

1. まえがき

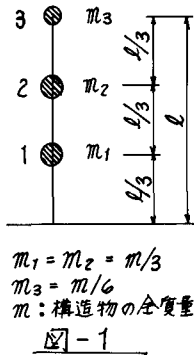
地震を受ける構造物においては、一般には1次振動の応答が支配的であり特別な場合を除いては2次以上の高次振動の影響は少ないと考えられる。このため応答の最大の概略値は与えられる地震の応答スペクトルを描いておけば簡単に得ることができ、また高次振動をも含んだ応答の最大値は root mean square 法などを用いて近似的に得ることができ、しかしながら、これらは線型応答を求める場合によく言われることであり、復元力が非線型性を示すような非線型応答の場合にも同様の考え方で高次振動を評価することについては、その理論的背景を非線型応答に関して明らかにすることが困難なことから、簡単にはその是非が論じられない気がする。しかももし復元力特性が曲げモーメントに支配される回転バネの形式で与えられるならば、曲げモーメントが変位に比べて一般に高次振動の影響を受け易いことからこのような系の非線型応答は1自由度が示す非線型応答よりも高次振動により多く影響を受けることが予想される。

本研究は固定端において非線型の回転バネを有するような構造物と3質点系の簡単な場合について2次,3次の高次振動の影響を考慮したときと無視したときの両者の非線型応答変位を比較検討したものである。このような問題はこれまで何々に具体的に扱われた構造物に対しては数多く検討されているとは考えられるが、本研究は Taft. Calif. 1952 N 21°W の最初の14秒間の実録波を 200 gal. の最大加速度に拡大して入力波として、応答を応答スペクトル的に表示し、構造物の周期を一般的に扱ったものである。なお、応答におよぼす粘性減衰は無視して解析した。

2. 解析方法

(a) 振動モデル

本報告で用いられる振動モデルは図-1に示される如く単純なる質点系である。系の持つ固有周期は、質点の質量、系の剛性、系の寸法などから決定されるがここでは系の剛性は長手方向に一定な曲げ剛性で与えられるとした。



(b) 周期

図-1の系の固有周期は1次を $T_1$ とすれば2次と3次はそれぞれ  $T_2 = 0.179 T_1$ ,  $T_3 = 0.0705 T_1$  となる。

このような系の自由端の変位応答の絶対最大値を $T_1$ のもとにプロットしたのが図-2である。図-2で選ばれた周期は応答スペクトルが示す代表的な山と谷の周期であり<sup>1)</sup>、本報告ではこれらの周期の示す応答変位に注目して解析をおこなうこととした。

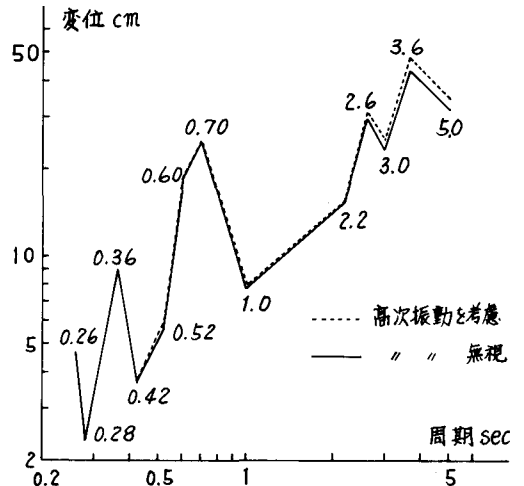


図-2 代表的な山と谷の周期と絶対最大応答変位  
Taft. max. 200gal.

