

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1 全架構耐震性能残存率 SI_{margin} の精算法

残存耐震性能評価 全架構耐震性能残存率 被災度
エネルギー消費量 特徴区間

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

1. はじめに

地震により被災した RC 造建物の安全限界までの余裕度の減少割合を評価する方法は様々な形式で提案されているが、その多くは柱や壁などの鉛直部材のみの損傷を考慮したものであり、現在の構造設計の主流である梁降伏型 RC 造建物に適用することが難しい。そこで本研究では、梁降伏型 RC 造架構を対象とし、震災による架構の残存耐震性能の評価手法について検討する。本報(その1)では架構のエネルギー吸収能力に基づいた全架構耐震性能残存率 SI_{margin} (精算法) による残存耐震性能の評価手法(図1)を提案する。

2. 全架構残存耐震性能の評価手法

(1) 全架構耐震性能残存率 SI_{margin} の精算法

仮想仕事の原理から地震動による外力仕事が内力仕事である架構のエネルギー吸収量と釣り合うものとする、架構のエネルギー吸収量の大小に基づき耐震安全性が評価される。既往の研究に倣い^[1]、架構の水平耐力が最大水平耐力の80%に低下した時を架構の安全限界と定め、単調荷重による架構の安全限界までのエネルギー吸収能力に対して、最大応答変形直後の除荷時までの架構のエネルギー消費量を除いた残存エネルギー吸収能力を比率で表し、全架構耐震性能残存率 SI_{margin} とする(式(1))。ここで、 $\sum E_{d,i}$: 最大応答変形後の除荷時変位までの部材 i のエネルギー消費量の総和、 $\sum E_{u,i}$: 架構の水平耐力が最大耐力の80%低下時まで部材 i が吸収したエネルギー量の総和である。本研究では繰り返し載荷時の荷重-変形関係に対して、その包絡線から求めたエネルギー消費量およびエネルギー吸収能力に基づき全架構耐震性能残存率 SI_{margin} を算出することとする。

$$SI_{margin} = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n E_{d,i}}{\sum_{i=1}^n E_{u,i}} \right) \times 100 (\%) \quad (1)$$

(2) 被災度を表す特徴区間の定義

本研究では、見た目の損傷ではなく工学量に基づき被災度を評価すべく、架構の骨格曲線に見られる特徴区間を被災度の進展を表す特徴区間として以下のように定義する。即ち、架構の骨格曲線においてひび割れ点を超えた部材の発生から降伏点を越える部材の発生までを A 区間、降伏ヒンジが架構内の各所に進展しメカニズムに至るまでを B 区間、架構の保有水平耐力を維持する C 区間、水平耐力が最大耐力の80%に低下するまでを D 区間、それ以降を E 区間とする(図2)。ここで、A~E 区間は従来の被災度区分における軽微~倒壊をそれぞれ想定している。

