

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 2) HAZUS および損傷スペクトルを用いた個別建物に対する損傷評価

Evaluation of Damage Probability for RC Structures by Damage Spectrum  
 (Part 2) Damage Evaluation using HAZUS and Damage Spectrum to the Specific Building

○仲俊亮<sup>2</sup>, 佐藤亮介<sup>1</sup>, 渡部俊宗<sup>2</sup>, 田嶋和樹<sup>3</sup>, 白井伸明<sup>3</sup>

\*Shunsuke Naka<sup>2</sup>, Ryosuke Sato<sup>1</sup>, Toshimune Watanabe<sup>2</sup>, Kazuki Tajima<sup>3</sup>, Nobuaki Shirai<sup>3</sup>

Abstract: In this paper, first both the HAZUS and damage spectrum methods were applied to the specific building, and the calculated damages were compared. Since the damage spectrum method is a deterministic approach, a single damage index is calculated for a set of parameters. For HAZUS method, on the other hand, although the capacity curve and the demand spectrum are obtained by the deterministic approach, a degree of damage shall be expressed as a random variable to take variability in the damage state into account.

1. はじめに

本報では、損傷状態のばらつきに影響を及ぼす不確実性の要因を限定的にするため、個別建物を対象として HAZUS ならびに損傷スペクトルの両手法における損傷評価結果を検証し、両手法について比較、検討を行う。

2. 対象構造物の概要

対象構造物は、Ghannoum ら<sup>[1]</sup>によって行われた振動台実験の RC 造多層骨組である。対象構造物の概要を Fig.1 に示す。入力地震動は 1985 年 Chile 地震波の振幅を 4.06 倍拡幅したものが使用された(Fig.2)。実験終了後は、B1 柱のコンクリートが粉砕し、座屈した主筋が確認できる損傷を被った(Pic.1)。なお、既往の研究<sup>[2]</sup>において本実験を対象としたファイバー法に基づく解析モデルを構築しており、骨組に対する適応性を確認

している。試験体の被災度は、被災度の定義<sup>[3]</sup>より大破もしくは崩壊に近い状態であると判断できる。これより、各手法による損傷評価を行い、その妥当性について確認する。

3. 各手法による損傷評価

3. 1 HAZUS の場合

HAZUS マニュアル<sup>[4]</sup>より、 fragility 曲線は低層 RC 造骨組(C1L)、耐震設計水準は中水準(Moderate)を使用する。デマンドスペクトルは前報に示した手順に従い作成し、キャパシティ曲線は前述の解析モデルによるプッシュオーバー解析より求めた。なお、本検討では、振動台実験の骨組を対象としているため、地震動の変動性は比較的小さいと考えられる。

Fig.3 にキャパシティ曲線、Fig.4 に応答点の算出、Fig.5 に応答変位における損傷確率を示す。骨組の損傷状態はばらつきをもって評価されるが、中破以下の確率が 90% となっており、試験体の損傷状態と比較すると損傷を過小評価していると考えられる。HAZUS では耐震設計水準、建物高さ、構造種別ごとにモデル建物が存在し、損傷状態のしきい値が層間変形角に基づいて定められている。個別建物とモデル建物の相違が過小評価の要因の 1 つとして考えられるが、その他に建物の破壊形式、特に脆性的な破壊に対する考慮が十分でない可能性がある。

