

RC 耐震壁のひび割れ誘発目地における応力伝達機構のモデル化
(その1 実験概要及び結果)

正会員 ○佐藤 尚隆*2
同 新井 雅人*1
同 渡邊 秀和*3
同 河野 進*4
同 松井 亮夫*2

誘発目地 ひび割れ誘発材 耐震壁
応力伝達 構造壁厚

1.はじめに

RC 耐震壁では、乾燥収縮ひび割れをあらかじめ決めた部位に誘発させるために、ひび割れ誘発目地を設けることが多いが、耐震性・デザイン性・施工コストにおいてはマイナス要因となる。特に増打部コンクリートは、耐震性能上は重量を増加させるが、ひび割れ誘発やかぶり確保などの目的以外は、耐震性能上は負の働きをする。

石川ら¹⁾によれば目地の深さや位置によっては、目地欠損が耐震壁のせん断耐力に影響を与えないという知見が、目地付き耐震壁の載荷実験や FEM 解析から得られている。石川らの実験では、コンクリート圧縮ストラットが広がる部位に目地があれば、応力レベルがせん断抵抗機構で仮定する限界値に達することはなく、同位置での応力状態はストラットを支える節点近傍ほど危険とならなかった。つまり、構造壁の応力レベルが小さな部位に目地を設置すれば、増打部を含めた全壁厚に基づいてせん断設計を行ってもよい可能性は高い。本研究は、RC 耐震壁のひび割れ誘発目地部の応力伝達機構のモデル化を目的として構造実験を実施した。特に目地部におけるひび割れ界面における開き・滑りとせん断応力・直応力の関係について定量化し、既存の数値モデルの適用性を検討した。

2.実験概要

2.1.試験体

試験体は実大スケールの耐震壁の目地周辺部を切り出した 15 体である。図-1 に試験体配筋図を示す。各試験体とも表面・裏面の両面に深さ・幅 20mm、長さ 558mm の目地がある。表-1 に試験体名と実験変数を、表-2,3 に使

用材料の力学特性を示す。試験体の目地部には、ひび割れ誘発のため、誘発材（鉄筋）を挿入する工法を用いた。

図-1 は目地を横切る壁横筋（以下壁横筋とする）の本数が前後 1 本ずつ 4 段（A1, A2, A4, A5）の計 8 本配筋された試験体の配筋図を示す。一方、壁横筋が 4 本の試験体では、中央 2 段（A2, A4）のみ配筋しており、壁横筋が 2 本の試験体では中央部に 1 段（A3）に配筋を行った。

表-2 コンクリートの力学特性

設計基準強度(MPa)	圧縮強度 (MPa)	ヤング係数 (GPa)	割裂引張強度(MPa)
21	23.2	29.7	2.3
33	35.2	26.4	3.0
45	41.4	30.8	3.0

表-3 鉄筋の力学特性

種類	呼び径	ヤング係数 (GPa)	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)
壁横筋 壁縦筋	D13 (SD295A)	190	344	493
誘発材	D16 (SD295A)	191	346	482
	D32 (SD345)	186	385	560

2.2.載荷と計測計画

載荷装置は 1500kN 万能試験機を用い、試験体上下面に回転が生じないように球座は設置しなかった。加力に先立ち、以下の方法で目地部にひび割れを発生させた。目地表裏に計測装置設置後（変位計を目地の開き方向に 2 本、滑り方向に 1 本を目地の表裏それぞれに設置）、試験体の安定のため 20kN 程度の鉛直力を作用させた状態で、目地部の前後からセンターホールジャッキを用いて壁面法線方向に圧縮力を作用させた。この圧縮力により目地が押し開かれ、最大で 0.2mm~0.3mm 程度のひび割れが発生し、平均で 0.2mm 程度の残留開き量が計測された。

