

44年供用したPC桁の載荷試験報告 (その2)

(一財) 首都高速道路技術センター
 首都高速道路(株)
 (一財) 首都高速道路技術センター 正会員

○蒲 和也
 増井 隆
 秋元 泰輔

1. はじめに

「44年供用したPC桁の載荷試験報告(その1)」¹⁾(以下、その1)では、首都高速道路の構造物として供用したのちに撤去されたPC桁を試験体に利用して、静的載荷試験、疲労試験および解体調査を実施した。その結果、44年供用後もPC鋼線やコンクリートは健全な状態に保たれ、桁の耐荷性および疲労耐久性ともに十分な性能を有していることが確認された¹⁾。一方、供用中のPC桁には、様々な劣化現象に伴いプレストレス状態に異常が生じる可能性もある。PC構造物のプレストレス状態と構造的な性能は密接に関係しており、その変化を適切に評価できることは、維持管理向上のために重要な課題である。そこで、(その1)と同様に撤去されたPC桁1体を試験体に利用してプレストレス消失試験を実施した。試験フローを表-1に示す。PC桁に生じる損傷のうちで最悪と考えられるPC鋼線が破断した場合を想定して、人為的に内ケーブルを全8本中2本切断した後、外ケーブル方式により補強し、それら段階ごとに載荷試験を実施して、プレストレス状態と変動現象の関係および切断したPC鋼線の状態を検証した。その結果をここに報告する。

表-1 プレストレス消失試験フロー

試験フロー	実施内容
載荷試験 (切断前)	400kNまで載荷、一旦除荷(処女載荷) πゲージ設置後、480kNまで載荷(再載荷)
PC鋼線切断 (1本)	コア削孔による切断 切断率:12.5%(1本/8本)
載荷試験 (1本切断後)	480kNまで載荷
PC鋼線切断 (1本→累計2本)	コア削孔による切断 切断率:25.0%(2本/8本)
載荷試験 (2本切断後)	480kNまで載荷
外ケーブル設置	外ケーブル(F50TS)2本設置
載荷試験 (外ケーブル補強後)	破壊に至るまで載荷

2. 試験体の諸元および状態

試験体の諸元および設計図を表-2および図-1に示す。試験体は昭和43年にしゅん功した単純PCT型活荷重合桁橋(ポストテンション方式)から採取した。諸元は疲労試験体¹⁾と同じである。試験体の外観状態は耐荷力や耐久性に与えるほどの損傷はなく比較的健全な状態にあった。

表-2 試験体諸元

項目	諸元
寸法	桁長16.95m, 桁高1.1m, 床版厚0.1m
PC鋼線	SWPR1A(12φ5), 8本, シース径φ35
定着工法	フレシネ工法(端部定着5本, 上縁定着3本)
有効プレストレス	815N/mm ²

