

# 高強度薄型増打ち壁補強工法の開発

荒木 秀夫\*・久保 匠\*\*

(令和元年10月29日受付)

## Seismic Strengthening with Grout Concrete for Existing Shear Wall

Hideo ARAKI and Takumi KUBO

(Received Oct. 29, 2019)

### Abstract

This paper presents the seismic performance of RC walls retrofitted with high strength grout concrete. The test walls were subjected to cyclic lateral loads under lateral displacement control. The thickness of original wall was 50mm with side columns. The test walls were designed to replicate existing walls, of which the concrete strength was  $15\text{N/mm}^2\sim 25\text{N/mm}^2$ . The strength of the grout concrete used for retrofitting was more than  $50\text{N/mm}^2$ . The final collapse mechanisms of the all test walls were shear failure mode. The maximum strength of the retrofitted walls were more than two times of the original wall. It is anticipated that there is strong possibility of high strength grout concrete for retrofitting the existing shear wall.

**Key Words:** Existing building, Shear wall, Retrofit, High strength grout concrete

### 1 はじめに

巨大地震の発生が予測される中で安心安全な社会の実現は喫緊の課題であるといえる。1995年の兵庫県南部地震以後、既存建物の耐震診断改修が進められているものの耐震性能が劣る建物が数多く残っているのが現状である。耐震性能が劣る建物は速やかに改修する必要がある、改修については多くの方法が提案されている。改修方法には建物全体の強度上昇および靱性改善する方法があるが、枠組み鉄骨ブレースや耐震壁を新たに増設することによって既存建物の強度（耐力）上昇を目指すものがより一般的に採用されている。ただし、もともと開口部であった場所を塞ぐデメリットがあり、既存の壁を厚くする増し打ち壁工法を採用する場合も多い。建物強度の不足分を増設する壁で補うことを目的とするものであるが壁厚を厚くして出来るだけ改修箇所を少なくしたいのが現場からの要請である。しか

し増し打ちに使用するコンクリート強度は既存部の強度程度に制限されることが多く、強度確保のために壁厚を大きくすると既存梁部分の増し打ちまで必要となってくる。そこで壁増し打ち部分に高強度コンクリートが使用できれば、壁厚を大きくすることなく耐力が確保できると考えられる。

本研究では上記の増し打ち壁補強の増設コンクリートに高強度の無収縮のプレミックスグラウト材を使用することを提案するものである。一般的に使用されているコンクリートは生コン工場で練り混ぜられ、ポンプ圧送という工程が必要であるが、昼間打設という時間的制約や狭隘な場所での打設困難さなど場所的な制約も多い。一方、このプレミックスグラウトは人力による現場練りが可能であり、生コンのような制約を受けることはなく、施工性能に優れているとされるものである。

本研究の目的は本材料の実用化に向けての基礎的段階として縮小試験体を用いて既存壁を想定した壁板に高強度の

\* 広島工業大学工学部建築工学科

\*\* 株式会社リーテック

表1 壁断面詳細

設計基準強度 Fc [N/mm <sup>2</sup> ]	壁断面 L×h×t [mm]	壁筋 SD295	側柱 b×D [mm]	主筋 SR24	帯筋 SR24
15	800×750×50	D6@150 タテヨコ Ps=0.4%	250×150	4-D16 Pg=2.12%	2-D6@100 Pw=0.25%

プレミックスグラウト壁を増設し、その協働効果を確認することとしている。本報告は提案する補強による効果を実験的に検証するものである。

## 2 実験概要

### 2.1 基準試験体概要

既存壁を想定した基準となる鉄筋コンクリート耐震壁は壁全長800mm、壁高さ750mm、厚さは50mmである。側柱幅は250mm、せいは150mmである。主筋には異形鋼を使用し、引張主筋は2-D16、せん断補強筋は2-D6@100である。コンクリートの設計基準強度は1970年代のRC造建物を模倣してFc15としている。壁断面詳細は表1に示す