加力は鉛直方向一方向単調載荷とし、目地部にせん断

表-1 試験体名と実験変数

No	試験体名	構造壁厚 (mm)	設計基準強度 (MPa)	壁横筋比 (%)	誘発材の公称径 (mm)	溝型目地厚 (mm)	誘発材率	非コンクリート率	備考
1	22N32	200	21	2-D13 0.23	32	20+20	0.2	0.49	No.5 の 21MPa 版
2	24N00			4-D13 0.45	無		0	0.33	No.6 の 21MPa 版
3	24N32			4-D13 0.45	32		0.2	0.49	No.8 の 21MPa 版
4	28N32			8-D13 0.91	32		0.2	0.49	No.9 の 21MPa 版
5	32N32	200	33	2-D13 0.23	32		0.2	0.49	壁横筋 半分
6	34N00			4-D13 0.45	無		0	0.33	誘発材 無
7	34N16			4-D13 0.45	16		0.1	0.41	誘発材 直径半分
8	34N32			4-D13 0.45	32		0.2	0.49	基準試験体
9	38N32			8-D13 0.91	32		0.2	0.49	壁横筋 2倍
10	34T00			240	45		4-D13 0.45	無	0
11	34T32	4-D13 0.45	32				0.16	0.41	壁厚 240
12	42N32	200	45	2-D13 0.23	32		0.2	0.49	No.5 の 45MPa 版
13	44N00			4-D13 0.45	無		0	0.33	No.6 の 45MPa 版
14	44N32			4-D13 0.45	32		0.2	0.49	No.8 の 45MPa 版
15	48N32			4-D13 0.45	32		0.2	0.49	No.8 の 45MPa 版
				8-D13 0.91	32	0.2	0.49	No.9 の 45MPa 版	

力を作用させた。また、目地部の滑り量が既定値（約 30mm）に達した時点で荷重終了とした。計測項目は、せん断力、目地の開きと滑り、表側に配筋した壁横筋の歪とした。図-1 に示すように壁横筋本数が 3 本の試験体は A3 段 2 カ所、9 本の試験体は A2,A4 の 4 カ所、3 本の試験体は A1,A4 の 4 カ所に歪ゲージを貼付し計測した。

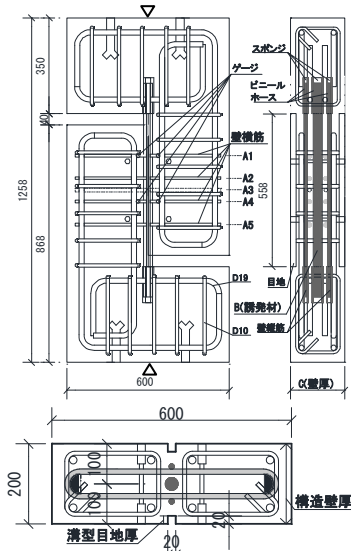


図-1 試験体配筋図

3.実験結果

3.1.せん断力-滑り関係

代表的な試験体のせん断力-滑り関係を図-2 に示す。全ての試験体で滑り 1mm 付近で、せん断力が最初のピークを迎えた。この時のせん断力を滑り耐力と定義した。その後、滑りの増加とともに耐力がそれぞれ 3 割ほど低下した後に、増加と低下を繰り返した。計測は計測装置の都合上滑り量が 30mm に達した時点で加力を終了した。

3.2.垂直力-開き関係

目地部では、せん断力を作用させることで直交方向の開きと垂直力 N が発生する。代表的な試験体の垂直力-開き関係を図-2 に示す。なお図-2 の●印は滑り耐力時の計測点を示している。ただし、試験体の垂直力 N は直接計測できないため、壁横筋に貼付した歪みゲージの値から式(1)で計算した。また、歪みが降伏歪みを超えた時は N を一定値とした(壁横筋の降伏歪を上限值と設定)。

$$N = n \varepsilon_{ave} E_{sh} A_h \quad (1)$$

n : 壁横筋本数 ε_{ave} : 計測した歪みの平均値
 E_{sh} : 壁横筋ヤング係数(MPa) A_h : 壁横筋面積(mm²)

図-2 をみると滑り耐力以降、開きは増加するものの垂直力がそれほど増加していないのは、歪みゲージの貼付していない目地のひび割れ部分で大きく変形していることが主な原因と考えられる。