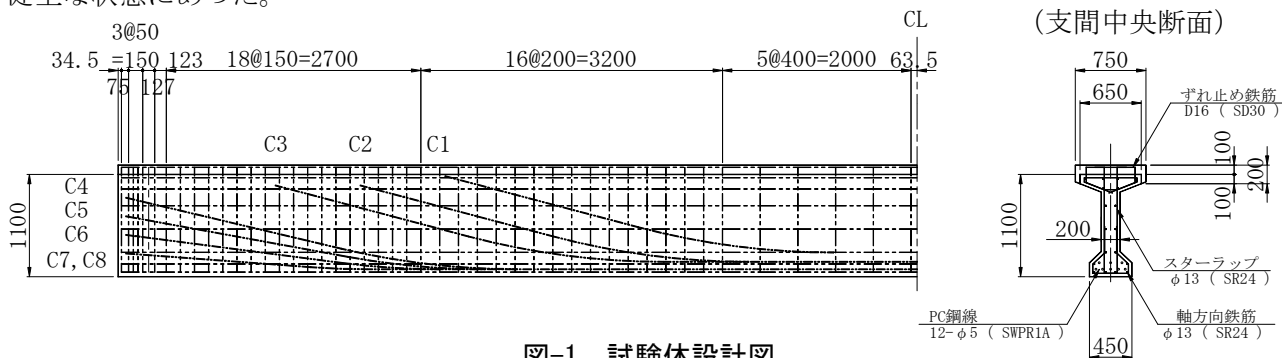


図-1 試験体設計図

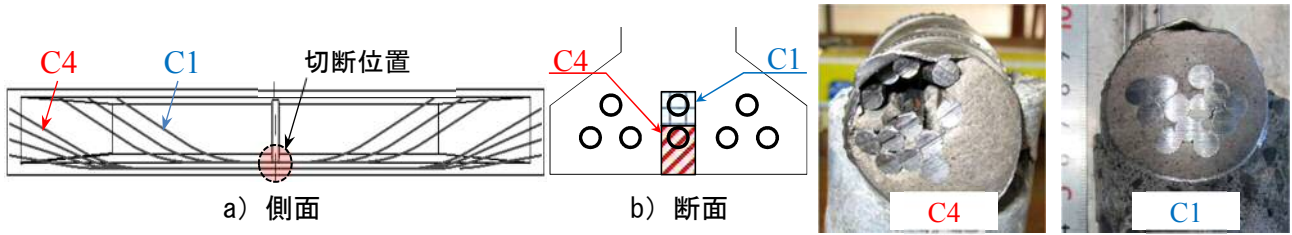


図-2 PC 鋼線切断位置 (コア削孔位置)

写真-1 採取コア

3. 試験状況および検証

3. 1 PC 鋼線切断

図-2 に切断位置を示す。ケーブル番号 C4 および C1 を支間中央の桁下面からコア削孔(φ50)により段階的に切断した。採取したコア(写真-1)を観察すると C4 は PC グラウトの充填不良がみられ、素線切断面が凸凹であった。一方、C1 は良好に充填され切断面は平坦であった。充填不良がある C4 は PC グラウトとの付着がよくないために、素線が引き込まれつつ切断されたと推察される。

コア削孔中のたわみの推移を図-3 に示す。PC 鋼線切断中または直後にたわみ量の変化がみられ、C4 切断時の方が C1 よりもたわみ量の変化が大きくみられた。これは、ケーブル配置(偏心量)および前述したグラウト充填状況の違いが影響していると推察される。

3. 2 外ケーブル設置

外ケーブル設置状況を写真-2 に示す。ケーブルは定着具のサイズが試験体ウェブに設置可能となる F50TS とした。外ケーブル緊張直前および直後のたわみを図-4 に示す。たわみは荷重試験(切断後)前を初期値としている。緊張後は初期値に近い状態まで回復した。

3. 3. 荷重試験

(1) 荷重方法

荷重方法は静的荷重試験¹⁾ および疲労試験¹⁾ と同じ支間 16.3m の単純支持、荷重点間距離 2.0m の 2 点荷重とした。荷重荷重は表-1 に示すとおり切断前から 2 本切断後までを 480kN までとした。これは PC 鋼材の設計荷重作用時の許容応力度(0.6σ_{pu})に相当する。試験手順上、破壊に至るまで荷重できないため、480kN 荷重時の挙動を比較して PC 鋼線切断および外ケーブル補強による影響を確認した。外ケーブル補強後は破壊に至るまで荷重し、損傷過程および終局耐力を確認した。

