

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10 総残留ひび割れ幅に基づく経験最大応答変形の推定方法

正会員 ○半沢 守 1* 同 西田 智康 1* 同 前田 匡樹 2* 同 晉 沂雄 3*
同 尾形 芳博 4* 同 相澤 直之 5* 同 田所 麻衣 5*

耐震壁 曲げ破壊 損傷度
残存耐震性能 損傷量評価 ひび割れ幅

1. はじめに

前報のその8と9では、曲げ破壊先行型耐震壁の静的載荷実験の概要と実験結果、破壊形式の違いが耐震壁の損傷後の構造的な性能低下に与える影響について述べた。本報ではその実験結果から得られた残留ひび割れ幅に基づき、経験最大応答変形の推定法について検討する。

現行の被災度区分判定基準⁴⁾では被災したRC造部材の残存耐震性能を評価する際、部材の損傷度を部材に生じた最大残留ひび割れ幅の値を目安に判定し、それに応じた耐震性能低減係数に用いて残存耐震性能を評価している。しかし、残留ひび割れ幅による損傷度分類において、耐震壁のようにひび割れが多くなる部材では、全変形量に対し1本のひび割れの残留ひび割れ幅の占める割合が低く、最大残留ひび割れ幅のみで判断すると、正確な損傷度判定ができない。そこで、既往研究⁵⁾では、総残留ひび割れ幅を用いてせん断破壊先行型耐震壁の経験最大応答変形の推定法を提案した。引き続き本研究では、曲げ破壊先行型耐震壁を対象に同様の検討を試みる。

2. 総残留ひび割れ幅を用いた損傷量評価法の概要

既往研究⁵⁾での提案法では、総せん断ひび割れ幅から経験したせん断変形量を推定し、せん断変形割合で除することで経験最大応答変形を推定している。本研究では図-1に示す曲げ変形及びせん断変形の混在型モデルを想定し、せん断変形(式(1))と曲げ変形(式(2))を推定し、これらの和によって経験最大応答変形を評価する。

$$\begin{aligned} \text{せん断変形 } \delta_S &= \gamma \times \frac{H}{\alpha_S} = \frac{\sqrt{H^2 + L^2}}{2\alpha_S L} (\delta_1 + \delta_2) \\ &= \frac{\sqrt{H^2 + L^2}}{2\alpha_S L} \times (1 + \beta) \sum W_{Scr} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{曲げ変形 } \delta_F = \frac{1}{\alpha_f} \times H \times \sum W_{Fcr} / x_n \quad (2)$$

$$\text{層間変形 } \delta_{SF} = \delta_S + \delta_F \quad (3)$$

ここに α_S :せん断変形残留率, α_f :曲げ変形残留率, δ_1 :引張変形量(= $\sum W_{Scr}$), δ_2 :圧縮変形量($\beta\delta_1$), W_{Scr} :せん断ひび割れ幅, W_{Fcr} :曲げひび割れ幅であり, $\alpha_S \cdot \alpha_f \cdot \beta$ の値については後述する。

また、既往研究⁵⁾では、せん断スパン比の異なる耐震壁

に適用するため、総残留ひび割れ幅を測定区間長さで除して単位長さあたりのひび割れ幅を「基準化ひび割れ幅」と定義し(図-2)、損傷度を分ける指標としている。

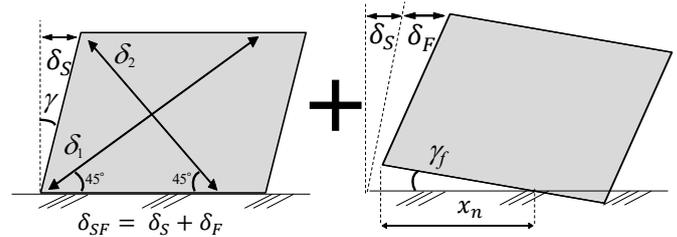


図-1 曲げ変形せん断変形混在型モデル

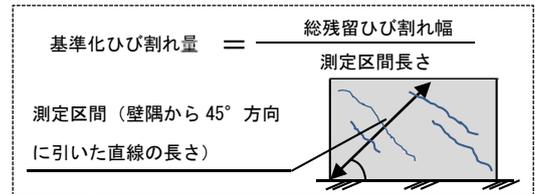


図-2 基準化ひび割れ幅の概念図

3. 本実験への適用結果

3.1 基準化ひび割れ幅による評価

図-3に基準化ひび割れ幅の推移を示す。図中の既往推定式の直線は、既往研究⁶⁾により提案された単位長さあたりの総ひび割れ幅(Wt')を推定する式(式(4))を本実験に適用した結果を示している。

$$Wt' = 1.06(0.04 - P_s)R \times 10^3 \quad (4)$$

ここに P_s : 壁筋比, R : 層間変形角(rad.)

