

# 鋼管をコッターとして用いた耐震補強工法（TO-STC工法）の開発



菊田 繁美\*1

三輪 明広\*2 向井 幸一\*3  
 羽鳥 敏明\*1 荒井 豊人\*3  
 山内 茂一\*1 中原 理揮\*3  
 佐藤 則勝\*4 中井 紳二\*5

## 概 要

本工法は、鉄筋コンクリート造耐震壁または鉄骨ブレースを増設する耐震補強において、既存柱・梁と増設部材の接合材としてあと施工アンカーに替えて鋼管コッターを用いる耐震補強工法である。鋼管コッターはすり込みコッターのせん断力伝達機構を改良・開発した工法であり、耐震補強工事で問題となる振動・騒音・粉塵の発生を抑え、居たままでの耐震補強工事を促進するために開発された工法である。

本報告は、本工法の概要および接合部要素実験と鉄筋コンクリート造耐震壁および枠付き鉄骨ブレースによる増設補強した架構の実験結果の概要についての報告である。

鋼管コッターを接合材として用いた鉄筋コンクリート造耐震壁および枠付き鉄骨ブレースの増設補強骨組みの終局耐力は、実験結果を基に提案した鋼管コッター接合部の耐力式を用いることにより適切に評価できることを示した。

## Development of Seismic Strengthening Method by Seismic Resisting Reinforcement with Steel Tube as Cotter

Shigemi KIKUTA\*1 Akihiro MIWA\*2  
 Kouichi MUKAI\*3 Toshiaki HATORI\*1  
 Toyohito ARAI\*3 Shigekazu YAMAUCHI\*1  
 Masaki NAKAHARA\*3 Norikatsu SATOU\*4  
 Shinji NAKAI\*5

This retrofit method is a seismic strengthening method by the increase of the reinforced concrete seismic resisting wall or the steel brace with frame. The joint element of an existing frame and the increased members was the steel tube cotter instead of the post-installed anchor. The steel tube cotter method is a construction method by which the shearing force transmission mechanism of scrape cotter is improved. It is a seismic strengthening method developed to suppress the generation of the vibration, the noise, and the garbage and to accomplish the construction in the state of residing.

In this paper, the outline of experimental result of the joint element experiment and the reinforced concrete frame experiment strengthened by the increase of reinforced concrete wall or steel brace with frame was described.

The ultimate shear strength of steel tube cotter joint was proposed appropriately based on the joint element experimental result. It was shown to be able to evaluate ultimate strength of the retrofitted frame by the steel brace with frame or reinforced concrete seismic resisting wall.

\*1技術研究所 \*2生産技術開発部 \*3構造設計部 \*4千葉支店営業部設計室 \*5建築工事技術部

\*1Technical Research institute \*2Architectural Technology Dept. \*3Structural Engineering Dept.

\*4Structural Engineering Dept. Chiba Branch \*5Architectural Engineering Dept.

# 鋼管をコッターとして用いた耐震補強工法（TO-STC工法）の開発

菊田 繁美*1	三輪 明広*2
向井 幸一*3	羽鳥 敏明*1
荒井 豊人*3	山内 茂一*1
中原 理揮*3	佐藤 則勝*4
	中井 紳二*5

## 1. はじめに

阪神淡路大震災以後、既存建物の耐震診断・耐震補強工事が数多く行われている。耐震補強工事では、工事に伴う振動・騒音・粉塵対策が問題となる。本工法は、このような工事での騒音・振動・粉塵の発生を抑え、居たままでの耐震補強工事を促進するために開発された鉄筋コンクリート（以下RCと呼ぶ）造耐震壁または枠付き鉄骨ブレースの増設工法（鋼管コッター工法）である<sup>1),2),3)</sup>。

本報告は、本工法の概要および構造性能確認のために実施した要素実験と架構実験による検討結果の概要を述べる。

## 2. 工法の概要

本工法は、既存の梁・柱躯体と増設するRC造耐震壁または枠付き鉄骨ブレースの接合方式として、研り込みコッターのせん断力伝達機構を念頭に、改良・開発した鋼管コッターを用いる工法である。鋼管コッターの一例を図-1に、本工法の概要を図-2に示す。本工法で対象とする補強には、梁・柱で囲まれた骨組内部にRC造耐震

