

[97] 鉄筋コンクリート造有開口耐震壁の補強効果に関する 実験的研究

町田 亘寛 (熊谷組 原子力開発室)
 正会員 ○北山 茂樹 (熊谷組 原子力開発室)
 清水 猛 (熊谷組 原子力開発室)
 林 徹 (熊谷組 原子力開発室)

1. はじめに

開口のある鉄筋コンクリート(以下、RCと呼ぶ)造耐震壁において、従来から開口補強として斜め筋が用いられているが、高配筋の耐震壁では補強筋が相互に干渉し、施工性に難点がある。斜め筋の代用としてのリング筋は、黒正らの有孔ばりの実験により、その効果が報告されているが、開口耐震壁に適用した例は少ない。そこで、リング筋により開口補強した単一の円形開口を有するRC造耐震壁試験体にて、リング筋の補強効果を把握する実験を行った。本報告は、その実験結果について検討したものである。

2. 実験概要

試験体 試験体の寸法および配筋は図1に示すように、高さおよび幅が100cm、厚さ10cmで、柱形を設けない長方形断面の壁である。開口を壁中央に直径30cmの円孔を1個設けた。せん断補強筋比は縦横共に0.85%とし、壁両端に曲げ応力に対する補強筋を配した。試験体は表1に示すように、開口補強の無いもの(WI-0)、斜め筋補強(WI-X)とリング筋補強のうち、小リング筋(WI-R-S)、大リング筋(WI-R-L)、二重リング筋(WI-R-SL)の5種類と比較検用に無開口壁(W0-0)を加え6種類とした。使用した鉄筋の材料特性を表2に示す。コンクリートは最大骨材粒径10mmの豆砂利コンクリートで、その材料特性を表3に示す。

加力方法 加力装置を図2に示す。実際の壁ではあまり曲げ応力の影響を受けない事を考慮し、壁中央に反曲点が生ずるような埋研式加力方法を採用した。加力は電算機—アクチュエータ—オンラインシステムにより、変位制御で静的に行った。

表1 試験体一覧







試験体	W0-0	W1-0	W1-X	W1-R-S	W1-R-L	W1-R-SL
試験体数	2	2	2	2	2	2
補強方法						
補強筋	無開口	無補強	斜め補強筋 D 6	リング補強筋 D 6 350φ	リング補強筋 D 6 500φ	リング補強筋 D 6 二重

表2 鉄筋の材料特性

鉄筋	降伏強度 kg/cm ²	引張強度 kg/cm ²	ヤング係数 10 ⁵ kg/cm ²	用途
D 6	4 2 0 3	5 3 6 7	1. 9 5	壁筋・開口補強筋
D 1 3	3 9 5 1	4 4 5 9	1. 8 9	曲げ補強筋

表3 コンクリートの材料特性

試験体	圧縮強度 kg/cm ²	引張強度 kg/cm ²	ヤング係数 10 ⁵ kg/cm ²	ポアソン比
W0-1	1 2 4 5	2 3.7	2.4 2	0.1 6
	2 2 5 2	2 2.7	2.1 5	0.1 1
W1-0	1 2 2 9	2 2.0	2.0 9	0.1 5
	2 2 3 8	2 3.6	2.1 3	0.1 2
W1-X	1 2 6 0	2 6.5	2.2 6	0.1 3
	2 2 1 9	2 0.7	2.0 0	0.1 5
W1-R-S	1 2 5 4	2 4.9	2.3 4	0.1 7
	2 2 1 4	2 2.6	1.9 3	0.1 2
W1-R-L	1 2 5 6	2 4.6	2.2 7	0.1 4
	2 2 3 3	2 3.0	2.1 1	0.1 3
W1-R-SL	1 2 4 9	2 4.6	2.2 3	0.1 3
	2 2 2 6	2 2.5	2.0 6	0.1 5

