

## プレストレストコンクリート橋の横締め PC 鋼棒の突出確認試験

独立行政法人土木研究所	正会員	○中村 英佑
独立行政法人土木研究所	正会員	竹内 祐樹
独立行政法人土木研究所	正会員	渡辺 博志
独立行政法人土木研究所		木村 嘉富

### 1. はじめに

プレストレストコンクリート橋(以下、PC 橋)において、横締め PC 鋼棒のシース内にグラウトの未充填部が残されている場合、PC 鋼棒に腐食が生じ、腐食の進展程度によっては破断に至る恐れがある。一般に、PC 橋の横締めで使用されている PC 鋼棒には高張力のプレストレスが導入されているため、破断した PC 鋼棒は地覆コンクリートを貫通して外部に突出する可能性がある。その際には、PC 鋼棒自体の突出に加えて地覆コンクリートの剥落や飛散も起こり得るため、橋梁周辺において第三者被害を引き起こすことが懸念されている。このため、グラウト充填度を調査するための非破壊検査やグラウト再注入方法、突出防止工、グラウト品質など様々な観点から PC 橋を安全に供用していくための調査研究が実施されてきた。しかしながら、横締め PC 鋼棒の破断時の突出メカニズムや地覆コンクリートの損傷状況については必ずしも詳細な報告が行われていないのが現状である。

これらのことを踏まえ、本稿では、グラウト未充填部を有する PC 鋼棒を用いた実物大の床版供試体を製作し、PC 鋼棒をグラウト未充填部で切断することにより、PC 鋼棒が破断した場合の突出可能性および地覆コンクリートの損傷状況、残存プレストレスについて検討した結果を報告する。

### 2. 実験概要

#### 2. 1 供試体

図-1 に供試体の形状を示す。道路橋示方書<sup>1)</sup>の A 活荷重の作用するポストテンション方式 PC 単純 T げた橋の横締めで使用されている PC 鋼棒を想定し、500mm 間隔で 4 本の PC 鋼棒(SBPR930/1080,  $\phi 23\text{mm}$ )を配置した。プレストレスは PC 鋼棒の初期引張応力度が  $780\text{N}/\text{mm}^2$  となるように導入し、シースは鋼製のスパイラルシース( $\phi 35\text{mm}$ )を用いた。グラウト充填度は 0, 25, 50, 75% の 4 水準(グラウト未充填部の PC 鋼棒の長さ: 8, 6, 4, 2m)とし、充填度に応じて供試体の片側端部からグラウトを注入した。充填部と未充填部の境界位置のシース内の空隙にはスポンジを詰め、所定のグラウト充填度を確実に再現できるようにした。また、充填部と未充填部の境界位置の直上に PC 鋼棒を切断するための円形孔( $\phi 150\text{mm}$ )を設けた(図-2 参照)。