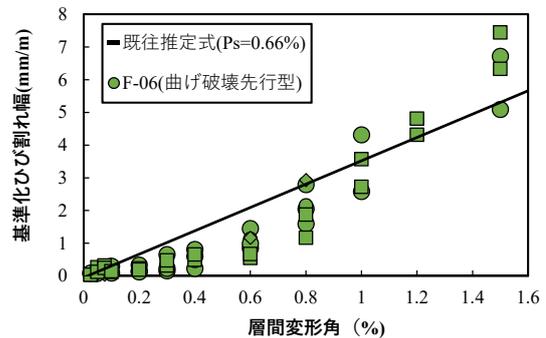


図-3 基準化ひび割れ幅

上記の推定式は、壁高さ中央位置におけるひび割れを合計した値であり、本実験のひび割れ幅測定位置(壁隅から斜め45°方向の線)と異なることに留意する必要がある。

るが、既往推定式の方がひび割れ量を過大に評価する個所が見えるなど、実験結果と良く対応しない結果であった。そこで、次節では壁隅から斜め 45°方向の線を横切る総ひび割れ幅及び曲げひび割れ幅により式(1)~(3)を用いて経験最大変形を推定し、実験結果との比較・検討を行う。

3.2 総ひび割れ幅による経験変形の推定

図-4 に壁体対角方向の歪-層間変形関係、図-5 にせん断変形残留率 (式(1)の α) の推移を示す。図-4 から、壁板対角方向の歪では、圧縮歪：引張歪が約 1:4 の割合で推移したため、 $\delta_2=0.25\delta_1$ とした。また、図-4 の小変形時は、残留率にばらつきが大きい、曲げ降伏が起こる層間変形角 (R) 0.6% までにおいては、概ねせん断ひび割れ残留率が 30% 程度、曲げひび割れ残留率が 20% 程度を推移しており、曲げ降伏以後は残留率が 70% 程度に収束すると考えられる。そこで、 $R=0.6\%$ 以前 (鉄筋降伏前と判断される場合) は $\alpha_s=0.3$, $\alpha_f=0.2$, $R=0.6\%$ 以後 (鉄筋降伏後と判断される場合) は $\alpha_s=\alpha_f=0.7$ として推定を試みた。なお、式(3)の x_n は変位計から計測した実験値(1200mm)を用いた。

その推定結果を図-6 に示す。図-6 から、推定変形が実際の層間変形と概ね対応し、ほぼ安全側に評価できている。ただし、曲げ降伏が起こった層間変形 6mm 以降は推定値との誤差が大きくなっているため、今後推定精度を高めていく必要がある。本研究に適用した損傷度及びその分類基準となる基準化ひび割れ幅(測定区間は壁隅から 45°方向の線を横切る位置)を、既往研究⁵⁾によるそれらと併せ、表-1 にまとめる。同表より、せん断壁の結果に比べ本研究による曲げ壁における基準化ひび割れ幅の値が 2 倍程度大きくなる傾向がみられた。

4. まとめ

(1) 曲げ壁では、壁体対角方向の圧縮歪：引張歪は概ね 1:4 の割合、ひび割れ残留率は鉄筋降伏以前では 20~30%、その以降は 70% に収束する傾向であった。

(2) 総ひび割れ幅をもとにした基準化ひび割れ幅による経験最大応答変形は、曲げ壁において、経験した変形量の傾向がとらえられており、損傷度を評価する判断手法として有用であると考えられる。

(3) 総ひび割れ幅から地震時の経験最大応答変形の推定を試みた結果、曲げ破壊先行型耐震壁においても概ね推定できると考えられる。なお、曲げ降伏後はやや推定値と差異が生じたため、さらに精度向上が必要と考えられる。

謝辞

本研究で使用した鉄筋の一部は、アシス株式会社、東京鉄鋼株式会社、朝日工業株式会社より提供して頂きました。また、本研究の一部は、「文部科学省英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」により実施された「廃止措置事業のための格納容器・建屋信頼性維持と廃棄物処理処分に関する基盤研究及び中核人材育成プログラム」の成果です。関係各位に、謝意を表します。

