

# 外殻 PCa 部材を用いた建物外壁面からの耐震改修施工技術

## Seismic Retrofitting Technologies, Starting with the Construction of Outer Walls using Outer Shell Precast Members

佐藤 匠 <sup>*1</sup> Takumi Satou	下野谷 和也 <sup>*2</sup> Kazuya Shimonoya	杉山 省吾 <sup>*3</sup> Shogo Sugiyama
石田 雄太郎 <sup>*1</sup> Yutaro Ishida	久保田 雅春 <sup>*1</sup> Masaharu Kubota	坂田 弘安 <sup>*4</sup> Hiroyasu Sakata

### 【要旨】

既存不適格の鉄筋コンクリート造建物を対象にした制震工法である開口確保型耐震補強は、建物外壁を対象に方杖型に制震ダンパーを取付ける補強工法である。建物屋外からの工事で完結する施工方式であるため、建物を使いながら改修工事が可能で、また耐震改修により建物の使用性の低下が生じにくい。さらに制震ダンパーを方杖型に設置するため、既存建物開口部への干渉を最小限に抑える事が出来る。

開口確保型耐震補強における RC 外付け補強部は、その外殻部分のみをプレキャスト部材として工場生産し、現地で組み立てた後に内部コンクリートを打設する事により新設する。これにより現地での施工期間短縮や部材精度の確保が期待できる。本報ではこの開口確保型耐震補強について、実大スケールのワンスパンフレームを用いた施工試験の結果について報告する。

【キーワード】 耐震改修 制震補強 開口確保 外殻 PCa 部材 鉄筋コンクリート構造

### 1. はじめに

東京都は特定緊急輸送道路沿道の旧耐震基準で建築された建物全てに対し、耐震診断を義務付けており、耐震性能の不足している既存不適格建築物の耐震補強を進めている。耐震診断の結果、2021年6月時点で約2300棟の既存不適格建築物が存在し、これらの建物の耐震補強は喫緊の課題となっている。しかし市街地の狭隘な土地に建設された建物の場合、屋外から補強を行うための敷地スペースが狭く、また架構スパンも少ないため内部補強による使用性の低下も懸念され、耐震改修に踏み切れない建物オーナーも多く存在する。

これらの問題に対して、飛鳥建設では鉄筋コンクリート（以下、RC）造建物を対象にした補強方法として図-1に示す、開口確保型耐震補強（以下、本補強）を提案し、構造的検証を進めてきた<sup>（例えば2,3）</sup>。本補強は原則として建物の屋外から行う補強方法で、既存 RC 架構の柱・梁部材に RC 外付け補強部を新設し、方杖型に制震ダンパーを取り付けるものである。既存柱・梁部材外壁面にはあと施工アンカーが配置され、RC 外付け補強部（以下、補強部）との間で応力伝達を行う。制震ダンパーを取り付け

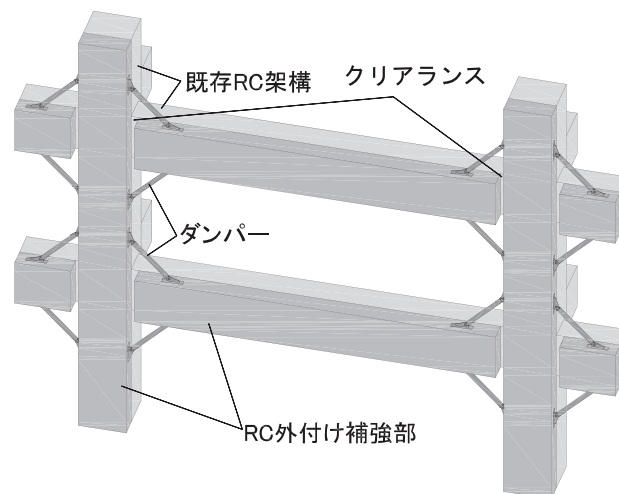


図-1 開口確保型耐震補強全体図

るためのガセットプレートは補強部に埋設されており、埋設部をスタッド付き鋼板とすることで、制震ダンパーの応力をスタッドの支圧抵抗により補強部へ伝達する。梁部材に施工する補強部は柱補強部には接続せず、その両端にクリアランスを設ける。これにより曲げ変形が梁

