

PC鋼材を用いた外付け耐震補強工法の接合面の仕上げを残した接続方法

(株)富士ピー・エス 正会員 ○守安 和正
 (株)富士ピー・エス 正会員 瀨本 哲嗣
 (株)富士ピー・エス 正会員 八木沼 宏己

1. はじめに

近年、共同住宅の耐震補強工事において、外付け耐震補強工法が多く採用されている。既存建物と補強フレームを一体化する場合、居住者に配慮した低騒音・低振動の接続方法が望まれるが、既存建物に仕上げ材がある場合、一般的には仕上げ材を撤去する必要があるが、その際に発生する騒音・粉じんが居住者に大きな負担となる。そこで、鋼管コッターによる接合に関し、仕上げ材撤去範囲を少なくすることで居住者への環境改善を行うこととした。本報告では、鋼管コッター周囲のみの仕上げ材を撤去して接合したときの接合部性能の確認、接合部耐力の検討およびその実験概要について報告する。

2. 本工法の概要と実験の目的

本工法の概要を図-1に示す。本工法は、PCaの柱・梁からなる新設フレームの対角線上にPC鋼材を配置・緊張した補強架構を、既存架構の外構面にせん断伝達機構として鋼管コッターを用いて、一体化するものである。図-2に本報によって想定している改善方法を示す。これまでの接合方法では補強架構と既存架構の接合部において、既存架構に仕上げが施されている場合は、この仕上げ材を撤去する必要があった。本報では既存架構部分の仕上げ材を鋼管コッター周囲のみ撤去した状態を対象として、要素実験にて接合部耐力が鋼管コッター工法の参考文献¹⁾の評価式と同等以上であることを確認し、繰り返しせん断実験にて接合部の剛性と耐力の関係について確認する。

3. 要素実験

3.1 実験概要

各試験体の概要を表-1に、試験体形状を図-3に示す。試験体は、既存梁を想定して鋼管コッターを取り付けた左右両側のブロックの間にPCa増設部材を想定したブロックを配置し、その間に無収縮モルタルを充填して一体化したものである。試験体のコンクリート強度は既存躯体ブロックは既存建物の標準的な梁を想定し(18N/mm²)、Pca増設ブロックは(50N/mm²)とした。試験体数は破壊モードをパラメーターとし、既存コンク破壊と、鋼管破壊型について各々3体、合計6体とした。試験体の縮尺は1/2.25とし、破壊モードに応じた接合部耐力に対して鋼管コッターの位置、接合面の断面積を設定している。既存躯体ブロック接合面には仕上げ材を想定し、接合部耐力に寄与しないウレタンフォームを配置した。また、実際の仕上げ材の厚みを

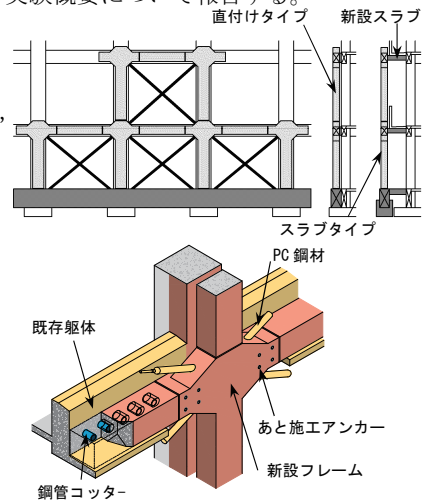


図-1 本工法概要

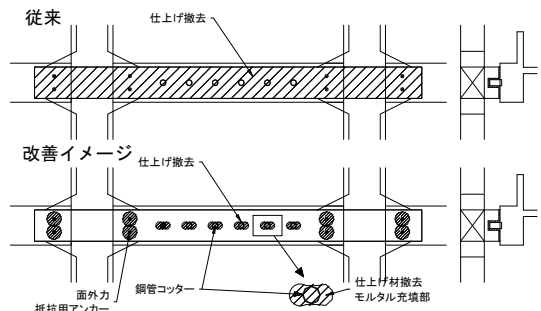


図-2 改善イメージ

表-1 試験体一覧

試験体名	破壊モード	鋼管間隔	鋼管		既存躯体ブロック		PCa増設ブロック		コンクリート強度 既存側/B (N/mm ²)
			直径Dp (mm)	厚さ (mm)	埋込深さ (mm)	有効幅 (mm)	埋込深さ (mm)	厚さ (mm)	
CF1	支圧破壊型	50p	34	3.2	20	160	51	160	18
CF2		50p	34	3.2	20	160	51	160	
CF3		50p	34	3.2	20	160	51	160	
SF1	鋼管破壊型	50p	34	2.3	15	250	51	250	
SF2		50p	34	2.3	15	250	51	250	
SF3		50p	34	2.3	15	250	51	250	

