

1. はじめに

構造物が地震動を受けて応答するとき、復元力特性が履歴ループをもった非線型性を有している場合と線型である場合との両方の応答を比較すると、前者の場合の方が小さな応答を示すと一般には言われている。この効果は非線型応答が示す減衰効果と解釈され<sup>1)</sup>、あるときには等価粘性減衰と呼ばれる。本研究は、この効果がある限られた条件のもとにおいてのみ現われるのでありこの条件以外では逆の効果も存在する可能性があるのではないかという考えにもとづいて、地震動と単純系の周波数関係および bi-linear 型の復元力特性の形態とパラメーターにして解析したものである。この効果を応答の絶対最大変位あるいは応答変位波形の観察から検討した報告<sup>1),3)</sup>に加えて、ここでは応答倍率について検討した結果を報告する。

2. 解析方法

解析は以下に記す制約のもとにおこなわれた。

- 1) 入力波形は Taft, Calif., 1952, N21'E の実録加速度波形の最初の 20 秒間である。
- 2) 応答変位を対象として<sup>1)</sup>、粘性減衰効果を見捨てる。
- 3) bi-linear 型の復元力特性を扱う。

パラメーターの 1 つである地震動と単純系の周波数関係は応答スペクトルの表示方法で処理するととして、他の 1 つのパラメーターである復元力特性の形態は以下に記す  $n$  および  $A$  をパラメーターにした。

$$n = \left| \frac{\text{線型限界変位(復元力)}}{\text{線型応答の最大応答変位(復元力)}} \right|$$

$$A = \frac{\text{「復元力-変位」図の非線型部分の直線の勾配}}{\text{「復元力-変位」図の線型部分の直線の勾配}}$$

3. 応答変位の絶対最大値からの検討

線型応答の応答スペクトルは図 1-a の如くなる。ここで入力の最大加速度は 1gal に修正してある。このスペクトルは数多くの山と谷を有しているがこの中の代表的な山と谷を結んだのが図 1-b の  $n=1$  の場合である。同図は  $A=0.5$  のときの非線型応答の絶対最大値を示すものだが、山と谷の周期の応答特性が全く異なる傾向を示すことを明示している。すなわち減衰効果は山の周期において大きく、谷の周期においては比較的短周期の場合を除いてはほとんど見られない。図示した如く山の周期の代表として  $T=0.7 \text{ sec}$ 、谷の周期の代表として  $T=1.0 \text{ sec}$  を選び以てこの 2 つの周期について解析する。

4. 応答波形からの検討

図 2 の折れ線は応答変位波形のピークを結んだものである。縦座標は線型応答記録の最大値を 1 あるいは  $n=1$  にしている。山に相当する  $T=0.7$  では  $t=4 \sim 11 \text{ sec}$  付近であたかも共振状態の如く線型応答が増加しており、非線型応答はこの増加を防止する役目を果していることがうかがわれる。そして  $t > 12 \text{ sec}$  では線型および非線型応答はともに自由振動状態であると思われる、したがってこのときは当然履歴ループが描かれない。

一方、谷に相当する  $T=1.0$  では線型応答が  $t=1 \sim 2 \text{ sec}$  および  $t=9 \text{ sec}$  付近で最大値を持つ。しかしながらこの

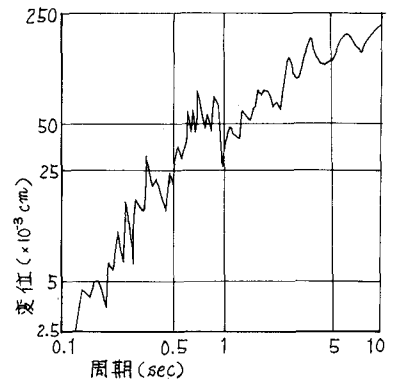


図 1-a 線型変位応答スペクトル

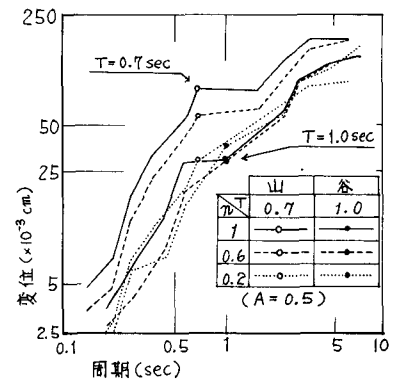


図 1-b 山と谷の非線型応答スペクトル

とき非線型応答は $T=0.7$ の如く最大値を減少させる効果を示さない。それでいまだ応答過程において幾つかの履歴ループを描いていると予想される。

以上の特性はその他の代表的な山と谷の周期においても同じく認められることが認められている。<sup>2)</sup> このことから、非線型応答が線型応答を下まわるのは線型応答が共振的なそして定常時な増加を示すときだけであり、非線型応答の減衰効果はいわゆる応答倍率をピークのところで低下させる役目を持つと考えられる。この考えをさらに発展させれば、ある程度粘性減衰を考慮した非線型応答が減衰効果を示す期待は相当薄いことが推定される。<sup>3)</sup>

