

損傷スペクトルを用いた RC 造建物の損傷評価
(その 1) 実被害状況に基づく損傷スペクトルのパラメータの設定
Simplified Damage Evaluation Method of RC Buildings by Damage Spectrum
(Part 1) Parameter Identification for Damage Spectrum Based on the Damage Level

○仲俊亮¹, 渡部俊宗², 田嶋和樹³, 白井伸明³

*Shunsuke Naka¹, Toshimune Watanabe², Kazuki Tajima³, Nobuaki Shirai³

Abstract: The authors have been devoted to construct a damage evaluation method using the damage spectrum for RC Buildings. In the past study, the parameters were determined based on the test results of full scale building. However, since very few test data on full-scaled RC buildings is available, an applicability of those parameters is not verified to buildings of brittle failure type. Thus, the parameters are identified again, and the damage spectrum calculated with the identified parameters was compared with the damage of the Great East Japan Earthquake. As a result, the actual damage levels and the damage spectra showed a good correspondence.

1. はじめに

筆者らは、RC 造建物の 1 次固有周期と建物全体の損傷指標 DI の関係を表す損傷スペクトルを用いた損傷評価手法の構築を行ってきた^[1]。文献[1]では、既往の実大 RC 造校舎の破壊実験結果を用いて損傷スペクトル作成に必要なパラメータの設定を行った。しかしながら、実大 RC 造建物に関する実験データは極めて少なく、当該建物の実験データは全体曲げ崩壊形を示したもので、脆性的な破壊を示す建物の検証は十分とは言えない。そこで、本研究ではパラメータの再設定を行い、東日本大震災の実被害状況と損傷スペクトルとの対応を再確認した。

2. 損傷スペクトルの概要およびパラメータ

損傷スペクトルとは、1 質点系でモデル化した建物群の固有周期と損傷指標 DI の関係をグラフ化したものである。これらの式を以下に示す。

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

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

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

各項についての説明は文献[1]を参照。なお、損傷スペクトル作成に必要なパラメータは、設計用加速度応答スペクトル、強度低減係数、復元力特性、単調載荷時終局塑性率 μ_{mon} 、定数 α_1 および α_2 である。

3. 損傷スペクトルのパラメータの再設定

損傷スペクトル作成に必要なパラメータは前述したとおりであるが、ここでは既報のパラメータ設定の中で再設定が必要なものについて取り上げる。

3. 1 復元力特性

復元力特性として文献[1]では、RC 構造に対して一般的に適用される復元力特性モデルの 1 つである

Clough モデルを用いており、除荷時剛性低下係数 $\gamma=0.78$ なる値を用いている。しかし、この値はせん断破壊型の建物に適用すべき値であり、 $\gamma=0.4$ 程度が一般に使用されている。そこで、本報では $\gamma=0.5$ を適用し、再度検討を行う。

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

ここで、 K_r : 除荷時剛性、 μ_i : 塑性率、 γ : 除荷時剛性低下係数、 K_0 : 初期剛性である。

3. 2 単調載荷時終局塑性率 μ_{mon}

近年、実大 RC 造建物を試験体とした実験研究が行われているが、RC 造建物に対する単調水平載荷時の終局塑性率に関する知見は十分に得られていない。そこで、地震観測点周辺の建物の被害状況と損傷指標の比較を通じて、 μ_{mon} の概略値を推定する。

DI_1, DI_2 は、定数 α_1, α_2 によって DI_{PA} と等しい値となるように設定されているため、 DI_{PA} を損傷指標として μ_{mon} の検討を行っても差し支えなく、むしろ α_1, α_2 を求める必要がないため簡便である。 DI_{PA} の算出には、係数 β を設定する必要があるため、ここでは β を求める方法を検討する。Park らは、部材単体に関する β の算出式として次式を示している^[2]。

$$\beta = \left(-0.447 + 0.73 \frac{l}{d} + 0.24n_0 + 0.314p_t \right) \times 0.7^{\rho_w} \quad (5)$$

ここで、 l/d : せん断スパン比、 n_0 : 正規化軸応力、 p_t : 主筋比 (百分率)、 ρ_w : 拘束比である。しかし、(5)式を建物全体に対して適用するためには、部材毎に求めた β を何らかの方法で平均化する必要があるため複雑である。損傷スペクトルを用いた損傷評価法のメリットである簡便さを重要視し、ここでは β の概略値を得る方法について検討する。まず、(5)式中の 4 つのパラメ

ータの中で、最も β に影響を及ぼすものを検討する。検討に際しては、国内で試験された 87 本の RC 造柱に関するデータベースを作成し、各柱について 4 つのパラメータと β の関係を調べた。その結果、Fig.1 に示すように、破壊形式に関わらず β -主筋比 p_t 関係に良好な関係が認められた。また、筆者らが被害調査を実施した学校のうち、設計図書が得られた 10 校の校舎について各階の主筋比を調査したところ、その平均値は 1.2% となった。これより、 β の概略値として 0.2 を得た。

