

斜め PC 鋼材を用いた耐震補強構法の施工と開発

田中 恭哉*1・荒木 玄之*2・関口 智文*3・林田 則光*4

1. はじめに

近年、建築物の耐震補強技術として、補強後の使用性や工事期間中も居ながら施工が可能な外付け耐震補強技術が望まれている。また同時に工事中の振動や騒音が低減でき、工期短縮が図れる技術開発が期待されている。

このような状況を踏まえ、筆者らは、補強後の室内からの眺望や通風・採光など使用性に影響を与えず、外観的にも意匠性を考慮した、斜め PC 鋼材を応用した外付け耐震補強構法（平行フレーム構法）を開発し¹⁾、普及・展開を図ってきた^{2), 3)}。本構法は、既存建築物の外側に平行フレームを取り付けるもので、バルコニーの有無に応じて、直付けタイプとバルコニー先端に取り付けるタイプに分類される。

本報告では、意匠性にも自由度をもたせた補強事例として、バルコニー先端に平行フレームを取り付けた耐震

補強工事について紹介する（写真 - 1, 2）。さらに、斜め PC 鋼材による補強技術を発展させ、柱・梁から成るプレキャストのフレームに斜め PC 鋼材を組み込んだ新しいタイプの開発についても併せて紹介する。

2. バルコニータイプの平行フレーム概要

既存建築物のバルコニー先端に平行フレームを取り付ける場合、1本柱タイプと2本柱タイプがある。図 - 1 に示す1本柱タイプの場合、バルコニー先端に平行フレームを設け、接合スラブを介して平行フレームの水平抵抗力を既存骨組に伝達する方法である。

接合スラブを介しての既存建築物と平行フレームの一体化には、あと施工アンカーによる方法と PC 鋼棒（圧着接合）による方法がある。

バルコニータイプの特徴は、以下のとおりである。

①バルコニー先端での外付け補強のため居ながら施工が



写真 - 1 補強後の概観 (1)



写真 - 2 補強後の概観 (2)



*1 Kyouya TANAKA

(株)富士ピー・エス 技術本部
建築技術グループ



*2 Tsuneyuki ARAKI

鹿島建設(株) 建築設計本部
構造設計統括グループ



*3 Tomofumi SEKIGUCHI

鹿島建設(株) 建築設計本部
構造設計統括グループ



*4 Norimitsu HAYASHIDA

(株)富士ピー・エス 西日本支店
技術部 建築技術チーム

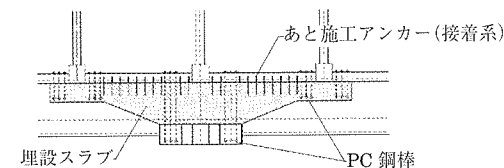
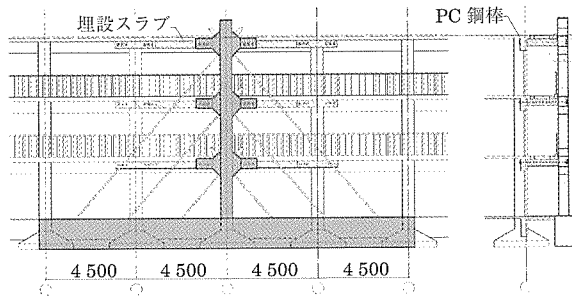


図-1 バルコニー1本柱タイプの構法概要

可能である。

- ② 施工も比較的容易で工期短縮が図れる。
- ③ 振動や騒音を低減できる。
- ④ PC鋼材の径が細く、バルコニー先端に取り付くため、室内からの眺望や通風・採光を確保できる。
- ⑤ 補強後の景観・意匠性に自由度がもてる。

3. 施工事例

3.1 建物概要

以下に補強建物2棟の概要を示す。

工事名称：市川市立大柏小学校耐震補強工事

工事場所：千葉県市川市大野町 2-1877

建物用途：学校

補強工事設計・施工：鹿島建設株式会社

・ 1-1, 1-2 棟

建築年度：昭和46年

構造形式：RC造，規模：地上3階，塔屋1階

延床面積：1367.0 m²

基礎：直接基礎

・ 2 棟

建築年度：昭和42年

構造形式：RC造，規模：地上3階，塔屋2階

延床面積：1111.0 m²

基礎：直接基礎

3.2 補強概要

本工事では、平行補強工事以外に、外付けブレース補強や既存壁開口閉塞、補強工事に伴う設備の盛替え工事等があるが、ここでは、平行補強工事について述べる。なお、本工事では、校舎二棟を平行補強で行ったが、平行補強計画はほぼ同様である。

補強計画では、南側バルコニーの外側に平行フレーム3層1本柱タイプを各棟1基、計2基を設置した。

配置図を図-2、図-3に示す。各層とも斜めPC鋼材の配置角度 θ は階高とスパンの関係から $\theta = 52^\circ$ に統一している。柱部材については、斜めPC鋼材の緊張端定着部となる箇所とその他一般部（柱を2本に分けてその間を中空

