

非定常な等価線形化法による復元力特性の評価について

長野高専 正員 ○服部秀人
都立大学 正員 国井隆弘

1. まえがき

構造物が大きな地震力を受けて大きな振動を生じると、一般にその構造物の復元力と変形との関係は履歴特性をもつ非線形関係となる。この非線形な場合の振動計算を行なうには、静的載荷実験より得られる力～変位関係が示す履歴特性を参考にして、計算に必要な復元力特性を仮定する場合が多い。しかし、静的な力～変位関係が示す履歴特性と、構造物が実際に振動するときの動的な復元力～変位関係が示すそれとは、若干の相違があると考えられる⁽¹⁾。計算の対象となる構造物の動的な復元力特性を前もって知ることは非常に難しいので、上述の如く静的な結果を参考とすることになるが、また現在までに各方面で蓄積されている豊富な静的載荷実験結果を有効に活用する意味からも、振動計算への静的な履歴復元力特性の妥当な評価が必要であると思われる。

以上の観点から筆者らは、1自由度系とみなせる単純鋼構造の模型実験⁽¹⁾と、静的な履歴復元力特性を等価線形化法⁽²⁾の概念によりモデル化し、非定常応答計算を試みた。

2. 静的な履歴復元力特性のモデル化

静的な交番載荷実験における力～変位関係は概略図1のようになる。図1より順次、図2の如き半ループをPの(+)側(-)側ともから取り出し、それぞれ半ループの面積 S 、変位振幅 X 、等価剛性 K_e を求める。ここで X を変位振幅と呼ぶのは適当ではないかも知れないが振動時の変位振幅と対応させる意味でそう呼ぶことにする。各半ループごとに得られるこれらの諸量から、半ループの面積 S および等価剛性 K_e を変位振幅 X の関数として近似する。先の実験結果を例示すると図3、4のようになる。力～変位関係が線形とみなせる範囲、すなわち変位振幅 X が線形限界相当変位より小さい範囲内では、 $S \approx 0$ 、 $K_e \approx \text{const.}$ となる。

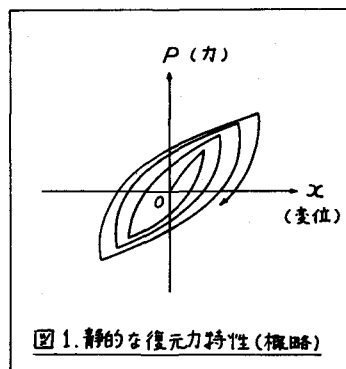


図1. 静的な復元力特性(概略)

3. 等価線形化法による応答計算

等価線形化法は本来、定常な履歴ループを描く非線形振動に適用される考え方であるが、これを非定常な場合に応用拡張する。

図2における半ループがPの(-)側にも対称的に存在すると考えて、閉じた履歴ループを想定する。そして振動系がこの履歴ループを描いて定常的に非線形振動すると考え、等価線形化された運動方程式は、

$$m(\ddot{x} + \ddot{z}) + C_e \dot{x} + K_e x = 0 \quad \text{--- (1)}$$

となる。ただし m は振動系における質点の質量、 C_e ・ K_e は等価な減衰係数および剛性、 x ・ $\dot{x}$ ・ $\ddot{x}$ はそれぞれ応答の変位・速度・加速

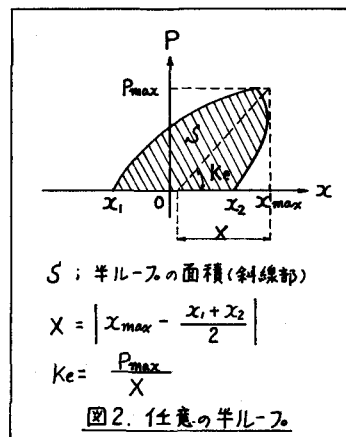


図2. 1仕の半ループ

度, $\ddot{x}$ は入力の加速度である。なお振動系の等価固有振動数 ω_e は次式で与えられる。

$$\omega_e = \sqrt{k_e / m} \quad \text{--- (2)}$$

応答の1サイクルにおいて、履歴ループの面積に等しいエネルギーが、等価減衰力によって消費されると考えられるから、

$$\oint P dx = 2S = \oint c_e \dot{x} dx = \int_0^{T_e} c_e \dot{x}^2 dx \quad \text{--- (3)}$$

