

ASR を生じた下部工 PC 梁への外ケーブル追加による影響の検討

阪神高速道路(株) 正会員 ○伊佐 政晃, 新名 勉

(一財) 阪神高速道路技術センター 正会員 大八木 亮, 田邊 睦, 松本 茂

1. はじめに 阪神高速道路では、ASR 劣化が進行し外観劣化度のグレードが高い下部工 T 型橋脚の PC 梁への対策工として、補強後の維持管理性に配慮し、外ケーブルによる曲げ補強を適用する方針とした。補強設計では、実務面を考慮して道路橋示方書¹⁾ (以下、道示) の設計手法に極力準拠する考えだが、ASR 劣化によるコンクリート物性値の低下や、外ケーブルの追加による既設内ケーブルのプレストレス損失が耐荷力に与える影響は不明確であった。また、健全コンクリートを対象に規定されている道示の設計手法が、ASR 劣化した構造物に適用できるか否かの確認が必要であった。そこで、本検討では、ASR 劣化によるコンクリート物性値の低下や、外ケーブルの追加による既設内ケーブルのプレストレス損失の影響、および ASR 劣化した下部工 PC 梁に対する道示設計手法の適用の妥当性について検討した。

2. 実構造物を対象としたファイバーモデルによる断面計算 ASR 劣化により低下したコンクリート物性値が下部工 PC 梁の曲げ応力度に与える影響、および外ケーブル補強による劣化コンクリートの弾性変形により既設内ケーブルのプレストレスが損失する影響を把握することを目的として、実構造物を対象としたファイバーモデルによる断面計算を行った。対象橋脚は ASR が確認された T 型 PC 橋脚とし、構造図と照査対象断面を図-1 に、検討ケースを表-1 に示す。ケース①は建設時の設計基準強度、ヤング係数を適用、ケース②はコンクリートの劣化を想定し、圧縮強度、ヤング係数をそれぞれ 70%、50%に低下させた。ケース③はケース②の状態に外ケーブルを追加した。計算結果 (表-2) より、ケース①と②のコンクリート応力度および PC 鋼線の応力度に着目すると、断面全体で同程度であり、大きな変化は見られなかった。これは、コンクリートひずみに比較して PC 鋼線の張力ひずみははるかに大きく、コンクリートひずみの変化に対する PC 鋼線の張力の変化、即ち、応力の変動が鈍いことを示している。ケース②と③における PC 鋼線の応力度に鋼線断面積を乗じ、軸力の合力を既設内ケーブルと外ケーブルに分割した結果、ケース③において既設内ケーブルが負担する軸力は、ケース②と比較して 2.71%の減少 (緑実線枠合力と青破線枠合力) に留まり、外ケーブル補強による既設内ケーブルのプレストレス損失の影響は小さいことがわかった。

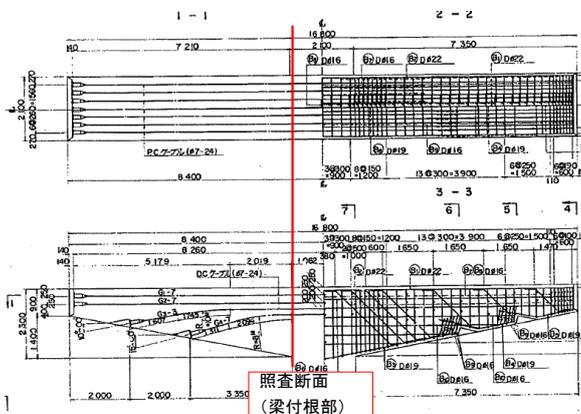


図-1 T 型 PC 橋脚の構造概要

表-1 断面計算の検討ケース

	単位	ケース①	ケース②	ケース③
		健全	劣化	劣化 外ケーブル
設計基準強度 (圧縮強度)	N/mm ²	35.0	24.5 (35.0×70%)	24.5 (35.0×70%)
ヤング係数	N/mm ²	29,500	14,750 (29,500×50%)	14,750 (29,500×50%)
外ケーブル追加		なし	なし	あり