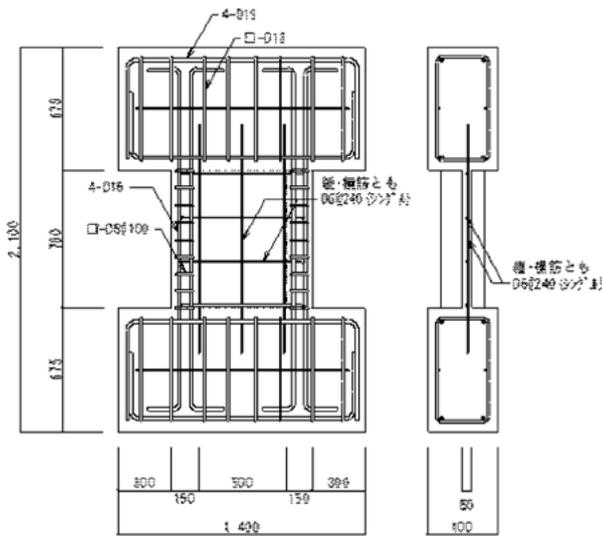


図1 既存壁詳細図

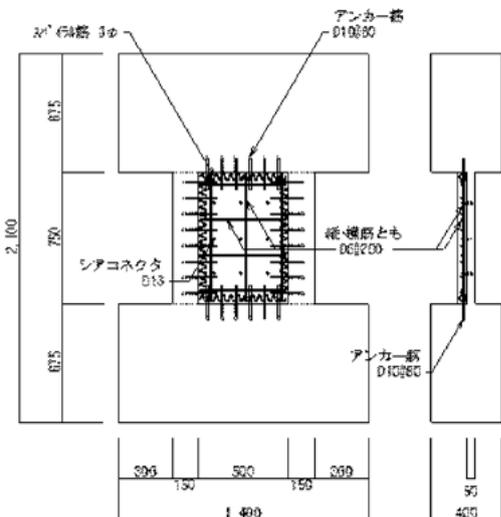


図2 補強概要図 (No. 4)

とおりである。なお、試験体とする壁部分の上下端部には試験装置に固定するため400mm×675mm×1400mmのRC造のスタブを設けている。スタブはD19およびD10で補強している。なお、コンクリートは平打ちである。既存試験体として同じものを4体作成し、そのまま加力するものをNo.1とした。図1に基準試験体の配筋詳細及び図2にNo.4の補強概要図を示す。

### 2.2 補強概要

既存壁に壁増し打ちするものは残り3体とし、No.2～4とした。No.2は既往の補強方法としてコンクリート壁100mmの増し打ちをしたものである。No.3及びNo.4は無収縮グラウト壁50mmのもので、前者は壁筋なし、後者は壁筋ありである。補強概要を図3に示す。

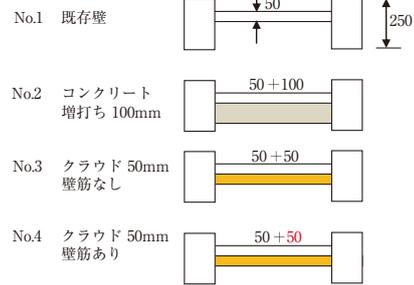
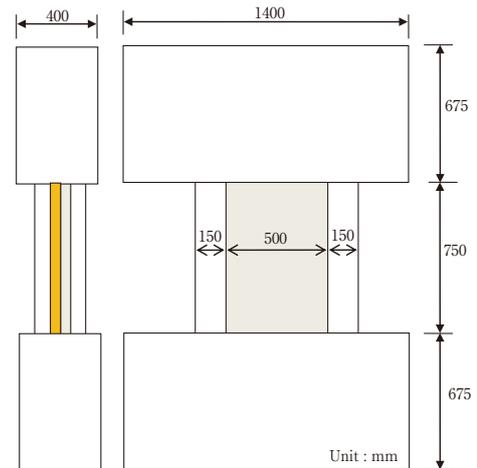


