

# 鋼管コッター工法を用いた補強耐震壁の構造・施工実験



向井 幸一<sup>\*1</sup>

荒井 豊人<sup>\*1</sup> 中原 理揮<sup>\*1</sup>  
羽鳥 敏明<sup>\*2</sup> 山内 茂一<sup>\*2</sup>  
菊田 繁美<sup>\*2</sup> 岩波 光一<sup>\*3</sup>  
三輪 明広<sup>\*3</sup>

## 概 要

平成7年の阪神淡路大震災の発生、そして耐震改修促進法の施行を受けて、既存建物の耐震診断、および耐震補強工事が盛んに行われている。このような中で、工事中に移転する必要がなく、また業務を継続しながら工事ができる『居ながら耐震補強工事』への要望が最近急増してきた。『居ながら耐震補強工事』では、低振動、低騒音、そして少粉塵といった環境への配慮が強く要求される。鋼管コッター工法は、これらの要求に応えながら補強耐震壁を増設するために開発された工法であり、接合部実験、実大実験、および施工実験により、その実用性の確認を行った。

## EARHTQUAKE RESISTING WALL REINFORCED WITH STEEL TUBE COTTER AND PERFORMANCE FOR CONSTURCTION WORK

Kouichi MUKAI<sup>\*1</sup> Toyohito ARAI<sup>\*1</sup>  
Masaki NAKAHARA<sup>\*1</sup>  
Toshiaki HATORI<sup>\*2</sup>  
Shigekazu YAMAUCHI<sup>\*2</sup> Shigemi KIKUTA<sup>\*2</sup>  
Kouichi IWANAMI<sup>\*3</sup> Akihiro MIWA<sup>\*3</sup>

Seismic performance evaluations for existing structures and earthquake-proof reinforcements have been in great demand ever since 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake and the enforcement of promoting earthquake-proof improvements. Above all, the numbers of the request for “earthquake-proof reinforcements while occupants still staying its structure” has been increased since its occupants do not wish to move out and would like to continue to work during the renovation period. This type of improvement work must be environmentally attributed to small vibration, low noise and reduction of pulverized dust. The method of placing steel tube cottes has been developed in order to enhance the structural safety and to meet the demands mentioned above. The paper thoroughly evaluates the behavioral performance of connections, full-scale model and construction work test.

\*1 建築設計統轄部構造設計部

\*2 技術統轄部技術研究所

\*3 技術統轄部生産技術開発部

# 鋼管コッターを用いた補強耐震壁の構造・施工実験

向井 幸一\*1 荒井 豊人\*1  
 中原 理揮\*1 羽鳥 敏明\*2  
 山内 茂一\*2 菊田 繁美\*2  
 岩波 光一\*3 三輪 明広\*3

## 1. はじめに

平成7年大都市の建築に多大な被害をもたらした阪神淡路大震災以来、既存建物の耐震診断及び、耐震補強工事が盛んに行われるようになった。当初は、補強工事のため一時的に別の建物へ移転することが一般的であった。しかしながら、移転にかかる費用の問題、営業を一時停止する間の損失の問題が顕在化し、減速経済の中で、企業は建物の補強工事に踏み切れない状況が続いている。一方、耐震改修促進法に基づいて、不特定多数の人が利用する店舗、病院等は行政から耐震改修の勧告を受けており、徐々に補強計画を実施に移す動きを見せ始めている。このような背景のもと、最近では居ながらの耐震補強工事が、注目を浴びている。工事中に移転することなく、業務を継続しながら補強工事を行うのでメリットが多い。ただし、その際問題となるのが、工事に伴う振動・騒音・粉塵に関する対策である。

本社技術開発プロジェクト「居ながら耐震補強工法の開発」チームでは、平成11年4月よりこの問題に取り組んできた。耐震補強法としては、図-1に示すように、補強目的、方法、要素、接合法により各種考えられるが、中低層の鉄筋コンクリート構造物を対象とした場合には、『耐震壁増設』の方法による補強の効果が最も高い。