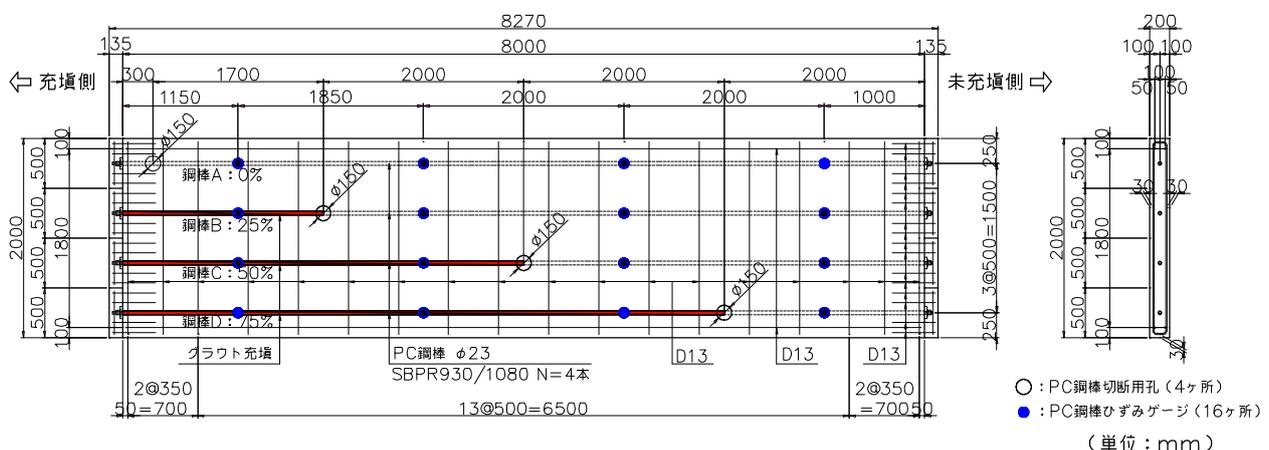


図-1 供試体の形状

円形孔は供試体上面から下面まで貫通したものであり、円形孔の内側の一部でシースを破り PC 鋼棒の切断が容易となるように加工した。

一般的なPC橋の横締めで使用されているPC鋼棒の定着具は地覆コンクリートで保護されているため、地覆コンクリートの厚さや強度も PC 鋼棒の突出可能性に影響を与え得る。今回の試験では、実際の PC 橋を模擬して図-3 のように定着筋を用いて供試体本体と定着具を覆う保護コンクリートを一体化させ、PC 鋼棒の純かぶりがそれぞれの端部で概ね等しくなるようにした。純かぶりは、充填側の端部で約 60mm、未充填側の端部で約 30mm であった。また、PC 鋼棒を切断した際に隣接する PC 鋼棒直上の保護コンクリートに損傷が及ぶことを避けるため、保護コンクリート同士の間目地を設けて各保護コンクリートを分離した。

表-1, 2 にコンクリートとグラウトの配合、表-3 に PC 鋼棒の材料試験結果を示す。

### 2. 2 切断試験

PC 鋼棒の切断は、円形孔内において、ディスクグラインダーを用いて行った。PC 鋼棒に導入されているプレストレスは部材位置にかかわらず均一であり、切断位置による違いはほとんど無いと考えられる。しかし、破断時に開放される PC 鋼棒のひずみエネルギー(突出エネルギー)は、グラウトによる拘束の無い未充填部の PC 鋼棒の長さに比例して大きくなると考えられる<sup>2)</sup>。今回の試験では、グラウト充填度に応じて各 PC 鋼棒の突出エネルギーが最大となるように充填部と未充填部の境界近傍の未充填側を切断位置とした。このため、充填側よりも未充填側の供試体端部で PC 鋼棒の突出可能性が高く、グラウト充填度が低いほど切断位置から供試体端部までの距離(グラウト未充填部の PC 鋼棒の長さ)が大きく突出可能性も高まったと考えられる。

PC 鋼棒を切断した後、PC 鋼棒の突出の有無および突出長さ、破断面の状況、保護コンクリートの損傷状況を記録した。また、切断時には各 PC 鋼棒 4ヶ所において 0.001sec 間隔でひずみを計測した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3. 1 PC 鋼棒の突出の有無および突出長さ

図-4 に、切断後の供試体の状況を示す。4本の PC 鋼棒はいずれもグラウト未充填側の供試体端部の保護コンクリートを貫通し、外部に突出した。PC 鋼棒と PC 鋼棒先端に取り付けたナットが突出し、支圧板は保護コンクリートの内部に留まったままであった。



図-2 PC 鋼棒切断用の円形孔

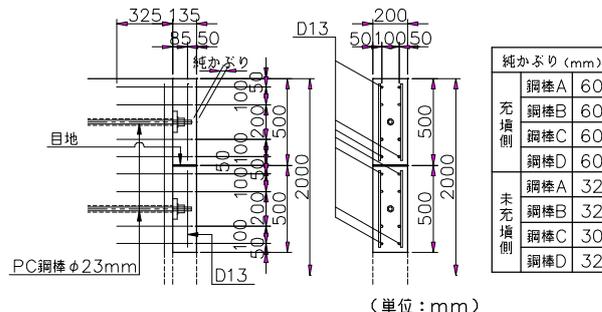


図-3 保護コンクリートの詳細

表-1 コンクリート配合(供試体本体)

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
		W	C	S	G	混和剤
47.0	42.0	153	326	762	1,061	2,608

※最大粗骨材寸法 25mm, スランプ 7.5cm, 空気量 3.9%, 早強ポルトランドセメント, 切断試験日の圧縮強度 45.2N/mm<sup>2</sup>

表-2 コンクリート配合(保護コンクリート)

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
		W	C	S	G	混和剤
54.0	44.1	150	278	822	1,051	2,224

※最大粗骨材寸法 25mm, スランプ 6.0cm, 空気量 3.5%, 普通ポルトランドセメント, 切断試験日の圧縮強度 22.2N/mm<sup>2</sup>

表-3 グラウト配合

W/C (%)	使用量 (C×%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )		
		W	C	混和剤
42.0	1.0	570	1,358	13.6

