

脆性部材を有する RC 造架構の構造性能評価に関する実験
その6 部材損傷と架構危険度の関係

正会員○権 淳日*¹ 同 高橋 典之*¹ 同 伊藤 洋一*¹
同 崔 琥*¹ 同 中埜 良昭*¹ 同 前田 匡樹*²
脆性部材 損傷量 架構危険度 同 衣笠 秀行*³ 同 向井 智久*⁴ 同 壁谷澤寿一*⁴
耐震診断 同 福山 洋*⁴

1. はじめに

地震により建物の安全限界までの余裕度が減少する度合を地震時の架構危険度として評価する方法はこれまで様々な形式で提案されており^{[1]-[3]}など、主に鉛直部材の水平耐力あるいは鉛直力支持能力の低下・喪失に基づき限界を定め、部材変形、耐力、消費エネルギーなどの工学量から危険度を定式化している。実験または解析において上記の工学量を計測することは比較的容易であるが、通常の既存建物が地震被害を受けた時の安全限界までの余裕度を測る尺度は直接計測できる物理量であるひび割れ幅、ひび割れ長さ、剥落面積などの損傷量に限られている。そこで本稿では、地震被害後の架構危険度について部材の損傷量との関係に着目した検討を行う。

2. 架構危険度と工学量との関係

本研究では、前報その1で報告した試験体 A および B を対象に、実験時に計測できた工学量から算出可能な Park らの損傷指標の算定手法^{[2],[3]}を準用した架構危険度と工学量との関係を検討する。Park らの損傷指標の算定手法は、部材の損傷指標 D を式(1)で定め、層および架構全体の損傷指標 (D_{story} (式(2)) および $D_{structure}$ (式(3))) はそれぞれ各部材および各層のエネルギー吸収量に応じた加重平均から算出されるものである。但し、試験体 A および B とともに 1 層架構試験体であるため、損傷指標 $D_{structure}$ は D_{story} と同義である。ここで、 δ_M : 最大応答変形、 δ_u : 単調載荷時の限界変形、 Q_y : 降伏耐力 (計算値)、 dE : 消費エネルギーの増分、 l/d : シアスパン比、 n_0 : 軸力比、 p_t : 主筋比 (%) p_w : 補強筋比、 λ_i^{member} および λ_i^{story} : i 部材および i 層の寄与係数、 E_i^{member} および E_i^{story} : i 部材および i 層の履歴エネルギー吸収量である。

損傷指標の算出にあたり、各部材のエネルギー吸収量の算定における各部材の負担せん断力について、隅柱のせん断力は分力計の値、中央柱のせん断力は架構全体のせん断力から隅柱のせん断力を減じた値、梁のせん断力は柱変動軸力から求めた値を用いた。また、最大応答変形 δ_M は正負両載荷方向の変形のうち大きい方を採用した。単調載荷時の限界変形 δ_u は、中央柱では最大耐力の 80% 低下時の変形を採用したが、隅柱および両梁では最大耐力 80% 低下時の変形を実験で得られなかったため、中央柱の鉛直力支持能力喪失時の各部材の変形を限界変形とした。以上に基づき両試験体に対して各部材の損傷指標 D を図 1(a)~図 1(e)

に、架構全体の損傷指標 $D_{structure}$ を図 1(f)に、 $D_{structure}$ を算出する際の各部材の寄与係数 λ_i^{member} を図 2 にそれぞれ示す。図 1(a)~図 1(f)より、両試験体とも部材および架構の損傷指標と経験層間変形角がほぼ比例関係にあることが分かる。また、図 1(a)~図 1(e)より部材の損傷指標 D を定める式(1)において最大変形を含む第 1 項と履歴エネルギー吸収量を含む第 2 項の算出結果を比べると、各部材の係数 β が小さい値(いずれも 0.05 未満)であるため第 1 項の占める割合が高く、梁部材よりも柱部材においてその傾向が顕著である。

$$D = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{Q_y \delta_u} \int dE \quad (1)$$

$$\text{但し, } \beta = (-0.447 + 0.073l/d + 0.24n_0 + 0.314p_t) \cdot 0.7^{p_w}$$

$$D_{story} = \sum_i \lambda_i^{member} D_i^{member} \quad \lambda_i^{member} = E_i^{member} / \sum_i E_i^{member} \quad (2)$$

$$D_{structure} = \sum_i \lambda_i^{story} D_i^{story} \quad \lambda_i^{story} = E_i^{story} / \sum_i E_i^{story} \quad (3)$$

