

地震により損傷を受けた鉄筋コンクリート造耐震壁の残存耐震性能に関する研究

その11 直交壁付き耐震壁についての静的載荷実験計画

正会員 ○相澤 直之^{5*} 同 孫 憬玥^{1*} 同 半沢 守^{2*}
同 前田 匡樹^{3*} 同 Hamood ALWASHALI^{4*} 同 佐藤 真俊^{5*}

残存耐震性能 端部拘束条件 直交壁
耐震壁 せん断破壊 損傷度

1. はじめに

筆者らは、鉄筋コンクリート造耐震壁に関して、地震による損傷が残存耐震性能に及ぼす影響を検討するために一連の研究を行ってきた。本研究のその1~その2^{1),2)}では側柱付き耐震壁(以下、SC-13シリーズ)に対し事前損傷の大きさをパラメータとした静的載荷実験を行った。しかし、通常に原子炉建屋の耐震壁は柱の無いボックス形状であり、これらの実験では側柱による耐震壁の端部拘束効果が含まれているため原子炉建屋のボックス壁を正確に模擬できていない可能性がある。

そこで本報その11~その13では、壁部材の諸元を既往実験¹⁾と同一とし、側柱を直交壁に変えたせん断破壊先行型耐震壁について静的載荷試験(以下、SF-13シリーズ)を行い、両シリーズの結果を比較し、端部拘束条件が事前損傷の大きさが各構造性能低下に及ぼす影響に対して検討を行う。また、壁板に設置したせん断変位計のデータを利用し、試験体の圧縮ストラット幅の算出方法を提案し、精度検証する。

2. せん断破壊先行型耐震壁の静的な載荷実験

2.1 実験概要

本研究で実施する直交壁付き試験体SF-13シリーズ(図-1右)は2015年に実施したSC-13シリーズの試験体(図-1左)の側柱部分を直交壁に変更したH形断面の立体壁としせん断破壊先行型耐震壁。なお、試験体の諸元は2.2項に後述する。本実験のパラメータは事前加力に与える損傷の大きさとし、無損傷の試験体1体、事前加力で予め損傷度IからIVの損傷を発生させた試験体3体、計4体。但し、損傷度IVを受ける試験体(SF-13-DIV)について、損傷度Iを受ける試験体(SF-13-DI試験体)と兼用した。これは、SC-13シリーズの結果により、壁鉄筋が降伏する前の損傷を受けても、構造性能にほとんど影響はないと考えたためである¹⁾。なお、側柱付きの試験体の詳細は、参考文献¹⁾を参照されたい。

2.2 試験体計画

両シリーズの試験体の壁筋比は、原子炉建屋を想定し、1.32%と共通とした。試験体の諸元及び計算強度を表-1に示す。終局せん断強度は、トラス・アーチ機構に基づ

くせん断強度式参考文献³⁾により算出している。また図-1に試験体の配筋図を示す。また、壁板の端部拘束条件は、SC-13シリーズは側柱(200mm×200mm)とし、SF-13シリーズは厚さが壁板と同様の直交壁(600mm×120mm)とした。また、両シリーズの試験体の計算強度を近づけるため、試験体の全長を一致させている。コンクリートの設計基準強度は全試験体共通 $F_c=27\text{N/mm}^2$ とし、コンクリートの圧縮・割裂引張試験結果と鉄筋の引張結果を表-2に示す。

表-1 試験体諸元

比較項目	損傷度	SC-13シリーズ					SF-13シリーズ				
		無損傷	I	II	III	IV	V	無損傷	I	II	III
壁	壁板高さ(mm)	1000									
	全長(mm)	1800									
	壁厚(mm)	120									
	縦筋	D6@40(SD295) Double									
	縦筋比(%)	1.32									
	横筋	D6@40(SD295) Double									
	横筋比(%)	1.32									
	拘束条件	側柱付き					直交壁付き				
側柱/直交壁	コンクリート強度 $F_c(\text{N/mm}^2)$	27					27				
	せん断スパン比	0.29					0.29				
側柱/直交壁	断面 $b \times D(\text{mm} \times \text{mm})$	200×200					600×120				
	主筋/縦筋	12-D16(SD345)					D6@40(SD295) Double				
	帯筋/横筋	2-D10(SD345)@60					D6@40(SD295) Double				
せん断ひび割れ強度(靱性指針 ³⁾ (kN)	せん断ひび割れ強度(靱性指針 ³⁾ (kN)	326					355				
	せん断終局強度(靱性指針 ³⁾ (kN)	1499					1521				

