

# 連結鋼管を用いたアウトフレーム耐震補強工法の 施工実験と既存建物への適用

## Construction Tests of a Method for Seismic Strengthening Outer Frames with Steel Tube as Connection and Its Application to an Existing Building

河野政典\* 岸本 剛\* 浜崎憲一\*\* 服部晃三\*\*\*

### 要 旨

既存建物の外側に RC 造のフレームを取付けるアウトフレーム耐震補強工法を対象に、あと施工アンカーの本数が低減できる連結鋼管を用いた耐震補強工法、ならびにアウトフレームの短期施工を実現するフル PCa 部材の連層工法を開発した。そして、これらの工法を実建物に適用するにあたり、施工性を確認するための実大施工実験を実施した。連結鋼管による耐震補強工法においては、既存建物とアウトフレームを連結するための鋼管が挿入された新設スラブの施工実験を実施し、高流動コンクリートを用いることにより、新設スラブ、および挿入した鋼管周囲にコンクリートが密実に充填されていることを確認した。また、フル PCa 部材の連層工法においては、上下階の柱、および柱梁接合部の各 PCa 部材を同時にグラウト接合する連層グラウト充填実験を実施し、PCa 部材の接合目地、および柱主筋継手部にグラウトが密実に充填されていることを確認した。実大施工実験において良好な施工結果を確認した後、それぞれの工法を共同住宅の耐震補強工事に適用した。

キーワード：連結鋼管、アウトフレーム、耐震補強、プレキャスト、グラウト

### 1. まえがき

近年、地球環境保護への関心が高まる中、少子・高齢化、人口減少の到来を背景に、建築物においてはスクラップアンドビルドから既存建物のストック再生、リニューアルへと志向が移りつつある。耐震補強に関する動向については、1995 年に発生した兵庫県南部地震以降、耐震改修促進法が制定され、既存建物の耐震性が見直された。その後、2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震においては、耐震補強された建物に大きな被害が生じることなく、耐震補強の効果が実証され<sup>1)</sup>、今後、補強工事の件数増加が見込まれる。

一方、既存建物の耐震補強工事においては、建物を使用しながらの工事が望まれており、共同住宅では、住みながらの工事となる。現在、居住者に配慮し、建物の外側から工事を行う耐震補強工法<sup>2)</sup>が着目されているが、今後は、居住者の生活を妨げないよう、より騒音、振動が少なく、かつ、短期間の工事が望まれる。

そこで、住みながらの耐震補強工事を可能とするアウトフレーム耐震補強工法（既存建物の外側に鉄筋コンクリート造のフレームを取付ける工法）を対象に、補強工事に必要となる、あと施工アンカーの本数を低減するこ

とで、騒音、振動を少なくすることができる連結鋼管を用いた耐震補強工法、ならびにアウトフレームの短期施工を実現するフル PCa 部材の連層工法を開発し、それら工法を実建物に適用した。本報では、それらの工法を適用するために実施した施工実験の概要と、実建物への適用結果について報告する。

### 2. 工法の概要

#### 2.1 アウトフレーム耐震補強工法

アウトフレーム耐震補強工法の概念図を図-1に示す。アウトフレーム耐震補強工法とは、既設建物の外側に、柱および梁からなる架構を新設し、その架構に、既存建物の地震力を負担させる耐震補強工法である。本工法では、新設架構と既設建物との間に、新たにスラブ（以下、新設スラブと称す）を構築し、それを介して地震時のせん断力を伝達させる。新設スラブと既存建物のせん断力の伝達については、既存梁に取付けた、あと施工アンカーが負担する。また、新設スラブについては、バルコニー等の既存スラブの下部にコンクリートを現場打設して構築する。そのため、既存スラブにコンクリートの打設口を設ける必要がある。

