

# 1. RMユニットを用いた増設耐震壁補強工法の開発

## —その4 接着工法によるドア開口付き増設壁および増打ち壁—

### Development of RM Retrofit Shear Wall

#### — Part 4 Shear Wall with Door Opening and Thickening Existing Shear Wall with Joint Method using Epoxy Resin —

中澤 敏樹\*<sup>1</sup> 森 浩二\*<sup>1</sup>

### 要 旨

既開発の RM 耐震補強工法の適用範囲を拡大するため、接着工法によるドア開口付き増設壁および増打ち壁のフレーム実験を行った。鉄筋コンクリート (RC) 造柱梁架構と RM 壁板との接合は接着工法とした。上下の梁面には、異形筋スタッドを溶接した鋼板をエポキシ樹脂で接着した。柱壁間の接合部には鋼板を設置せず、柱面は目荒らしによる表面処理のみとした。実験の結果、ドア開口付き増設壁では、引張側の壁脚がすべり、圧縮側のそで壁と柱がせん断破壊となる破壊モードを考慮することによって、終局せん断耐力を安全側に評価できることを確認した。さらに、増打ち壁では、既存 RC 壁の終局せん断耐力と増打ち RM 壁板のせん断耐力を足し合わせることで、終局せん断耐力を安全側に評価できることを確認した。

キーワード：RM 耐震補強工法／接着工法／ドア開口／増打ち壁

### 1. はじめに

RM 耐震補強工法は、図-1 に示すように小型・軽量の RM ユニットを用いた組積壁による増設壁補強工事の合理化工法として開発された<sup>1)2)</sup>。建物の使用を中断することなく狭小な場所でも工事が可能であり、かつ工期を短縮できるなどの特長がある。2014年3月時点で約5400m<sup>2</sup>の施工実績がある。

2010年には既存壁に接して RM 耐震壁を設ける「RM 増打ち工法」、さらに既存躯体と RM 耐震壁との接合に接着剤を用い無騒音施工を可能にする「RM 接着工法」を開発した<sup>3)</sup>。

