

損傷スペクトルを用いた RC 造建物に対する損傷評価手法の精度向上に関する研究  
(その 2) 損傷カテゴリーの改良

A Study on Accuracy Improvements of Damage Evaluation Method for R/C Buildings by Damage Spectrum  
(Part2) Improvement of Damage Category

○市川大真<sup>1</sup>, 伊藤綾哉<sup>2</sup>, 田嶋和樹<sup>3</sup>, 長沼一洋<sup>3</sup>

\* Motochika Ichikawa<sup>1</sup>, Ryoya Ito<sup>2</sup>, Kazuki Tajima<sup>3</sup>, Kazuhiro Naganuma<sup>3</sup>

Abstract: In Part 2, damage grades indicating damage condition of R/C buildings were defined based on the damage degree of structural members. Dynamic analyses were performed with various ground motions using analysis models of different failure modes. As a result, the damage index shows a good agreement with damage grades regardless of differences in failure modes. Further, a new damage category was proposed using the damage grades and the damage index.

1. はじめに

前報(その 1)では、実大 3 層 RC 造骨組の振動台実験において解析モデルを構築し、さらに、Fig.1 に示すような種々の崩壊形に拡張した。

本報(その 2)では、鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説<sup>1)</sup>(以下、耐震性能評価指針)に基づいて、建物全体の損傷状態を示す損傷グレードを定義する。また、構築した骨組モデルを用いて入力地震動をパラメータとした地震応答解析を実施し、提案した損傷グレードと損傷指標  $DI_d$  との関係性について詳細に検討する。

2. RC 造骨組における損傷状態の位置付け

本検討における RC 造骨組の損傷状態は、耐震性能評価指針を参考に設定する。耐震性能評価指針は、建物が保有する耐震性能(保有耐震性能指標)を 3 段階の限界状態(使用限界状態, 修復限界状態, 安全限界状態)に対応させて示したものである。これは、部材(主に、柱および耐震壁)の損傷度に基づいて層の限界状態を定義している。

また、耐震性能評価および被災度区分判定基準<sup>2)</sup>を比較した一例(Table 1)を確認すると、修復限界状態は軽微から中破に、安全限界状態は大破に相当している。

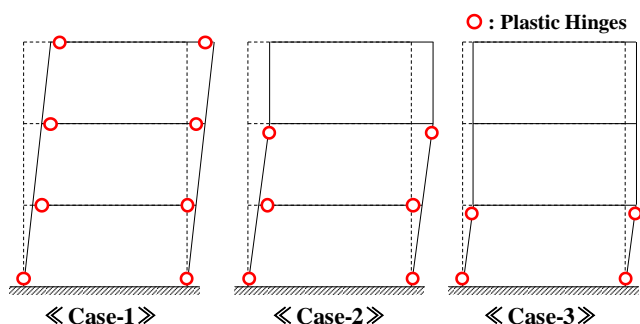


Fig.1 Frame Models with Supposed Plastic Hinges

Table 1 Limit State and Damage Degree<sup>1)</sup>

Building	Damage Degree(1) <sup>1)</sup>	I	II	III		IV	R	
	Damage Degree(2) <sup>2)</sup>	I	II	III	IV	V		
①	Reparability Limit I	100%	0%	0%	0%	0%	95	Slight
②	Reparability Limit I	50%	30%	20%	0%	0%	80	Minor
③	Reparability Limit II	10%	40%	40%	10%	0%	60.5	Moderate
④	Safety Limit	0%	0%	50%	40%	10%	29	Severe
⑤	Safety Limit	0%	20%	30%	50%	0%	35	Severe
⑥	Safety Limit	0%	0%	30%	50%	20%	20	Severe

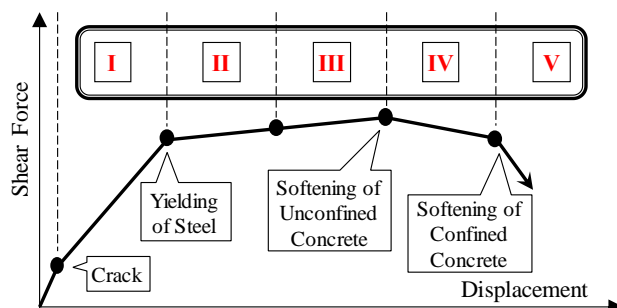


Fig.2 Damage Degree of Member

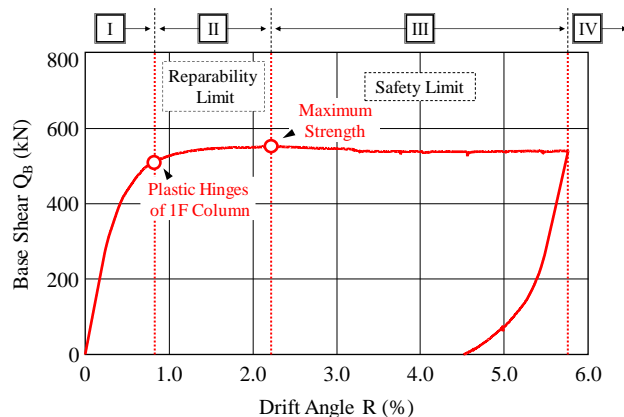


Fig.3  $Q_B$ -R Relationship and Damage Category

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

そこで、耐震性能評価指針および被災度区分判定基準に基づいて、部材の損傷度を Fig.2 のように定義した。また、部材の損傷度の割合を建物全体の損傷のグレードに置き換え、静的単調載荷結果にプロットさせたものを Fig.3 に示す。