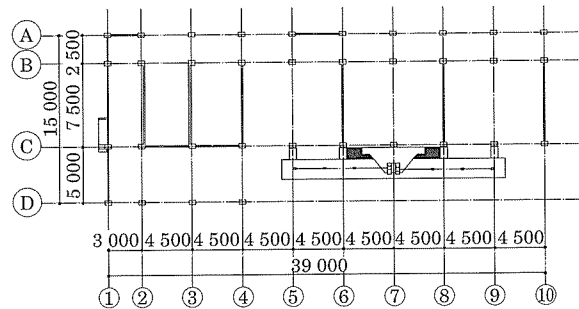


図-2 平面図(1-1, 1-2棟)

にする)の形状を変えることによって、意匠的にシンプルですっきりしたイメージを醸し出している。

応力伝達機構は、斜めPC鋼材に生じる水平せん断力を接合スラブ(スパン方向および直交方向に梁形断面を内蔵)を介して、あと施工アンカーおよびPC鋼棒圧着接合によって既存建築物へ伝達している。

斜めPC鋼材の緊張端定着体は柱内に、固定端定着体は基礎梁内に埋め込み、斜めPC鋼材配線時にPC鋼材と固定端定着体を接続する方式とした。また、プレキャスト柱は機械式継手を用いて接合している。図-4に柱の配筋図、図-5に斜めPC鋼材の緊張端納まりと固定端の納まり、図-6に接合スラブの詳細を示す。

補強計画の条件は、補強目標の層間変形角を $R_0 = 1/250$ rad. (靱性指標 $F = 1.0$)とした強度抵抗型の補強である。この場合、斜めPC鋼材には、地震時においても弾性範囲内で、かつ圧縮側も引張状態を保持するように初期導入力を与えている

4. 施工

4.1 施工計画

本工事は、校舎二棟について、それぞれ桁行き方向のバルコニー先端に平行フレーム3層1本柱タイプを1基、計2基を設置するもので、学校の夏休み期間を利用して行った。表-1に主要工程を示す。ここでは、校舎二棟の平行補強工事の工程を示す。

平行補強工期：平成18年7月20日～18年8月31日

表-1 平行補強工事の概略工程

工事	工期					
	1週目	2週目	3週目	4週目	5週目	6週目
準備・仮設工事	●					
基礎工事	●	→				
PCa柱工事			●	→		
斜めPC鋼材配線・緊張				●	→	
増設スラブ工事				●	→	
圧着工事					●	→
仕上げ工事						●

平行補強工事のうち、基礎工事は14日、上部工事18日と合計32日(実働)である。主要な補強工事は夏休み期間ですべて完了しており、PCa柱や圧着接合の採用および外部工事での施工性の良さから工期短縮が図れた。

