

(141) 残留変位応答スペクトルの解析

建設省土木研究所 正員 川島一彦

正員 星隈順一

○正員 長屋和宏

1. まえがき

道路橋示方書・Ⅴ耐震設計編における地震時保有水平耐力の照査は、構造物のじん性を考慮して断面を設計する新しい手法である。しかし、じん性が高くなると非線形応答変位が大きくなるため、橋脚には大きな残留変位が生じ、復旧が困難となる場合もある。したがって、じん性を考慮した設計では、地震後の残留変位に対して十分な配慮が必要である。そこで、著者らは、1自由度系バイリニア型振動系に生じる残留変位を「残留変位応答スペクトル」として扱うことを提案し、我国で観測された強震記録に基づいて解析を行ったので、その結果を報告する。

2. 解析概要

図-1は、解析モデルを示したものである。構造物を1自由度系バイリニア型振動系にモデル化し、バネの剛性比 r 、じん性率 μ 、残留変位応答スペクトル比 $r_{r\max}$ を次のように定義する。

$$r = \frac{k_2}{k_1} \quad (1)$$

$$\mu = \frac{u_{\max}}{u_y} \quad (2)$$

$$r_{r\max} = \frac{u_r}{u_{r\max}} \quad (3)$$

ここで、

k_1, k_2 : 1次剛性, 2次剛性

$u_{\max}$: 最大変位

u_y : 降伏変位

u_r : 地震後の残留変位

$u_{r\max}$: 可能最大残留変位であり、
次式で与えられる。

$$u_{r\max} = u_y(\mu - 1)(1 - r)$$

解析では、第一段階として、完全弾塑性型モデルを対象とするために剛性比 $r = 0$ とし、履歴減衰以外に逸散減衰として0.05の粘性減衰定数を考慮することとした。系の固有周期 T 及びじん性率 μ は表-1に示すように変化させた。このような系に対して、我国の地盤上で観測された194成分の強震記録(Ⅰ種地盤上の46記録, Ⅱ種地盤上の105記録, Ⅲ種地盤上の43記録)に対して、残留変位応答スペクトルを算出した。

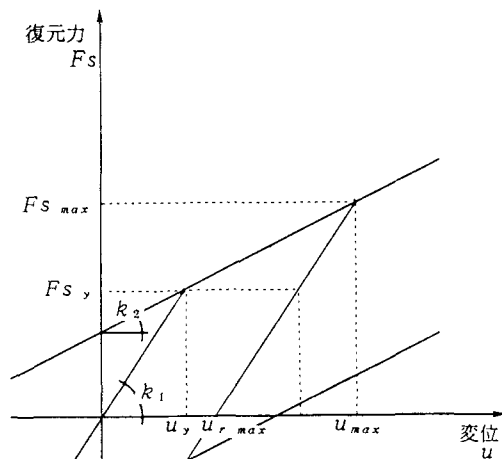
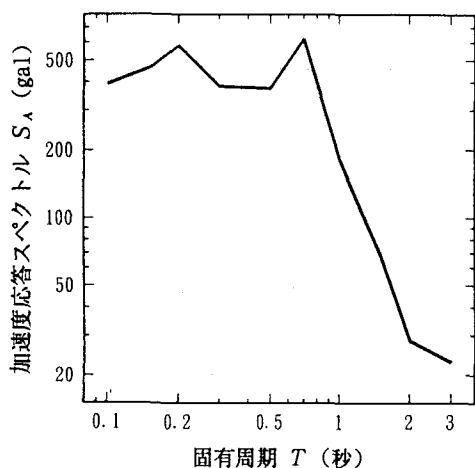


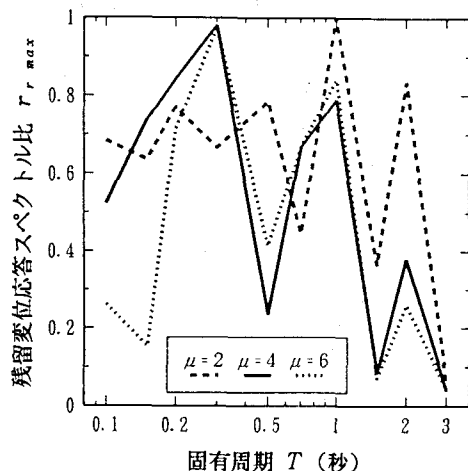
図-1 1自由度系バイリニア型振動系モデル

表-1 解析条件

固有周期 T	0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.5 0.7, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0
じん性率 μ	2, 4, 6