(c) 復元力特性

本報告でとり上げた復元力特性は次に述べるような場合である。いま構造物の固定端に曲げモーメント  $M$  が生じたとする。  $M$  がある限界値  $\pm M_y$  を越えないうちは、構造物は線型応答をおこない固定端には回転が生じない。次に  $M$  が  $\pm M_y$  を越えた場合には、固定端は固定条件を保てなくなり  $M \pm M_y$  の値に対応して回転を生じるようになる。そして、  $M$  がこの状態で減少し始めると、回転角はこの時の値を保ちつづけて結果的にこれらのくり返しは履歴を示すようになる。

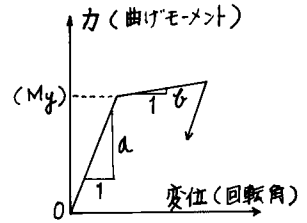


図-3 復元力特性

このような特性が実際の構造物の条件にもっともよく適合するものとして本報告では取り扱ったわけではなく、たとえば、地盤の横方向支持力が構造物の変位量の増加ともなっていて低下する場合、等が近似的にこのような特性で表現される場合を想定して取り扱ったもので、これらの考え方については諸兄のご批判を受けるとともに是非ご指導をたまわりたい。

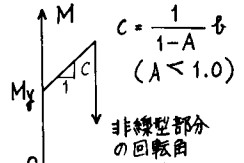


図-4 非線型の回転角

たとえば、構造物が示す力と変位の関係が図-3の如く得られたとすれば、この関係は以前報告した解法によれば<sup>2)</sup> 同図で曲げモーメントと回転角の関係に近似的には相似して表わし得る。このときの非線型部分の回転角(残留回転角に相当する)は曲げモーメントと図-4の関係にある。

(d) 解析に用いられたパラメーター

図-3で線型と非線型部分の直線の傾きをそれぞれ  $a, c$  とすれば、パラメーター  $A$  は

$$A = c/a \quad \dots (1)$$

で与えられる。次に周期  $T_1$  が線型応答で最大曲げモーメントの絶対値  $M_{e \max}$  を生じたとすると

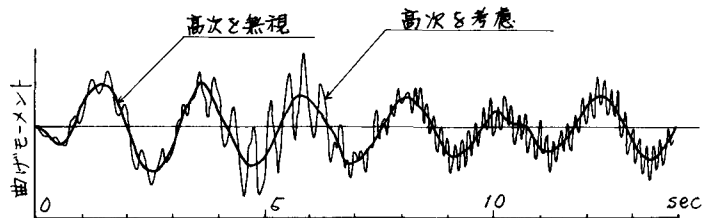


図-5 応答曲げモーメントの例,  $T_1=2.2, \text{Linear}$

この  $T_1$  の限界曲げモーメント  $\pm M_y$  はパラメーター  $n$  で  $n = M_y / M_{e \max}$  で表わせるとする。本報告では  $A$  と  $n$  とともに  $1.0$  から  $0.2$  まで  $0.2$  きざみで与え、これらの変化にもなう高次振動の影響を解析したものである。なお、曲げモーメントが示す高次振動の影響は一般には図-5のように与えられ、  $M_{e \max}$  の値は高次を考慮した場合と無視した場合とで異なるが、ここでは高次を無視した場合にもとづいて与え  $n$  を決定した。

3. 応答変位の絶対最大値の比較

図-6, 図-7はパラメーター  $A$  と  $n$  の種々の値に対して自由端変位の絶対最大値を、高次振動を考慮した場合と無視した場合について描いたものである。図-6は bi-linear が線型に近い場合 ( $A=0.8$ ) と完全弾塑性に近い場合 ( $A=0.2$ ) について、  $n$  の値を変化させた場合の応答傾向を調べたもので図は代表的な山と谷の応答に分けて描かれている。図-7は同様に線型限界があまり小さい場合 ( $n=0.8$ ) と非常に小さい場合 ( $n=0.2$ ) について、  $A$  の値を変化させた場合の応答傾向を調べたもの

表-1 図-6, 図-7の表示方法の説明

—	高次振動無視
----	高次振動考慮
図内の数字は周期を示す	

である。これらの図の表示方法の説明は表-1に示されている。

(a)  $\eta$  の変化にもなう高次振動の影響 (図-6)

A が 0.8 の場合 (図-6.a), 実線と破線との間に大きな差がみられない。しかしながら山の応答では長周期では  $\eta$  が 0.8~0.4 の範囲で高次振動が応答を低下させる傾向を示し、短周期では  $\eta=0.2$  において高次振動による応答の増加がうかがわれる。