図3 試験体概要

### 2.3 試験体設計耐力

無収縮グラウトコンクリートを用いて増し打ちした耐震壁の耐力は次の(i)、(ii)、(iii)の各耐力のうち最も小さい値とする。

(i) せん断終局耐力

次に示す(a)(b)のうち小さい値とする。

(a) 増し打ち壁板（無収縮グラウトコンクリート）と既存壁（普通コンクリート）が一体であるとみなして求めたせん断終局耐力

(b) 接合剤のせん断終局耐力に既存壁のせん断終局強度を累加した値。ただし、増し打ち壁内法部分のせん断終局耐力に既存壁のせん断終局耐力を加えた方が小さい場合はその値とする。

(ii) 周辺架構を含む曲げ耐力

(iii) 周辺架構を含む回転耐力 本実験では考慮しない。

・一体打ちとみなす耐震壁のせん断終局耐力は以下の式で求めることとする。

$${}_w Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 p_{er}^{0.23} (18 + F_{cr})}{M / (Q \cdot D) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{se} \cdot {}_w \sigma_y + p_{wer} \cdot {}_w \sigma_{yr}} + 0.1 \sigma_{over} \right\} t_{wer} \cdot j_e$$

ただし  $1 \leq M / (Q \cdot L) \leq 3$ ,  $\sigma_{er} \leq 8N / mm^2$

・接合剤により既存壁と増し打ち壁板が接合された耐震壁のせん断終局耐力

$${}_w Q_{su} = {}_w Q_{uo} + Q_j$$

・増し打ち壁板（内法部分）と既存壁の耐力を累加したせん断終局耐力  ${}_w Q_{su} = {}_w Q_{uo} + {}_w Q'_{su}$

ここで、 ${}_w Q'_{su} = \max [p_{wr} \cdot {}_w \sigma_{yr}, F_{cw} / 20 + 0.5 p_{wr} \cdot {}_w \sigma_{yr}] t_{wr} \cdot L_{wo}$

$$\text{曲げ耐力式 } Q_{mu} = (a_t \cdot \sigma_y \cdot l_w + 0.5 a_w \cdot \sigma_{wy} \cdot l_w + 0.5 N \cdot l_w) / (L/2)$$

${}_w Q_u$  : 両側柱付壁を増し打ち壁で補強した保有せん断力

${}_w Q_{su}$  : 両側柱付壁を増し打ち壁で補強したせん断終局耐力

${}_w Q_{mu}$  : 両側柱付壁を増し打ち壁で補強した曲げ終局耐力

${}_w Q_{uo}$  : 両側柱付壁を（既存部のみ）のせん断終局耐力

「2017年版 RC 耐震診断基準」2）付則 2 章に示される（付 2-2）式における  ${}_w Q_{su}$  を  ${}_w Q_{uo}$  と読み替えて準用する。

${}_w Q'_{su}$  : 増し打ち壁板（内法部分）のせん断終局耐力

$Q_j$  : 梁下面にある増し打ち部接合材のせん断耐力の和

$t_{wer}$  : 補強壁（増し打ち+既存）の等価壁厚

$$t_{wer} = \min [(\Sigma A + \Sigma A_r) / L, 1.5 \cdot (t_w + t_{wr})]$$

$F_{cr}$  : 補強壁（増し打ちグラウト+既存コンクリート）の平均圧縮強度

$$F_{cr} = (F_c \cdot \Sigma A + F_{cr} \cdot \Sigma A_r) / (\Sigma A + \Sigma A_r)$$

$p_{er}$  : 補強壁（既存+増し打ち）の等価引張鉄筋比（%）

$$p_{er} = 100 \cdot a_t / (t_{wer} \cdot L)$$

$p_{wer}$  : 補強壁（既存+増し打ち）に対する増し打ち壁の等価横筋比  $p_{wer} = a_{hr} / (t_{wer} \cdot s_r)$

