

I-84 1 質点系の非線型地震応答に関する研究

東京都立大学工学部 正会員 奥田秋夫
同 正会員 国井隆弘

1. まえがき

本研究は *bi-linear* 型の復元力特性を持った 1 質点系の非線型地震応答について、地震応答スペクトルの如く周期をパラメーターにして、応答量の絶対最大値を検討したもののだが、本研究に関してはこれまで粘性減衰が作用しない場合について報告してきており、^{1), 2)} 本報告では粘性減衰が作用している場合について若干検討した結果を記した。本研究は加速度、速度、変位の各応答のうち変位応答に注目して、*bi-linear* 型特性をその最も線型に近いものから完全塑性型に近いものまで変化させることにより、また線型限界の値を線型応答量の最大値を規準にしてパラメーターとして与えることにより、解析を試みているが、これらの解析手段の立脚点については前報告²⁾で詳述してあるのでここでは割愛して、解析法を記すにとどめた。

2. 解析方法

2-1 地震波・応答スペクトル・周期

対象とした地震波は Taft, Calif. 1952 N21°W の加速度記録の最初の 20 秒間であり、最大加速度が 200 gal. になるように拡大されたものだが、この変位応答スペクトルが(線型)図-1に示されている。

図-1では 0.1 秒から 10 秒まで約 100 個の周期が選ばれて描かれているが、前に報告した如く²⁾、非線型応答は応答スペクトルの代表的な(山)と(谷)に注目するのが便利であるので、本報告では図-1および表-1に示したような 10 個の周期を選びこれらに注目して解析を試みた。

2-2 粘性減衰

解析に用いられた粘性減衰定数(η)は五種類で、その値は表-2に示されている。またこれらの粘性減衰によって線型応答変位が減少する様子が図-2(次頁)に示されている。なお図-2の縦軸 $|x_{el}|_{max}$ は線型応答変位 x_{el} の絶対最大値を意味している。

表-2 粘性減衰定数 η

η	0.0	0.01	0.02	0.05	0.10
--------	-----	------	------	------	------

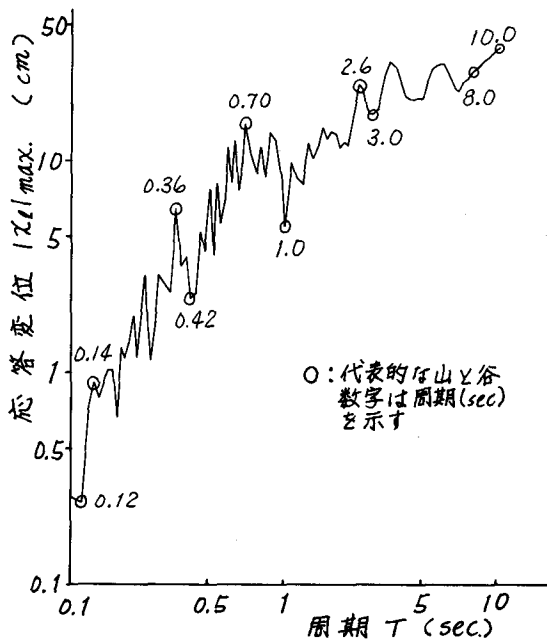


図-1 変位応答スペクトル (Taft, $h=0$)

表-1 代表的な周期およびその記号 (sec)

	(山)	(谷)
非常に短い周期	0.14 O	0.12 ●
比較的短い周期	0.36 Δ	0.42 ▲
1秒付近の周期	0.70 ▽	1.0 ▼
比較的長い周期	2.6 □	3.0 ■
非常に長い周期 (山と谷がない)	8.0 ●	10.0 ■

2-3 復元力特性(パラメータ A, n)

本研究は図-3のような bi-linear 型の復元力特性を扱っているが、この特性を決定する要素として A と n とをパラメータに選んだ。いま線型応答変位の絶対最大値を $|x_l|_{max.}$ とすれば、線型限界変位 x_y はパラメータ n を用いて次式で与えられる。

$$x_y = \pm n \cdot |x_l|_{max.} \quad (1)$$

次に図-3で線型部分の傾きを a とすれば、非線型部分の傾き b はパラメータ A を用いて次式で与えられる。

$$b = A \cdot a \quad (2)$$

本研究ではこのようにして定義された A と n とをパラメータにして応答解析を行うが、ここで注意しなければならないことは、パラメータ n が全種の粘性減衰定数 h をもった応答に対して共通であるため、 x_y の値は各々の h の場合ごとに異なった値となることであると思われる。

