

損傷スペクトルを用いた RC 構造物の損傷確率の評価

(その 3) 不確実性の要因の検討

Evaluation of Damage Probability for RC Structures by Damage Spectrum

(Part 3) Sources of Uncertainty

○渡部俊宗², 佐藤亮介¹, 仲俊亮², 田嶋和樹³, 白井伸明³

*Toshimune Watanabe², Ryosuke Sato¹, Shunsuke Naka², Kazuki Tajima³, Nobuaki Shirai³

Abstract: As is seen from the companion paper (Part 2), the damage spectrum method did not take the effect of uncertainty/variability on damage indices into account. Sources of uncertainty may be as follows: (1) the strength reduction factor and the overstrength factor are fixed to be a definite value and (2) Uncertainty in the seismic ground motions is not included. Since this study is dealing with a group of RC buildings situated nearby the seismographic stations, the effect of the second item may be very small. Thus, focusing on the uncertainty of the item (1), it may be possible to introduce the probabilistic approach into the damage spectrum by including variability in those parameters.

1. はじめに

前報(その 2)では, 個別建物の損傷評価例として, 多層 RC 造骨組の試験体を対象とし, HAZUS と損傷スペクトルの両手法を用いた損傷評価を試みた. その結果, HAZUS 手法の場合, 損傷状態が損傷確率として表現されるのに対し, 損傷スペクトルでは損傷指標値が確定値として算出されるという点に大きな違いが見られた. 本報では, 両手法における損傷評価の比較を通じて, 損傷スペクトルに不確実性を考慮した確率論的損傷評価へのアプローチを試みる.

2. 両手法における損傷評価の比較

前報において算出された損傷評価結果を整理すると, 損傷スペクトルの場合, 損傷指標値 $DI_2=1.1$ となり崩壊を表す確定値として評価された. 一方, HAZUS の場合, 損傷状態に大きなばらつきを有して評価された (Fig.1). HAZUS では, 対数標準偏差を用いて損傷確率評価を行うため, このような不確実性を反映させた評価が可能となる. 不確実性の要因については, 前報(その 1)で述べたが, HAZUS ではその要因の一つである ⑤建物の耐力のばらつきをキャパシティ曲線において考慮しており, 建物の耐力は, 設計での冗長性, 耐震設計規定条件の安全主義, 真の材料強度を考慮した建物の真の水平強度を包含するとしている. 一方, 損傷スペクトルでは, 余剰強度係数において上記の影響を考慮している点は同様であるが, 余剰強度係数を定数として仮定している点に大きな違いがある. 建物群としての耐力を考慮する場合, 定数として余剰強度係数を設定するのではなく, 建物群が有する変動性を考慮した評価の方が望ましい. また, 損傷スペクトルでは,

建物耐力を決定する上で, 強度低減係数も重要なパラメータである. これに関しても, 定数を仮定しているため, その変動性が考慮されていないのが現状である.

また, 不確実性の要因としては, 地震動の不確実性も重要である. ただし, 現状の損傷スペクトルでは, 地震観測点近傍建物群に対する損傷評価を目的としているため, 地震観測波が得られれば, 地震動による不確実性の影響は比較的小さいと考えられる. したがって, 損傷スペクトルにおいて不確実性を考慮するためには, ①強度低減係数および余剰強度係数の不確実性, ②地震動の不確実性を考慮することが重要であるが, 特に, 比較的影響度が大きいと考えられる①に着目した検討が必要であると考えられる.

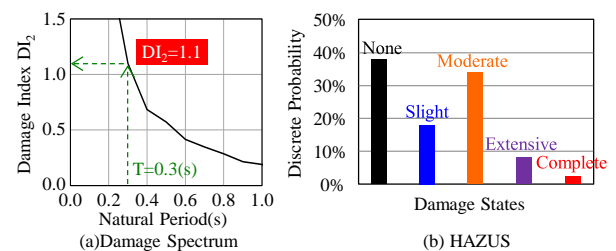


Fig.1 Damage Evaluation Results

3. パラメータの変動性評価

3. 1 強度低減係数

Fig.2(a)にエネルギー則に基づく強度低減係数 (構造特性係数 D_s の逆数), Fig.2(b)に石山ら^[1]の手法による強度低減係数を示す. エネルギー則では, 塑性率に基づき, 強度低減係数が大きく変動する. 一方, 石山らの提案では, 固有周期ごとの強度低減係数が示されており, 前者と同様, 塑性率に応じて大きく変動することが確認できる. 本研究では, 地盤の影響や終局時の

1 : 日大理工・学部・建築 2 : 日大理工・院 (前)・建築 3 : 日大理工・教員・建築

塑性率の影響を考慮できることから、石山らの手法を採用している。終局時の塑性率は、建物の破壊形式によって変化させており、脆性破壊型は $\mu=6$ 、靱性破壊型は $\mu=12$ を同定している。これより、建物周期と破壊形式を意識した強度低減係数を採用していると言えるが、実際の建物に見られる複雑な破壊形式を想定するならば、終局時の塑性率を変動させることにより損傷確率の評価が可能となり得ると考えられる。

