

PC 鋼材による耐震補強効果に関する実験報告および簡易的評価方法の提案

(株)安部日鋼工業 正会員 ○ 中原 晋
 (株)安部日鋼工業 正会員 湊 敬文
 (株)安部日鋼工業 非会員 宮原 裕二
 長崎大学 工学部 構造工学科 正会員 工博 原田 哲夫

1. はじめに

阪神・淡路大震災以降、既設鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強として、RC 巻立工法、鋼板巻立工法、炭素繊維補強工法等が採用されてきた。しかし、締切りなどによる大掛かりな仮設工を伴う河川内の橋脚においては、仮設工による阻害率の問題や、渇水期施工による工程上の問題などから、耐震補強が施されずに供用されているものも存在する。そのような中、河川内の締切りや架設構台などの大掛かりな仮設を必要としない耐震補強工法として、橋脚頂部と橋台を PC ケーブルで連結し、地震時の橋脚変位を抑制する工法（以降：PC&PA 工法と略記）が開発された。本稿では、PC&PA 工法の補強効果を検証するために行った正負交番載荷実験の結果を報告するとともに、動的解析の予備検討などに用いる簡易的な評価方法の提案を行う。

2. PC&PA工法の概要

PC&PA 工法は、図-1 に示すように橋脚と橋台とを PC 鋼材で連結し、橋脚天端の変位量を抑制することによって、柱基部に働く断面力を低減させる補強工法である。本工法は、橋脚基部の補強が不要であることから、河川内の締切りや架設構台など大掛かりな仮設が不要となり、PC 鋼材配置時の足場工のみで施工可能という特徴を有している。

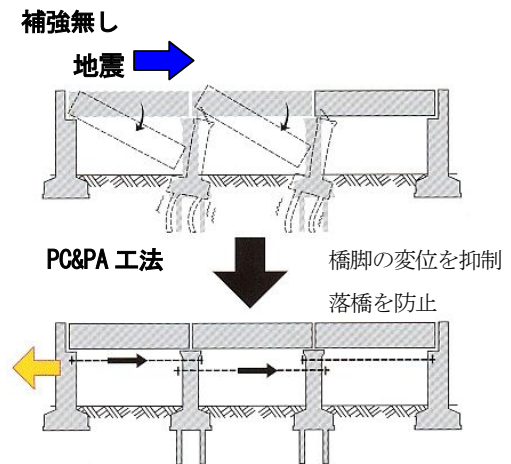


図-1 PC&PA 工法概念図

3. 交番載荷試験

(1) 供試体

供試体は、実構造物の 1/10 スケール程度の規模として、図-2 に示すようにフーチング形状が 800×1300×400^H、橋脚断面形状が 600×200 の小判型で、軸方向鉄筋比 $P_t=1.66\%$ 、横拘束筋体積比 $\rho_s=0.32\%$ とした。なお、軸方向鉄筋比は、曲げ破壊先行型となるよう調整した。

連結ケーブルが荷重を負担し始めるまでの遊び量を遊間と定義した上で、検討ケースは、表-1 に示すように No.1：標準、No.2：連結有り 遊間 15mm、No.3：連結有り 遊間 0mm の 3 タイプとし、荷重載荷高さ・連結ケーブル高さを各々設定した。No.2 の遊間 15mm は、脚頂部の水平変位 $\delta=48\text{mm}$ ($8\delta_y$) まで連結ケーブルが弾性域で追従できるよう決定した。なお、連結ケーブルが作用する水平変位は、脚頂部で $\delta=21\text{mm}$ 時に相当する。連結ケーブルは、1 供試体の正負交番において補強の有無による効果を比較・確認できるように片側 2 本の配置とした。