表-2 断面計算結果

照査位置断面図	要素位置 (照査対象)	ひずみ (μ)						応力度 (N/mm ²)					
		コンクリート			PC鋼線			コンクリート			PC鋼線		
		ケース①	ケース②	ケース③	ケース①	ケース②	ケース③	ケース①	ケース②	ケース③	ケース①	ケース②	ケース③
	上縁	-28	-55	77				-0.8	-0.8	1.1			
	PC鋼線 1段目	-2	-3	112	-3.615	-3.615	-3.501	0.0	0.0	1.7	-723	-723	-700
	PC鋼線 2段目	21	41	141	-3.567	-3.540	-3.445	0.6	0.6	2.1	-713	-708	-689
	PC鋼線 3段目	49	96	177	-3.205	-3.156	-3.076	1.4	1.4	2.6	-641	-631	-615
	PC鋼線 4段目	71	140	206	-2.857	-2.787	-2.722	2.1	2.1	3.0	-571	-557	-544
	下縁	230	450	411				6.8	6.6	6.1			
	許容応力度							13.5	10.4	10.4			

(正:黒, 負:赤)

キーワード: ASR, PC 梁, 曲げ補強, 外ケーブル補強, 設計方針

連絡先: 〒530-0005 大阪市北区中之島 3-2-4 中之島フェスティバルタワー・ウエスト TEL: 06-6232-6545

3. PC 梁大型供試体を対象とした FEM 解析 PC 梁大型供試体 (750×750×5000)²⁾ を対象とした FEM 解析を行い、健全コンクリートを対象とした道示の設計手法 (断面計算) に、ASR 劣化によるコンクリート物性値の低減を適用した場合の妥当性を検討した。PC 梁供試体のモデル概要を図-2 に材料モデルを表-2 に示す。解析は 3 次元の非線形解析とし、支間中央に集中荷重する。検討ケースを表-3 に示す。コンクリートの圧縮強度を 70%、ヤング係数を 50% に低減し、ケース 1 は応力度およびひずみを FEM 解析により算出、ケース 2 は道示の応力-ひずみ曲線に適用して断面計算により算出した。ケース 1,2 の計算結果を図-3 に示す。引張が生じない範囲 ($P \leq 600\text{kN}$, 黄色塗) を弾性域とみなすと、両者の結果がよく一致した。塑性域とみなす範囲 ($600\text{kN} \leq P$) におけるコンクリートの上縁応力度は、ケース 1 (FEM) では 1720kN で、ケース 2 (断面計算) では 1390kN で設計上のコンクリート圧縮強度に到達し、また、上縁ひずみでは、ケース 1 では 1640kN で、ケース 2 では 1430kN で終局ひずみに達した。終局状態では断面計算で得た耐力の方が小さい値となったことから、コンクリート物性値の低下を道示の応力-ひずみ曲線に適用して算出した断面計算が安全側の結果となることがわかった。

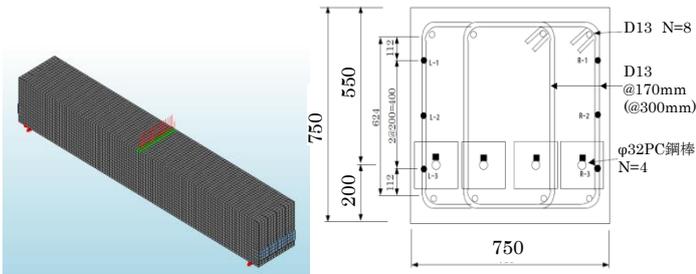


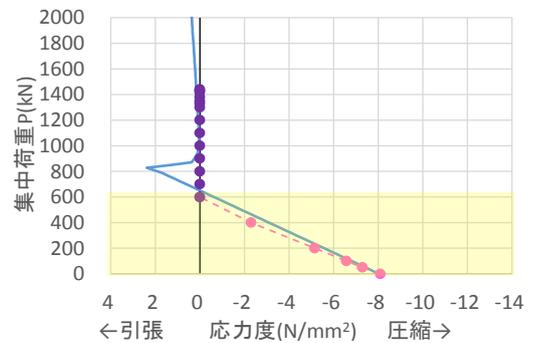
図-2 PC 梁供試体の解析モデル (左) と供試体断面図 (右)

