

B-60

## 損傷スペクトルを用いた損傷評価体系の構築に関する解析的研究 (その 1) 解析モデルの構築および解析結果の考察

### An Analytical Study on Development of Damage Evaluation System for RC Buildings by Damage Spectrum Method (Part1) Development of Analysis Model and Consideration of Analysis Results

○田口千貴<sup>1</sup>, 市川大真<sup>2</sup>, 田嶋和樹<sup>3</sup>, 長沼一洋<sup>3</sup>\*Kazuki Taguchi<sup>1</sup>, Motochika Ichikawa<sup>2</sup>, Kazuki Tajima<sup>3</sup>, Kazuhiro Naganuma<sup>3</sup>

Abstract: The goal of this study is to establish damage evaluation system for R/C buildings by damage spectrum. Damage state of them are evaluated by damage category proposed by Park et al. using damage index. However, the relationship between the damage category and hysteresis behavior of R/C building is not clear. Therefore, this relationship is investigated through the dynamic analysis on R/C framed structure model. In Part 1, outline of R/C framed structure model is described.

#### 1. はじめに

国内における既存鉄筋コンクリート(以下, RC)造建物の耐震性能を評価する耐震診断の考え方に基づく損傷評価手法では, 地震動特性の考慮は十分ではない. このような背景において Bertero ら<sup>1)</sup>の損傷スペクトル(Fig.1)を用いた損傷評価手法は有用である. 損傷スペクトルとは, 建物を 1 質点系モデルに置き換え, 建物の弾性 1 次固有周期 T(sec)と損傷指標 DI の関係をグラフ化したものであり, 損傷指標は, Bertero ら<sup>1)</sup>による  $DI_2$  式を採用している. また, 算出される損傷指標は, Park ら<sup>2)</sup>の損傷カテゴリー(Fig.1)から具体的な損傷状態を把握する.

この損傷カテゴリーは, 過去の大地震における被災建物 9 棟に対して, 損傷指標と実際の損傷状態が対応するように設定している. しかし, 既往の研究<sup>3)</sup>より, 1 質点解析と骨組解析との比較を通じて, 地震波によっては, 履歴挙動が一致しなくても損傷指標が同程度になることを確認しており, 損傷指標の物理的意味が不明瞭である. そこで, 本報(その 1)では, 1 質点, ファイバーおよび FEM 解析を実施し, 仮想骨組の損傷状態について相対的に評価する.

#### 2. RC 造骨組の地震応答解析

##### 2.1 解析対象の仮想骨組モデル

Fig.2 に仮想 2 層 4×2 スパン骨組の概要を示す. 解析対象は, 熊本地震時に顕著な被害が報告された旧耐震基準に着目し, 1970 年代当時の一般的な構造設計手法により設計された RC 造建物を想定した.

##### 2.2 解析モデルの概要

ファイバー解析(Fig.3)では, 数値解析コード OpenSees<sup>4)</sup>を用いた. 柱はファイバー要素, 梁は両端塑性ヒンジ長さがファイバー要素で中間が弾性体から構

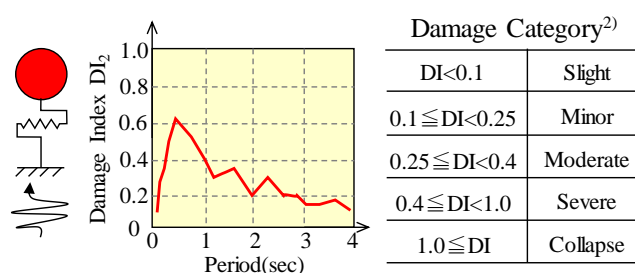


Fig.1 Damage Spectrum and Damage Category

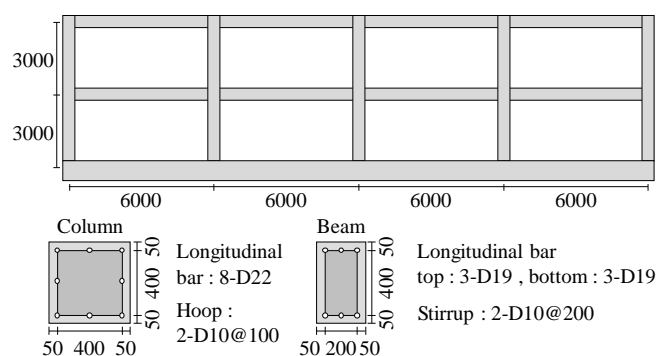


Fig.2 Detail of Frame Structures with 4 x 2 span

成される要素, 基礎および柱梁接合部は剛域, スラブは剛床仮定として, ファイバー部材が強度上昇しないように梁の弾性体は軸方向力が十分小さいものとした. また, 柱脚に接合部サブ要素を導入し, 柱主筋の抜け出しを考慮した. FEM 解析(Fig.4)では, コンクリートは六面体要素, 鉄筋は主筋をトラス要素とし, 帯筋, あばら筋およびスラブ筋を分散鉄筋でモデル化した. また, 主筋の付着すべり挙動を考慮するため, 4 節点接合要素を設けてコンクリート-鉄筋間の付着すべりを表現した. 1 質点解析では, 修正 Clough モデルによるトリリニア型の復元力特性を採用し, ファイバー解析における静的単調載荷結果の  $Q-\delta$  曲線を包絡するようにパラメトリックに設定した.