\*技術研究所 \*\*西日本支社建築工務部 \*\*\*西日本支社建築設計部

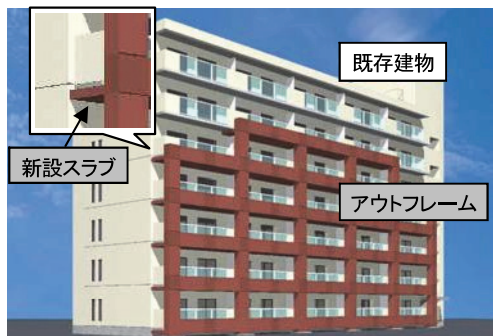


図-1 アウトフレーム耐震補強工法

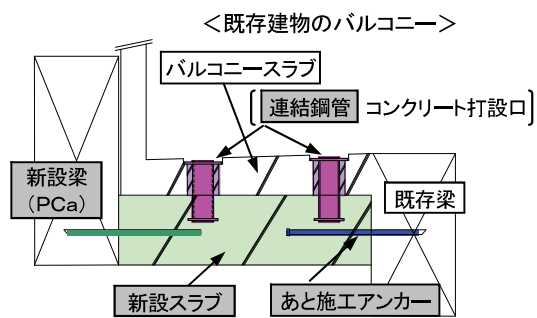


図-2 連結鋼管を用いた耐震補強工法

## 2.2 連結鋼管を用いた耐震補強工法

前述のように、一般的なアウトフレーム耐震補強工法では、新設スラブと既存建物のせん断力の伝達を、あと施工アンカーのみが担うため、相当数のアンカー本数が必要となる。既存梁へのアンカーの打込み作業では、騒音、振動が伴うため、アンカーの本数を低減することにより、騒音、振動も少なくすることができる。連結鋼管を用いた耐震補強工法の概念図を図-2に示す。本工法は、図-2に示すように、新設スラブ打設用に設けたコンクリート打設口に鋼管(連結鋼管)を設置し、その鋼管に地震時のせん断力の一部を負担させる耐震補強工法であり、その結果として、あと施工アンカーの本数を低減することができる。

本工法を実建物に適用するにあたって、新設スラブのコンクリートの充填方法、連結鋼管の挿入設置方法の検討が必要となるため、連結鋼管挿入スラブの施工実験を実施した。

## 2.3 フルPCa部材の連層工法

耐震補強工事では、短期間の工事が望まれる。アウトフレームの構築においては、コンクリートを現場打ちする在来工法よりも、フルPCa工法の方が工期を短縮することができる。一般的なフルPCaフレームの構築は、図-3に示すように、まず、柱とパネルゾーンのPCaを組み立て、パネルゾーンに設けたグラウト注入口からグラウトを充填し、柱主筋貫通孔のグラウトの充填状況を目視により直接確認する(図-4)。そして、グラウトの硬化後、上部階の柱PCaを建込む。

さらなる工期短縮を図るための工法として、パネルゾーンにグラウトを充填する前に、上部階の柱PCa部材を建込み、複数階を一度に連続して積層するフルPCa部材の連層工法が挙げられる。しかしながら、連層工法のグラウト充填は、PCa部材の連層後となるため、図-5に示すように、パネルゾーンのグラウトの充填状況を目視で直接確認することができない。また、柱脚の目地部分は、パネルゾーンの各貫通孔から上昇してきたグラウトにより充填されるが、グラウトが均一に上昇するとは限らず、目地部分にエア溜まりが生じる可能性がある。そこで、密実にグラウトを充填する方法を確立するため、実大試験体によるグラウト充填実験を実施した。

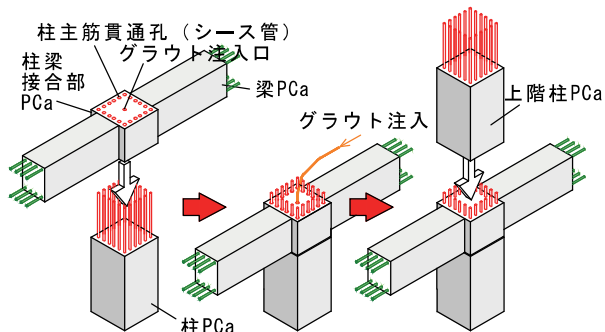


図-3 一般的なフルPCaフレームの構築

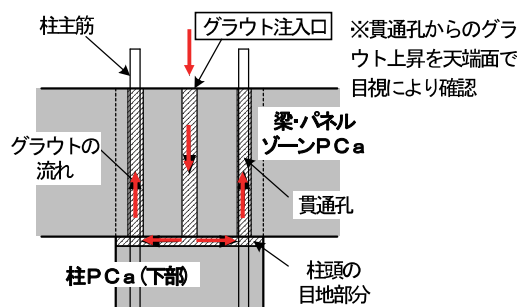


図-4 グラウト充填の概念図(単層の場合)