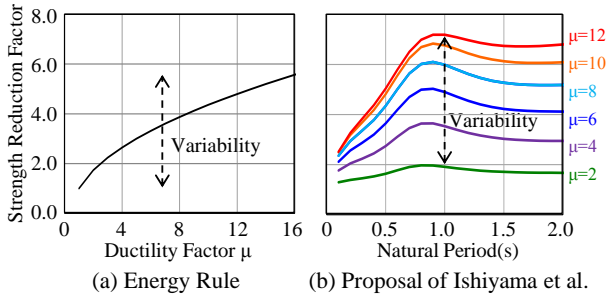


Fig.2 Variations in the Strength Reduction Factor

3. 2 余剰強度係数

Table.1 に余剰強度係数のばらつきを示す。表中の建物名は既往の研究^[2]において調査した東日本大震災において被害を受けた被災建物である。余剰強度係数は、建物の被害状況と損傷指標値 DI_2 の被災区分とが対応するようにパラメトリック解析から導いた値である。また、近年では、余剰強度係数に関していくつかの値が提案されており、例えばカナダの基準においては $\Omega=1.67$ が導入され^[3]、米国基準に対しては $1.8\sim 6.5$ 、Eurocode8 に対しては $2.0\sim 4.6$ が対応するとしている文献^[4]もある。各国における基準においても、そのばらつきの幅が大きいことがわかるように、建物耐力においても余剰強度係数を変動させることによって損傷状態を損傷確率で表現できる可能性がある。

Fig.3 に余剰強度係数 Ω をパラメータとした損傷スペクトルを示す。前報（その 2）においては、余剰強度係数が $\Omega=1.67$ となり、小さい値となったが、これは対象構造物が 1 構面のみ単純なフレーム構造となっているためである。実建物においては、腰壁や袖壁などの非構造壁が取り付くケースも多く、この影響により余剰強度係数が一般的に大きくなる。本研究では、損傷スペクトルを作成する際に、Table.1 に示した各建物の余剰強度係数の平均値である $\Omega=4.5$ を採用している。したがって、建物群に対して損傷評価を行う際は、建物群が有する余剰強度係数のばらつきを評価することができれば、Fig.3 に示したような損傷確率評価を損傷スペクトルにおいても行うことができる可能性がある。しかし、余剰強度係数に関する研究事例は少なく、今後の課題として取り組む必要がある。

Table.1 Variations in the Overstrength Factor

Building Name	Overstrength factor [Ω]						
	1 ←	2	3	4	5	6	7 →
Building J (Moderate)		3.5	○	3.8			
		3.3	○	3.7			
Building K (Moderate)			4.5	○	5.0		
			4.6	○	4.9		
Building L (Minor)			4.0	○	4.8		
			4.0	○	4.6		
Building M (slight)				4.8	○	5.7	
				4.7	○	6.0	
Criteria for Countries							
United States			1.8				6.5
Europe			2.0		4.6		
Canada			1.67				

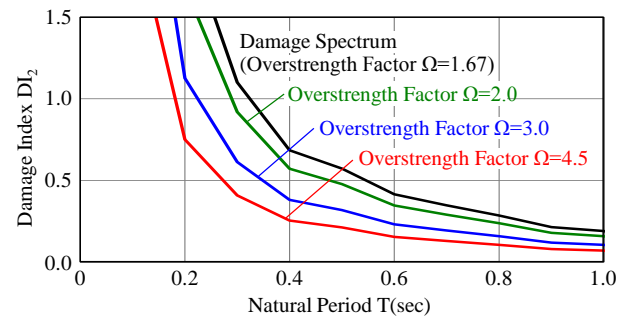


Fig.3 Effect of Overstrength Factor on Damage Spectrum

4. まとめ

本報では、不確実性を反映させた損傷評価の実現を目的とし、HAZUS ならびに損傷スペクトルを用いた損傷評価の比較を通じて、建物耐力の変動性に影響を与える要因に焦点を当てた検討を行った。損傷スペクトルの作成に必要なパラメータである強度低減係数や余剰強度係数に変動性を考慮した評価を行うことで、確率論的損傷評価への展開が可能だと考えられる。

5. 参考文献

- [1] Philip De Guzman, Mitsumasa Midorikawa, Tetsuhiro Asari, Yuji Ishiyama: Evaluation of Seismic Design Strength Reduction Factor Considering Cumulative Damage and Site Conditions, 日本建築学会構造系論文誌, No.607, 2006.9, pp.73-80
- [2] 渡部俊宗ほか：実被害状況に基づく損傷スペクトルを用いた既存 RC 建物の耐震性能評価法（その 1~4）, 日本建築学会学術講演梗概集, 2012, 2013
- [3] CCBFC (Canadian Commission on Building and Fire Code), National Building Code of Canada 1995, National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario, 1995.8
- [4] A.S.Elnashai and A.M.Mwafy: Overstrength and Force Reduction Factors of Multistorey Reinforced-Concrete Buildings, The Structural Design of Tall Buildings, Struct. Design Tall Build. 11, 2002.12, pp.329-351

【謝辞】本研究の一部は科学研究費補助金(基盤研究(C) 代表者:白井伸明)の助成を受けて行われたものである。