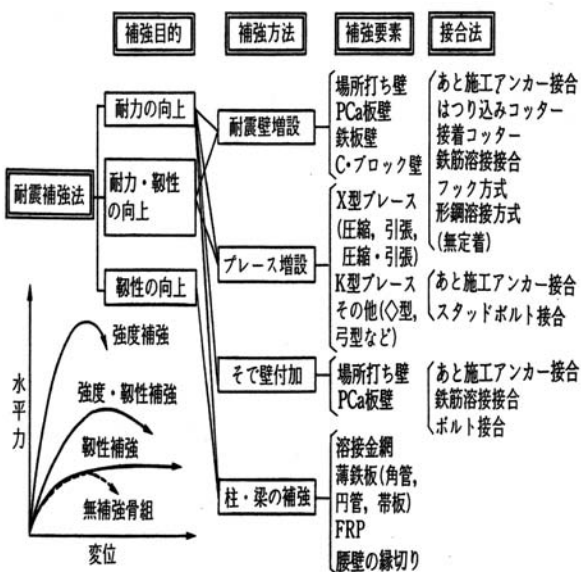


図-1. 耐震補強法の種類<sup>1)</sup>

そこで、この『耐震壁増設』の方法にねらいを定め、低振動・低騒音の要請に応える耐震補強工法を立案し、構造実験及び、施工実験によりその実用性を確認したので、ここに報告する。

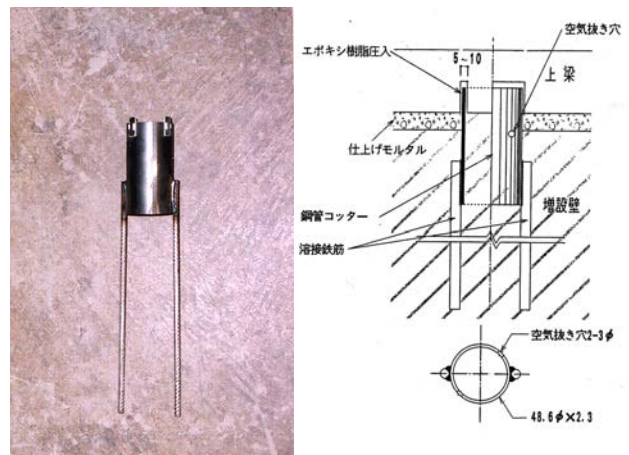


写真-1. 鋼管コッター 図-2. 鋼管コッター詳細図

## 2. 鋼管コッターを用いた補強耐震壁

従来の耐震補強工事では、耐震壁を増設する際、既存躯体(柱・梁)にドリルで孔を明け、あと施工アンカーを挿入して固定し、壁の鉄筋をこのアンカー筋に重ねるように配筋し、コンクリートを打設する方法を取っている。この場合、ドリルの使用時に、振動と騒音及び粉塵が発生する。特に騒音は、建物内の広範囲に伝わるため、居ながらの補強工事では大きな問題となっている。

ここに提案する工法は、あと施工アンカーに代えて、鋼管コッターを用いるものである。鋼管コッターは、写真-1に示すように、既製品の構造用鋼管(直径60mm~110mm)に鉄筋を溶接したもので、これを既存躯体に25mm~30mmのみこませ、柱・梁で構成する架構と、増設する鉄筋コンクリート壁のずれ止めとする。

鋼管を既存躯体に固定するために、まず、コアドリルを用いて躯体に円形の溝(幅5mm~10mm)を掘る。コアドリルを使用するため、従来のドリルに較べて、騒音・振動・粉塵の発生が軽減される。また、削孔深さが浅いので、柱・梁の鉄筋を傷つけず、コンクリートのかぶり厚さの中で、任意の位置に鋼管コッターを設置することが可能となり、孔あけに要する作業時間が短縮され、施工効率