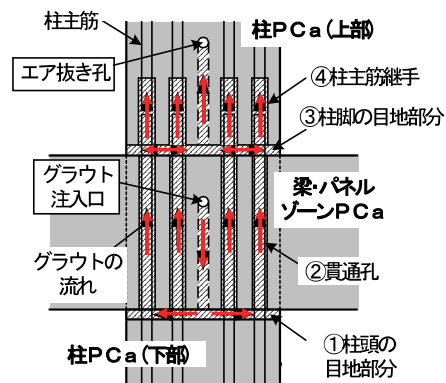


図-5 グラウト充填の概念図(連層の場合)

## 3. 連結鋼管挿入スラブの実大施工実験

### 3.1 実験概要

#### a. 実験計画

本実験の目的は、連結鋼管の取付け方法の違いによる、新設スラブのコンクリートの打込みと連結鋼管の取付け施工性、および、鋼管周囲のコンクリートの充填状況を

確認することである。鋼管の取付け方法は、コンクリートの打設前に取付ける「先付け方法」と、コンクリートの打設後に取付ける「後付け方法」の2種類とした。

コンクリートの打込みでは、鋼管を先付けした場合、鋼管の筒を通して打込み、後付けの場合では、既存スラブに設けた開口から直接打込むため、施工性が異なる。

先付け方法の鋼管の取付けについては、鋼管を予め既存スラブに固定するため、鋼管の位置ずれが防止でき、コンクリート打設当日の作業工数を減らすことができる。その一方、先付けした場合、鋼管はスラブ内をコンクリートが流動する際の障害物となり、また、既存スラブと鋼管側面の隙間は 20~25mm と狭く、その隙間へのコンクリートの充填が困難となることが考えられた。鋼管にはつばが取付いているため、上部から鋼管側面にコンクリートを打設することも困難であるため、鋼管外周面の未充填部分については、コンクリート硬化後、グラウトを充填する計画とした。

後付け方法における鋼管の取付けについては、スラブコンクリートの打設直後、鋼管挿入孔に既存スラブの天端までコンクリートを充填し、その天端から鋼管を挿入し、埋込む計画とした。

b. 試験体

試験体を図-6に示す。図-2に示したバルコニースラブと新設スラブ部分を模擬した実大試験体で、新設スラブの厚さは300mm、幅は1500mm、長さは5600mmとし、D13@200ダブルのスラブ筋を配した。新設スラブ上部には、既存バルコニースラブを模擬した1500×800mm、厚さ150mmのPCa版と、コンクリートの充填状況を目視確認するためのアクリル板を交互に敷並べた。PCa版には、鋼管を挿入するための径150mmのコア孔を1600mmピッチで削孔した。鋼管の径は100mm、長さ250mmとし、上下につばを設けた。先付け方法では、鋼管をPCa版に固定した。コンクリートには、スランプフロー60cmの高流動コンクリートを用いた。調査を表-1に示す。

3.2 実験結果

a. 打設状況

コア孔に先付けした鋼管部分(図-6中、打込み位置①)からホッパーコーンを用いて片押しでコンクリートの打込みを行った。鋼管から打設した場合でも分離な

く良好に5m以上流動し、隣接する鋼管設置口のPCa版下面までコンクリートが充填された。鋼管を後付けするコア孔(打込み位置②)からの打設では、打設口が大きいため打設速度が速まり、充填性がより良好であった。

後付け方法における鋼管の取付けについては、コンクリート打設後のスラブへの鋼管の埋込みが、支障なく作業を行うことができた(後述の写真-13を参照)。また、

表-1 コンクリートの調査

| スラブ<br>厚さ | W/C<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     |     | 空気量<br>(%) |
|-----------|------------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------------|
|           |            | W                        | C   | S1  | S2  | G1  | G2  |            |
| 60cm      | 35.5       | 175                      | 493 | 584 | 251 | 426 | 426 | 3.0        |

