

PC 鋼棒を用いた新しい耐震補強工法の開発  
居ながら施工法の提案—AC 耐震補強工法

正会員 ○ 飯干福馬\*1 同 飯田秀年\*2  
高田祥仁\*3 同 花井 勉\*4  
同 倉重正義\*5

1. はじめに

阪神淡路大震災後、既存不適格建築物の耐震補強が社会の大きな関心事となっている。その中で、鉄筋コンクリート造の建物の耐震補強においては、耐震要素の追加、鋼板や繊維シートの巻き立て、既存柱の外周に新たにフープを追加して断面を大きくするなどの工法が用いられているが、これらの工法は工事期間中は建物が全面的にまたは大部分で使用が出来なかったり、コストが高いなどのデメリットを持っているため、耐震補強の実施を躊躇している建物が数多く存在している。こうした状態を解決するために、建物の全面的な閉鎖を強いることなく(居ながら施工)、低コスト・短工期かつ従来の工法では難しかった部位の補強を実現するために、AC耐震補強工法(以下本工法という)の設計・施工法を紹介する。

2. 工法の概要

本工法は、既存鉄筋コンクリート造建築物の柱の外周にPC鋼棒(φ9.2~φ13)をコーナブロックと称する柱隅角部に設置する部品を介して回周させ、PC鋼棒に緊張力を導入することで①ドライジョイントの外フープの追加によって帯筋量が増加する効果と②PC鋼棒に緊張力を導入することでPC鋼棒の見掛け上の降伏ひずみが既存帯筋の降伏ひずみに近づき両者の単純累加が成立しやすくなり、また、大変形時にも柱と補強部品は優れた一体性が確保できるという効果によって柱のせん断強度・靱性を向上させようとするものである。

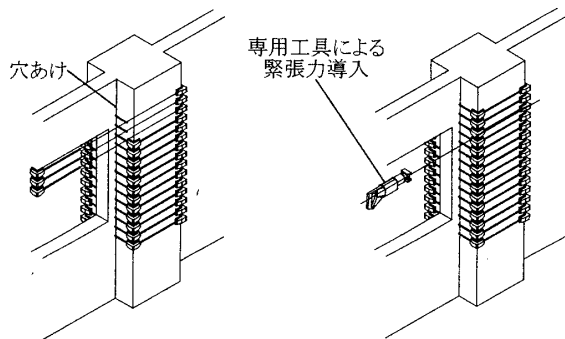


図1 工法の概要

本工法の特徴として①他の巻き立て工法と異なり壁が付帯する柱に適用する場合でも、壁にPC鋼棒貫通の穴をあけるだけで済み、柱と壁の連続的な絶縁は不必要である。②補強に用いる部品が小型・軽量であるので重機の必要がなく、基礎への負担増もない。③補強対象部材のごく近傍以外では建物の使用が可能である。などが挙げられる。

3. 設計法の提案

耐震改修設計方法は、簡便かつ実用的であるべきとの観点から、耐震診断・耐震改修設計における一連の流れの中に特別な手順を経ずして適用できる手法として(1)式を提案している。柱せん断終局強度 $cQ_{su}$ は従来の設計式<sup>2)</sup>の延長上で、外フープ(PC鋼棒)の追加効果を累加する(1)式を採用し、靱性能は文献<sup>3)</sup>に示されている靱性指標Fとして評価することとした。

$$cQ_{su} = \left\{ \frac{0.053p_i^{0.23}(17.6 + F_c)}{M/Qd + 0.12} + 0.845\sqrt{p_w\sigma_{wy} + p_p\sigma_{py}} + 0.1\sigma_0 \right\} bj$$

.....(1)

- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| $cQ_{su}$ : せん断終局強度       | $p_p$ : PC鋼棒帯筋比           |
| $p_i$ : 引張鉄筋比             | $\sigma_{py}$ : PC鋼棒降伏点強度 |
| $F_c$ : コンクリート圧縮強度        | $\sigma_0$ : 軸圧縮応力度       |
| $M/Qd$ : せん断力比            | $b$ : 柱幅                  |
| $p_w$ : 既存帯筋比             | $j$ : 応力中心間距離             |
| $\sigma_{wy}$ : 既存帯筋降伏点強度 |                           |

3.1 柱水平加力実験

本工法を適用した場合のせん断終局強度を確認するために柱の水平加力実験を行った。<sup>1)</sup>

実験においてせん断破壊が観察された試験体について、実験値と(1)式にスケールエフェクトを考慮した(2)式によるせん断終局強度計算値の関係は図3の通りであり、本工法を適用した柱のせん断終局強度は(1)式で評価できると考えられる。

$$cQ_{su2} = \left\{ \frac{0.092k_u k_p (17.6 + F_c)}{M/Qd + 0.12} + 0.845\sqrt{p_w\sigma_{wy} + p_p\sigma_{py}} + 0.1\sigma_0 \right\} bj$$

.....(2)

ここで  $k_u = \frac{(760 - d)}{600} = 0.9$  (160 ≤ d < 280の場合)

$$k_p = 0.82p_i^{0.23}$$

The development of the new seismic retrofit with PC bar  
The building method without temporary building. the AC Seismic Retrofit Construction Method.

IHOSHI Fukuma et al.