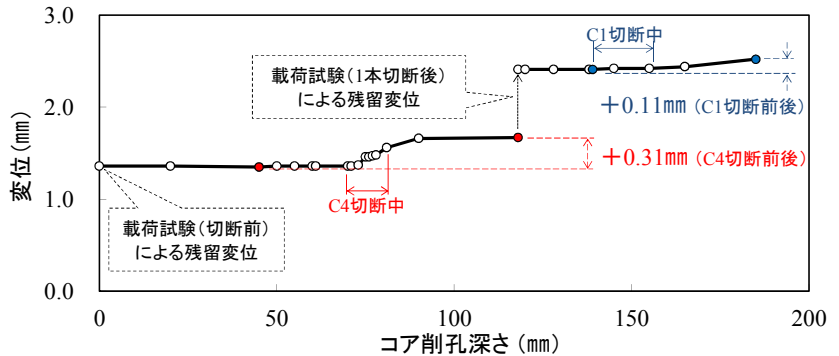


図-3 コア削孔中のたわみの推移 (支間中央)

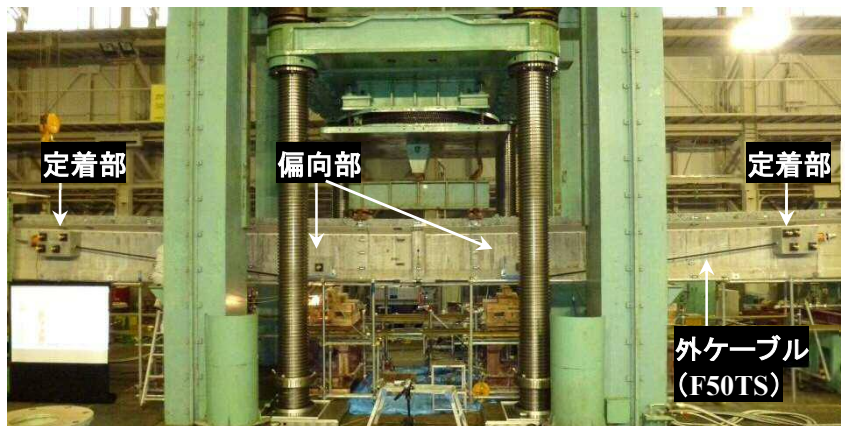


写真-2 荷重試験機と外ケーブル設置後の試験体

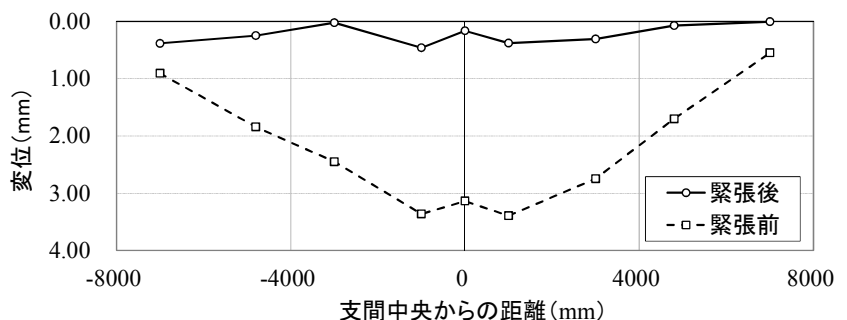


図-4 外ケーブル緊張前後のたわみ (軸方向分布)

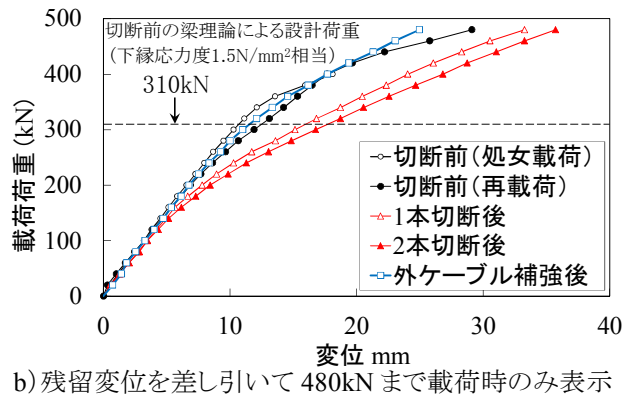
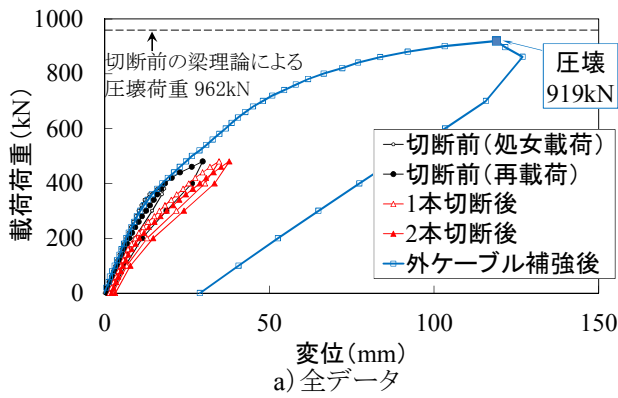