Cセメント: 普通ポルトランドセメント 密度: 3.16 g/cm<sup>3</sup>  
 S1 細骨材: 陸砂・茨城県行方産 密度: 2.60 g/cm<sup>3</sup>  
 S2 細骨材: 砕砂・茨城県新治産硬質砂岩 密度: 2.60 g/cm<sup>3</sup>  
 G1 粗骨材 1505: 茨城県新治産硬質砂岩 密度: 2.68 g/cm<sup>3</sup>  
 G2 粗骨材 2015: 茨城県新治産硬質砂岩 密度: 2.68 g/cm<sup>3</sup>  
 SP 混和剤: 高性能 AE 減水剤

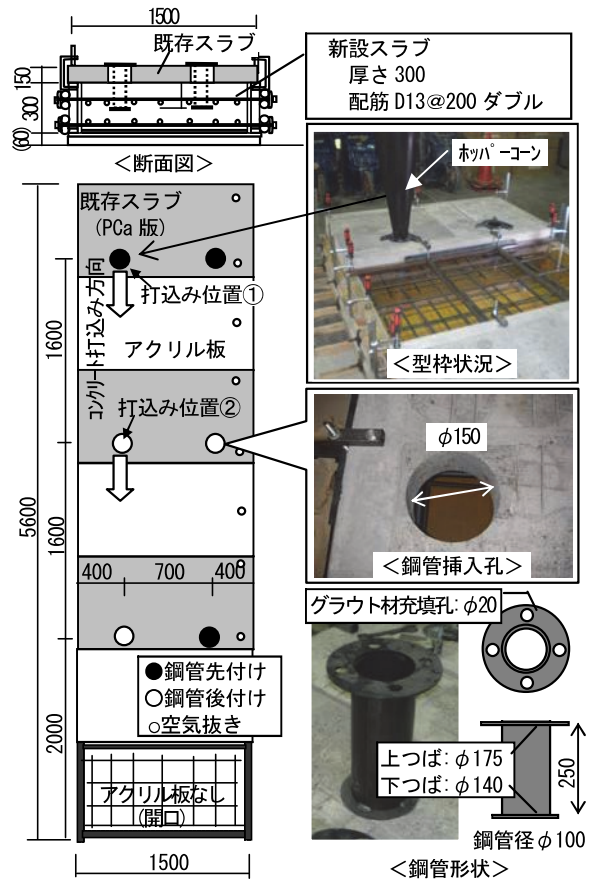


図-6 連結鋼管挿入スラブの実大試験体



写真-1 グラウト充填状況

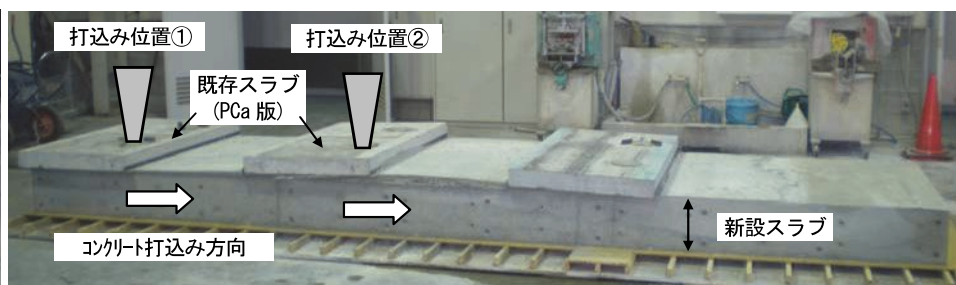


写真-2 試験体脱型後の出来型状況

既存スラブと鋼管側面の隙間に上部までコンクリートが充填される状況が確認できた。先付けした鋼管では、鋼管側面の上部までコンクリートが充填されなかったため、コンクリート硬化後、グラウト充填を行った（写真-1）。試験体脱型後の出来型状況を写真-2に示す。

b. 鋼管周囲のコンクリートの充填性

鋼管周囲のコンクリート、およびグラウトの充填状況を確認するため、硬化後、鋼管位置でコンクリートを切断した。鋼管位置の切断断面状況を写真-3に示す。後付けの鋼管では、鋼管側面の上部まで密実にコンクリートが充填されていることが確認できた。先付けの鋼管では、コンクリート、およびグラウトが上部まで密実に充填されていることが確認できた。先付け、後付けともに、問題なく施工できることが実証できた。