\*1 建築設計統轄部構造設計部

\*2 技術統轄部技術研究所

\*3 技術統轄部生産技術開発部

が向上する。この溝に接着材（エポキシ樹脂）を注入し、後から鋼管を挿入して接着材の硬化を待つ。24時間後（翌日）増設壁の配筋を行い、コンクリートを打設して補強耐震壁の工事を完了する。

なお、これら一連の鋼管コッター工事の施工効率を向上させるため、「日本ヒルティ株式会社」との共同研究により、コアドリルの刃先の改良、削孔作業のシステム化、上向きでも垂れない接着材の改良等を行った。

### 3. 構造実験

鋼管コッターを用いた補強耐震壁の性能を把握するために、まず、鋼管コッターの接合部耐力を把握するための予備実験を行った。次に、鋼管コッターにより既存のフレームと一体化された増設耐震壁の耐力と変形性能を把握するための本実験を行った。

#### 3.1 予備実験

##### (1) 実験概要

図-3に示すような2つの破壊形式を想定した試験体を用い、それぞれの破壊形式を検証するとともに耐力を把握した。試験体は、表-1に示す4体とし、それぞれの破壊形式に対し鋼管コッターのピッチをパラメータとする2種類ずつとした。（図-4、および図-5参照）なお、加力はアムスラー型試験機による一方向漸増加力とした。

[使用材料]

- ・鋼管コッター S S 4 0 0
- ・コンクリート 普通コンクリート  $F_c = 24 \text{ N/mm}^2$
- ・鉄筋 S D 2 9 5 A

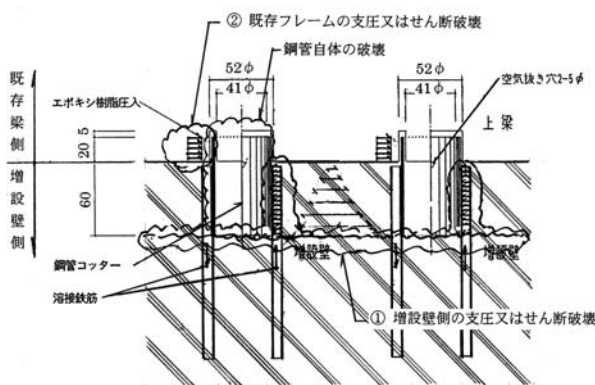


図-3. 鋼管コッター接合部の想定破壊位置

表-1. 予備実験に用いた試験体一覧

試験体番号	想定破壊位置	鋼管コッターピッチ
No. 1		@ 145.8mm
No. 2		@ 97.2mm
No. 3		@ 145.8mm
No. 4		@ 97.2mm