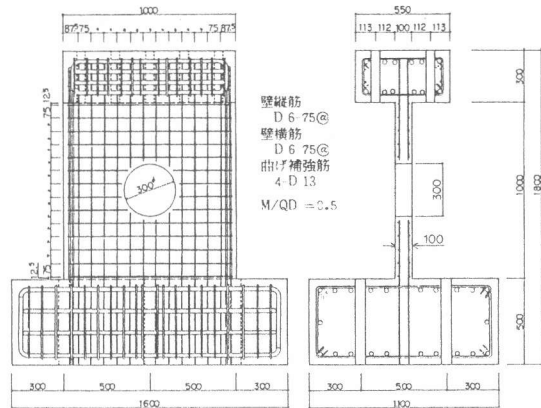


図1 試験体

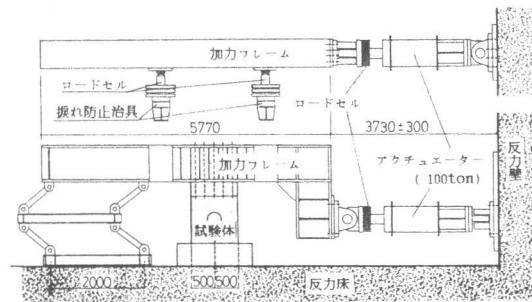


図2 加力装置

計測方法 摺動型変位計を用いて試験体各部の水平、鉛直変位を、ひずみゲージにて鉄筋のひずみおよびコンクリートの表面ひずみを測定した。測定位置を図3に示す。

3. 実験結果

破壊状況 有開口壁試験体のひびわれ状況を図4、図5に示す。初ひびわれは各試験体共に図5の開口A部45°方向に生じ、その時のせん断応力度はほぼ6~9MPaであった。荷重の増加に伴い、図5の①のひびわれ幅が拡大し、部材角2/1000rad程度より開口補強筋に沿ったひびわれが生じた。最大耐力に近づくに従って、②のひびわれ幅が拡大する一方①のひびわれ幅が減少し、最終的には②のひびわれが支配的となりB部のコンクリートが破壊し、破壊に至った。初ひびわれの位置、荷重および破壊過程に補強方法の違いによる顕著な差異は認められなかった。これは1シリーズ、2シリーズ共同様な傾向であった。開口周囲の最大ひびわれ幅と部材角の関係を図6に示す。ここで、最大ひびわれ幅とは開口周囲のひびわれのうち最大のものを示す。図より、部材角の増加に伴いひびわれ幅は線形的に拡大する傾向がみられた。二重リング筋補強および小リング筋補強の試験体は、他と比較して、ひびわれの数に顕著な差が認められないにもかかわらず、ひびわれ幅は小さくなっている。このことから小リング筋による補強は、応力を分散し、ひびわれ幅拡大抑制に効果的であると考えられる。

荷重-変位関係 図7に各試験体の荷重-変位関係包絡線を示す。図より、初期剛性は開口補強の違いによる顕著な差はみられない。最大耐力時の変形は斜め補強の試験体では8/1000rad程度で、他は6/1000rad程度になっているが、最大耐力以降の負勾配に明瞭な差異は認められなかった。

鉄筋のひずみ分布 図8に鉄筋のひずみ分布を示す。縦横筋共に開口補強筋の有無および開口補強方法の違いによる明瞭な差は認められなかった。横筋のひずみ分布は、有開口壁で開口横短柱状部分にひずみの集中する傾向がみられ、縦筋のひずみ分布においては、有開口壁ではA、C筋が壁上部で、B、D筋は壁下部でひずみが大