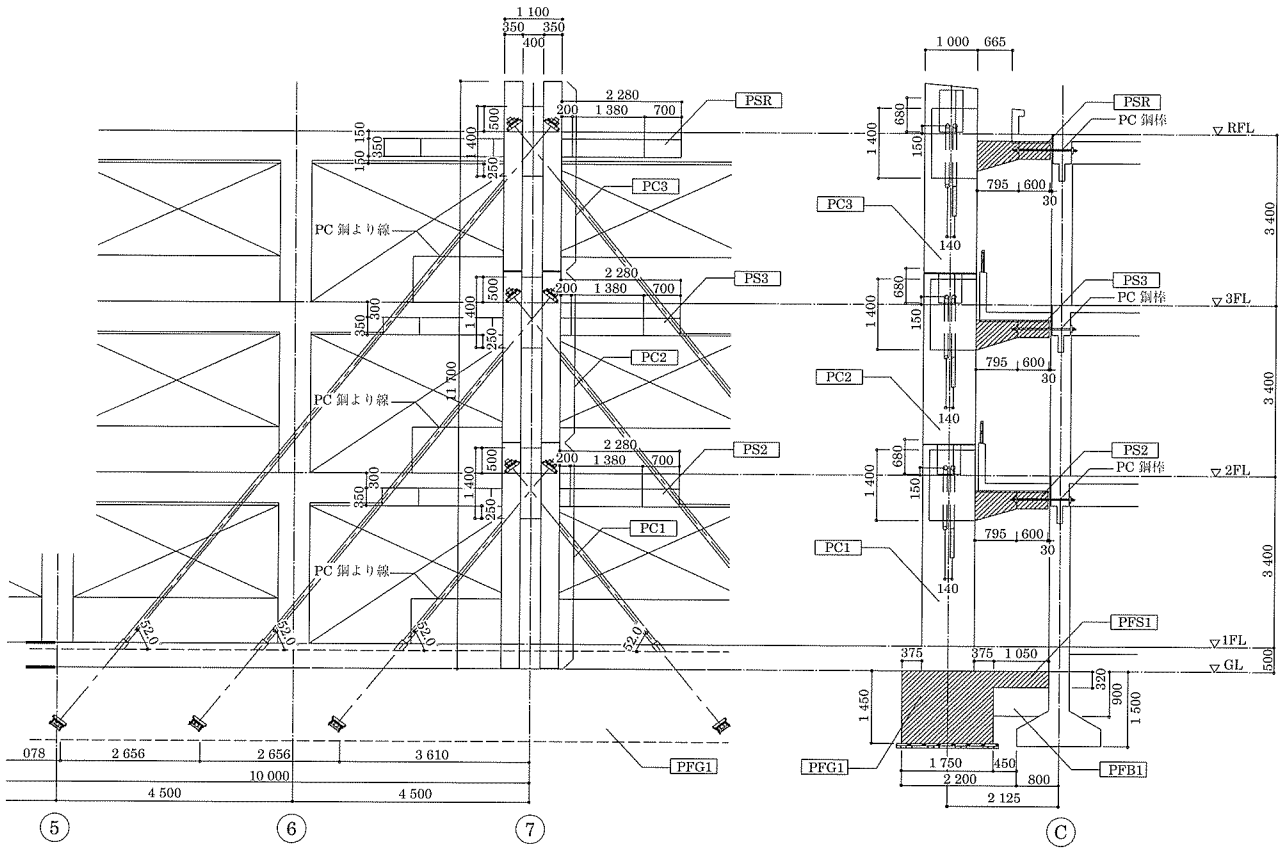
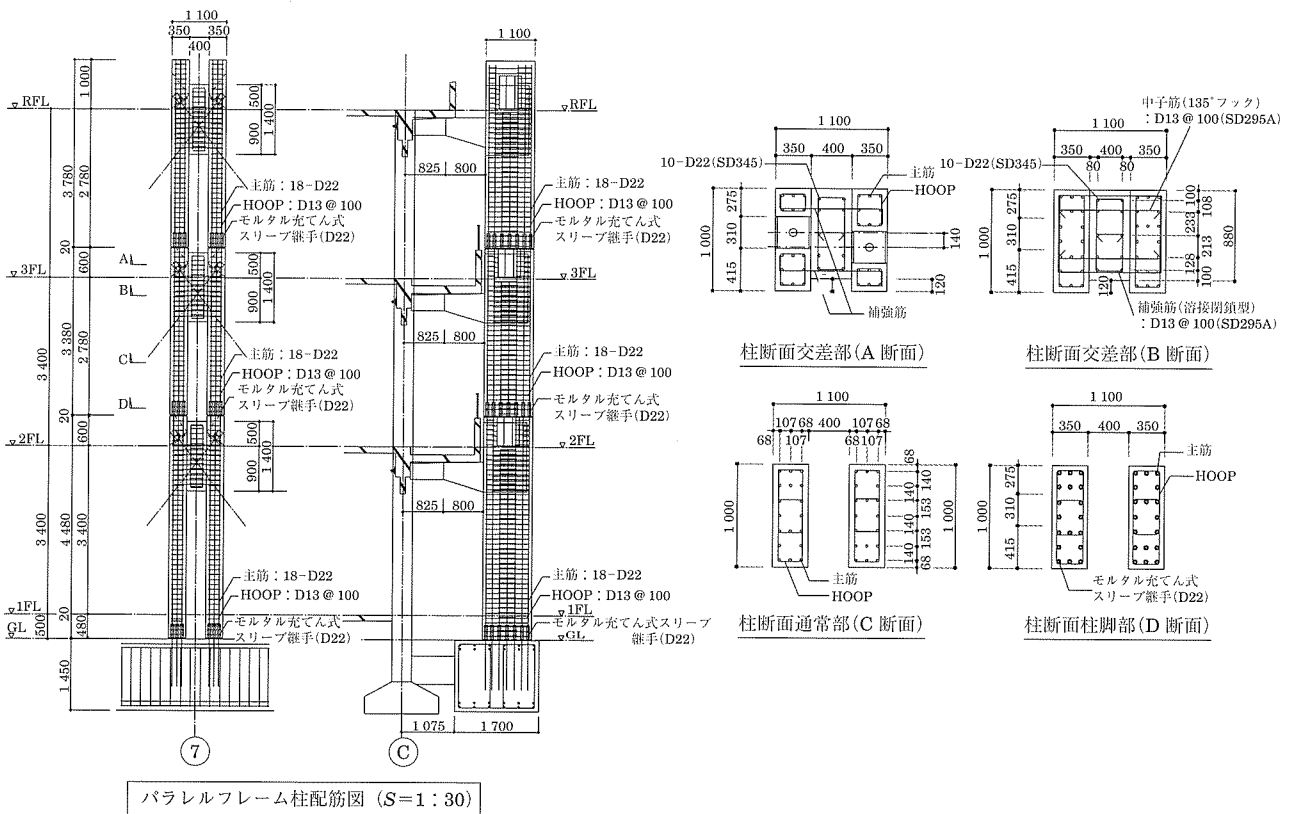


図-3 立面図 (1-1, 1-2 棟)



パラレルフレーム柱配筋図 (S=1:30)

