

## 損傷スペクトルを用いた RC 建造物の簡易損傷評価 (その 2) 損傷スペクトル作成に関するパラメータの設定

### Simplified Damage Evaluation Method of RC Buildings by Damage Spectrum (Part 2) Determination of Main Parameters Characterizing Damage Spectrum

田邊哲也<sup>1</sup>, ○渡部俊宗<sup>1</sup>, 秋山洋輔<sup>2</sup>, 西尾淳<sup>2</sup>, 今井究<sup>3</sup>, 田嶋和樹<sup>4</sup>, 白井伸明<sup>4</sup>  
Tetsuya Tanabe<sup>1</sup>, Toshimune Watanabe<sup>1</sup>, Yousuke Akiyama<sup>2</sup>, Atsushi Nishio<sup>2</sup>, Kiwamu Imai<sup>3</sup>, Kazuki Tajima<sup>4</sup>, Nobuaki Shirai<sup>4</sup>

Abstract: In Part 1, outline and derivation of the damage spectrum are described. In Part 2, parameters required to characterizing the damage spectrum are determined. The parameters are ①design acceleration response spectrum, ②strength reduction factor R, ③restoring force characteristics, ④ductility capacity under monotonic loading  $\mu_{\text{mon}}$ . Provided that these parameters were determined appropriately, the method would become the damage evaluation method, including year of construction, ground classification and failure mode. In the future, it must be extended to evaluate damage indices for the existing old buildings designed according to the old code.

#### 1. はじめに

前報(その 1)では損傷スペクトルの概要および作成手法を示した。本報(その 2)では、損傷スペクトルを作成する際に必要なパラメータの設定を行う。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 R、③復元力特性、④単調水平載荷時の終局塑性率  $\mu_{\text{mon}}$  である。

#### 2. パラメータの設定

##### 2.1 設計用加速度応答スペクトルの設定

設計用加速度応答スペクトルは、降伏強度  $F_y$  を決定するために用いられる。設計法の改定に伴い、想定する地震動(設計用加速度応答スペクトル)も改変されている。つまり、設計法によって、建物強度が異なると考えられる。そのため、本研究では、新耐震設計法と限界耐力計算法で用いられている加速度応答スペクトル(Fig 1)を使用する。新耐震設計法は 1981 年、限界耐力計算法は 2000 年に施行されている。1981~2000 年に竣工した建物ならば新耐震設計法、2000 年以降に竣工した建物なら限界耐力計算法の加速度応答スペクトルを用いて、降伏耐力  $F_y$  を算出する。また、新耐震以前(旧耐震)の建物は、中地震に対して各部材に生じる応力が短期許容応力度以下になるように設計され、大地震に対しては直接検討されていない。そのため、建物によって強度が大きく異なり、 $F_y$  の算出が難しい。しかし、実際に被害を受けた建物は旧耐震の建物が圧倒的に多いため、今後旧耐震建物に対する損傷評価手法を検討していく必要がある。

##### 2.2 強度低減係数 R

構造物の耐震性能はエネルギー吸収性能で表現でき、弾性応答構造物と非弾性応答構造物で同等のエネルギー吸収性能を有していれば、同等の耐震性能を持つという考えがある。この考えに基づき、設計用加速度応答スペクトルを降伏強度スペクトルに低減する強度低減係数 R が決定される。なお、強度低減係数 R は主に米国で用いられ、国内では構造特性係数  $D_s$ 、Eurocode では等価 q 係数が用いられている。

強度低減係数の研究は様々な研究者によって数多く行われている<sup>1)</sup>。Ishiyama ら<sup>2)</sup>は、既往の強度低減係数に関する研究の多くは、繰り返し荷重による累積損傷を考慮しない、損傷を変形のみで表現する塑性率評価型の強度低減係数に関するものであるという点に着目し、累積損傷を考慮した強度低減係数を提案している。累積損傷評価型の強度低減係数 R は次式により算出される。

$$R_D = \frac{\mu_{\text{mon}} - 1}{\Phi} + 1 \quad (1)$$

$$\Phi = 1 + \frac{1}{(2.75 - \mu_{\text{mon}}^{0.28})T^{0.6}} - \frac{1}{1.8T} \exp[-0.6(\ln T - 0.5)^2] \quad (2)$$

$$\Phi = 1.3 + \frac{1}{(4 - \mu_{\text{mon}}^{0.45})T^{0.75}} - \frac{1}{1.65T} \exp[-3.4(\ln T - 0.1)^2] \quad (3)$$

$$\Phi = 1.3 + \frac{1}{3\mu_{\text{mon}}^{0.5} \left(\frac{T}{T_g}\right)} - \frac{1}{1.2 \left(\frac{T}{T_g}\right)} \exp[-6(\ln \frac{T}{T_g} - 0.16)^2] \quad (4)$$

ここで、 $\mu_{\text{mon}}$  : 単調水平載荷時終局塑性率、 $T$  : 固有周期、 $\Phi$  はそれぞれ硬質、中間および軟弱地盤に対して式(2)~(4)により定義される。 $T_g$  は軟弱地盤に対しての

