論文 コンクリートブロック内蔵耐震壁のポリエステル製繊維シートによ る耐震補強に関する実験的研究

壁谷澤 寿海*1・棟安 敦史*2・真田 靖士*3・五十嵐 俊一*4

要旨:鉄筋コンクリ - トの柱および耐震壁に対する新しい耐震補強方法として,ポリエステ ル繊維シートを用いる方法は,その有効性が実証されており,実用化されている。本研究で は,既存のコンクリートブロック壁を内蔵する鉄筋コンクリ - トフレームに対して,ポリエ ステル繊維シートによる耐震補強を行った場合の補強効果について実験的に検討した。その 結果,ブロック壁が純ラーメンに対する効果,さらにポリエステル補強が特に靭性の向上に 有効であることを実証した。

キーワード:コンクリートブロック,ポリエステル繊維シート,耐震壁,耐震補強,靭性

1. はじめに

いわゆる規格不適格の古い鉄筋コンクリート 造建築物に対して安全性を確保するための耐震 補強は急務である。筆者らは過大な入力による 大変形に対しても耐震安全性を確保するための 補強手法,特に柱のフェイルセーフレベルの十 分な靭性と軸耐力の安定性を経済的に達成する 補強手法としてポリエステルシートによる補強 方法¹⁾を提案してきた。また,鉄筋コンクリート 造壁における耐震補強に応用して新しい詳細²⁾³⁾ により十分な強度増大と極めて高い靭性を確保 することが可能であることを実証してきた。

本研究では安価で施工性の良いポリエステル 製繊維シート(以下 SRF シート)を用いてコンク リ-トブロック(CB)壁を内蔵する鉄筋コン クリ-トフレームに対して有効性を検証した。 また,コンクリ-トブロックの内蔵耐震壁とし ての効果についても検討した。

2. 実験方法

2.1 試験体

図 - 1 に試験体立面図・配筋図を,表 - 1 に試

験体名称を示す。試験体は実大に対して 1/2~1/3 スケールを想定した柱中心間スパン長さ 1800mm,壁内法高さ 1400mmの1層1スパン鉄 筋コンクリート造コンクリ-トブロック(CB) 壁内蔵フレーム試験体3体で,1体はCB壁なし のラーメン(柱のみ)とし,他の2体のうち1 体は無補強CB内蔵壁,他1体はポリエステル 繊維シート(SRFシート)による補強を行った

表 - 2 に部材断面表を示す。断面の寸法および 配筋は全試験体共通で,柱は断面寸法 250mm × 250mm で,主筋を 16-D10(pt=1.82),横補強筋を D4@100(pw=0.1%)とした。RC柱の配筋量は 1970 年代の設計を想定して,横補強筋比は極端に小 さくしている。

CBは,C種壁厚75mm(75x190x390)の既製品 を使用した。CBの断面を図-2に示す。厚さ方 向に対しては,実大でよく用いられる150mm~ 190mm厚の1/2~1/2.5の厚さに相当するが,目 地間隔については縮小モデルになっていない。 壁縦横筋はD6@400single 配筋として,最小配筋 規定(800以下)に概ね相当する配筋間隔と量に なっている。CB単体の縦方向の圧縮試験は,JIS

*1 東京大学地震研究所 教授 工博 (正会員)
*2 東京大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)
*3 東京大学地震研究所 助手 工博 (正会員)
*4 構造品質保証研究所株式会社 代表取締役 工博 (正会員)

規格にしたがって 140x140x70 の試験片(3 体)を 切り出して実施した。その結果,単位面積あた りの最大強度は全断面に対して 9.5MPa,実際の 断面に対しては 33.6MPa であった。モルタルの 圧縮(引張)強度は通常施工のためばらつきが 大きく、CB 目地用が 39.8~47.3(2.8~3.5)MPa, スリット用は 17.6(1.8)MPa であった。

使用したコンクリート,鉄筋,シートの材料 特性を表-3,表-4,表-5に示す。



図 - 1 柱配筋図



図 - 2 コンクリ - トブロック

表 - 1	試験体名称
-------	-------

名称	特徴
RCF	RC 柱のみ(無補強)
RCF+CBW	RC 柱とコンクリートブロック壁(無補強)
CB+	SRF シートで柱を補強し , 壁パネル部分
SRF-A	片面を連続 SRF シートで補強