$b \times D = 250 \times 250 \text{mm}$   $L = 500 \sim 1000 \text{mm}$   $\sigma_b = 14.2 \sim 26.8 \text{N/mm}^2$   
 $p_g = 1.36 \sim 2.53\%$   $p_w = 0.08 \sim 0.21\%$   $p_p = 0.06 \sim 0.08\%$   $\eta_o = 0.2$

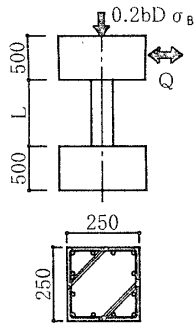


図2 試験概要

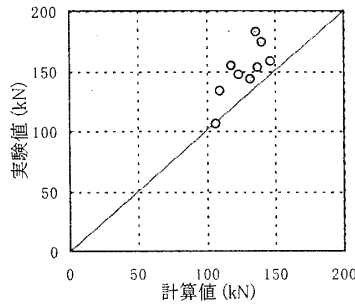


図3 せん断終局強度の比較

#### 4. 施工法の確立

施工方法は設計法以上に簡易で確実な手法が望まれるところである。本工法ではPC鋼棒に緊張力を導入することにより補強部品を既存柱に定着しているが、通常のプレストレス構造と同様に油圧ジャッキによって緊張力を導入する方法を採用した場合には、当初の開発目標である、短工期・居ながら施工の実現を困難にするばかりでなく、本工法の特徴のひとつである補強部品が小型・軽量であることの効果が半減してしまう。そこで筆者らは、トルク法により張力を導入する方法を採用することとし、張力導入の為の専用工具「ACテンショナ」を開発した。ACテンショナは高力ボルト用のナットランナー、設定トルク値となった時点で自動的にナットランナーの回転を止める為のコントローラーなどで構成されている。

導入張力の許容差は文献<sup>\*)</sup>に示されているトルク係数値の許容差を参考に±20%と定めた。この許容差から使用するPC鋼棒の中で最も強度の低いA種2号の許容緊張荷重 $628 \text{N/mm}^2$ を超えない値となる $490 \text{N/mm}^2$ を張力の目標値に設定した( $490 \times 1.2 = 588 \leq 628 \text{N/mm}^2$ )。表1にPC鋼棒呼び名ごとの導入張力と許容値を示す。

表1 PC鋼棒の導入張力

PC鋼棒呼び名	導入張力目標値および許容値
φ9.2	33 ± 7 (kN)
φ11	47 ± 10 (kN)
φ13	66 ± 13 (kN)

##### 4.1 トルク法による導入張力確認試験

ACテンショナによって導入される張力が目標値の±20%に収まることを確認するためにトルク法による導入張力確認試験を行った。

試験は十分な断面積を有した反力治具にPC鋼棒を貫通させ、緊張側にはナットを、反対側にはロードセルを介してナットを取り付け、緊張側のナットをACテンショナで回転させて張力を導入した。実験変数を以下に示す。

ナット摩擦低減処理 : 2仕様  
 PC鋼棒長さ : 540mmおよび1200mm

試験体は各実験変数の組合せごとに5体ずつ用意し、

\*1 高周波熱錬株式会社 Neturen Co.,Ltd.  
 \*2 (株)日本システム設計 Nihon System Sekkei Co.  
 \*3 高周波熱錬株式会社 Neturen Co.,Ltd.

一部試験体を除き張力導入・開放を5回繰り返した。図4に試験体および治具を、表2に試験結果の一部を示す。

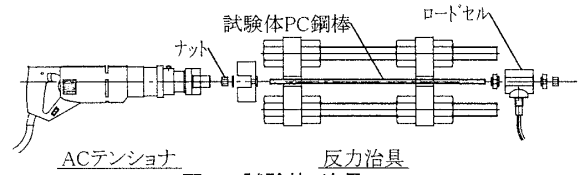


図4 試験体・治具

表2 試験結果一覧(抜粋)

PC鋼棒呼び名	平均 kN	平均+3σ kN	平均-3σ kN	許容範囲 kN
φ9.2	32.86	36.47	29.25	26~40
φ11	43.74	52.01	35.47	37~57
φ13	68.22	81.39	55.05	53~79

試験の結果、次のことがわかった。

- ①全ての試験体で1回目の標準偏差3σの範囲は、導入張力の許容差(±20%)以内を満足している。
- ②長さの比2までは、1回目の標準偏差3σの範囲は、導入張力の許容差(±20%)以内を満足している。

試験結果から本工法においては、トルク法によってPC鋼棒への導入張力の管理を行っても支障がないものと考えられる。また同一径で施工日が同じであれば、長さの比が2以下の場合、コントローラーの設定値は同一で構わないこともわかった。ただし、張力導入・張力開放を繰り返した場合にはばらつきが大きくなる傾向があるので、張力導入後に張力開放を行った部品の再使用は行うべきではない。

#### 5. まとめ

柱水平加力実験およびトルク法による導入張力確認試験の結果、本工法を適用した場合のせん断終局強度は耐震診断で用いられている算定式の延長として評価できること、および導入張力の管理はトルク法によって簡易に行えることが確認され、開発目標を達成する事ができた。

しかし、高補強帯筋比や高軸力比での構造特性の把握や寸法精度の悪い既存柱に適用した場合の性状などについては、今後も実験などにより明らかにする必要があると思われる。

[謝辞]

本開発は琉球大学工学部環境建設工学科との共同研究として行われたものである。同科 山川哲雄教授並びに関係者各位に感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 山川哲雄、田川利郎、鴨川茂義、倉重正義、李文聰、富名腰泉、飯千福馬：PC鋼棒によるプレストレスを導入したRC柱の耐震補強実験 その1)~5) 日本建築学会九州支部研究報告会2000
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 一許容応力度設計法一 (1999)
- 3) 日本建築防災協会：改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物建築物の耐震診断基準・同解説 (1990)
- 4) 日本建築学会：高力ボルト接合設計施工指針 (1993)

\*4 (株)日本システム設計 Nihon System Sekkei Co.  
 \*5 高周波熱錬株式会社 Neturen Co.,Ltd.