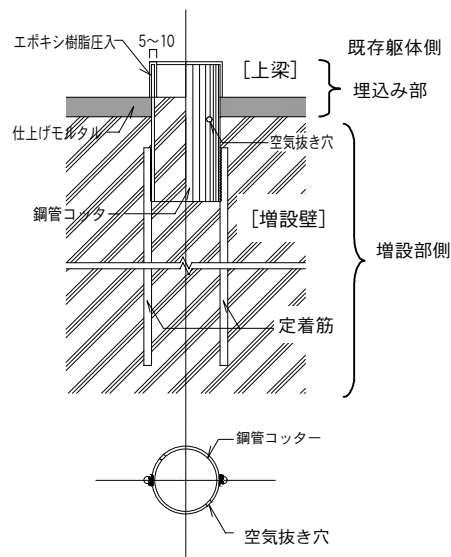


図-1 鋼管コッターの一例

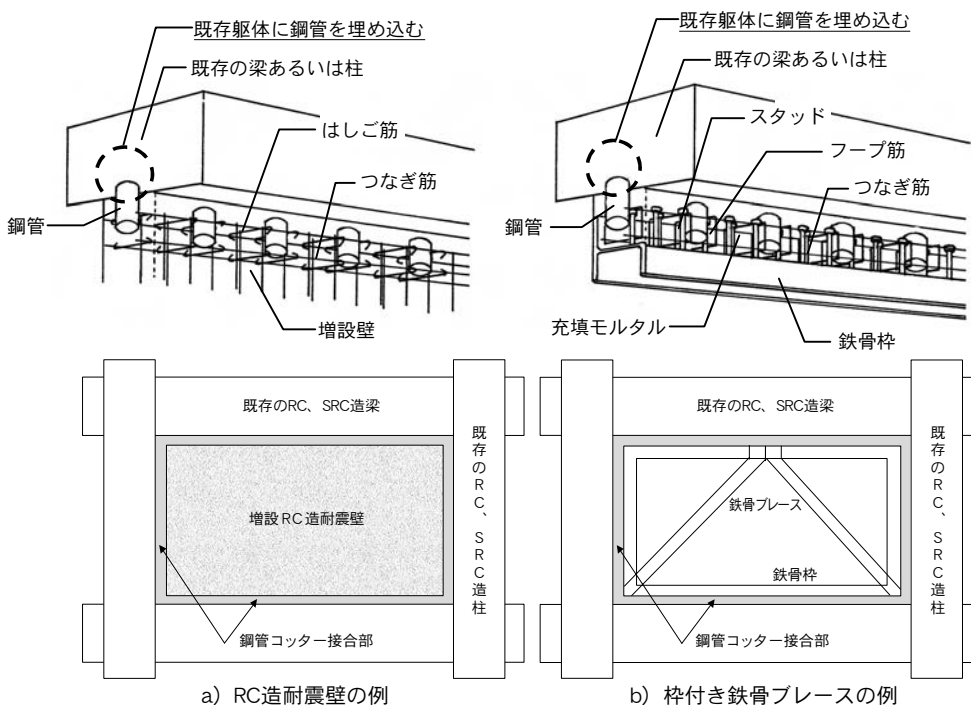


図-2 鋼管コッター工法による耐震補強工法の概要

\*1技術研究所 \*2生産技術開発部 \*3構造設計部 \*4千葉支店営業部設計室 \*5建築工事技術部

壁または枠付き鉄骨ブレースを新たに増設する場合と既存RC造耐震壁の壁厚を増す増打壁がある。また、一部外側補強にも適用できる。なお、補強対象となる既存躯体のコンクリート圧縮強度は13.5 N/mm<sup>2</sup>以上とし、鋼管コッター接合部に接する仕上げモルタルは、一定条件を満足した場合<sup>4)</sup>、残存させることができ、その影響を終局耐力評価に反映させている。

本工法は、あと施工アンカー工法に比べて、以下の利点を有する。

- ①鋼管コッター取付け用の溝にコアドリルを用いるため、騒音・振動・粉塵発生が軽減される。
- ②鋼管コッター取付け用の削溝深さは、既存躯体の鉄筋の標準被り厚さ以下としているため、柱・梁の鉄筋を傷つけず、任意の位置に鋼管コッターを設置することが可能となる。
- ③本工法は既存躯体の仕上げモルタルを残した状態でも耐力を発揮することを確認しているため、仕上げモルタルを残した耐震補強が可能である。
- ④削溝深さが小さいため、作業時間の短縮により施工効率が向上する。