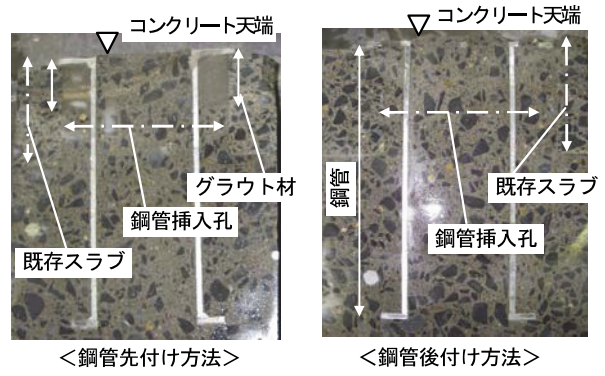


写真-3 鋼管位置の切断断面状況

4. 連層工法のグラウト充填実験

4.1 実験概要

グラウト充填実験では、図-7に示すように、実建物におけるアウトフレームのパネルゾーンと柱脚部・柱頭部をモデル化した実大試験体を用いた。実大試験体の形状を図-8に示す。グラウトの注入口をパネルゾーンの側面に設け、パネルゾーン下部中央までグラウト注入用のワイヤーチューブ（内径 25mm）を埋込んだ。柱脚の目地部分に生じる可能性のあるエア溜まりについては、柱脚の目地部分の中央にエアが集まるように、PCa 柱の底部に四角錐の凹みを設け、その中央からエア抜き孔（内径 31mm）を設けた。凹みの大きさ（底面）は、PCa 柱製作の際に柱主筋継手の固定に妨げとならない程度の大きさとし、今回の柱寸法 550×850mm に対して 220×300mm、高さは 42mm とした。エア抜き孔を柱主筋継手の位置より高い所に設け、柱主筋継手に確実にグラウトが充填されるようにした。なお、グラウト材には柱主筋継手に用いるものを使用した。

図-8に示す実大試験体への充填実験（以下、連層実験）においては、柱脚目地部分のグラウト充填状況、および PCa 柱の底部に設ける凹みの効果を目視により直接確認できない。そこで、連層実験に先立ち、中央に凹みを設けたアクリルパネルを用いて柱脚目地を模擬した試験体による事前充填実験（以下、事前実験）を行った。試験体の形状を写真-4に示す。