最大 45 mm と想定し、試験体では 20 mm とした。

無収縮モルタル充填範囲は図-4 に示すように、試験体せん断方向に対し、鋼管の埋め込み先端より 45° の範囲とし、その直角方向に対しては鋼管の直径を最少範囲とした。各試験体の既存躯体ブロック接合面にはグリースを塗布し、鋼管コッター以外の抵抗力を除外した。また、使用鋼管は一般構造用炭素鋼管 STK400 とした。

加力方法を図-5 に示す。加力は、一体化した試験体を圧縮試験機にセットし、中央の PCa 増設ブロック中心を加力した。試験体底部にはプレートをセットし、その端部にボルトとプレートをを用いて試験体の回転による影響を与えないように配慮している。測定内容は、荷重、両端の既存躯体ブロックと中央部 PCa 増設ブロックの接合面のずれ、及び破壊状況とした。材料試験結果を表-2 に示す。

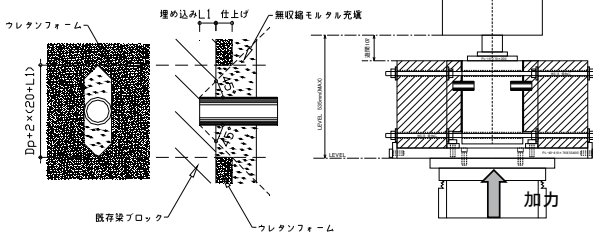


図-4 モルタル充填範囲

図-5 加力方法

3.2 実験結果

各試験体の鋼管 1 つ当りのせん断耐力と相対鉛直変位との関係を図-6、図-7 に、計算値と実験値の耐力の比較を表-3 示す。計算上の耐力は表-2 に示す実験時のコンクリート強度を用いて後述する既往の評価式により算定した。また破壊モードは、鋼管が変形せず鋼管周辺のコンクリートが圧壊した場合は支圧破壊、鋼管の変形により破壊した場合は鋼管破壊とした。各試験体とも実験計画時に想定した破壊モードを示し、各試験体の最大耐力は計算値を上回った。

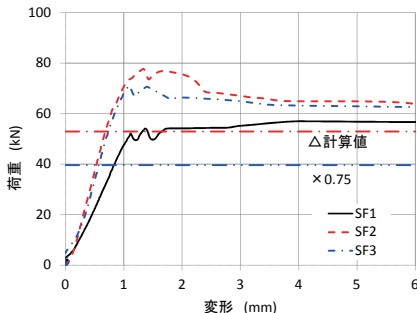
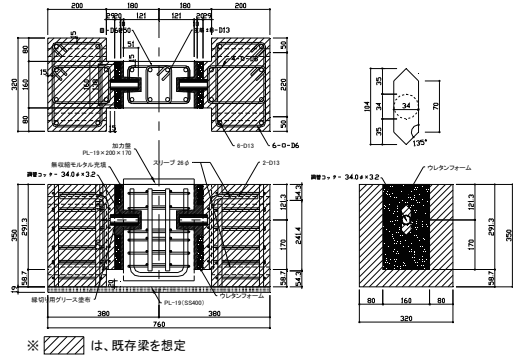
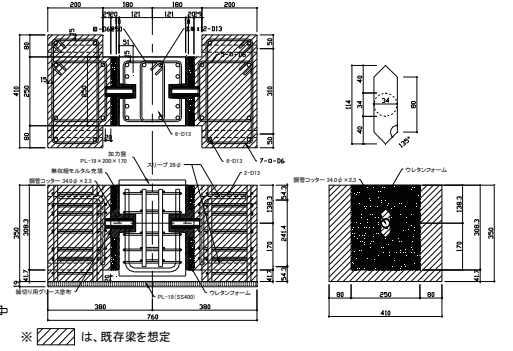


図-6 CF1~CF3 試験体荷重変形関係



CF1~CF3 試験体 (支圧破壊型)



SF1~SF3 試験体 (鋼管破壊型)

図-3 試験体形状

表-2 材料試験結果

材料	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	備考
既存躯体ブロック	17	18.3	2.50 × 10 ⁴	CF、SF共通 既存側梁
Pca増設ブロック	12	63.9	3.39 × 10 ⁴	CF、SF共通 Pca増設スラブ側
無収縮モルタル	6	49.7	—	接合部