1.技術研究所 研究開発G 第四研究室 2.建築事業本部 建築統括部 建築G 原価審査T  
3.(株)エスイー ESCON 技術開発部 4.東京工業大学 環境・社会理工学院建築学系

端部に集中し、制震ダンパーに早期のエネルギー吸収を開始させることで、制震効率が向上する。本補強は全て屋外からの工事で完結するため、工事中も建物を使用する事が可能で、わずかな敷地スペースがあれば施工できる。さらに制震ダンパーは方杖型の設置としているため、開口のある建物に補強を施しても影響が少ない。また飛鳥建設では過去に柱・梁部材の外殻部分のみをあらかじめ工場にてプレキャスト(以下、PCa)部材として製作し、新築建物を建設するための技術であるプレビック工法<sup>例え</sup>ば<sup>4)</sup>を確立している。本補強ではこの技術を応用し、補強部に外殻 PCa 部材を用いる事で、現場での型枠組立および脱型作業を省略し、部材精度の確保や施工期間の短縮に繋げる。本報では外殻 PCa 部材の製作状況について報告し、その他の仮設部材等を用いた具体的な施工手順について説明した上で、実大ワンスパンフレームを用いた開口確保型耐震補強の施工試験の状況等について報告する。

## 2. 施工試験概要

図-2に施工試験体図として新設する補強部の配筋図を、表-1に内部鉄筋等のパラメータを示す。試験体は階高 3.6m、架構スパン 5.2m の既存躯体を想定し、その柱上下階を切り出した実大スケールの H 型部分架構とした。建物外壁に面した架構であるため、既存躯体の柱梁側面は同面となっている。既存躯体と補強部の接続はあと施工アンカーのみとし、梁部材せいおよび柱部材幅は設置対象の既存躯体と同一とする。梁補強部両端には、幅 150mm のクリアランスを設けた。ガセットプレートは各補強部柱側面に 1 ヶ所、梁上下面に 1 ヶ所ずつの合計 4 ヶ所に取り付ける。ガセットプレートは制震ダンパーとシャフトピン(φ60)によるピン接合を行う形状とし、本

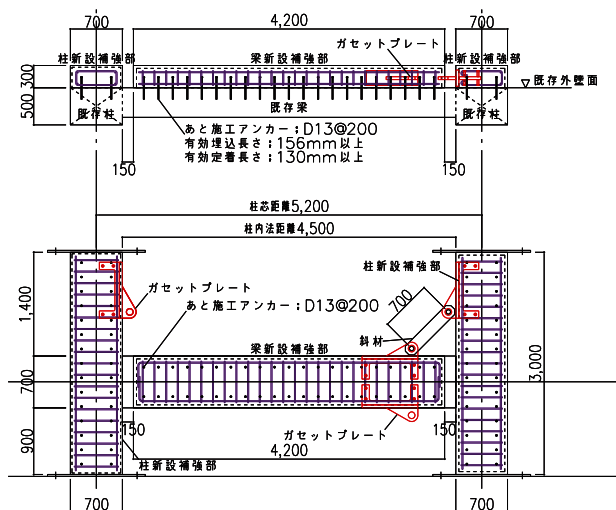


図-2 新設補強部配筋図

表-1 試験体パラメータ

既存躯体	梁断面	400mm × 700mm
	梁長さ(内法)	4500mm
	柱断面	700mm × 500mm
	柱長さ	3000mm
	想定コンクリート強度	Fc18以上
新設補強部	梁補強部断面	300mm × 700mm
	梁補強部長さ	4200mm
	梁補強部軸筋	2-D13 (SD295)
	pt(梁)	0.12%
	S.T.R.	D13@160 (SD295)
	pw(梁)	0.53%
	柱補強部断面	300mm × 700mm
	柱補強部主筋	2-D13 (SD295)
	pt(柱)	0.12%
	HOOP	D13@160 (SD295)
あと施工	内部コンクリート強度	Fc24
	材種	D13 (SD295)
	配置	@200mm
	有効埋込長さ	156mm以上
	有効定着長さ	130mm以上

