

建設省土木研究所 正会員 光孝 康夫
 京都大学工学部 正会員 後藤 尚男
 金沢大学工学部 正会員 北浦 勝

1. はじめに 構造物基礎-地盤系の振動特性において、地盤反力は変位成分に依存するところの復元力項と速度成分に依存するところの減衰力成分とに分離して考えられることが多い。本研究は振動実験より観測された地盤反力を、履歴をも含んだ復元力項と、履歴減衰以外の全減衰力項とに、合理的に分離する方法の開発を試みると同時に、履歴減衰以外の減衰力の非線形性について検討しようとするものである。(以下本報告においては、減衰力とは履歴減衰以外の減衰力を意味するものとする。)

2. 定常正弦波形加振実験 Fig. 1 に実験概要を示す。基礎模型は底部ヒンジによって拘束され、回転のみの1自由度系としてある。これは多自由度系において、加速度記録等の観測記録を回転成分、並進成分等に分離する際生ずる誤差を減ぐためである。応答加速度と起振機の加振力とを同時に記録し、加速度記録から求める系の慣性力を起振力から減ずることによって地盤反力を求めた。

3. 地盤反力の分離手法 変位と速度の関数である地盤反力 $F(X, \dot{X})$ を復元力項 $F_1(X)$ と減衰力項 $F_2(\dot{X})$ に分離するために次のような仮定をおく。

仮定1) $F(X, \dot{X}) = F_1(X) + F_2(\dot{X}) \dots \dots (1)$

と書き表わせば、 X と $\dot{X}$ に互換性があることを考慮すれば

$$F(X, \dot{X}) = F_1(X) + F_2\left(\frac{dX}{dt}\right) \equiv G_1(X) \dots (2)$$

$$F(X, \dot{X}) = F_1\left(\int_{-\infty}^t \dot{X} dt\right) + F_2(\dot{X}) \equiv G_2(\dot{X}) \dots (3)$$

とも表わすことができる。

仮定2) $F_1(X)$ は一般に履歴復元力を表わすが、その形状は原系に関して対称である。

仮定3) $F_2(\dot{X})$ は速度による減衰力を表わし、原系に関して対称な1個関数である。

以下の解析においては簡便のために速度の乗に比例する項を非線形項として導入し

$$F_2(\dot{X}) = C\dot{\phi}(1 + \varepsilon\dot{\phi}^2) \dots \dots (4)$$

と置くことにする。ここに、 C : 減衰係数、 ε : 減衰力曲線に非線形性を導入するためのパラメータである。

Fig. 2 に地盤反力分離の概念図を示す。図中 (i) か (iii) と (v) に、(ii) か (iv) と (vi) に分離されることを示し

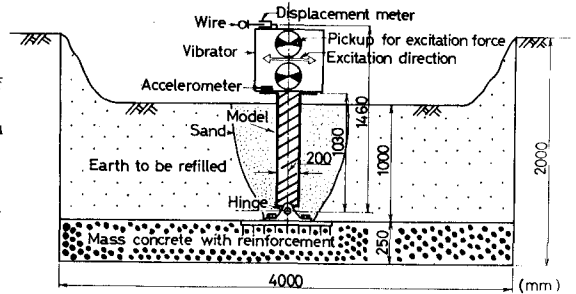


Fig. 1 振動実験概要図

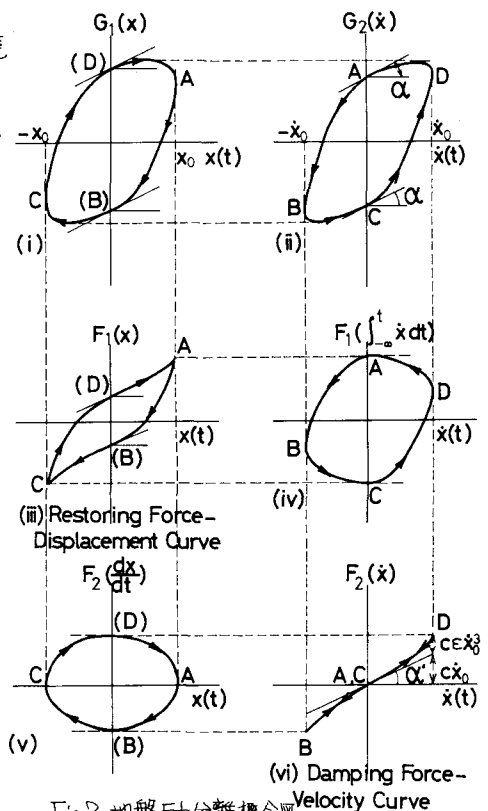


Fig. 2 地盤反力分離概念図

ている。(i)と(ii),(iii)と(iv),(v)と(vi)はそれぞれ対応しており、お互いに交換可能である。図(iii)が履歴復元力曲線、図(vi)が速度-減衰力曲線である。