図-5 荷重-変位曲線 (実験値)

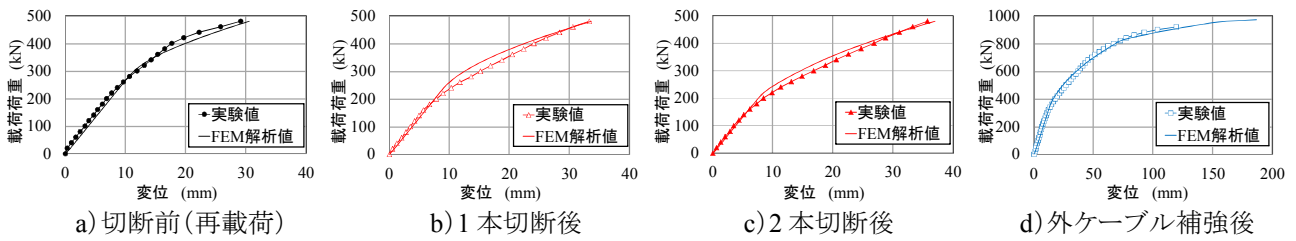


図-6 荷重-変位曲線 (実験値とFEM解析値の比較)

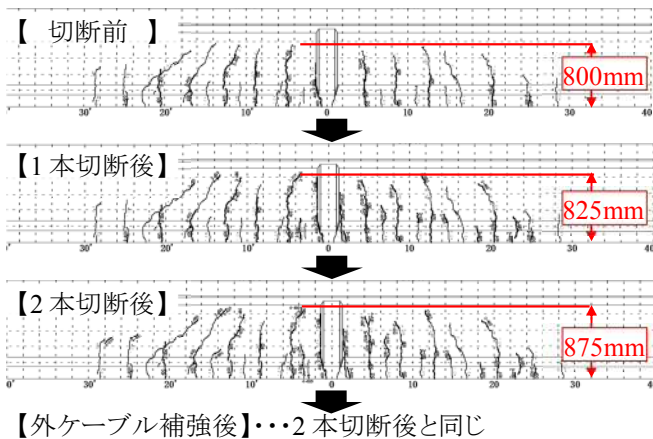


図-7 480kN 載荷時のひび割れ発生状況

(2) 剛性および終局耐力

荷重-変位曲線を図-5 に示す。PC 鋼線を切断するたびに剛性が低下し、外ケーブル補強後に切断前の状態までほぼ回復した。外ケーブル補強後の終局荷重 919kN は、切断前の計算値 962kN 近くまで達した。

各段階の終局耐力を 2 次元弾塑性非線形解析により推定した。解析は載荷試験後に桁から採取した PC 鋼線およびコンクリートの強度試験により得られたそれぞれの応力-ひずみ関係を解析条件に反映するとともに、切断した PC 鋼線の付着切れ範囲をプレテンション部材の定着長²⁾を参考に 65φとして実施した。その結果、解析値は実験の挙動を精度よく再現できた(図-6)。推定終局耐力を表-3 に示す。終局荷重は残存プレストレスの変化と比例的に低下および回復することが確認できた。

