

埼玉大大学院 学生員 ○板木 均
埼玉大工学部 正 員 渡辺啓行

1. 緒言 構造物の耐震性について検討するには部材の降伏による非線形復元力特性を示す系の解析が必須条件となるが、実構造物の非線形解析には多くの難点があり近似化、簡略化による種々の方法が試みられている。実際の設計においては、非線形振動系を等価線形減衰振動系に置き変えて解析を行っている。しかしながら、等価バネ定数と減衰定数とをもつ系の解析により元の非線形系の応答を十分な精度で近似し得るのかという点に関しては、未だ十分な検証がなされていない。本論文では、種々のヒステリシス復元力特性を示すモデルを用いて、Kryloff-Bogoliuboff法による理論解と比較することにより等価線形化法の妥当性を検証する。

2. 解析手法 等価線形バネ定数は、ヒステリシスループの最大点どうしを結んで得られる割換係数とし、等価減衰定数は、1周期当りの損失エネルギーを等しくすることにより次式で定義される。 図1 等価線形化

$$k_{se} = \frac{P_0/P_y}{\gamma_0}, \quad h_{eq} = \frac{1}{2} \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta W}{W} \quad (1)$$

等価線形化法による1自由度系の正弦加振に対する定常解は次式となる。

$$[k_{se} \gamma_0 - \gamma^2 \gamma_0]^2 + [2k_{se} h_{eq} \gamma_0]^2 = f_0^2 \quad (2)$$

ここで、 γ_0 、 γ 、 f_0 は、正規化した変位振幅、入力振幅数、入力振幅である。

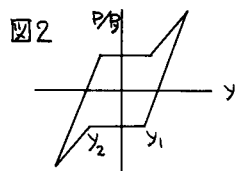
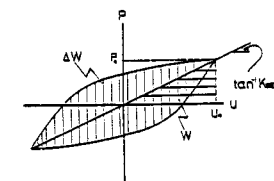


図2

Kryloff-Bogoliuboff法による同一振動系の定常解は次のようになる。

$$[C(\gamma_0) - \gamma^2 \gamma_0]^2 + [S(\gamma_0)]^2 = f_0^2 \quad (3)$$

$$C(\gamma_0) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \frac{P}{B}(\gamma_0, \mu, \tau) \cos \theta d\theta, \quad S(\gamma_0) = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \frac{P}{B}(\gamma_0, \mu, \tau) \sin \theta d\theta \quad (4)$$

Linear系ヒステリシスに対しては、(4) 式はi番目の直線を $P/B = a_i y + b_i$ として次式で表わされる。(図2)

$$C(\gamma_0) = \frac{\gamma_0}{\pi} \left[a_n \pi + \sum_{i=1}^{N-1} (a_i - a_{i+1}) (\theta_i - \frac{1}{2} \sin 2\theta_i) \right], \quad S(\gamma_0) = -\frac{\gamma_0}{\pi} \sum_{i=1}^{N-1} (a_i - a_{i+1}) \sin^2 \theta_i \quad (5)$$

$\theta_i = \cos^{-1}(\gamma_i/\gamma_0)$ γ_i : i番目の折れ曲りの変位

3. 結果 種々のヒステリシス復元力特性を示すモデルに対し、(2)、(3)式による応答曲線の比較を図3に示す。横軸は入力振幅数 $\lambda (= \gamma^2 - 1)$ 、縦軸は変位振幅 γ であり、実線はKryloff-Bogoliuboff法による理論解、破線は等価線形解を表す。図4は、数個の降伏後の剛性 μ に対する、変位振幅の増大に伴う減衰定数の変化を示すものである。

4. 結論 Linear系ヒステリシスに対し、Kryloff-Bogoliuboff法による一般解を導いた。この1自由度系に関する理論解と等価線形化法による応答曲線は非常によく一致しており、等価線形化による近似は十分であると言える。特に共振時の振幅は完全に同じ値を与えており、理論的には、等価線形解はKryloff-Bogoliuboff法における $C(\gamma_0)/\gamma_0$ の値を割換係数 k_{se} で近似しているに過ぎないということが導かれた。等価減衰定数は十分に大きな値を与えており、完全弾塑性及びTb-linear 2においては、変位振幅と共に増大し63.7%の限界値に漸行していく。このことは、地震時においては部材の局部的破壊や塑性変形による減衰効果が十分に大きくなることを示している。なお、地震波形に対し等価線形化法と荷重伝達法とにより、現在、計算を行っており、その結果を発表する予定である。

