

梁の損傷を考慮した RC 造架構の残存耐震性能の評価手法
その2 全架構耐震性能残存率 SI_{margin} の略算法

残存耐震性能評価 全架構耐震性能残存率 被災度
損傷度 エネルギー寄与係数

正会員 ○高橋 典之*¹ 同 権 淳日*²
同 崔 琥*³ 同 中埜 良昭*⁴

1. はじめに

本報(その2)では、実際の被災現場へ適用可能な全架構耐震性能残存率 SI_{margin} の略算法による架構の残存耐震性能の評価手法(図1)を提案し、その妥当性について検討を行う。

2. 全架構耐震性能残存率 SI_{margin} の略算法

(1) 梁の損傷度区分

部材の損傷度は本来、主筋降伏などの力学性状の変化に基づき工学的に定義されるべきであるが、被災現場では目視可能な損傷に基づき損傷度を定めざるを得ない。

従来の部材の損傷度区分においては損傷度IIとIIIを区分する力学性状の変化が明示されておらず、最大残留ひび割れ幅を目安に区分されている。軸力の生じる柱部材と軸力の生じない梁部材とでは、同じ残存耐震性能を有する状態であっても最大残留ひび割れ幅が異なり、軸力の生じない梁部材の最大残留ひび割れ幅が相対的に大きくなるのが推測される。そこで本研究では、IとIIおよびIIIとIVの境界については文献[1]に従い定義し、損傷度IIとIIIの区分を力学性状の変化で定めるにあたり補強筋降伏により区分されると仮定し、1/2スケールの2SH-64試験体の実験結果(図2)より、力学性状の変化と対応する目視可能な損傷量の目安を梁部材の損傷度区分として表1に定めた。ここで、力学性状と直接的な対応関係はないが、従来より広く認知されている最大残留ひび割れ幅1mmを損傷度の境界として追加し、工学状態に基づく損傷度IIを目視可能な損傷に基づく損傷度IIとIIIに区分することとした。

(2) 梁の損傷度に応じた耐震性能低減係数 η

文献[2]の方法に基づき、梁の耐震性能低減係数 η を算出して、表1の定義により分類した損傷度との関係を図3に示す。ここで、既往の研究[3]を参考に梁の終局塑性率 μ を12と仮定した。図3より、損傷度の境界を示す耐震性能低減係数 η (下限値) を求めると表2のようになる。また、参考として柱部材の耐震性能低減係数 η を表2に併記する。

(3) 部材のエネルギー寄与係数 α

全架構耐震性能残存率 SI_{margin} の算出にあたり、部材のエネルギー寄与係数 α はある基準となる部材のエネルギー消費量に対する各部材のエネルギー消費量の比として定義する必要がある。本研究では、ある特定の部材の降伏により架構を最終的にメカニズムに至らしめる時、その特定の部材をクリティカル部材と定める。例えば、梁降伏先行型の架構において、1階柱脚部の降伏によりメカニズムに至る場合、1階柱部材がクリティカル部材となる。

上記のように部材のエネルギー寄与係数 α は本来各部材のエネルギー消費量に基づき求めるべきであるが、略算法が運用される被災現場において部材のエネルギー消費量を把握す

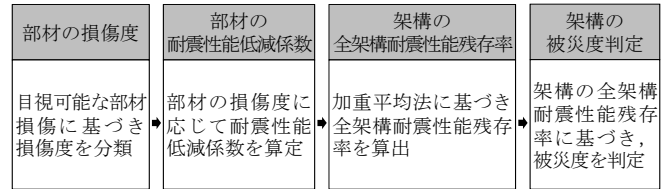


図1 略算法による全架構残存耐震性能の評価手順

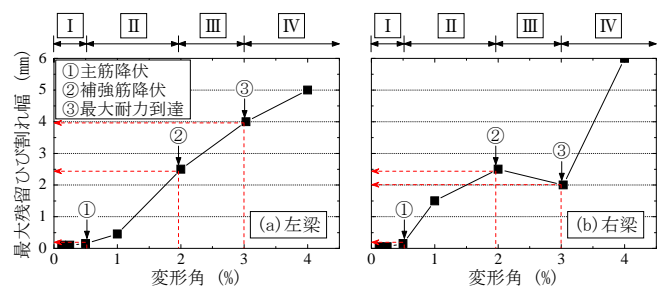


図2 梁の損傷度と最大残留ひび割れ幅(2SH-64試験体)