試験は各部材の納まりや施工手順を確認するための試験であることから、制震ダンパーは鋼製プレートによる斜材にて代用した。

外殻 PCa 部材を用いた補強部の施工手順について図-3に示す。まず初めに既存躯体のコンクリート面に対してあと施工アンカーの他、仮設部材として仮設引張アンカーおよび仮設打込みアンカーを所定の間隔で施工する(図-3①)。次に仮設打込みアンカーを用いて通しアングルを設置する(図-3②)。その後補強部の内部鉄筋や制震ダンパー設置のためのガセットプレートを配置する(図-3③)。配筋時、仮設引張アンカーには高ナットを用いて、セパレーターを延長する。配筋状況やガセットプレートの位置を確認した後、工場にて製作した外殻 PCa 部材を設置する。この時ガセットプレートや外殻 PCa 部材の位置を調整し、先に配置した通しアングルと外殻 PCa 部材を現場溶接にて固定する(図-3④)。現場溶接を行うため、外殻 PCa 部材と既存躯体面との間にはクリアランスを設定し、仕上げ施工時にシールの充填を行う。建て込んだ外殻 PCa 部材の側面には P コン設置孔が設けられており、延長したセパレーターを通す。セパレーターに P コンを設置して孔を塞いだ後、軽量鉄骨等の拘束材を用いて外殻 PCa 部材を固定する(図-3⑤)。全ての拘束材の設置が完了した後、あらかじめ設けた打設孔よりコンクリートを流し込み、内部コンクリートを打設する(図-3⑥)。内部コンクリート打設時に外殻 PCa 部材

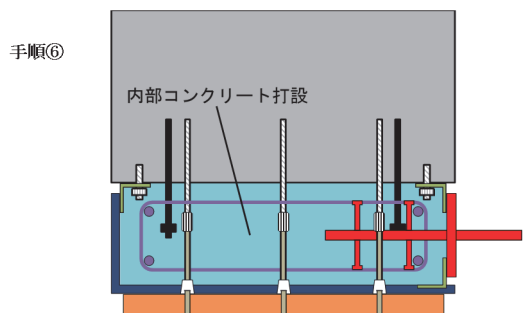
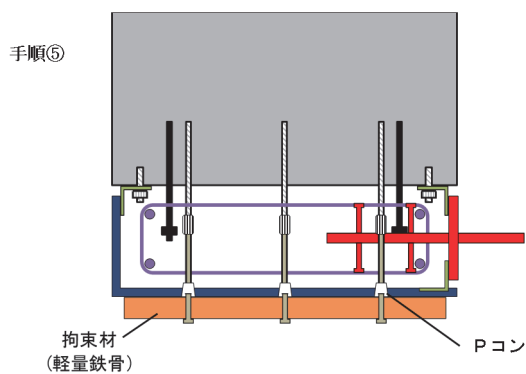
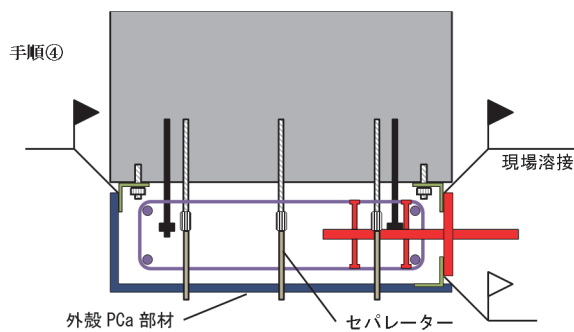
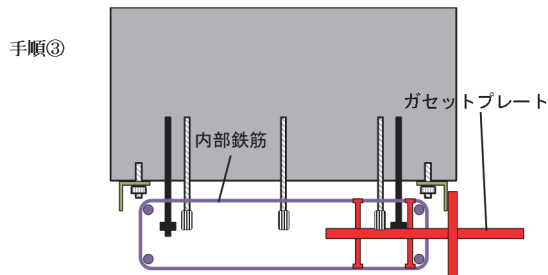
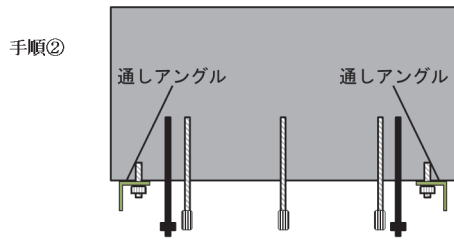
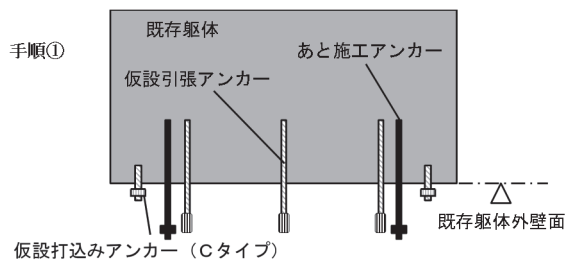
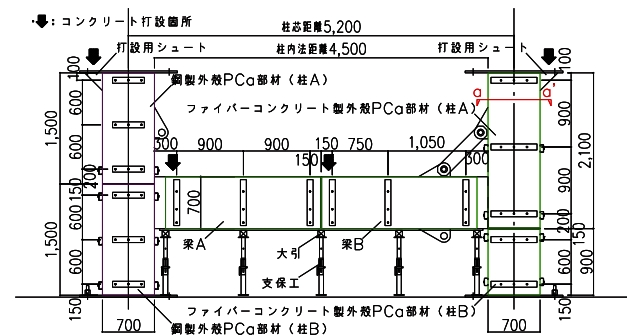
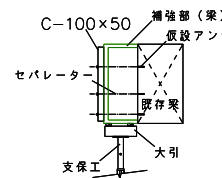