既存躯体に鋼管コッターを取付けるまでの本工法の標準的な施工手順例を図-3に示す。

### 3. 構造的な確認実験

本工法による設計方法を検討する目的で、鋼管コッター接合部の要素実験と本工法で補強された架構試験体架構による架構実験を行った。

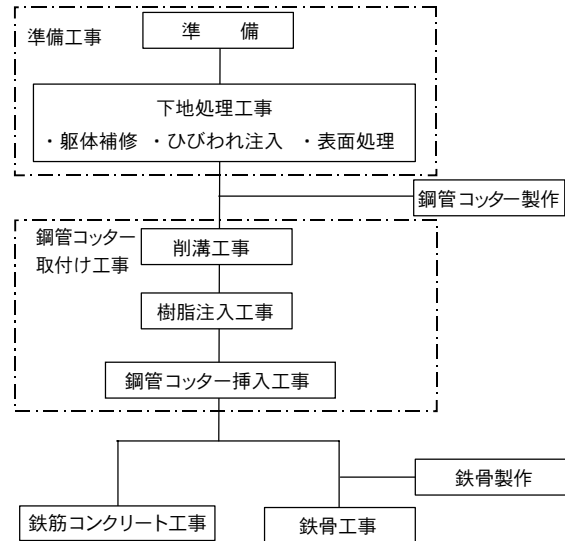


図-3 鋼管コッター工法の標準的な施工手順例

### 3.1 要素実験の概要と結果

#### 3.1.1 試験体概要

要素実験の目的は鋼管コッター接合部の耐力を実験から把握することである。実験に用いた試験体の一覧を表-2に示す。試験体は縮尺1/2.25が24体、実大1体の合計25体であり、①鋼管間隔の影響 (No.1~4)、②既存躯体側の破壊形式 (a-1~5)、③増設壁側の破壊形式 (b-1~7)、④埋込深さが大きい場合の既存躯体側の破壊形式 (c-1~5)、⑤ブレース補強への適用 (d-1、2)、仕上げモルタルの影響 (d-3)、実大の耐力の把握 (d-4) についての、計5シリーズで構成されている。増設壁側のコンクリート強度は19.7~34.9N/mm<sup>2</sup>、既存躯体側

表-1 試験体一覧

試験体名	定着筋	仕上げモルタル (N/mm <sup>2</sup> )	鋼管間隔	鋼管			増設側コンクリート			躯体側コンクリート		
				直径Dp (mm)	厚さ (mm)	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	定着深さ (mm)	壁厚 (mm)	コンクリート強度 (N/mm <sup>2</sup> )	埋込深さ (mm)	躯体厚 (mm)	コンクリート強度 (N/mm <sup>2</sup> )
No.1	無し	無し	3Dp	48.6	2.3	468	60	80	25.9	160	300	25.8
No.2	無し	無し	2Dp	48.6	2.3	468	60	80	25.9	160	300	25.8
No.3	無し	無し	3Dp	48.6	2.3	468	70	80	25.9	20	180	25.8
No.4	無し	無し	2Dp	48.6	2.3	468	70	80	25.9	20	180	25.8
a-1	無し	無し	3Dp	34	2.3	468	70	170	19.7	15	156	16.7
a-2	無し	無し	4.5Dp	34	2.3	468	70	170	19.7	15	156	16.7
a-3	無し	無し	6Dp	34	2.3	468	70	170	19.7	15	156	16.7
a-4	無し	無し	4.5Dp	34	2.3	468	70	170	19.7	15	156	11.2
a-5	無し	無し	4.5Dp	34	2.3	468	70	170	19.7	15	156	15.5
b-1	有り	無し	3Dp	34	2.3	468	51	89	19.7	15	300	16.7
b-2	有り	無し	4.5Dp	34	2.3	468	51	89	19.7	15	300	16.7
b-3	有り	無し	6Dp	34	2.3	468	51	89	19.7	15	300	16.7
b-4	有り	無し	4.5Dp	34	2.3	468	68	89	19.7	15	300	16.7
b-5	有り	無し	4.5Dp	34	2.3	468	51	89	19.7	15	300	16.7
b-6	無し	無し	4.5Dp	34	2.3	468	51	89	19.7	15	300	16.7
b-7	無し	無し	4.5Dp	34	2.3	468	68	89	19.7	15	300	16.7
c-1	無し	無し	3.26Dp	34	2.3	468	160	430	19.7	68	266	16.7
c-2	無し	無し	3.26Dp	48.6	2.3	468	160	430	19.7	97.2	266	16.7
c-3	無し	無し	3.26Dp	34	2.3	468	160	430	19.7	34	266	16.7
c-4	無し	無し	3.26Dp	34	2.3	468	160	430	19.7	68	266	15.5
c-5	無し	無し	3.26Dp	34	2.3	468	160	430	19.7	68	266	11.2
d-1	無し	無し	4.5Dp	34	2.3	468	51	111	34.9	25	300	26.4
d-2	無し	無し	4.5Dp	34	2.3	468	68	150	34.9	68	300	26.4
d-3	無し	13.3	4.5Dp	34	2.3	468	51	89	29.8	15	300	26.4
d-4	無し	無し	4.5Dp	76.3	4	468	115	200	29.8	25	675	26.4



