

撤去PC桁を用いた外ケーブル補強工法定着部の載荷試験

(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 ○小野塚豊昭
 (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 北野 勇一
 (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 藤原 保久
 (一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 村井 弘恭

キーワード：PC橋，外ケーブル補強，定着部，緊結PC鋼材

1. はじめに

高度経済成長期に集中的に整備された橋梁が一斉に高齢化を迎える中、さまざまな劣化要因による損傷事例が報告され、そうした既設PC橋の性能評価法および補修補強技術の確立が求められている。今回、外ケーブル補強後21年が経過した既設PC橋から撤去されたPC桁を利用し、外ケーブル工法定着部の耐荷性能を検証することを目的に載荷試験を実施した。

2. 実験方法

対象橋梁は1962年に海岸から約70mの河口上に建設された3連のPC単純T桁橋である。本橋は、1976年より塩害補修が着手され、その後PC鋼材の破断が点検で確認されたため、1996年に外ケーブル補強が行われた。2017年には新橋建設に伴い撤去されることになり、外ケーブル補強されたPC桁を譲り受け、この撤去PC桁から外ケーブル定着装置を含む長さ1900mmの部材を切り出して試験に用いた(写真-1)。

図-1に試験体形状を示す。試験体は、既設部材にあと打ちコンクリートで反力壁を一体化させ、外ケーブルの代わりにPC鋼棒φ40(C種1号)を配置した。このPC鋼棒をジャッキにより左右同時に緊張して載荷試験を行った。また、試験中は載荷荷重と定着装置の変位を計測した。

