

## 横締め鋼棒の突出防止方法

(財) 鉄道総合技術研究所

○吉田 幸司

同 上

正会員 鳥取 誠一

同 上

新田 耕司

### 1. はじめに

プレストレストコンクリート (PC) 構造物は、力学的特性や施工管理の面から、鉄筋コンクリート (RC) 構造物に比べて耐久性に富むと考えられてきた。しかし、これまでに、PC 構造物特有の変状事例として、PC グラウトの未充填や充填不良により、PC 鋼材が腐食、破断して桁から突出した事例がいくつか報告されている<sup>1)2)</sup>。通常、床版等には多数の横締め用の PC 鋼材があり、1本の PC 鋼材が破断しても構造的に問題になることは少ないが、PC 鋼材の突出時には鋼材定着部周辺のコンクリートの剥離・剥落を引き起こし、橋梁周辺の第三者等に危害を与える恐れもある。今後、高度経済成長期に建設された多くの PC 橋梁の経年数が増加するにつれて、橋梁の健全度が低下し、上記のような事態が生ずることも懸念される。

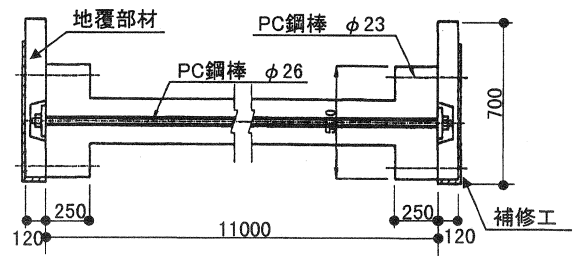
橋軸直角方向の PC 鋼材には、一般に PC 鋼棒あるいは PC 鋼より線が用いられる。腐食等により破断が生じる場合、PC 鋼棒では、鋼材断面が一気に破断するため、突出エネルギーが大きく、コンクリートの剥落が生じやすい。一方、PC 鋼より線では、より線が逐次破断するため、剥落事故等は生じにくいと考えられる。

そこで、本研究では、PC 鋼材の腐食・破断による突出を防止する観点から、鉄道 PC 橋梁の横締めをモデル化した実物大の試験体を用いて、突出防止方法の実験的検討を行った。

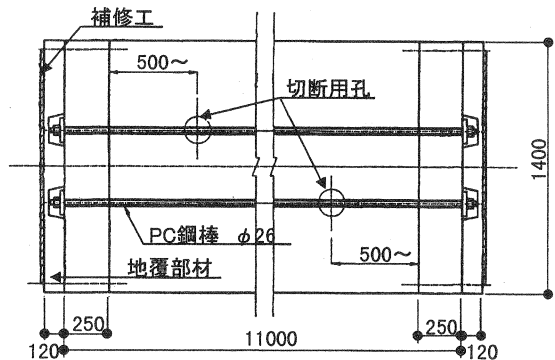
### 2. 実験概要

横締め PC 鋼棒の腐食破断に伴う鋼棒の突出、コンクリートの剥落を防止する方法として、ステンレスメッシュ、連続繊維シート等を用いて地覆コンクリートを覆う方法を試験により検討した。

試験体は、新幹線 PC 橋梁の標準的な複線断面を想定し、図 1 に示すように PC



(a)側面図



(b)平面図

図 1 試験体概要図

表 1 コンクリート材料条件

部位	強度 (N/mm <sup>2</sup> )	最大骨材径 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	備考
本体	30	20	8	4.5	45	早強ポルトランドセメント
地覆部材	24	20	8	4.5	45	同上

表 2 PC 鋼棒の材料条件

寸法 (mm)	種類	記号	設計引張降伏強度 ( $N/mm^2$ )	設計引張強度 ( $N/mm^2$ )
$\phi 26 \times 11000$	丸棒B種	1号SBPR 930/1080	930	1080