表-3 計算値と実験値の耐力比較

試験体名	計算値		実験結果			実験値耐力/計算値耐力		
	想定破壊モード	耐力 (kN)	最大耐力		破壊モード	最大耐力/計算値	2mm変形時耐力/計算値	
			荷重 (kN)	変位 (mm)				
CF1	支圧破壊	54.3	68.7	3.5	66.1	支圧破壊	1.27	1.22
			64.6	2.4	63.3	支圧破壊	1.19	1.17
			69.6	3.5	61.6	支圧破壊	1.28	1.13
SF1	鋼管破壊	52.9	57.6	6.5	54.2	鋼管破壊	1.09	1.02
			77.6	1.4	75.4	鋼管破壊	1.47	1.43
			71.2	1.1	66.4	鋼管破壊	1.35	1.26

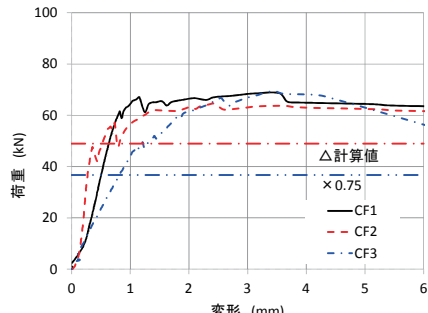


図-7 SF1~SF3 試験体荷重変形関係

(1) 最大耐力での評価

図-8 に示す最大荷重と計算値の比較に接合面全てが充填モルタルである参考文献²⁾の結果もプロットした。本実験と参考文献²⁾の結果に差異は見られない。また、計算値に対する実験値の最大耐力の割合は 1.09~1.47 倍を有しており、想定通りの破壊モードを示している。これらの事から既存梁の仕上げ材を部分撤去した状態での鋼管コッターの耐力は、既往の右式(1)~(3)で評価できると考えられる。

$$q_1 = \phi_1 \cdot 1.46 \cdot D_p \cdot L_{ei} \cdot \left[\frac{t_1}{D_p} \right]^{0.63} \cdot \eta \cdot F_{ci}^k \quad \dots (1)$$

q_1 : 鋼管コッター1つあたりの支圧耐力
 ϕ_1 : 仕上げ材の影響係数
 t_1 : 算出する躯体側の有効幅
 D_p : 鋼管径
 L_{ei} : 算出する躯体側の有効支圧長
 L_1, L_2 : 接合部の部材それぞれへの鋼管埋込長さ $L_1 < L_2$

$L_2 \leq 1.5D_p$ の時
 $L_{ei} = \min(0.3 \times L_2, L_1)$, $L_{ei} = 0.3 \times L_2$
 $L_2 > 1.5D_p$ の時
 $L_{ei} = \min(0.3 \times 1.5D_p, L_1)$
 $L_{ei} = 0.3 \times 1.5D_p$

F_{ci} : 算出する躯体側のコンクリートの設計圧縮強度
 k : コンクリート強度係数 0.3
 η : 支圧耐力係数 11.5

$$q_3 = \phi_1 \cdot \frac{\sigma_{max}}{\sqrt{3}} \cdot A_{SS1} \quad \dots (2)$$

q_3 : 鋼管コッター1つあたりの耐力
 ϕ_1 : 仕上げ材の影響係数
 σ_{max} : 鋼管の引張強度
 A_{SS1} : 鋼管断面積

$$q_2 = \tau_{ui} \cdot A_{si} \quad \dots (3)$$

q_2 : 鋼管コッター1つあたりの躯体側せん断耐力
 τ_{ui} : $0.2F_{ci}$
 A_{si} : 算出する躯体側のせん断面積

(2) 許容せん断ずれ 2mmでの評価

参考文献²⁾を含めた 2mm変形時の荷重と計算値の比較を図-9 に示す。表-3 より、計算値に対する 2mm変形時の実験値で最少となる割合は 1.02 倍であり、平均では 1.21 倍となる。さらに、参考文献¹⁾に倣い耐力評価式で求めた値に対して接合部耐力は 0.75 倍で評価するため、既存梁の仕上げ材を部分撤去した状態でも安全側に評価できる。