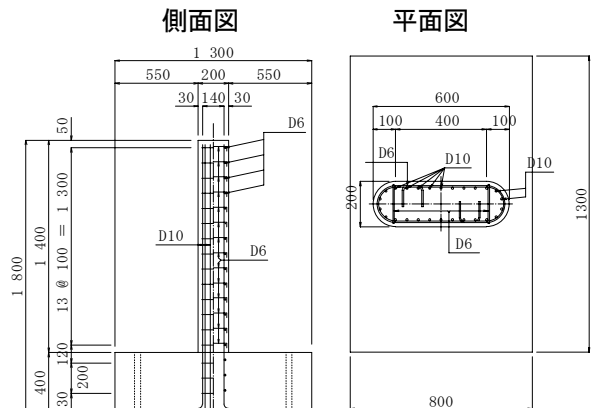


図-2 構造図

表-1 供試体諸元

		No. 1	No. 2	No. 3
軸方向鉄筋比 (%)		1.66	1.66	1.66
横拘束筋体積比 (%)		0.32	0.32	0.32
荷重載荷高 (mm)		1200	1200	1350
連結ケーブル高 (mm)		—	850	1350
連結ケーブルの有無		無	有	有
連結ケーブル遊び (遊間) (mm)		—	15	0
コンクリート	圧縮強度	20	18	37
	N/mm ² ヤング係数	23000	22000	30000
鉄筋 (SD295A)	主筋	357	357	366
	N/mm ² 帯鉄筋	383	383	383
連結ケーブル スミツイスト D種1号9mm	引張強さ	—	1478	
	降伏点	—	1439	
	ヤング係数	—	203700	
降伏変位 (mm)		6	6	7

※ コンクリートは荷重材齢における結果を示す。

※ 鉄筋は降伏点を示す。

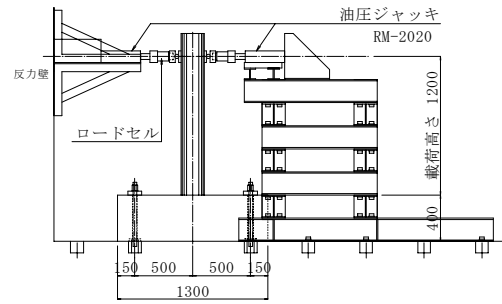
(2) 実験方法

供試体は、図-3、写真-1 に示すように反力床に PC 鋼棒φ32 を用いて固定し、No.1, No.2 供試体は基部から H=1200mm, No.3 供試体は H=1350mm の位置に200kN型油圧ジャッキを用いて水平力を与えた。荷重方法は、No.1, No.2 供試体では、柱基部が終局に至るまでの連結ケーブル挙動を把握するため、柱最外縁の軸方向鉄筋が降伏する変位 $\delta y=6\text{mm}$ の 1/2 となる $\Delta \delta=3\text{mm}$ を変位振幅とし、No.3 供試体では、連結ケーブルが降伏変位 16mm に達するまで $\Delta \delta=2\text{mm}$ を変位振幅として、変位制御方式による図-4 に示すように繰り返し回数 1 回の単調漸増荷重による正負交番荷重とした。

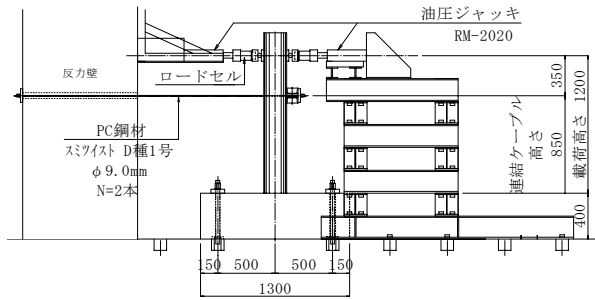
測定は、荷重荷重、柱基部の軸方向主鉄筋ひずみ、連結ケーブル荷重・ひずみ、荷重位置における水平変位、柱基部の伸び出し量、および、ひび割れ発生を把握するため、躯体表面ひずみについて行った。

