

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2 損傷レベルと構造的な性能低下の関係

正会員 ○小池 拓矢*1 同 細谷 典弘*1 同 鈴木 裕介*2
同 前田 匡樹*3 同 鶴飼 和也*4 同 尾形 芳博*5

残存耐震性能 せん断破壊 損傷度
耐震壁 壁筋比 剛性低下

1. はじめに

その1ではRC造耐震壁の静的荷重実験の概要、S-D0試験体の実験結果として荷重変形関係と破壊経過について述べた。その2では、まず、無損傷の試験体の経験変形角に対する損傷度を判定する。次に、その他4体の実験結果から損傷の有無とその大きさが構造的な性能に与える影響について比較・検討する。

2 損傷度の判定

図-1に試験体S-D0の各変形の2サイクル終了時のひび割れ図を示す。本研究では、被災度区分判定基準¹⁾を参考にするとともに、荷重-変形関係、剛性低下、ひび割れの推移など実験データと比較・検討し、損傷度を判定した。損傷度Iはひび割れ発生~1/1000radとし、損傷度IIは1/1000rad~3/1000rad。損傷度IIIは3/1000rad~6/1000rad。損傷度IVは6/1000rad~最大耐力までと判定した。以上の損傷度判定と、荷重-変形関係をまとめたものを図-2に示す。この結果から、S-D I~IV試験体に事前に与える層間変形角(損傷度)を決定し、表-1に示すように事前加力を行った。

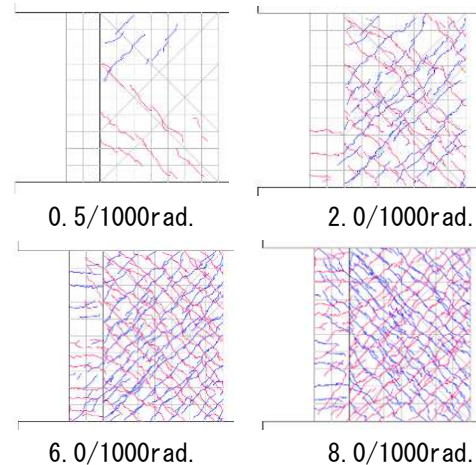


図-1 試験体S-D0 ひび割れ図

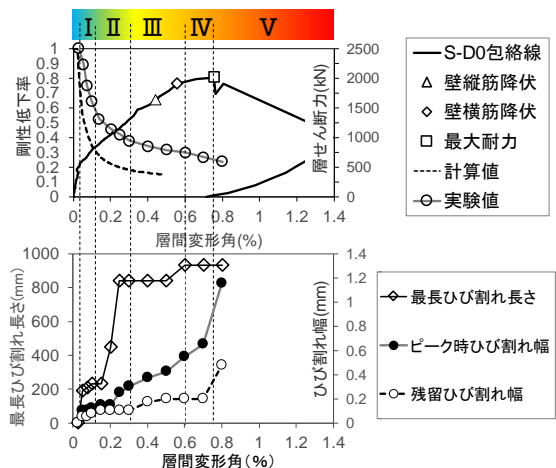


図-2 損傷度の判定

3. 実験パラメータによる影響

3.1 試験体S-D I, S-D II, S-D III, S-D IVの実験結果

図-3に試験体S-D I, S-D II, S-D III, S-D IV,の正載荷時の荷重-変形関係を、図-4に全試験体の荷重-変形関係の包絡線を示す。どの試験体も破壊経過は無損傷試験体と同様の傾向を示し、ひび割れは壁隅から発生し、6/1000rad.サイクル時に壁筋の降伏、8/1000rad.付近で最大耐力を迎えコンクリートが圧壊し、せん断破壊により終局を迎えた。試験体間で比較すると、事前損傷の増大により、小変形時の剛性は大きく低下するものの、最大耐力や変形性能に大きな影響は確認されなかった。