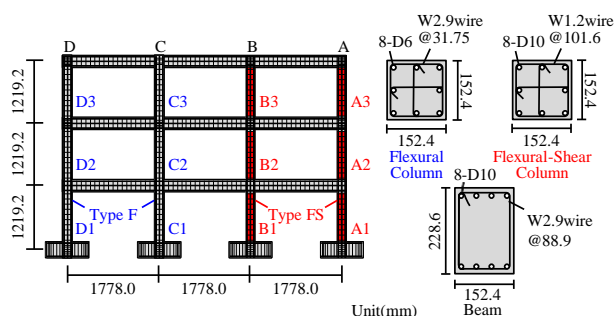


Fig.1 Geometry and Details of Specimen

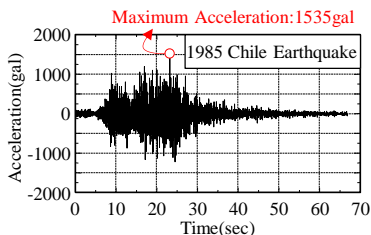


Fig.2 Acceleration Record



Pic.1 Damage State

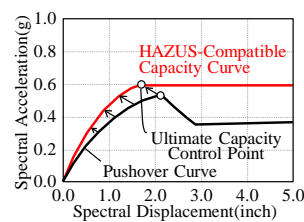


Fig.3 Capacity Curve

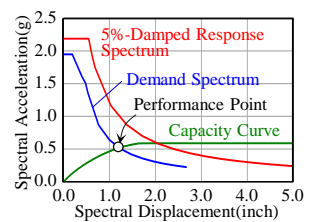


Fig.4 Performance Point

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

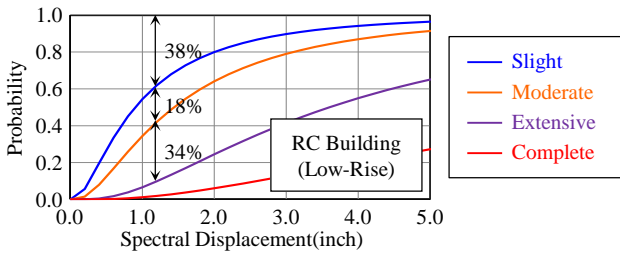


Fig.5 The Damage Probability in Response Displacement

### 3. 2 損傷スペクトルの場合

損傷スペクトルの作成においては、試験体が米国基準で設計されているため、適用する設計用加速度応答スペクトルとして UBC-97(Fig.6)を用いた。なお、降伏強度スペクトルは、Bertero らと同様に、強度低減係数  $R=3.4$  を用いて算出した。作成した損傷スペクトルを Fig.7 に示す。試験体の被災度は、損傷指標値で表すと  $DI_2=0.4\sim 1.0$  に対応するが、試験体の固有周期 0.3(s)における損傷指標  $DI_2$  の算出結果は 3.25 となり、1.0 を大きく上回る結果となった。

算出した損傷指標値が被害状況を過大評価する原因として、余剰強度の影響が考えられる。余剰強度は、設計段階で設定する材料強度と実強度の違いや非構造部材の影響などが要因として考えられるが、非構造部材の影響が大きいという結論が導かれている<sup>[5]</sup>。Fig.8(a)に試験体の動の実験結果を示す。0.3(s)の周期における降伏強度を Fig.6 の降伏強度スペクトルより算出した結果、79.9(kN)となった。この降伏強度は、設計における最低基準の強度であるため、これに基づいて余剰強度係数  $\Omega$  を算出すると  $\Omega=1.67$  となった。この余剰強度を考慮して損傷指標値を改めて算出した結果、 $DI_2=2.25$  となった。余剰強度を考慮しない場合よりも  $DI_2$  値が小さくなったが、未だ被害状況を過大評価している状態である。

被害状況を過大評価した 2 つ目の原因として、履歴エネルギー吸収能力  $E_H$  を過大評価している点が挙げられる。Fig.8(b)にファイバー法に基づく試験体の各層の層せん断力-層間変形角関係の解析結果を示す。これより、各層のエネルギー吸収量を計算すると、その合計値は  $E_H=4370.4(kN \cdot cm)$  となった。一方、損傷スペクトルにおける算出値は  $E_H=9353.0(kN \cdot cm)$  であり、実情を大きく上回る結果となった。試験体は最終的に脆性的な破壊形式を示す構造物であるため、崩壊に至るまでのエネルギー吸収能力は高くない。しかし、現状では損傷スペクトルに Bi-Linear 型の復元力特性を使用しているため、エネルギー吸収量を過大評価する結果になったと考えられる。なお、解析結果により得ら

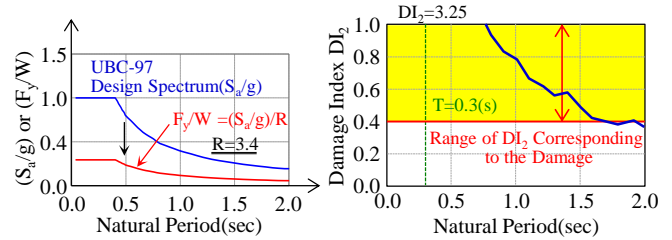


Fig.6 Design Response Spectrum Fig.7 Damage Spectrum

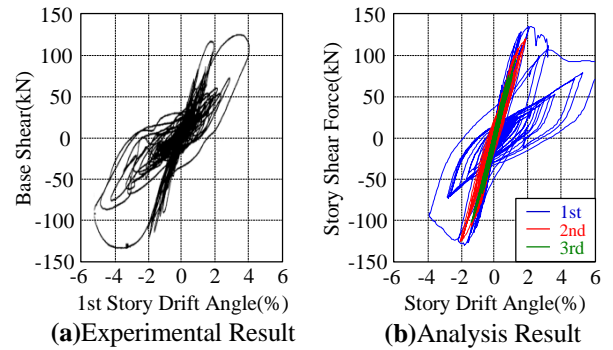


Fig.8 Base Shear-/Story Shear Force-Story Drift Angle Relationship

れたエネルギー吸収量を用いて損傷指標値を再度算出したところ、 $DI_2=1.10$  となり、実験結果の損傷状態と概ね良好な対応を示す結果となった。

### 4. まとめ

個別建物を対象として、HAZUS 手法および損傷スペクトルによる損傷評価を行った。HAZUS 手法では、損傷状態を過小評価したが、その要因としてモデル建物と個別建物の相違や破壊形式に対する考慮不足が考えられる。一方、損傷スペクトルでは余剰強度およびエネルギー吸収量を適切に設定することにより概ね良好な結果が得られた。

### 5. 参考文献

- [1] Ghannoum. W : Experimental and Analytical Dynamic Collapse Study of a Reinforced Concrete Frame with Light Transverse Reinforcements, PhD Dissertation, University of California, Berkeley, 2007
  - [2] 河井慎太郎ほか：靱性部材と脆性部材が混在した RC 造骨組の耐震性能(その 1, その 2), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.167-170, 2012
  - [3] 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
  - [4] Federal Emergency Management Agency (FEMA); HAZUS-MH MR5 Multi-hazard Loss Estimation Methodology Technical Manual Earthquake Model
  - [5] 渡部俊宗, 西尾淳, 田嶋和樹, 白井伸明：実被害状況に基づく損傷スペクトルを用いた既存 RC 造建物の耐震性能評価法(その 1, その 2), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.171-174, 2012
- 【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。