連層実験では、グラウトの充填完了を、柱主筋継手のグラウト排出口に取付けた専用ゴム栓のストッパーの

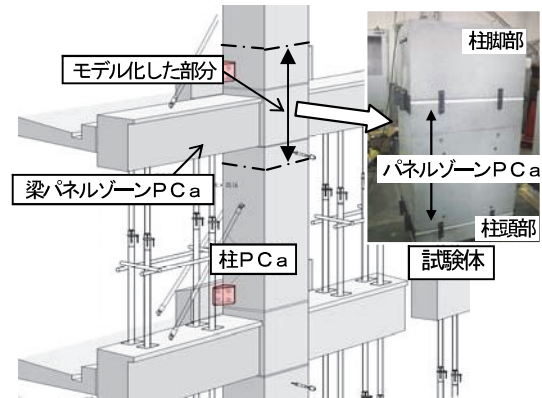


図-7 実施物件の PCa 計画

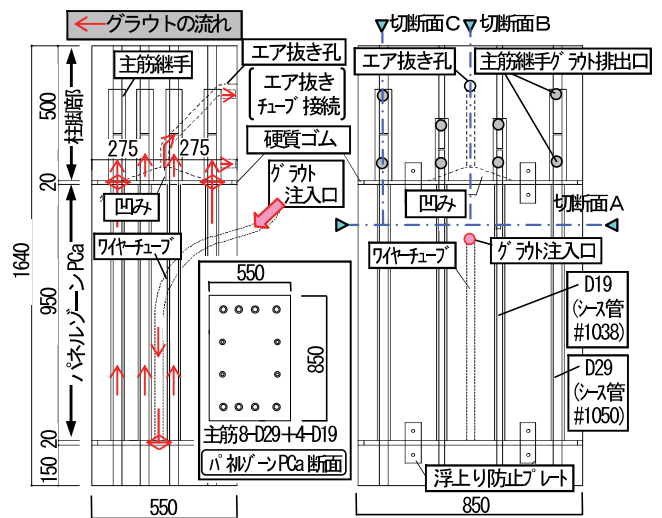


図-8 実大試験体の形状

表-2 フレッシュ試験、および圧縮強度試験結果

| 項目                |                  | 試験値                    |
|-------------------|------------------|------------------------|
| フレッシュ             | J14 ロート          | 8.5 秒                  |
|                   | フロー値 JASS15M-103 | 214×210mm              |
|                   | 練り上がり温度          | 20.0°C                 |
| 圧縮強度: 材齢 28 日標準養生 |                  | 104.5N/mm <sup>2</sup> |

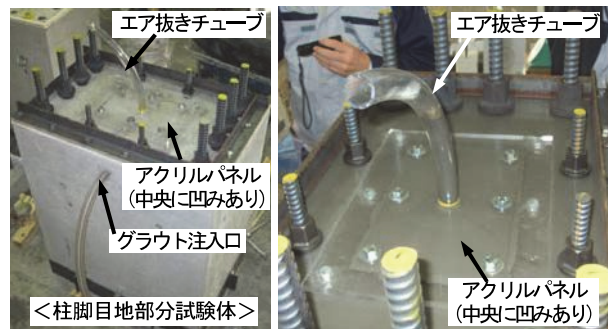


写真-4 事前実験試験体 写真-5 柱脚目地部分充填状況



写真-6 実大試験体(注入面)

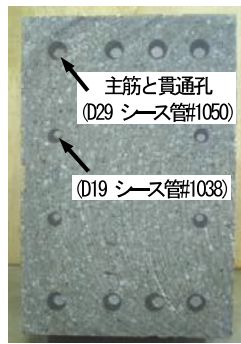


写真-7 パネルゾーン 水平断面(切断面 A)

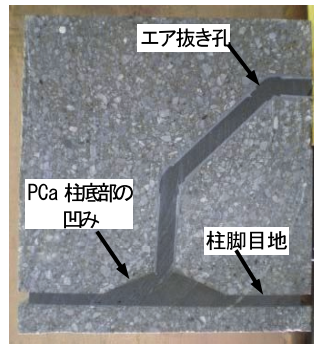


写真-8 柱脚目地部分と エア抜き孔の鉛直断面(切断面 B)

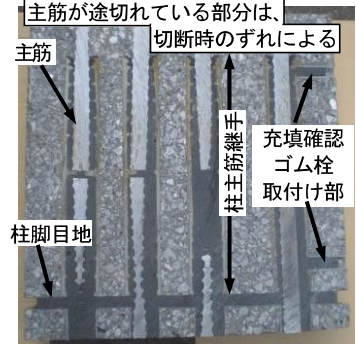


写真-9 柱主筋継手の鉛直断面(切断面 C)

飛出しと、エア抜き孔からのグラウトの流出により確認した。また、グラウトの硬化後、図-8に示す位置(切断面 A~C)で切断し、充填状況を目視で確認した。

#### 4.2 実験結果

フレッシュ試験、および圧縮強度試験の結果を表-2に示す。アクリルパネルを設置した事前実験の充填状況を写真-5に示す。各貫通孔からはほぼ同時にグラウト材が流出し、中央部に向かって徐々に流動し、エア溜りもなくエア抜きチューブへとグラウト材が達した。事前実験により、貫通孔からのグラウトの流出がほぼ同時であること、中央部の凹みがエア溜り防止に効果があることを確認した。