図-4 柱配筋図

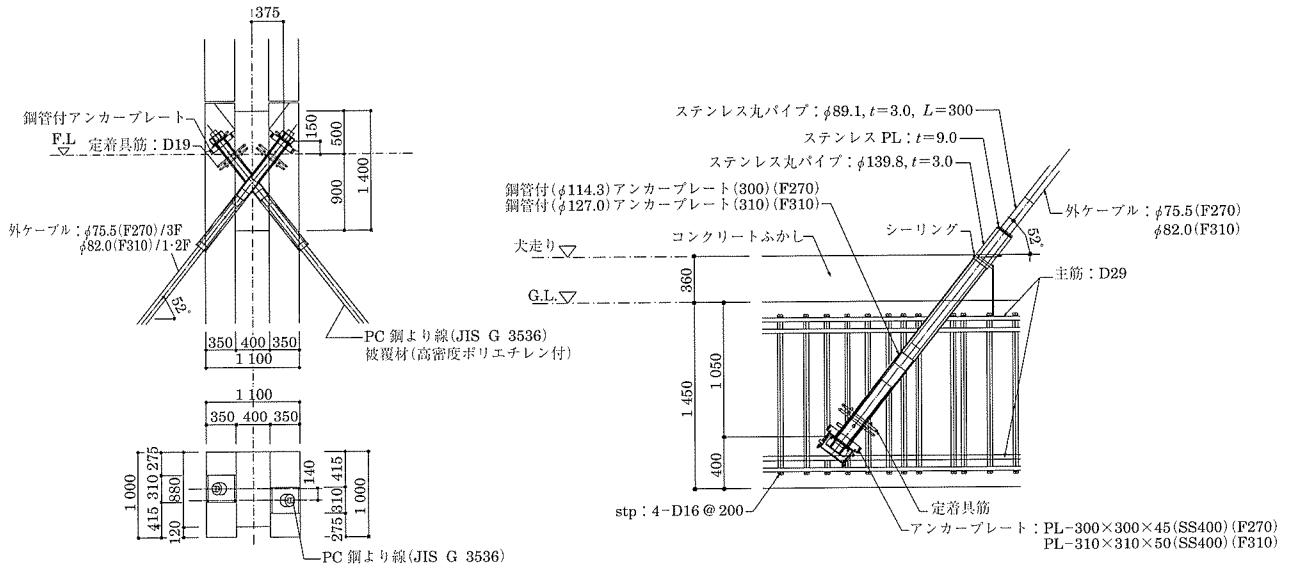


図 - 5 斜め PC 鋼材の緊張端納まりと固定端の納まり

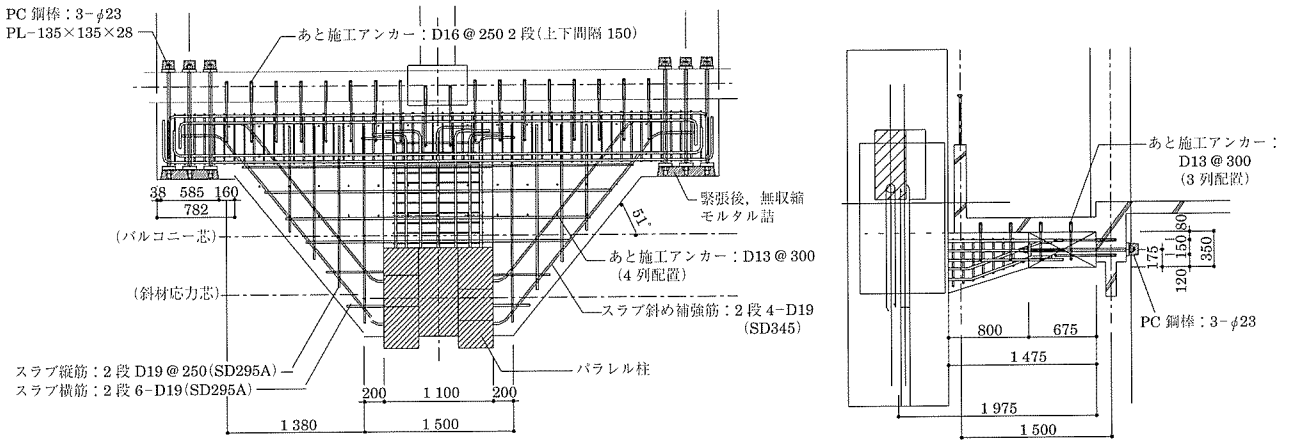


図 - 6 接合スラブの詳細

4.2 施工状況

本工事の施工フローを図 - 7 に示す。主な施工手順は、
 ① パラレルフレーム基礎梁の施工、② PCa 柱の建込み、③
 斜め PC 鋼材の配線・緊張、④ 既存建物への一体化、から
 構成される。主な施工状況を写真 - 3 ~ 写真 - 8 に示す。

① パラレルフレーム基礎梁の施工

基礎梁は PRC 梁としている。基礎梁内には斜め PC 鋼材の固定端定着体が埋め込まれている。定着体の施工精度は斜め PC 鋼材の配置角度に影響を与えるため、コンクリート打設中に移動しないように鋼製の治具を用いて所定の精度を確保した。コンクリート打設後、所定の強度を確認した後プレストレスを導入した。また、既存建物とは直交するつなぎ梁およびスラブにて接続している (写真 - 3)。

② PCa 柱の建込み

PCa 柱はあらかじめ工場にて製作した。PCa 柱部材は、斜め PC 鋼材の緊張側定着プレートを埋め込んだ部材とその他一般部分の部材の 2 種類である。製作に先立ち、既存