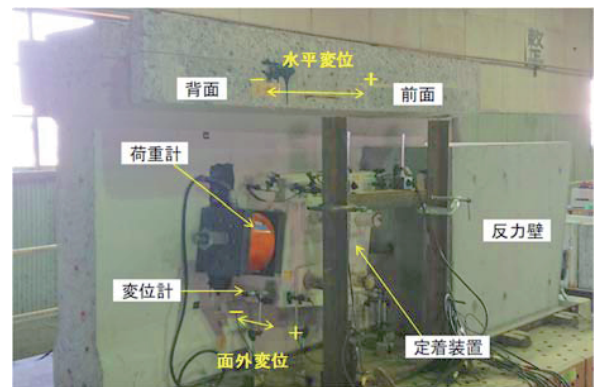


写真-1 定着部の載荷試験状況

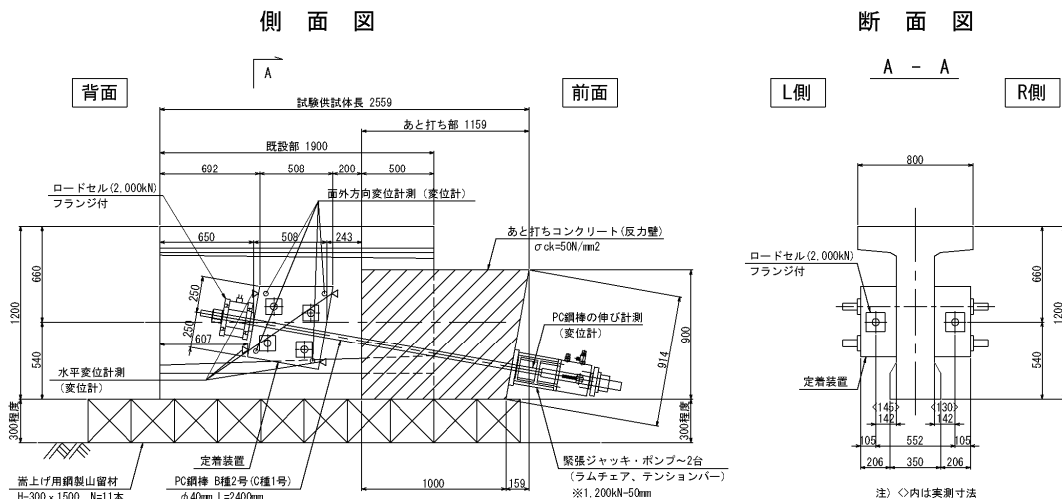


図-1 試験体形状

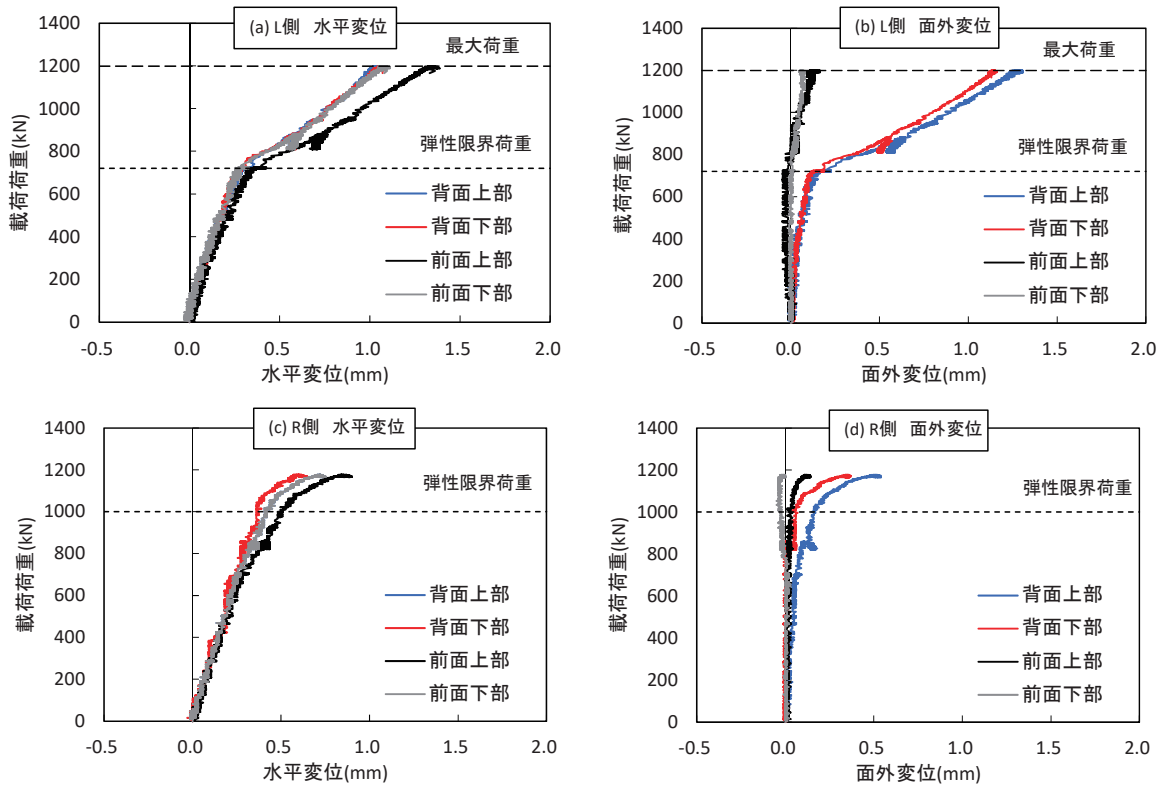


図-2 定着装置の荷重変位関係

3. 実験結果および考察

3. 1 定着装置の変形挙動

図-2に定着装置の荷重変位関係を示す。L側に着目すると、載荷荷重と水平変位の関係が線形挙動を保つ弾性限界荷重¹⁾に相当する720kNまでは水平変位および面外変位とも概ね線形挙動を示し、その後変位が漸増し、最大荷重1199kNで荷重が頭打ちとなった。これに対し、R側の弾性限界荷重は1000kN程度であり、その後変位が漸増したもののL側が最大荷重に達した時点で試験を終了した。両者の違いは、外ケーブル偏心量がL側の実測値145mmに対し、R側は130mmと小さく、作用モーメントに違いが生じたためと推察された。

図-3に定着装置L側の変形挙動を示す。載荷前0kNに比べ、外ケーブル有効緊張力の設計値相当412kNでは定着装置のずれは見られず、せん断伝達耐力783kN (3.2参照)に達する間に定着装置上部の水平変位が生じた。このときにL側上部の緊結PC鋼材支圧板に定着装置との縁切れが確認された(写真-2)。また、最大荷重1199kN(有効緊張力の2.9倍、せん断伝達耐力の1.5倍)にかけて定着装置背面側の浮き上がりと共にそれに伴う緊結PC鋼棒支圧板の縁切れおよび定着装置の全体的な水平移動が生じた。

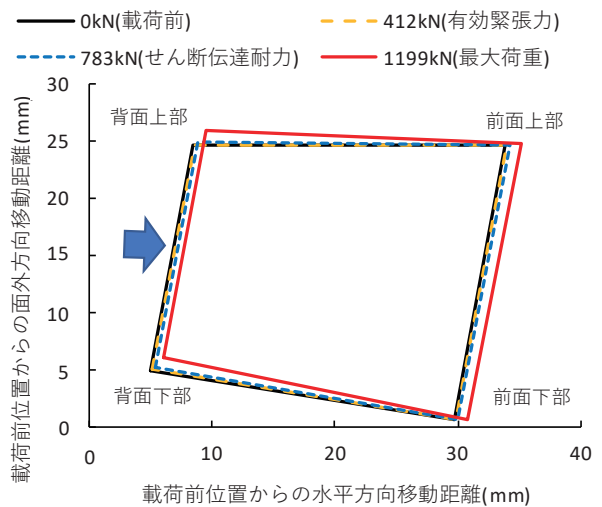


図-3 載荷に伴う定着装置L側の変形挙動



写真-2 定着装置L側の外観(783kN時点)