本報告では、接着工法によるドア開口付き増設壁および増打ち壁を適用範囲に含めるために行った実験の結果について述べる。

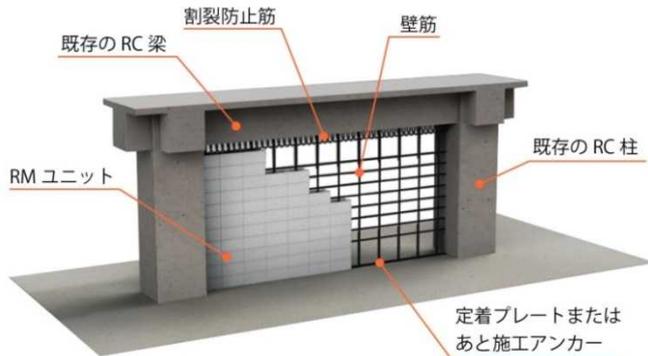


図-1 RM耐震補強工法の概要

### 2. 実験概要

#### 2.1 試験体

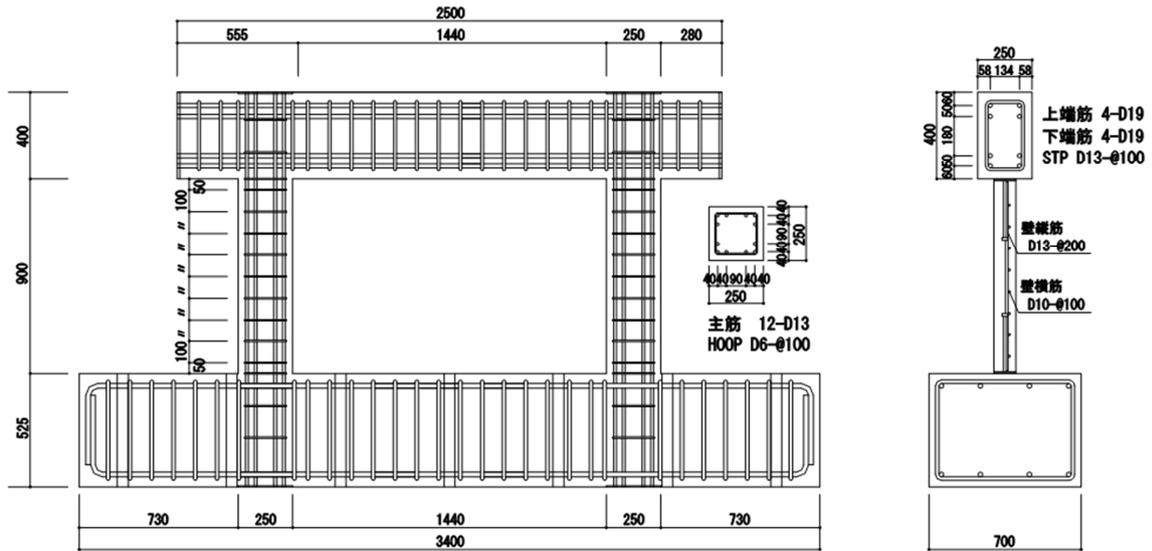
試験体の一覧を表-1に、配筋詳細を図-2に示す。試験体は、接着工法によるドア開口付き増設壁試験体：RM-SD と接着工法による増打ち壁試験体：RM-MS の2体である。

RM-SD は、1層1スパンのRC柱梁架構内に、ドア開口を有するRM増設壁を構築した縮小率1/3相当の試験体である。RC柱梁架構とRM壁板との接合は接着工法と

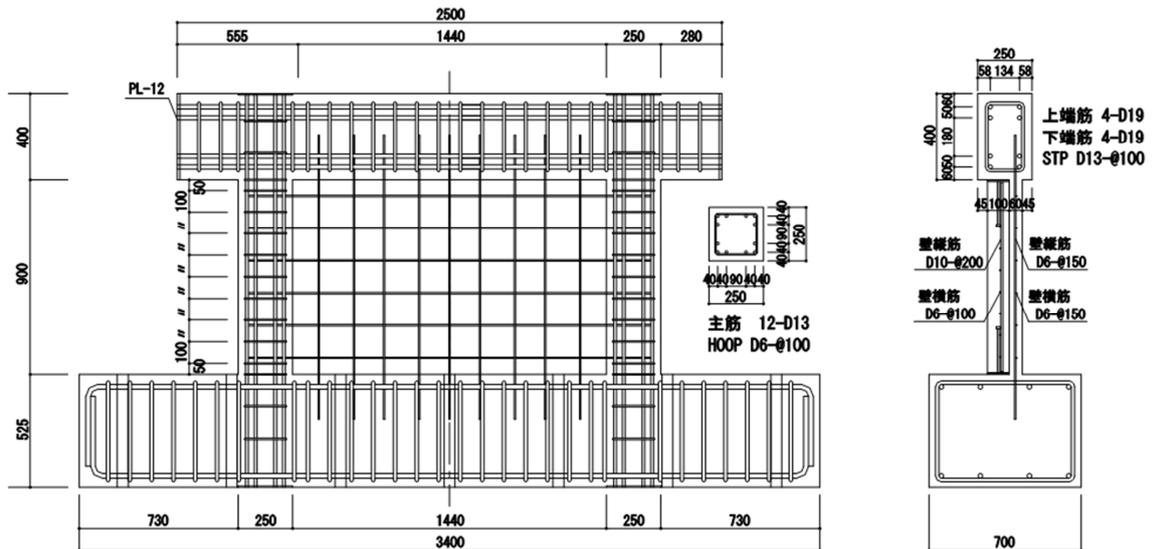
表-1 試験体一覧

試験体名	柱			上部梁		
	b×D	主筋	帯筋	b×D	主筋	肋筋
RM-SD RM-MS 共通	250 × 250 (mm)	12-D13 (pt= 0.73%)	2-D6 @100 (pw= 0.24%)	250 × 400 (mm)	上下 4-D19 (pt= 0.81%)	2-D13 @100 (pw= 0.65%)
試験体名	RM増設壁					
	壁厚	縦筋	横筋	開口	開口補強	
RM-SD	100 (mm)	1-D13 @200 (pw= 0.25%)	1-D10 @100 (pw= 0.24%)	W:400 H:600 (mm)	縦・横共 1-D13	
試験体名	既存壁			RM増打ち壁		
	壁厚	縦筋	横筋	壁厚	縦筋	横筋
RM-MS	60 (mm)	1-D6 @150 (pw= 0.25%)	1-D6 @150 (pw= 0.24%)	100 (mm)	1-D13 @200 (pw= 0.25%)	1-D10 @100 (pw= 0.24%)