なお応答の計算方法は文献(8)に詳述してあるので省略する。

3. 応答特性

3-1 n の変化に対する応答特性

図-4, 5, 6, 7, 8 はパラメータ n を 1.0 から 0.4 まで変化させたときの応答特性を表わすが、各図の縦軸の R_h は次式で定義している。

$$R_h = |x_l|_{max.} / |x_l|_{max.} \quad (3)$$

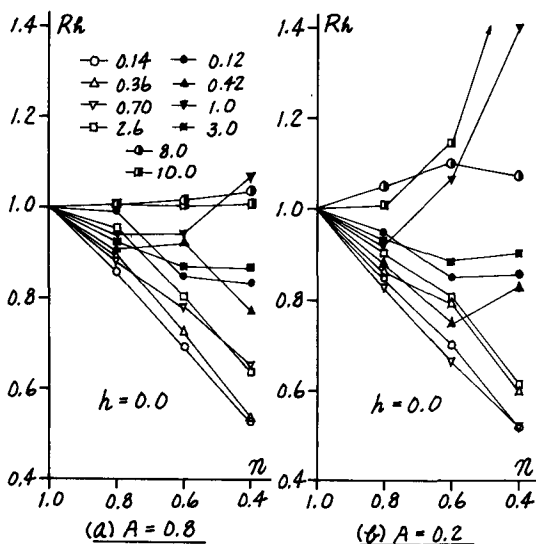


図-4 R_h - n 関係 ($h=0.0$)

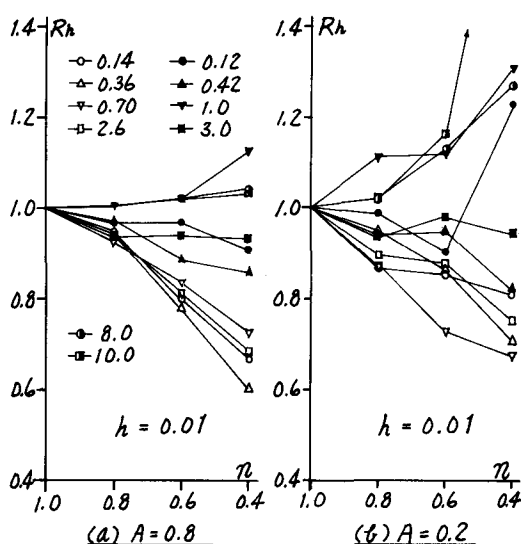


図-5 R_h - n 関係 ($h=0.01$)

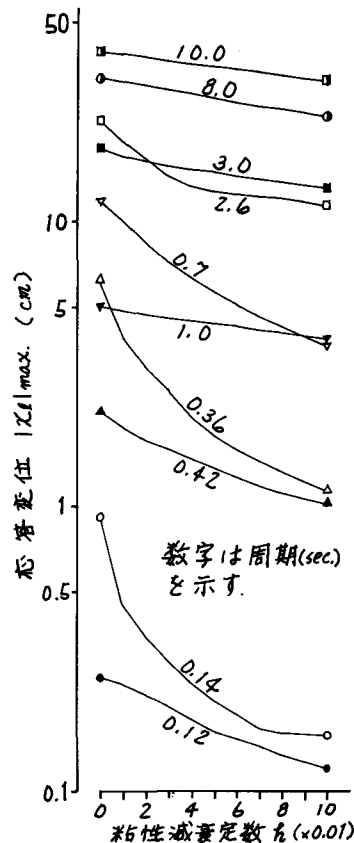


図-2 粘性減衰による線型応答の低下

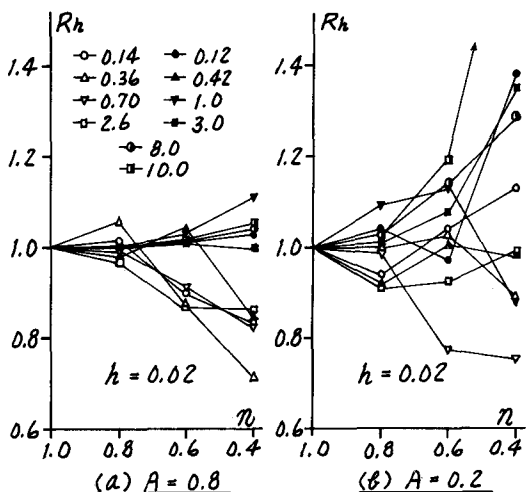


図-6 R_h - n 関係 ($h=0.02$)