：増設壁側の支圧、またはせん断破壊  
 ：既存フレームの支圧、またはせん断破壊

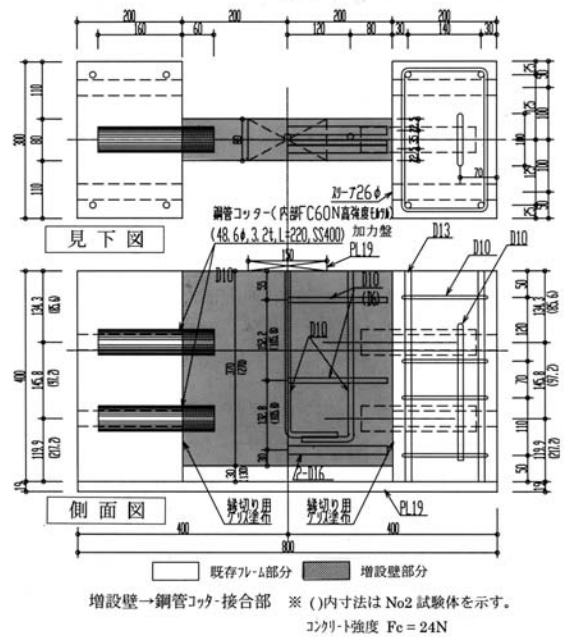


図-4. No.1 試験体図、No.2 試験体図

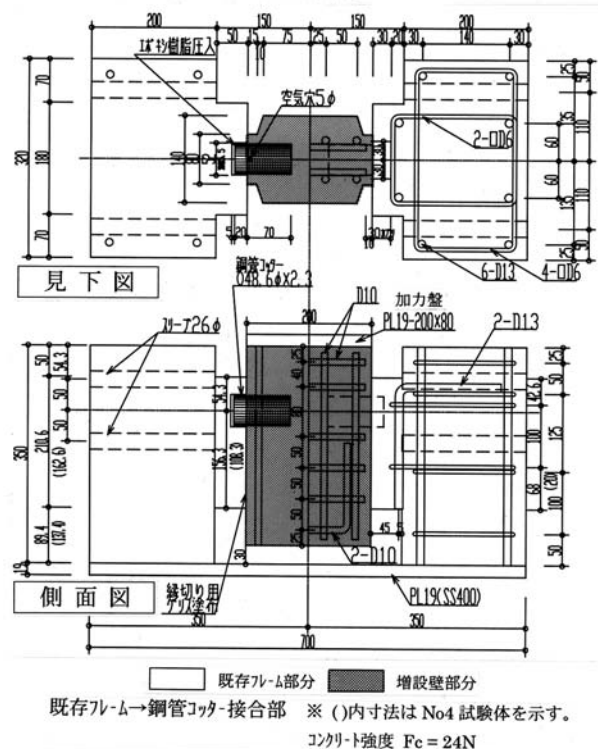


図-5. No.3 試験体図、No.4 試験体図

## (2) 実験結果

各試験体の最大耐力、コッター 1 箇所あたりの負担せん断力、および破壊形式を表 - 2 に、また、荷重と変形の関係図を図 - 6、および図 - 7 に示した。

表 - 2 . 実験結果一覧

試験体番号	最大耐力 (tonf)	コッター 1 箇所あたりの負担せん断力 (tonf)	破壊形式
No. 1	25.67	6.41	
No. 2	15.00	3.75	
No. 3	15.97	7.99	
No. 4	16.28	8.14	

：壁の割裂き破壊                   ：壁のせん断破壊  
：梁側面、および壁のせん断破壊

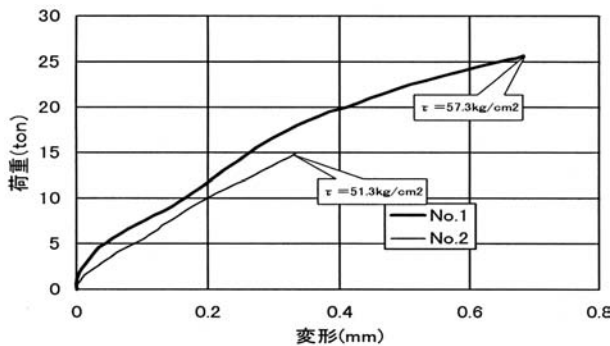


図 - 6 . No.1、No.2 試験体の荷重 - 変形図

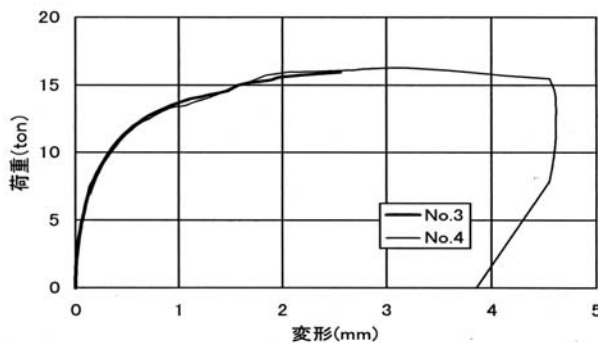


図 - 7 . No.3、No.4 試験体の荷重 - 変形図

## (3) 考察・評価

No.1、およびNo.2試験体でみられた壁の割裂き破壊は、極めて脆性的な性状を示すことがわかる。特に、鋼管コッター間のピッチの狭いNo.2試験体では、隣り合う鋼管コッター間の亀裂が早期に結合してしまうため、耐力はあまり上昇しない。No.3、およびNo.4試験体では、鋼管コッターの耐力が想定値を上回ったため壁、あるいは梁側面での破壊が先行する結果となったが、No.1、あるいはNo.2試験体に比べ高い耐力を発揮しており、また、破壊性状も安定している。