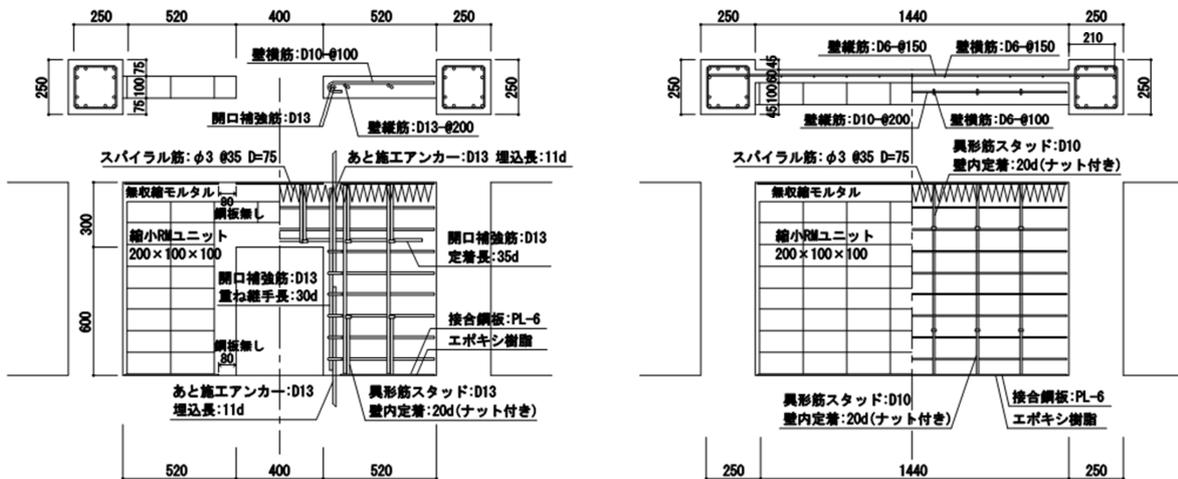
\*<sup>1</sup> 技術研究所構造研究グループ



既存フレーム配筋図 (RM-SD)



既存フレーム配筋図 (RM-MS)



RM増設壁部配筋・ユニット割付図 (RM-SD)

RM増設壁部配筋・ユニット割付図 (RM-MS)

図-2 試験体の概要

した。梁面に異形筋スタッドを溶接した鋼板をエポキシ樹脂で接着し、異形筋スタッドによってRM壁板への定着を行った。

RM-MSは、1層1スパンのRC両側柱付き耐力壁に、RM増打ち壁を構築した試験体である。RC柱梁架構とRM増打ち壁板との接合は接着工法とし、既存壁とRM耐震壁は接合していない。

RM-SD、RM-MSともに、柱壁間の接合部には鋼板を設置せず、柱面は目荒らしによる表面処理のみとした。

梁壁間の接合部は、以下のように共通の仕様(図-3)とした。

(a) 接合プレート

上下の梁に接着する鋼板は、幅100mm、板厚6mmとし、接着面をショットブラスト処理し、防錆塗料を塗布した。壁板側の面には、壁板との定着用に異形筋スタッドを溶接した。異形筋スタッドの量は最大せん断耐力に対して降伏しないように設定した。

(b) 梁面の処理と接着方法

既存躯体の梁側の接着面の脆弱層をグラインダーで除去し、エポキシ樹脂で鋼板の貼付けを行った。既存躯体に打設した仮止め用のアンカーボルトで締め付けを行い、既存躯体と鋼板を十分に密着させた。