られた実験結果の概要を以下に示す。

- ①鋼管間隔が3D<sub>p</sub>のa-1試験体は図-7に示すように既存躯体のせん断破壊の様相を呈したが、鋼管間隔が4.5D<sub>p</sub>以上のa-2,3,4,5試験体は既存躯体が支圧破壊した。
- ②鋼管間隔が3D<sub>p</sub>の b-1試験体は増設壁側のせん断破壊の様相を呈したが、鋼管間隔が4.5D<sub>p</sub>以上のb-2~7試験体は増設壁側が支圧破壊した。

実験で得られた各試験体の鋼管1つ当たりのせん断力と、既存躯体と増設壁部分の相対鉛直変形関係の代表例を図-6に示す。図中には文献<sup>5)</sup>の設計指針式による終局耐力の設計値を併記した。試験体の破壊状況の例として、既存躯体側のせん断破壊を呈したa-1試験体を図-7に示す。



図-7 a-1試験体の破壊状況

### 3.1.3 鋼管側面支圧耐力評価

鋼管側面のコンクリートの支圧耐力を、文献6の評価式を要素試験結果に基づいて修正した下式で評価した。なお、仕上げモルタルの影響については、仕上げモルタル影響係数φとして取入れた。実験値と本評価式による計算値の比較を図-8に示す。計算値は実験値の下限を評価している。

## 3.2 架構実験の概要と結果

### 3.2.1 実験目的と概要

補強された骨組の耐力算定方法の妥当性を検証することを目的として、架構試験体による架構実験を実施した。

架構試験体は表-3に示すように、従来のあと施工アンカーにより耐震壁を増設した架構試験体1体(WZ-01)、本工法により耐震壁を増設した架構試験体3体(WK-02~04)および本工法により鉄骨ブレースを増設した架構試験体1体(WK-05)の合計5体である。全試験体とも既存架構は同一とした。本工法による増設耐震壁架構試験体は鋼管径の違いおよび仕上げモルタルの有無の3体である。WK-03試験体に用いた仕上げモルタルは発泡スチロールを混入し8.2N/mm<sup>2</sup>の低強度としている。WK-04、WK-05試験体の鋼管コッター接合部詳細を図-9、試験体形状を図-10に示す。加力サイクルを図-11に示す。

既存躯体の支圧耐力  $q_1$

$$q_1 = \phi \cdot 1.46 D_p \cdot L_{e1} \cdot \left( \frac{T_1}{D_p} \right)^{0.63} \cdot \eta \cdot F_{c1}^{\kappa}$$

$L_2 \leq 1.5 D_p$  の時

$$L_{e1} = \min(0.3 \times L_2, L_1)$$

$L_2 > 1.5 D_p$  の時

$$L_{e1} = \min(0.3 \times 1.5 D_p, L_1)$$

但し、 $L_2 > L_1$

増設壁の支圧耐力  $q_3$

$$q_3 = \phi \cdot 1.46 D_p \cdot L_{e2} \cdot \left( \frac{T_2}{D_p} \right)^{0.63} \cdot \eta \cdot F_{c2}^{\kappa}$$

$L_2 \leq 1.5 D_p$  の時

$$L_{e2} = 0.3 \times L_2$$

$L_2 > 1.5 D_p$  の時

$$L_{e2} = 0.3 \times 1.5 D_p$$

但し、 $L_2 > L_1$

コンクリートの支圧耐力を決定する係数： $\kappa$ 、 $\eta$

$\kappa = 0.3$

$\eta = 11.5$  (定着筋なし)、 $\eta = 14.0$  (定着筋あり)

$\phi$  : 仕上げモルタル影響係数 (モルタル有り=0.8、モルタル無し=1.0)