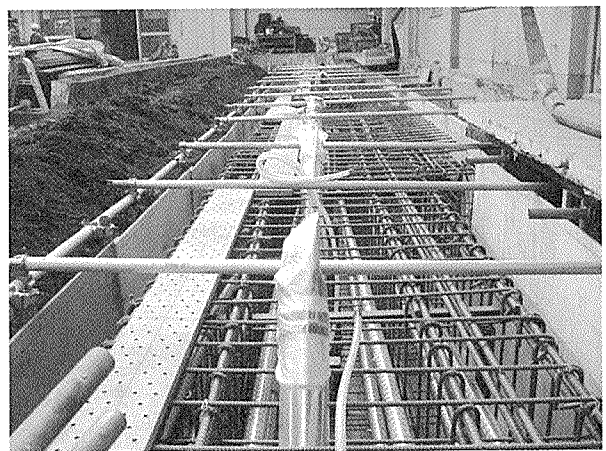


写真 - 3 基礎梁の状況

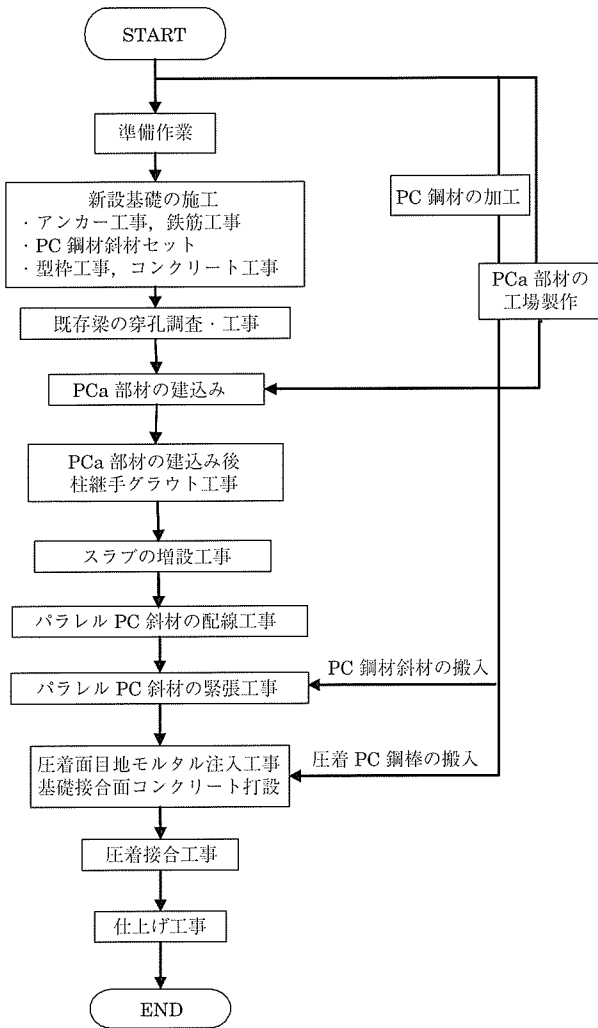


図 - 7 施工フロー

躯体寸法を実測して製作図面との整合性を確認した。また斜め PC 鋼材の配置角度の精度に留意した。PCa 柱の建込みは、倒れ防止を用いて斜め PC 鋼材の配置角度が狂わないように建て方精度を確保した。建て方精度は、水平位置のずれ、倒れ、高さとも $\pm 5 \text{ mm}$ 以内の管理目標値とした。柱部材の鉛直継手には機械式継手を用いている (写真 - 4, 5)。

③ 斜め PC 鋼材の配線・緊張

斜め PC 鋼材の配線は、クレーンを用いて柱の緊張端側から挿入し、斜材のたるみ防止治具を用いて落とし込んだ。

基礎梁側の固定端まで引き込んだ後、固定端定着装置と斜め PC 鋼材の材端 (マンション) を接続した。

緊張は、2 台のジャッキを用いて左右同時緊張とし、下層階の斜め PC 鋼材より順次行った。緊張管理は、左右の荷重計の示度が同様の値を示すようにバランスを取りながら緊張作業を進め、所定の緊張力を導入したときの伸び実測値が計算値の $\pm 5 \%$ 以内に納まることを確認して行った (写真 - 6, 7)。

④ 既存建物への一体化

接合スラブの配筋・コンクリート打設後、所定の強度を

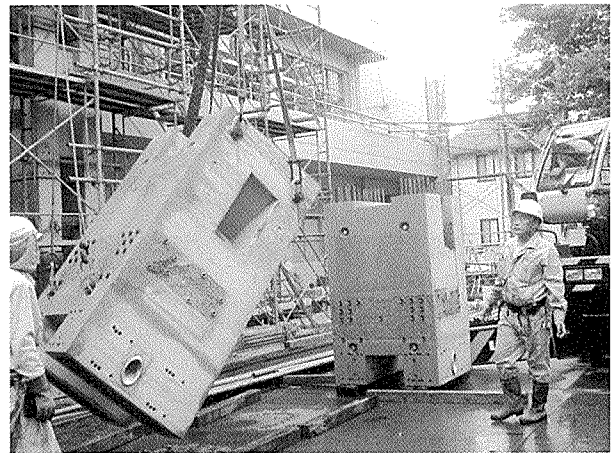


写真 - 4 PCa 柱の建て方状況 (1)