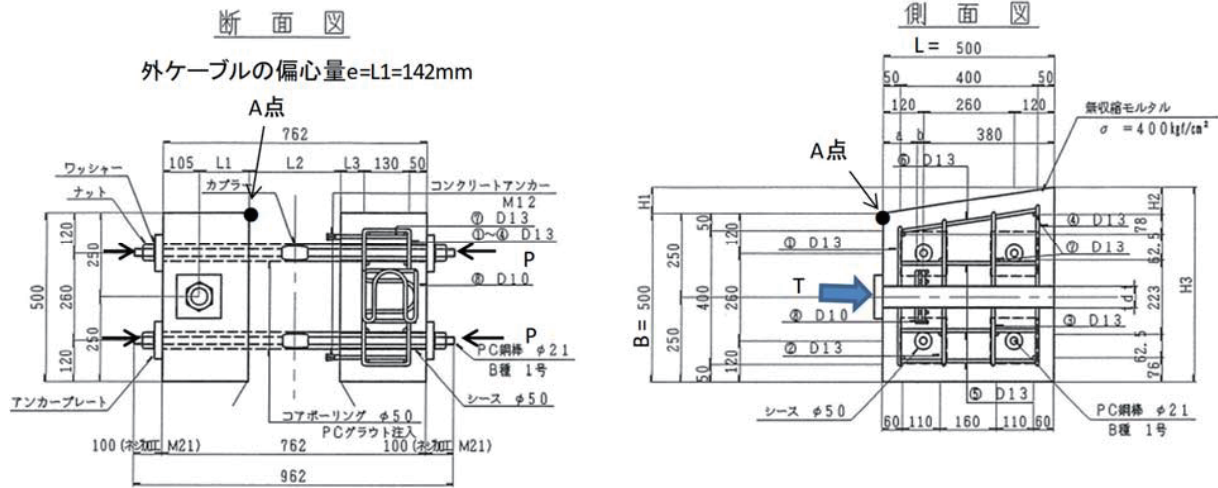


図-4 定着部詳細図

3. 2 定着部の設計値と実験値の比較

本橋の外ケーブル補強が行われた当時は定められた定着部の設計手法がなく、当初設計は「コンクリート標準示方書・設計編(平成3年度)」の設計せん断耐力式にて行われていた。現在は、常時の荷重作用に対し定着装置が既設部材と摩擦により一体化する構造とし、かつ、外ケーブル張力による曲げモーメントに対し浮上りが生じないことを照査する。浮上りに対しては、もっとも引張応力度が卓越するA点(図-4参照)において式(1)を満足することを照査する²⁾。

$$\sigma_A = \frac{P}{B \cdot L} - \frac{6 \cdot T \cdot \cos\theta}{B \cdot L^2} - \frac{6 \cdot T \cdot e \cdot \sin\theta}{B^2 \cdot L} > 0 \text{ N/mm}^2 \quad (1)$$

ここに、 σ_A : A点の応力度、 P : 緊結用PC鋼材によるプレストレス力の合計(=788×10³ N)、 T : 外ケーブル張力(N)、 B : 定着装置の幅(=500mm)、 L : 定着措置の長さ(=500mm)、 e : 外ケーブルの偏心量(=142mm)、 θ : 外ケーブルの傾角(=0°)で、根拠となる当初図面を図-4に示す。

また、定着部は稀に生じる荷重に対しても耐力を保つよう、定着装置と既設コンクリート界面のせん断伝達耐力 V_{cw} を外ケーブルの引張強度以上となるように設計される²⁾。この V_{cw} は、曲げの影響を考慮しない場合、式(2)により算出できる¹⁾。

$$V_{cw} = \mu \cdot f_c^b \cdot (\sigma_n / 2)^{(1-b)} \cdot B \cdot L \quad (2)$$

ここに、 μ : 摩擦係数(=0.45)、 f_c : コンクリート圧縮強度(=40N/mm²)、 b : 面形状を表す係数(=0.5、当初設計にチップング処理の記載あり)、 σ_n : せん断面に垂直に作用する平均圧縮応力度(=P/B・L)。