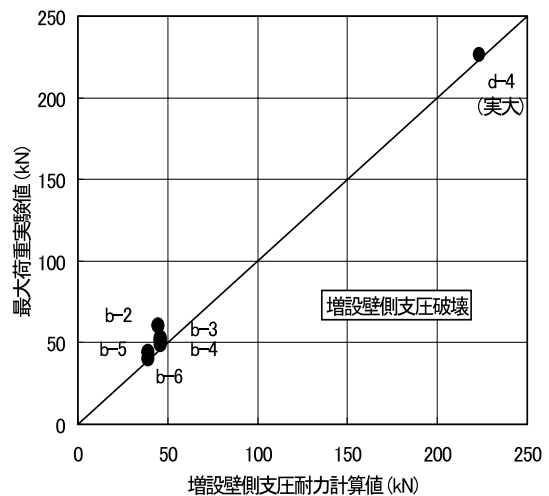
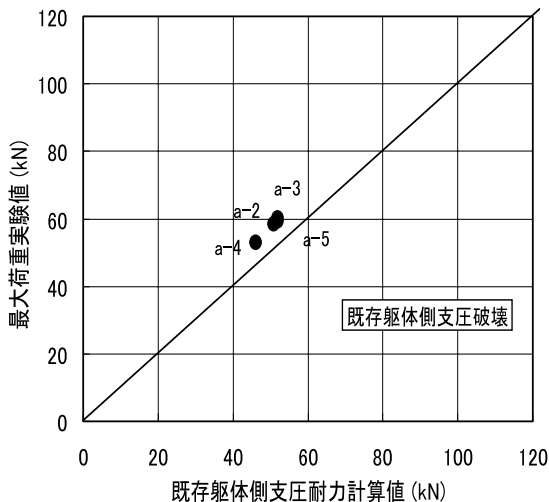
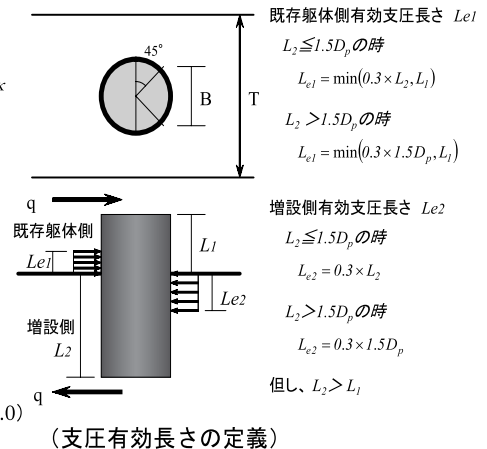


図-8 支圧耐力の実験値と計算値の比較

表-3 架構試験体の概要

試験体名	接合方法	鋼管・アンカー仕様	補強方法	備考
WZ-01	あと施工アンカー	D13@110	増設RC壁	
WK-02	鋼管コッター	48.6φ×2.3@330	増設RC壁	充填モルタル(上部150mm)
WK-03	鋼管コッター	48.6φ×2.3@330	増設RC壁	充填モルタル(上部150mm) 仕上げモルタル(周囲14mm)
WK-04	鋼管コッター	34.0φ×2.3@155	増設RC壁	
WK-05	鋼管コッター	34.0φ×2.3@150	増設鉄骨ブレース	充填モルタル(周囲70mm)

