協会
- 3) 長田光二・野島昭二・佐藤正明・濱田譲：PC 橋の補修・補強技術に関する取り組み, プレストレストコンクリート, Vol. 47, No. 2, Mar. 2005