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

### 2.3 解析結果

異なる解析手法を用いて地震応答解析を実施する。入力地震波は、最大速度を 50cm/sec に基準化した ELC ENTRO-NS を用いた。減衰定数は 3% としており、解析区間は初めの 10 秒間とする(Fig.5)。Fig.6 に Q-δ 関係を示す。全体的な傾向として、応答変位および水平剛性は、概ね同等の値を示している。しかし、FEM 解析結果は、1 質点およびファイバー解析結果よりも最大耐力が若干大きい。これは、スラブのモデル化の違いが影響していると考えられる。ファイバー解析の場合、スラブを剛床仮定としており、スラブ筋の影響は保有水平耐力計算法に基づき、梁に 1m の協力幅を設けて考慮している。一方、FEM 解析では、最大応答時で広範囲にスラブ筋の負担を確認している。そのため、最大耐力は、FEM 解析結果が最も大きいと考えられる。

ここで、相対的に損傷状態を比較するために、ファイバーおよび FEM 解析結果における内構面の主筋の降伏について確認する(Fig.7)。モデル化の違いにより多少降伏点の数は異なるが、2 階の一部の柱頭、1 階の柱脚および梁端の主筋が引張降伏している。また、崩壊機構は未形成であり、損傷状態は概ね同等であると考えられる。

以上のことから、今回構築した仮想骨組は、モデル化の違いに関わらず、いずれも同様の結果を示すことが確認できた。

### 3. まとめ

本報(その 1)では、仮想骨組を構築し、地震応答解析を実施した。その結果、モデル化の違いに関わらず、履歴挙動および損傷状態が概ね同様の結果を示した。次報(その 2)では、入力地震波をパラメータとした地震応答解析を実施し、損傷指標と解析結果の関係性について詳細に検討する。

### 4. 参考文献

[1] Bozorgnia, Y. and Bertero, V. V.: Damage Spectra: Characteristics and Applications to Seismic Risk Reduction, Journal of Structural Engineering, ASCE, pp.1330-1340, Oct., 2003.

[2] Park, Y. J. , Ang, A.H. S.: Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.111, No.4, April, 1985.

[3] 市川大真, 田嶋和樹, 長沼一洋: 損傷スペクトルを用いた RC 造建物群の損傷評価(その 1~2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.557-560, 2017.8

[4] Open System for Earthquake Engineering Simulation – Home Page, <http://opensees.berkeley.edu/>

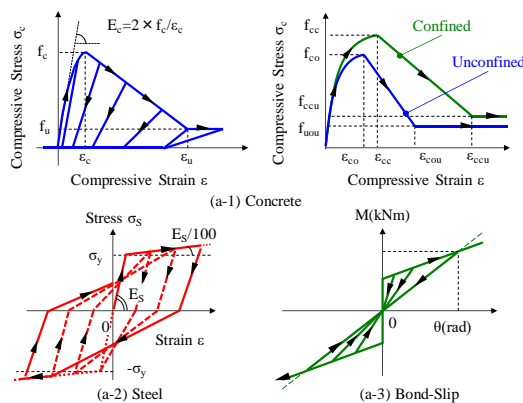


Fig.3 σ-ε and τ-s Relationships by Fiber Analysis

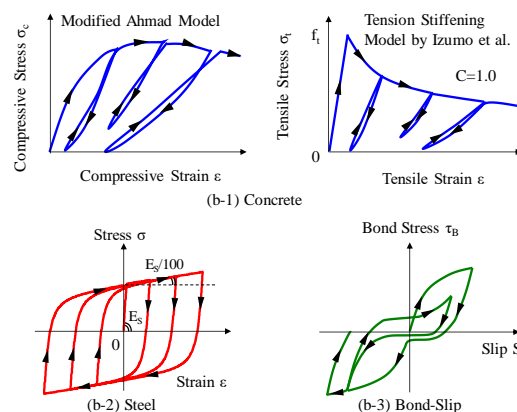


Fig.4 σ-ε and τ-s Relationships by FEM Analysis

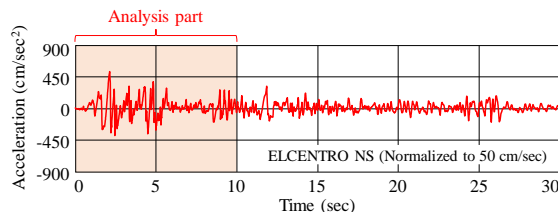


Fig.5 Recorded Acceleration of Seismic Wave

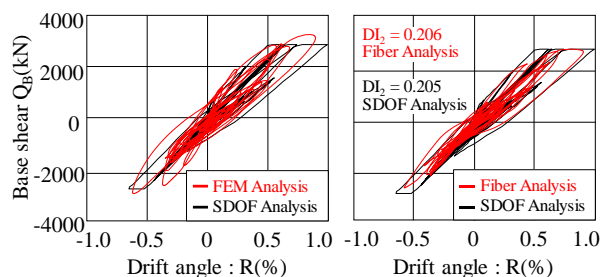


Fig.6 QB-R Relationships

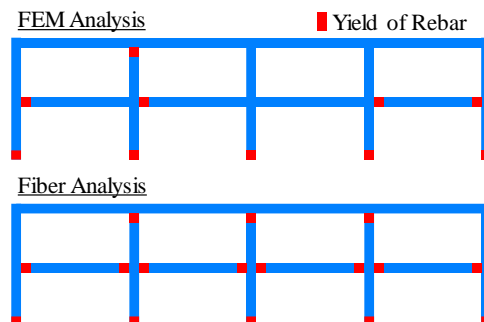


Fig.7 Plastic Hinges of Inner Frame