本実験では図-3 で示すように、歪みゲージは目地部に発生しているひび割れ面から両側に離れた地点で計測を行っているため、予想される壁横筋の応力度分布はひび割れ部で最大になり、計測点よりも大きくなる。このこ

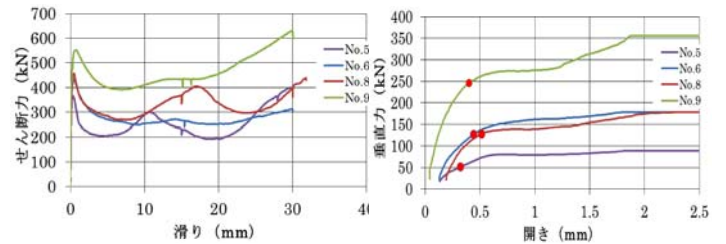


図-2 せん断力-滑り関係(左図) 垂直力-開き関係(右図)

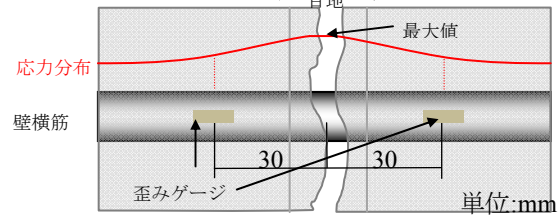


図-3 壁横筋の応力度分布(試験体立面図)

とから、実験で計測した垂直力 N は実際に目地部に作用している垂直力よりも小さくなる可能性がある。したがって、滑り耐力付近において、目地のひび割れ部分の壁横筋は降伏していると仮定する。

4.滑り耐力実験値の比較

表-4 に実験結果一覧を示す。本論文では、特に滑り耐力時までの目地部での応力状態について考察を行う。表-4 の滑り耐力時の目地部におけるせん断応力 τ および直応力 σ は、せん断力 Q および垂直力 N を目地部全面積 A_{all} で除した値とし、鉄筋の断面欠損は考慮していない。

(誘発材の影響)

誘発材の量による滑り耐力に影響について、実験では有意な結果が得られなかった。

(壁横筋の影響)

各試験体とも壁横筋の本数が増えると滑り耐力も増加し、直応力が滑り耐力に大きな影響を与えることがわかる。

(壁厚の影響)

No.10, No.11 と No.6, No.8 の応力を比べると壁厚の厚い No.10, No.11 の方が低くなっていることがわかる。これは、壁厚が増えることで相対的に鉄筋の拘束力が低下し、直応力が減少したと考えられる。この直応力の減少によって、滑り耐力時のせん断応力が減少したと考えられる。

(コンクリート強度の影響)

コンクリート強度別に滑り耐力を比べると、コンクリート強度の減少により滑り耐力の減少が確認できた。

5.まとめ

実験結果より、滑り耐力は壁横筋比、壁厚、コンクリート強度、誘発材の量が影響し、壁横筋の降伏による目地部に対する限界直応力によって決定されると分かった。

表-4 実験結果一覧

	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15
滑り耐力 (kN)	(200)	385	414	(500)	368	431	418	456	552	465	463	318	504	534	732
滑り耐力時せん断応力(MPa)	(2.24)	4.31	4.63	-	4.12	4.83	4.69	5.10	6.18	4.17	4.15	3.56	5.64	5.98	8.20
滑り耐力時直応力(MPa)	(0.80)	1.64	1.60	-	0.57	1.39	1.36	1.43	2.78	1.03	0.72	0.74	1.56	1.45	2.94

*1 東京工業大学 総合理工学研究科環境理工学創造 修士課程

*2 株式会社 浅沼組

*3 東京工業大学 建築物理研究センター 助教・博士 (工学)

*4 東京工業大学建築物理研究センター 教授・博士 (工学)

*1 Graduate student, Tokyo Institute of Technology

*2 Asanuma Corporation

*3 Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology

*4 Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology