

金沢大学工学部 正員 北浦 勝

1. まえがき

構造物の復元力特性については多くの実験がなされ、破壊に至るまでの全容が明らかにされつつある。一方、復元力特性とならんで構造物の耐力に大きな影響を有する減衰力特性については未だ解明されていない点が多い。構造物基礎-地盤系の減衰力特性についても、実験方法に一段と工夫をこらす必要があることなどから不明な点が少なくなかったが、最近の研究によれば系の減衰力は系の応答速度が小さい範囲では速度に比例するが、大きくなるにつれて速度には比例しないということが明らかにされている¹⁾。このように減衰力が系の応答速度と非線形関係にあるという現象は構造物基礎-地盤系のみならずほとんどすべての振動系にあてはまるのではないかと推測される。減衰力特性が非線形であるならば、当然のことながら、応答特性も線形の場合とは異なるであろう。本研究はこのような非線形減衰力系の地震応答が、線形減衰力系のそれと比較して如何に増大するかを明らかにしたものである。

2. 調和波入力に対する応答

減衰力と応答速度の関係を表わす数式モデルとして、ここでは図-1に示すような *bi-linear* 弾性モデルを採用する。構造物基礎-地盤系ではこのモデルが妥当であるとされている¹⁾。このような減衰特性を有する1自由度系に調和波外力 $P \cos \omega t$ が作用した場合の運動方程式は、 $m\ddot{x} + c \cdot D(\dot{x}) + kx = P \cos \omega t$ ----- (1)

のように表わされる。ここに、 m : 構造物の質量、 x : 応答変位、 c : 減衰係数、 $D(\dot{x})$: 図-1で表わされる基準化された減衰力曲線、 k : はね剛数(ここでは復元力は応答変位に関して線形としている)。 P : 外力の振幅、 ω : 外力の振動数、 t : 時間、「 $\cdot$ 」: 時間 t に関する微分を表わす。ここで次の無次元量を導入する。

$$\omega_0^2 = k/m, \quad \tau = \omega_0 t, \quad x_s = P/k, \quad \eta = \omega/\omega_0$$

その結果式(1)は次のような無次元式となる。

$$\ddot{x} + 2\eta D(\dot{x}) + x = x_s \cos \eta \tau \text{ ----- (2)}$$

ここに、 $\eta = c/(2m\omega_0)$ で減衰定数を表わす。

式(2)に定数係数法を適用して、外力の振動数 η と応答 M ($=$ 応答変位振幅/ x_s (図-1にお

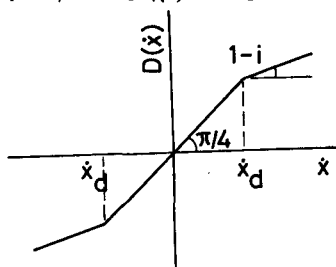


図-1 減衰力曲線

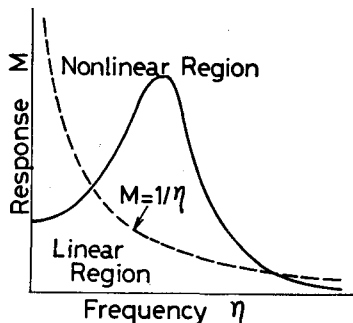


図-2 線形・非線形領域

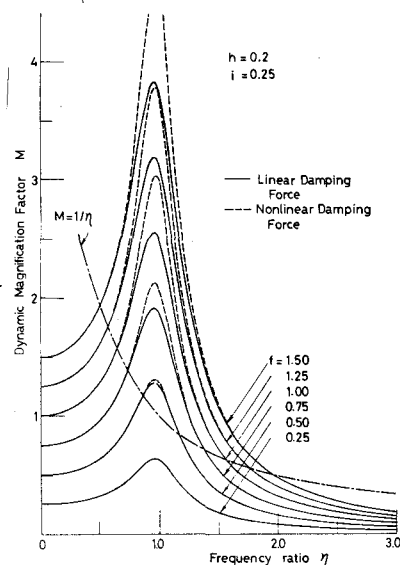


図-3 共振曲線

ける折れ曲がり点の速度))と

の関係を求めたものが図-3
である。なお図-2にあるよ
うに $M=1/\eta$ より下の領域
では減衰力は線形範囲にあり、
上では非線形領域に入ってい
る。図-3の実線は、図-1の
第2分枝の傾きが第1分枝の
それに等しい場合、すなわち線形
減衰に対するものである。外
カレレベル $f(=Z_0/\dot{x}_d)$ の増
加とともに応答レベルが増し
ていること、その結果非線形