以上の結果をふまえ、本実験においては、増設壁側の割裂き破壊を防ぐために、鋼管と鋼管の間にスパイラル筋を挿入する、鋼管間のピッチを広くする等の対策を行い、高い耐力と安定した破壊性状を得ることを目指した。

## 3.2 本実験

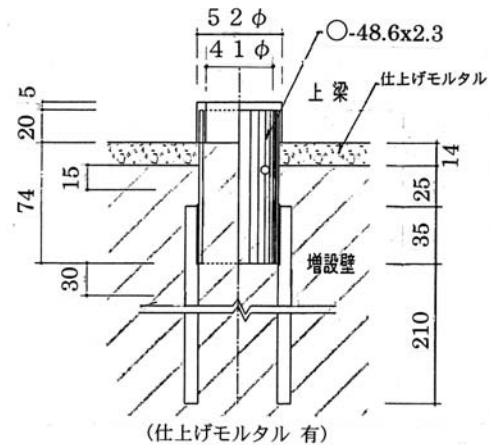
### (1) 実験概要

本実験は、鋼管コッターにより既存フレームと一体化された増設耐震壁の耐力と変形性能を把握するとともに、従来の構法である、あと施工アンカーにより既存フレームと一体化された増設耐震壁と耐震性能を比較することを目的として行った。

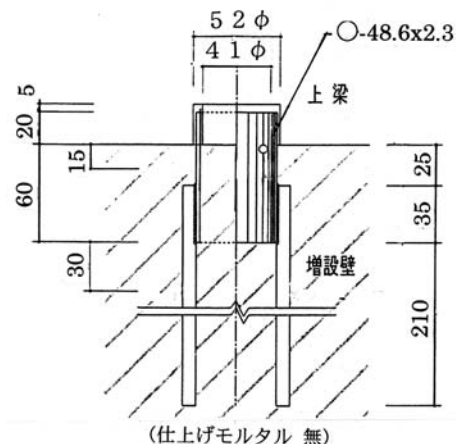
試験体は、表 - 3 に示すように、あと施工アンカーにより既存フレームと一体化されたタイプが 1 体、鋼管コッターにより既存フレームと一体化されたタイプが 2 体の計 3 体とした。また、鋼管コッタータイプは、周辺フレームに仕上げモルタルがあるタイプと仕上げモルタルが無いタイプの 2 種類とした。ここで、図 - 8 に鋼管コッター接合部の詳細図を、図 - 9 に各試験体図を、表 - 4 に使用材料を示した。また、図 - 10 に試験体加力図を、図 - 11 に加力サイクル図を示した。

表 - 3 . 試験体の概要

試験体番号	既存フレームとの接合方法	既存フレームの表面の状態
WZ - 01	あと施工アンカー	仕上げ無し (コンクリートのまま)
WK - 02	鋼管コッター	仕上げ無し (コンクリートのまま)
WK - 03	鋼管コッター	仕上げモルタルあり



(仕上げモルタル 有)



(仕上げモルタル 無)

図 - 8 . 鋼管コッター接合部詳細図





(2)実験結果

図 - 1 2 (a) ~ 図 - 1 2 (c)に各試験体の荷重と変形の関係図を、写真 - 2 ~ 写真 - 4 に各試験体の破壊状況を示した。また、表 - 5 には周辺フレームと耐震壁を一体打設した場合の耐力の計算値(修正荒川式による)と各試験体の実験で得られた耐力を示した。