連層実験の実大試験体(注入面)を写真-6に、グラウト硬化後の試験体切断面の状態として、パネルゾーン PCa の水平断面(切断面 A)を写真-7に、柱脚の目地部分とエア抜き孔の鉛直断面(切断面 B)を写真-8に、柱主筋継手の鉛直断面(切断面 C)を写真-9に示す。写真-7から、パネルゾーンの貫通孔内にグラウトが密実に充填されていること、また、鉄筋位置が偏芯していた場合でも密実に充填されていることが確認された。写真-8から、柱脚の目地部分とエア抜き孔もすべて密実に充填されており、エア溜り防止の凹みが有効であったと考えられる。写真-9から、柱主筋継手内も密実に充填されていることが確認された。

### 5. 実建物への適用

#### 5.1 建物概要

アウトフレーム耐震補強工法を適用した既存建物の概要と平面を図-9に、建物立面を図-10に示す。建物の築年数は34年である。A、B棟にそれぞれアウトフレームを設置する計画とした。連結鋼管を用いた補強工法の採用によって、既存躯体に取付ける、あと施工アンカーの本数を約50%低減できた。また、アウトフレーム部材のフル PCa 化と連層工法の採用によって、現場打ちによる在来工法より、工期を約1.5ヶ月間短縮した。

#### 5.2 PCa フレームの建込みとグラウト充填状況

アウトフレームの PCa 部材建込み状況を写真-10、

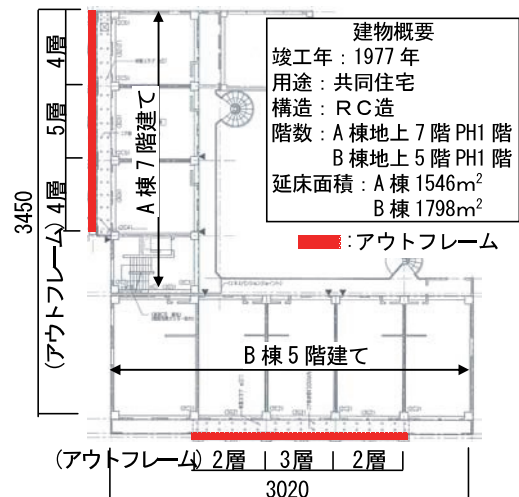


図-9 建物平面と建物概要

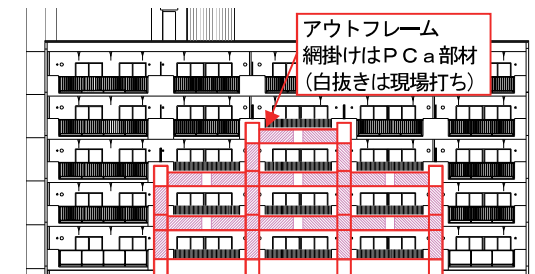


図-10 建物立面

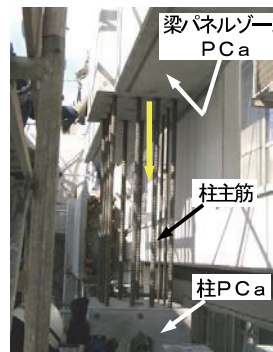


写真-10 柱主筋をパネルゾーン貫通孔に挿入

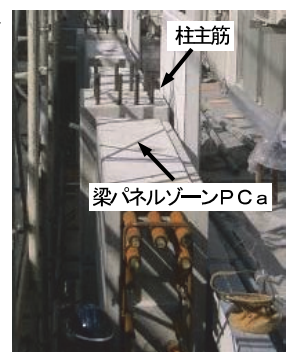


写真-11 梁パネルゾーン PCa の据付完了

11に示す。PCa 部材の建込みはスムーズに完了した。

PCa 部材の連層後のグラウトの充填状況を写真-12に示す。グラウトの充填施工、および施工時の充填確認

は、充填実験と同様の方法で行った。なお、柱脚目地部分のグラウト止めは、モルタル詰めとして、モルタル部分に空気抜き孔を設けた。

### 5.3 新設スラブ（鋼管挿入スラブ）の施工

新設スラブは図-2に示す形状で、厚さは200mm、幅は1155mm、長さは3スパン部分で約20mである。使用したコンクリートを表-3に示す。増粘剤一液タイプの高性能 AE 減水剤を使用し、スランプフロー60cmの高流動コンクリートとした。なお、新設スラブの設計基準強度は30N/mm<sup>2</sup>である。