一方谷の応答では  $T_1=0.28$  の  $\eta=0.2$  の場合をのぞいて高次振動の影響が明確ではないと思われる。

次に A が 0.2 の場合 (図-6.b), 山の応答では A=0.8 の場合の傾向が更に顕著となる。すなわち,  $T_1=3.6$  と 2.6 の長周期では  $\eta=0.2$  の場合を除いて破線が実線を大きく下まわり、高次振動の影響によって応答が低下したことを明らかに示している。

谷の応答では、わずかであるが全体的に破線が実線を上まわり、高次振動の影響で応答が増加していることを示している。またこの傾向は  $\eta$  が小さくなる程強まる。

以上から,  $\eta$  の変化にもなう高次振動の影響が, 高次振動によって応答が増加する場合と減少する場合の両方の傾向を与えることは明らかである。応答が増加する場合は大体  $\eta=0.2$  の場合, すなわち線型限界が相当小さい場合であり, 応答が減少する場合は長周期で地震波に共振的な周期にかざられ, 特に  $\eta=0.2$  を含まない  $\eta$  の範囲すなわち線型限界があまり小さい場合である。

(b) A の変化にもなう高次振動の影響 (図-7)

$\eta$  が 0.8 の場合 (図-7.a), 山の応答の長周期 ( $T_1=3.6, 2.6$ ) では破線が実線を大きく下まわっているのを除けば, 山の他の周期, 谷の全ての周期とも高次振動の影響による応答の増減の明らかな傾向はみられない。長周期にみられる高次振動の影響による応答の低下は, A の値が小さくなる程, すなわち bi-linear 特性が線型に近いものから完全弾塑性に近くなる程その傾向がわずかながら強

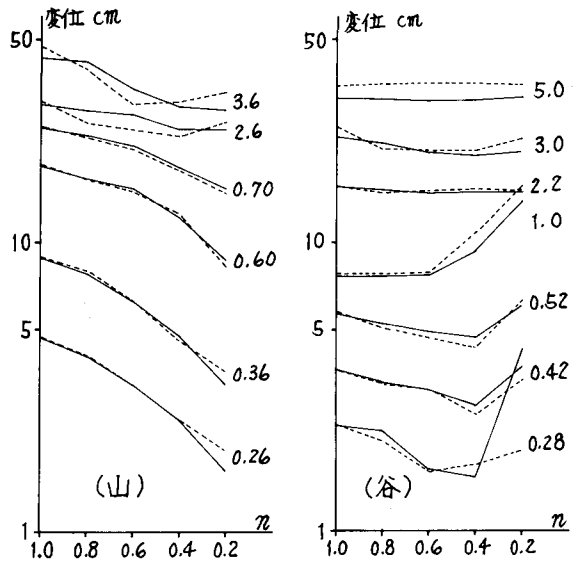


図-6.a A = 0.8

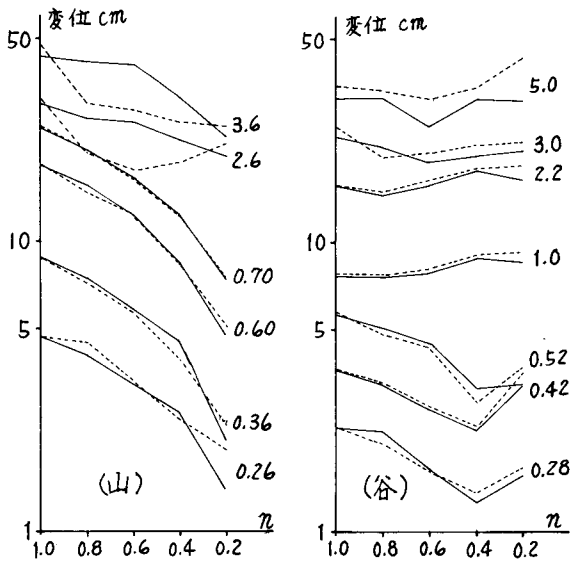


図-6.b A = 0.2

まる。

$\eta$ が0.2の場合(図-7.6),  $T=0.28$ の例外の他は全般的に山において谷においても破線が実線を上まわらうようである。特にこの傾向が強いのは、山の場合の短周期の $A=0.2$ の場合、また谷の場合の長周期である。