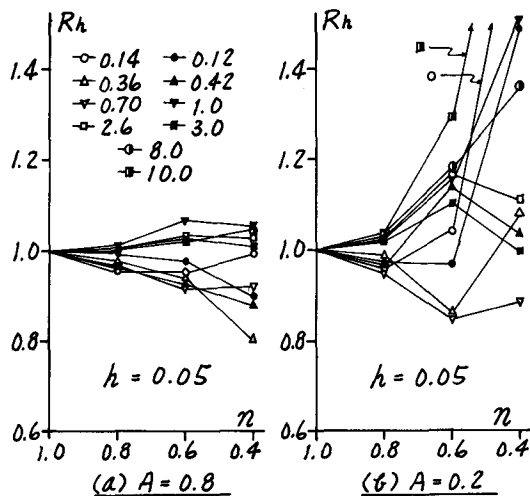


図-7 R_h - n 関係 ($h=0.05$)

ここで $|x|_{max.}$ は応答変位の絶対最大値で $|x_e|_{max.}$ は2-3で定義されている。この R_h が $R_h > 1$ を示すときは非線型応答が線型応答を上まわる変位となったことを意味しており、また $R_h < 1$ のときは逆の意味で、非線型応答が減衰的な効果を持ったものと考えられる。なお図-4~8で図内の記号とその数字は周期を意味するが、これらについては2-1および表-1を参照されたい。

図-4~8で充分とは思えないがこれらを観察すると以下に述べるa)~d)の応答特性が推測される。
a) 全般的にみて n が大きい程、 R_h は大きくなる。このことは粘性減衰作用によって非線型応答が持つ減衰効果弱まることを意味すると思われる。

b) n が大きくなるにつれて n の変化に伴う各々の

周期の R_h のばらつきが、 $A=0.8$ の場合は小さくなるが、 $A=0.2$ では逆に大きくなる。このため、 n が大きくなると、 $A=0.2$ では応答の傾向がつかみにくくなる。

c) 上述のb)をさらに詳しく検討すると、 $n=0.0, 0.01$ においては(山)と(谷)の応答が分離できる程異った傾向を示していて、(山)の応答は $R_h < 1$ の傾向を持つが、 $h=0.02, 0.05, 0.10$ においては、(山)と(谷)の応答傾向は明確に区別することができなくなり、(山)の応答が $R_h > 1$ を示す場合もいく例がみられる。

d) n が大きくなる ^{$A=0.2$ では}と $R_h > 1$ を示す周期が多くなるが、この場合の n の減少に伴う R_h の増加の度合^いは n が大きくなる程急激になる傾向がうかがえる。このことから、粘性減衰の作用が大きくなるにつれて、線型限界が小さい程、すなわち非線型応答が生じやすい場合程、そして非線型状態における変形に対する抵抗力が小さい程 ($A=0.2$)、応答変位が増大する傾向を持つことがうかがわれる。

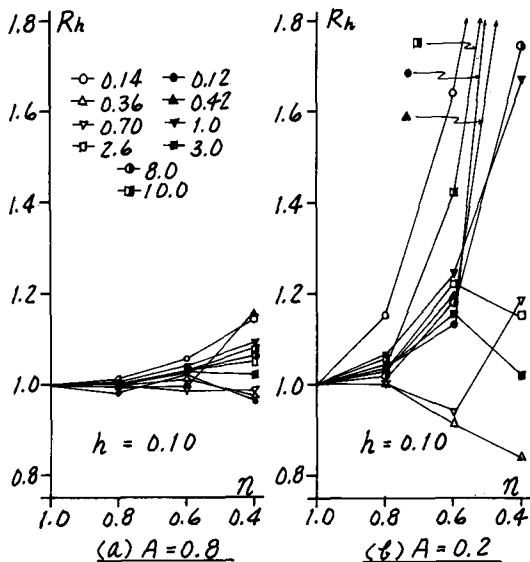


図-8 R_h - n 関係 ($h=0.10$)

