

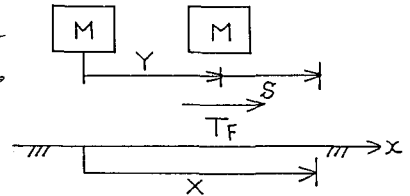
地震時オバリの表現する等価線形化手法に関する検討

熊本大学工学部 学正員 ○吉田 克明
 同上 正員 秋吉 卓
 八代高専 正員 羽田 邦彦
 熊本大学工学部 学正員 大部 蘭 和久

1. まえがき 地震時オバリの伴う大変形は構造物に大きな損傷を与える要因であるが、その適正な予測のための解析手法の確立が望まれている。構造物のオバリについて、これまで地震動が正弦波の場合についてはいくつかの研究があり、^(1,2) また入力が実地震動の場合でも解析対象が平面上の剛体のオバリについては、かなりの報告がある。⁽³⁾ しかし管路のように長大な構造物のオバリを未知則表に対し解析するのは、それほど容易ではなく、その報告は少ない。⁽⁴⁾ 本研究は、地震動をフーリエ変換による単正弦波に分解し、それらの波形を提案するオバリの等価線形化手法で、オバリの有無をチェックした後再合成し、オバリの応答を得ようとするものであるが高速フーリエ変換を用いるので計算時間が大幅に短縮する。

2. 解析手法 ここに解析の対象とするモデルは、慣性力に左右されるモデル1と、慣性力は無視するモデル2の管路である。
 モデル1: 質量を無視すると、管路の運動は次式で表わされる。

$$EA \frac{d^2 Y}{dx^2} + T_F = 0 \quad \text{-----(1)}$$



(a) モデル1

ここで、E, A: 管路のヤング率, 断面積, Y: 管路の軸方向変位, $T_F = T_0 \sin(\dot{s})$: 周面摩擦力, \dot{s} : オバリ速度。

オバリ \dot{s} は、図2を参照すると

$$\dot{s} = X - Y \quad (X: \text{地震動変位}) \quad \text{-----(2)}$$

ここで、 \dot{s} および X を伝播波動と考へ、次式のように書く。

$$\dot{s} = \dot{s}_0 \exp[i(\omega x - kx + \phi)] \quad (k = \omega/c) \quad \text{-----(3)}$$

$$X = X_0 \exp[i(\omega t - kx)] \quad (c: \text{伝播速度}) \quad \text{-----(4)}$$

ここで、図2, 3を参考にし T_F を等価線形化すると、

$$T_F = T_0 \sin(\dot{s}) = 2\pi r_0 \tau_f \sim 2\pi r_0 \left(\frac{4\tau_0}{\pi \omega S_0} \right) \dot{s} \quad \text{-----(5)}$$

ここで、 r_0 : 管径, τ_f, τ_0 : 摩擦応力。式(1)~(5)を解くと

$$\dot{s}_0 = \begin{cases} X_0 & : |X_0| < X_{cr} \\ \sqrt{|X_0|^2 - X_{cr}^2} & : |X_0| > X_{cr} \end{cases} \quad \text{-----(6)}$$

ここで、 $X_{cr} = \delta t_0 \tau_0 c^2 / EA \omega^2$ (オバリ限界変位) --- (7)

故に、オバリ時の管路の軸方向変位 Y と歪 ϵ_y は次式となる。

$$Y = X \quad (|X_0| < X_{cr}) \text{ 又は } X_{cr} \exp[i(\omega x - kx + \phi)] \quad \text{-----(8)}$$

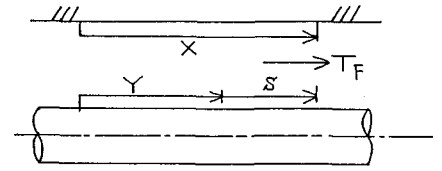
$$\epsilon_y = dY/dx = -\dot{Y}/c \quad \text{-----(9)}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left[(X_{cr} X_1 + X_{cr} \dot{s}_0) / (X_{cr} X_2 - X_1 \dot{s}_0) \right] \quad \text{-----(10)}$$

ここで、 X_1, X_2 : 入力振幅 X の実数部, 虚数部。

よって、入力地震動 $X(t)$ を高速フーリエ変換(FFT)すると

$$\overline{X_k} = \overline{X(\omega_k)} = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X_m \exp(-i\omega_k t_m) \quad (m=0, \dots, N-1) \quad \text{-----(11)}$$



(b) モデル2

図1 解析対象モデル

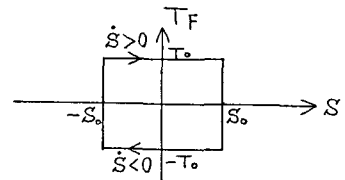


図2 T_F (摩擦力) - S (オバリ) 関係

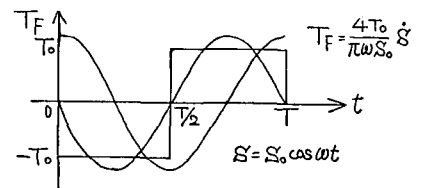


図3 T_F (摩擦力) の時刻歴

この $\bar{X}_k = \bar{X}(w_k)$ は先述の X_0 に、また式(8)の Y を管
 路のフーリエ振幅 $\bar{Y}_k = Y(w_k)$ と考えると

$$\bar{Y}_k = \begin{cases} X_k & : |X_k| < X_{cr}(w_k) \\ X_{cr} \exp(i\phi) & : |X_k| > X_{cr}(w_k) \end{cases} \quad (12)$$