表-2 解析における材料モデル概要

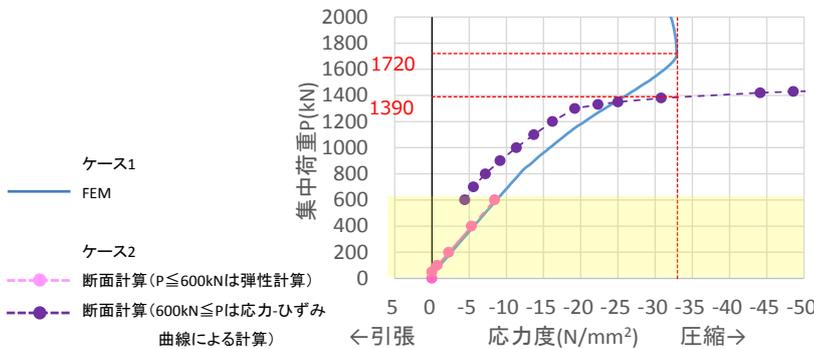
モデル	
コンクリート	直交固定ひび割れモデル
圧縮軟化曲線	圧縮破壊Eを考慮
引張軟化曲線	引張破壊Eを考慮
鉄筋	降伏後の2次勾配はE/1000
応力ひずみ曲線	考慮
主筋-Coの付着	考慮
PC鋼材	
応力ひずみ曲線	弾性

表-3 検討ケース

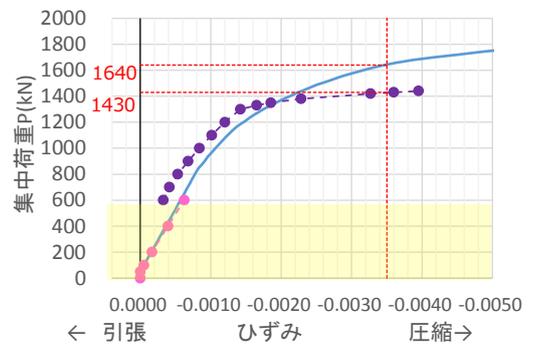
	ケース1	ケース2
検討手法	FEM	断面計算 道示準拠
物性値	σ_{ck}	× 70%
	E_c	× 50%
ASR膨張	なし	なし
外ケーブル	なし	なし



(a) コンクリート下縁応力度



(b) コンクリート上縁応力度



(c) コンクリート上縁ひずみ

図-3 FEM 解析と断面計算の比較

5. おわりに コンクリート物性値の低下に対して下部工 PC 梁のコンクリート応力度の感度は鈍いこと、外ケーブルの追加による既設内ケーブルのプレストレス損失の影響は小さいことがわかった。また、FEM 解析との比較より道示の設計手法が安全側の評価となることがわかった。以上の知見および ASR 膨張の影響の検討、せん断に対する照査結果をもとに、阪神高速道路では、ASR 劣化した下部工 T 型橋脚の PC 梁に対して、道示の設計手法による外ケーブル補強設計が可能と判断し、補強設計の手引きを作成した。手引きは、物性値の低下割合が圧縮強度で 70%程度、ヤング係数で 50%程度までを適用範囲とした。今後は、現地 ASR 橋脚のコンクリート物性値を調査し、補強設計を実施していく。

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編，2017.11, 2) 佐々木一則，松本茂，久利良夫，葛目和宏，金海鉦，宮川豊章：ASR 劣化が生じた PC はりの長期暴露試験における膨張挙動，Journal of the Society of Materials Science, Japan, Vol.57, No.10, pp.973-980, 2008