連続的に作用する大地震に伴う RC 造建物の損傷過程および残存耐震性能の評価 (その1)熊本地震における損傷スペクトル

Evaluation of Damage Process and Residual Seismic Performance of RC Buildings Caused by Successive Earthquakes (Part 1) Damage Spectrums on the 2016 Kumamoto Earthquake

○蓮池類¹, 市川大真¹, 田嶋和樹², 長沼一洋²

*Rui Hasuike¹, Motochika Ichikawa¹, Kazuki Tajima², Kazuhiro Naganuma²

Abstract: The objective of this series of study is to grasp the damage process and the residual seismic performance in successive earthquakes by the damage spectrum. Therefore, we organized the parameters of the current damage spectrum and created the damage spectrum for successive earthquakes. As a result, it is found that the period characteristic of seismic wave affects the degree of damage to buildings.

1. はじめに

2016年4月に発生した熊本地震では、益城町におい て震度7を2度記録するなど、連続的に大地震が作用 した。現行の耐震設計法においては、このような連続 的に作用する大地震の影響を考慮していないため、そ れらが建物の耐震性能に及ぼす影響を損傷過程および 残余耐震性能の観点から評価することが重要である。

既往の研究において, 西尾ら¹は, 東北地方太平洋 沖地震の際に課題となった余震の影響を損傷スペクト ルに基づいて考察しており, 余震による鉄筋コンクリ ート(以下, RC)造建物の損傷の進展過程を定量的に 評価している。本研究では, 西尾らの手法を熊本地震 に適用し, 熊本地震における損傷スペクトルの作成を 通じて, 熊本地震において課題となった連続的に作用 した大地震が RC 造建物の損傷過程および残余耐震性 能に及ぼす影響について考察する。

2. 熊本地震における損傷スペクトル

2-1. 損傷スペクトルの概要

損傷スペクトルとは、対象とする建物を1自由度1 質点系(以下,SDOF)モデルにモデル化して求めた弾 性1次固有周期T(sec)と損傷指標 DI(Damage Index) の関係をグラフ化したものである.損傷指標とは、無 損傷(弾性内)の場合を0とし、構造物が崩壊する可 能性のある場合を1として定量的に構造物の損傷状態 を表す指標である。西尾らは、Bertero and Bozorgnia²⁾ によって提案された DI₂式に基づいて、損傷スペクト ルを作成している。以下に、DI₂式を示す。

 $DI_2 = [(1-\alpha_2) (\mu-\mu_e) / (\mu_{mon}-1)] + \alpha_2 (E_H / E_{Hmon})^{1/2}$ (1) ここで, μ :変位塑性率, μ_e :降伏時変形に対する最大 弾性変形の比, μ_{mon} :単調水平載荷時の終局塑性率, E_H :履歴エネルギー吸収能力, E_{Hmon} :単調水平載荷時 の履歴エネルギー吸収能力, α_2 :定数である.式(1)に 基づいて評価された損傷指標 DI_2 は, Park 6³の損傷力 テゴリー(Table 1)を参照することにより,具体的な 損傷状態を評価する。また,損傷スペクトルの作成手 法は Fig.1 に示す通りである.

2-2. 損傷スペクトルにおけるパラメータの設定

損傷スペクトルの作成において,設定する必要があるパラメータは、①設計用加速度応答スペクトル、② 強度低減係数、③復元力特性、④単調水平載荷時の終 局塑性率 μ_{mon} 、⑤定数 α_2 である。本研究では、以降に 示す通り、西尾ら¹⁾の研究に基づいてこれらのパラメ ータを設定する。

設計用加速度応答スペクトルは,設計上の想定地震 動に対して設定される弾性応答スペクトルであり,こ れにより建物の降伏強度 Fyが決定される.日本におい ては,大地震の教訓に基づいて随時法改正が行われて いるが,1981年における建築基準法施行令の改正以降 (新耐震基準)とそれ以前(旧耐震基準)において大 きく異なる。Fig.2に示す通り,新耐震基準では,弾性 応答スペクトルに対して強度低減係数 R を適用し,さ