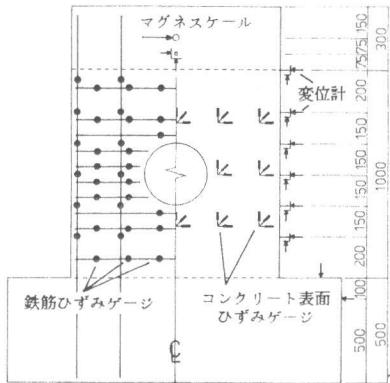


図3 測定位置

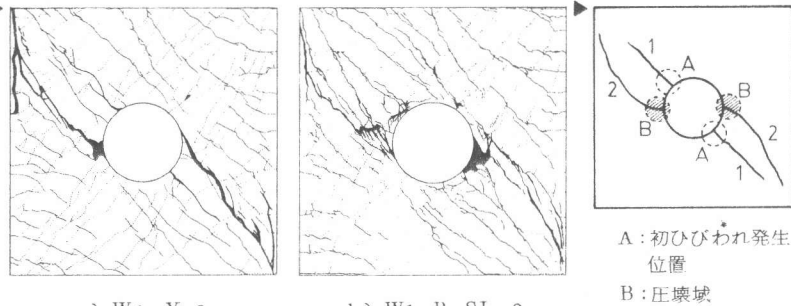


図4 最終破壊時のひびわれ状況

図5 ひびわれパターン

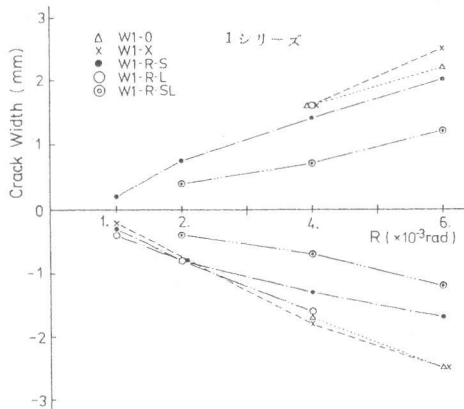


図6 最大ひびわれ幅と部材角

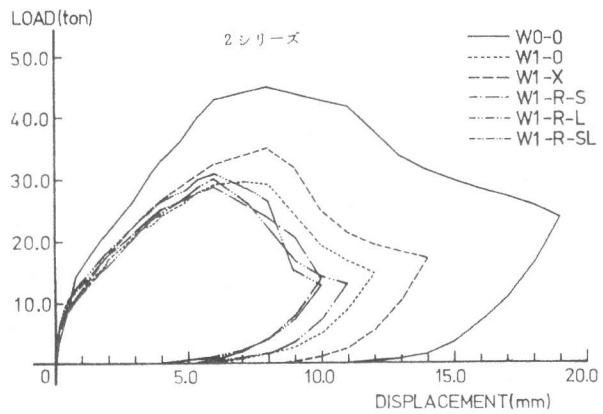


図7 荷重-変位関係包絡線

きくなっており、あたかも開口両側が2本の柱としての変形状態を示している。

図9に開口斜め上部の横筋の荷重-ひずみ関係を示す。ひずみはひびわれ等の影響により測定位置によるバラツキがあるので、3測定点を平均した値とした。図より、同一荷重時のひずみ量を比較すると、斜め筋、二重リング筋補強の試験体が他より小さくなっており、これは開口補強筋が有効に作用した結果と思われる。

最大耐力 表4に諸強度を示す。表より、有開口試験体の最大耐力は斜め筋補強が最も高く、次に二重リング筋補強となっている。小リング筋補強および大リング筋補強は無補強とほとんど差がみられなかった。

4. 結果の検討

解析による検討 各試験体に対してF.E.M.による汎用解析プログラム「ADINA」により非線形解析を行った。実験結果に解析結果を重ね合わせた荷重-変位関係を図10に、開口斜め上部の横筋の荷重-ひずみ関係を図11に、開口補強筋のひずみ分布を図12に示す。全体的には実験結果と解析結果は良好な一致を示した。開口補強筋のひずみ分布において、斜め筋補強では実験と解析は良く一致したが、リング筋補強では解析結果において、引張域と圧縮域が存在するのに対し、実験結果では部材角2/1000radよりリング筋全体が引張応力状態となっている。これは、実験ではリング筋の付着が劣化したと判断され、解析では鉄筋とコンクリートを完全付着と仮定したためと考えられる。