4. 実験結果

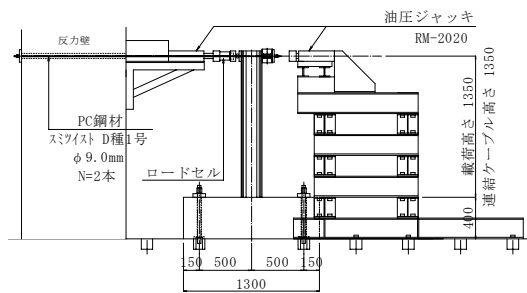
図-5 に示すように No.1, No.2 の荷重-変位曲線を比較すると、No.2 供試体は、連結ケーブルが荷重を負担し始める変位量 21mm 付近から変位量に対し



供試体 No. 1 標準



供試体 No. 2 連結有り 遊間 15mm



供試体 No. 3 連結有り 遊間 0mm

図-3 荷重要領図

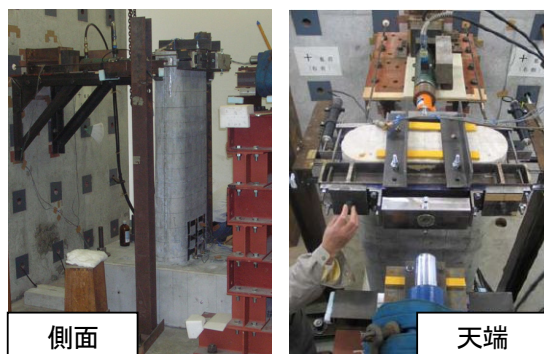


写真-1 供試体セット状況

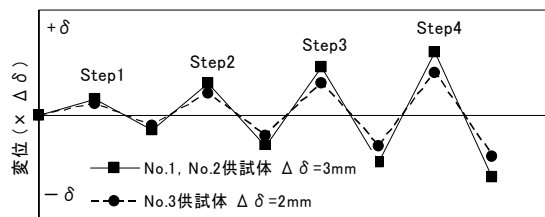


図-4 荷重ステップ概念図

て荷重増加幅が大きくなることから、柱基部の降伏後においても PC 鋼材で連結を行ってれば、変位抑制効果を有することが確認できた。図-6 に示す No.2, No.3 の荷重-変位曲線においても、同様の傾向が見受けられ、載荷時から連結ケーブルに荷重を負担させた No.3 では、柱基部が降伏していないことから、柱部と連結ケーブルが荷重を負担できるため、No.2 に比べて、より顕著に見掛けの剛性が向上し、変位抑制に効果があることが確認できた。

図-6 に示す No.2 供試体のヒステリシスループにおける正負反転時の残留変位は、連結ケーブルが荷重を負担し始める変位量 21mm のポイントに回帰せず、最大で変位 26mm 程度の残留変位が生じている。これは柱基部の伸び出し量が 3~5mm 程度と推定される¹⁾²⁾ことから、伸び出しによる影響に加え、連結ケーブル設置高と載荷位置が異なったことから、降伏以降の載荷状態においては連結ケーブル部が新たな支点となって、載荷位置までの柱部材に新たな塑性変形を生じさせたことが要因と考えられる。

図-7 に示す包絡線においては、連結ケーブルの荷重負担変位 21mm からの載荷荷重増分が載荷位置-連結ケーブル間の塑性変形の影響があるものの包絡線の勾配がほぼ平行となっていることから、連結ケーブルが負担していると考えられる。

軸方向鉄筋降伏ひずみが $\epsilon_y=1800\mu$ となる荷重は、図-8 に示すように No.1, No.2 では保耐法による降伏限界 $P=36\text{kN}$ と同程度であったのに対して、No.3 では、 $P=126\text{kN}$ となり、見掛けの降伏耐力が大きくなる結果が得られた。なお、軸方向鉄筋降伏ひずみは、柱基部から 25mm 上方において測定した。

以上の結果から、PC 鋼材で連結する PC&PA 工法は、橋脚の変位を抑制させ、柱基部に働く断面力を低減させる効果があることが確認できた。

5. 簡易的評価の提案

既設橋の耐震補強は、橋の重要度などから耐震性能 2 を満足させることや、塑性ヒンジ部が複数存在することなどから、地震時の挙動が複雑な橋として動的照査法で検討がなされている。動的照査法で耐震性能 2 を満足させるには、応答塑性率、残留変位を許容値以下とする必要があり、連結ケーブルにて橋脚天端の変位を抑制する PC & PA 工法を適用し