(c) 柱面の処理

既存躯体の柱側の接合部に、面積比15%程度の目荒らしを行った。

実験に使用した材料の試験結果を表-2に示す。RM壁体の圧縮強度はRMユニットを3段に重ねモルタルを充填した無筋プリズム試験体の圧縮強度である。

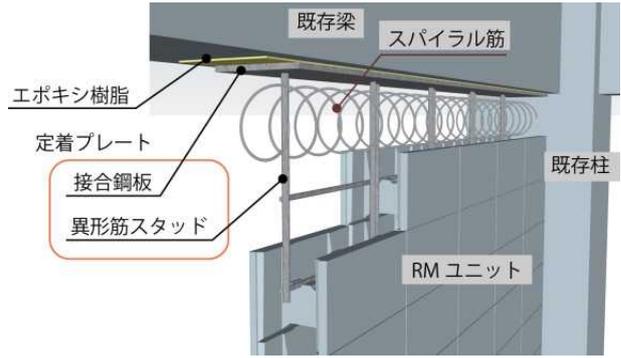


図-3 梁壁間の接合部

表-2 材料試験結果

(a) コンクリート・モルタル・RM壁体

使用部位	圧縮強度 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 $E_c$ ( $\times 10^4$ N/mm <sup>2</sup> )
既存部コンクリート	16.8	2.61
壁体部充填モルタル	70.8	—
梁下無収縮モルタル	66	—
目地モルタル	53.3	—
RM壁体(プリズム圧縮強度)	26.5	2.13

(b) 鉄筋

使用部位	径	材質	降伏強度	引張強度
			$\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )
柱主筋 梁あばら筋 RM壁縦筋 RM壁開口補強筋	D13	SD295A	369	523
RM壁横筋	D10	SD295A	378	514
柱帯筋 既存壁縦横筋	D6	SD295A	381	531

2.2 荷重方法

荷重装置を図-4に示す。試験体両側の柱の頂部に、柱軸力比0.2の一定軸力( $N_c \approx 0.2\sigma_B \cdot BD$ )を載荷し、試験体上部梁を油圧ジャッキで左右に押し引きした。荷重にあたって、左右のジャッキの荷重が等しくなるように制御した。荷重スケジュールは、目標層間変形角  $R = \pm(0.5, 2, 5, 10, 15, 20)/1000\text{rad}$  に対し、 $0.5 \sim 5/1000\text{rad}$  までは各3回、 $10/1000\text{rad}$  以降は各2回の正負繰り返し荷重とした。層間変形角  $R$  は  $R = \delta h / H$  ( $\delta h$ : 基礎梁上面に対する水平力加力位置の水平変位、 $H$ : 加力点高さ)と定義した。

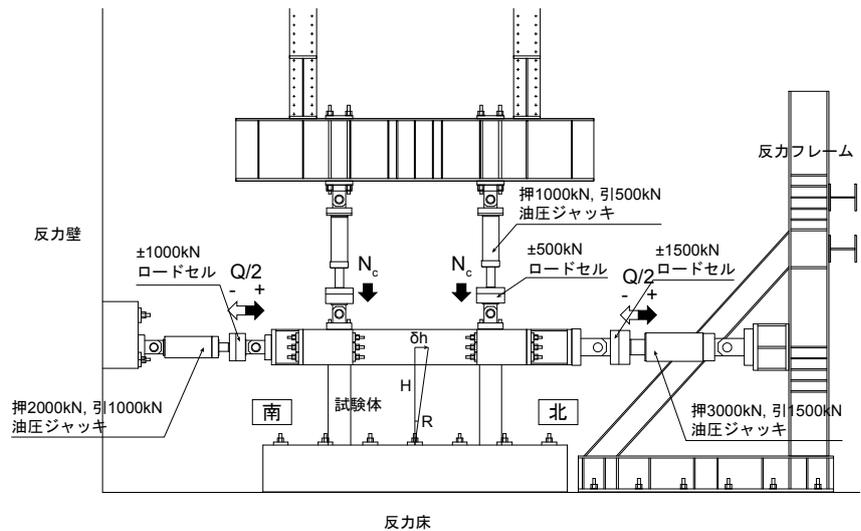


図-4 荷重装置

3. 実験結果

3.1 ドア開口付き増設壁試験体：RM-SD

RM-SD の荷重変形関係を図-5に、試験体の最終状況を写真-1に示す。試験体は変形角 R=5/1000 で最大荷重となり、R=7/1000 で柱主筋が引張降伏し、変形の増大とともに耐力が低下した。また、最大耐力時に引張側となる RM 壁体の壁脚に約 5.0mm のすべりが発生した。最終破壊形式は、壁のせん断破壊である。