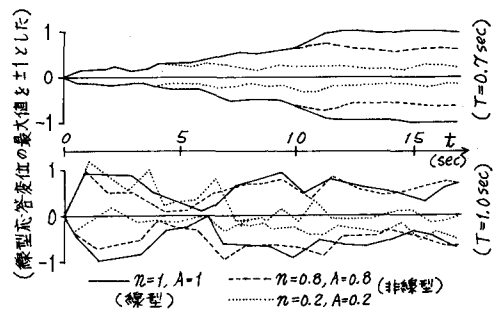


図2. 応答波形のピークを結んだ折れ線

### 5. 応答倍率からの検討

入力の地震波形と出力の応答波形のスペクトル解析から単純系が応答過程で有していた応答倍率(周波数伝達関数の絶対値)を得ることが出来る。図3-aおよび図3-bはこのようにして求めた応答倍率の一例である。ここで縦軸は線型応答( $m=1, A=1$ )のピーク値に対する比がとられている。両者の応答倍率の形には大きな差異が見られる。正弦波入力に対して通常みられる形は図3-aの形であろう。また図3-bから $T=1$  secの単純系があたかも $T=0.92$ および $T=0.84$  secの2つの固有周期を有していたかの傾向がうかがわれ、非線型応答では $T=0.84$  secの倍率が $T=1.0$  secの倍率より大きいことが明らかである。

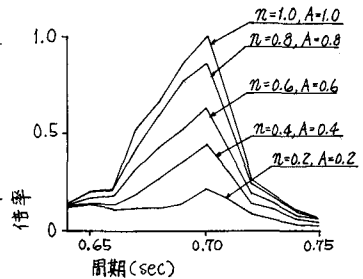


図3-a T=0.7

前述した解析から予想される結果に反して、図3-a, bのいずれにおいても、 $n$ と $A$ が小さくなるに従って応答倍率は低下しており確かに減衰効果が作用した如く感じられる。しかしながら、一方図4は応答の最大値に注目したものだが、同図から、 $T=0.7$ では応答倍率が低下するとともに最大応答が低下する傾向が明らかであり非線型応答が示す減衰効果が明白に理解できるのに比べて、 $T=1.0$ では逆に非線型応答が線型応答を上まわり、これは図3-bの応答倍率が低下していることと相反する。

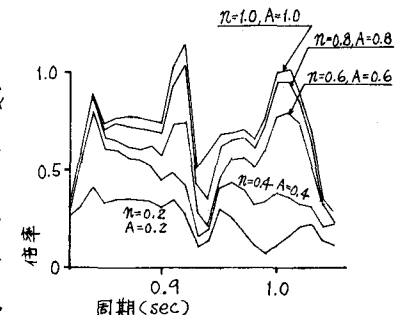


図3-b T=1.0

### 6. むすび

本研究では、非線型応答をおこなう単純系の応答特性の中で特に減衰効果に関して以下に記した結論を得る。

- 1) 応答が時間の経過とともに次第に大きくなり、共振した如く大きな応答を示す単純系においては、非線型応答が減衰効果を示し応答が低下する。応答が低下する様子はあたかも粘性減衰が作用したかの如くであり、等価粘性減衰による評価が可能であると考えられる。
- 2) 1)で記した応答の傾向を示さない単純系においては、減衰効果が見られず、等価粘性減衰による評価をおこなうことは適当でないと考えられる。

(文献) 1) 国井「Bi-linear復元力特性を持つ構造物の地震応答」論文報告集 1971  
 2) 奥田・国井「1質点系の非線型地震応答に関する研究」土木学会第26回第2次学術講演会 1971  
 3) 国井「非線型応答が示す減衰効果について」土木学会第12回地震工学研究発表会 1972

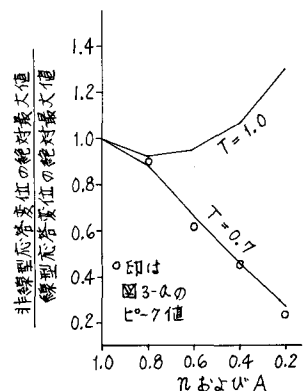


図4 最大応答の比