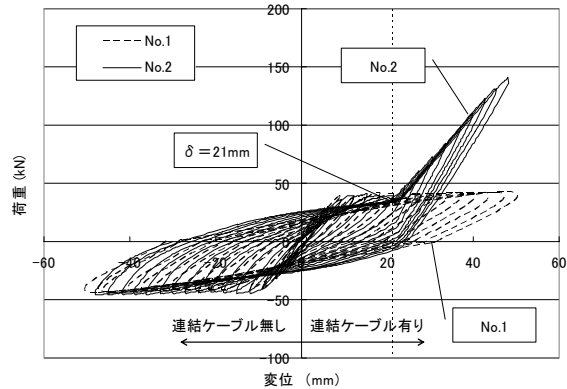


図-5 荷重-変位曲線 (その 1)

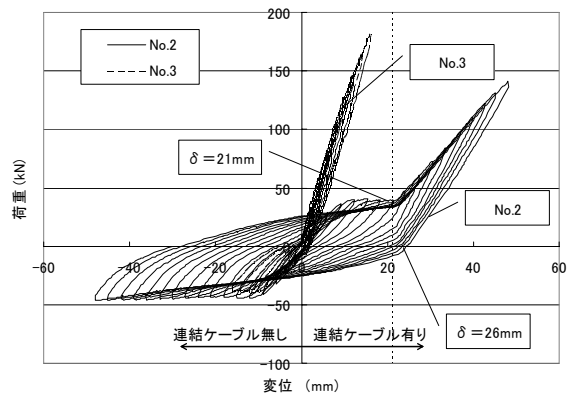


図-6 荷重-変位曲線 (その 2)

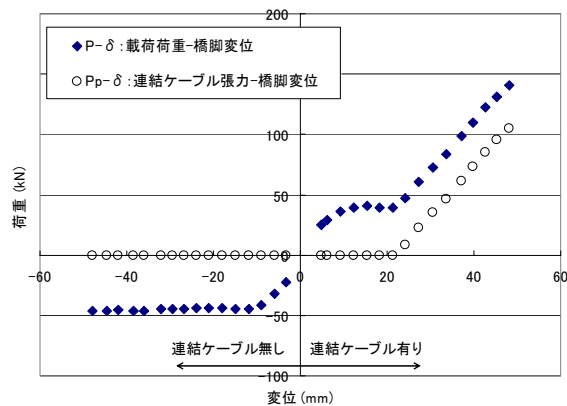


図-7 No. 2 供試体包絡線

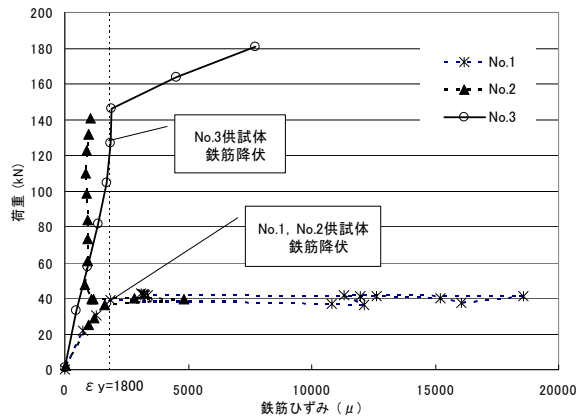


図-8 No. 2 荷重-軸方向筋ひずみ

た場合、必要な連結ケーブル本数の算定、耐震性能のチェックなどにトライアル計算が必要で時間と労力がかかる。

簡易的な算定方法としては、今回の実験結果から、柱基部が降伏した後においても、載荷荷重と連結ケーブルの P-δ 曲線が同じ傾向を示していること、遊間を 0mm とした No.3 では、柱基部の降伏荷重が大きくなることから、図-9 に示すような 1 次不静定の構造モデルを用いて、橋脚と連結ケーブルのバネ定数で評価できるものと考えられる。