終局せん断耐力の計算 各試験体の最大耐力と既往の終局せん断耐力計算式による計算値との比較を行った。修正広沢式(1)式によって計算した終局せん断耐力と実験値との比較を表5、図13に示す。計算値は実験値と比較的一致しているが、補強形状の違いにより多少バラツキがみられる。そこで、RC造耐震壁の終局せん断耐力(cQu)を縦筋のダボ効果による負担せん断力(cQd)、開口補強筋の負担せん断力(cQs)を考慮した(2)式により求めた。本実験の変形モードおよび縦横筋のひずみ分布状態および図5の破壊線などから、図15の破線で示す開口横の2枚の無開口壁によりせん断力を負担すると考えて、その部分の壁の耐力を(1)式により求

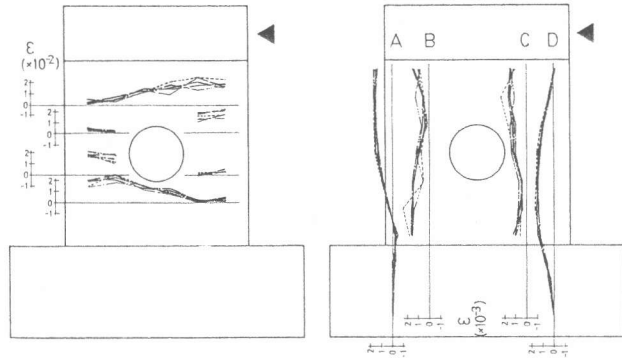


図8 鉄筋のひずみ分布

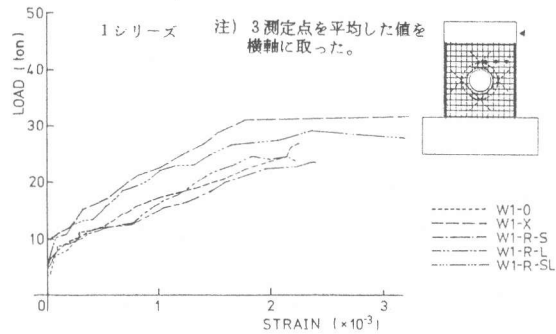


図9 荷重-ひずみ関係包絡線

表4 諸強度

(注 上段: 1シリーズ 下段: 2シリーズ)

試験体	Fc kg/cm ²	Ko ton/cm ²	tQsc ton	鉄筋の降伏荷重 (ton)			tQu ton	tzu kg/cm ²	tzu √Fc
				横筋	縦筋	開口補強			
W0-0	245	5.5	1.5	43.9	46.7		47.3	47.3	3.02
	252			31.8	40.1		44.9	44.9	2.83
W1-0	229	2.99	1.1	22.1	26.0		26.9	38.4	2.58
	238	4.16	1.7	4.2	14.6	22.5	29.4	42.0	2.72
W1-X	260	4.24	2.2	5.1	2.8	3.2	17.2	33.5	47.9
	219	3.41	1.1	5.5	2.5	3.2	14.2	35.0	50.0
W1-R-S	254	4.06	2.2	2.7	2.2	2.3		23.7	33.9
	214	3.92	2.4	4.3	2.3	2.8	14.7	28.8	41.1
W1-R-L	256	3.97	2.0	4.8	2.3	1.4	16.8	24.5	35.0
	233	3.48	2.4	4.1	2.2	2.7	19.9	30.2	43.1
W1-R-SL	249	4.38	2.9	5.9	2.5	2.7	18.6	29.2	41.7
	227	3.69	2.6	4.4	2.4	2.3	16.4	30.9	44.1

※) Fc: コンクリート強度 Ko: 初期剛性 tQsc: 斜めひびわれ荷重 tQu: 最大荷重
Aw: 壁の最小断面積 tzu: 最大せん断応力度 (=tQu/Aw)