Table 1. Proposed Damage Category by Park³⁾



Figure 1.Generating Process of Damage Spectrum

らに強度上昇係数Ωを乗じることによって最終的な設計用加速度応答スペクトルを評価する。ここで,強度 低減係数Rについては,累積損傷と地盤条件を考慮で きる Ishiyama ら⁴⁾の提案式を採用する.また,強度上 昇係数Ωは,構造設計の過程における安全率の累積や 地震動の実効入力の影響を考慮し,設計上の最低基準 である設計用加速度応答スペクトルから実建物の降伏 強度Fyを評価するために導入される。一方,旧耐震基 準では,水平震度と建物重量によって地震力が算定さ れるため,設計用加速度応答スペクトルが明確に定義 されていない。

そこで、降伏強度 F_y の評価に際しては、強度低減係 数 R と強度上昇係数 Ω を包含した補正係数 λ を導入す る. 復元力特性については、RC 造建物への適用性を考 慮して Clough モデルを採用した.また、 μ_{mon} と α_2 に関 しては、破壊形式を 2 つに大別し、せん断破壊型の場 合には $\mu_{mon} = 6$ および $\alpha_2 = 0.3$ 、曲げ破壊型の場合 $\mu_{mon} =$ 12 および $\alpha_2 = 0.4$ とした.

3. 熊本地震における建物被害状況と損傷スペクトル 3-1. 熊本地震における RC 造建物の被害の概要

熊本地震の被害調査を通じて,特に耐震補強が行われていない旧耐震建物に顕著な被害が見られた. Fig.3 に示す通り,被害事例の多くは,1 階ピロティ部の柱のせん断破壊に伴う軸崩壊が原因であり,熊本市内の集合住宅では,前震で被害を受けた後,本震において1 層崩壊したことが報告されている。

3-2. 熊本地震における損傷スペクトル

熊本市(KMM006)および益城町(KMMH16)付近 の地震波2つを用いて損傷スペクトルを作成する.なお, 地震波は,防災科学技術研究所のK-NETおよびKik-net で観測された地震動を用いた.Fig.4に両地域の損傷ス ペクトルを示す.ここでは,前震のみ,本震のみおよ び前震と本震を連続的に作用させた場合の3ケースの 損傷スペクトルを作成した。全体的な傾向として,本 震がRC造建物の損傷の原因となったことが確認でき る。また,益城町における新耐震建物の損傷スペクト ルでは,前震と本震が損傷に影響を及ぼす周期帯に差 があり,本震の方が前震よりも固有周期が長い建物に 損傷を引き起こすと考えられる。このことは,前震に よって被害を受けたRC造建物の固有周期が増大し, 本震によって損傷が進展した可能性を示しており,よ り詳細な検討が必要であると考えられる。

4. まとめ

本報(その1)では,熊本地震における記録波に基 づいて,損傷スペクトルを作成した.その結果,前震



Figure 4. Damage Spectra on Kumamoto Earthquake

による損傷によって長周期化した RC 造建物が,本震 によって損傷が進展した可能性を示した。

5. 参考文献

[1] 西尾淳,今井究,田嶋和樹,白井伸明:損傷スペクトル を用いた耐震性能評価手法の開発と検証-東日本大震災の 被害調査を通じて-,日本地震工学会論文集, Vol.12, No.4, pp.394-413, 2012.9

[2] Bozorgnia, Y. and Bertero, V. V.: Damage Spectra: Characteristics and Applications to Seismic Risk Reduction, Journal of Structural Engineering, ASCE, pp.1330-1340, 2003.10

[3] Park, Y.J. and Ang, A.H.S.: Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete, Journal of Structural Engineering 111:4, 722-739, 1985

[4] Guzman P. D., Midorikawa M., Asari T. and Ishiyama Y.

: Evaluation of Seismic Design Strength Reduction Factor Considering Cumulative Damage and Site Conditions,

日本建築学会構造系論文集, No.607, pp.73-80, 2006