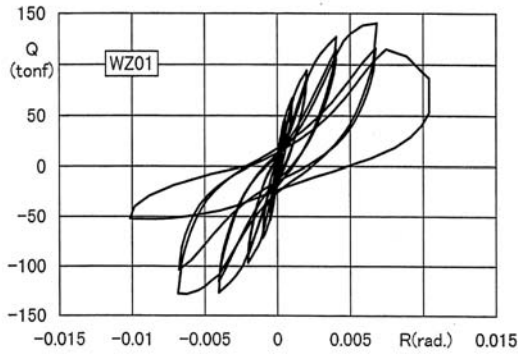


図 - 1 2 (a) . W Z - 0 1 荷重 - 変形図

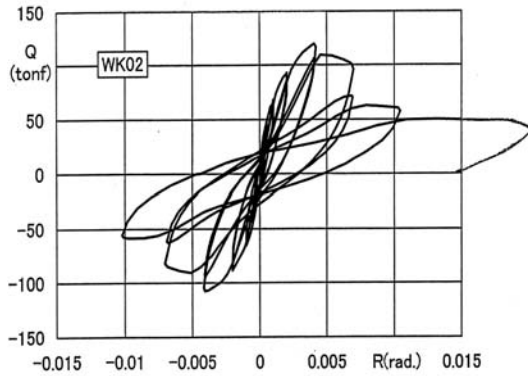


図 - 1 2 (b) . W K - 0 2 荷重 - 変形図

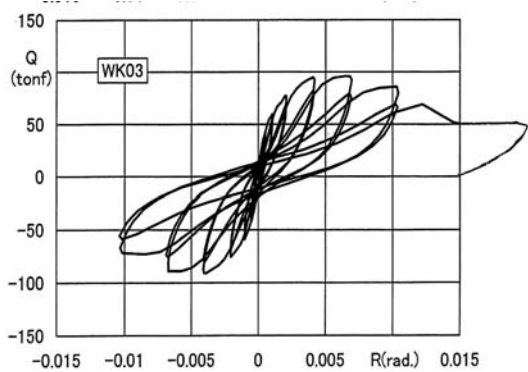


図 - 1 2 (c) . W K - 0 3 荷重 - 変形図

表 - 5 . 耐震壁の終局せん断耐力

	計算値	WZ-01	WK-02	WK-03
終局せん断耐力 (tonf)	102.9	140.5	119.8	95.7
終局せん断耐力時の変形角		1/150	1/250	1/150

ここで、計算値は修正荒川式による。(M/QD=1.0)



写真 - 2 . W Z - 0 1 試験体破壊状況

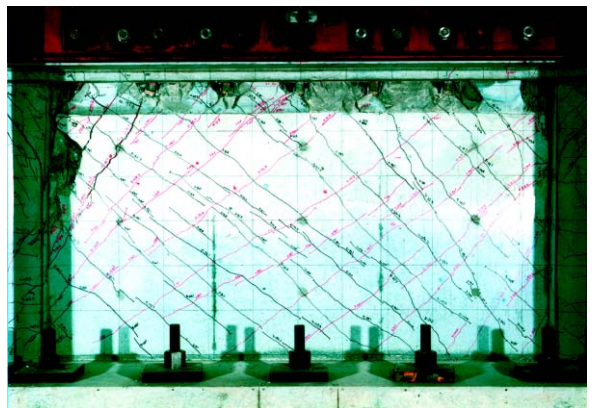


写真 - 3 . W K - 0 2 試験体破壊状況



写真 - 4 . W K - 0 3 試験体破壊状況

実験の結果をまとめると、以下ようになる。

破壊状況は、WZ-01が増設壁部分のせん断スリップ破壊、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であった。WK-02、およびWK-03の両者において、脆性的な性状を示す割裂き破壊は発生しておらず、予備実験の結果を踏まえた対策が功を奏したと考えられる。