表 - 2 部材断面表

	断面	250mm × 250mm			
柱	主筋	16-D10 (1.82%)			
	横補強筋	D4@100 (0.1%)			
ПŤ	壁	C種CB, 75mm厚x190x390			
壁 (CB)	壁縦横筋	D6@400 縦横とも (構造規定を 1/2 スケールで適用)			

表-3 コンクリートの材料特性

	材齢	ヤング係数	圧縮強度	降伏歪	引張強度
	(日)	(N/mm^2)	(N/mm^2)	(µ)	(N/mm^2)
RCF	85	2.47 × 10 ⁴	23.4	1590	1.70
RCF-CB	95	2.50 × 10 ⁴	24.3	1723	1.99
RCF-CB- SRF	106	2.58 × 10 ⁴	24.5	1137	2.08

表-4 鉄筋の材料特性

	ヤング係数 (N/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	降伏歪	引張強度 (N/mm ²)
D4	1.48 × 10⁵	337.5	2.14 × 10 ⁻³	432.6
D10	1.72 × 10⁵	357.2	2.68 × 10 ⁻³	500.1

表 - 5 SRF シートの材料特性

	幅×厚	ヤング率	引張強度	破断時歪
	(mm)	(N/mm²)	(kN)	(%)
SRF450	45.9 × 3.7	6183	88.23	12.9
SRF2100	103.6 × 2.8	5240	122.13	12.5

1% 歪時の引張強さ/シート断面積

2.2 補強方法

本実験では 2 体の試験体にコンクリ - トブロ ック壁を後施工により内蔵させて,その 2 体の 試験体の内 1 体にはさらにポリエステルシート による耐震補強を行った。シートは躯体にウレ タン系の接着剤により定着させる。CB 壁および シート補強の状況を図 - 3 に示す。施工方法を以 下に示す。

(1) 補強コンクリ - トブロック

コンクリ - トブロックは通常の施工のように コンクリ - トの養生期間が終了してから,後積 み施工した。補強筋 D6 は後施工アンカーにより 差し筋を定着させ,40d の重ね継ぎ手長さを確保 した。両端部および水平鉄筋のある所定の空洞 部をモルタルで充填し,ブロックの水平断面が 有効になるように目地モルタルを施工して一体 性を確保している。補強筋は D6 縦横 400 間隔な ので,縦筋は各ブロック端部,横筋は1段おき 空洞部にモルタル充填し,その他の空洞は通常 施工のように空洞のままである。



図-4 柱および片面シート補強の詳細

(2) ポリエステル補強

コンクリ - トブロック壁は一旦上記と同様に 通常施工し,側柱端部幅 25mm 程度をカッター で切断してはつりとり,ベルト巻きのための隙 間(スリット)を設ける。横筋は切断しない。 柱には上部からポリエステルシート(ベルト状, SRF45 ,表 - 5)を螺旋状に接着剤で巻きつける。 上下で1周重ねて定着部とする。以上は独立柱 の補強方法と同様である。切り取った隙間には モルタルを充填しなおす。さらにコンクリ - ト ブロック壁面には実際に可能な施工状況なども 考慮して片面と柱の片面(半周)のみにシート (SRF2100)を2層貼り付けた。耐震壁の補強で は柱と壁の隅角部で変形に伴い発生するシート の剥がれ(浮き上がり)を防止するためL型補 強用鉄アングルを両面隅角部に設置したが,こ こでは接着剤のみにより貼り付けただけで特に 定着金具は用いていない。柱と壁の補強状況を 図 - 4 に示す。

2.3 載荷方法

実験には東京大学地震研究所内の装置を用いた。載荷装置を図-5に示す。水平方向には壁脚部から2000mmの高さにおいて,変位制御で正負繰り返し載荷を行った。鉛直方向には合計600kN(軸力比 0.2)の一定軸力を加えたが, M/(Q・lw)=1.0[lw:側柱芯間距離]を維持するため,鉛直ジャッキにより壁脚部に作用するモーメントを水平力に比例させて制御した。

2.4 載荷計画

載荷履歴は原則として部材変形角(=壁頂部変 形/壁内法高さ)±1/400,±1/300,±1/200,± 1/150,±1/100,±1/75,±1/50,±1/33,+1/15rad の順で各1回ずつである。しかし,破壊などに よって変形が大幅に進行した場合には,進行後 の到達点を超える未到達変形角を目標に載荷し た。なお,載荷は試験体がせん断破壊により軸 力を保持できなくなるまで,またはせん断破壊 後も軸力を保持していた試験体については破壊 後の1サイクルまで行った。

