

# 既存躯体と強度差がある増設壁による耐震補強効果の実験的研究

栗田 康平 増田 安彦

## Experimental Study of Seismic Strengthening Shear Wall with Higher Concrete Strength than Existing Frame

Kohei Kurita Yasuhiko Masuda

### Abstract

Even if an additional wall with a higher strength than the existing building frame concrete is constructed, it is generally considered to have the same strength as the existing frame. However, if the shear strength is improved by increasing the concrete strength of the additional wall, then an effective seismic reinforcement will be achieved. In this study, the seismic strengthening effect of the additional wall, which has a higher concrete strength than the existing frame, is confirmed via a horizontal loading test using one-span reduction specimens. Experiments show that the reinforcement by the additional wall with a higher concrete strength improved the shear strength of the existing frame than reinforcing it with the same strength as the existing frame.

### 概要

耐震補強として増設する耐震壁は、既存躯体コンクリート強度と同等以上の強度で構築しても、既存躯体と同一強度と見なして設計するのが一般的である。しかし、増設壁のコンクリート強度を高くすることで、せん断耐力が向上すれば、効率的な補強を実現できる可能性がある。本報では、コンクリート強度を既存躯体よりも高めた増設壁による耐震補強効果を確認するため、一層一スパンの縮小試験体による水平加力実験を実施した。実験により、既存躯体の2~3倍のコンクリート強度で増設壁を設けることで、同一強度で補強する場合よりも、せん断耐力を1.1~1.3倍程度に向上できることを確認した。合わせて、既存躯体との強度差を考慮した、簡易なせん断耐力の評価方法を提案した。

## 1. はじめに

耐震性能の不十分な既存RC建物への耐震補強において、増設壁の構築は、強度抵抗型の建物に最も有効な補強工法の一つである。増設壁のせん断耐力は、一般的には増設壁と既存躯体を一体打ちと見なす破壊形式と、増設壁と既存躯体の梁下などの接合部で破壊し一体打ちと見なせない破壊型式を想定し、算定された2つのせん断耐力のいずれか小さい値を用いる。増設壁を、Fig. 1の様に既存躯体のコンクリートよりも高い強度のコンクリートで構築すると、一体打ちと見なす破壊型式のせん断耐力がある程度、向上することは知られているものの、安全側に既存躯体のコンクリート圧縮強度と同一と見なして算定するのが一般的である。ここで増設壁の高いコンクリート強度による耐力への向上効果を適切に評価できれば、増設する壁の枚数を削減したり、壁の厚さを薄くするなど、効率的な補強を実現できる可能性がある。本報では、増設壁コンクリート強度を既存躯体よりも高めた耐震補強壁のせん断耐力を、増設壁(壁を新設する補強)および増打ち壁(既存壁を増厚する補強)の2シリーズからなる一層一スパンの縮小試験体による水平加力実験で確認し、強度差を考慮する評価手法を検討する。

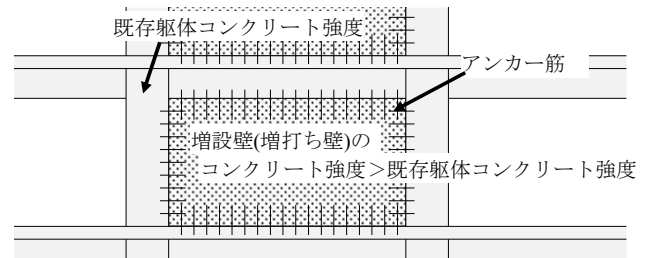


Fig. 1 工法の概要  
Concept of Construction Method

## 2. 増設壁の実験

### 2.1 実験計画および試験体の概要

増設壁の試験体概要をTable 1に、試験体の形状および詳細計画をFig. 2に、使用材料の特性をTable 2に示す。試験体の縮尺は約1/3、実験因子は、増設壁のコンクリート強度、壁厚、壁筋量で、試験体数は5体である。既存躯体の外形寸法と配筋は共通で、柱はせん断破壊型として計画した。加力梁は柱に比べて断面が大きく、下部ベースと共に、剛性の高い梁として計画した。目標圧縮強度は、既存躯体を18N/mm<sup>2</sup>、増設壁を18, 36, 45N/mm<sup>2</sup>とした。試験体の縮尺を考慮し、コンクリートの粗骨材最大粒形を9mmとした。増設壁と既存柱梁との接合は、既存躯体

Table 1 試験体概要  
Specification of Specimens

試験体		No. 1	No. 2	No. 3	No. 9	No. 13
既存 躯体	実験因子	コンクリート強度			壁厚	壁筋量
	圧縮強度 $\sigma_{B1}$	20.7N/mm <sup>2</sup>	22.4N/mm <sup>2</sup>	22.3N/mm <sup>2</sup>	19.9N/mm <sup>2</sup>	19.5N/mm <sup>2</sup>
	柱諸元	$b \times D \times h = 220\text{mm} \times 220\text{mm} \times 900\text{mm}$ , 10-D13 ( $p_g = 2.62\%$ ), □-D6@165 ( $p_w = 0.18\%$ )				
	加力梁諸元	$b \times D \times L$ (内法) = $320\text{mm} \times 400\text{mm} \times 1480\text{mm}$ , 12-D22 ( $p_g = 3.63\%$ ), □-D13@120 ( $p_w = 0.66\%$ )				
	柱軸力	125kN/柱			250kN/柱	175kN/柱
増設 壁	圧縮強度 $\sigma_{B2}$	17.3N/mm <sup>2</sup>	35.7N/mm <sup>2</sup>	61.1N/mm <sup>2</sup>	36.8N/mm <sup>2</sup>	63.5N/mm <sup>2</sup>
	強度比 $\sigma_{B2}/\sigma_{B1}$	0.84	1.59	2.74	1.85	3.26
	増設壁厚さ	70mm			110mm	70mm
	壁配筋	D6@70			D-D6@90	D10@85
	壁筋比 $p_w$	0.65%			0.64%	1.20%
	あと施工アンカー	D13@120 定着長さ15d (先端カット) 有効埋込み長さ7d, 定着長さ195mm, 目荒しあり				
	アンカー筋比 $p_a$	1.5%			0.96%	1.5%
	割裂補強筋	スパイラル筋 $\phi 4$ - 外径60 @60				

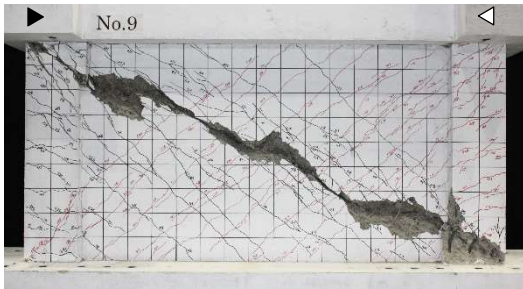


Photo 1 破壊状況 No. 9  
Failure State of Specimen No. 9

面を目荒らしし、割裂防止のスパイラル筋を配筋すると共にあと施工アンカーを打設する、一般的な工法とした。あと施工アンカーには、有機系ガラスカプセル型を用いた。増設壁厚は、70, 110mmとした。柱への軸力は、目標コンクリート強度に対する軸力比を $\eta=0.125$ として、増設壁の施工に先立ち、既存柱に導入した。実験時には、コンクリートの実強度を反映して、No. 1, 2, 3の柱軸力は、125kN/本にした。一方No. 9, 13では、実験前に想定した試験体のせん断耐力が、曲げ降伏耐力を上回ると推定されたため、柱軸力をNo. 9では250kN/柱に、No. 13では175kN/柱に増加した。試験体への水平力は、加力梁の片側から圧縮力で載荷した。載荷履歴は、層間変形 $R$ =載荷高さの水平変位 $\delta$ /壁底部からの載荷高さ $H$ (=1040mm)で求められる目標所定値 $R=1, 2, 4, 6 \times 10^{-3}\text{rad}$ で2サイクルずつ繰り返し正負交番繰返し載荷とし、その後は正側へ破壊するまで単調に載荷した。

## 2.2 破壊状況および実験結果

試験体の破壊状況をPhoto 1に、荷重 $Q$ ～変形角 $R$ 関係をFig. 3に、主な実験結果をTable 3に示す。いずれの試験体の破壊形式も、引張側柱頭付近から圧縮側柱脚付近へび割れが生じる壁せん断破壊で、No. 13以外の4体は、 $R=6 \times 10^{-3}\text{rad}$ の正側第1サイクル時に、No. 13は、 $R=6 \times 10^{-3}\text{rad}$ 繰返しサイクル後の単調載荷時に、破壊が生じた。強度差の影響による最終破壊状況の相違は小さく、破壊後の耐力は、いずれの試験体でも著しく低下した。No. 13では、最大耐力付近で耐力を保ったまま変位が増

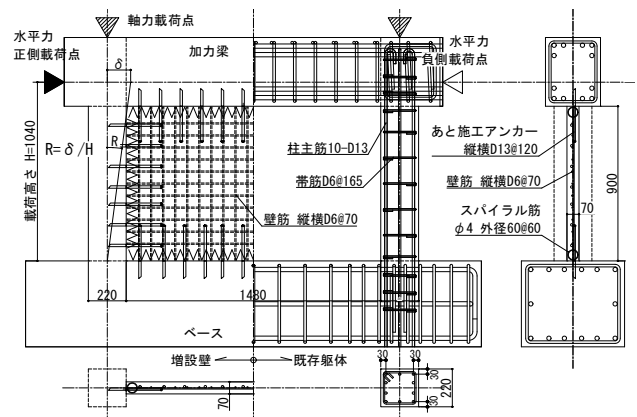


Fig. 2 試験体形状・詳細計画  
Configuration of Specimens

Table 2 材料特性  
Material Properties

コンクリートの諸元		$\sigma_B$	$\sigma_T$	$E_c$
試験体	使用部位	圧縮強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	割裂強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	弾性係数 [kN/mm <sup>2</sup> ]
No. 1	柱・加力梁・ベース	20.7	2.10	26.1
	増設壁	17.3	1.64	21.1
No. 2	柱・加力梁・ベース	22.4	2.12	24.5
	増設壁	35.7	2.71	25.4
No. 3	柱・加力梁・ベース	22.3	2.13	25.2
	増設壁	61.1	3.42	33.1
No. 9	柱・加力梁・ベース	19.9	1.99	25.1
	増設壁	36.8	2.70	28.1
No. 13	柱・加力梁・ベース	19.5	1.92	23.9
	増設壁	63.5	3.87	32.7

鉄筋の諸元			$\sigma_y$	$\sigma_u$	$E_s$	
試験体	使用部位	鉄筋種類	降伏強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	引張強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	弾性係数 [kN/mm <sup>2</sup> ]	
全試験体 共通	柱	主筋	D13(SD345)	370	529	195
		帯筋	D6(SD345)	366*	577	194
	加力梁 ベース	主筋	D22(SD345)	376	574	194
		あばら筋	D13(SD345)	370	529	195
No. 1, 2, 3, 9 No. 13	増設壁	壁筋	D6(SD295)	366*	540	195
		壁筋	D10(SD295)	339	474	188
全試験体 共通	増設壁 周辺	アンカー筋	D13(SD345)	373	546	194
		スパイラル筋	$\phi 4$ (SWM)	575*	681	185