$p_{se}$  : 既存壁部分の等価横筋比  $p_{se} = a_h / (t_{wer} \cdot s)$

$p_{wr}$  : 増し打ち壁部分の等価横筋比  $p_{wr} = a_{hr} / (t_{wr} \cdot s_r)$

$\sigma_{over}$  : 補強壁（既存+増し打ち）の軸方向応力度

$$p_{se} = N / (t_{wer} \cdot L)$$

$t_w$  : 既存壁厚さ

$t_{wr}$  : 増し打ち壁厚さ

$L$  : 壁全長

$L_w$  : 耐震壁の側柱心間距離

$L_{wo}$  : 耐震壁の内法長さ

$h_w$  : 耐震壁の頂部高さ

$j_e$  : 耐震壁の応力中心間距離

$$j_e = (7/8) \cdot (L - D_c / 2) * 2)$$

$a_h$  : 1組の既存壁横筋の断面積

$a_{hr}$  : 1組の増し打ち壁横筋の断面積

$s$  : 既存壁横筋の間隔

$s_r$  : 増し打ち壁横筋の間隔

$\sigma_{wy}$  : 既存壁横筋の降伏強度（+49N/mm<sup>2</sup>で評価）

${}_w \sigma_{yr}$  : 増し打ち壁横筋の降伏強度（降伏点強度の1.1倍）

$b_c$  : 既存側柱の幅

$D_c$  : 既存側柱のせい

$a_t$  : 引張側柱の主筋全断面積

$\Sigma A$  : 既存壁の水平断面積  $\Sigma A = t_w \cdot L_w + \Sigma (b_c \cdot D_c)$

$\Sigma A_r$  : 増し打ち壁板の水平断面積  $\Sigma A_r = t_{er} \cdot L_{wo}$

$F_c$  : 既存壁コンクリートの圧縮強度

$F_{cw}$  : 増し打ち壁無収縮グラウトコンクリートの圧縮強度

$M/Q$  : 耐震壁のせん断スパン 本実験の場合、反曲点高さ  $h = h_w / 2$

$N$  : 側柱の全軸力

表 2 に既存壁の計算強度を示す。

表 2 既存壁の計算強度一覧

せん断強度 (kN)	$Q_{su}$	168
曲げ強度 (kN)	$Q_{mu}$	770
曲げせん断耐力比	$Q_{su} / Q_{mu}$	0.22

## 2.4 使用材料

### ①グラウト

#### i) 圧縮試験

圧縮試験は JIS A1108 に準拠して行った。ひずみ計測は 検長区間 60mm のストレインゲージ（東京測器：PL-60-11）および 検長区間 100mm のコンプレッソメーター（東京測器：CMB-10）を使用して行った。ただし、50φ×100h について 検長区間 30mm のストレインゲージ（東京測器：PFL-30-11）のみ使用している。荷重はロードセル（東京測器：CFL-500kNA）を用いている。加力は広島工業大学所有の 200TON 圧縮試験機（SIMAZU CCH 2000kN）を使用している。供試体は 100φ×200h のテストピース 3 本、50φ×100h のテストピース 3 本である。グラウトの性能を確認するために 28 日、および 91 日に圧縮試験を行っている。供試体（100φ×200h）材令 28 日の圧縮強度はカタログ値 55.1N/mm<sup>2</sup> を満足している。またヤング係数（SG）はカタログ値 32.5 を満足している。同材令の供試

表3 コンクリートおよびグラウトの材料特性

試験体	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
No. 1	16.1	20.9	1.54
No. 2	18.4	22.0	2.04
No. 3	20.2	22.2	2.02
No. 44	22.9	22.6	2.10
増し打ち	24.1	24.9	2.54
Grout 1	56.4	31.5	3.70
Grout 2	60.9	31.6	4.24

表4 グラウト材のカタログ値

商品名	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
太平洋プレ ユーロックスGC	55.1	32.5

表5 標準調合 (kg/m<sup>3</sup>)

コンシステンシー		太平洋プレユー ロックスGC(kg)	練り混ぜ水 (kg)
スランブフロー (mm)	テーブルフロー (mm)		
600±100	210±40	2111	288

練り上げ温度5～35 (°C)

体 (50φ×100h) の圧縮強度はこの値より低いのがこれは最大値に達する以前に脆性的な破壊が発生したものと思われる。供試体 (50φ×100h) のストレインゲージで計測したヤング係数は1体を除き計測できていない。

ii) 割裂引張試験

割裂試験は JIS A1113 に準拠して行っている。供試体は 100φ×200h のテストピース 3 本、50φ×100h のテストピース 3 本である。圧縮試験と同バッチの材料である。供試体寸法によって明確な差が出た。供試体 (100φ×200h) の割裂引張強度平均値は 2.54N/mm<sup>2</sup> であるが、供試体 (50φ×100h) の割裂引張強度平均値は 3.70N/mm<sup>2</sup> となり、供試体の大きさによりの約 1.5 倍の差が生じた。この差は、供試体が大きい方がコンクリートの打設方向に強度差があることや、供試体の大きさに対して試験機加圧板剛性などが考えられる。

②コンクリート

補強に使用した普通強度のコンクリートも同様に圧縮試験および割裂試験を行った。既存試験体のコンクリート強度は 16.1N/mm<sup>2</sup> から試験日が遅くなるに従い高くなり 22.9N/mm<sup>2</sup> 程度になった。また、増し打ちコンクリートは 24.1N/mm<sup>2</sup> 程度でほぼ予想通りの結果が得られた。グラウトについては 2 回にわたり打設を行ったが強度についてはいずれもカタログ値以上の強度が得られた。またヤン

グ係数 (静弾性係数) は本実験値がわずかに低いもののほぼ同等の値である。以上のコンクリートおよびグラウトコンクリートの力学的性能についてまとめたものを表 3 に示す。表 4 にグラウトコンクリートのカタログ値を示す。本実験で使用したグラウト材は低発熱型無収縮モルタルに豆砂利 (骨材寸法 6 mm) を配合している。表 5 に標準調合を示す。

③鉄筋

使用鉄筋の引張試験を行った。既存柱部分の主筋 D16、柱せん断補強筋および壁補強筋 D6、アンカー筋 D10 についてそれぞれ 6 本ずつ引張試験を行った。そのうち 3 本はひずみゲージを貼付し応力ひずみ関係を調べた。D6 はゲージ貼付のため断面を研磨しているが、細径のため断面欠損が相対的に大きく、強度が明らかに低下したのでゲージを貼付したものとしないものの平均の割合で応力を増加させている。表 6 に鉄筋の力学的特性一覧を示す。

表6 鉄筋の材料特性

鉄筋	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
D16	334	474	180.4
D6	346	503	173.2
D10	368	503	174.8

2.5 試験体製作

試験体製作過程を以下に記述する。鉄筋はスタブ筋、柱筋をそれぞれ先組みして、その後結合した。柱筋端部は t=10 の鉄板で定着している。壁筋は型枠にセットした後に配筋している。また、増設壁用の接合筋は既存壁コンクリートにあと施工アンカーを打設するのが通常の方法であるが、縮小試験体のためあと施工アンカーが打設困難であるため、コンクリート打設前に設置した。割裂防止筋は増設壁打設前に配筋している。割裂防止筋は 3 mm 筋を使用し、径は 30mm としている。グラウトは手投入とし、打設後シートで覆い養生した。

2.6 載荷方法

建研式二軸載荷装置を用いて逆対称モーメント加力による正負交番繰り返し載荷により行った。図 4 に加力装置図を示す。

試験体は鋼棒を用いて上下スタブを反力床および加力梁に緊結した。また軸力 N は 400kN を水平加力中に一定に保つよう制御した。なお、設計基準強度 15N/mm<sup>2</sup> とすると壁全断面積に対する平均軸力比は 0.27 程度となる。上下スタブ間相対変位 δ を試験区間 L (750mm) で除したものを変形角 R とし、変形角 R=1/800、1/400、1/300、1/200、1/133、1/100、1/75、1/50rad. を正負各 1 回ずつ行った。