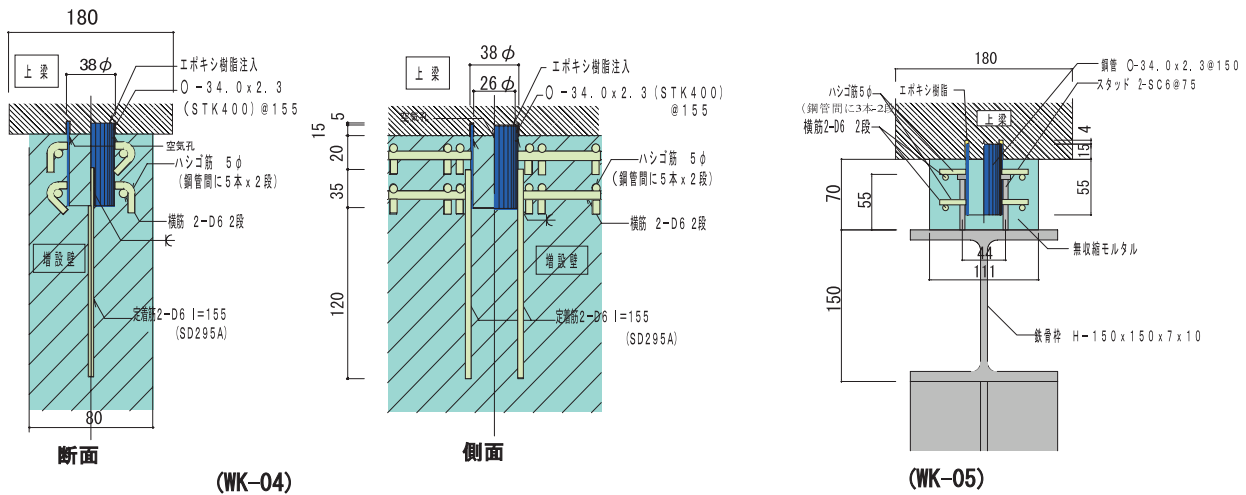


図-9 鋼管コッター接合部詳細図

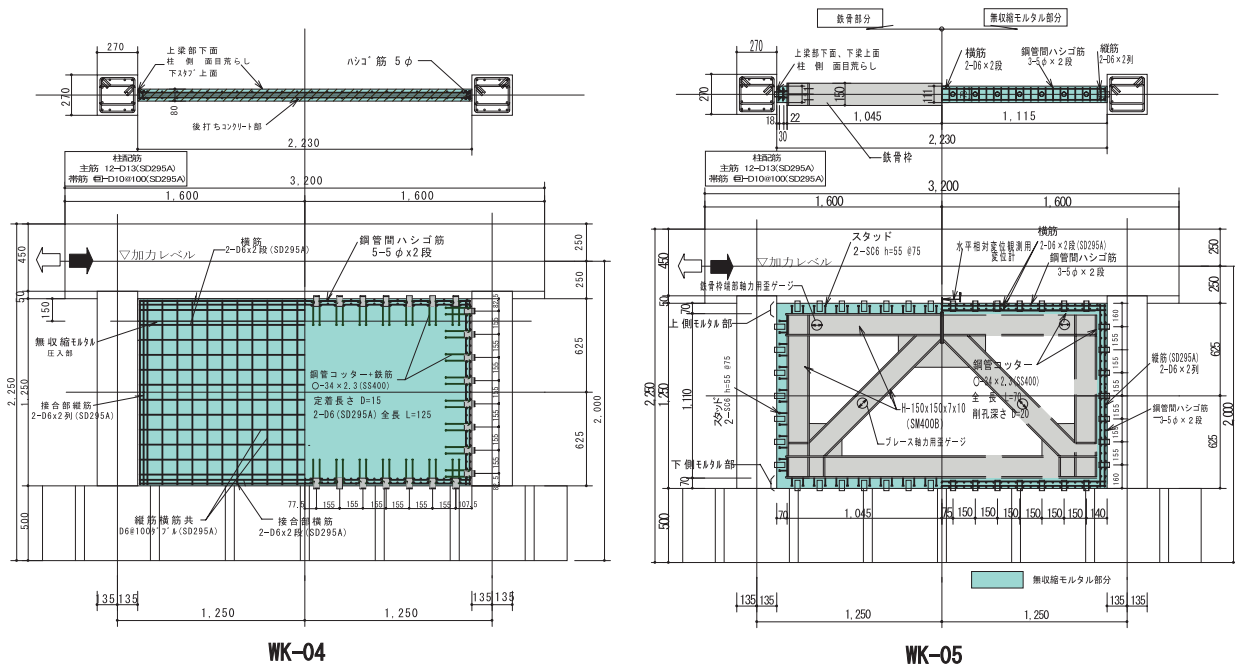


図-10 試験体概要

### 3.2.2 実験結果

実験で得られた各試験体の荷重-変形関係と最終破壊状況の例を図-12に示す。荷重-変形関係の図中には、次項に示す計算値と設計値を併記した。各試験体の破壊は、WZ-01とWK-04が増設壁部分のせん断すべり破壊、WK-02とWK-03が上梁下の鋼管コッター周囲の増設壁コンクリート部における支圧型破壊、WK-05が接合部

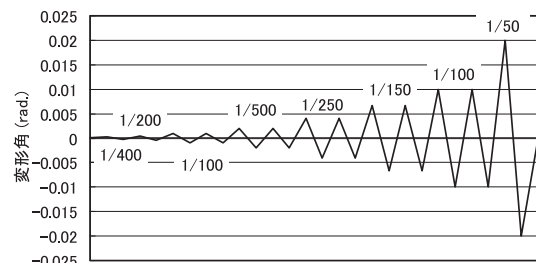
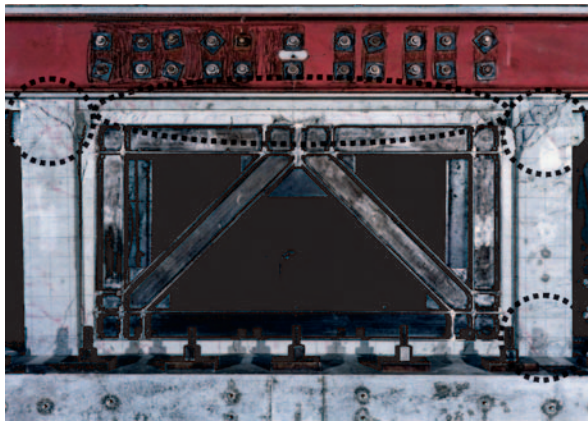