4. 繰り返しせん断実験

4.1 実験概要

試験体形状を図-10 に、試験方法を図-11 示す。試験体の縮尺は 1/2.25 とし、PCa 補強フレームの梁を想定した口の字架台にセットした。設計荷重に対して正負 20 回の繰り返し載荷を行い、仕上げ材残存型と仕上げ材撤去型の剛性と耐力の関係を確認する事を目的とする。接合面は要素実験と同様に接合部にウレタンフォームの設置、グリースの塗布を行った。また、鋼管は STK400 を使用した。試験体破壊モードは既存梁側の支圧破壊型、鋼管破壊型の 2 種類で確認することとし、試験体数を各破壊モードに対して仕上げ材撤去型と仕上げ材残存型(改善型)の各 1 体ずつ製作とした。材料試験結果を表-4 に示す。

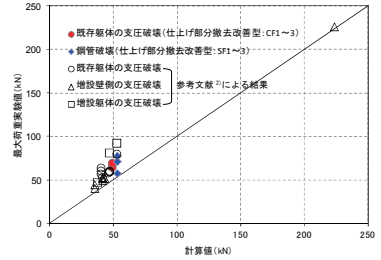


図-8 最大荷重と計算値の比較

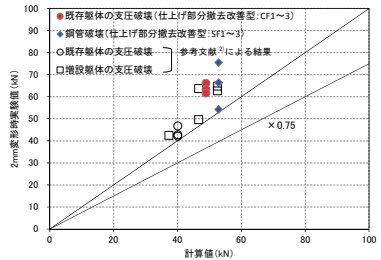


図-9 2mm変形時荷重と計算値の比較

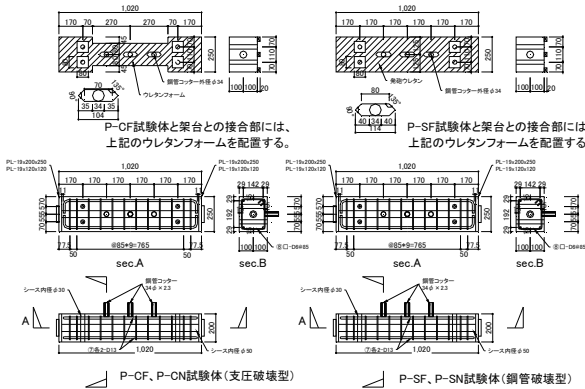


図-10 試験体形状
表-4 材料試験結果

材料	養生方法	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	備考
18(N/mm ²)	部材同一養生	17	18.3	2.13 × 10 ⁴	CF、SF共通 既存側梁
50(N/mm ²)		12	63.9	3.39 × 10 ⁴	CF、SF共通 PCa増設スラブ側
無収縮モルタル (接合部)		7	93.9	—	接合部
グラウト(面外力抵抗A-筋用)		5	44.9	—	接合部

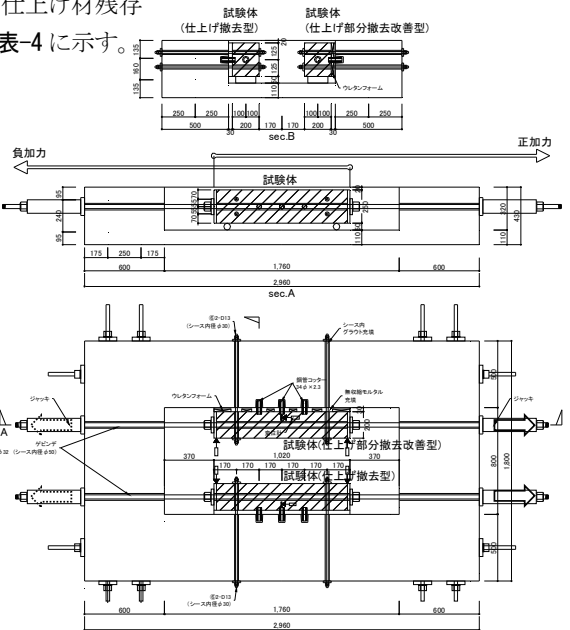
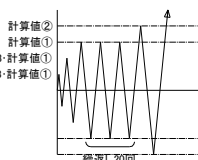


図-11 試験方法

4.2 加力方法

試験体に PC 鋼棒を通線し架台の両端部に設置したジャッキを交互に押し引きすることにより行う。図-12 に各試験体における加力ステップを示す。加力は計算値①(設計耐力)を 20 回繰り返す、最終的に計算値②(新設補強フレームのメカニズム時耐力)とした。



試験体名	想定破壊	想定破壊	計算値① (kN)	計算値② (kN)
P-CF	支圧破壊	残存	135.8	162.9
P-CN		撤去		
P-SF	鋼管破壊	残存	132.2	158.7
P-SN		撤去		