3.2 層間変形と剛性低下率の関係

図-5に剛性低下率の推移を示し、表-2に各損傷度における剛性低下率を示す。剛性低下率は0.25/1000rad.サイクル時の履歴ループから最小二乗法を用いて求めた初期剛性に対する、各サイクルの正載荷、負載荷時のピーク点同士を結んで求めた等価剛性の比で算出した。損傷度I程度の小変形を経験した場合、剛性は60%程度まで低下し、損傷度IV程度の大きな変形を経験した場合、剛性は20%程度に低下した。この低下の度合いは、事前加力による損傷(ひび割れ)の湯有無に関わらず、同程度であり、損傷の影響はあまり見られなかった。

表-1 加カスケジュール(S-D I, D II, D III, DIV)

試験体	事前加力													
	目標部材角R(/1000rad.)とサイクル数(回)													
S-D I	±0.25	±0.5	±0.75	±1	±2	±3	±4	±6	±4	±3	±2	±1	±0.5	±0.25
S-D II	2	5	5	2	5							2	2	2
S-D III	2	2	2	2	2	2	5			2	2	2	2	2
S-D IV	2	2	2	2	2	2	2	5	2	2	2	2	2	2
試験体	本加力													
	目標部材角R(/1000rad.)とサイクル数(回)													
S-D I	±0.25	±0.5	±0.75	±1	±2	±3	±4	±6	8					
S-D II	2	2	2	2	2	2	2	2	押切					
S-D III														
S-D IV														

は20%程度に低下した。この低下の度合いは、事前加力による損傷(ひび割れ)の湯有無に関わらず、同程度であり、損傷の影響はあまり見られなかった。

3.3 等価粘性減衰定数の推移

等価粘性減衰定数の推移を図-6に示す。損傷が大きい試験体 S-DIII, S-DIVは小変形時には比較的高く推移しているものの変形が大きくなるにつれ、ほとんど差はなくなり、減衰性能への大きな影響は確認されなかった。

4 耐震性能低減係数 η

層間変形に対する耐震性能低減係数 η の概念図と実験値と現行基準との比較を図-7に示す。 η は式(1)により部材が消費したエネルギー E_d と残存エネルギー吸収能力 E_r から算出した¹⁾。実験では最大耐力発現後、急激に耐力低下をしたため、全エネルギー $E_d + E_r$ は、最大耐力点までの履歴面積としている。実験データから求めた耐震性能低減係数 η は、現行の被災度区分判定基準に記載されている耐震壁の耐震性能低減係数よりも大きい値を示しており、現行基準は大きく安全側に評価していると考えられる。これは最大耐力近傍まで残留変形が小さく推移し、消費エネルギーが低かったためと考えられる。

$$\eta = \frac{E_r}{E_r + E_d} \quad (1)$$

5. まとめ

せん断壁に対する静的漸増荷重実験から、損傷の大きさと構造性能低下の関係について以下の知見が得られた。

- 1) 事前に受けた損傷の大きさに関わらず、最大耐力や変形性能などの終局性能には影響は見られなかった。
- 2) 事前加力により経験している変形領域では、事前加力で与えた損傷の度合いに応じた剛性低下が確認され、損傷後に同程度の地震動を受けた場合、地震応答が大きくなる可能性がある。
- 3) 現行の耐震壁の耐震性能低減係数は大きく安全側に評価していると考えられ、今後構造特性の異なる耐震壁においても同様の検討を行い、より適切な残存耐震性能評価の必要性が示された。

6. 参考文献

- 1) 日本建築防災協会：震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針 2001
- 2) Kiyoshi Hirofumi et al: Simulation Analysis of Earthquake Response of Onagawa Nuclear Power Plant to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, 15WCEE, 2012
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999
- 4) 原子力規格委員会:原子力発電所耐震設計技術規程, JEAC4601-20083) 原子力規格委員会:原子力発電所耐震設計技術規程, JEAC4601-2008