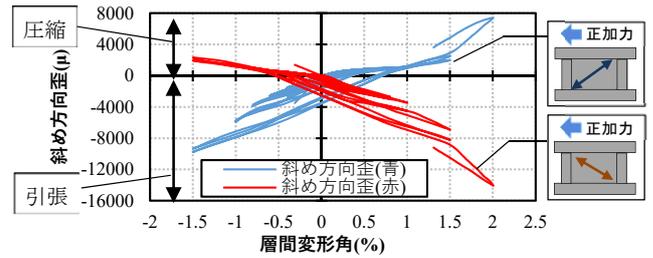


図-4 対角方向の歪-層間変形関係

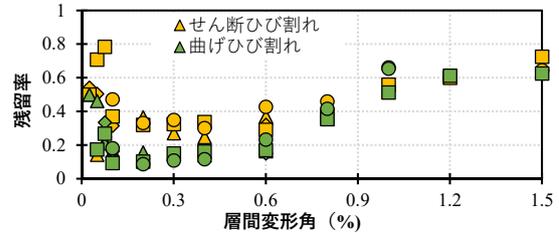


図-5 せん断変形残留率の推移

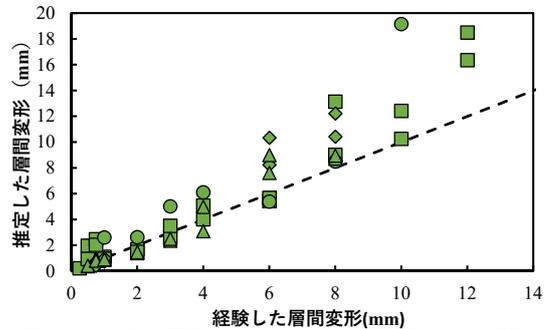


図-6 推定層間変形と実際の層間変形の関係

表-1 損傷度と基準化ひび割れ幅

損傷度	損傷状況		基準化ひび割れ幅 (mm/m)	
	せん断壁	曲げ壁	既往研究 ⁵⁾	本実験適用後
I	ひび割れは発生しているが大きな損傷は残っていない状態	ひび割れは発生しているが大きな損傷は残っていない状態	せん断壁 ひび割れ発生 ~0.07	曲げ壁 ひび割れ発生 ~0.1
II	ひび割れは壁全体に広がるが剥落はあまり見られない状態	ひび割れは壁全体に広がるが剥落はあまり見られない状態	0.07~0.2	0.1~0.5
III	大きな損傷が残りはじめ、剥落もいくつか見られる状態	曲げ降伏が生じ、ひび割れが開き始める	0.2~0.9	0.5~2.0
IV	せん断ひび割れが開き始める	大きなひび割れ、剥落が生じ、耐力が徐々に低下	0.9~	2.0~
V	水平耐力が急激に低下し、軸力保持能力の喪失		-	-

参考文献

- 1) 田所麻衣 ほか：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4、日本建築学会学術大会梗概集、構造IV、pp.469-470、2017年8月
- 2) 半沢守 ほか：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5、日本建築学会学術大会梗概集、構造IV、pp.471-472、2017年8月
- 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年
- 4) 日本建築防災協会：2015年改訂版 震災建築物の被災度区分判定基準 および復旧技術指針、2016年3月
- 5) 細谷典弘 ほか：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6、日本建築学会学術大会梗概集、構造IV、pp.473-474、2017年8月
- 6) 柳下和男、福沢六郎、千葉脩、羽鳥敏明、金子治：建屋の復元力特性に関する研究 その61 耐震壁のせん断ひび割れ本数およびひび割れ幅の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 1986、pp.1121-1122

*1 東北大学大学院工学研究科 博士前期課程
 *2 東北大学大学院工学研究科 教授・博士 (工学)
 *3 明治大学理工学部建築学科 助教・博士 (工学)
 *4 東北電力 (株)・博士 (工学)
 *5 東北電力 (株)

*1 Graduate Student, Graduate School of Eng., Tohoku University
 *2 Professor, Graduate School of Eng., Tohoku University, Dr. Eng.
 *3 Assistant Professor, Department of Architecture, Meiji University, Dr. Eng.
 *4 Tohoku Electric Power Co., Inc, Dr. Eng.
 *5 Tohoku Electric Power Co., Inc.