図-11 加力スケジュール



接合部破壊+引張側柱頭部のパンチング破壊  
+圧縮側柱の曲げ破壊

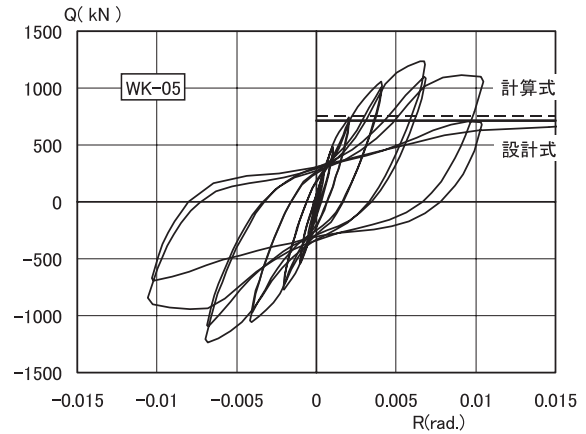


図-12 荷重－変形関係および最終破壊状況

表-4 最大耐力の実験値と計算値および設計値の比較

試験体名		WZ-01	WK-02	WK-03	WK-04	WK-05	
実験値	最大耐力	1377	1174	939	1257	1238	
	破壊モード	壁せん断破壊	接合部破壊	接合部破壊	壁せん断破壊	接合部破壊	
計算式	増設部破壊*5	1148	1148	1148	1148	1445	
	接合部破壊*6	接合部	579	457	366	675	450
		引張柱	262	273	287	275	221
		圧縮柱	107	110	107	113	87
		壁ストラット	184	184	61	192	0
	合計	1132	1024	821	1255	758	
	曲げ破壊*3	1520	1520	1520	1520	1520	
実験値/計算値*4	1.22	1.15	1.14	1.10	1.63		
破壊モード	接合部破壊	接合部破壊	接合部破壊	壁せん断破壊	接合部破壊		
本設計式	増設部破壊*1	821	821	821	821	1445	
	接合部破壊*2	接合部	579	411	329	608	405
		引張柱	262	273	287	275	221
		圧縮柱	107	110	107	113	87
		壁ストラット	184	184	61	192	0
	合計	1132	978	784	1188	712	
曲げ破壊*3	1520	1520	1520	1520	1520		
実験値/計算値*4	1.68	1.43	1.20	1.54	1.74		

\*1：WZ-01、WK-02、03、04は側柱付き耐震壁、WK-05はの枠付きプレースの文献5)設計施工指針4.2.6のせん断耐力設計式

\*2：文献5)設計施工指針4.2.4および4.2.6の設計式

\*3：文献5)設計施工指針4.2.5の設計式

\*4：計算値は増設部破壊、接合部破壊、曲げ破壊の各強度の最小値

\*5：次式による

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.068P_{te}^{0.23}(F_c + 18)}{\sqrt{M/(Q \cdot I_d)} + 1.2} + 0.85\sqrt{P_{se} \cdot w \cdot \sigma_y} + 0.1\sigma_{oe} \right\} \cdot b \cdot b_e \cdot j_e$$

\*6：文献5)設計施工指針4.2.4および4.2.6の設計式を用いるが、4.2.4で乗じる0.9を1.0とした。

破壊、引張側柱頭部のパンチング破壊および圧縮側柱の曲げ破壊であった。

周辺フレームに仕上げモルタルのあるWK-03は、早い段階で仕上げモルタルが増設壁との打継部で剥離したが、1/150程度の変形角までは耐力を保持しており、また、その後の耐力低下も緩やかなものであり、耐震壁の斜張力破壊またはせん断すべり破壊などのせん断破壊の兆候はみられなかった。

WK-04は変形角1/4000で壁板にせん断初ひび割れが

発生、その後壁板の全面にせん断ひび割れが伸展し徐々にひび割れ幅が拡大した。1/150の加力途中で最大耐力が生じた直後、壁板の中央に水平方向のひび割れが発生し、せん断すべり破壊を呈し耐力が低下した。なお、接合部は比較的健全であった。

WK-05は変形角が1/4000において基礎スタブとの接合部モルタル部分、1/2000において柱脇の接合部モルタル、1/500において加力梁との接合部モルタル部分にひび割れが発生した。その後加力梁との接合部モルタル