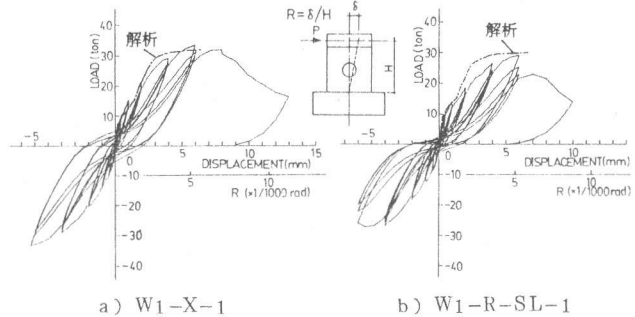


図10 荷重-変位関係

$$cQw = \left[\frac{0.0679 \times p^{0.23} \times (Fc + 180)}{\sqrt{M/Qd + 0.12}} + 2.7 \sqrt{\Sigma pwh \cdot \sigma_y} \right] \cdot Aw \quad (1)$$

$$cQu = \Sigma cQw + cQd + cQs \quad (2)$$

めた。尚、 P_t は開口横の縦筋のみ考慮した。壁板の端部に曲げ補強筋を配した場合、この鉄筋のダボ効果による耐力増が大きいと報告されている。そこで、Paulay⁵⁾らの式により縦筋のダボ効果による負担せん断力を評価し、次式により計算した。

$$cQ_d = 0.425 \times \Sigma (d \cdot ad \cdot \sigma_y) / l \dots \dots (3)$$

ここに、 d ：鉄筋径 ad ：縦筋の断面積 σ_y ：縦筋の降伏強度 l ：ダボ長さで、横筋の間隔

開口補強筋について、図15のように破壊線を仮定し、破壊線とリング筋の交差した位置のリング筋の接線と水平軸とのなす角度(θ)から、次式により計算した。

$$cQ_s = \Sigma (as \cdot \sigma_y \cdot \cos \theta) \dots \dots (4)$$

ここに、 as ：開口補強筋の断面積 σ_y ：開口補強筋の降伏強度

これらの仮定に基づき、(2)式により終局せん断耐力を求め、実験値と比較した。結果を表5、図14に示すが、実験値と計算値は良好な一致を示した。(4)式によれば、斜め筋補強とリング筋補強の終局せん断耐力に対する寄与の違いを説明することができる。

5. 結論

リング筋補強は、終局せん断耐力の面において、あまり寄与しないが、ひびわれ幅拡大抑制には有効であるという結果になった。また、終局せん断耐力推定式(1)式に、破壊線を考慮した開口補強の効果や縦筋のダボ効果を考慮し、累加して求めた計算値は、実験値と良好な一致を示した。更にF.E.M.による解析により、リング筋等により開口補強された有開口壁の耐震性状を定量的に把握することができた。

<謝辞>

本研究を進めるに当たり、芝浦工業大学教授 梅村魁博士並びに明治大学教授 狩野芳一博士に御指導頂き、ここに深謝致します。

参考文献および注釈

- 1) 黒正他「鉄筋コンクリート造有孔ばりの実験的研究」(その1)～(その8) 建築学会概論集 昭和55年～56年
- 2) 青山他「鉄筋コンクリート造有開口耐震壁の補強法に関する実験的研究」(その1)～(その11) 建築学会関東支部報告集 昭和54年～57年
- 3) 吉崎他「多数の開口をもつ鉄筋コンクリート耐震壁の軸度と変形」建築学会概論集 昭和55年～59年
- 4) 吉崎他「多数の開口をもつ原子力建屋耐震壁の終局せん断強度」コンクリート工学 昭和59年6月
- 5) T. Paulay 「Horizontal Construction Joints in Cast-In-Place Reinforced Concrete」A.C.I. SP42 Shear in Reinforced Concrete, P.P 599～616, 1974
- 6) Automatic Dynamic Incremental-1 Nonlinear Analysis の時 (M. I. T. K. J. Bath からの開発プログラム)