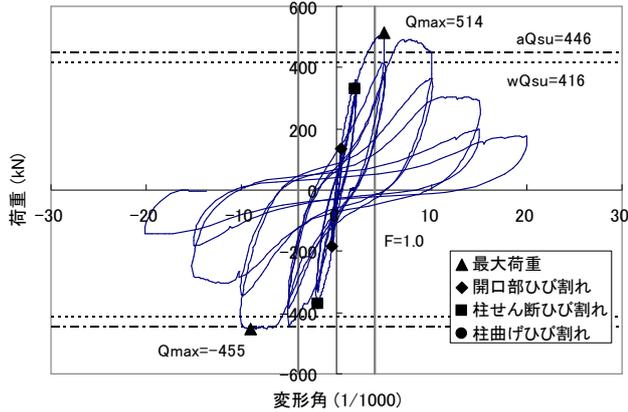


図-5 荷重-変形関係 (RM-SD)

各種耐力計算値と実験値の比較を表-3に示す。ここで、最大耐力時に引張側となる RM 壁体の壁脚にすべりが発生したことから、接着工法による増設耐震壁の終局せん断耐力<sup>3)</sup>の他に、図-6に示すように引張側の壁脚がすべり、圧縮側のそで壁と柱がせん断破壊となる破壊モードを考慮した耐力： $aQ_{su3}$ を示した。せん断終局強度は  $aQ_{su3}$  によって決まり、 $aQ_{su3}$  に対する実験時最大耐力  $Q_{max}$  の比： $Q_{max}/aQ_{su3}$  は 1.42 となった。



写真-1 試験体最終状況

表-3 耐力一覧

試験体	計算値											実験結果			
	r	wQsu (kN)	wQ'su (kN)	αQc (kN)	aQsu1 (kN)	Qj (kN)	pQc (kN)	aQsu2 (kN)	Q'j (kN)	wQ'su1 (kN)	aQsu3 (kN)	wQmu (kN)	Qmax (kN)	Qmax / aQsu3	Qmax / wQmu
RM-SD	0.63	416	266	86	438	117	226	429	58	133	363	1185	514	1.42	0.43

$wQ_{su}$  : 一体打ち壁としての終局せん断耐力

$$wQ_{su} = r \cdot \left\{ \frac{0.053 p_{fc}^{0.23} (18 + F'_c)}{M / (Q \cdot \ell) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{se} \cdot \sigma_{wy}} + 0.1 \sigma_{0e} \right\} \cdot b_e \cdot j_e$$

$aQ_{su1}$  : RM 壁板と左右の柱のせん断耐力の和

$$aQ_{su1} = wQ'_{su} + 2 \cdot \alpha \cdot Q_c$$

$aQ_{su2}$  : RM 壁板と梁との接合部の耐力を考慮した終局せん断耐力

$$aQ_{su2} = Q_j + pQ_c + \alpha \cdot Q_c$$

$aQ_{su3}$  : 接着工法ドア開口で壁脚がすべる場合の耐力 (右図)

$$aQ_{su3} = Q'_j + wQ'_{su1} + 2 \cdot \alpha \cdot Q_c$$

$Q_{max}$  : 実験時最大耐力 (R=5/1000 時)

注) 式中の符号は、以下を除いて文献<sup>4)</sup>による。

$F'_c$  : 断面積比で重み付けをしたコンクリート圧縮強度の平均値 (N/mm<sup>2</sup>)

$Q_j = 0.08 F'_{c1} A_b$  : 梁下面と壁板間の接合耐力、 $A_b$  : 接着接合面の面積 (mm<sup>2</sup>)、 $F'_{c1}$  : 既存躯体コンクリートの設計用圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$pQ_c$  : 引張側柱頭部のパンチングシア耐力、 $Q_c$  : 片側柱の終局耐力、 $\alpha$  : 変形状態を考慮した低減係数