$\sigma_A=0$ となる外ケーブル張力 T (弾性限界荷重)とせん断伝達耐力を算出した結果を表-1に示す。現行の照査では、定着措置の浮上りに対する照査は界面の付着を無視して計算されるが、L側の弾性限界荷重の実験値720kNから界面の付着強度を式(1)より逆算すると、平均1.75N/mm²と推定される。すなわち、

表-1 定着部の設計値と実験値の比較(kN)

	当初設計	現行設計	実験値	
			L側	R側
弾性限界荷重	—	463	720	1000
せん断伝達耐力	732	783	1199	>1199

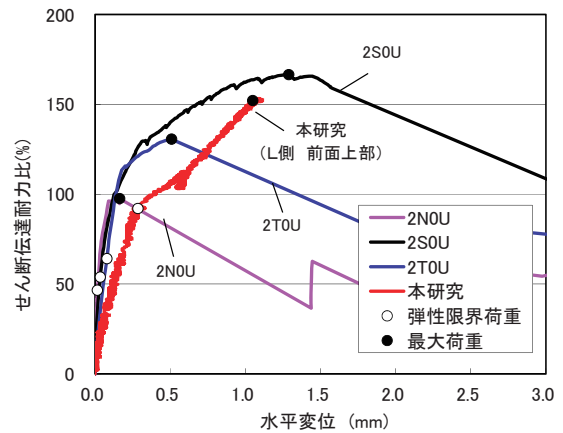


図-5 せん断伝達耐力比と水平変位の関係

弾性限界荷重の設計値 (463kN) と実験値の違いは、界面の付着による影響と考えられる。

さらに、図-5は載荷荷重を V_{cw} で除したせん断伝達耐力比を水平変位との関係として表したものである。図には表面処理方法として無処理 (2NOU) , チッピング (2TOU) , サンドブラスト (2SOU) とした既往の実験データ¹⁾を併記した。これによると、今回用いた撤去PC桁の定着部は、既往研究のチッピングと同等以上のせん断伝達耐力を有すること、すなわち面形状を表す係数 $b=0.5$ を用いてせん断伝達耐力を算定できることが確認された。なお、水平変位の初期勾配の違いは、既往実験で定着装置の高さ1/2に変位計を設置したのに対し、本実験では前掲写真-1に示すとおりもっとも高い所にしか設置できなかったことが影響したと考えられる。

3. 3 定着部に関する各種調査

試験終了後、緊結PC鋼材を緊張して残存張力を確認したところ、定着装置L側の背面上部110kN、背面下部130kN、前面上部130kN、前面下部180kNであり、設計張力197kNをいずれも下回った。これは、荷重によってずれを生じた影響が考えられる。また、定着部を解体し界面の状況を確認した結果を写真-3に示す。これより、チッピング処理された界面は滑動がないこと、グラウトは概ね充填されていること、緊結PC鋼棒およびあと施工アンカーに引抜けがないことが確認された。



写真-3 定着部の解体状況

4. まとめ

外ケーブル補強後21年が経過した既設PC橋から撤去されたPC桁を利用し、外ケーブル補強工法定着部の載荷試験を実施した結果、次の知見が得られた。

- (1) 外ケーブル有効緊張力の設計値相当412kNでは定着装置のずれは見られず、せん断伝達耐力783kNに達する間に定着装置上部の水平変位が生じた。最大荷重1199kNにかけて定着装置背面側の浮き上がりと共にそれに伴う緊結PC鋼棒支圧板の縁切れおよび定着装置の全体的な水平移動が生じた。
- (2) 現行の照査では、定着装置の浮上りに対する照査は界面の付着を無視するが、実験値から付着強度の効果も確認されたことから、現行の設計は安全側に評価していると考えられる。
- (3) 今回用いた撤去PC桁の定着部は、既往研究のチッピングと同等以上のせん断伝達耐力を有すること、すなわち面形状を表す係数 $b=0.5$ を用いてせん断伝達耐力を算定できることが確認された。
- (4) 外ケーブル補強後21年経過した外ケーブル工法定着部の耐荷性能を検証した結果、現行の基準に照らしても十分な耐荷性能を有することが確認された。

謝辞：撤去PC桁および関連資料は、土木研究所とプレストレスト・コンクリート建設業協会による共同研究「撤去橋梁を用いた既設PC橋の補修補強技術の高度化に関する研究」より提供を受けたものであり、関係各位に多大なご協力を頂きましたことに対しまして感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 浅井洋, 長田光司, 野島昭二, 藤原保久, 池田尚治: 外ケーブル補強工法定着部に関する検討, 土木学会論文集E, Vol. 63, No. 2, pp. 223-234, 2007. 4
- 2) プレストレスト・コンクリート建設業協会: 外ケーブル方式によるコンクリート橋の補強マニュアル (案) [改訂版], 2007. 4