連結ケーブル張力を Q, $H_3=0$ とすると、

$$Q = \frac{H_1^3}{3E_c I_c} P = \frac{1}{\frac{k_c}{k_c + k_p}} P \quad \dots \text{式-1}$$

$$P = (k_c + k_p)\delta - k_p \times a \quad \dots \text{式-2}$$

a: 遊間量 (ただし、 $\delta \geq a$ のとき)

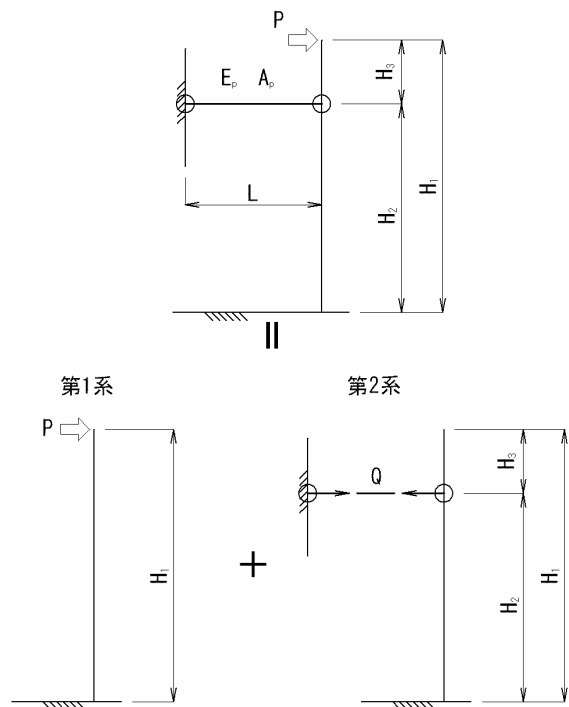


図-9 構造モデル

式-1・式-2 から、図-10 に示す橋脚・連結ケーブルのバネ定数を用いて荷重-変位が推測でき、既設橋の諸元に照らして、許容残留変位以下に抑える連結ケーブル本数を簡易的に推測できるものと考えられる。

今後の課題としては、PC&PA 工法の多径間モデルについて、プッシュオーバー解析による簡易的な評価手法を提案するとともに、動的解析結果との整合性を図っていく必要がある。

6. おわりに

正負交番載荷実験により、軸方向鉄筋が降伏した後においても、PC&PA 工法では変位を抑制させる効果があることが分かった。

簡易的な評価手法の提案として、1 次不静定モデルにて PC 鋼材の本数、張力を把握できるものと考えられる。

実験を行うにあたり、有益なご指摘・ご協力を下さいました長崎大学 永藤技官、研究室生の方々、(株)千代田コンサルタント 橋本氏に誌面をお借りして、謝意を表します。

参考文献

- 1) 近藤 益央, 運上 茂樹: 鉄筋コンクリート橋脚における軸方向鉄筋の伸び出し量に関する研究 地震工学研究発表会講演論文集 pp825~828.1999 年 7 月
- 2) 国土交通省鉄道局監修 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物 附属資料 10 pp425~428.H11 年 10 月

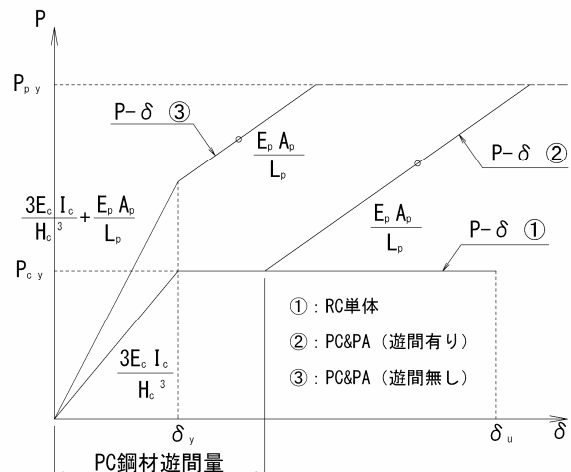


図-10 P-δ 概念図