2.5 計測方法

計測点数は水平力1 成分,軸力2 成分,水平 変形7 成分 鉛直変形10 成分 対角変形6 成分, 鉄筋の歪37 成分の合計63 成分である。荷重の 計測にはロードセルを,変形の計測には歪式変 位計を,鉄筋歪の計測には歪ゲージを使用した。



図 - 5 載荷装置

3. 実験結果

3.1 破壊経過

各試験体の最終破壊状態を写真 - 1 に,各試験体における破壊経過を以下に示す。

RCF(柱のみ)

本試験体はブロック壁の効果を明瞭にするた めに実施,比較可能にしたが,この実験結果に ついては,ポストピークの挙動に関する解析も 含めて,別報で詳細に報告する。R=1/150 で曲げ 降伏し,R=1/75 から R=1/50 に至る加力で圧縮 側柱脚のせん断破壊が生じ,さらに引張柱頭で もせん断破壊が生じた。その後,耐力低下して もR=1/30の繰返しを経過し,R=1/15 に至る加力 で軸力支持能力を失った。その後,軸力を除荷 して,シート巻きによる被災後の応急補強を行 った。再度水平加力と軸方向加力を行って補強 が一定レベルの耐力の回復に有効であることを 確認したが,詳細は他稿で報告する。

(2) RCF-CB(柱 + CB壁)
 [+1/400rad, -1/400rad]負側では曲げひび割れ,
 CB 壁のせん断ひび割れが発生した。

[+1/200rad,-200rad]正側ピーク時に引張側柱脚 の危険断面で外端主筋が降伏し,負側ピーク時 に引張側柱脚の外端主筋が降伏した。柱脚のコ ンクリ-トが圧縮破壊の兆候を示した。

[+1/150rad,-150rad]柱脚が圧縮破壊した。

[+1/100rad, -1/100rad]CB 破片が剥落。柱頭のせん断破壊が顕著になる。CB 壁面のせん断ひびわれの幅は,ピーク時の最大幅 3mm(正方向)~
 4mm(負方向),除荷時の最大残留ひびわれ幅は0.9mm(正)~1.2mm(負)であった。

[+1/75rad]荷重が低下して前回ピーク値に達しな い。[-1/75rad]CB 壁および柱がせん断破壊し, 軸力支持能力を喪失した。

(3) RCF-CB-SRF-A(柱+CB壁+シート補強) [+1/400rad,-1/400rad]負側ではCB壁にせん断ひ びわれが発生した。

[+1/200rad]引張側柱脚の危険断面で外端主筋が 降伏した。

[+1/100rad,-1/100rad]CB 破片が剥落。CB 面のせ ん断ひびわれの幅は,ピーク時の最大幅 1.3mm (正方向)~1.4mm(負方向),除荷時の最大残 留ひびわれ幅は0.3mm(正)~0.4mm(負)であ った。補強しない試験体に比較して最大ひびわ れ幅は明らかに小さく,ひびわれの進展の抑制 に有効であることが確認された。

[+1/150rad]~[-1/50rad]CB 壁のひびわれが進展す るが,安定した挙動を示した。

[-1/30rad] ~ [-1/15rad]CB 壁圧壊が拡大し, 剥落 が進む。水平耐力はやや低下したものの軸力は 最後まで保持した。

3.2 復元力特性と計算値

各試験体で計測された水平変位と水平せん断 力の関係をあらわす復元力特性を図 - 6 に示す。 また,最大耐力の実験値を計算値と比較して表 - 6 に示す。補強コンクリ - トブロックの終局強 度の計算式⁴⁾は実用に用いられているものはな いので,ここでは耐震診断などで行われるよう に鉄筋コンクリ - ト造耐震壁の実用計算式 (BCJ⁵⁾, AIJ⁶⁾)を用いて CB を等価な壁厚さに 置換して適用して仮に比較したが,特に補強効 果に関して今後さらに詳細に解析的に検討する 予定である。図には AIJ の計算値を示した。







(b) RCF-CB



(a) RCF-CB-SRF-A 写真 - 1 最終破壊状況

RCF(柱のみ)