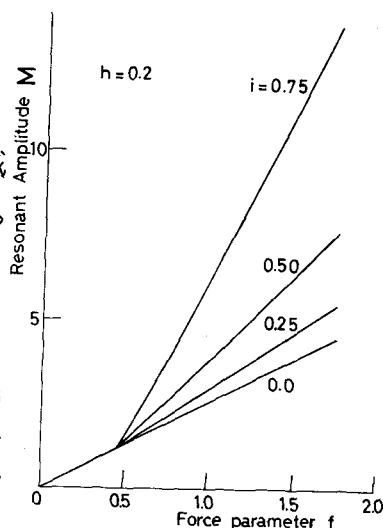


図-4 外カレレベル f と応答 M との関係

系では非線形領域での応答が増大し、共振時の振幅が線形系のそれより大きくなることかわかる。

図-4は *bi-linear* 減衰力曲線における第2分枝の傾きの第1分枝のそれに対する低下の割合 i をパラメータとし、外カレレベル f と共振振幅 M との関係を図示したものである。この図からも外カレレベル f が大きいほど減衰力の非線形性が共振振幅に及ぼす影響の大きいことが明らかである。

次にこの非線形減衰を等価な線形減衰定数 η_{eq} として評価することを考える。そこで図-4から求まる共振時の変位振幅から応答速度を求め、この値を図-5にあるように線形減衰の場合の共振振幅と一致させ、それに対応する等価な減衰定数 η_{eq} を求める。図-6が f と η_{eq} の関係を示している。この図から i が大きいほど外カレレベル f の増加に対する η_{eq} の低下の割合は大きいこと、 f が大きくなるにつれて η_{eq} は一定値 $(1-i) \cdot \eta$ となり、すなわち図-5の第2分枝の傾きに近づくことがわかる。

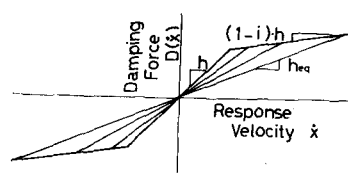


図-5 等価減衰定数 η_{eq} 評価法

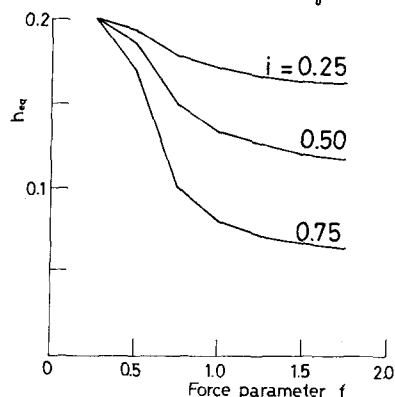


図-6 外カレレベル f と等価減衰定数 η_{eq} との関係

3. 実地震波に対する応答

Jaft 入力に対する非線形減衰系の応答を求めたものが図-7である。同図(a)は $i=1$ に対する減衰力

曲線、(b)は $i=0$ に対する曲線、(c)は入力の加速

度、(d)は $i=1$ に対する応答変位の時間曲線、(e)は

$i=0$ に対する時間曲線をそれぞれ表わしている。こ

の場合にも調和波入力の場合と同様に i の増加とともに

応答の最大値は増加する傾向にある。しかしながら振動数特性は(d),

(e)両図においてほとんど違いはなく、減衰の非線形性は振幅特性にの

みよく効いていることがわかる。本研究実施に当って御協力いただいた

当時学生河島敏郎氏(現京都市)に感謝します。参考文献(1)第5回日本地震工学シンポジウム。

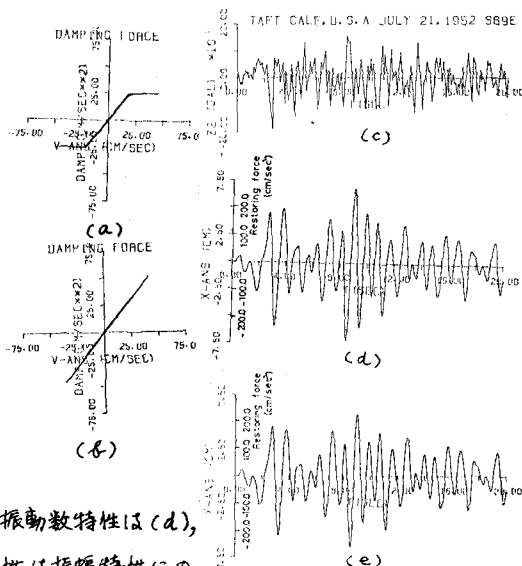


図-7 *Jaft* に対する応答