※普通ポルトランドセメント, 混和剤はセメント質量 1%を添加 切断試験日の圧縮強度 53.5N/mm<sup>2</sup>

表-4 PC 鋼棒の材料試験結果

降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
1,050	1,146	197,000

表-5 に、突出した PC 鋼棒の長さや突出エネルギーの計算値を示す。突出長さは PC 鋼棒切断後に供試体端部から突出した PC 鋼棒の長さを測定し、突出エネルギーは式(1)<sup>2)</sup>より求めた。

$$U = \frac{P_e^2 l}{2E_p A_p} \quad (1)$$

ここで、 $U$  : PC 鋼棒の突出エネルギー(kN・m)、 $P_e$  : PC 鋼棒の有効プレストレス力(kN)、 $l$  : PC 鋼棒の破断位置からの長さ(今回の試験では切断位置から未充填側の供試体端部までの距離(m)、 $E_p$  : PC 鋼棒の弾性係数(N/mm<sup>2</sup>)、 $A_p$  : PC 鋼棒の断面積(mm<sup>2</sup>)とする。

グラウト充填度 75%の PC 鋼棒を切断した際には、PC 鋼棒の飛散を防ぐための防護壁を供試体から約 500mm の位置に設けていたため、突出した PC 鋼棒が防護壁に激しく衝突して正確な突出長さを測定できなかった。このため、その他の PC 鋼棒では防護壁を離れた位置に設置して突出長さを測定できるようにした。グラウト充填度 75%以外の PC 鋼棒の突出長さを比較すると、グラウト充填度が低いほど突出長さが大きくなる傾向にあった。同様に、突出エネルギーもグラウト充填度が低いほど大きくなった。切断位置から供試体端部までのグラウト未充填部の PC 鋼棒が長いほど突出エネルギーが大きくなり、実際の PC 鋼棒の突出長さも大きくなったと考えられる。また、いずれの PC 鋼棒も全長が外部に突出することはなく、一部は供試体のシース内に留まったままであった。ただし、今回の試験では切断前後の PC 鋼棒のひずみを計測するためにひずみゲージを設置しており、PC 鋼棒の突出時にひずみゲージの保護テープやリード線が支圧板と支圧板の PC 鋼棒孔で接触したため、突出長さが短くなったとみられる。実際の PC 橋ではこのような障害が無い場合、PC 鋼棒の突出長さは今回の試験の結果よりも大きくなる可能性が高い。

### 3. 2 PC 鋼棒の破断面

図-5 に PC 鋼棒の破断面の状況、表-6 に PC 鋼棒の断面積に占めるディスクグラインダーによる切断面の割合を示す。いずれの PC 鋼棒においてもディスクグラインダーで断面積の 30~40%を切断した時点で破断に至ったと考えられる。また、切断面の反対側の破断面付近では、僅かながら絞りが生じていた。切断中に PC 鋼棒の断面の未切断部が徐々に減少し、この部分に生じる張力が増加して最終的に破断に至ったと考えられる。

### 3. 3 PC 鋼棒の残存プレストレス

図-6 に、グラウト充填度 75%の PC 鋼棒の切断前後のプレストレスの変動を示す。切断前のプレストレスは、プレストレス導入時からのひずみの計測値を用いて算定した。計測位置は、切断部から充填側寄りの 3 点、未充填側寄りの 1 点の計 4 点である(図-1 参照)。未充填側では、プレストレスは切断開始とともに徐々に



図-4 切断後の状況

表-5 PC 鋼棒の突出長さや突出エネルギー

グラウト充填度(%)	75	50	25	0
突出長さ(mm)	—*	1,775	4,100	5,780
突出エネルギー(kN・m)	1.32	2.63	3.94	5.24

\*約 500mm に防護壁を設置したため測定不能。500mm 以上



図-5 PC 鋼棒の破断面の状況

表-6 PC 鋼棒の断面積に占める切断面の割合

グラウト充填度(%)	75	50	25	0
切断面の割合(%)	39.7	33.3	36.6	32.6

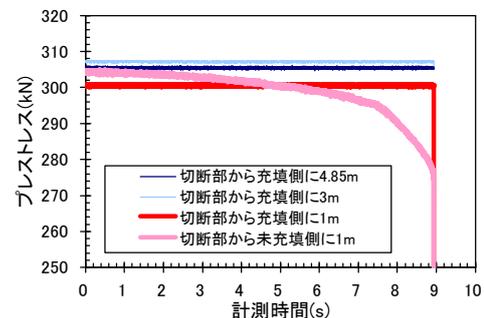


図-6 充填度 75%の PC 鋼棒のプレストレス

に減少し、破断時には完全に消失して PC 鋼棒自体が外部に突出した。切断部から充填側 1m の位置では PC 鋼棒の破断と同時にプレストレスが急激に消失した。この原因は、PC 鋼棒の破断時の衝撃でゲージが損傷して適切な計測ができなかったことや、ゲージの損傷は無かったがプレストレスが PC 鋼棒の破断と同時に消失したことなどが考えられるが、必ずしも明確ではない。ただし、切断部から充填側 3m 以上の位置ではプレストレスに大きな変動はなく、破断後もプレストレスが残存していたと考えられる。この傾向はグラウト充填度 50% の PC 鋼棒でも同様であった。