表1 梁の損傷度区分の定義(2SH-64試験体)

力学性状の変化に基づく損傷度	境界となる力学性状	境界となる目視可能な損傷量(○数字は図2に対応)	目視可能な損傷に基づく損傷度
I	主筋降伏	$w_{max} = 0.2\text{mm}$ (①)	I
II	—	$w_{max} = 1\text{mm}$	II
	補強筋降伏	$w_{max} = 2\text{mm}$ 超 (②)	III
III	最大耐力到達	$w_{max} = 4\text{mm}$ 超 (③)	IV
IV		かぶりコンクリート剥落	V

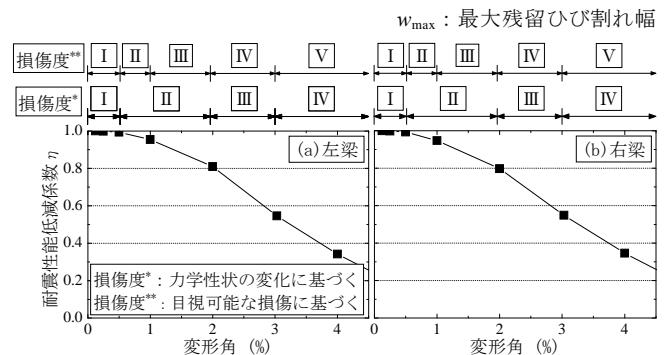


図3 梁の損傷度と耐震性能低減係数 η (2SH-64試験体)

表2 目視による梁と柱の損傷度区分と耐震性能低減係数 η

梁の損傷度	η	η (柱)		柱の損傷度
	(曲げ) 梁	曲げ柱	せん断柱	
I	0.99	0.95	0.95	I
II	0.95	0.75	0.6	II
III	0.8	0.5	0.3	III
IV	0.55	0.1	0	IV
V	0	0	0	V

ることが困難なため、本研究では各部材のエネルギー消費量を逐一算出せずに α を定める方法について検討する。ここで、クリティカル部材の降伏モーメントに対するその他の部材の降伏モーメントの比を部材のエネルギー寄与係数 α とする。降伏モーメントの比で定めた部材のエネルギー寄与係数 α は、降伏時のみならず、いずれの層間変形角においても本来求めるべき各部材間のエネルギー消費量の比を近似している必要がある。そこで、降伏モーメントより算出されるエネルギー寄与係数 α がクリティカル部材のエネルギー消費量に対する各部材のエネルギー消費量の比の推移を近似しているか確認する。

2SH-64 試験体を対象に、クリティカル部材（最後に降伏した左柱）のエネルギー消費量に対する各部材のエネルギー消費量の比の推移を求めると図4を得る。図4に降伏モーメントより算出されるエネルギー寄与係数 α を併記する。図4より、降伏モーメントより算出される α はいずれの層間変形角においてもクリティカル部材のエネルギー消費量に対する各部材のエネルギー消費量の比を近似していることが分かる。

略算法を実際の被災現場へ適用する際、建設年代などで α の代表値を定める方法も考えられるが、本報では梁降伏先行型の架構について、特定の試験体に対する算定結果より、部材のエネルギー寄与係数 α の値を定めた。柱部材の降伏によりメカニズムに至る 2SH-64 試験体の実験結果においては、左柱をクリティカル部材と定め、同断面の右柱のエネルギー寄与係数 α を 1.0 とした。また、中央柱は腰壁の破壊によって曲げ破壊の挙動を示したため、エネルギー寄与係数 α を 1.0 とし、右梁および左梁については降伏モーメントの比よりエネルギー寄与係数 α を 0.65 とした。一方、梁部材の降伏によりメカニズムに至る 1SF 試験体は、梁をクリティカル部材と定め、柱のエネルギー寄与係数 α を 1.39 とした。