3. 実験結果への適用

(1) 実験結果概要

梁降伏型 RC 造架構である 1 層 2 スパンの RC 造 1/2 スケ

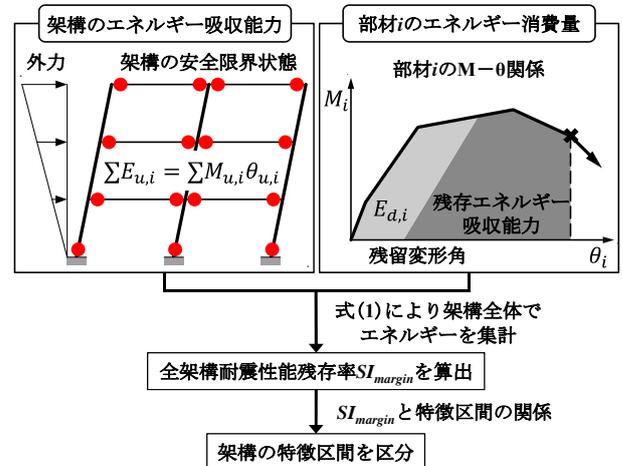


図1 全架構残存耐震性能の評価手法の概念

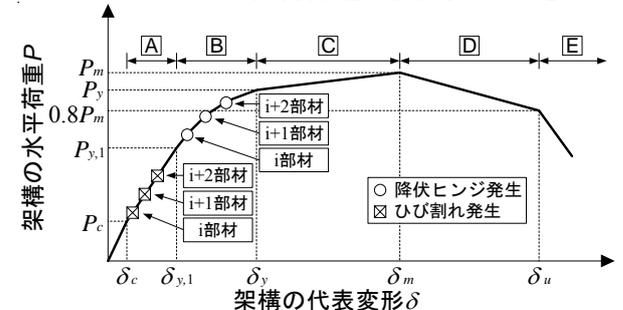


図2 架構の特徴区間の概念

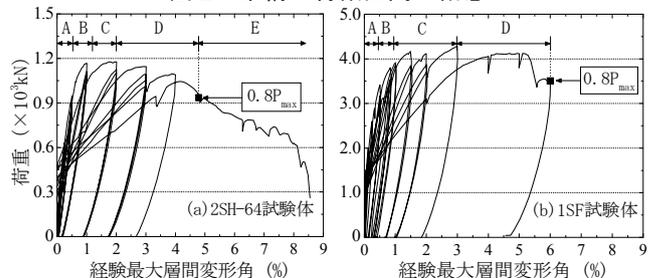


図3 荷重-変形関係

ール平面試験体(中央柱のせん断補強筋比 p_w が 0.64% の試験体で、以下: 2SH-64 試験体)^[2]、および、1 層 1x1 スパンの RC 造実大立体試験体(以下: 1SF 試験体)^[3]の荷重-変形関係を図3に示す。図2に基づき各試験体の骨格曲線に現れる A~E 区間を定めると、2SH-64 試験体では、B 区間と C 区間の区間変形量はほぼ等間隔であるが、1SF 試験体では、B 区間より C 区間の区間変形量が大きくなっている。

各試験体の損傷量測定終了時の損傷状況を図4に示す。2SH-64 試験体は腰壁の貫通破壊により中央柱が短柱化せず柱脚部かぶりコンクリートの圧壊を伴う曲げ破壊に近い挙動となった。1SF 試験体は全て曲げ部材であるが、梁上面の計測における実験作業員の安全性を考慮して損傷量計測を経験最大層間変形角 2% で中断した。

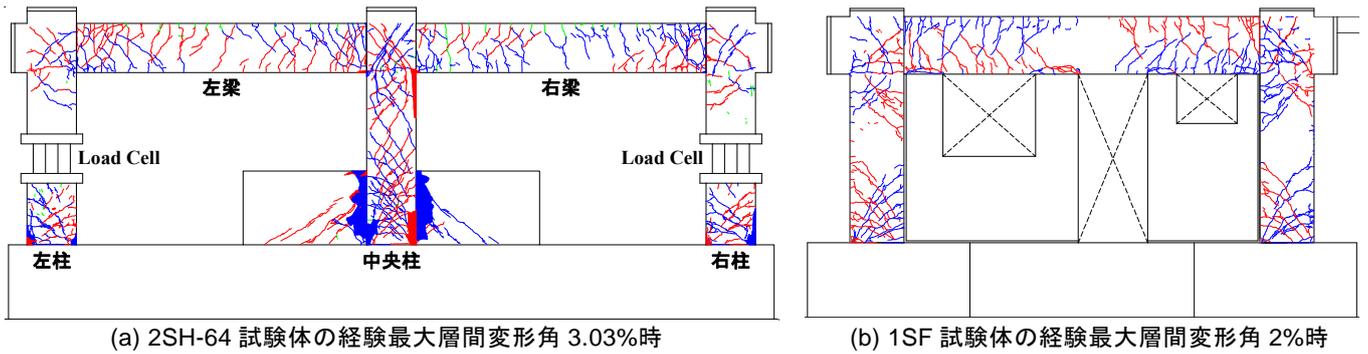


図4 損傷量測定終了時の損傷状況

(2) SI_{margin} と被災度（特徴区間）との関係

式(1)に基づき全架構耐震性能残存率 SI_{margin} を求め、被災度を表す特徴区間との関係を図5に示す。あわせて、梁降伏型架構に対し梁の損傷度分類は柱の損傷度定義を用いて、略算法に基づき算出した耐震性能残存率 $R^{[4]}$ を被災度と共に図5に併記する。従来の略算法による耐震性能残存率 R に基づく被災度区分判定は、梁降伏型架構の残存エネルギー吸収能力に対して被災度を過大評価することが分かる。

また、全架構耐震性能残存率 SI_{margin} と耐震性能残存率 R を対象に、両試験体の被災度を定量的に表す特徴区間A~Dの閾値を算出すると表1のようになる。表1より、大きくばらついている耐震性能残存率 R と比べ、全架構耐震性能残存率 SI_{margin} は比較的閾値が近接していることがわかる。そこで、限られたデータではあるが、対象とした2試験体では耐震性能残存率 R よりも全架構耐震性能残存率 SI_{margin} を用いたほうが被災度をより適切に評価できており、全架構耐震性能残存率 SI_{margin} は梁崩壊型試験体により適した指標であると考えられる。