### 3. 4 保護コンクリートの損傷と飛散

図-7 に、保護コンクリートの損傷状況を示す。いずれの場合もグラウト未充填側の保護コンクリートには PC 鋼棒の突出と同時に激しい損傷が生じ、かぶりコンクリートが剥落した。破壊形態は、PC 鋼棒先端を起点とするコーン状であった。各保護コンクリートの両側面でも剥落が生じたが、これは保護コンクリートを分離するための目地を保護コンクリート同士の間に入れていたためと考えられる。また、コンクリート片(直径約 20mm)の最長飛散距離は約 26m であった。実際の PC 橋で PC 鋼棒が破断した場合には、PC 鋼棒自体の突出だけでなく、保護コンクリートの剥落、飛散により第三者被害につながる可能性があることを示唆している。

一方、グラウト充填度 0% の PC 鋼棒の充填側(図-1 参照)では PC 鋼棒は突出しなかったが、図-8 のように保護コンクリートに 0.15~0.40mm のひび割れが生じていた。純かぶりは未充填側よりも若干大きかったが、PC 鋼棒の切断部から供試体端部までの距離は 300mm であり、この位置での PC 鋼棒の破断は突出にはつながらないと考えられる。

### 4. まとめ

- (1) グラウト未充填部が端部から 2m 以上存在する場合、充填部と未充填部の境界近傍の未充填側で PC 鋼棒を切断すると、PC 鋼棒は保護コンクリートを貫通して外部に突出した。また、PC 鋼棒の切断位置から端部までのグラウト未充填部の区間が長いほど、PC 鋼棒の突出長さも大きくなった。
- (2) 切断位置からグラウト充填側 3m の位置では、PC 鋼棒の破断後もプレストレスが残存したままであった。
- (3) 保護コンクリートの損傷形態は PC 鋼棒の先端を起点としたコーン状であった。また、直径約 20mm のコンクリート片の飛散距離は最大で約 26m であった。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説(I 共通編・III コンクリート橋編)，2002
- 2) 吉田幸司，鳥取誠一，新田耕司：横締め鋼棒の突出防止法，第 11 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.527-530，2001

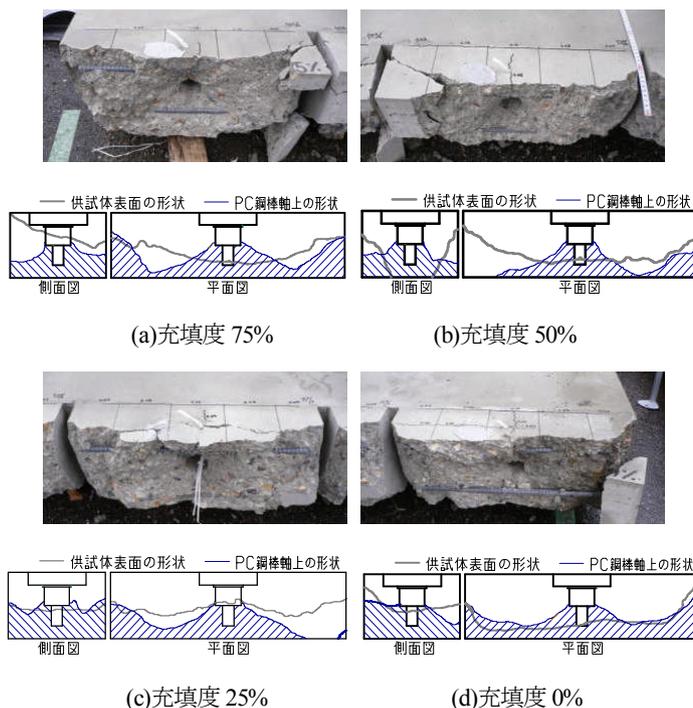


図-7 保護コンクリートの損傷状況

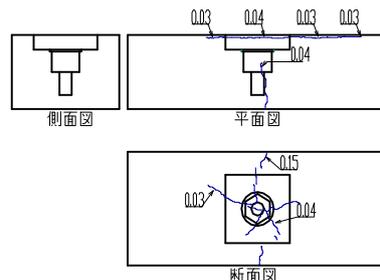


図-8 充填度 0% の損傷状況(充填側)