

第 I 部門

大規模地震の強震記録を用いた残留変位比と必要強度の関係

大阪産業大学工学部 学生会員 ○甲田 啓太
 大阪産業大学工学部 正会員 山下 典彦
 大阪産業大学工学部 有野 健太

1. はじめに

残留変位比応答スペクトルは、平成 6 年に川島ら¹⁾によって提案された。その後、平成 7 年に阪神・淡路大震災、平成 23 年に東日本大震災が発生し、大規模地震の強震記録が得られているが、上記のスペクトルについて、提案以降の検討は少ない。

そこで、本研究では、2つの大震災で得られた代表的な強震記録を用いて、残留変位比応答スペクトル及び必要強度スペクトルを算出し、それらの結果を用いて、必要強度－残留変位比の関係を塑性率 μ で整理し、道路橋示方書の標準加速度応答スペクトル²⁾の固有周期区分で検討する。

2. 解析の概要

地震動により水平振動を受ける 1 自由度系モデルの運動方程式は、非線形復元力 $f(x)$ を考慮すると(1)式のようになる。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + f(x) = -m\ddot{x}_0 \quad (1)$$

ここでは、 $f(x)$ として、バイリニアモデルを用いて数値解析を行う。本モデルにおける、1 次剛性 k_1 は固有周期 T と単位質量 m によって算定する。また、剛性比 r は 1 次剛性 k_1 と 2 次剛性 k_2 の比であり、(2)式により定義されている。

$$r = k_2/k_1 \quad (2)$$

そして、仮想の構造物を設定する意味で目標塑性率 μ_0 を定め、それに達するように収束計算を行う。塑性率 μ が目標塑性率 μ_0 に収束した時の降伏耐力 F_y から、必要強度が得られ、その時の可能最大残留変位 x_{rmax} と残留変位 x_r を用い、(3)式に定義されている残留変位比 r_r を算出する。

$$r_r = x_r/x_{rmax} \quad (3)$$

ここで、残留変位比とは、地震直後に構造物がどれだけ傾いたかを比で示したもので、固有周期 T 、塑性率 μ 、減衰定数 h 、剛性比 r などの他、地震動の特性により変化する。

また、(3)式において、可能最大残留変位 x_{rmax} とは、変位の絶対値が最大値に達した直後に、復元力が 0 になった

時の残留変位であり、最大変位を x_{max} 、最小変位を x_{min} とすると、(4)式～(7)式の4つのタイプが考えられる。図 1 ではタイプ A)及びタイプ B)について示している。

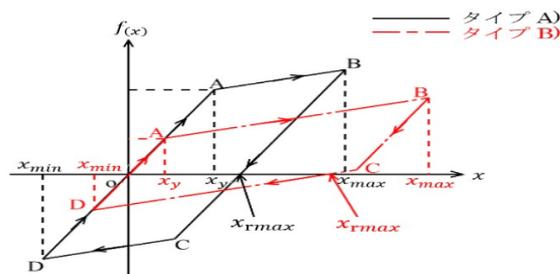


図 1 可能最大残留変位

A) $x_{max} > |x_{min}|$ かつ $r(\mu - 1) < 1$ の場合
 $x_{rmax} = x_y(\mu - 1)(1 - r)$ (4)

B) $x_{max} > |x_{min}|$ かつ $r(\mu - 1) \geq 1$ の場合
 $x_{rmax} = \{(1 - r)/r\}x_y$ (5)

C) $x_{max} < |x_{min}|$ かつ $r(\mu - 1) < 1$ の場合
 $x_{rmax} = x_y(\mu + 1)(1 - r)$ (6)

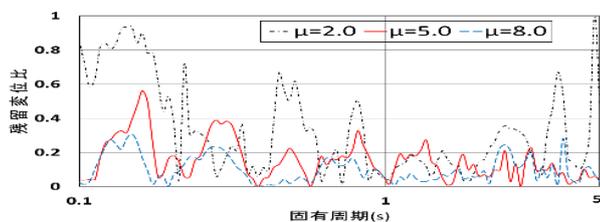
D) $x_{max} < |x_{min}|$ かつ $r(\mu - 1) \geq 1$ の場合
 $x_{rmax} = \{(1 - r)/r\}x_y$ (7)

ここに、 x_y :降伏変位(m)である。また、 $x_{max} > |x_{min}|$ の時、正の領域で、可能最大残留変位が 1 次剛性 k_1 と同じ傾きの直線上に存在する場合はタイプ A)であり、2 次剛性 k_2 と同じ傾きの直線上に存在する場合はタイプ B)である。タイプ C), タイプ D)は $x_{max} < |x_{min}|$ で負の領域に可能最大残留変位が生じる場合である。

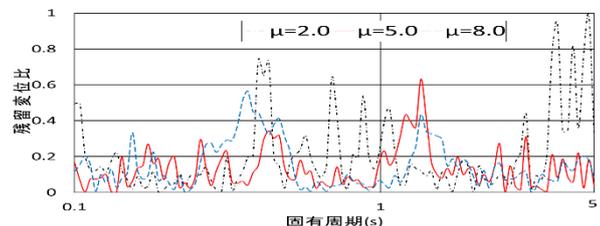
この方法で、神戸海洋気象台 NS 成分と築館 NS 成分の強震記録を用いて、減衰定数 h を 5%、剛性比 r を 0.1、刻み時間を1/1000(s)、目標塑性率 μ_0 を 2, 5, 8 とし、固有周期を 0.1~5.0(s)まで変化させた、残留変位比応答スペクトルと必要強度スペクトルを算出し、各パラメータの関係を考察する。