3-2 Aの変化に対する応答特性

パラメータAは図-3および式(2)で定義されている。本研究で考えたAの値の範囲は1.0から0.2までであるが、応答の過程で描かれる履歴ループの面積は、一般にはAの値が小さくなるほど大きくなり、このことに対応して非線型応答が持つ減衰効果が大きくなっていくことが予想されるが、前に報告した如く²⁾、粘性減衰が無い場合のこの効果は条件 $A < 0.8 \sim 0.7$ に対しては必ずしも期待できないようである。図-9は粘性減衰($\eta=0.05$)が作用する

場合の R_h -Aの関係を求めたものだが($\eta=0.6$)、 $h=0.05$ の R_h の値は $h=0.0$ の値を上まわることが多く、また $\eta=0.05$ の R_h は(山)も(谷)も $h=0.0$ の(谷)の応答に近い値をとり、Aの変化にともなう R_h の変動には $h=0.0$ の場合のような明らかな傾向が見出せないようである。

3-3 η の変化に対する応答特性

これまで3-1, 3-2で η の値の変化に対する応答特性について R_h を用いて図示してきたが、この表示方法では、 η の増加に伴う線型限界 z_y の減少の様子がつかみにくいので、ここでは R_h の代わりに応答変位 $|x|_{max}$ を用いて、これまで大きな R_h および小さな R_h を示してきた代表的な周期として $T=1.0$ と $T=0.7$ を選び検討する。図-10は $|x|_{max}$, $|x_L|_{max}$, z_y を1つの図内に同時に図示したもののだが、この図から $\eta=0.6$ では線型応答と非線型応答との差は対数目盛上ではそれほど大きくはなく、また $\eta=0.0$ の場合を除くと、この両者の差は η の変化によって大きくは変動しないことが観察できる。

4 おすび

本研究は粘性減衰作用が非線型応答に及ぼす影響を検討したもののだが、本研究で行われた解析手段から得られた結果として次に記す事項が明らかにされたと考えられる。

- (1) 非線型応答が持つ減衰の効果($R_h < 1$ の場合)は粘性減衰の作用によって一般には弱められる。
- (2) 線型応答を非線型応答が上まわる($R_h > 1$)傾向は粘性減衰の作用によってさらに高められる。
- (3) 粘性減衰定数 η が0.01から0.10まで変化することによる応答の特性はA, η と無関係ではない。

これらの結果はさらに多くの計算結果を用いて検討する予定であり、また応答変位-時間曲線を描くことにより解析される予定である。最後にこれらの計算の一部は田中悟朗氏(神戸製鋼所、構造研究所)のご助力により行われたものでここに厚く感謝いたします。《参考文献》1) 国井：非線型復元力特性を持つ構造物の地震応答，土木学会 第25回 秋季学術講演会 1970 2) 国井：Bilinear復元力特性を持つ構造物の地震応答，土木学会論文報告集 No.184 1971-4

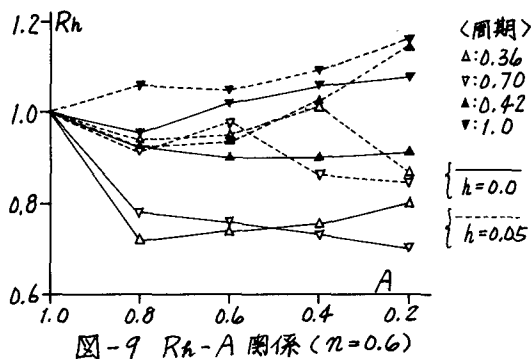


図-9 R_h -A 関係 ($\eta=0.6$)

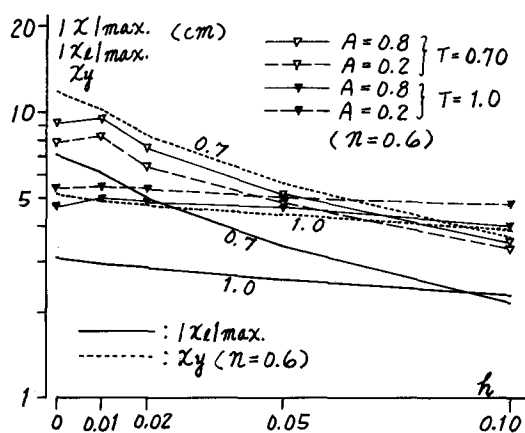


図-10 $|x|_{max}$ と $|x_L|_{max}$ および z_y の関係