計算値①：鋼管コッター1つ当たりのせん断耐力 q に 0.75 を乗じた値
 計算値②：鋼管コッター1つ当たりのせん断耐力 q
 ここで、 $q = \min(q_1, q_2, q_3, q_4, q_5)$
 $q_1 \sim q_5$ は下記に示す破壊モード毎の鋼管コッター1つ当たりの耐力である。
 q_1 : 既存躯体側支圧耐力、 q_2 : 既存躯体側せん断耐力、 q_3 : 増設部側支圧耐力
 q_4 : 増設部側せん断耐力、 q_5 : 鋼管部耐力

図-12 加力ステップ

4.3 実験結果

各試験体について計算値と実験値の耐力の比較を表-5に、荷重と試験体中央位置でのせん断ずれ変形(P- δ)の関係を図-13、図-14に示す。各試験体は、計算値②の荷重を超えた変形0.3mmの範囲までは、ほぼ同一の変形性能を示していた。また計算値①の繰り返し荷重時の最大せん断ずれ変形は、最少はP-CF試験体で0.08mm、最大はP-CN試験体で0.20mm、と非常に小さく、どの試験体においても繰り返し荷重による大きな耐力・剛性低下はみられない。

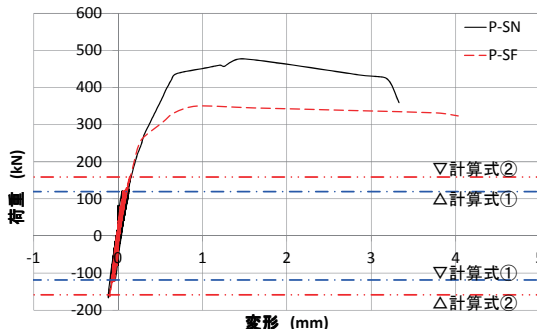


図-13 P- δ 関係図(支圧破壊型)

表-5 計算値と実験値の耐力比較

試験体名	計算値		実験結果				実験値耐力 / 計算値耐力
	想定破壊モード	耐力 (kN)	最大耐力		計算値②変位 (mm)	破壊モード	
			(kN)	(mm)			
P-CF	支圧破壊	162.9	341.6	(1.08)	(0.08)	支圧破壊	2.1
P-CN			518.9	(1.08)	(0.20)	支圧破壊	3.19
P-SF	鋼管破壊	158.7	349.9	(0.94)	(0.14)	鋼管破壊	2.2
P-SN			477.5	(1.48)	(0.15)	鋼管破壊	3.01

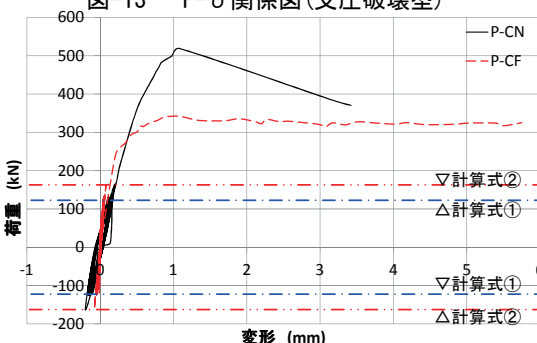


図-14 P- δ 関係図(鋼管破壊型)

5. まとめ

実験結果より以下の知見が得られた。

- 1) 要素実験において仕上げ材の一部を撤去し、改善した試験体では、最大荷重およびせん断ずれ2mm変形時の荷重は計算値を上回っており、仕上げ材の一部を撤去し、改善した鋼管コッターの耐力は、参考文献¹⁾による耐力式で評価できると考えられる。
- 2) スラブの繰り返しせん断実験において仕上げ材の一部を撤去し、改善した試験体では、最大荷重およびせん断ずれ2mm変形時の荷重は計算値を上回っている。また、変形0.3mmの範囲までは既存躯体の仕上げを残した場合の試験体とほぼ同一の変形性能を示していたため、全撤去した場合と同等の剛性と耐力を確保していると考えられる。
- 3) 上記より、既存建物の仕上げ材に関しては一部撤去、改善を行うことにより鋼管コッターの耐力評価を、仕上げを撤去した場合と同等と評価としてもよいと考えられる。

最後に、本報を作成するにあたり、御指導頂いた関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (財) 日本建築総合試験所：建築技術性能証明評価報告書・鋼管コッター工法(改定5) 2012年3月
- 2) 三村, 瀧本, 八木沼: PC鋼材を用いた外付け耐震補強工法における鋼管コッター接合の実験的研究 第23回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, PP157-160, 2014