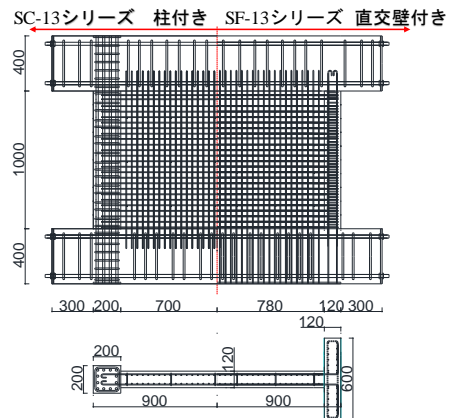


図-1 試験体配筋図(単位: mm)

表-2 材料試験結果

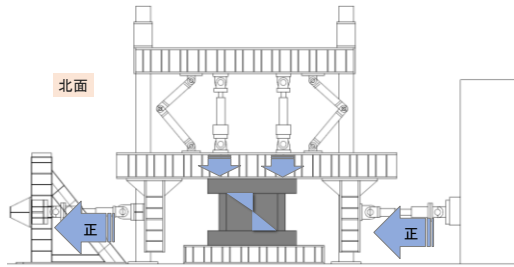
試験結果	材齢(日)	SF-13-D0	SF-13-DI,IV	SF-13-DII	SF-13-DIII
		コンクリート材料	31	82	61
試験結果	圧縮強度(N/mm ²)	30.0	32.7	32.4	33.2
	ヤング係数($\times 10^4 \text{N/mm}^2$)	2.56	2.6	2.6	2.8
	割裂引張強度(N/mm ²)	2.30	3.1	2.4	2.7
鉄筋材料試験結果(壁筋D6(SD295))	降伏強度(N/mm ²)	366.6			
	引張強度(N/mm ²)	530.1			
	ヤング係数($\times 10^4 \text{N/mm}^2$)	17.2			

Study on residual seismic capacity of damaged RC shear walls part11 Experimental program of RC shear walls with flange ends tested under Static cyclic loading

AIZAWA Naoyuki⁵, SUN Jingyue¹, HANZAWA Mamoru², MAEDA Masaki³, Hamood ALWASHALI⁴, SATO Masatoshi⁵

2.3 加力計画

試験体の加力は、東北大学が所持している静的加力装置を図—2 を使用した。試験体の反曲点高さが壁板高さの中央位置の加力治具の左右に2本の水平ジャッキを設置した。また、2本の鉛直ジャッキを用いて一定の軸力を入力した¹⁾。パラメータとなる事前損傷を与える事前加力と、全試験体共通の本加力に分けて载荷した。事前加力で与える最大変形角は、無損傷試験体(SC-13-D0・SF-13-D0)の荷重変形関係や破壊過程の状況を参考に決定した。詳細は2.5項で後述する。各試験体の加力スケジュールを表—3に示す。なお、側柱付きの試験体は、参考文献¹⁾を参照されたい。



図—2 加力装置図

表—3 加力スケジュール

試験体	事前加力													
	目標部材角R(/1000rad.)とサイクル数													
SF-13-D0	なし													
SF-13-D I	2	2	2	5									2	2
SF-13-D II	2	2	2	2	5								2	2
SF-13-D III	2	2	2	2	2	2	2	5					2	2
SF-13-D IV	2	2	2	2	2	2	2	2	5				2	2

試験体	本加力													
	目標部材角R(/1000rad.)とサイクル数													
SF-13-D0	なし													
SF-13-D I	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SF-13-D II	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SF-13-D III	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
SF-13-D IV	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