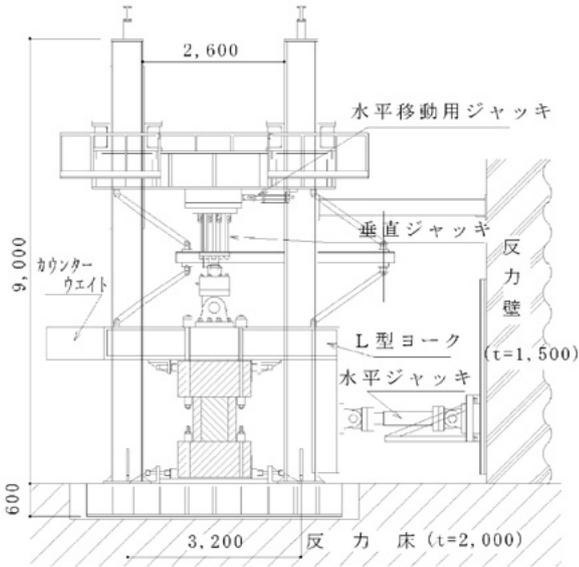


図4 2軸載荷装置

### 2.7 計測方法

壁の水平変形としてスタブ間の相対変位を計測するとともに、図5に示すように壁の曲げ変形とせん断変形の割合を調べるために局所変位計を13個設置している。変位計は東京測器製 (CDP-25) である。

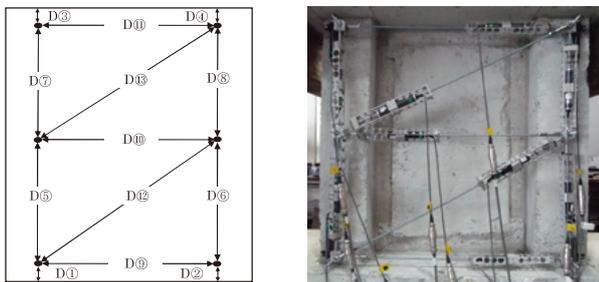


図5 局所変位計設置位置

## 3 実験結果

### 3.1 ひび割れ性状

各試験体のひび割れ進展状況を図6に示す。いずれの試験体も部材角  $R=1/800$  に至る過程で壁板にせん断ひび割れが発生し、剛性が低下する。この最初のひび割れは増し打ち壁試験体も同様であるが、既存部分の壁だけでなく補強壁側にも同じにほぼ同時に観察され、補強部分が既存部分とほぼ一体で挙動していることが推察される。既存壁はその後、壁面にせん断ひび割れが発生するものの側柱の近傍に縦せん断ひび割れが大きく進展する。側柱は曲げひび割れとともに軸力の影響と思われる斜めひび割れも発生している。一方、補強壁試験体の壁板には多くのせん断ひび割れと側柱には曲げひび割れ及び斜めひび割れが発生する。側柱のせん断ひび割れは壁板のせん断ひび割れが延伸したものである。また、壁板と側柱境界部に微細なせん断

ひび割れが進展する。既存壁ではせん断ひび割れが壁全面に発生する傾向にあるがグラウト壁では初期ひび割れは同様に発生するが、既存壁ほど多くひび割れは発生せず、初期ひび割れ幅が拡大する傾向にある。最終状況を見ると既存壁の側柱には曲げひび割れや斜めひび割れが見られるが、既存壁以外の補強壁の側柱には斜めひび割れが貫通し損傷が激しい傾向が見られる。強度の高い増し打ち壁が側柱のせん断破壊を誘発しているものと考えられる。

### 3.2 水平荷重変形関係

図7に水平荷重変形関係を示す。水平変形は上下スタブ間の相対変位である。既存壁は部材角  $R=1/800$  rad. 前でせん断ひび割れが発生するためこの段階で剛性低下が始まる。最大耐力はほぼ部材角  $R=1/200$  rad. で記録している。