\*0.2%オフセットによる降伏点

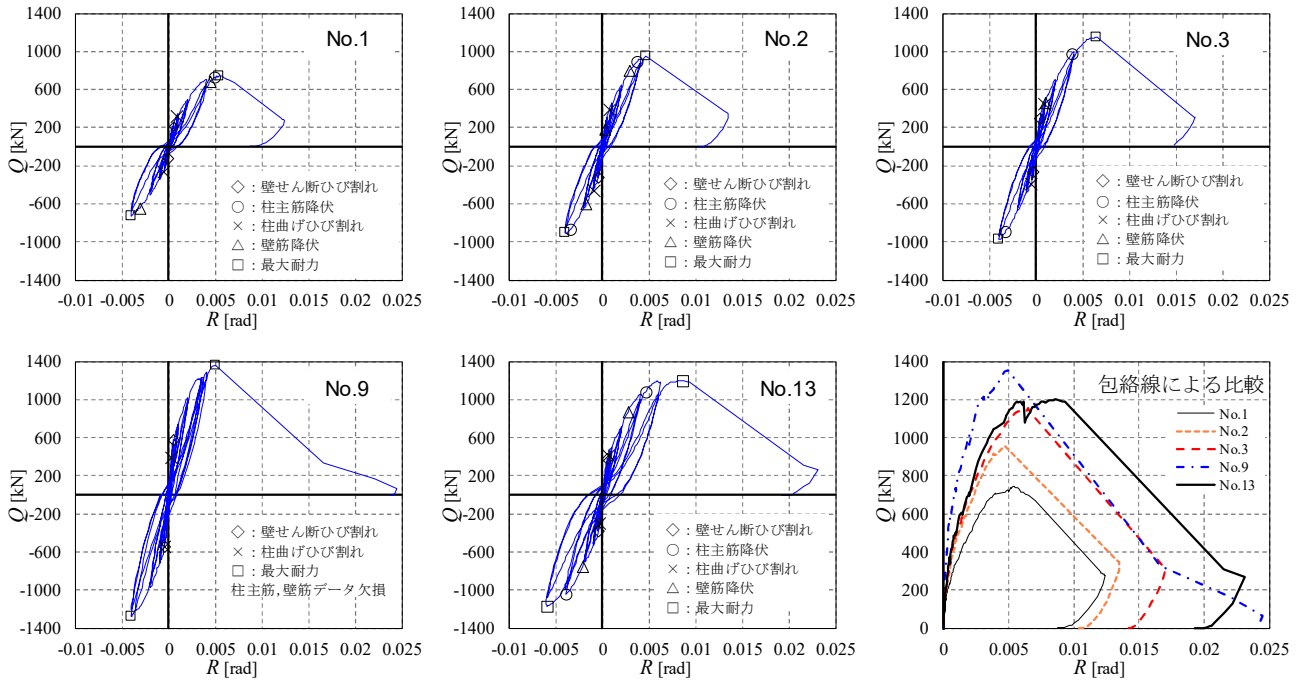


Fig. 3 水平荷重～変形角関係  
Relationships between Shear Force and Deformation Angle

Table 3 実験結果

試験体		No.1	No.2	No.3	No.9	No.13	
実験値	R=4/1000時耐力 $Q_{250}$ [kN]	706	912	993	1290	1050	
	最大耐力 $Q_{max}$ [kN]	746	954	1152	1353	1200	
	最大耐力時部材角 $R_{max}$ [rad]	0.0054	0.0047	0.0065	0.0050	0.0086	
	試験体破壊モード		壁せん断	壁せん断	壁せん断	壁せん断	曲げ降伏後壁せん断
	ひび割れ耐力	増設壁せん断 [kN]	221	184	293	572	375
	柱曲げ [kN]	320	392	447	394	412	
鉄筋降伏耐力	増設壁筋 [kN]	679	795	466	データ欠損	873	
	柱主筋 [kN]	724	888	977	データ欠損	1080	

Table 4 試験体概要  
Specification of Specimens

試験体		M1	M2	M3	M3t
実験因子			コンクリート強度		壁厚
既存躯体	圧縮強度 $\sigma_{B1}$	19.6N/mm <sup>2</sup>	20.1N/mm <sup>2</sup>	20.7N/mm <sup>2</sup>	20.4N/mm <sup>2</sup>
	柱諸元	$b \times D \times h = 220\text{mm} \times 220\text{mm} \times 900\text{mm}$ , 10-D13 ( $p_g = 2.62\%$ ), □-D6@165 ( $p_w = 0.18\%$ )			
	加力梁諸元	$b \times D \times L$ (内法) = $320\text{mm} \times 400\text{mm} \times 1480\text{mm}$ , 12-D22 ( $p_g = 3.63\%$ ), □-D13@120 ( $p_w = 0.66\%$ )			
	柱軸力	190kN/柱	220kN/柱	260kN/柱	190kN/柱
既存壁諸元		壁厚さ $t = 40\text{mm}$			D5@150 ( $p_w = 0.37\%$ )
増打ち壁	圧縮強度 $\sigma_{B2}$	19.2N/mm <sup>2</sup>	39.7N/mm <sup>2</sup>	48.2N/mm <sup>2</sup>	48.2N/mm <sup>2</sup>
	強度比 $\sigma_{B2}/\sigma_{B1}$	0.98	1.98	2.33	2.36
	増打ち壁厚さ		80mm		40mm
	壁配筋		D6@75		D5@100
	壁筋比 $p_w$		0.53%		0.55%
	あと施工アンカー アンカー筋比 $p_a$		D10@100 (先端ナット付き) 0.89%		D6@100 SD345 0.79%
有効埋込み長さ7d, 定着長さ150mm, 目荒しあり					
割裂補強筋		スパイラル筋 4φ-外径60 @60			φ 3-外径30 @40
既存壁との接合筋		あと施工アンカー D5@300×300 (先端ナット付) 目荒しなし			