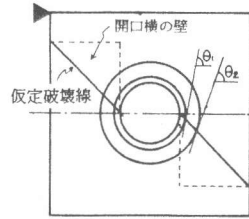


図15 計算モデル

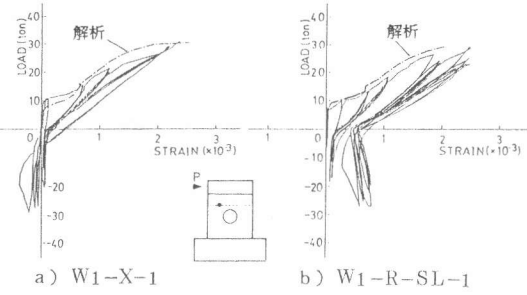


図11 開口斜め上部横筋の荷重—ひずみ関係

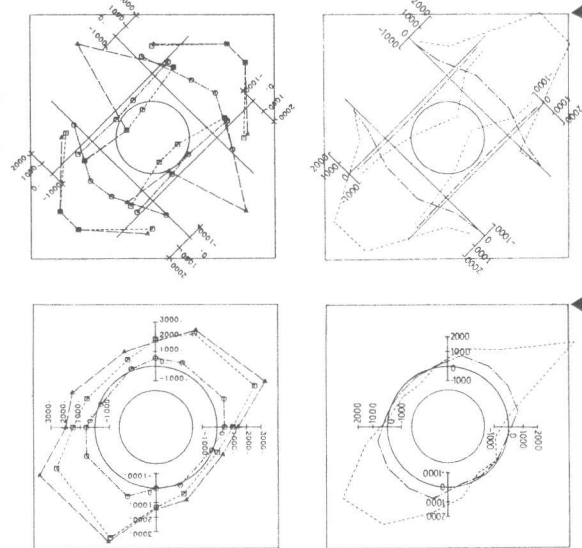


図12 開口補強筋のひずみ分布

表5 実験値/計算値 (tQu/cQu)

試験体	Fc (kg/cm ²)	tQu (ton)	(1)式		(2)式	
			cQu (ton)	tQu/cQu	cQu (ton)	tQu/cQu
W0-0	1	2 4 5	4 7.3	4 6.8	1.0 1	
	2	2 5 2	4 4.9	4 7.3	0.9 5	
W1-0	1	2 2 9	2 6.9	3 2.0	0.8 4	2 7.8
	2	2 3 8	2 9.4	3 2.4	0.9 1	2 8.0
W1-X	1	2 6 0	3 3.5	3 3.6	1.0 0	3 6.6
	2	2 1 9	3 5.0	3 1.4	1.1 1	3 5.1
W1-R-S	1	2 5 4	2 3.7	3 3.2	0.7 1	2 9.0
	2	2 1 4	2 8.8	3 1.2	0.9 2	2 7.8
W1-R-L	1	2 5 6	2 4.5	3 3.4	0.7 3	3 0.4
	2	2 3 3	3 0.2	3 2.2	0.9 4	2 9.7
W1-R-SL	1	2 4 9	2 9.2	3 3.0	0.8 9	3 0.7
	2	2 2 6	3 0.9	3 1.8	0.9 7	3 0.0
平均					0.915	0.961
標準偏差					0.113	0.087

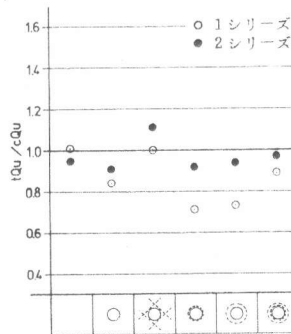


図13 tQu/cQu……(1)式

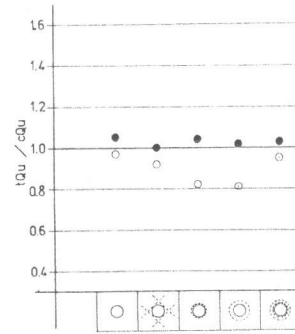


図14 tQu/cQu……(2)式