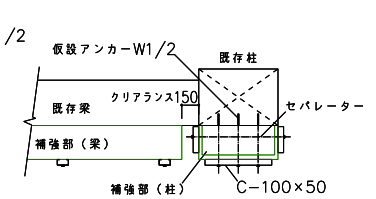
図-3 RC外付け補強部施工手順



(a) 正面図



(b) 梁断面



(c) 柱断面

図-4 仮設部材等配置計画図

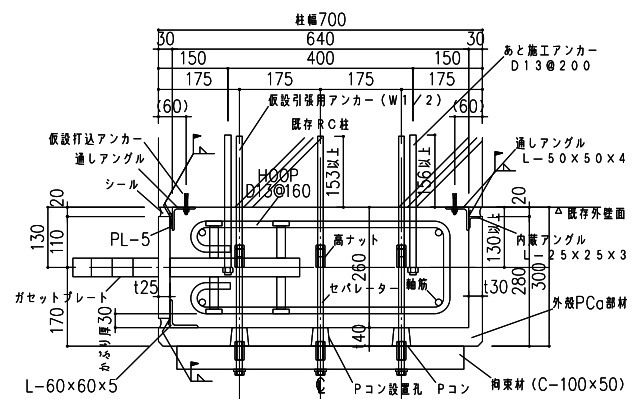


図-5 柱補強部断面図 (a-a' 断面図)

に生じる側圧については、拘束材を介してセパレーターが負担する計画とした。一定期間養生が終了した後は、拘束材やPコンを除去し、作業は終了となる。

図-4に外殻PCa部材や仮設部材等の配置計画を示す。外殻PCa部材は全てU型断面形状としており製造工場からの運搬や現場での吊込みを考慮して最大長さ2.1m、最大重量400kg以内となる様に計画した。本試験では施工性比較のため一方の柱補強部の外殻PCa部材は鋼製(SS400)とし、もう一方の柱補強部と梁補強部の外殻PCa部材は、打設時の流動性が高く、耐久性の高い高強度ファイバーコンクリート(ESCON)を使用して製作した。

外殻PCa部材を固定するための仮設引張アンカーの配置については、内部コンクリート打設時に外殻PCa部材に生じる側圧から各セパレーターに生じる引張荷重を求め<sup>5)</sup>、接続する仮設引張アンカーを許容引張荷重以下となる様に設計した。外殻PCa部材には内部コンクリートを打設するための打設孔を設けており、柱頂部には打設用シュートを、梁上面には打設孔の他に打設状況を確認するための点検孔を設けた。