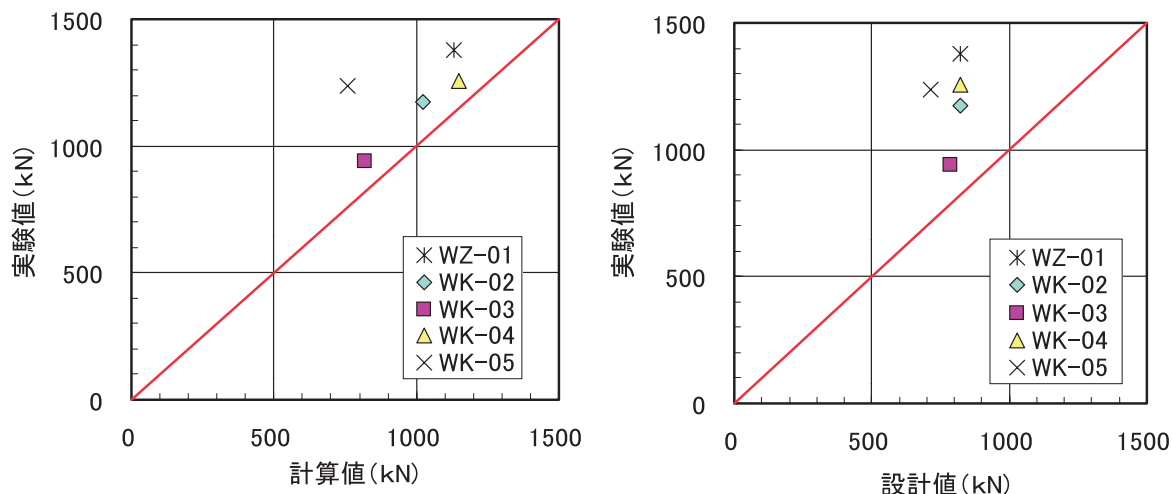


図-13 最大耐力の実験値と計算値および設計値の比較

の中央位置に水平方向のひび割れが伸展し、同接合部が破壊した。1/100においても鉄骨ブレースは降伏せず、また最大耐力の約80%前後の耐力は維持しており、急激な耐力低下は見られなかった。

### 3.2.3 実験結果と設計式の適合性

最大耐力について実験結果と計算結果の一覧を、表-4および図-13に示す。WZ-01はあと施工アンカーによる試験体であるため、結果は参考値である。計算値および設計値は、増設部破壊、接合部破壊、曲げ破壊の各強度のうち、最小値とした。

計算式においては、実験値との最大耐力の比が1.10～1.63となり、いずれの試験体とも計算式は安全側に耐力を評価した。また、破壊モードについては、計算式の破壊モードがWK-04は増設部破壊、WZ-01、WK-02、WK-03、WK-05は接合部破壊であり、WZ-01を除いて実験の破壊モードに一致した。WZ-01試験体は、本計算式の適用範囲外であるものの、実験値/計算値の比が増設部破壊の場合1.20、接合部破壊の場合1.22となり、両者の計算値の差が非常小さかったため、破壊モードに差異が生じたものと考えられる。

設計指針<sup>5)</sup>で提案した式（設計式）においては実験値との最大耐力の比が1.43～1.74となり、いずれの試験体とも設計式は十分安全側に耐力を評価できた。仕上げモルタルの残存を想定したWK-03は、仕上げモルタルの強度が8.2N/mm<sup>2</sup>と非常に弱かったが、実験値/設計値の比は1.20となり、耐力を安全側に評価できた。以上の

ことから、設計指針<sup>5)</sup>で提案した設計式は骨組の終局耐力を適切に評価できるものと判断できる。

## 4. まとめ

実験結果ならびに既往のRC造と既存鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準および耐震改修設計指針で示されている内容から、鋼管コッターを接合材として用いてRC造耐震壁および枠付き鉄骨ブレース等で補強した骨組みの終局耐力は、設計施工指針<sup>5)</sup>で提示した設計式を用いて十分安全側に評価できた。

### 【参考文献】

- 1) 向井 幸一他：鋼管をコッターとして用いた耐震補強工法の実験的研究（その1,2）日本建築学会大会学術講演梗概集（2001）pp.1191-1194
- 2) 向井 幸一他：鋼管をコッターとして用いた耐震補強工法の実験的研究（その3,4,5）日本建築学会大会学術講演梗概集（2002）pp.714-718
- 3) 向井 幸一他：鋼管をコッターとして用いた耐震補強工法の実験的研究（その6,7）日本建築学会大会学術講演梗概集（2003）pp.685-688
- 4) (財)日本建築防災協会：連続繊維補強材を用いた既存鉄筋コンクリート造及び鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計・施工指針、平成11年9月
- 5) 日本建築総合試験所：建築技術性能証明 評価概要報告書 鋼管コッター(TO-STC)工法、第03-04号、2003年9月
- 6) 建設省土木研究所：プレキャストブロック工法によるプレストレストコンクリート道路橋設計・施工指針（案）、1995年