鋼棒径を $\phi 26mm$ 、定着端距離を11mとした。試験体の材料強度等を表1、表2に示す。

補修工は、図1に示すように地覆部材に設置し、緊張力を加えたPC鋼棒を本体部で切断することで、試験を実施した。また、条件としては最も厳しいPCグラウト未充填の状態を想定し、シース内にはPCグラウトを充填せず、PC鋼棒破断時の衝撃エネルギーを地覆部に直接的に伝達させた。補修工に用いた各種材料の諸元を表3～表5に、試験ケースを表6に示す。また、図2に補修工概要図(No.5の場合)を示す。

試験パラメータは、鋼棒の突出エネルギー(鋼棒切断長、緊張力)、補修方法(PC鋼棒定着部の带状鋼板の有無、シート種類)等とした。

補修方法の施工手順は次のとおりである。

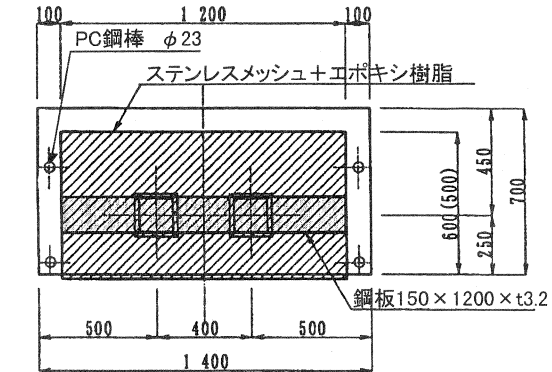
はじめに、带状鋼板(JIS G 3101に適合するSS400、厚3.2mm、 $150 \times 1200mm$ )を設置する場合、PC鋼棒定着部を中心線として、エポキシ樹脂を用いてコンクリート面に付着させる。

次に、ステンレスメッシュまたは連続繊維シートを設置する。ステンレスメッシュは、JIS G 3555に適合する平織金網で、線径、メッシュ数が大きなものを選択し、連続繊維シートを用いる場合には、横方向をアラミド繊維、縦方向をナイロン繊維として設置した。各々の繊維の目付量は、前者が $240g/m^2$ で、後者が $380g/m^2$ である。上記のステンレスメッシュまたは連続繊維シートは、付着耐力を確保するため、地覆下部にも折曲げて付着させている。

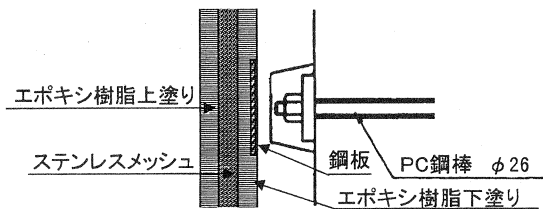
試験は、PC鋼棒を破断させた際の地覆部の損傷状況を目視観察し、補修工が鋼棒の突出を防止し、かつ地覆部コンクリート等が剥落しないことを合格条件とした。

### 3. 実験結果

表6に同一の突出エネルギー(鋼棒切断長=10.25m、有効プレストレス=343kN)で検討した試験ケースを示す。また、試験結果としてPC鋼棒の突出防止の可否を○、×で示した。带状鋼板を配置せずステンレスメッシュのみで被覆したNo.1～3は、いずれもステンレスメッシュからPC鋼棒が1m以上の長さで突出した。



(a)正面図



(b)側面図

図 2 補修工概要図

表 3 鋼板の機械的性質

種類	鋼板厚 (mm)	降伏点ま たは耐力 ( $N/mm^2$ )	引張強さ ( $N/mm^2$ )	伸び (%)
SS400	3.2	245以上	400~500	21以上

表 4 繊維シートの物理的性質

物性	単位	複合繊維シート	
		アラミド(横)	ナイロン(縦)
繊維目付	$g/m^2$	240	380
繊維比重	-	1.39	1.14
設計厚	mm	0.173	0.330
引張強度	$N/mm幅$	350	160

