

社会基盤 RC 建造物の耐震性能としての復旧性照査システムの構築

プロジェクト代表者：牧 剛史（理工学研究科・准教授）

1 研究の背景と目的

近年の大地震における社会基盤建造物の被害を受けて、耐震設計手法が改定され、建造物に要求される耐震性能として、安全性・使用性に加え、地震後早期に復旧できる性能、すなわち復旧性が付与されるようになった。しかし、現行の耐震性能照査手法においては、復旧性の直接的な照査は行われておらず、地震による損傷をある程度以内にとどめることを以て、間接的に復旧性の照査としているのが現状である。復旧性を表す指標として、復旧に要する費用と時間が考えられるが、現状の間接的照査では、復旧コストの算定は過去の経験に基づいてのみ行われており、これを陽な形で照査に取り込むことが喫緊の課題となっている。以上の背景を踏まえ、本研究では社会基盤 RC 建造物の復旧性を定量的に照査する手法の確立を目的として、(1) 修復工積算に直接用いる工学指標（ひび割れ等）の推定手法の確立、(2) 被害調査に基づく被災建造物の修復性簡易判定手法の確立、(3) 地震時損傷の修復履歴を有する建造物の性能評価手法の確立、(4) (1)~(3)を組み込んだ数値計算に基づく RC 建造物の復旧性照査システムの構築、を目的として研究を行った。なお、一般に地震後の復旧作業の難易は、必ずしも建造物の損傷程度のみでは決まらず、例えば復旧に用いる資材やその運搬経路の確保など、ソフト面の要因も大きく影響を及ぼす。したがって、本研究では主に建造物の損傷程度に基づく修復の容易さに着目し、これを修復性と定義して研究を行う。

2 RC 建造物の工学損傷指標の開発

RC 建造物の地震時損傷状態は、一般に鉄筋の経験ひずみレベル・座屈状態とコンクリートのひび割れ・剥落によって判断される。これを定量的に把握することを目的として、RC 柱試験体の正負交番載荷実験を行った。試験体諸元を表-1 に示す。A シリーズはせん断破壊型（せん断—曲げ耐力比 0.5~1.4）、B シリーズは曲げ破壊型（せん断—曲げ耐力比 1.7~2.2）とし、各変位振幅において試験体に生じるひび割れ幅とひび割れ延長をデジタルマイクロスコープとスキャナによる画像取得によって測定した。

各試験体から得られたひび割れ空隙容積と経験最大変位の関係を図-1 に示す。これより、せん断耐力と曲げ耐力の比が 1.4~1.7 を境として、ひび割れ空隙容積の増加傾向が大きく変化すること、曲げ破壊型試験体に限れば、帯鉄筋を密に配筋したものほど、その増加を緩和できることが明らかとなった。すなわち、これを定量評価することにより、ひび割れへの樹脂注入作業を定量化できるものと考えられる。

表-1 試験体諸元

No.	コンクリート		軸方向鉄筋			せん断補強鉄筋			せん断スパン比 a / d
	圧縮強度	引張強度	配筋	降伏強度	ヤング率	配筋	降伏強度	ヤング率	
	fc' MPa	ft' MPa	No.-Diam.	fsy MPa	Es GPa	(Diam.-Spacing)	fwy MPa	Es GPa	
A-1	52.1	3.2*	20-Φ16	394.5	185.4	Φ10@125	397.6	188.8	2.88
A-2	52.7	3.2*	20-Φ16	394.5	185.4	Φ10@62.5	397.6	188.8	2.88
A-3	54.7	3.3*	12-Φ22	1177***	200***	Φ10@125	397.6	188.8	2.92
B-1	47.4	3.1**	12-Φ16	404.4	182.4	Φ10@100	349.5	179.0	4.00
B-2	53.7	2.8**	12-Φ16	404.4	182.4	Φ10@100	349.5	179.0	4.00
B-3	47.4	3.1**	12-Φ16	404.4	182.4	Φ10@80	349.5	179.0	4.00
B-4	52.2	3.3**	12-Φ16	404.4	182.4	Φ10@100	349.5	179.0	4.00
B-5	53.8	3.5**	12-Φ16	404.4	182.4	Φ10@100	349.5	179.0	3.00

注) *圧縮強度からの計算値(土木学会示方書) **割裂引張強度の実測結果 ***ネジボン(異形PC鋼棒C種1号)の公称諸元(製造元:ネツレン)
a: せん断スパン d: 有効断面高さ