加したが、最終的には壁せん断破壊となった。最終破壊に至るまで、増設壁と既存躯体の梁下などの接合部に、著しいずれや破壊は生じず、両者を一体打ちと見なせる破壊形式であった。

包絡線による荷重 $Q$ ～変形角 $R$ 関係の比較から、同一強度で増設壁を設けたNo.1と比較して、壁厚、配筋が同じ

で強度差があるNo.2,3では、最大耐力が向上した。強度比(=増設壁圧縮強度 $\sigma_{B2}$ /既存躯体圧縮強度 $\sigma_{B1}$ )=2.74のNo.3は、No.1の1.54倍の最大耐力を示し、せん断耐力が向上したと考えられる。この影響により、No.13ではせん断耐力が曲げ降伏耐力を上回り、 $Q$ ～ $R$ 関係に試験体が曲げ降伏した性状が表れたと考えられる。

### 3. 増打ち壁の実験

#### 3.1 実験計画および試験体の概要

増打ち壁の試験体概要をTable 4に、試験体の形状および詳細計画をFig. 4に、使用材料の特性をTable 5に示す。実験因子は、増打ち壁のコンクリート強度、壁厚で、試験体数は4体である。既存躯体の外形寸法と配筋は、増設壁実験の試験体を踏襲したが、本シリーズでは厚さ40mmの既存壁を、柱梁と一体で打設して設けた。既存壁を増厚する増打ち壁の厚さは、40, 80mmとした。目標圧縮強度は、既存躯体を15N/mm<sup>2</sup>とし、増打ち壁を15, 33, 48N/mm<sup>2</sup>とした。増打ち壁と既存柱梁との接合は、増設壁実験と同様に、既存躯体面を目荒しし、スパイラル筋を配筋する一般的なあと施工アンカー接合とした。ただし既存壁の表面は、平滑なままで目荒らしは行わず、あと施工アンカーによる接合筋を配筋した。柱および既存壁へは、目標コンクリート強度に対する軸力比 $\eta=0.120$ として、増打ち壁の施工に先立ち軸力を導入したが、実験時には、コンクリートの実強度と試験体の破壊状況を鑑みて、Table 4に示す軸力に増加した。増打ち壁に打設したコンクリートは、同時に採取したテストピースよりも明らかに早く硬化・乾燥が進んでいた。本報では、増打ち壁のコンクリート強度には、同部位から採取するコア供試体による強度がより正確に反映できると考え、実験直後に増打ち壁からコア供試体を採取して、圧縮強度として用いた。載荷方法および載荷履歴は、増設壁の実験と同様とした。

#### 3.2 破壊状況および実験結果

試験体の破壊状況をPhoto 2に、荷重 $Q$ ～変形角 $R$ 関係をFig. 5に、主な実験結果をTable 6に示す。いずれの試験体の破壊形式も、引張側柱頂付近から圧縮側柱脚部付近へひび割れが生じるせん断破壊で、M1とM3tは $R=6 \times 10^{-3}$ radの正側第1サイクル時に、M2は $R=6 \times 10^{-3}$ radの負側第1サイクル時に、M3は $R=6 \times 10^{-3}$ radの正側第2サイクルの変位ピーク時に、それぞれ破壊が生じた。M2, M3は、最大耐力付近で耐力を保ったまま変位が増加したが、最終的には壁せん断破壊となった。破壊後の耐力は、いずれも著しく低下した。最終破壊に至るまで、増打ち壁と既存躯体の梁下などの接合部に、著しいずれや破壊は生じず、また既存壁と増打ち壁のひび割れや、壁筋のひずみ状況にも

目立った相違は観察されなかった。よって増打ち壁と既存躯体を一体打ちと見なせる破壊形式であった。既存壁と増打ち壁の接合面に目荒しは行わなかったが、加力梁の剛性が高い影響もあり、両者の一体性は保たれていたと思われる。

包絡線による荷重 $Q$ ～変形角 $R$ 関係の比較から、同一強度で増打ち壁を設けたM1と比較して、M2, M3の最大耐力

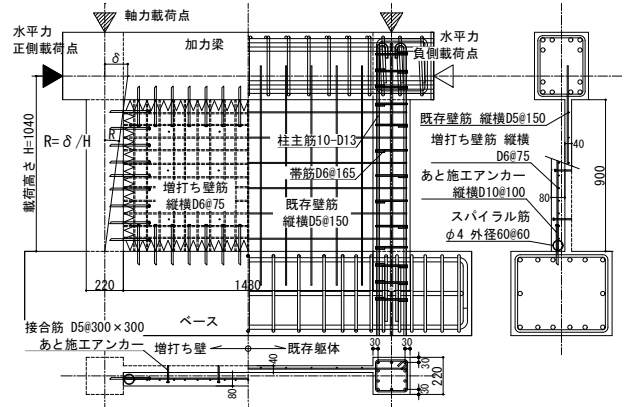


Fig. 4 試験体形状・詳細計画 Configuration of Specimens

Table 5 材料特性 Material Properties

コンクリートの諸元		$\sigma_B$	$\sigma_T$	$E_c$
試験体	使用部位	圧縮強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	割裂強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	弾性係数 [kN/mm <sup>2</sup> ]
M1	柱・加力梁・ベース	19.6	1.83	24.8
	増打ち壁	19.2*	—	—
M2	柱・加力梁・ベース	20.1	1.99	25.0
	増打ち壁	39.7*	—	—
M3	柱・加力梁・ベース	20.7	1.94	25.7
	増打ち壁	48.2*	—	—
M3t	柱・加力梁・ベース	20.4	1.77	24.2
	増打ち壁	48.2*	—	—