表 5 ステンレスメッシュの機械的性質

種類	線径 (mm)	引張強さ ( $N/mm^2$ )	伸び (%)
SUS304-W1	1.0, 1.6, 2.0	570~820	30以上

これに対し、帯状鋼板を設置しステンレスメッシュあるいは帯状鋼板と連続繊維シートを配置した No.4~6 は、図 3 に示すように、PC 鋼棒定着部を中心とした剥離が認められたものの、PC 鋼棒の突出を防止し、地覆部コンクリートの剥落もなかった。以上の損傷状況から、帯状鋼板は主に衝撃力を緩衝し、分散させてシートへ伝達する役割を担い、ステンレスメッシュ等が緩衝された衝撃力に対して、付着力により抵抗すると考えられる。

以上の結果から、施工基面幅が 10m 程度の PC 桁では、表 6 の No.4~6 のいずれかの仕様により、突出防止工を施せばよいと考えられる。

4. 補修設計に関する考察

実験で確認した補修方法は、新幹線 PC 橋梁の複線断面を想定したモデルによる。そのため、単線断面や在来線の PC 橋梁等へ適用していくには、補修方法が過大設計となると考えられる。そこで、本補修方法に関する設計の指標を得るために表 7 に示す突出エネルギーのケースについて検討した。

PC グラウトが全くなく、PC 鋼棒とシース間の摩擦がないと仮定すれば、式 1 に示す PC 鋼棒のひずみエネルギーがそのまま PC 鋼棒の突出エネルギーになる。

$$U = \frac{P_e^2 l}{2E_p A_p} \dots \dots \dots \text{式 1}$$

- ここに、U：PC 鋼棒のひずみ(突出)エネルギー
- $P_e$ ：PC 鋼棒の有効プレストレス力
- l：PC 鋼棒の破断位置からの長さ
- $E_p$ ：PC 鋼棒のヤング係数
- $A_p$ ：PC 鋼棒の断面積

また、図 4 に示すように、鋼板とステンレスメッシュまたは連続繊維シートの主な力学的機能は異なるが、実務設計上は PC 鋼棒の突出に対する抵抗エネルギーを式 2 のように算定できれば設計上簡便である。

$$U_r = U_1 + U_2 \dots \dots \dots \text{式 2}$$

- ここに、 $U_r$ ：PC 鋼棒の突出に対する抵抗エネルギー
- $U_1$ ：鋼板の負担する抵抗エネルギー
- $U_2$ ：ステンレスメッシュまたは連続繊維シートの抵抗エネルギー

表 6 試験ケースおよび結果 (代表例)

試験体 No.	補修方法*	補修材寸法	突出防止可否
1	φ1.0mm-8メッシュ×1枚	620×1200	×
2	φ1.6mm-6メッシュ×1枚	620×1200	×
3	φ2.0mm-4メッシュ×1枚	620×1200	×
4	φ1.6mm-6メッシュ×1枚+鋼板	720×1200	○
5	φ2.0mm-4メッシュ×1枚+鋼板	620×1200	○
6	複合繊維シート2層+鋼板	620×1200	○

\* 1メッシュ：縦鋼線および横鋼線の25.4mm間にある網目の数。

表 7 突出エネルギーの検討ケース

case	鋼棒径 φ (mm)	有効プレストレス $P_e$ (kN)	鋼棒長 l (m)	突出エネルギー U (kJ·m)
1	26	343	10.25	5.8
2	26	338	6.00	3.2
3	26	338	10.00	5.3
4	26	392	10.00	7.1
5	26	420	6.00	4.9
6	26	420	10.00	8.1

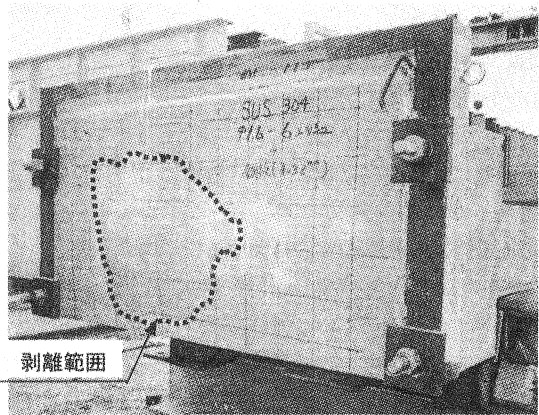


図 3 鋼棒突出防止状況 (No.4)