写真 - 5 PCa 柱の建て方状況 (2)



写真 - 6 斜め PC 鋼材の配線

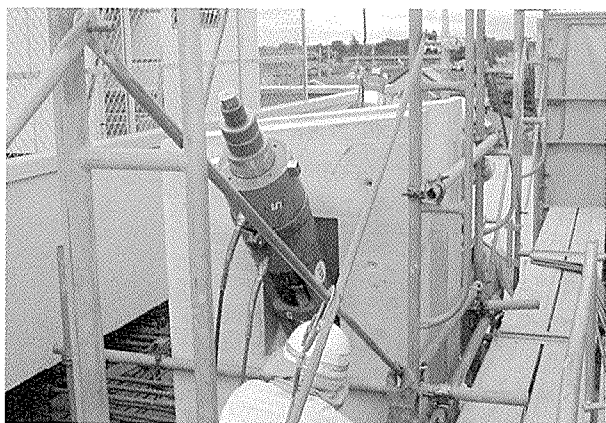


写真-7 斜め PC 鋼材の緊張

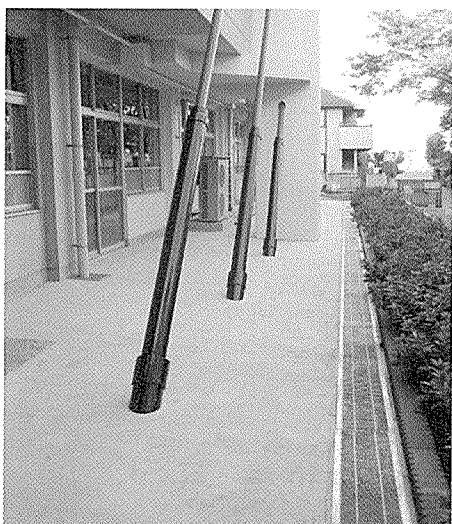


写真-8 斜め PC 鋼材の保護

確認し PC 鋼棒による圧着作業を行った。定着部の処理として無収縮モルタルを充てんした。

⑤ その他

建物用途が学校であるため、児童が斜め PC 鋼材に直接触れないように、1階部分で所定の高さまで保護用カバーで覆うなどの日常の使用面についても配慮している(写真-8)。また斜め PC 鋼材の色は1棟は青色、他棟はエンジ色と校舎のイメージによって選択されている(写真-1, 2)。

以上、バルコニー先端に3層1本柱タイプの平行フレームを設置する補強工事について紹介を行った。

5. 新しい平行構法の開発

5.1 構法概要

1本柱タイプ等の平行構法の場合、斜め PC 鋼材と基礎梁を設置する範囲を広く必要とするため、既存建物の平面形状などによっては適さない場合も考えられる。そこで、既存建物の平面形状等の条件にも対応可能な新しいタイプ(ユニットタイプ)の開発を行った。

ユニットタイプは、PCa 柱と梁部材から成るフレームの対角状に斜め PC 鋼材を配置・緊張した補強フレームを既

存建物に圧着接合により一体化するものである(図-8)。

構法の原理は、平行フレームの場合と同様、フレーム内対角状の斜め PC 鋼材水平力とフレーム柱のせん断力が地震力に抵抗する。この場合、図-9に示すように、変形に伴って引張側の斜め PC 鋼材は張力を増し、圧縮側は張力を開放することで両方の PC 鋼材が地震力に抵抗する。

斜め PC 鋼材の水平抵抗力は、各層の補強目標の終局時層間変形角に応じて、層間変形から定まる斜め PC 鋼材のひずみ度を求め、斜め PC 鋼材の断面積 (A_{pi}) を決定して算定する。ここで、斜め PC 鋼材の引張ひずみが降伏ひずみ以下となるように変形を制限しているため、地震時変動荷重に対し、斜め PC 鋼材を弾性域内で、かつ引張状態に留めるように初期プレストレスを導入する(図-10)。

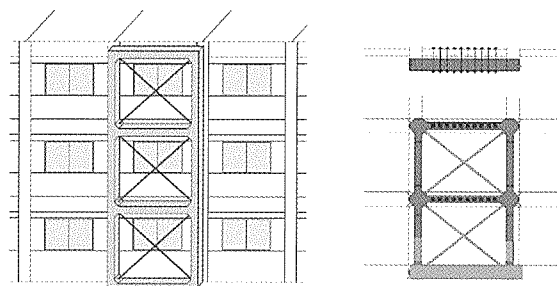
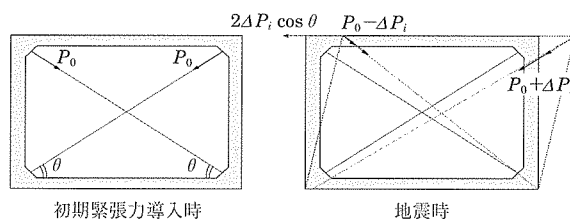


図-8 補強概要



初期緊張力導入時

地震時

$$(P_0 + \Delta P_i) \cos \theta - (P_0 - \Delta P_i) \cos \theta = 2\Delta P_i \cos \theta$$