\*増打ち壁は、試験後のコア強度による

鉄筋の諸元			$\sigma_y$	$\sigma_u$	$E_s$	
試験体	使用部位	鉄筋種類	降伏強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	引張強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	弾性係数 [kN/mm <sup>2</sup> ]	
全試験体共通	柱	主筋	D13(SD345)	357	569	193
		帯筋	D6(SD345)	361*	537	192
	既存壁	壁筋	D5(SD295)	347*	531	195
		壁筋	D6(SD295)	361*	537	192
M1, M2, M3	増打ち壁周辺	アンカー筋	D10(SD345)	363	569	196
		スパイラル筋	φ4(SWM)	587*	785	193
		壁筋	D5(SD295)	347*	531	195
M3t	増打ち壁周辺	アンカー筋	D6(SD295)	361*	537	192
		スパイラル筋	φ3(SWM)	647*	686	206
		壁筋	D5(SD295)	347*	531	195

\*0.2% オフセットによる降伏点

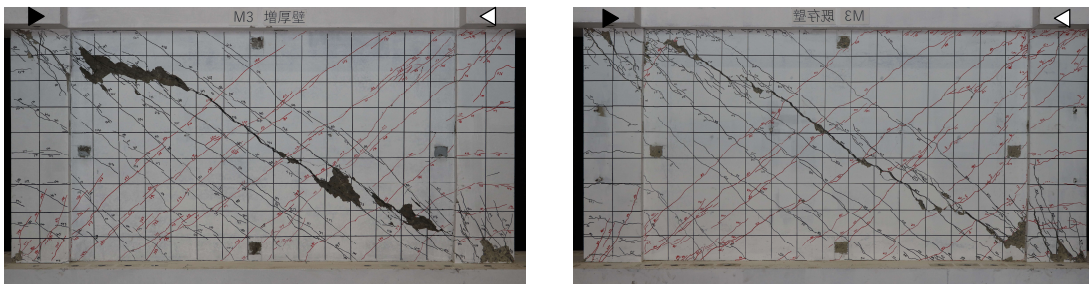


Photo 2 破壊状況 M3 (左: 増打ち壁, 右: 既存壁 (左右反転で掲載)) Failure State of Specimen M3



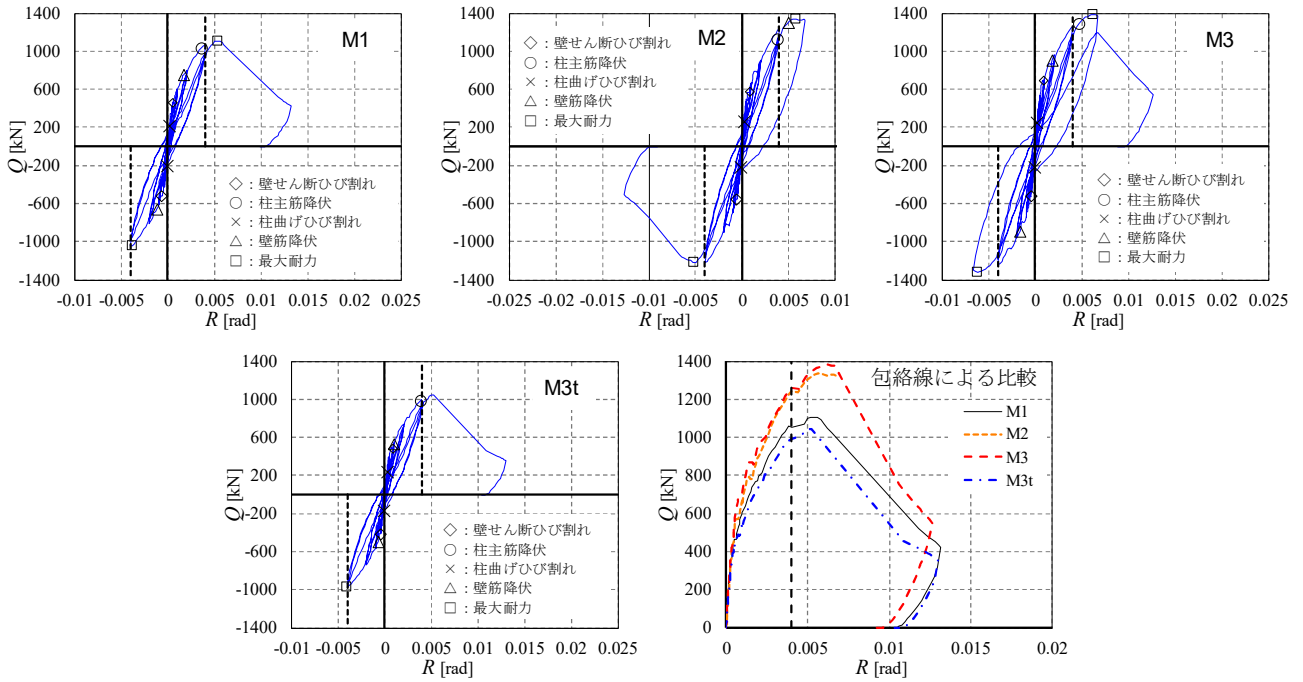


Fig. 5 水平荷重－変形角関係  
Relationships between Shear Force and Deformation Angle

Table 6 実験結果

試験体		M1	M2	M3	M3t	
実験値	R=4/1000時耐力 $Q_{250}$ [kN]	1051	1240	1263	994	
	最大耐力 $Q_{max}$ [kN]	1105	1335	1384	1046	
	最大耐力時部材角 $R_{max}$ [rad]	0.0054	0.0058	0.0062	0.0052	
	試験体破壊モード		壁せん断	曲げ降伏後壁せん断	曲げ降伏後壁せん断	壁せん断
	ひび割れ耐力	既存壁せん断 [kN]	462	574	690	485
		増打ち壁せん断 [kN]	467	574	690	485
		柱曲げ [kN]	220	260	249	239
	鉄筋降伏耐力	既存壁筋 [kN]	754	1306	908	532
		増打ち壁筋 [kN]	754	1199	867	486
		柱主筋 [kN]	1032	1128	1288	982