3. 残留変位比応答スペクトル

図 2 に神戸海洋気象台 NS 成分及び築館 NS 成分における、塑性率ごとの残留変位比応答スペクトルを示す。



(a)神戸海洋気象台 NS 成分



(b)築館 NS 成分

図 2 各地震波における残留変位比応答スペクトル

図 2 により、塑性率が小さいほど残留変位比が大きくなる傾向があるが、固有周期によるばらつきは大きい。また、神戸海洋気象台は周期が長くなるほど、残留変位比が減少する傾向にあるが、築館では長周期側で塑性率が 2 の場合にスペクトルが大きくなっている。これは、構造物の非線形形成と地震波の長周期成分が影響を及ぼしたためであると考えられる。

4. 残留変位比と必要強度の関係

図 3 に必要強度と残留変位比の関係を示す。上段が神戸海洋気象台、下段が築館であり、左から塑性率 $\mu = 2, 5, 8$ の順に示している。また、固有周期の区分は、道路橋示方書のレベル 2 地震動における標準加速度応答スペクトルの区分を用い、神戸海洋気象台はレベル 2 地震動(タイプ II)の I 種地盤、築館はレベル 2 地震動(タイプ I)の I 種地盤

の周期区分を使用している。ここでは、上記の区分で周期が小さい方から短周期領域、中周期領域、長周期領域としている。

また、図 3 において、必要強度が大きくなれば、残留変位比も大きくなり、相関性が見られた。さらに各領域の分布は短周期領域、中周期領域、長周期領域といった順で分布しており、長周期になるほど必要強度の値にばらつきが見られる。ここで、両地震波で、特に中周期領域において、必要強度の値に大きな差が生じたのは、地震波の卓越周期による影響であると考えられる。神戸海洋気象台は中周期領域から 1(s)にかけて、築館は周期 0.5(s)以下に、卓越周期を有しており、この卓越周期の差が必要強度の値に差を生じさせたと考えられる。

5. まとめ

本研究から、残留変位比及び必要強度は地震波の卓越周期によって大きな差が生じる周期領域が存在している。また、残留変位比と必要強度は相関性を有していることから、今後は、フーリエスペクトル、加速度応答スペクトルや非線形応答解析の結果から、より詳細に検討を行う。

【参考文献】

- 1) 川島一彦, Gregory A.MACRAE, 星隈順一, 長屋和宏: 残留変位応答スペクトルの提案とその適用, 土木学会論文集, 第 501 号, pp183-192, 1994
- 2) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, V 耐震設計編, 丸善出版株式会社 pp19~22, 2012

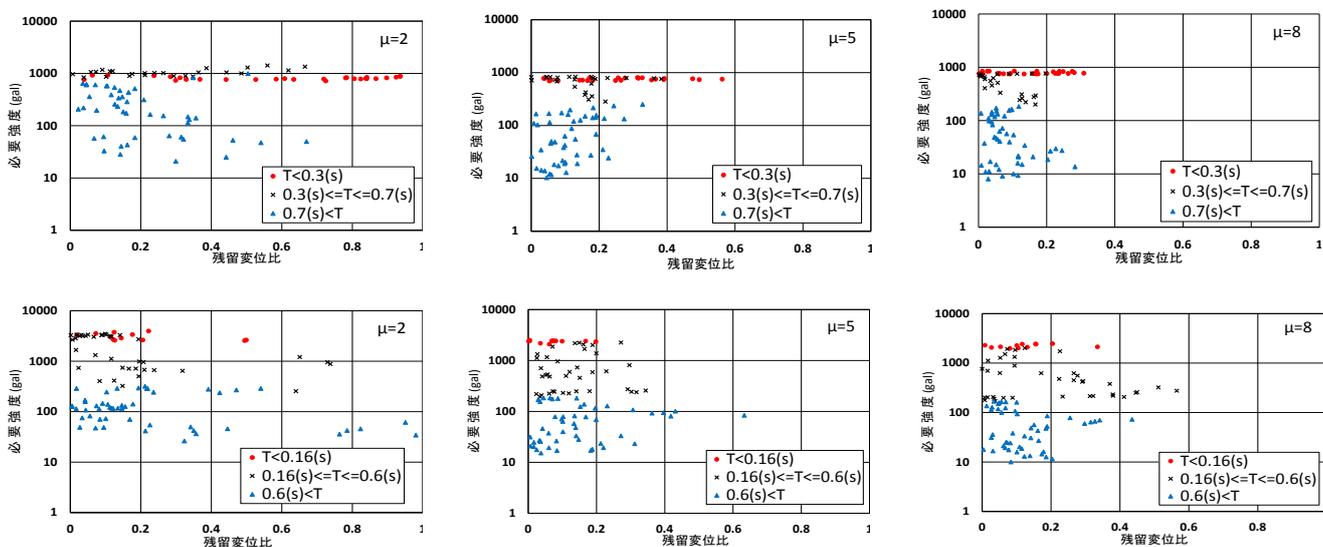


図 3 必要強度－残留変位比の関係 (上段：神戸海洋気象台 NS 成分，下段：築館 NS 成分)