周辺フレームに仕上げモルタルの無いWK-02の終局せん断耐力は、従来の補強方法であるWZ-01よりは低いですが、周辺フレームと耐震壁を一体打設した場合の耐力の計算値を上回る値を示した。

周辺フレームに仕上げモルタルの無いWK-02は、従来のあと施工アンカーによる補強方法であるWZ-01の約85%の耐力を有している。なお、荷重 - 変形特性は、1/250程度の変形角までは両試験体に差異はほとんど見られなかった。

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と増設壁との打継部で剥離したことから、荷重 - 変形特性は鋼管自体の特性を反映していると考えられる。そのため、初期勾配は緩やかであるが、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となっている。

鋼管コッターにより一体化された増設耐震壁の破壊形式は、鋼管コッター周囲のコンクリートの割裂き、あるいは支圧破壊と考えられる。このような破壊は、鋼管の径、長さ、ピッチ等と深く関係しており、これらについての解析による検証が今後の課題である。

鋼管コッターの耐力について

本実験における試験体のようなコッターにより既存フレームと増設耐震壁が接合された耐震壁の耐力 $Q_{su}$ は(1)式で表せる。

$$Q_{su} = Q_j + p Q_c + \alpha \times Q_c \dots (1)$$

ここで、

$Q_j$  : 梁下面の接合材のせん断耐力の和(tf)

$p Q_c$  : 片側柱の柱頭の「パツグ」耐力(tf)

$Q_c$  : 他方柱のせん断耐力(tf)

$\alpha$  : 変形の状態を考慮した低減係数

試験体の終局せん断耐力 $Q_{su}$ から柱のせん断耐力 $Q_c$ (計算値)と「パツグ」耐力 $p Q_c$ (計算値)を引いた値を鋼管コッターにより伝達されたせん断力 $Q_j$ としてコッター1カ所あたりの伝達せん断力を算定すると、WK-02が9.5tf/1カ所、WK-03が6.2tf/1カ所となり、WK-02においては予備試験体No.4で得られた耐力8.14tf/1カ所を上回る結果となっている。

また、WK-02、およびWK-03において、増設壁部分破壊後の残存耐力50tfを柱の保有するせん断耐力( $p Q_c + Q_c$ )として各試験体の終局せん断耐力 $Q_{su}$ から差し引き、コッター1カ所あたりの伝達せん断力を算定すると、WK-02が9.9tf/1カ所、WK-03が6.5tf/1カ所となり、前段で算定した柱のせん断耐力( $p Q_c + Q_c$ )に計算値を用いた場合の値とほぼ同じ値となっている。

鋼管コッター個々の伝達せん断力は、実験結果よりコンクリートの支圧破壊で決定されていると考えられるので、この破壊形式に対応した伝達せん断力算定式を今後提案する予定である。

## 4. 施工実験

### 4.1 目的

施工実験は、実際の現場施工を想定して削孔から鋼管コッターの設置までの一連の作業を行う中で、以下の項目について確認、検証を行うことを目的として行った。

必要な仮設や適切な手順を検証する。

必要労務量とコアビットの耐久性を検証し、コストを把握する。

周辺環境に及ぼす騒音・振動・粉塵等の影響を確認する。

### 4.2 実験概要

- ・ 実験日 : 2000年5月11日
- ・ 場所 : 筑波技術研究所
- ・ 実験内容 : 上向き7カ所、水平4カ所削孔
- ・ 鋼管径 : 110
- ・ 削孔深さ : 25mm
- ・ 使用機器 : DD160Eモーター (HILTI)
- ・ 施工法 : クロスコラム工法
- ・ 騒音測定 : あと施工アンカー工法・・・D16  
鋼管コッター工法・・・110  
測定機 / NA-27 (RION)

