

非線型応答が示す減衰的效果について

東京都立大学工学部 正会員 国井隆弘

1. まえがき

復元力が非線型性を示す非線型応答においては、応答量は一般に低下する傾向があるといわれ、この効果が等価粘性減衰を用いて論じられる場合もある。しかしながら不規則波を入力地震波と考える場合、この効果が①対象とした構造物の周期と地震波の周期特性、②復元力特性、③粘性減衰の作用に大きく影響を受けることを、これまで *bi-linear* 特性を持つ1質点系の絶対最大応答値に注目することから述べてきた。^{1) 2)} 本報告では①に関しては代表的な周期を述べ、②に関しては線型に近いものと完全弾塑性に近い二種の *bi-linear* 特性を述べ、③に関しては粘性減衰定数 $\eta = 0.0$ と $\eta = 0.02$ の二種を述べ、「応答-時間」曲線の連続したピークをプロットすることにより、応答過程での最大応答量の発生の経過を解析して、非線型応答が示す減衰的效果を追跡しようとしている。なお、この効果を調べるには応答変位を扱うのが適切であると考えられるため¹⁾ 本報告では変位を扱っている。

2. 解析方法

対象とした入力波は Taft, Calif, 1952 N21°W の加速度記録のうち 3~20 秒の 17 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であり、この変位応答スペクトルが図-1 に示されている。ここで前に報告した如く¹⁾ 非線型応答は応答スペクトルの代表的な(山)と(谷)で明らかにその性質を分けて解析できるため、本報告では代表的な(山)と(谷)の周期として、比較的短い周期について 0.36 と 0.42 秒を、1 秒付近の周期として 0.7 と 1.0 秒を、比較的長い周期として 2.6 と 2.2 秒を述べることとした。

次に復元力特性が応答に与える影響は小さくないと考えられるため、本報告では表-1 に示すごとく三種の場合を考えて解析することとした。ここでパラメーター A と η は次の如く定義される。

$$A = a/b, \quad \eta = |x_y|/|x_{elmax}| \quad (1)$$

式中、 a , b は *bi-linear* 特性の直線の傾きで図-2 で示される。 $|x_y|$ は線型限界の変位であり、 $|x_{elmax}|$ は線型応答をおこなった場合の最大応答変位である。

3. 減衰的效果

図-3 へ図-4 に示したのは $\eta = 0.0$ と $\eta = 0.02$ の場合の応答波形のピークを結んだものであり、ここでは同時に x_p の変化も示されている。縦軸 α , β はそれぞれ $\alpha = x/|x_{elmax}|$, $\beta = x_p/|x_{elmax}|$ (2) で定義される。図-2 から変位 x は $x = x_{ep} + x_p$ (3)

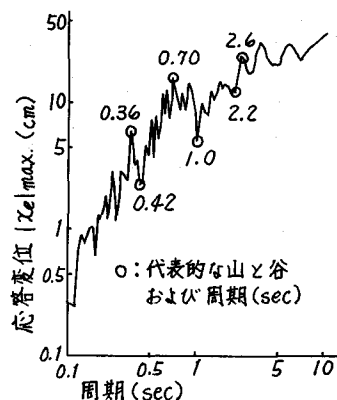


図-1 変位応答スペクトル (Taft, $h=0.0$)

表-1

——	$A = 1.0$ $\eta = 1.0$	linear
-----	$A = 0.6$ $\eta = 0.6$	non-linear
.....	$A = 0.2$ $\eta = 0.2$	non-linear