(a) 加速度応答スペクトル



(b) 残留変位応答スペクトル比

図-2 解析結果の例(1968年日向灘地震による板島橋記録)

3. 解析結果

図-2は、解析結果の一例として、1968年の日向灘地震において板島橋近傍地盤(Ⅱ種地盤)で観測された強震記録波形の加速度応答スペクトルと、同強震記録に対する残留変位応答スペクトル比 $r_{r,max}$ を示したものである。これより残留変位応答スペクトル比は、じん性率や、系の固有周期によって大きく異なることがわかる。このような性質は他の強震記録に対しても同様である。

図-3は、残留変位応答スペクトル比 $r_{r,max}$ を多数の強震記録に対して求め、これが地震のマグニチュード M 、震央距離 Δ に対して、どのような変化をするか示した一例である。これによれば、残留変位応答スペクトル比は、 M や Δ によって変化するが、これらの間には明確な関係は認められない。念のため、残留変位応答スペクトル比と M 及び Δ の相関を解析してみた。相関式としてはいろいろなものが考えられるが、ここでは距離減衰式としてよく用いられる次式を仮定した。

$$r_{r,max}(M, \Delta) = a \times 10^{bM} \times (\Delta + 30)^c \quad (4)$$

ここで、

M : 地震のマグニチュード

Δ : 震央距離(km)

a, b, c : 係数

表-2は重回帰分析結果を示したのものである。係数 b 及び c は非常に小さく、残留変位応答スペクトル比は、ほとんど M や Δ に依存しないこと、係数 b, c と固有周期の間には相関が認められないことがわかる。また、式(4)の重相関係数も極めて低い。

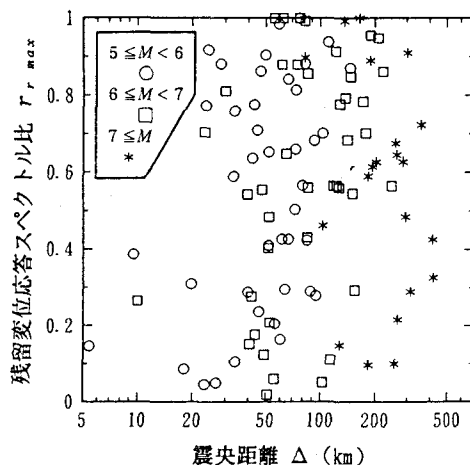


図-3 残留変位応答スペクトルのマグニチュード M 及び震央距離 Δ の依存性
($T = 1.0$ 秒, Ⅱ種地盤の記録, $\mu = 4$)

表-2 式(4)を用いた重回帰分析結果(Ⅱ種地盤記録)

固有周期 T (秒)	係数 a	係数 b	係数 c	重相関 係数 R	標準誤差 σ
0.1	0.212	0.069	-0.001	0.169	0.302
0.15	0.381	0.029	0.007	0.072	0.317
0.2	0.302	-0.039	0.188	0.078	0.427
0.3	0.996	-0.036	-0.039	0.094	0.370
0.5	0.961	-0.002	-0.178	0.107	0.431
0.7	0.550	-0.151	0.404	0.191	0.418
1	0.144	-0.054	0.401	0.215	0.356
1.5	1.206	-0.095	0.094	0.158	0.352
2	0.214	0.039	0.022	0.074	0.458
3	0.272	-0.158	0.581	0.250	0.402

そこで、残留変位応答スペクトル比を各地盤種別、系の固有周期ごとに平均した結果が図-4である。これによれば、残留変位応答スペクトル比は、じん性率によらずほぼ一定となる。これは、じん性率 μ の影響が可能最大残留変位に含まれているためである。なお、このような傾向は、地盤条件や系の固有周期にあまりよらない。全解析条件に対する残留変位応答スペクトル比の平均は0.61である。

ただし、図-3に示す残留変位応答スペクトル比は強震記録により大きなばらつきがある。そこで標準偏差を算定すると、図-5に示す結果が得られた。標準偏差の平均は0.30である。

4. まとめ

バイリニア型振動系に生じる残留変位を、残留変位応答スペクトルとして設計に取り入れられるように提案するとともに、我国で観測された多数の強震記録に基づいて、残留変位応答スペクトルの解析を行った。この結果、残留変位応答スペクトル比は、じん性率、地震のマグニチュードや震央距離、地盤条件によって有意に変化せず、全記録に対する平均値は0.6程度、標準偏差は0.3程度となった。したがって、もし平均値に標準偏差の1倍程度のばらつきを見込むとすれば、耐震設計では可能最大残留変位程度の残留変位が生じることを考えておかなければならないことになる。剛性比を変化させた場合の残留変位応答スペクトルについては、別の機会に報告したい。