$wQ'_{su}$  : RM 壁板 (内のり部分) のせん断終局強度  $wQ'_{su} = \max(p_w \cdot \sigma_{wy}, F_{cm} / 20 + 0.5 \cdot p_w \cdot \sigma_{wy}) \cdot t_w \cdot \ell_{w0}$

$F_{cm}$  : RM 壁板の設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $p_w, \sigma_{wy}$  : RM 壁板の壁筋比および壁筋の設計用降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)

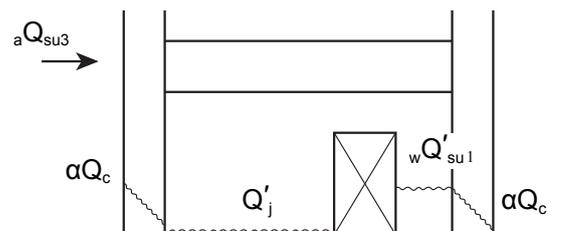


図-6 壁脚がすべる場合の破壊形式

3.2 増打ち壁試験体：RM-MS

RM-MS の荷重変形関係を図-7に、試験体の最終状況を写真-2に示す。R=5/1000 時のひび割れ状況を図-8に、R=5/1000 までの既存 RC 壁と RM 増打ち壁の横筋のひずみの推移を図-9に示す。

試験体は変形角 R=8/1000 で柱主筋が引張降伏、R=10/1000 で最大荷重となり、変形の増大とともに耐力が低下した。RM 壁板と既存梁との接着接合部にすべりは見られなかった。最終破壊状況は既存 RC 壁および RM 増打ち壁のせん断破壊である。

R=5/1000 時の最大ひび割れ幅(図-8)は、RM 増打ち壁側：0.4mm に対し、既存 RC 壁側：0.7mm となり、既存 RC 壁部のひび割れ幅が大きくなった。

既存 RC 壁と RM 増打ち壁の壁横筋ひずみの推移の比較を図-9に示す。壁中央部の横筋のひずみ(RM 増打ち部：RH2、既存 RC 壁部：WH2)は、R=1/1000 までと

R=4/1000以降ではRM増打ち壁(RH2)が既存RC壁(WH2)よりも大きくなったが、R=2/1000から4/1000までの推移はほぼ一致した。柱周辺部のWH1とRH1を比較すると、R=1/1000から3/1000までのひずみの増加にやや差が見ら

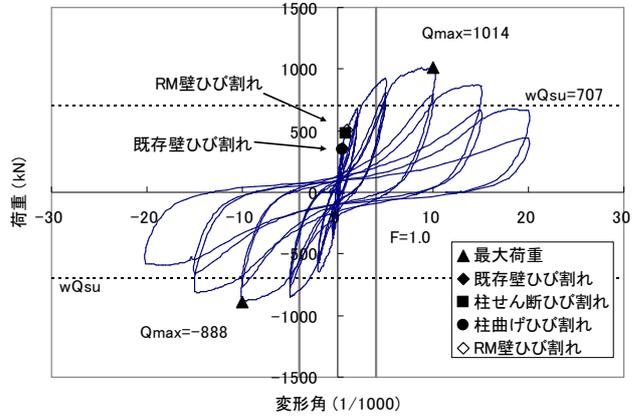


図-7 荷重-変形関係 (RM-MS)