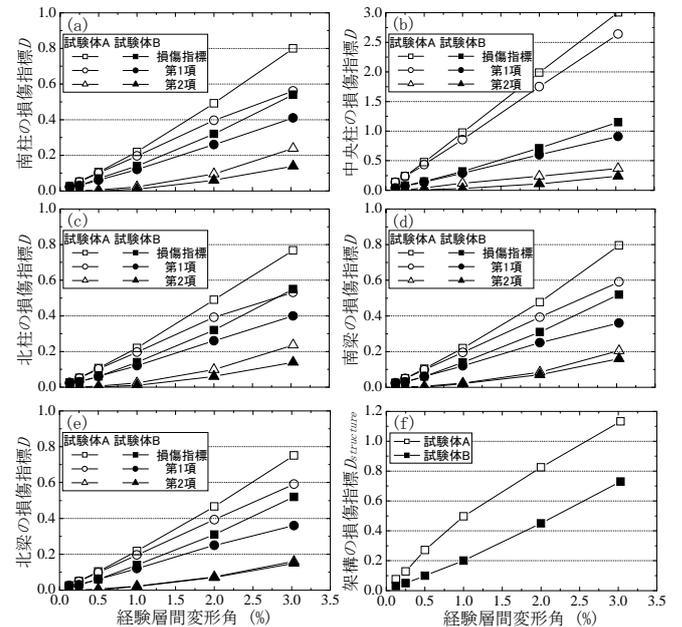


図1 各部材の損傷指標 D および試験体の損傷指標 $D_{structure}$

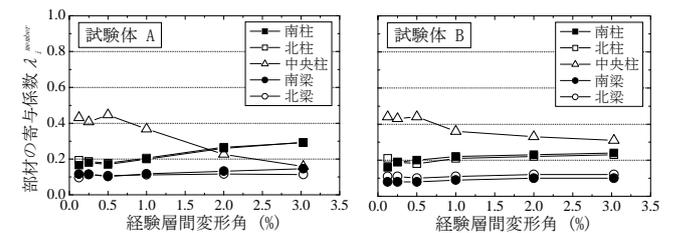


図2 各部材の寄与係数 λ_i^{member}

Experimental Test on Structural Performance for RC Frame with Brittle Column - Part 6: A Relationship between Visible Damage of Structural Member and Global Damage Index

QUAN Chunri, TAKAHASHI Noriyuki, ITO Yoichi, CHOI Ho, NAKANO Yoshiaki, MAEDA Masaki, KINUGASA Hideyuki, MUKAI Tomohisa, KABEYASAWA Toshikazu and FUKUYAMA Hiroshi

3. 損傷量と工学量との関係

経験最大変形角に対する最大残留ひび割れ幅と、残留ひび割れ総長さの関係を示す図3および図4に示す。各部材の最大残留ひび割れ幅は、経験層間変形角と概ね正の相関がみられるが、部材ごとにばらつきが増大し、その傾向は試験体Aの部材よりも試験体Bの部材で顕著であった。一方、各部材の残留ひび割れ総長さは、脆性柱（試験体Aの中央柱）以外の部材において、経験層間変形角の増加に伴いその値が増大するものの、経験層間変形角1.0%以降その増加率が減少する。また、ひび割れ総長さは隅柱と両梁それぞれでほぼ同じ値を示す。以上の結果から、いずれの損傷量も、既往の研究^[4]に示したように、その進展は経験最大変形に依存すると判断されるが、最大残留ひび割れ幅よりひび割れ総長さの方が経験層間変形角に対して部材ごとのばらつきが小さかった。

4. 架構危険度と損傷量に対する各部材の寄与分

架構危険度に対する各部材の寄与分は、Parkらの損傷指標において寄与係数 λ_i として定量化され、エネルギー負担割合の高い部材ほど重要な役割を果たす。本試験体においては、図2に示したように、脆性部材(中央柱)がせん断破壊した試験体Aでは架構全体の危険度に対する中央柱の寄与分が経験層間変形角0.5%をピークに低下し、経験層間変形角2.0%で両柱の寄与分よりも小さくなるのに対し、腰壁の破壊により中央柱の破壊モードがせん断から曲げに変化した試験体Bでは架構全体の危険度に対する中央柱の寄与分が経験層間変形角0.5%をピークに徐々に低下するものの両柱の寄与分よりも小さくならなかった。

一方、修復費用の積算に直結する架構全体の損傷量に対する各部材の寄与分は、本来「修復難易度」も考慮すべきであるが、本検討では簡単のため部材に生じている損傷量そのもので定量化されると考える。この時、図2の寄与係数 λ_i に倣い、各部材の最大残留ひび割れ幅の全部材にわたる合計値に対する各部材の最大残留ひび割れ幅の比を「最大残留ひび割れ幅率」とし、架構全体の残留ひび割れ総長さに対する各部材の残留ひび割れ総長さの比を「残留ひび割れ長さ率」として、これらを損傷量に対する各部材の寄与分と定義し、それぞれ図5および図6に示す。試験体Aでは架構全体の損傷量に対する中央柱の寄与分が経験層間変形角1.0%で幅、長さともにピークとなり他の部材よりも寄与分が高くなったが、試験体Bでは架構全体の損傷量に対する中央柱の寄与分が、ひび割れ幅においては他の部材よりも低く、ひび割れ長さにおいては経験層間変形角1.0%で梁の寄与分に漸近する程度であった。