(3) ひび割れ性状

480kN 載荷時のひび割れ発生状況およびひび割れ幅を図-7 および図-8 に示す。ひび割れ間隔および軸方向のひび割れ発生範囲には載荷段階の違いによる差はみられなかった。一方、ひび割れの長さおよび幅は、PC 鋼線を切断するたびに伸展した。また、その後の外ケーブル補強によって、ひび割れ長さの伸展は抑制されるとともにひび割れ幅は切断前よりも縮小した。

表-3 推定終局耐力 (FEM 解析値)

荷重段階	残存プレストレス (下縁応力度)		終局荷重	
	N/mm ²	比率 [※]	kN	比率 [※]
切断前(再載荷)	13.5	100%	940	100%
1本切断後	12.2	90%	840	89%
2本切断後	11.0	81%	750	80%
外ケーブル補強後	15.6	116%	970	103%

※:切断前(再載荷)に対する比率

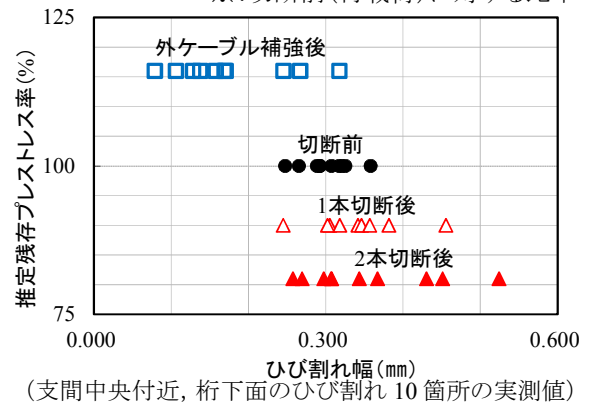


図-8 480kN 載荷時のひび割れ幅

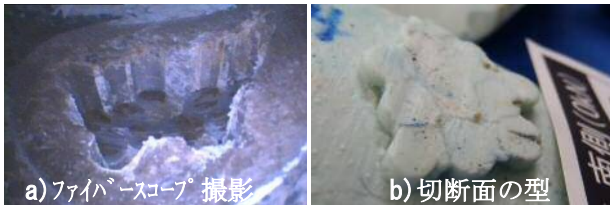


写真-3 切断 PC 鋼線の引込調査状況

表-4 切断 PC 鋼線の引込量 (実測値)

荷重段階	荷重 kN	C1引込量(mm)		C4引込量(mm)	
		北側	南側	北側	南側
2本切断後	480	1.30	2.55	2.85	4.40
外ケーブル 補強後	0	1.30	2.80	3.15	4.40
	500	1.30	2.80	3.40	未計測
	600	1.60	2.95	3.60	
	700	2.00	3.60	4.45	
919	6.00	8.30	8.00	9.50	

(4) 切断 PC 鋼線の引込量・付着切れ範囲

PC 鋼線切断面を観察(写真-3 a))した結果、2 本切断後の 480kN 載荷時に PC 鋼線の引込みを確認した。そこで表-4 に示す載荷荷重時に切断面の型を取り(写真-3 b))、型の凹凸(引込量)を測定した。引込量は C1 よりも C4、かつ北側(図 1 の支間中央から左側)よりも南側が大きくなる傾向がみられた。これは前述したケーブル配置および PC グラウト充填状況の違いに加えて、C1・C4 とともに支間中央より南側の PC グラウトに充填不良がみられた(解体調査結果)ことに起因すると推察される。

引込量を定着具のセットロスに置き換えて(図-9)、PC 鋼材応力減少量を推定した結果、載荷荷重 500kN 以降に減少量が増加する傾向がみられた(図-10)。これは付着切れが 500kN 以降に伸展したためと推察される。言い換えると 500kN までは付着切れの伸展が少ない。よって、切断前の設計荷重 310kN および設計許容応力度 $0.6\sigma_{pu}$ 相当荷重 480kN を上回る荷重に耐えるまで、外ケーブルが内ケーブルの負担を軽減させたと考えられる。