は向上した。M3tの増打ち壁厚はM1の半分であるが、両者の最大耐力は同程度であった。よって強度差によるせん断耐力の向上効果は、増打ち壁においても得られていたと考えられる。またこの影響で、M2, M3では柱主筋が曲げ降伏し、 $Q \sim R$ 関係に試験体が曲げ降伏した性状が表れたと考えられる。

#### 4. せん断耐力の検討

##### 4.1 既往式による評価

増設壁および増打ち壁（以後、増設壁（増打ち壁）と記す）と既存躯体を、一体と見なすせん断耐力は、コンクリート強度 $\sigma_B$ に、増設壁（増打ち壁）と既存躯体のいずれか低い強度を用いた次式による。

$${}_w Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 p_{ie}^{0.23} (18 + \sigma_B)}{M / (Q \cdot l) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{se} \cdot \sigma_{wy}} + 0.1 \sigma_{oe} \right\} \cdot b_e \cdot j_e \quad (1)$$

ここに、 $\sigma_{oe} = N / b_e \cdot l$ ：軸方向応力度。N：両側柱の軸力の和。 $b_e = \Sigma A / l$ ：等価壁厚。 $\Sigma A$ ：増設壁の全面積。

$l$ ：壁の全長。 $p_{ie}$ ：等価引張鉄筋比。 $p_{se}$ ：等価壁筋比  $= a_w / (b_e \cdot s)$ 。 $a_w, s$ ：1組の壁筋の断面積および間隔。 $\sigma_{wy}$ ：壁筋降伏強度。 $j_e$ ：応力中心間距離。増打ち壁においては  $p_{se} \cdot \sigma_{wy} = (p_{se} \cdot \sigma_{wy})_2 = (a_{w1} \cdot \sigma_{wy1}) / (b_e \cdot s_1) + (a_{w2} \cdot \sigma_{wy2}) / (b_e \cdot s_2)$  に読み替える（添え字1は既存壁を、添え字2は増打ち壁をそれぞれ示す）。その他の記号は耐震改修指針<sup>1)</sup>による。

増設壁（増打ち壁）の曲げ耐力は、アンカー筋の引張耐力を考慮した次式による。

$${}_w Q_{mu} = (a_t \cdot \sigma_{cy} + 0.5 \Sigma P_a + 0.5 N) \cdot \frac{l_w}{H} \quad (2)$$

ここに、 $a_t, \sigma_{cy}$ ：引張側柱主筋の全断面積、およびその降伏強度。 $\Sigma P_a$ ：接着系アンカー筋の引張耐力の総和で各種アンカーボルト設計指針<sup>2)</sup>による。 $l_w$ ：両側柱の中心間距離。 $H$ ：載荷高さ。増打ち壁においては  $\Sigma P_a$  を  $\Sigma P_{w1} + \Sigma P_a$  に読み替える。 $\Sigma P_{w1}$ ：既存壁縦筋降伏耐力の総和。

実験で得られた各種耐力と計算値をTable 7に示す。同表には、本報9体の他に、既往の増設壁および増打ち壁実

Table 7 実験値と計算値の比較  
Comparison of Test and Calculation Results

文献 番号	試験体名	壁種			実験 結果 $Q_{max}$ [kN]	コンクリート 強度		強度比 $\frac{\sigma_{B2}}{\sigma_{B1}}$	既往の算定式			強度差を考慮した算定式		
		増 設 壁	増 打 ち 壁	* 一 体 打 ち		既存躯体 $\sigma_{B1}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	増設壁 $\sigma_{B2}$ [N/mm <sup>2</sup> ]		曲げ耐力 $wQ_{mua}$ [kN]	せん断 耐力 $wQ_{su}$ [kN]	実験値 計算値 $\frac{Q_{max}}{wQ_{su}}$	等価平 均強度 $\sigma_{Be}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	せん断 耐力 $wQ_{su(1)}$ [kN]	実験値 計算値 $\frac{Q_{max}}{wQ_{su(1)}}$
本 報	増 設 壁	No. 1	●		746	20.7	17.3	0.84	1094	479	1.56	18.9	491	1.52
		No. 2	●		954	22.4	35.7	1.59	1099	518	1.84	29.3	570	1.67
		No. 3	●		1152	22.3	61.1	2.74	1099	517	2.23	42.4	669	1.72
		No. 9	●		1353	19.9	36.8	1.85	1296	664	2.04	30.5	762	1.78
		No. 13	●		1200	19.5	63.5	3.26	1172	563	2.13	42.2	735	1.63
	増 打 ち 壁	M1		●	1105	19.6	19.2	0.98	1203	638	1.73	19.4	640	1.73
		M2		●	1335	20.1	39.7	1.98	1253	652	2.05	28.6	734	1.82
		M3		●	1384	20.7	48.2	2.33	1320	665	2.08	32.6	779	1.78
		M3t		●	1046	20.4	48.2	2.36	1153	513	2.04	28.0	574	1.82
	3)	C2015	●		1176	22.9	29.1	1.27	1354	762	1.54	27.2	805	1.46
	4)	W-0		●	710	25.4	25.4	1.00	786	464	1.53	25.4	464	1.53
		F-2	●		696	20.6	25.4	1.23	738	436	1.60	23.1	451	1.54
	5)	C2012	●		1176	22.9	29.1	1.27	1354	762	1.54	27.2	805	1.46
	6)	No. 2	●		1049	26.2	24.2	0.93	1392	742	1.41	24.8	748	1.40
No. 3		●		1098	26.4	26.3	1.00	1460	762	1.44	26.3	763	1.44	
No. 4		●		1137	24.7	21.1	0.85	1388	711	1.60	22.2	722	1.57	
No. 6		●		1039	26.4	26.3	1.00	1460	762	1.36	26.3	763	1.36	
7)	C2015-A	●		1139	19.4	14.7	0.76	1376	671	1.70	16.1	686	1.66	
	C2015-B	●		1100	21.9	14.7	0.67	1385	671	1.64	16.9	693	1.59	
	C2015-C	●		1565	39.5	38.6	0.98	1441	908	1.72	38.9	911	1.72	
8)	FW-6		●	1070	36.0	34.6	0.96	1021	729	1.47	35.6	737	1.45	
9)	LW-0		●	495	13.2	13.2	1.00	903	394	1.25	13.2	394	1.25	
	LF-2	●		650	13.2	26.6	2.01	733	394	1.65	20.3	437	1.49	
10)	NM1		●	885	29.8	21.9	0.73	1123	537	1.65	27.3	582	1.52	
	NM2		●	877	29.8	21.9	0.73	1123	537	1.63	27.3	582	1.51	
11)	WJ2	●		941	18.6	32.5	1.75	1033	548	1.72	27.0	622	1.51	
12)	No. 5		●	789	20.1	42.0	2.09	1849	451	1.75	23.9	482	1.64	
	No. 6		●	772	20.2	48.5	2.40	1844	432	1.79	23.3	456	1.69	
13)	No. 8		●	775	12.7	54.5	4.29	1755	384	2.02	19.9	460	1.68	
14)	No. 11		●	1095	18.7	52.6	2.81	1851	534	2.05	26.4	600	1.83	
	No. 13		●	631	17.2	45.0	2.62	1805	329	1.92	23.5	364	1.74	