となるので、これを逆FFTして管路の時刻歴応
 答値とする。

$$Y(t_m) = \sum_{k=0}^{N-1} \bar{Y}_k \exp(iw_k t_m) \quad \text{-----} (13)$$

一方、モデル2についての単弦波に対する魏納
 の近似解があるが、これは単弦調和波にならない
 ので、本解析法に適用する場合は、式(11)までは
 FFTでよいが、オバリの判定以降は多くの正弦
 ・余弦関数の計算が必要となるため、本解析法と
 比較して数10~100倍もの計算時間となる。しか
 し、その詳細は紙面の都合上省略する。

3. 計算結果 入力の最大加速度を30gal、
 地震波の伝播速度を $C = 300 \text{ m/sec}$ に固定して、
 $A_{cr} = 2\pi \nu_0 \tau_0 C^2 / EA$ (gal) に変化させたときの
 様子を、図4はモデル1の場合で、剛体と
 地面の最大加速度の比を明示しているが、等価線
 形化手法と魏納の方法ととも、 A_{cr} が入力の最大
 加速度とほぼ同じ値ですべりが効き、 A_{cr} の依
 下について \dot{Y}_{max} を減じており、ほぼ妥当な結果
 となっている。

一方、図6~9は人工地震波(卓越振動数 =
 3Hz, 0~10Hzの三角形分布スペクトル)を
 モデル2の管軸に沿って入射させたときの管軸
 変位 Y と管歪 E_y を、周囲の土のそれらとの比
 をと、示したものである。管路の応答値の傾向
 は、正弦波(図5)と相似ではあるが、地震波の
 継続時間を $T = 20.48 \text{ sec}$ と長くとると、各振動
 数ごとにパワーが分散するため、オバリの発生が
 A_{cr} の相当小さい場合しか起らないという結果と
 なり現実的なものといえない。一方、 $T = 2.56 \text{ sec}$
 と短いときは正弦波の傾向に近づき、結果は
 改善されている。その他は構造物にゆずれ。

参考文献 1)魏納・山口:土質工学論文報告集、
 Vol.19, No.4, 1979, 2)魏納:土木学会論文集
 第272号, 1978, 3)例えは N. Mohtaghel 他2名:
 EESD, Vol.11, 1983, 4)秋吉・洲田, 土木学会
 論文報告集, 第334号, 1983

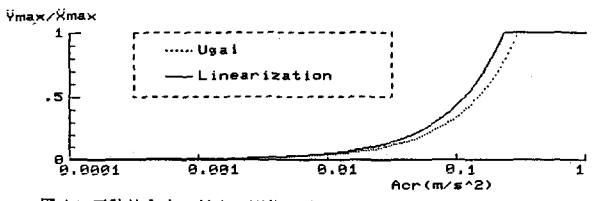


図4 正弦波入力に対する剛体と地盤の最大加速度比 (モデル1)

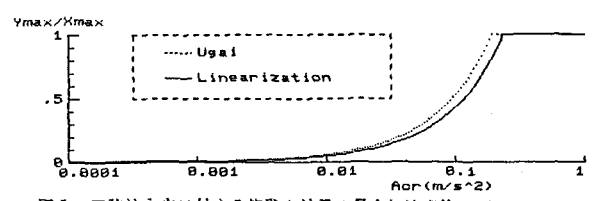


図5 正弦波入力に対する管路と地盤の最大加速度比 (モデル2)

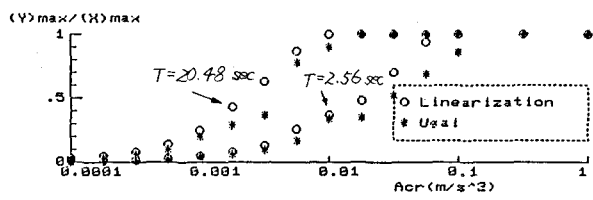


図6 不規則波入力に対する管路と地盤の最大変位比 (モデル2)

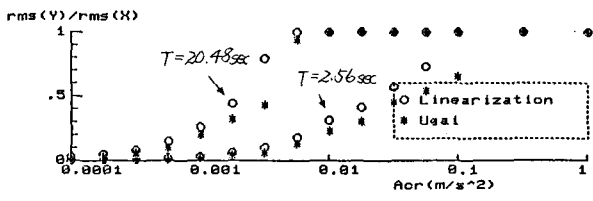


図7 不規則波入力に対する管路と地盤のrms変位比 (モデル2)

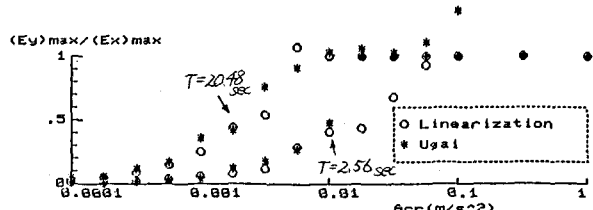


図8 不規則波入力に対する管路と地盤の最大歪比 (モデル2)

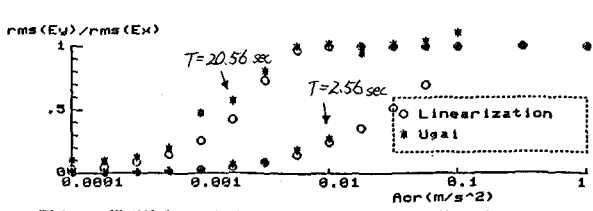


図9 不規則波入力に対する管路と地盤のrms歪比 (モデル2)