本来は、地覆部材のコンクリートも抵抗成分として期待できると考えられるが、RC床版と剛飛来物を用いた衝突実験から提案された設計式<sup>9)</sup>を用いて算出すると、本試験の突出エネルギー(約5.8kN・m)を貫通させないRC版厚が150mm程度は必要となることから、特に考慮しないこととした。

これまでに実施された既往の鋼棒の突出防止実験<sup>9)</sup>と本試験

結果を用いて、式2の各抵抗エネルギーを推測した。その結果、表8に示す $U_1$ 、 $U_2$ の概略値が得られた。

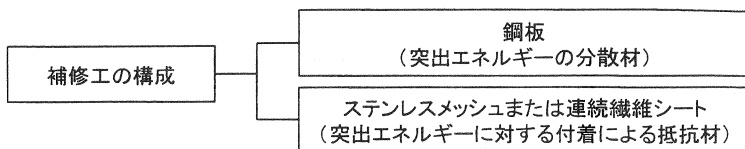


図4 補修工の構成

表8 抵抗エネルギーの概略値

抵抗エネルギーの種類		抵抗エネルギーの概略値 (kN・m)
$U_1$	鋼板が負担する抵抗エネルギー	2程度
$U_2$	ステンレスメッシュが負担する抵抗エネルギー	4程度
	連続繊維シートが負担する抵抗エネルギー(1枚当たり)	3~3.5程度

## 5. まとめ

橋梁地覆部を補強材で覆った状態を模擬した実物大試験体により、横締めPC鋼棒の突出試験を行い、以下の知見を得た。

- (1) 橋梁地覆部のPC鋼棒定着部に帯状鋼板を設置し、その上からステンレスメッシュ等を配置する構成により、PC鋼棒の突出を防止し得ることを確認し、補修仕様を示した。
- (2) 試験後の損傷状況から、帯状鋼板は主に衝撃力を緩衝・分散する役割を担い、ステンレスメッシュ等が緩衝された衝撃力に対して、付着力により抵抗すると考えられる。
- (3) 補修工の構成毎の抵抗エネルギーについて概略値を求め、単線断面や在来線PC橋梁の横締め鋼棒の突出防止を施工する際の設計に関する指標を示した。

PC構造は、グラウトによる付着と防食効果により成立している。したがって、グラウト不良が確認された場合は、再注入を行うのが原則である。しかし、グラウト充填度の高精度な確認は容易でない<sup>9)</sup>。また、グラウト充填不良が生じて、空隙が小さく、再注入が困難な場合も想定される。こうしたことから、PC鋼棒の突出による第三者被害を防止する本補修方法を維持管理上の対策の一つとして提案したものであり、維持管理を担当する技術者の参考になれば幸いである。

なお、本研究は、運輸施設整備事業団の「運輸分野における基礎的研究推進制度」の一環として、一年の短期間に実施したものであり、今後の検討課題も残されている。また、本研究の実施においては「鉄道PC構造物の補修・補強に関する研究会」の関係各位に多大なるご協力を頂いた。ここに感謝の意を表したい。

## 参考文献

- 1) 田村章一：PC橋梁における横締め工法の問題（Ⅰ），構造物設計資料，No.31，pp.19-22，1972.9
- 2) 田村章一：PC橋梁における横締め工法の問題（Ⅱ），構造物設計資料，No.33，pp.22-26，1973.3
- 3) 欧州PC構造物補修調査団：構造物の欠陥と補修 欧州でのPC構造物補修調査報告書，1995
- 4) 伊藤千浩，白井孝治，大沼博志：剛飛来物の衝突に対する鉄筋コンクリート構造物の設計評価式，土木学会論文集 No.507/I-30，pp.201-208，1995.1
- 5) (財)高速道路調査会：PC橋点検補修マニュアル(案)，1994.12
- 6) 望月秀次，本間淳史，上東泰：非破壊検査を用いたPCグラウトの点検と補修，プレストレストコンクリート，Vol.37，No.6，pp.67-74，1995