具体的な損傷状況としては、グレード I は「使用限界状態・軽微以下」、グレード II は「修復限界状態・小破~中破程度」、グレード III は「安全限界状態・大破程度」、グレード IV は「崩壊の可能性」である。グレード III と IV の境界線では、2 次設計の保有水平耐力計算における構造特性係数  $D_s$  との関係に基づいて算出した塑性率を終局塑性率： $\mu_{mon}$  と定義し、 $\mu_{mon}$  の経験の有無で区別している。

### 3. 入力地震動をパラメータとした地震応答解析

本章では、Table 2 に示す入力地震動をパラメータとした地震応答解析を実施し、提案損傷グレードと損傷指標  $DI_d$  の関係について検討する。なお、入力地震動は原波 +100gal 刻みで 300gal~800gal の間で基準化した、計 53 波とした。

Fig.4 に地震応答解析結果から算出された損傷指標 ( $DI_d$ )—最大応答時の頂部変形角 ( $R_{max}$ ) 関係を示す。崩壊形の違いにより変形性能は異なるため、損傷指標の推移の傾きにはばらつきがあるものの、 $R_{max}$  の増大に伴って  $DI_d$  も増加する傾向は同様である。

そこで、これらの解析結果において、部材の損傷程度に基づいた損傷グレードを算定し、損傷指標との関係を確認する(Fig.5)。すると、崩壊形の違いに関わらず、全ての解析結果で同様の傾向を確認することができる。さらに、損傷グレードが入れ替わる点で損傷指標値を区切ることで、Table 3 に示すような新たな損傷カテゴリーが提案できる。この損傷カテゴリーは、崩壊形および入力地震動の影響を考慮しており、また、現行の損傷評価手法(耐震性能評価指針および被災度区分判定基準)とも対応しているため、有用性があると考えられる。

### 4. まとめ

本報(その 2)では、耐震性能評価指針および被災度区分判定基準に基づいて建物の損傷グレードを定義した。さらに、入力地震動をパラメータとした地震応答解析を実施した結果、崩壊形の違いに関わらず提案損傷グレードと損傷指標  $DI_d$  に良好な対応が確認され、新たな損傷カテゴリーを提案した。また、この提案損傷カテゴリーは現行の損傷評価手法とも対応しているため、有用性があると考えられる。

Table 2 Recorded Acceleration of Seismic Wave

El Centro EW	El Centro NS	Hachinohe EW	Hachinohe NS
JMA Kobe EW	JMA Kobe NS	Taft EW	Taft NS

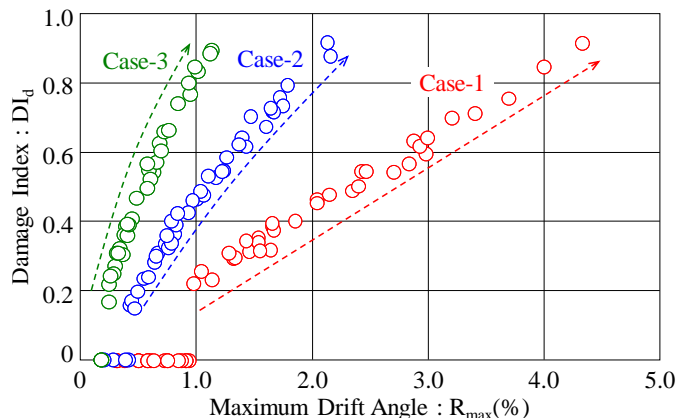


Fig.4  $DI_d$ - $R_{max}$  Relationships

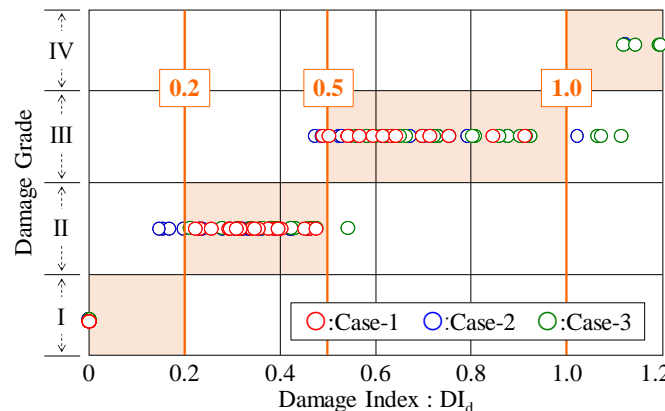


Fig.5 Damage Grade- $DI_d$  Relationships

Table 3 New Damage Category

Damage Grade	Damage Index	Physical Appearance	Non-Linear Events
I	$DI_d < 0.2$	Minor damage, usable	Cracking
II	$0.2 \leq DI_d < 0.5$	Moderate damage, need repaired	Yielding, stiffness degrading
III	$0.5 \leq DI_d < 1.0$	Major damage	In softening region
IV	$1.0 < DI_d$	Major damage or collapse	( $\mu > \mu_{mon}$ )

今後、FEM 解析などの詳細な検討により、提案損傷カテゴリーの検証が必要である。

#### 【参考文献】

- [1] 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説, 2018.1
- [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