(3) SI_{margin} に対する繰り返し载荷の影響

本研究では、全架構耐震性能残存率 SI_{margin} を単調载荷時の履歴エネルギーから算出することを原則としているが、繰り返し载荷が全架構耐震性能残存率 SI_{margin} に及ぼす影響を検討するため、繰り返し载荷による全履歴エネルギー消費量を用い算出した全架構耐震性能残存率 ${}_cSI_{margin}$ とし、荷重-変形関係の包絡線から求めた履歴エネルギー消費量に基づき算出した全架構耐震性能残存率 SI_{margin} との比較を以下に示す。ただし、载荷計画において繰り返し载荷を経験せずにD区間の限界（安全限界）に達した1SF試験体は対象とせず、2SH-64試験体における SI_{margin} と ${}_cSI_{margin}$ の比較結果を図6に示す。図6より、2SH-64試験体の繰り返し载荷による全履歴エネルギー消費量から求めた全架構耐震性能残存率 ${}_cSI_{margin}$ と荷重-変形関係の包絡線から求めた履歴エネルギー消費量から算出した全架構耐震性能残存率 SI_{margin} は概ね一致しており、繰り返し载荷が架構の残存耐震性能を表す全架構耐震性能残存率 SI_{margin} に与える影響が小さいと考えられる。

4. まとめ

本報（その1）では、梁降伏型RC造架構を対象とする全

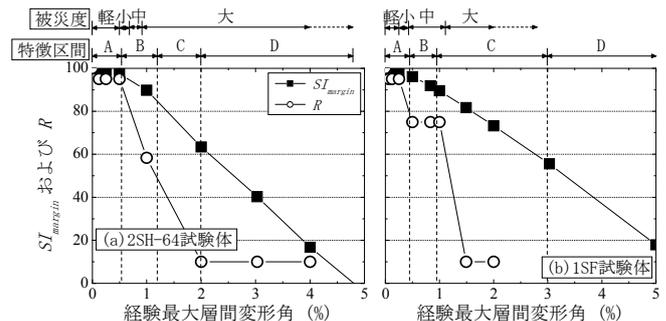


図5 全架構耐震性能残存率 SI_{margin} と耐震性能残存率 R

表1 架構の特徴区間で区分される SI_{margin} と R の閾値

試験体名	特徴区間の区分					
	A-B 区間閾値		B-C 区間閾値		C-D 区間閾値	
	SI_{margin}	R	SI_{margin}	R	SI_{margin}	R
2SH-64 試験体	96%	95%	84%	48%	63%	10%
1SF 試験体	96%	80%	90%	75%	55%	—

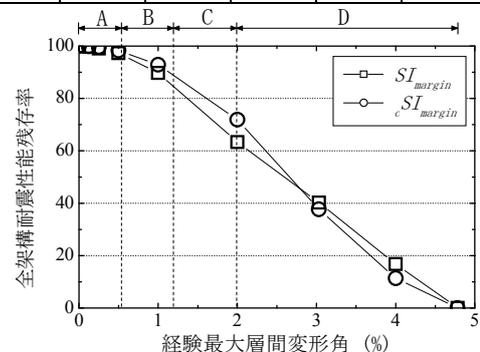


図6 2SH-64試験体の SI_{margin} と ${}_cSI_{margin}$

架構残存耐震性能の評価手法の提案を目的として、架構のエネルギー吸収量に基づいた全架構耐震性能残存率 SI_{margin} の算定法（精算法）および被災度（特徴区間）を提案した。また、梁降伏型RC造架構である2SH-64試験体および1SF試験体の実験結果を用い、精算法に基づき全架構耐震性能残存率 SI_{margin} を算出するとともに、被災度（特徴区間）を区分する SI_{margin} の閾値を定めた。

【参考文献】 [1] 権淳日ほか：RC造架構の耐震安全性と耐震修復性の相関モデルの提案 その1～その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.655-656, 2012.9 [2] 東京大学生産技術研究所ほか：耐震診断法の高度化に関する検討報告書, 2011.3 [3] 建築研究所：災害後の建築物の機能維持・早期回復を目指した構造性能評価システムの開発成果報告書, 2011.1 [4] 権淳日ほか：地震により被災した梁降伏型RC造架構の耐震安全性の評価手法に関する研究, 日本地震工学会大会-2012 梗概集, pp.234-235, 2012.11

*1 東京大学 工学系研究科 大学院生
 *2 東北大学 工学研究科 准教授・博士(工学)
 *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

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