鋼管コッター工法では、本工法用に開発した専用コアビット(写真-5)を既製のダイヤモンドコアドリル(以下、ドリルと呼ぶ)に装着し、クロスコラム工法により既存躯体を削孔する。クロスコラム工法とは、ドリル支持用仮設部材(以下、コラムと呼ぶ)を鉛直方向と水平方向に組み合わせ、このコラムに沿ってドリルをモーターで移動させながら削孔する工法のことである(写真-6、7)。また、削孔時に発生する熱を抑制するために水を使用するが、排水は専用コアビットに取り付けられた装置により回収されるシステムとなっている。なお、鋼管コッターを既存躯体に固定するための接着材には、本工法用に開発したヒルティエポキシ樹脂HIT-RE500を使用した(写真-8)。



写真 - 5 . 専用コアビット





写真 - 6 . 上向き削孔状況



写真 - 9 . 鋼管コッター設置状況



写真 - 7 . 横向き削孔状況



写真 - 8 . 接着材注入状況

#### 4.3 実験結果

クロスコラム工法におけるコラム、およびドリルの設置等に要した時間は、梁下3m、柱スパン5mのフレームの場合で5分/2人であった。また、削孔時間は、上向き、横向きともに1孔あたり120秒であった。なお、専用コアビットの耐久削孔長は、磨耗実験の結果より、50mであった。

#### 4.4 考察および評価

施工効率についてみると、鋼管コッター工法の場合は1構面あたり45分の施工時間を要することから、1日では盛り替え時間等を含めても3構面/2人の施工が可能であると考えられる。また、あと施工アンカー工法の場合は、アンカーにD16を使用した場合、1日あたり1構面/1人の施工効率であった。このことから、鋼管コッター工法はあと施工アンカー工法に比べ、約1.5倍の施工効率の向上が図れると考えられる。

周辺環境への影響について比較すると、鋼管コッター工法は、あと施工アンカー工法に比べ施工時の騒音レベルは小さい。なお、鋼管コッター工法では、専用コアビット部分をゴムパッキンで覆う等の改良を行うことで、機械の近傍における騒音をさらに小さくすることが可能である。また、あと施工アンカー工法は、躯体に大きな振動を直接与えるため、工事を行っている部屋だけでなく、離れた部屋にも振動が固体伝搬音として伝わってしまうが、鋼管コッター工法の場合、躯体に与える振動は極めて小さいので、固体伝搬音として振動が伝達することによる影響は小さいと考えられる。

鋼管コッター工法とあと施工アンカー工法のコスト試算を行うと、1箇所あたりでは鋼管コッター工法の方があと施工アンカー工法より高い。しかし、同程度のせん断耐力を有する耐震壁1構面を構築する場合、鋼管コッターの本数はあと施工アンカーの本数の約40%程度となるため、1構面あたりのコストで比較すると鋼管コッター工法の方があと施工アンカー工法よりも安くなる。



## 5. おわりに

構造実験及び、施工実験を行った結果、鋼管コッターを用いた補強耐震壁は、従来のあと施工アンカーによる補強耐震壁に十分匹敵する構造性能を発揮することが確認できた。施工性についても改善がなされており、鋼管コッター工法はあと施工アンカー工法に比べ、優れた工法であることが実証された。また、既存躯体に仕上げモルタルがある場合でも十分な耐力を発揮することから、モルタルが所要の強度を有していれば、これを研りとりなくとも実用上問題は無いといえる。仕上げモルタルの研り作業がなくなると、騒音・振動は大きく低減されるとともに施工効率は格段に向上する。さらに、粉塵や産業廃棄物の削減にも寄与できることから、鋼管コッター工法は時代のニーズに適合した『居ながら・環境配慮型』の工法であると言える。

今後は、病院建築、学校建築など、居ながら耐震補強のニーズの高い建築に、この工法の適用を図っていく予定である。また、鋼管コッターの適用範囲を拡大し、さらなる工法の展開を目指していくつもりである。

### 謝辞：

本工法の立案および実験にあたっては、松崎育弘教授(東京理科大学工学部建築学科)にご指導を頂きました。ここに深甚なる謝意を表します。

### 参考文献：

1) (財)日本建築防災協会発行  
『改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針・同解説』