\*一体打ち：柱梁と壁を同時に打設した試験体

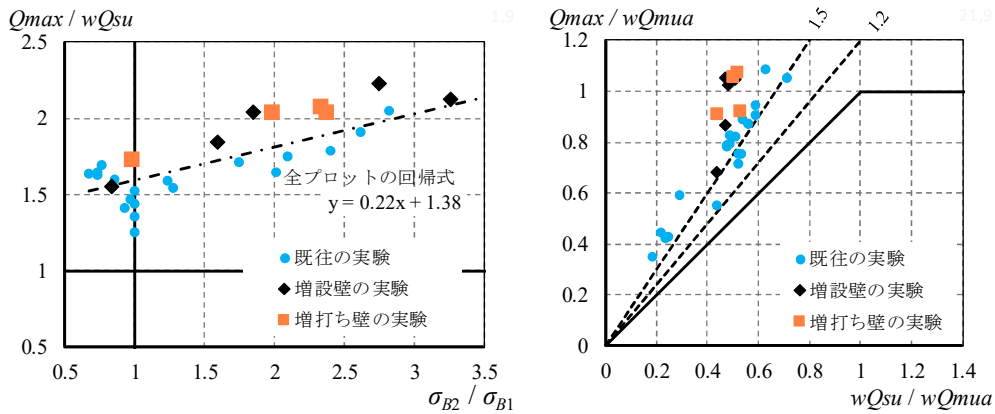


Fig. 6 既往式による計算値と実験値の比較

Comparison of Test and Calculation Results by Existing Formulas

験<sup>3)~14)</sup>から、増設壁(増打ち壁)と既存壁が一体打ちと見なせる破壊型式の実験結果22体を合わせて示した。また、最大耐力実験値 $Q_{max}$ /せん断耐力計算値 $wQ_{su}$ (実/計と略記)と強度比(=増設壁(増打ち壁)圧縮強度 $\sigma_{B2}$ /既存躯体圧縮強度 $\sigma_{B1}$ )の関係、および最大耐力実験値とせん断耐力計算値を、曲げ耐力計算値 $wQ_{mua}$ で無次元化した関係をFig. 6に示す。実/計と強度比を比較した図より、両者には比例関係が認められ、強度比が大きくなると実験結果

を過小に評価する傾向がみられた。

4.2 強度差を考慮した評価

せん断耐力に増設壁(増打ち壁)と既存躯体の強度差を考慮する手法として、式(1)中のコンクリート強度 $\sigma_B$ に替えて、既存柱との強度を等価面積で平均化した面積等価平均強度 $\sigma_{Be}$ を用いる次式を検討した。

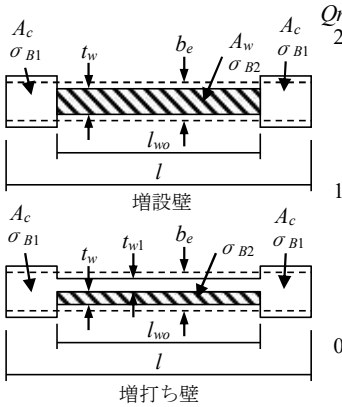


Fig. 7 増設壁(増打ち壁)の断面  
Section of Additional Wall  
(Thickening Wall)

$$wQ_{su(1)} = \left\{ \frac{0.053 p_{te}^{0.23} (18 + \sigma_{Be})}{M / (Q \cdot l) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{se} \cdot \sigma_{wy} + 0.1 \sigma_{oe}} \right\} \cdot b_e \cdot j_e \quad (3)$$

ここに $\sigma_{Be}$ は、Fig. 7に示す柱、壁の圧縮強度、および面積を用いた次式による。

$$\text{増設壁: } \sigma_{Be} = \frac{\sum A_c \cdot \sigma_{B1} + t_w \cdot l_{wo} \cdot \sigma_{B2}}{\sum A_c + t_w \cdot l_{wo}} \quad (4)$$

$$\text{増打ち壁: } \sigma_{Be} = \frac{\sum A_c + t_{w1} \cdot l_{wo} + (\sigma_{B2} / \sigma_{B1}) \cdot t_w \cdot l_{wo}}{\sum A_c + (t_{w1} + t_w) \cdot l_{wo}} \cdot \sigma_{B1} \quad (5)$$