図-5に外殻 PCa 部材およびガセットプレート周辺の納まりの一例として図-4の a-a'断面図を示す。外殻 PCa 部材の建て込み時に通しアンクルと現場溶接を行うため、20mm のクリアランスを確保して部材幅は全て 280mm とした。P コン設置孔は取り付ける P コンの形状に合わせたテーパー孔とした。ファイバーコンクリート製の外殻 PCa 部材は工場製作時に通しアンクルと当接する部分に内蔵アンクル(L-25×25)を配置する事で現場溶接による固定を可能にした。外殻 PCa 部材には、この他ガセットプレートを設置するためのガセットプレート設置孔や前述のコンクリート打設孔および点検孔を所定の位置に設けた。ガセットプレートには直交プレートが設置されており、通しアンクルと当接して現場溶接により位置固定を可能にしている。ガセットプレートとフープ筋が干渉する部分は、フープ筋を図-5に示すように折り曲げて納めた。仮設引張アンカーにはセパレーターと同径の W1/2 全ネジボルト(S45C H)を用いた。

また内部コンクリートの打設に当たり、柱基部に配置したセパレーターにひずみゲージを貼付し、あらかじめキャリブレーションを行った上で、打設時にセパレーターに生じる引張力を計測した。図-6に各計測点の記号を示す。

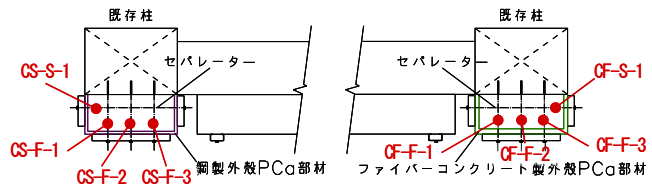


図-6 引張軸力計測位置

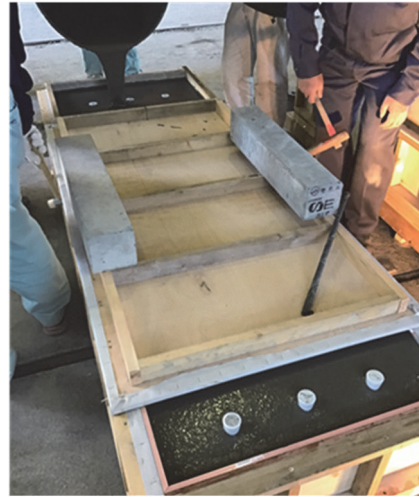


写真-1 ESCON 打設状況

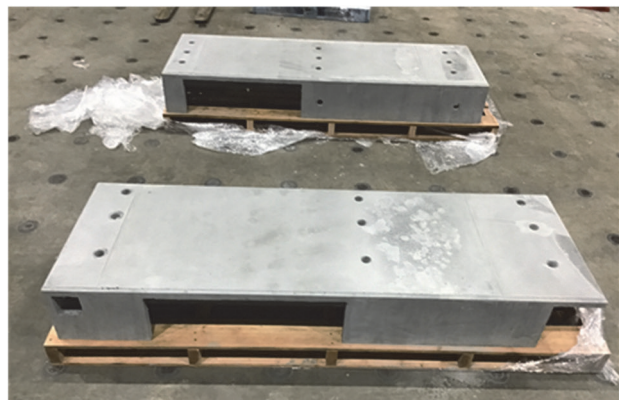


写真-2 ファイバーコンクリート製外殻 PCa 部材

### 3. 施工試験結果

#### 3.1 外殻 PCa 部材の工場製作について

ファイバーコンクリート製外殻 PCa 部材は工場にて製作した後、施工試験場に運搬した。部材製作のための型枠は部材正面が上側になるように型枠を組んで水平面に平置きした。あらかじめ型枠内部には内蔵アンクル等を設置した他、ESCON 内の気泡を除去する目的で透水シートを貼り付けた。ESCON の打設時の状況を写真-1に示す。ESCON は型枠の一端より流し入れることで、型枠全体に打設した。型枠全体の充填を確認した後、型枠上面を上蓋にて塞ぎ、養生作業に移行した。写真-2に納品時の外殻 PCa 部材の状況を示し、表-2に ESCON の材料試験結果として、各計測結果の平均値を示す。納品時外殻 PCa 表面に微細な気泡は見られたものの、大きなクラックや欠損はなかった。

表-2 材料試験結果

項目		計測値(平均)
単位体積重量	[g/cm <sup>3</sup> ]	2.43
圧縮強度	[N/mm <sup>2</sup> ]	150.5
引張強度	[N/mm <sup>2</sup> ]	6.28
ヤング係数	[N/mm <sup>2</sup> ]	43,030