図2と図5および図6を比較すると、架構危険度に対する各部材の寄与分と、架構全体の損傷量に対する各部材の寄与分は異なり、危険度に対しては柱の寄与分が大きく、損傷量に対しては梁の寄与分が大きい傾向にある。ただし脆性柱（試験体Aの中央柱）は危険度に対しても損傷量に対しても寄与分が大きくなり、その後破壊に至って寄与分が減少する。

5. まとめ

本稿では架構危険度と損傷量との関係について検討を行い、本試験体に対して以下の知見を得た。

- ①Parkの損傷指標と経験層間変形角はほぼ比例関係にある。
- ②脆性部材（試験体Aの中央柱）を除けば、ひび割れ総長さは経験層間変形角に対して部材ごとにばらつきが少なく、修復性能評価において有効な指標になると考えられる。
- ③架構危険度に対しては隅柱それぞれの寄与分が両梁より大きく、損傷量に対しては両梁それぞれの寄与分が隅柱より大きい傾向にある。脆性柱（試験体Aの中央柱）は危険度に対しても損傷量に対しても寄与分が大きくなり、その後破壊に至って寄与分が減少する。

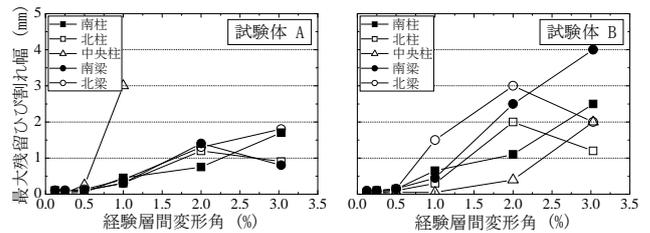


図3 経験最大層間変形角と最大残留ひび割れ幅の関係

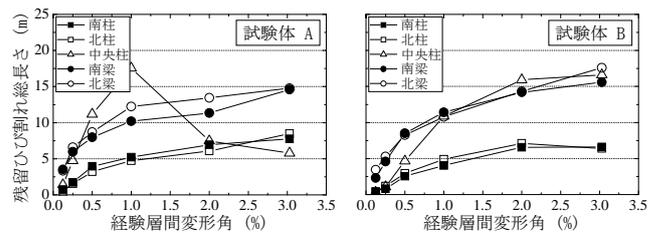


図4 経験最大層間変形角と残留ひび割れ総長さの関係

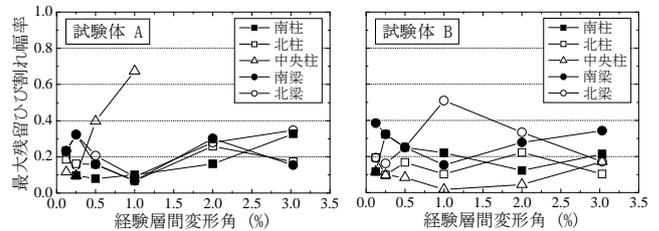


図5 各部材の最大残留ひび割れ幅率

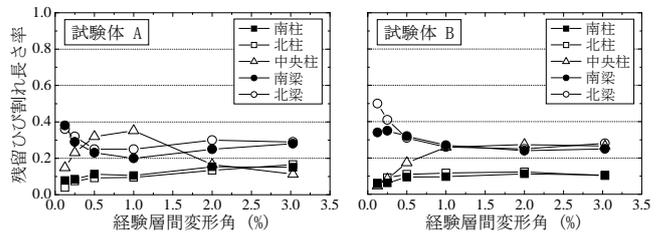


図6 各部材の残留ひび割れ長さ率

【参考文献】

- [1]田嶋和樹：鉄筋コンクリート構造物全体を対象とした地震損傷評価に関する研究の動向，コンクリート工学，Vol.46，No.2，pp.77~82，2008.2 [2]Park, Y.-J. and Ang, A.H.-S.: Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.111, No.4, pp.722-739, 1985.4 [3]Park, Y.-J., Ang, A.H.-S. and Wen, Y.K.: Seismic Damage Analysis of Reinforced Concrete Buildings, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.111, No.4, pp.740-757, 1985.4 [4]高橋絵里，高橋典之，中埜良昭：鉄筋コンクリート部材の損傷量進展過程に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.2，pp.931~936，2009.7

*1 東京大学
*2 東北大学
*3 東京理科大学
*4 独立行政法人建築研究所