図 3 Kryloff-Bogoliuboff法による理論解と等価線形解

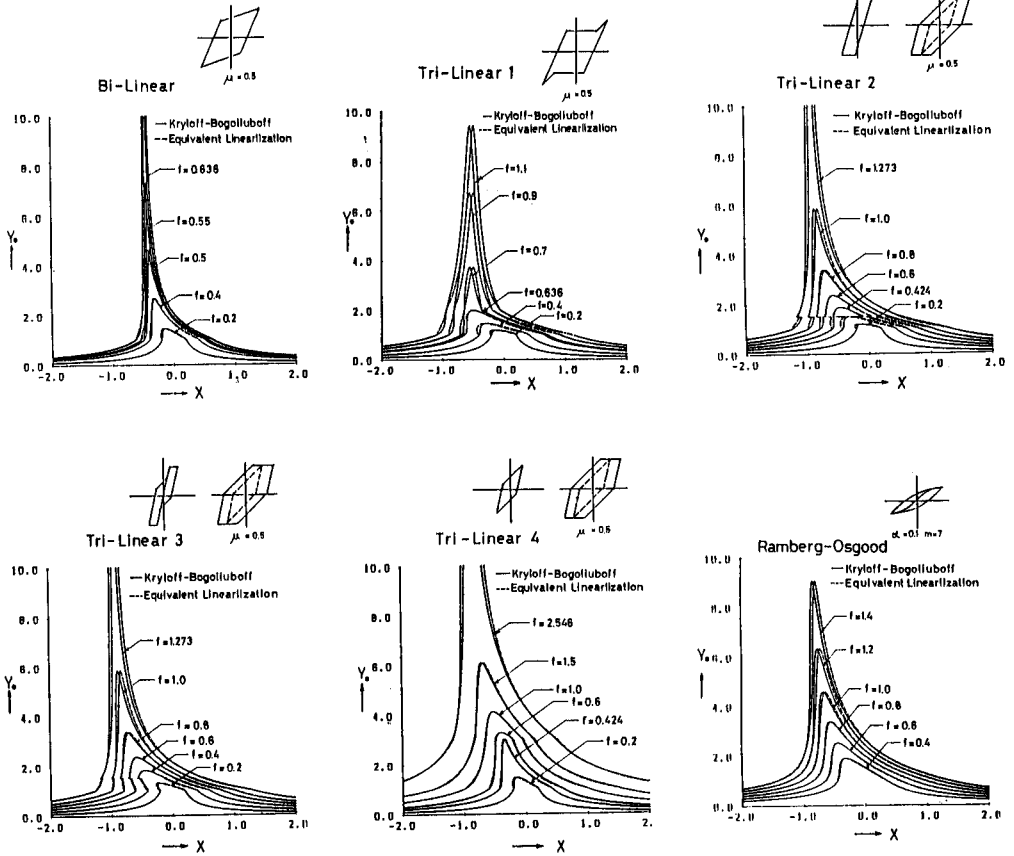
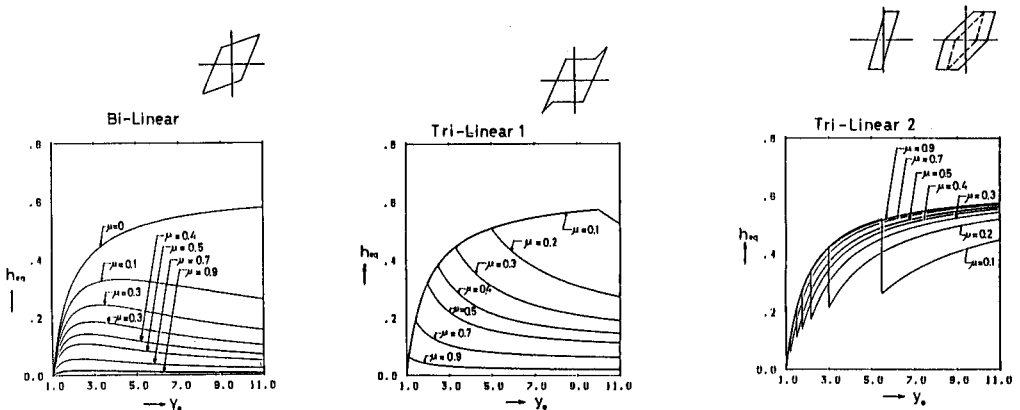


図 4 等価減衰定数



謝辞 本報告をまとめるに当り埼玉大学工学部久保慶三郎先生、川上英二先生に貴重な御助言を頂きました。

記して深謝の意を表します。

参考文献 CAUGHEY, T. K., Sinusoidal Excitation of a System with Bi-Linear Hysteresis, Journal of Applied Mechanics, Trans. of ASME, Dec. 1960, pp.640 - 643