となる。ただし、 $T_e = 2\pi / \omega_e$ である。

本研究では共振に近い状態の応答を対象としており、また、等価減衰定数が余り大きくないので、応答の振動周期は等価固有周期 T_e とほぼ等しいと考えられる。そこで変位振中 X に対応する半サイクル内の応答変位を、

$$x = X \sin \omega_e t \quad \text{--- (4)}$$

と仮定し、(3)式に代入すると、

$$c_e = 2S / \pi \omega_e X^2, \quad k_e = S / \pi K_e X^2 \quad \text{--- (5)}$$

となる。ただし k_e は等価減衰定数である。

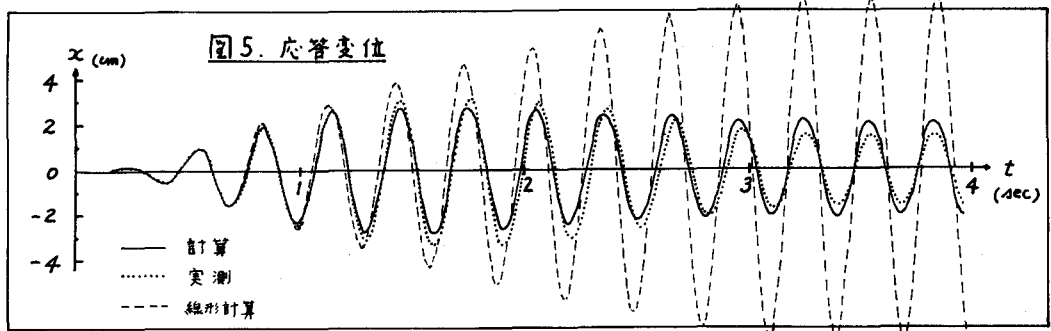
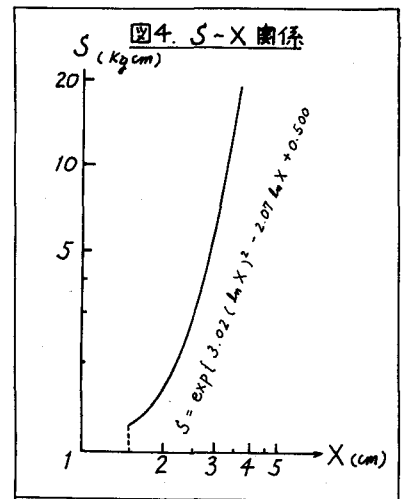
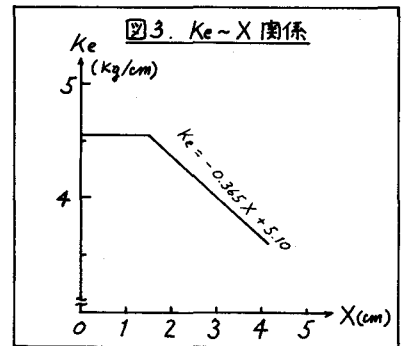
以上の諸量を用いて、半サイクルごとに応答の変位振中 X を仮定し、収れんした次の半サイクルへと順次応答計算を進める。

静的載荷実験における模型と寸法の等しい別の模型について行った非線形振動実験結果を本計算法で再現した一例を図5に示す。ただし、図3の $K_e \sim X$ 関係に若干の修正を加えて計算している。

すなわち、図3での線形領域における K_e (一定値) と(2)式とから求まる ω_e が、非線形振動実験にもついた模型の実測固有振動数 ω_e と等しくなるように、図3の $K_e \sim X$ 関係を平行移動している。図4の $S \sim X$ 関係はそのまゝ用い、線形領域での減衰定数は模型の実測粘性減衰定数とした。

4. あとがき

より適確な等価減衰定数の評価と等価剛性の変化における非線形特性等⁽¹⁾について更に検討を加えるつもりである。末筆ながら、本研究に多大な協力を頂いた都立大学福井留男氏に謝意を表します。



参考文献 (1) 服部 国#「単純鋼構造系の動的復元力特性に関する実験的研究」土木学会第31回年次学術講演会, 昭和51年10月。

(2) Hanson "Comparison of Static and Dynamic Hysteresis Curves. Proc. ASCE, EM5, Oct. 1966."