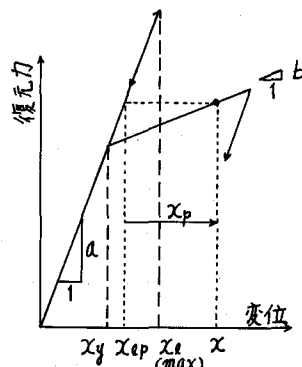


図-2 復元力特性

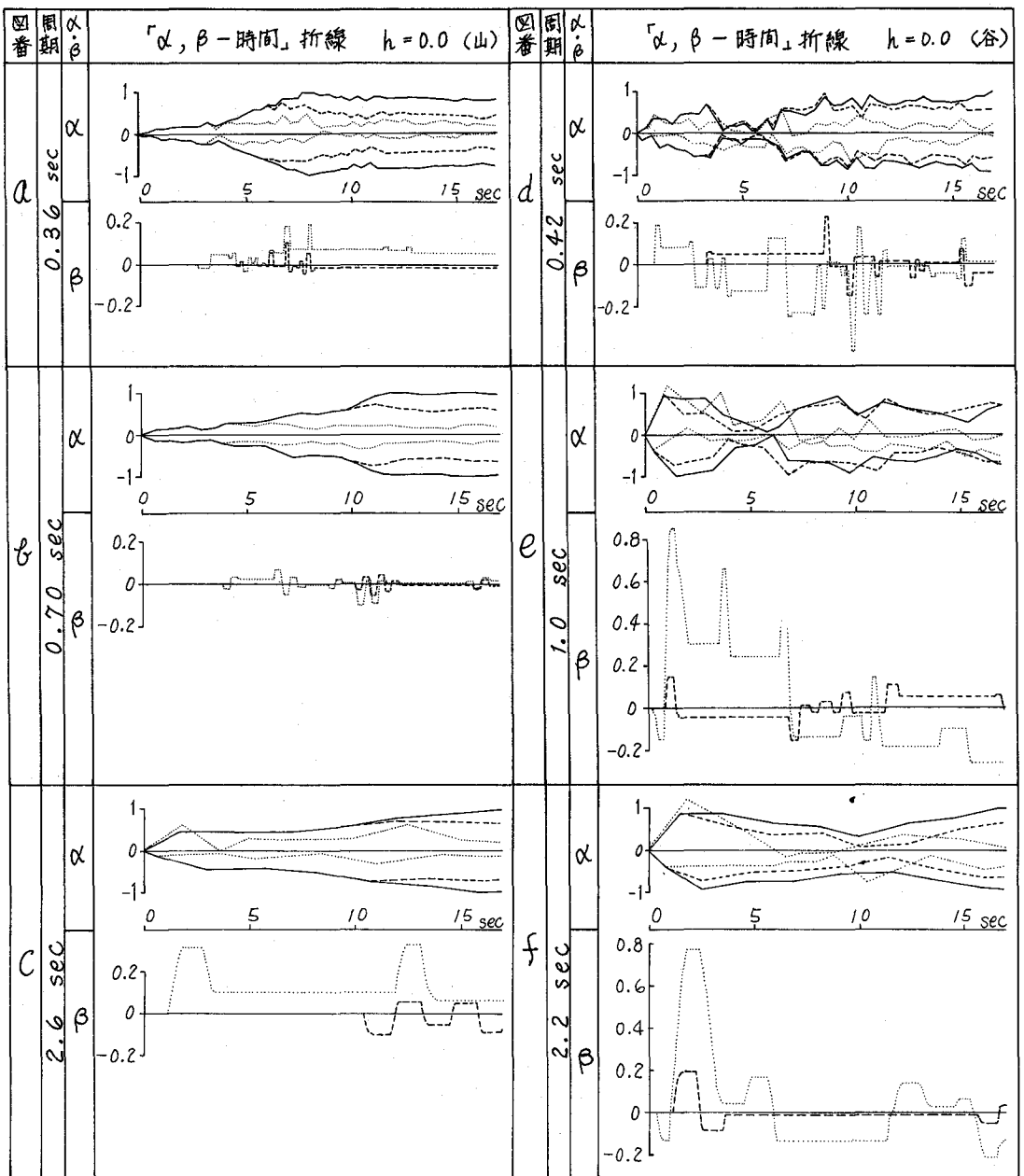


図-3, a~f 応答変位波のヒ-7の結線(α), および 変位の非線型部分の時間変化図(β) $h=0.0$

で与えられる。ここで x_{ep} は変位の線型的部分であり復元力と線型関係にある。 x_p は変位の非線型の部分であり復元力とは関係なく、履歴ループの面積およびループの形成の度合いをはかる尺度となる。図-3~図-4の実線、破線、点線の種別は表-1に示したとおりである。

(イ) 周期の長短および(山),(谷)が示す応答特性

粘性減衰がない場合(図-3),全体的にみて線型応答においては応答の最大値が生じる経過から判別して二つのグループに大別できる。その1つは応答が時間の増加とともに常に漸増するか、あるいは、ある