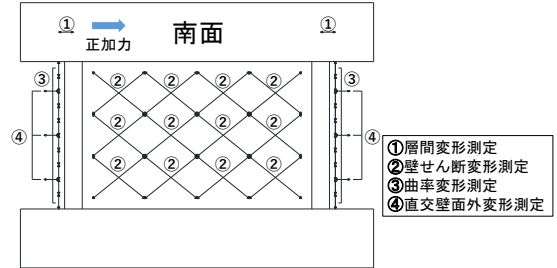
2.4 計測計画

変位計により、層間変形、せん断変形、曲率変形、直交壁の面外変形を計測した。ひび割れ幅の計測については、試験体の北面の半分を目視で計測し、正負加力で生じたひび割れを色線で表示した(正:青線 負:赤線)。残りの八文の面はデジタル画像相関法(DIC)で計測した。鉄筋の歪は、壁板縦筋・横筋、直交壁縦筋・横筋に歪ゲージを貼り付け計測した。

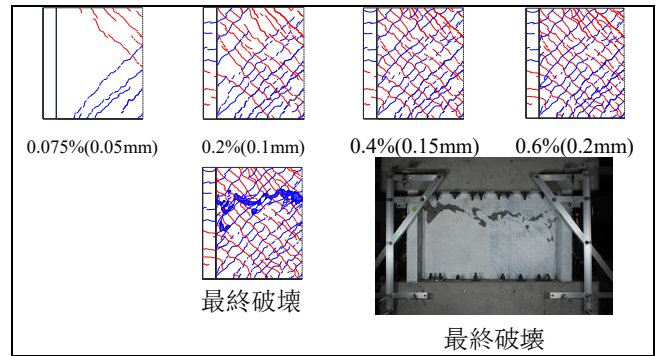
2.5 無損傷試験体の実験結果と損傷度の判定

本研究は荷重変形関係や損傷状況の結果と被災度区分判定基準⁴⁾の記載事項を比較・検討し、各層間変形時の損傷度を判定しました。図—4に無損傷試験体の残留ひび

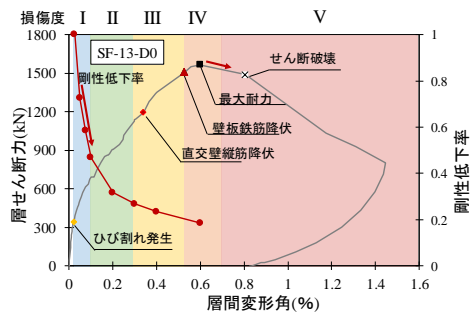
割れ図を、図—5に荷重—変形関係を示す。損傷度 I はひび割れ発生~1/1000rad.とし、損傷度 II は壁板全体にひび割れが広がる範囲で 1/1000rad.~3/1000rad., 損傷度 III は鉄筋が降伏する範囲で 3/1000rad.~5/1000rad., 損傷度 IV は試験体の耐力が低下が確認された範囲で 5/1000rad.~とした。以上のように事前加力で与える最大層間変形角を決定し、表—3に示すように加力する。



図—3 変位計測位置図



図—4 ひび割れ図(SF-13-D0)



図—5 損傷度判定

3 まとめ

本実験は直交壁付きせん断破壊先行型耐震壁(SF-13シリーズ)の静的载荷実験の概要を述べた。また、無損傷試験体(SF-13-D0)の結果を検討し、全シリーズ試験体の事前損傷度の判定方法を決定した。全シリーズの実験結果、拘束条件が構造性能に関する考察などはその12に示す。その13で、ストラット幅の算出法について検討する。

【謝辞】及び【参考文献】本稿のその13にまとめて示す。

*1 東北大学大学院工学研究科 博士前期課程

*2 清水建設株式会社 修士(工学)

*3 東北大学大学院工学研究科 教授・博士(工学)

*4 東北大学大学院工学研究科 助教・博士(工学)

*5 東北電力(株)

*1 Graduate Student, Graduate School of Eng., Tohoku University

*2 SHIMIZU CORPORATION, Master. Eng

*3 Professor, Graduate School of Eng., Tohoku University, Dr. Eng

*4 Assistant. Professor, Graduate School of Eng., Tohoku University, Dr. Eng

*5 Tohoku Electric Power Co., Inc.