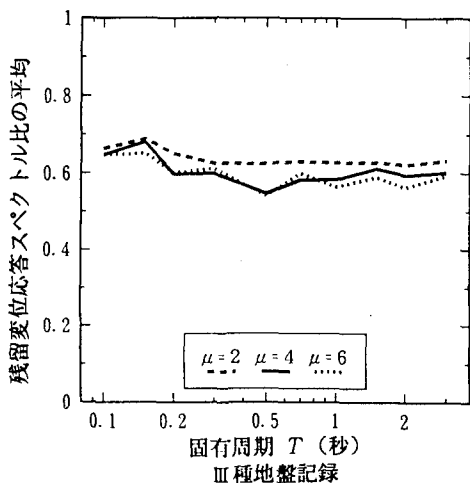
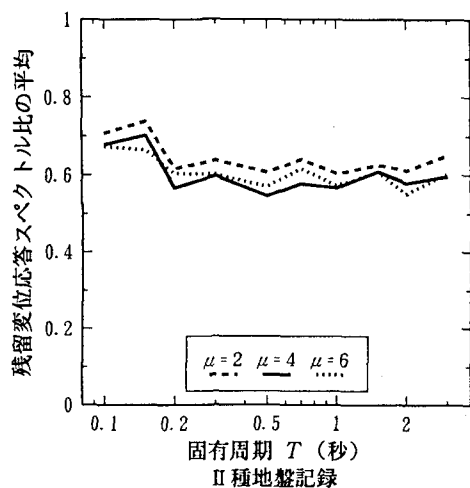
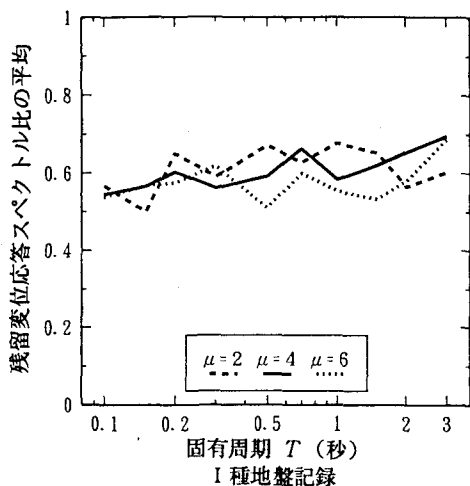


図-4 全強震記録に対する
残留変位応答スペクトル比の平均

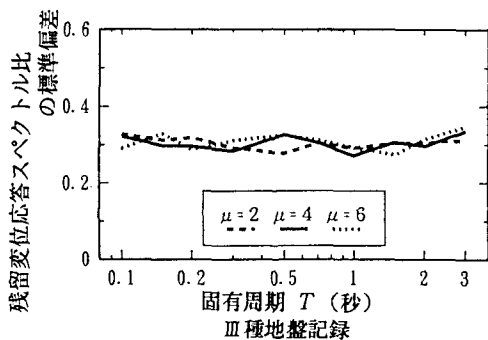
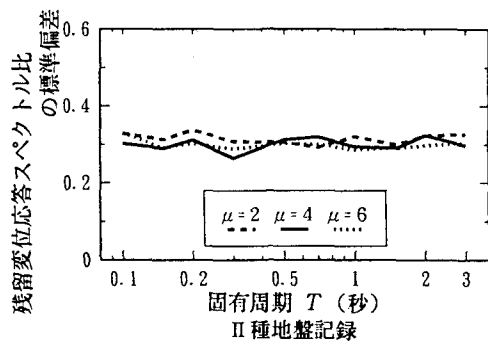
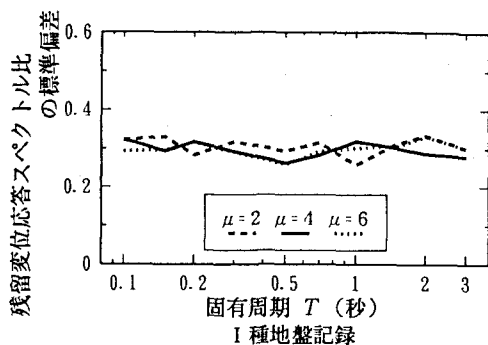


図-5 残留変位応答スペクトル比の標準偏差

〈連絡先〉

建設省土木研究所地震防災部耐震研究室

〒305 茨城県つくば市大字旭1番地
TEL 0298-64-2211(内線446)