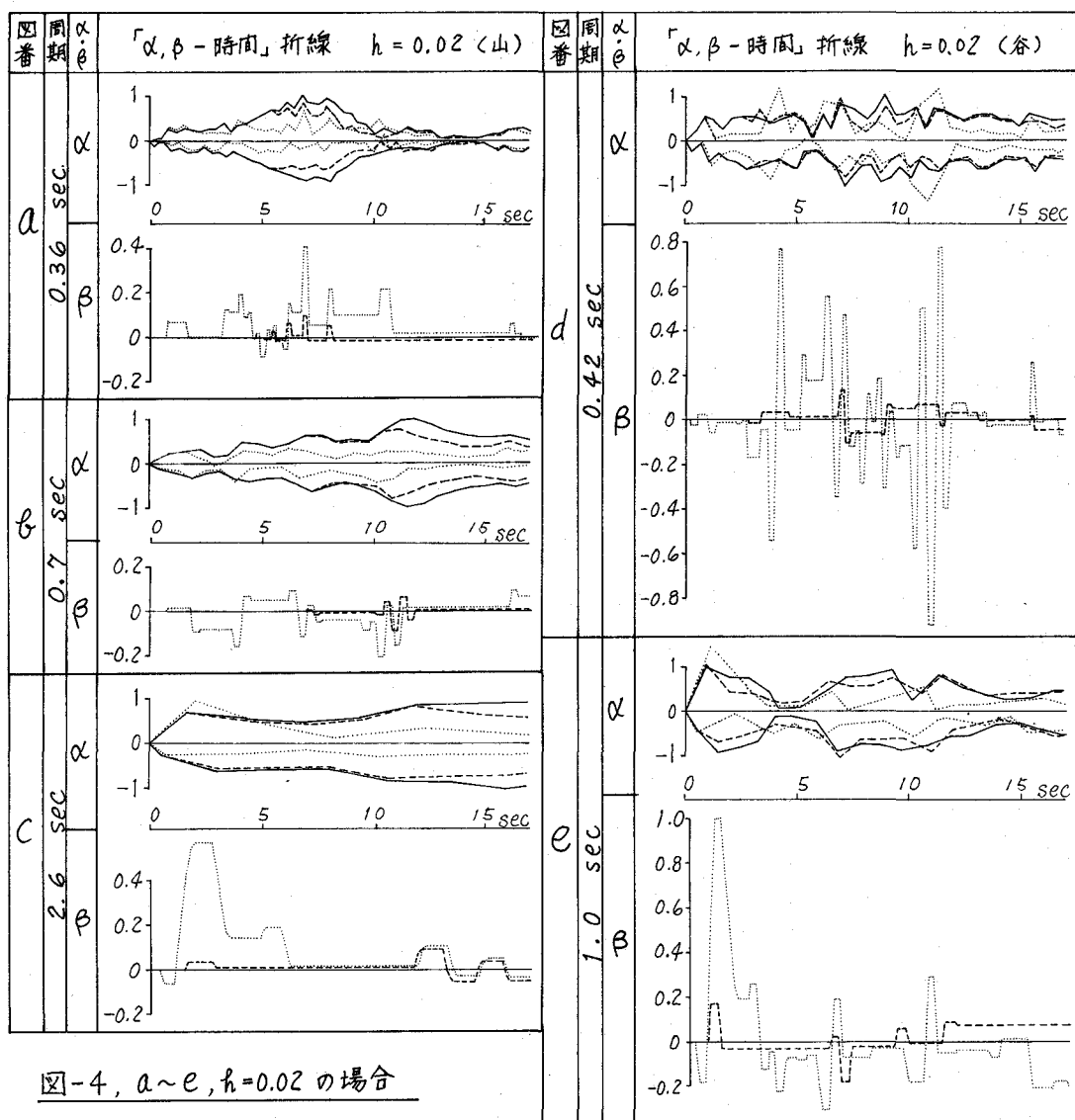


図-4, a~e, $h=0.02$ の場合

時間まで漸増して最大値に達して以後は一定量を保つグループで、(山)では図-3, a, c, c に、(谷)では図-3, d にみられる(漸増タイプと名付ける)。他の1つは応答が短時間で最大値に達して以後増減するグループで、(谷)の図-3, e, f にみられる(急増タイプと名付ける)。漸増タイプが粘性減衰を持つと、一定量を保つ区間は漸減するが(図-3, a と図-4, a の8~17秒間および図-3, c と図-4, c の11~17秒間)、同タイプでも粘性減衰の影響で急増タイプに近くなることがある(図-4, c, d)。全体的な傾向として、漸増タイプでは非線型応答が線型応答を下まわる傾向が強く、急増タイプではこの傾向がみられず特に最大ピーク値は逆の傾向となる。