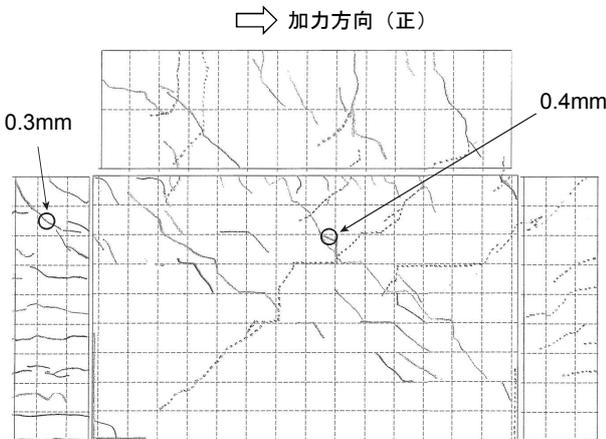


【RM 増打ち壁側】

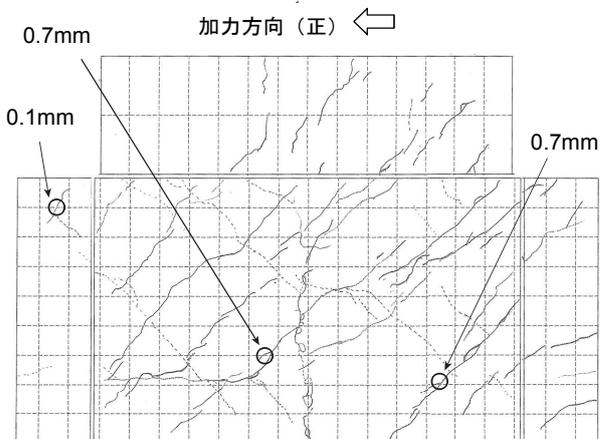


【既存 RC 壁側】

写真-2 試験体最終状況



【RM 増打ち壁側】



【既存 RC 壁側】

図-8 R=5/1000 時のひび割れ状況

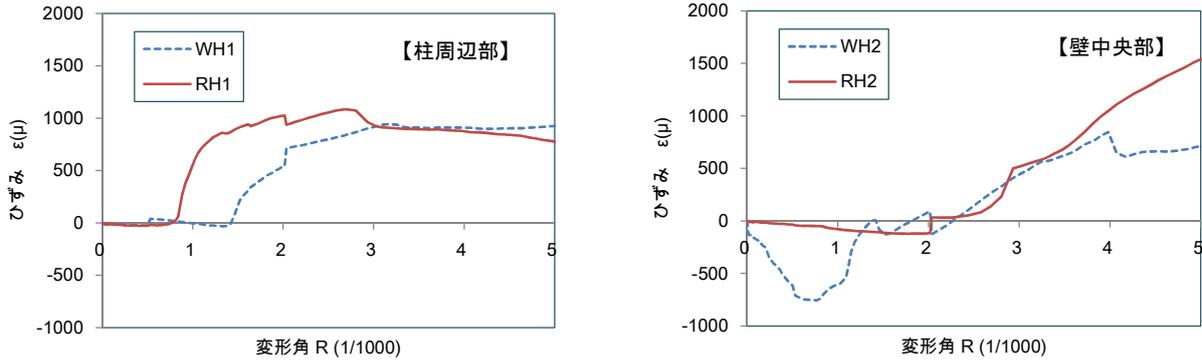


図-9 R=5/1000 までの RC 壁と RM 壁の横筋のひずみの推移

表-4 耐力一覧

試験体	計算値					実験結果			
	$wQ_{su1}$ (kN)	$wQ_{mu1}$ (kN)	$wQ'_{su2}$ (kN)	$Q_j$ (kN)	$wQ_{su}$ (kN)	$wQ_{mu}$ (kN)	$Q_{max}$ (kN)	$Q_{max}/l_wQ_{su}$	$Q_{max}/l_wQ_{mu}$
RM-MS	436	1268	260	188	696	1268	1014	1.46	0.80

れるものの、変形角 R=3/1000 から R=5/1000 までのひずみは 1000 $\mu$  前後ではほぼ一定であった。載荷初期での既存 RC 壁と RM 増打ち壁の壁横筋のひずみはほぼ同程度であり、RM 増打ち壁部分に全体変形角に応じた荷重が伝達されていることがわかる。

各種耐力計算値と実験値の比較を表-4 に示す。増打ち壁の終局せん断耐力は、文献<sup>5)</sup>による RC 増打ち壁の耐力評価方法を参考にして、図-10 に示すように既存壁の終局せん断耐力と RM 増打ち壁 (内り部分) のせん断耐力を足し合わせることによって評価した。耐力計算値： $wQ_{su}$  に対する実験時最大耐力  $Q_{max}$  の比： $Q_{max}/wQ_{su}$  は 1.46 となった。