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

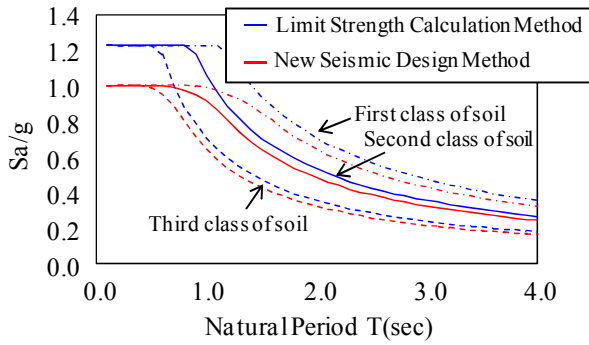


Figure 1 Design Acceleration Response Spectrum

み考慮するもので、地震動の卓越周期である。卓越周期  $T_g$  は、加速度記録をフーリエ変換し、最大値となる周期とした。本研究では、Ishiyama らが提案した累積損傷評価型の強度低減係数を用いる。

### 2.2.1 地盤の分類方法

2.2 で示したように、強度低減係数  $R$  は地盤条件によって影響を受ける。本研究では防災科学技術研究所の K-NET および KiK-net の観測波を用いて地震応答解析を行うため、観測地点の地盤種別を分類する必要がある。地盤分類は地盤深さ 30m までの平均せん断波速度 (AVS30) に基づく IBC2009<sup>3)</sup>(Table 1)を用いた。また、道路橋示方書<sup>4)</sup>に基づく地盤分類は概ね Fig 2 に示すように対応する。本研究で用いた硬質地盤は IBC の分類で A と B に相当し、中間地盤は C と D、軟弱地盤は E に相当する。なお、K-NET のせん断波速度データは深さ 30m 未満の場合がほとんどである。そこで、せん断波速度データが不足した場合は、松岡ら<sup>5)</sup>によって提案されたせん断波速度の推定法に従い、AVS30 を算出した。

### 2.3 復元力特性

復元力特性は前報(その 1)で示したように、完全弾塑性モデルと剛性劣化型の Clough モデルを用いた。

### 2.4 単調水平載荷時の終局塑性率 $\mu_{mon}$

終局塑性率  $\mu_{mon}$  は建物の靱性度合を示す指標である。本研究では、靱性度合の低い建物( $\mu_{mon}=2$ )、中間( $\mu_{mon}=6$ )、靱性度合の高い建物( $\mu_{mon}=10$ )の 3 種類(Fig 2)を設定し、解析を行う。 $\mu_{mon}=2$  はせん断破壊型の建物を想定し、 $\mu_{mon}=10$  は曲げ破壊を想定したものである。

### 3. まとめ

本報では、損傷スペクトル作成に関するパラメータの設定をした。設定したパラメータは①設計用加速度応答スペクトル、②強度低減係数  $R$ 、③復元力特性、④単調水平載荷時の終局塑性率  $\mu_{mon}$  である。これにより、建設年度、地盤条件、破壊モードを考慮した損傷

Table 1 Site Class Definition

IBC2009(International Building Code; USA)			Specifications for Highway Bridges(JAPAN)
Site Class	Soil Profile Name	Soil Shear Wave Velocity $V_s$ (cm/s)	Site Class
A	Hard Rock	$1524 < V_s$	First Class of Soil
B	Rock	$762 < V_s \leq 1524$	
C	Very Dense Soil and Soft Rock	$366 < V_s \leq 762$	Second Class of Soil
D	Stiff Soil Profile	$183 < V_s \leq 366$	
E	Soft Soil Profile	$V_s \leq 183$	Third Class of Soil

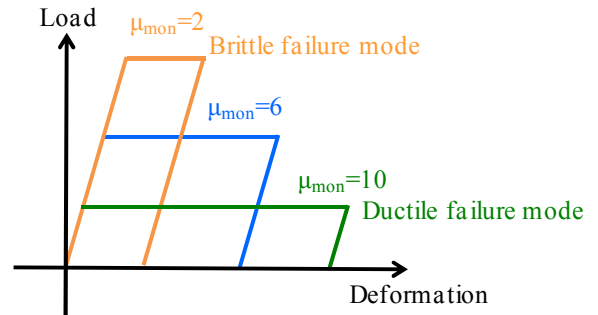


Figure 2 Ultimate Ductility Factor  $\mu_{mon}$  under Lateral Monotonic Loading

評価が可能になる。

### 謝辞

本研究は、防災科学技術研究所の K-NET および KiK-net の土質データ、加速度データを利用した。記して感謝の意を表す。

### 4. 参考文献

- [1] Miranda, E. and Bertero, V. : Evaluation of strength reduction factors for earthquake-resistant design, Earthquake Spectra, 10(2), 354-379, 1994.
- [2] Philip DE GUZMAN, Mitsumasa MIDORIKAWA, Tetsuhiro ASARI, Yuji ISHIYAMA : 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.
- [3] International Code Council, Inc: International Building Code, 2009.
- [4] 日本道路協会 : 道路示方書・同解説, 耐震設計編, 2002.
- [5] 松岡昌, 若松加寿江, 藤本一雄, 翠川三郎 : 日本全国地形・地盤分類メッシュマップを利用した地盤の平均 S 波速度分布の推定, 土木学会論文集, No.794/I-72, pp.239-251, 2005.