

損傷スペクトルを用いた RC 建造物の簡易損傷評価

(その 1) 1 自由度系による損傷スペクトルの構築

Simplified Damage Evaluation Method of RC Buildings by Damage Spectrum

(Part 1) Outline of Creating Process of Damage Spectrum of SDOF System

田邊哲也¹, 渡部俊宗¹, 秋山洋輔², 西尾淳², 〇今井究³, 田嶋和樹⁴, 白井伸明⁴

Tetsuya Tanabe¹, Toshimune Watanabe¹, Yousuke Akiyama², Atsushi Nishio², Kiwamu Imai³, Kazuki Tajima⁴, Nobuaki Shirai⁴

Abstract: The current damage evaluation method is based on the damage degree of components related to residual crack widths and gives damage degree for each story or overall structure. However, this method has such difficulties as measurement of residual cracks and lack of information on energy absorption under cyclic loading. For this reason, it seems useful to adopt the damage spectrum proposed by Bertero et al. In this study, validity of the method was verified by comparing calculated damage spectra with observed damages of the existing buildings. In Part 1, the concept of damage spectrum is introduced and demonstrates how to create damage spectrum.

1. はじめに

損傷評価は、被災した鉄筋コンクリート（以下、RC）建造物の性能低下度合を定量的に判断するとともに、その後の補修・補強の可否を判断する上で重要である。国内では、既存建物の耐震性能を評価する耐震診断¹⁾の考え方に基づいて、損傷評価に関する基準²⁾が整備されてきた。さらに、性能評価型設計への移行とともに、損傷評価を新築建物の性能評価に反映させるための取り組み³⁾も進められており、近年数多くの研究が行われている。

これらの損傷評価手法は残留ひび割れ幅に基づき、部材、層および建物全体の損傷度合を評価するものである。しかし、残留ひび割れ幅に基づく損傷評価手法の問題点として以下のことが考えられる。①RC 建造物はコンクリートの剥落や圧壊などが起こり、ひび割れ幅と性能の関係を定量的に評価できない場合がある。②様々な研究者によって、損傷は最大変形だけでなく繰り返し荷重による建物のエネルギー吸収を考慮すべきであると指摘されている⁴⁾。しかし、ひび割れ幅による損傷評価手法では、それらを考慮できない可能性がある。したがって、適切に建物の損傷程度を評価するためには、地震応答解析に基づき、建物の応答や履歴エネルギー量を評価可能な損傷評価手法について検討する必要がある。

このような背景において、Bertero ら⁵⁾により提案されている損傷スペクトルの考え方は有用である。損傷スペクトルとは、建物の 1 次固有周期と建物全体の損傷指標 DI (Damage Index) の関係を表したスペクトルのことである。任意の地震動に対して損傷スペクトルを作成すれば、建

物の固有周期から当該地震動に対して建物全体がどの程度の損傷を被るか把握できる。損傷スペクトルは実際に観測された地震動を用いて作成されるため、損傷の激しい地域および建物を即時に把握できる。そのため、早期復旧に役立てると考えられる。また、近い将来、高い確率で東南海大地震や首都直下型地震が起きると予測されている。地震が発生する前に想定される地震動を用いて損傷スペクトルを作成することで、ハザードマップとして活用できるだけでなく、補強を必要とする建物の推定が可能となり、未然に大惨事を防ぐことが可能になる。

本研究では、Bertero らが提案する損傷スペクトルを用いた建物全体の損傷評価手法の妥当性を検証し、さらに発展させた損傷評価手法の構築に取り組む。検証には、実際に被災した建物の損傷状況と損傷スペクトルの関係を把握することが必要である。そのため、本報では、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て損傷スペクトルを作成し、観測点近傍で観測された建物の損傷状況との比較を通じて、損傷スペクトルを用いた損傷評価法を検証する。

2. 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 質点系モデルにモデル化した建物の周期 $T(\text{sec})$ 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、無損傷の場合を 0、構造物が崩壊する可能性のある場合を 1 とし、定量的に損傷程度を示すものである。損傷指標はこれまでに数多く提案されており、Park ら⁶⁾に代表されるように塑性率やエネルギー