施工実験と同様、スパン端部の鋼管取付け孔から片押しでコンクリートを打設し、隣接する鋼管取付け孔の既存スラブ下面まで充填されたことを確認した後、コンクリートの打設位置を移動した。鋼管の設置はコンクリート充填後に挿入する、後付け工法とした。鋼管の挿入作業状況を写真-13に、鋼管挿入完了直後の状態を写真-14に示す。設計基準強度の発現を確認後、型枠を脱型し、出来型の状態が良好であることを確認した。工事完了後の建物外観を写真-15に示す。

## 6. まとめ

アウトフレーム耐震補強工法を適用するため、あと施工アンカーの本数が低減できる連結鋼管を用いた耐震補強工法、ならびに、アウトフレームの短期施工を実現するフル PCa 部材の連層工法に関する実大施工実験を行った。以下に示す実験結果を得て、それぞれの工法を共同住宅の耐震補強工事に採用し、実建物に適用できることを確認した。

- i. 連結鋼管挿入スラブの施工実験の結果、高流動コンクリートを使用することで、骨材が分離することなく5m以上流動し、スラブへの充填ができること、コンクリート充填後でも容易に鋼管を挿入できること、また、鋼管周囲にコンクリートが密実に充填されていることを確認した
- ii. フル PCa 部材の連層工法を実現するため、連層グラウト充填実験を実施した結果、連層建ての場合でも PCa 柱の底部に凹みを設けることなどにより、柱頭、柱脚目地、パネルゾーンの貫通孔、および、主筋継手内に密実にグラウトを充填できることを確認した

## 7. あとがき

共同住宅に住みながらの工事となる耐震補強工法を実建物に適用した。今後、今回と同様の住みながらの工事となる共同住宅や、継続使用を条件とする建物の耐震化への要望に応えるべく、本工法の適用を進めていきたい。

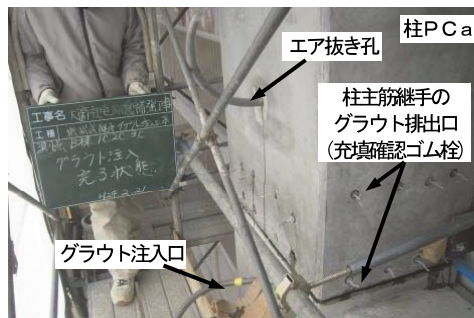


写真-12 グラウト充填状況

表-3 コンクリートの調査

| スラブ<br>フロー | W/C<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |    |     |     |     | 空気量<br>(%) |
|------------|------------|--------------------------|-----|----|-----|-----|-----|------------|
|            |            | W                        | C   | ex | S1  | S2  | G   |            |
| 60cm       | 41.7       | 176                      | 423 | 20 | 583 | 258 | 849 | 4.5        |

Cセメント：普通ポルトランドセメント密度：3.16 g/cm<sup>3</sup>  
 S1 細骨材：海砂・福岡県岩屋産 密度：2.57 g/cm<sup>3</sup>  
 S2 細骨材：石灰砕砂・大分県津久見産 密度：2.65 g/cm<sup>3</sup>  
 G 粗骨材：石灰砕石 2005・大分県津久見産 密度：2.70 g/cm<sup>3</sup>  
 ex 混和材：膨張材 密度：3.16 g/cm<sup>3</sup>  
 SP 混和剤：高性能 AE 減水剤（増粘剤一液タイプ）



写真-13 鋼管の挿入作業状況



写真-14 鋼管の挿入作業完了直後



写真-15 工事完了後の建物外観

### 【参考文献】

- 1) 例えば、高橋香菜子、Hamood AL-WASHALI、前田匡樹、「2011年東北地方太平洋沖地震における宮城県内のRC造校舎の耐震性能と被害傾向の検討と被害事例」、コンクリート工学年次論文集、Vol.34、No2、pp.1099-1104、2012
- 2) 大谷 宏、樋渡 健、有木克良、「居住者の環境に配慮したRC（SRC）集合住宅の耐震補強」、コンクリート工学、Vol.50、No10、pp.913-918、2012.10