終局強度(183kN)は通常の略算式による曲げ 強度(158kN)をやや上回っており,試験体は曲 げ強度により耐力が決まっている。せん断強度 計算値(116,156kN)はやや低く,計算上はせん 断破壊先行型(靭性指標は1.0)であるが,1/75 の変形能力有しており,軸崩壊の変形レベルは さらに大きい。

(2) RCF-CB (柱 + CB 壁)

最大強度の実験値は曲げ強度計算値(427kN) に達しおらず,壁のせん断破壊で耐力が決まっ ている。主筋の降伏が確認されたのは全体曲げ 降伏でなく,柱がCB壁を拘束する効果による局 部的な曲げ降伏に対応している。せん断強度は 通常のRCの強度式で有効な壁厚さをブロック の最小厚さtw=4cmとして算出した。柱は断面積 を等価な壁厚さに置換するが,この制限値をRC の場合の慣用にしたがって,1.5tw(=6cm)とす ると253kNで過小評価である。これを例えば2tw とすると327kNとなり,ほぼ実験値に対応する が一般性はない。耐震診断などは試験体2cm相 当で評価されることも多いが,相当安全側の評 価である。AIJ 靭性保証指針では柱を等価なアー チ機構に置換しているがこれも過小評価である。

(3) RCF-CB-SRF-A(柱 + CB 壁 + シート補強)

RC 耐震壁のシート補強の実験結果²⁾³⁾を参考 にしてシートの歪みレベルを仮に0.5%と仮定し て等価なせん断補強筋に置換して評価した。当 初のせん断補強筋が少ないので,BCJ 評価式で も補強によるせん断強度の増分は実験結果に概 ね対応しているが,さらに一般的な検討が必要 である。

表 - 6 最大耐力の実験値と計算値

	実験値		計算値		
	せん断力	変形	曲げ強度	せん断強度(kN)	
	(kN)	(rad)	(kN)	BCJ	AIJ
RCF	+174.2	+1/75	150	116	156
	-183.2	-1/75	100		
RCF-CB	+337.8	+1/100	407	253	281
	-328.3	-1/100	427		
RCF-SRF	+363.0	+1/75	427	278	312
- A	-373.4	-1/75			



4. 結論

コンクリ-トブロック(CB)を内蔵する鉄筋 コンクリートフレームに対してポリエステル製 繊維シートによる耐震補強を適用して,実験に よりその有効性を確認した。補強詳細は柱を拘 束補強し,CB壁については片面のみで特に定着 金具がなくても有効であった。補強されたコン クリ-トブロック(CB)内蔵鉄筋コンクリート フレームは無補強の場合に比べてせん断耐力が やや向上した。せん断破壊後の靭性は大幅に向 上し,大変形時(約1/15Rad.)においても軸力を 保持し続けた。また,損傷制御レベル(R=1/100 程度)の繰返し加力でもひびわれの抑制効果が あり,最大ひびわれ,残留ひびわれ幅ともに無 補強の場合に比べてひびわれ幅が 1/3 程度に抑 制された。

謝辞 実験実施にあたり,構造品質保証研究所 株式会社 奈良岡誠也氏,瀬戸口英恵さんに ご協力いただきました。

参考文献

- 小泉洋,壁谷澤寿海,田才晃,五十嵐俊一: 鉄筋コンクリート柱の地震時軸圧縮破壊に 対するシート補強に関する研究,コンクリー ト工学論文集,vol23,No.1,pp.937-942,2001
- Kabeyasawa T., Murase M., Sanada Y., Dinh T.V., and Igarashi S. "Strengthening of reinforced concrete walls with a new detail using polyester sheet," International Symposium on Earthquake Engineering (ISEE), Commemorating Tenth Anniversary of the 1995 Kobe Earthquake, Kobe/Awaji, January 13-16, C315-324, 2005.
- 村瀬正樹・壁谷澤寿海・真田靖士・五十嵐俊 ー、ポリエステル製繊維シートを用いた鉄 筋コンクリート壁の耐震補強に関する研究、 コンクリート工学年次論文集、27,2, 1075-1080,2005.
- 4) 日本建築学会,壁式構造関係設計規準集・同 解説 メーソンリー編,1997年
- 5) 日本建築センター,構造指針,2001年
- 6) 日本建築学会,鉄筋コンクリ-ト造建物の靭 性保証型耐震設計指針・同解説,1999年