以上のことから、さきに報告した^{1) 2)} 非線型応答の減衰的效果は一般に短周期および(山)の周期で生じ、粘性減衰が作用すると長周期の(山)および短周期の(谷)でこの効果が失われる — 等の傾向がこれらの漸増タイプおよび急増タイプで説明されるものと考えられる。即ち、漸増タイプでは共振的な作用で(山)を作り、非線型応答はこの(山)をけずる役割を持ち、急増タイプでは応答倍率が低く共振的な作用

で(山)を持つことができず、減衰的效果が生じないばかりでなく、逆に非線型性の故に変位に対する抵抗力が弱くなることから線型応答よりも大きな応答を示すことになる。

(ロ) 履歴ループについて

復元力特性が示す履歴ループの面積がエネルギー量を示し減衰的效果を作り出す原因となることは当然予想されることである。図-3,4に示した「 β -時間」関係は履歴ループが応答過程でどのように描かれていくかを表わすもので、閉じたループを定常的に描く状態の典型的な例は図-3, Cの破線の10~17秒に示される形態であると考えられる。

図-3,4が示す如く応答が非線型の状態に入ってから常にループが定常的に描かれ続ける例はほとんどみられない。また β は時間の経過とともに残留変位の形で変化する場合が多く、 β が固有周期に相当して、即ち応答波形のサイクルごとに変化している

時間は応答時間の全体に比べて少ない。しかしながら、漸増タイプでは短時間ではあるが定常的に応答波のサイクルに合わせて履歴ループを描いている場合があり、しかもこの時間に応答振幅が減少して結果的に減衰效果が示される場合もある。(図-3,4のaで4~7秒, bで10~12秒また図-3, Cの破線の10~17秒) また急増タイプでも同様に定常的なループを描くにもかかわらず線型応答よりも大きな応答を示し、減衰的效果がみられない場合もある。(図-4, dの点線)

(ハ) 復元力特性について

(イ)で述べた漸増タイプと急増タイプの示す応答傾向の差は、復元力特性が線型に近いものから完全弾塑性に近くなるにつれて、また線型限界が相対的に小さくなるにつれて助長されるようである。即ち漸増タイプでは一般に点線のオが破線より小さい応答を示し(図-3, a, cおよび図-4, a, c), 急増タイプでは(イ)で述べた非線型性による振幅の増加が点線で特に目立つ。(図-3, e, f および 図-4, e, f)

4. むすび

本報告では実録地震波形を入力として用い、bi-linear型復元力特性に関する非線型応答を解析したが、この結果、非線型応答が示す減衰的效果について次に述べる事が明らかにされたと考えられる。

- 1) 応答が示す動的な効果、即ち応答倍率が非線型応答で減衰していくと思われる。
- 2) 履歴ループの面積から考えられる減衰的效果を等価粘性減衰として常に応答に作用させることには若干の問題が残ると思われる。

おわりに、数多くのご助言をいただいた明星大学理工学部 奥田秋夫教授に厚くお礼申し上げます。

参考文献 1) 「Bi-linear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.188, 1971.

2) 奥田・国井「1復元系の非線型地震応答に関する研究」土木学会第26回年次学術講演会 1971

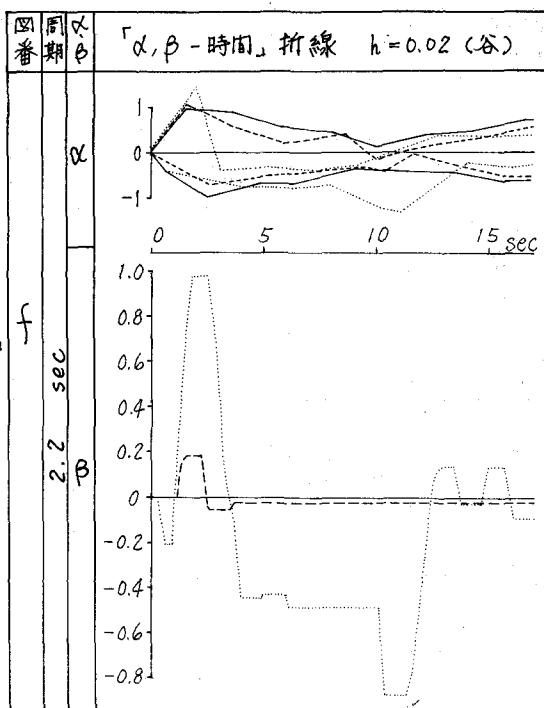


図-4, $f, h = 0.02$ の場合