4. まとめ

RM 耐震補強工法の接着工法によるドア開口付き増設壁および増打ち壁のフレーム実験を行い、以下の事項を確認した。

- (1) ドア開口付き増設壁では、接着工法による増設耐震壁の終局せん断耐力の他、引張側の壁脚がすべり、圧縮側のそで壁と柱がせん断破壊となる破壊モードを考慮することによって、終局せん断耐力を安全側に評価できる。
- (2) 増打ち壁は、既存 RC 壁の終局せん断耐力と増打ち RM 壁のせん断耐力を足し合わせるによって、終局せん断耐力を安全側に評価できる。

- $wQ_{su1}$  : 文献<sup>4)</sup>による補強前の終局せん断耐力
- $wQ_{mu1}$  : 文献<sup>4)</sup>による補強前の曲げ終局時せん断耐力
- $wQ'_{su2}$  : RM 壁板 (内り部分) のせん断耐力
- $Q_j$  : 梁面と RM 壁板間の接合耐力
- $wQ_{su}$  : 補強後の終局せん断耐力 ( $wQ_{su1} + wQ'_{su2}$ )
- $wQ_{mu}$  : 補強後の曲げ終局時せん断耐力 ( $= wQ_{mu1}$ )
- $Q_{max}$  : 実験時最大耐力 (R=10/1000 時)

注) 式中の符号は、以下を除いて文献<sup>3)</sup>による。

$$wQ'_{su2} = \tau'_{su2} \cdot t_{w2} \cdot \ell_{w0}$$

$$\tau'_{su2} = F_{cm} / 20 + 0.5 \cdot p_{w2} \cdot \sigma_{wy2} \leq 3.0$$

$F_{cm}$  : RM 壁板の設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$p_{w2}$  : RM 壁板の壁筋比

$\sigma_{wy2}$  : 壁筋の設計用降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$t_{w2}$  : RM 壁板の厚さ (mm)

$\ell_{w0}$  : 壁板の内法長さ (mm)

$$Q_j = 0.08F_{c1}A_b$$

$A_b$  : 接着接合面の面積 (mm<sup>2</sup>)

$F_{c1}$  : 既存躯体コンクリートの設計用圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

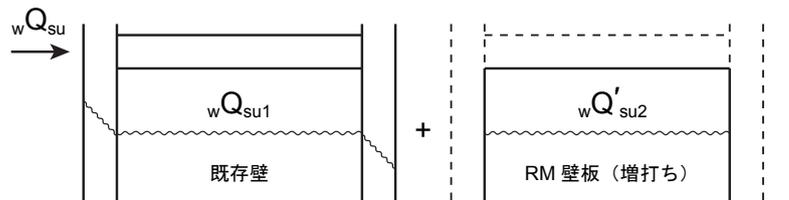


図-10 増打ち壁の終局せん断耐力

[謝 辞]

本研究は、RM 耐震補強研究会（株式会社浅沼組、株式会社新井組、株式会社松村組、太陽サーブ株式会社）によって行われた。関係各位に謝意を表します。

[参考文献]

- 1) 森浩二, 井上重信, 中澤敏樹: RM ユニットを用いた増設耐震壁補強工法の開発, 浅沼組技術研究所報, No.15, p.21, 2003.11.
- 2) 森浩二, 井上重信, 中澤敏樹: RM ユニットを用いた増設耐震壁補強工法の開発 その 2 開口を有する増設耐震壁, 浅沼組技術研究所報, No.19, p.1, 2007.11.
- 3) 森浩二, 中澤敏樹, 山下勝司: RM ユニットを用いた増設耐震壁補強工法の開発 その 3 増打ち壁による補強工法およびエポキシ樹脂による接着接合, 浅沼組技術研究所報, No.22, p.2, 2010.11.
- 4) 日本建築防災協会: 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, 日本建築防災協会, 2001.
- 5) 日本建築総合試験所: 鉄筋コンクリート増設壁耐震補強設計・施工指針, 2001年9月