#### 3.2 外殻 PCa 部材の建て込み施工

写真-3に柱補強部内部の配筋状況を示し、写真-4に仮設引張アンカーの台直し状況を示す。内部鉄筋やガセットプレートはあと施工アンカー等の養生が終了した後に設置を行った。既存躯体施工面にガセットプレートの設置位置をマーキングし、あと施工アンカーや仮設引張アンカーの配置を確認した後、アンカー類の施工を行った。既存躯体内部の鉄筋等により仮設引張アンカーの



写真-3 内部鉄筋等配筋状況





写真-4 仮設引張アンカー台直し状況



写真-5 柱外殻 PCa 部材吊冶具取付状況



写真-6 梁外殻 PCa 部材吊込み状況

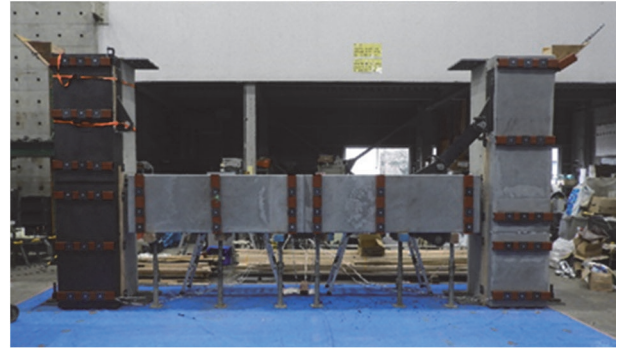


写真-7 外殻 PCa 部材等設置状況



写真-8 柱側内部コンクリート打設状況



写真-9 梁側内部コンクリート打設状況

所定の位置への施工ができない場合には打ち込み位置を修正して施工した後、専用金物を用いて当初の位置にセパレーターを取り付ける必要がある。本試験では写真-4にあるような金物を試作し、台直しを行った。

写真-5に柱の外殻 PCa 部材の吊冶具取付状況を写真-6に梁の外殻 PCa 部材の吊込み状況を示す。外殻 PCa 部材の吊込みは専用冶具を用いて行った。P コン設置孔に金物を固定することによって取り付けることができ、各部材毎の重心位置に合わせて、吊位置を調整できるようにした。

写真-7に外殻 PCa 部材等設置終了時の試験体全体写真を示す。外殻 PCa 部材木口面同士の突き合わせ位置には防水テープを貼付する事で、内部コンクリート打設時のノロ止めとした。外殻 PCa 部材およびガセットプレートの位置が決定した後、拘束材および現場溶接にて固定し柱には打設用のシュートを設置した。

また固定後外殻 PCa 部材全体を確認すると、ファイバーコンクリート製外殻 PCa 部材の側面に微細なクラックが見られた。これは部材吊込み時に生じたものであると考えられるが、全て文献6における補修を必要としないひび割れ幅であると判断し、特に補修せず内部コンクリートの打設作業に移行した。