(4) SI_{margin} の略算式

以上の検討より、全架構耐震性能残存率 SI_{margin} を簡便に求める略算式を式(1)のように定める。ここで、 k : 破壊形式に応じた部材種別、 α_k : クリティカル部材に対する部材種別 k のエネルギー寄与係数、 $\eta_{k,D}$: 損傷度 D となる部材種別 k の耐震性能低減係数、 $A_{k,D}$: 損傷度 D となる部材種別 k の部材数、 D : 損傷度のレベル (I~V) である。全架構耐震性能残存率 SI_{margin} の算定結果に対し、特徴区間の閾値の目安(前報(その1)の表1)を適用することで、架構の被災度(特徴区間 A~E 区間)を略算法により判定することができる。

$$SI_{margin} = \frac{\sum_k \alpha_k \cdot \sum_{D=1}^V (\eta_{k,D} \cdot A_{k,D})}{\sum_k \alpha_k \cdot A_k} \times 100 (\%) \quad (1)$$

3. 精算法と略算法による SI_{margin} の比較

(1) 2SH-64 試験体

2SH-64 試験体の全架構耐震性能残存率 SI_{margin} と被災度

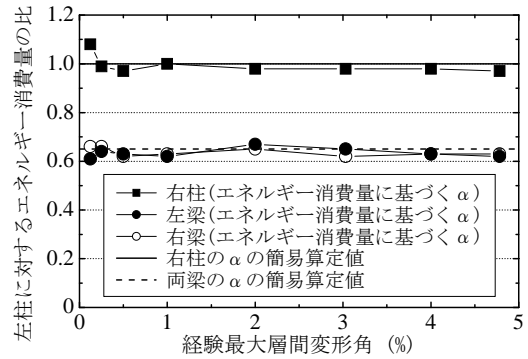


図4 エネルギー消費量の比の推移 (2SH-64 試験体)

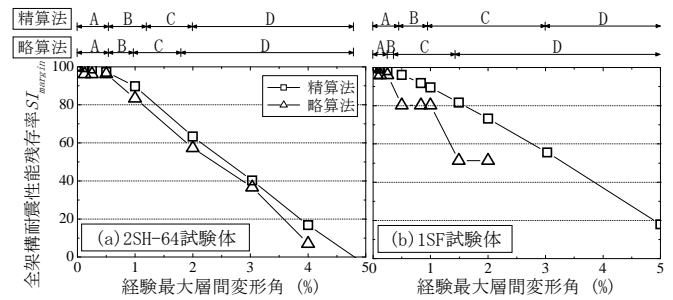


図5 全架構耐震性能残存率 SI_{margin} の比較

(特徴区間)の評価結果(図5(a))では、 SI_{margin} の算出結果、および被災度(特徴区間)を区分する経験最大層間変形角が精算法と略算法で概ね対応した。

(2) 1SF 試験体

1SF 試験体の全架構耐震性能残存率 SI_{margin} と被災度(特徴区間)の評価結果(図5(b))では、略算法の方が被災度を過大に評価した。これは、1SF 試験体には非構造部材である三方スリット壁が取り付けられており、経験最大層間変形角 2%時に架構の水平耐力が一旦低下した後で再度上昇し、大変形(経験最大層間変形角 3%)時に最大耐力に至ったことで、非構造壁が架構の残存耐震性能に及ぼす影響を適切に考慮できてないことが影響したものと考えられる。

4. まとめ

本報では、実際の被災現場へ適用可能な全架構耐震性能残存率 SI_{margin} の略算法について検討した結果、以下の知見を得た。(1) 2SH-64 試験体を対象に、曲げ梁の耐震性能低減率 η の関係を示し、クリティカル部材のエネルギー消費量に対する各部材のエネルギー消費量の比と降伏モーメントより算出される各部材のエネルギー寄与係数 α とが概ね一致することが確認できた。(2) 2SH-64 試験体では略算法と精算法とが概ね対応したが、1SF 試験体では非構造壁などの影響のため略算法が精算法より被災度を過大評価した。

【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，2001.9 [2]文野正裕ほか：部材の残余耐震性能に基づいた震災RC造建物の被災度評価法に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.3，pp.1447-1452，2000 [3]高橋絵里：鉄筋コンクリート造部材のひび割れ進展過程の定量的評価に関する実験的研究，東京大学修士論文，2008.2

*1 東北大学 工学研究科 准教授・博士(工学)
 *2 東京大学 工学系研究科 大学院生
 *3 東京大学 生産技術研究所 助教・博士(工学)
 *4 東京大学 生産技術研究所 教授・工博

Associate Professor, Faculty of Eng., Tohoku Univ., Ph.D.
 Graduate Student, Graduate School of Eng., The Univ. of Tokyo.
 Research Associate, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Ph.D.
 Professor, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Dr.Eng.