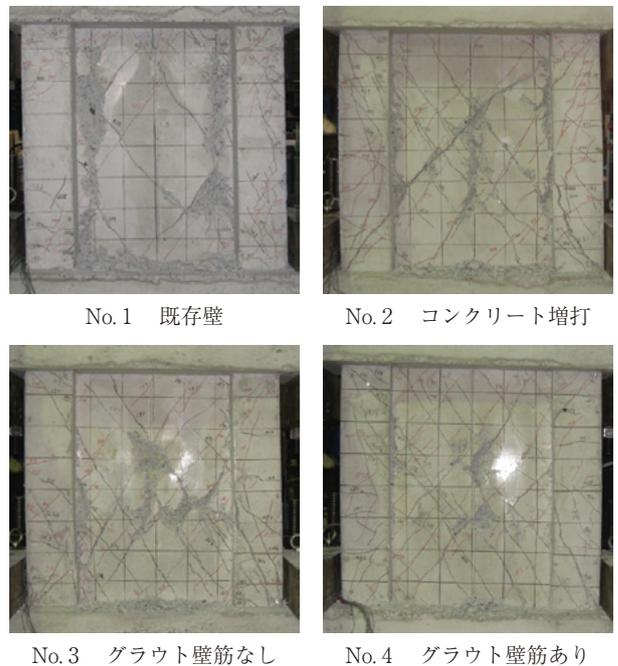


図6 ひび割れ性状

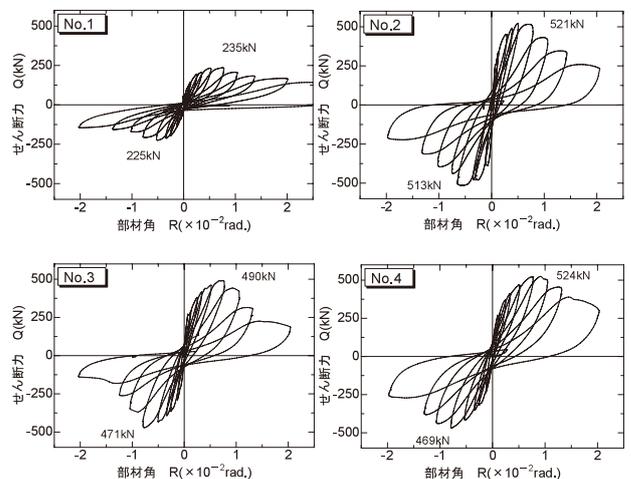


図7 水平荷重変形関係

その後徐々に耐力低下する。補強壁は同様に部材角  $R=1/1800\text{rad}$  で壁板にせん断ひび割れが発生して剛性低下が始まる。部材角  $R=1/200\text{rad}$  から  $R=1/133\text{rad}$  で最大耐力に達する。補強試験体は最大耐力が高いため最大値以降の耐力低下は既存壁に比べて急激である。また、部材角  $R=1/100\text{rad}$  を超えると復元力特性は紡錘形からスリップ型に移行する。これはせん断ひび割れの進展によるものと推察される。補強試験体は部材角  $R=1/50$  で最大耐力の半分以下の耐力となり実験を中止している。補強試験体の復元力特性に大きな相違はない。補強試験体中最も高い耐力  $524\text{kN}$  を示しているのは壁筋のあるグラウトコンクリート補強の No. 4 である。