そこで、Pic.1 および Table1 に示した建物 G と D を対象とし、 μ_{mon} の概略値を推定する。Fig.2 に建物 G および建物 D 付近の観測波に基づく損傷スペクトルを示す。 μ_{mon} をパラメータとして検討した結果、建物 G に対しては $\mu_{mon}=12$ 、建物 D に対しては $\mu_{mon}=6$ が適当であった。 μ_{mon} の概略値が異なる理由は、建物の崩壊形に関係すると考えられる。建物 G は全層に渡って雑壁にひび割れが多数発生したものの、柱や梁に顕著なせん断ひび割れは確認できず、曲げ崩壊型であると判断できる。一方、建物 D は短柱化した柱のせん断破壊が多数確認されている。したがって、 μ_{mon} に対しては、曲げ崩壊型の建物に対して $\mu_{mon}=12$ 、せん断破壊型の建物に対して $\mu_{mon}=6$ を設定する。

3. 3 定数 α_1 および α_2

前節において、 β および μ_{mon} の概略値を得た。これらの概略値を利用して、 DI_1 および DI_2 を得るための α_1 および α_2 を求める。ここでは、東日本大震災の際に各地で記録された観測波を用いて DI_{PA} に基づく損傷スペクトルを作成し、周期毎の α_1 、 α_2 を求めた。 α_1 および α_2 と周期の関係を Fig.3 に示す。 α_1 に関しては、プロット値がばらつく傾向が見られたが、 α_2 に関しては、地震動の違いや周期を問わず概ね一定値を示す傾向が確認できる。これより、 $\mu_{mon}=6$ の場合 $\alpha_2=0.4$ 、 $\mu_{mon}=12$ の場合 $\alpha_2=0.3$ という概略値を定め、損傷評価指標として DI_2 を用いることにする。

4. 実被害状況と損傷スペクトルとの対応

Table1 に示した建物の実被害状況と損傷指標 DI_2 との対応を Fig.4 に示す。新耐震の建物に関しては、余剰強度係数 Ω を試行錯誤法により算出した結果、建物 J,K,L,M に対して $\Omega=3.7, 4.7, 4.5, 5.2$ 、建物 I,N に対しては 4 つの Ω の平均値 4.5 を用いて DI_2 を算出した。これらの結果、実被害を良好に捉えることができた。

5. まとめ

本報(その 1)では、パラメータの再設定を行い、東日本大震災の実被害状況と損傷スペクトルの対応を確認した。その 2 では、阪神・淡路大震災を例に、これら

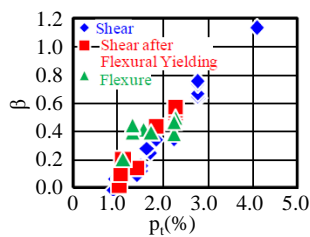
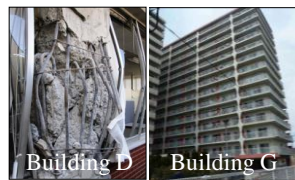


Fig.1 β - p_t Relation



Pic.1 Damaged Buildings

Table1 List of Damage Buildings

Standard	Natural Period T (sec)	Degree of Damage
Old Seismic Code	A	0.16 SLIGHT
	B	0.18 SLIGHT
	C	0.18 SLIGHT
	D	0.23 SEVERE
	E	0.23 COLLAPSE
	F	0.12 COLLAPSE
	G	0.82 MODERATE
	H	0.23 MODERATE
New Seismic Code	I	0.25 NONE
	J	0.29 MODERATE
	K	0.33 MODERATE
	L	0.23 MINOR
M	0.24 SLIGHT	
N	0.23 NONE	

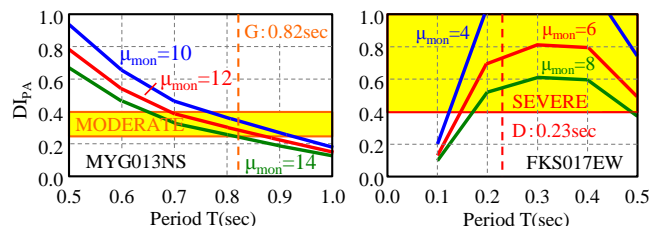


Fig.2 Damage Spectrum by DI_{PA}

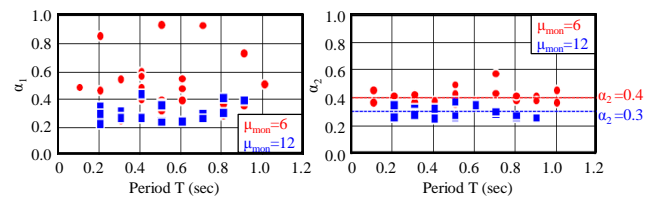


Fig.3 α_1, α_2 -T Relation

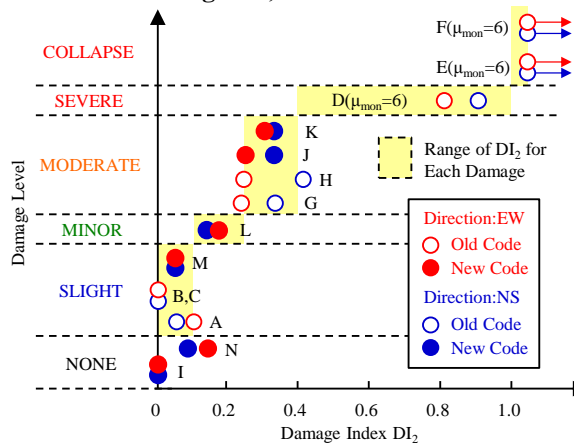


Fig.4 Damage Level- DI_2 Relation

のパラメータ値を用いた損傷スペクトルと実被害状況との対応について確認を行う。

6. 参考文献

[1] 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

[2] 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

【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。