前述した FEM 解析により載荷中の挙動を検討した結果、切断した PC 鋼線の付着切れ範囲の設定方法によって、桁上縁のコンクリートひずみ分布(以下、ひずみ分布)が変化することを確認した。そこで、ひずみ分布の実験値と解析値を比較して切断 PC 鋼線の付着切れ範囲を考察した。図-11 に桁上縁のコンクリートひずみ分布を示す。実験値で支間中央のひずみが局所的に卓越しているのは PC 鋼線切断跡(コア削孔 $\phi 50 \times 185\text{mm}$)の影響と推察される。これを除くと実験値と解析値のひずみ分布はよく似ている。よって、解析で設定した付着切れ範囲 $65\phi (=1125 \text{ mm} \times 2 \text{ 方向})$ と同程度の範囲で付着切れが起きたと推察される。また、実験値のひずみ分布は卓越する範囲が若干南側に寄っており、PC グラウトの充填不良が付着切れ範囲を拡大させることを示唆していると考えられる。

4. まとめ

以上より、PC 鋼線切断によって低下した耐力は、外ケーブル補強によって設計荷重に十分に耐えられるまで回復することを確認した。また、切断した PC 鋼線の付着切れは、プレテンション部材の定着長 65ϕ と同程度の範囲で起き、PC グラウトの充填不良が付着切れ範囲および PC 鋼線の応力減少量を拡大させている可能性があることを確認した。

参考文献 1) 増井ほか: 44 年供用した PC 桁の載荷試験報告(その 1), 第 23 回 PC シンポジウム論文集
2) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編, H24.3, P202

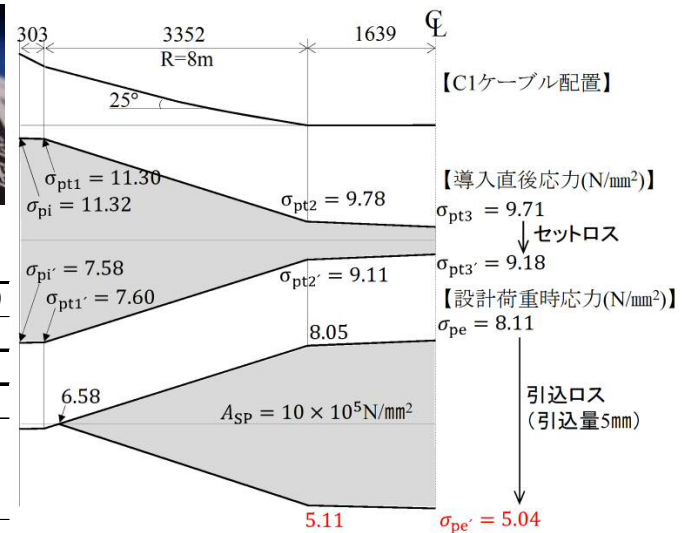


図-9 切断 PC 鋼線の推定応力分布 (引込量 5mm)

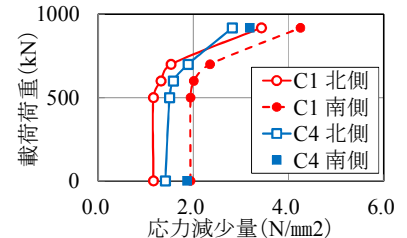


図-10 切断 PC 鋼線の推定応力減少量

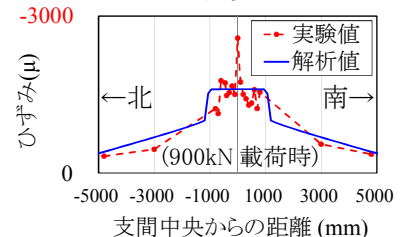


図-11 桁上縁コンクリートひずみ分布