式(3)~(5)で得られた耐力と計算値を、前出のTable 7に示す。またFig. 6と同様に、実験値と計算値の比較をFig. 8に示す。実/計と強度比の関係を示した図より、既往式(1)の場合、全実験結果を回帰した直線の強度比に対する勾配は、Fig. 6に示す0.22であるが、 $\sigma_{Be}$ で補正した式(3)とすることで、Fig. 8に示す0.09にまで小さくでき、1.5倍程度の安全率を確保したまま、強度比が大きな試験体における過小な評価を抑えることができた。式(1)の第1項は、せん断強度に対するコンクリートの寄与分と考えられているが、同項に用いられるコンクリート強度に、増設壁(増打ち壁)の強度上昇分を、面積で等価した平均強度で考慮することで、簡便にその効果を評価できると考えられる。

## 5. まとめ

増設壁および増打ち壁のコンクリート強度を、既存躯体よりも高くした、一層スパン縮小試験体による水平加力実験を行った。以下にまとめを示す。

- 1) 増設壁および増打ち壁のコンクリート強度を既存躯体よりも高くすると、同一強度で補強する場合よりも高いせん断耐力を得た。
- 2) 増設壁および増打ち壁と既存躯体を一体打ちと見なす破壊形式のせん断耐力を、コンクリートの強度差を考慮して簡便に評価する手法を提案した。

なお、耐震補強として増設する耐震壁の破壊形式には、本実験で確認された増設壁および増打ち壁と既存躯体を一体打ちと見なす破壊形式とは別に、既存躯体の梁下な

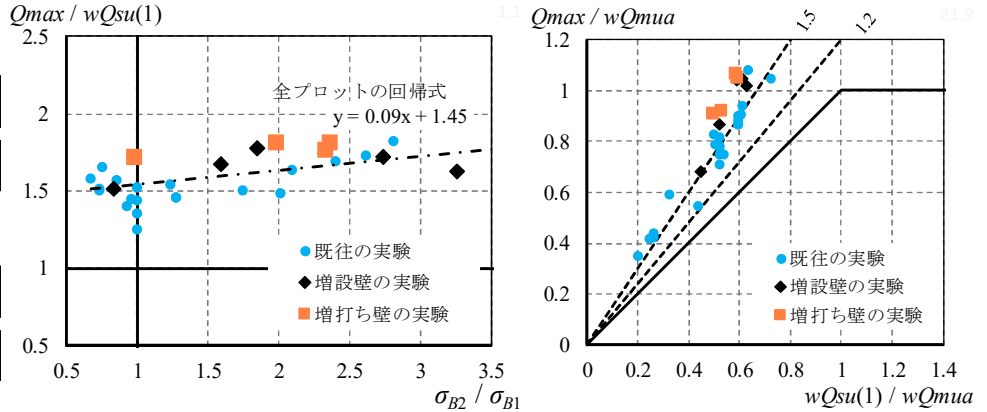


Fig. 8 強度差を考慮した計算値と実験値の比較

Comparison of Test and Calculation Results considering Strength Difference

どの接合部で破壊し一体打ちと見なせない破壊型式があるが、後者を含めた検討は別報とする。

## 参考文献

- 1) (財)日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建物の耐震改修指針・同解説，2017.7
- 2) (一社)日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，2010.11
- 3) 加藤大介他：無開口後打耐震壁の耐力評価に関する研究，日本建築学会論文報告集，第337号，pp. 81-88，1984.3
- 4) 大芳賀義喜他：後打ち耐震壁補強に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造，pp. 1647-1648，1981.9
- 5) 加藤大介他：増設RC耐震壁の耐力と変形能の評価に関する実験的研究（その1 実験概要），（その2 実験結果），日本建築学会関東支部研究報告集，pp. 169-176，1982
- 6) 野口博他：増設RC耐震壁の耐力と変形性能に与える樹脂アンカーのディテールの効果に関する実験的研究（第1報：実験概要），（第2報：実験結果の検討）日本建築学会大会学術講演梗概集，構造，pp. 2147-2150，1983.9
- 7) 青山博之他：既存鉄筋コンクリート建物の耐震補強工法に関する研究（その1. 鉄筋コンクリート後打ち耐震壁の実験），（その2. 耐震壁内の応力度の分布），日本建築学会大会学術講演梗概集，構造，pp. 81-84，1985.10
- 8) 杉本敏和他：実仕様による接着系アンカーを用いたRC造増設耐震壁の実験的研究（その1 実験計画および実験結果），（その2 増設耐震壁の終局耐力の評価），日本建築学会大会学術講演梗概集，構造，pp. 219-222，1999.9
- 9) 但木幸男他：既存鉄筋コンクリート造建物の耐震補強に関する研究（その2-後打ち耐震壁の既往の実験結

- 果に関する検討), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1615-1616, 1982.10
- 10) (一財)日本建築総合試験所: 3Q-Wall工法—各種ブロックを用いた耐震補強工法—建築技術性能証明評価概要報告書(改定5), pp. 49-55, 2011.1
- 11) (一財)日本建築総合試験所: 大林組WJ目粗し接合工法—既存躯体接合面をウォータージェットで目粗しした耐震改修用接合工法—建築技術性能証明評価概要報告書(改定2), pp. 79-114, 2016.4
- 12) 岸本剛他: モルタル吹き付けによる耐震壁の増し打ち補強に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp. 303-304, 2013.8
- 13) 岸本剛他: モルタル吹き付けによる耐震壁の増し打ち補強に関する研究 その2—せん断耐力の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), pp. 593-594, 2016.8
- 14) 岸本剛他: モルタル吹き付けによる耐震壁の増し打ち補強に関する研究 その3—実験概要および実験結果検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), pp. 305-306, 2017.8