以上のことから、 $A$ の変化にともなう高次振動の影響は小さく、 $\eta$ の値の大小で決められるようである。

#### 4. むすび

本研究は単純な3質点系を扱い、この構造物の固定端がある限界曲げモーメント以上になると回転を生じるような場合を想定して、高次振動(2次と3次)を考慮した場合と無視した場合の応答変位を比較して、非線型応答に高次振動がおよぼす影響を検討したものである。

仮定した振動系や回転の系がこの目的のために一般性を持つかどうかには少なからず問題が残る、また、これらの仮定が十分に実際的であるかは非常に心もとない段階であるが、これらの解析結果から下記に述べる事項が得られたと考えられる。

(1)高次振動の影響は線型限界の大きさによって影響の大小が異なり、bi-linear特性が線型に近いが完全弾塑性に近いかに関してけあまりその効果を示さない。

(2)地震に共振的で1次周期が長い場合(3.6, 2.6 sec), 線型限界があまり小さくなければ( $m>0.2$ )高次振動の影響によって応答変位は減少する傾向がある。

(3)地震に共振的でない周期では、全般的に高次振動によって応答変位は増加するか増減しない。

(4)短周期(0.26, 0.36 sec)で地震に共振的な周期では高次振動によって応答変位が増加することがある。

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) 国井「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) 国井「非線型地震応答の近似計算法に関する基礎的研究」土木学会論文報告集 No.196, 1971

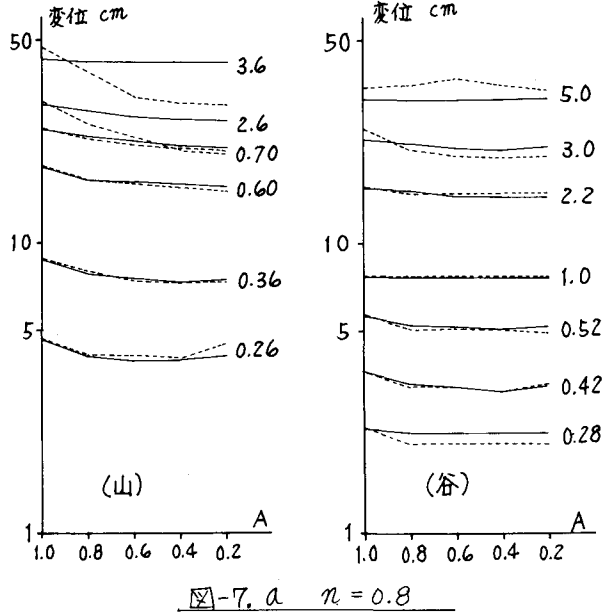


図-7.4  $\eta = 0.8$

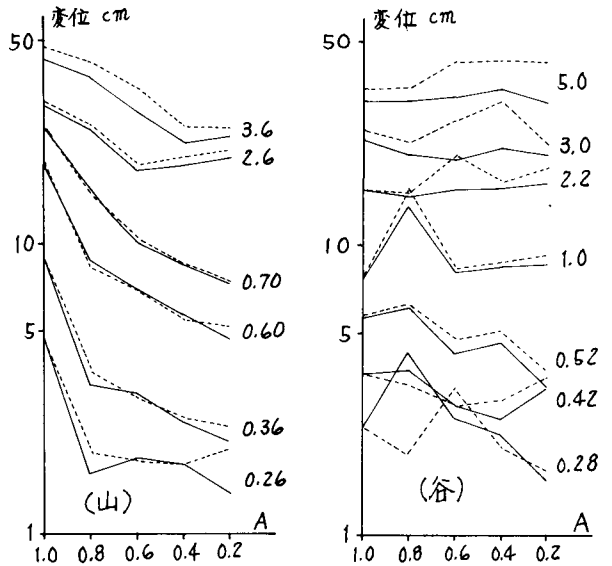


図-7.5  $\eta = 0.2$