図-9 水平抵抗力の考え方

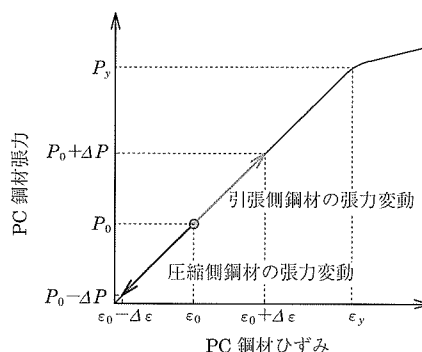


図-10 斜め PC 鋼材の地震時荷重変動

5.2 性能実験

新しいユニットタイプの力学的特性を確認するために補強架構実験を行った(写真-9)。

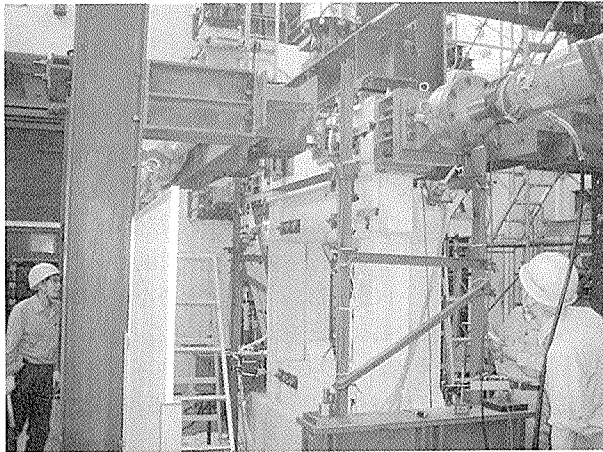


写真-9 実験状況

実験概要を以下に述べる。試験体は斜め PC 鋼材を組み込んだ 1 層 1 スパンの補強フレームを既存 RC 骨組の外構面に圧着接合した耐震補強架構で、1/2.5 程度の縮小モデルとした。試験体数は 2 体で、S-試験体は既存フレームがせん断破壊型先行を、M-試験体は既存フレームが曲げ破壊型先行を想定している。ユニットフレームは曲げ破壊型先行である。実験結果の破壊状況を写真-10、11 に、荷重-変形関係を図-11、12 に、斜め PC 鋼材変動荷重と変形の間関係を図-13、14 に示す。

実験結果は以下のとおりである。

- 1) 最終破壊は、S-試験体が既存フレーム柱のせん断破壊、M-試験体は既存フレームの曲げ破壊であった。
- 2) S-試験体および M-試験体の荷重-変形関係は、おのおのの目標層間変形角時 ($R=1/250 \text{ rad.}$, $R=1/150 \text{ rad.}$) および大変形時 ($1/75 \text{ rad.}$, $1/20 \text{ rad.}$ まで)においても耐力低下は見られず安定した挙動を示した。
- 3) 両試験体とも目標層間変形角時までは、斜め PC 鋼材の効果により原点指向型の復元力特性を示し、残留変形が小さい特徴を示した。

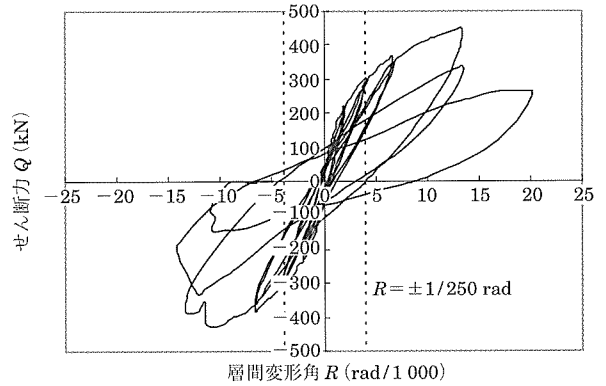


図-11 Q-R 関係 (S-試験体)

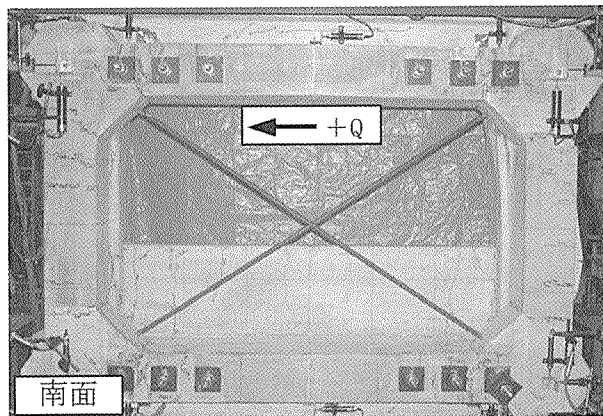


写真-10 S-試験体破壊状況

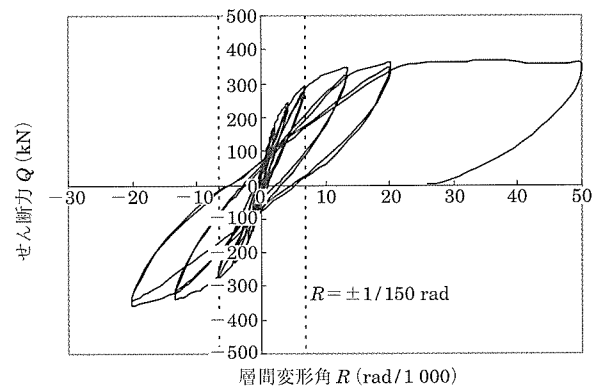


図-12 Q-R 関係 (M-試験体)