### 3.3 鉛直変位水平変位関係

図 8 に鉛直変位と水平変位の関係を示す。鉛直変位は局所変位計①～⑧から求めたものである。水平変位はスタブ

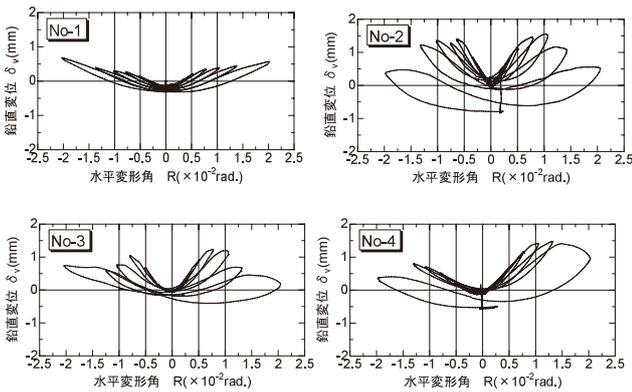


図 8 鉛直変位水平変位関係

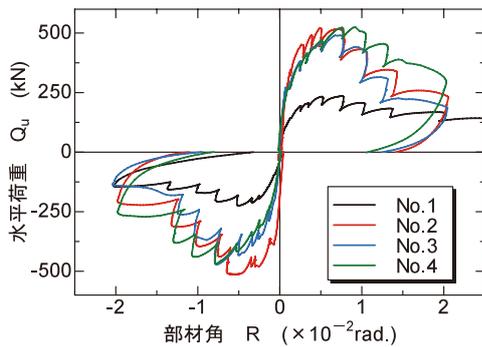


図 9 包絡線比較

表 7 最大耐力一覧 (kN)

試験体	正	負	平均	増大率
No. 1	235	225	230	1.00
No. 2	521	513	517	2.25
No. 3	490	471	480.5	2.09
No. 4	524	469	496.5	2.16

間相対変位である。既存壁は非常に安定した性状を示すが補強壁は鉛直変位が進んでいる。これは鉛直荷重の多くを受け持っている側柱がせん断破壊し損傷が進行したことによるものと考えられる。

## 4 考察

### 4.1 包絡線比較

図 9 に各試験体の包絡線を示す。図より増し打ち壁補強によって既存壁の耐力を大幅に改善できることが分かる。補強壁をみると正側では最大耐力までは 3 試験体ともほぼ同じ傾向を示し、その後はグラウト壁筋ありの試験体の靱性が若干向上している。負側はコンクリート  $100\text{mm}$  増し打ちの初期剛性が高い傾向が見られる。

### 4.2 最大耐力

表 7 に最大耐力一覧を示す。最も高い値を示したのがグラウト  $50\text{mm}$  壁筋ありの試験体で  $524\text{kN}$  となった。正負の最大荷重の平均で比較するとコンクリート  $100\text{mm}$  増し打ちが  $517\text{kN}$  を記録し最も高い値であった。既存壁に対する増大率はコンクリート  $100\text{mm}$  増し打ちで  $2.25$  倍となり、グラウト  $50\text{mm}$  壁筋ありが  $2.16$  倍となった。いずれにしても増し打ち壁補強の場合は既存壁に比較して 2 倍以上の耐力上昇を確認した。

## 5 結論

グラウトコンクリートを材料とする増し打ち壁の載荷実験を行った。実験の範囲内で以下の結論を得た。

- 1) 全試験体ともにせん断破壊モードであった。
- 2) 既存壁に対し、増し打ち補強を行うことで、2 倍程度の耐力上昇を確認した。
- 3) グラウトコンクリートを使用した場合、通常のコンクリートを使用した増し打ち壁の半分の厚さで同程度の強度上昇が期待できることを確認した。
- 4) 最大耐力に至るまでの耐力上昇域において既存壁とグラウトコンクリート壁が分離する傾向は見られなかった。今後はより実大に近いスケールの試験体を用いた載荷試験が望まれる。

## 謝 辞

本実験実施に際して、平成30年度広島工業大学卒論生の多大なる協力を得た。太平洋マテリアルに材料の提供を受けた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) (一財) 日本建築防災協会：2017年改訂版 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

- 2) (一財) 日本建築防災協会：2017年改訂版 既存鉄筋  
コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説
- 3) (一財) 日本建築総合試験所 構造部：鉄筋コンクリ  
ート増設壁 耐震補強設計・施工指針、平成13年9月
- 4) (一財) 日本建築防災協会：2001年改訂版 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
- 5) 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会、(一財)  
日本建築防災協会、(一財) 日本建築センター：2007  
年版建築物の構造関係技術基準解説書、P. 638