1 : 日大理工・学部・建築 2 : 日大理工・院・建築 3 : 株式会社 構造ソフト 4 : 日大理工・教員・建築

一吸収能力のようなパラメータに基づいて算出されるものが多い。Bertero らは、Park らの部材損傷指標 DI_{PA} を改良し、最大変形と履歴エネルギー吸収能力の組み合わせによる新たな損傷指標 DI_1 および DI_2 を提案している。これらの式を以下に示す。

$$DI_{PA} = (u_{max}/u_{mon}) + \beta E_H / (F_y / u_{mon}) \quad (1)$$

ここで、 u_{max} ：最大応答変形， u_{mon} ：単調水平載荷時の限界変形， E_H ：履歴エネルギー吸収能力， F_y ：降伏強度， β ：係数である。

$$DI_1 = [(1 - \alpha_1)(\mu - \mu_e) / (\mu_{mon} - 1)] + \alpha_1 (E_H / E_{Hmon}) \quad (2)$$

$$DI_2 = [(1 - \alpha_2)(\mu - \mu_e) / (\mu_{mon} - 1)] + \alpha_2 (E_H / E_{Hmon})^{1/2} \quad (3)$$

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_{Hmon} ：単調水平載荷時の履歴エネルギー吸収能力， α_1 ， α_2 ：定数である。

3. 損傷スペクトル作成手法

損傷スペクトル作成手法を Fig 1 に示す。損傷スペクトル作成の際には、はじめに設計用加速度応答スペクトルを強度低減係数 R で除し、固有周期毎の降伏強度 F_y を算出する。強度低減係数 R は、米国で R factor(国内では構造特性係数 D_s) と呼ばれ、構造物の靱性度合を表すものである。次に、得られた降伏強度を用いて、復元力特性を設定する。Bertero らは復元力特性に完全弾塑性(EPP)モデルを用いているが、RC 構造物の復元力特性としては望ましくない。そのため、EPP モデルの他に Clough モデルを復元力特性として設定した(Fig 2)。Clough モデルの除荷時剛性は次式で示すような塑性率に基づく劣化モデルとした。

$$K_r = \mu_i^{-\beta} K_0 \quad (4)$$

ここで、 K_r ：除荷時剛性， μ_i ：塑性率， β ：除荷時剛性低下係数(本研究では、一般に推奨値として用いられる $\beta=0.5$ を使用した)， K_0 ：初期剛性である。次に K-NET および KiK-net の加速度記録を用いて、地震応答解析を実施する。解析結果より、塑性率スペクトルおよび履歴エネルギースペクトルを作成した後、それらを利用して損傷スペクトルを作成する。

4. まとめ

本報(その 1)では、損傷スペクトルの概要および損傷スペクトル作成手法を示した。(その 2)では、損傷スペクトルを作成するためのパラメータの設定を行う。

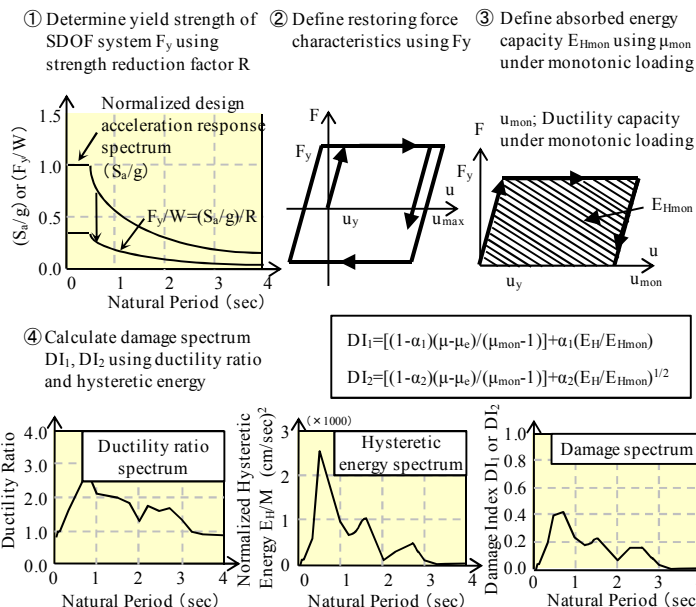


Figure 1 Creating Process of Damage Spectrum

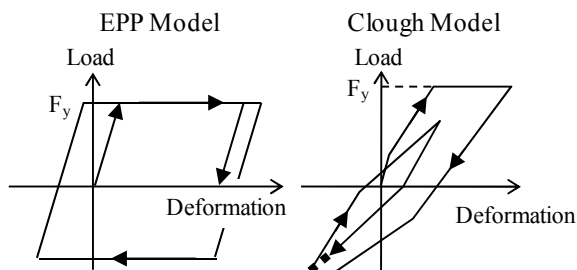


Figure 2 Restoring Force Characteristics

5. 参考文献

- [1] 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説，2001.10
- [2] 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
- [3] 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能評価指針（案）・同解説，2004.1
- [4] 田嶋和樹：鉄筋コンクリート部材を対象とした地震損傷評価に関する研究の動向，コンクリート工学，Vol.45，No.4，pp.45-50，2007
- [5] 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
- [6] Park, Y. J., Ang, A.H. S.: Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.111, No.4, pp.722-739, 1985.4