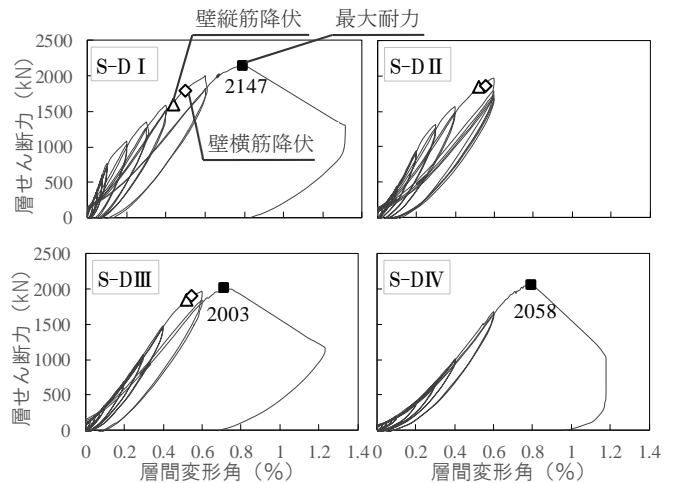


図-3 S-D I, D II, D III, DIV試験体荷重-変形関係

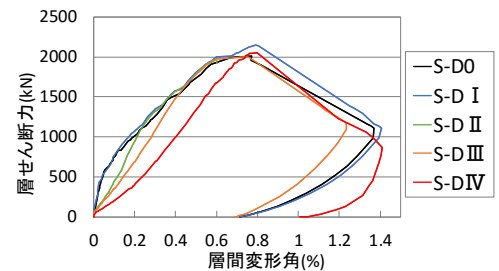


図-4 全試験体荷重 - 変形関係包絡線

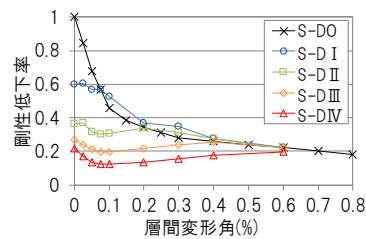


図-5 剛性低下率の推移

表-2 損傷度と剛性低下率

損傷度	剛性低下率
損傷度 I	0.60
損傷度 II	0.36
損傷度 III	0.27
損傷度 IV	0.22

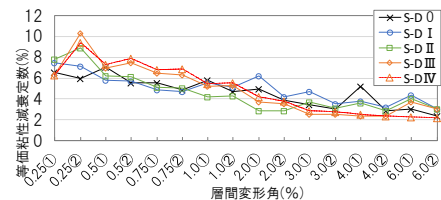


図-6 等価粘性減衰定数の推移

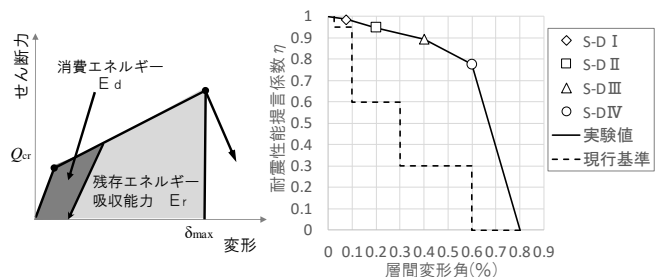


図-7 耐震性能低減係数 η の概念図と算出結果

*1 東北大学大学院工学研究科 博士前期課程
 *2 大阪市立大学大学院工学研究科 助教・博士(工学)
 *3 東北大学大学院研究科 教授・博士(工学)
 *4 東北電力(株)
 *5 東北電力(株)・博士(工学)

*1 Graduate Student, Graduate School of Eng., Tohoku University
 *2 Assistant Professor, Graduate School of Eng., Osaka City Univ., Dr. Eng.
 *3 Professor, Graduate School of Eng., Tohoku University, Dr. Eng.
 *4 Tohoku Electric Power Co., Inc.
 *5 Tohoku Electric Power Co., Inc., Dr. Eng.