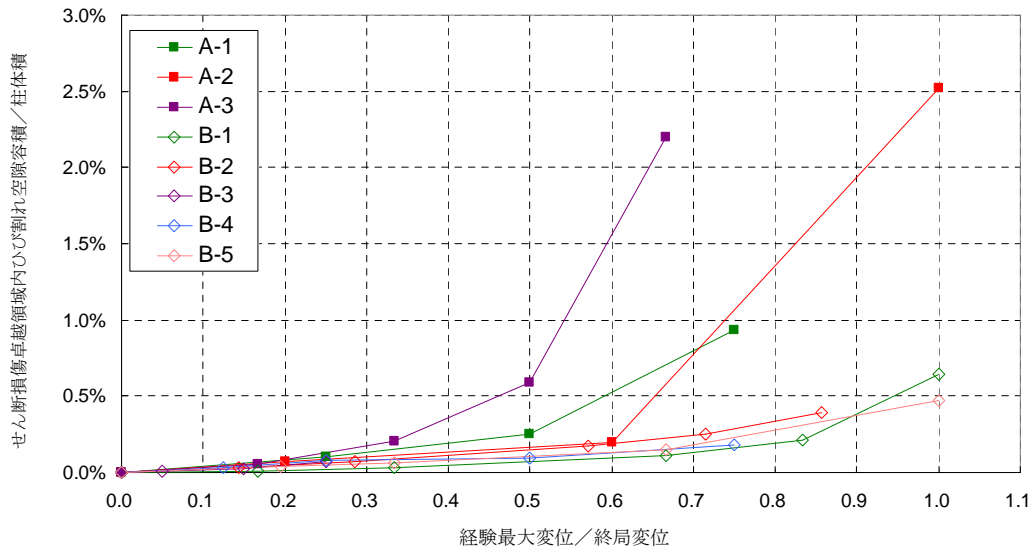


図-1 ひび割れ空隙容積と経験最大変位の関係

3 解析的検討

構造物の設計段階で地震時の損傷状態を予測し、かつその修復作業を定量評価するために、ここでは非線形有限要素解析（以下、非線形 FEM）を適用することを検討した。非線形 FEM で得られるひずみの空間分布は、構成材料の損傷状態を直接的に反映するものであり、これを損傷指標と関連付けることにより、修復性評価が合理的に可能となると考えられる。ただし、非線形 FEM で得られるひずみの局所性を排除するため、ここでは体積ひずみを空間平均化した平均化体積ひずみによる定量化を試みた。算定結果を図-2 に示す。せん断一曲げ耐力比が極端に低い A-2 試験体を除き、ひび割れ空隙容積と平均化体積ひずみの間に一定の関係があることが分かる。よって、配筋状態を忠実に反映させた非線形 FEM によって、地震時のひび割れ空隙容積を定量的に評価できる可能性が示されたと言える。

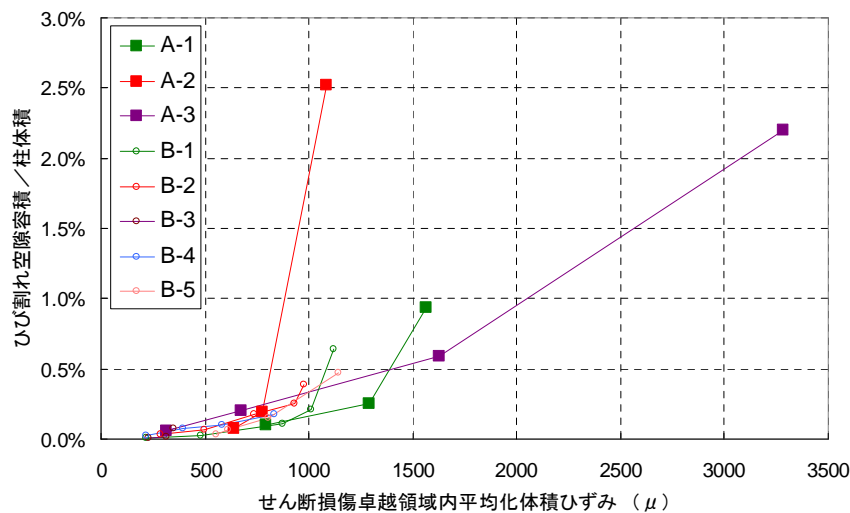


図-2 ひび割れ空隙容積と平均化体積ひずみの関係

4 まとめ

非線形 FEM の適用により、RC 構造物に生じる地震時損傷（ひび割れ空隙容積）を定量的に評価できる可能性が示された。今後は、ひび割れが修復された構造物の力学性能を評価することによって、本研究が目的とする復旧性照査システムが確立できるものと考えられる。