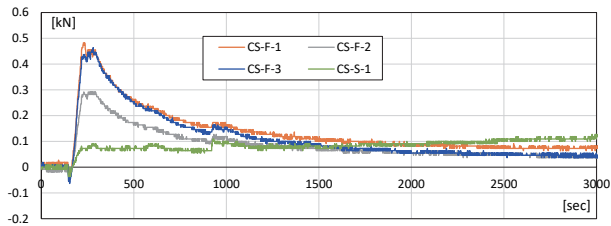
### 3.3 内部コンクリートの打設について

写真-8に柱側内部コンクリート打設状況を、写真-

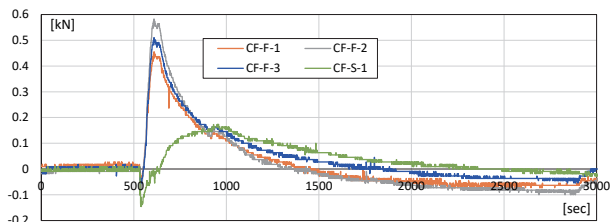
9に梁の打設状況を示す。柱への内部コンクリート打設は、あらかじめコンクリート打設孔にバイブレーターを挿入し、コンクリートを打設しながらバイブレーターを引き上げて充填した。梁部への打設は点検孔からバイブレーターを挿入し、コンクリートの状況を確認しながら内部コンクリートを充填した。図-7に柱基部のセパレーターに生じた引張力の時刻歴を示す。打設と同時に正面方向に配置したセパレーターには瞬間的に大きな引張力が生じたが、その後徐々に低下した。側面方向に配置したセパレーターは正面方向に比べて大きな引張力は発生しなかった。またセパレーターに生じる軸力は、仮設部材の配置計画時に想定していた軸力に比べて、全て1/5以下の小さな値となった。本試験では外殻 PCa 部材に生じる内部コンクリート打設時の側圧は、全てセパレーターおよび接続する仮設引張アンカーが負担する計画とし

ている。実際には通しアンクルへの現場溶接や、その他の仮設部材も側圧を負担していると考えられる。

また内部コンクリートの養生終了後、ワイヤーソーを用いて各部材を切断し、内部コンクリートの充填状況を確認した。写真-10に柱部材の切断面状況を示す。切断面から判断するに、内部コンクリートの部材内部への十分な充填を確認し、またファイバーコンクリート製外殻PCa部材に生じたクラックも部材表層のみに留まっていた。



a) 鋼製外殻PCa部材側



b) ファイバーコンクリート製外殻PCa部材側

図-7 柱基部セパレーター時刻歴図



写真-10 切断面状況 (a-a' 断面位置)

#### 4. まとめ

本報では実大ワンस्पアンフレームを対象とした開口確保型耐震補強の施工試験について報告した。RC外付け補強部には外殻PCa部材を採用した施工手順やその他の仮設部材の配置計画について説明した。施工試験により、セパレーターの配置計画や外殻PCa部材製造方法等、いくつかの改良点が見つかった。今後の現場施工に向けて修正を加える予定である。

**謝辞:** 外殻PCa部材の製作に当たっては千葉窯業内野様にご協力頂きました。また施工手順の検討にはアキラテクノス福田様に多くのご助言を頂きました。ここに記して深い謝意を表します。

なお本研究の一部は、JST 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム(JPMJOP1723)によるものです。

#### 【参考文献】

- 1) 東京都耐震ポータルサイト：  
<https://www.taishin.metro.tokyo.lg.jp/>
- 2) 毎田悠承, 中野佑太, 佐藤匠, 坂田弘安: 既存RC造架構とダンパー付きRC造外付け耐震補強部材との接合部に用いたあと施工アンカーのせん断抵抗に関する解析研究, 日本コンクリート工学年次論文集, pp.499-504, 2021.
- 3) 佐藤匠, 坂田弘安, 原田脩平, 毎田悠承, 久保田雅春, 石田雄太郎: 既存鉄筋コンクリート架構の外付け耐震補強への方杖型ダンパーの適用に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集 その7, その8, pp.647-650, 2021.
- 4) 佐藤真一郎, 新林実, 中川三夫, 飯塚雅弘: プレビック工法に関する構造実験 その1 柱の曲げ実験, pp.51-58, 1985.
- 5) アーキテクノ研究会: イラストによる建築物の仮設計算 改訂3版, 井上書院, 2015.
- 6) 日本コンクリート工学会: コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針, 2013.

**Summary** Seismic retrofitting for existing non-conforming reinforced concrete buildings uses building reinforcement methods that maintain building openings uncovered during work. The proposed method involves attaching a seismic damper as an angle brace against the outer wall of the building. Since all construction work is completed from the building exterior, the reinforcement work can be carried out while the building remains in use with minimal effects on building usability. Additionally, since the seismic dampers are attached as angle braces, any interference with building openings can be minimized.

For RC external reinforcement members in seismic retrofitting work in which the building openings are maintained, only the outer shell is factory-produced as a precast part, assembled on-site and installed by laying internal concrete. Thus, this approach should reduce the on-site construction time and ensure the accuracy of parts.

This paper discusses the results of construction tests using a to-scale single span frame for seismic retrofitting in which building openings are maintained.

**Key Words:** Seismic retrofitting, Seismic response control, Maintaining openings, Outer shell precast members, RC structure