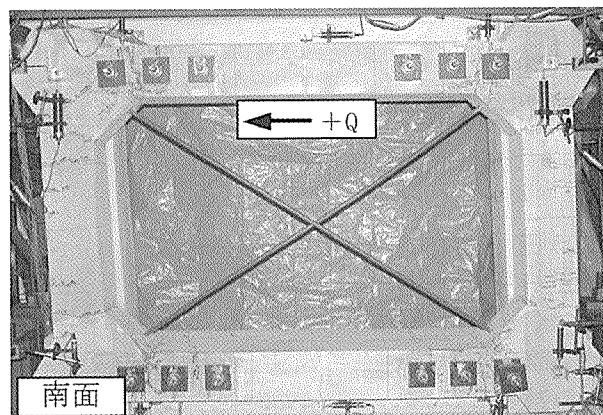


写真-11 M-試験体破壊状況

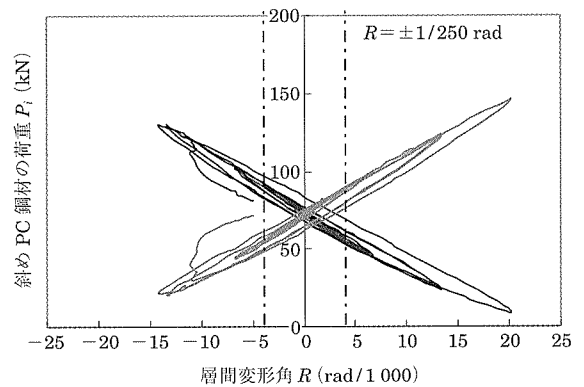


図-13 P-R 関係 (S-試験体)

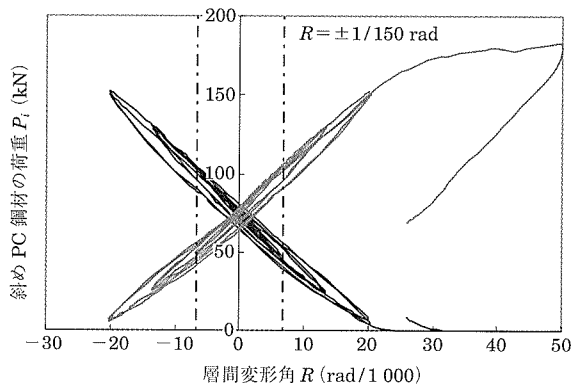


図 - 14 $P_i - R$ 関係 (M-試験体)

- 4) 斜め PC 鋼材荷重と層間変形角の関係から、斜め PC 鋼材は初期プレストレスを導入しているため、小さな変形時から挙動し、層間変形角に応じて引張側は荷重増加し、圧縮側は荷重の開放が見られる。その関係はほぼ線形関係にある。
- 5) ユニットフレームと既存フレームとの耐力累加が確認できた。また目標変形角時および大変形時においても接合部は健全であった。

以上、補強後の耐震性能および大変形時における安全性について確認することができた。

6. おわりに

今回、既存建築物の外付け耐震補強技術として、パラレル構法のバルコニータイプの施工事例について報告するとともに、新しいユニットタイプの開発に関する性能実験結果の一部を紹介した。

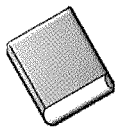
PC 鋼材を建築物の耐震補強に応用する技術は、斜め PC 鋼材の径が細いことから補強後の眺望や通風・採光を確保できる特徴があり、PC 鋼棒による圧着接合などを採用することで工事の騒音や振動などを低減させることができる。

今後、パラレル構法と新しいユニットタイプを組合せ、本構法の特徴を十分に生かし、学校施設や医療施設、住宅施設などを中心に、積極的に普及・展開を図る予定である。

最後になりましたが、本構法のユニットタイプの開発にあたり、多大なるご指導をいただくとともに性能実験を実施していただきました(財)日本建築総合試験所の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) パラレルフレーム構法評価概要報告書, GBRC 性能証明第 04-03 号 2006.9
- 2) 田中ら, 斜め PC 鋼材を用いた外付け耐震補強構法の技術紹介 — パラレルフレーム構法 —, コンクリート工学, Vol.43, No.6, 2005.6, pp.14 - pp.19
- 3) 田中ら, 斜め PC 鋼材を応用した外付け耐震補強構法, プレストレストコンクリート, Vol.47, No.4, July 2005, pp.72 - pp.78
【2007 年 5 月 22 日受付】



刊行物案内

プレストレストコンクリート技士試験 講習会資料

平成19年度 PC 技士試験講習会

資料のほか、過去 3 年間の試験問題、正解および解説が掲載されています。

(平成 19 年 6 月)

頒布価格 : 会員価格 5,000 円 (送料500円)

: 非会員価格 6,000 円 (送料500円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会