以上の仮定に基づいて地盤反力を分離する手法を次に2つ提案する。

〔手法I〕 この手法は龜田⁽¹⁾が提案し用いた方法を部分的に改良したものである。本手法においては、前述の3つの仮定の他にさらに次の仮定を加える。

仮定4) 加振振動数が f_a, f_b な2つの状態において、 $f_a - f_b$ が小さければ式(4)中の ε は同一の値をとり、復元力曲線 $F_d(X)$ は、各履歴曲線の最大変位と最大復元力とで正規化した形が等しくなる。

以下本手法の手順について説明する。

手順1) 実験より得られる起振力 $F(t)$ 、変位 $X(t)$ 、速度 $\dot{X}(t)$ よりFig.2における図(i),(ii)を描く、ここでA,C点は変位最大の点であり、 $\dot{X}=0$ となる。

手順2) Fig.2 (ii)の点A,Cにおける $\tan \delta$ とすると、

$$\tan \delta = \frac{dF_2}{d\dot{X}} \Big|_{A,C} = \frac{dF_1}{dX} \Big|_{A,C} + \frac{dF_2}{d\dot{X}} \Big|_{A,C} = \frac{dF_1}{dX} \frac{dX}{d\dot{X}} \Big|_{A,C} + \frac{dF_2}{d\dot{X}} \Big|_{A,C} \dots (5)$$

ところが点A,Cでは $\dot{X}=0$ であるから、

$$\frac{dX}{d\dot{X}} = \frac{dX}{d\dot{X}} \cdot \frac{d\dot{X}}{d\dot{X}} = \frac{\dot{X}}{\ddot{X}} = 0 \quad \text{おと} \quad \tan \delta = \frac{dF_2}{d\dot{X}} \Big|_{A,C} \dots (6)$$

このことは $F_2(\dot{X})$ の原点における勾配(Fig.2 (vi)のd')に d と等しく

$$C = \tan \delta' = \tan \delta \dots (7) \quad \text{であることを示している。}$$

手順3) 最大変位 X_0 とその時の地盤反力 $F_{\max}$ とで正規化した履歴ループの1周期間における消費エネルギー ε 、振動数 f_a, f_b において等しくなるように ε を定める。

$$\varepsilon = \frac{\int_0^{T_a} (F_a - C_a \dot{X}_a) \dot{X}_a dt - \int_0^{T_b} \frac{F_{\max} X_{\max}}{F_{b\max} X_{b\max}} (F_b - C_b \dot{X}_b) \dot{X}_b dt}{\int_0^{T_a} C_a \dot{X}_a^4 dt - \int_0^{T_b} \frac{F_{\max} X_{\max}}{F_{b\max} X_{b\max}} C_b \dot{X}_b^4 dt} \dots (8)$$

手順4) 以上でC, ε が求められたのでFig.2 (vi)を描け、(ii)から(vi)を減じて(iv)が求まり、(iv),(vi)から(iii),(v)が求められる。

〔手法II〕 本手法では1つの振動数で分離することを目指す。仮定4') 復元力曲線は最大変位の大まかにより一意的に定まるとした。そこでFig.3に示すように履歴曲線(i)を骨組(ii)と厚み(iii)とに分解し、厚みが(iv)で示すように最大変位 $X_{\max}$ によって定まるしきりループの形状を決定した後、横軸 $X_{\max}$ 縦軸 $F_{\max}$ にて拡大した。求めた履歴曲線から減衰力-速度曲線(C, ε)が定まる。

Fig.4,5に減衰係数C、非線形パラメータ $\varepsilon \cdot \dot{X}_{\max}^2$ と振動数との関係を示した。Fig.6の C_{eq} はC, ε を等価な減衰係数におお直したものである。Fig.5より低い振動数域において減衰の非線形性が顕著である。

両手法による結果については、当日スライドにて説明の予定である。最後に、京大助教授亀田弘行氏の貴重な御助言に感謝いたします。

参考文献(1):防災研究協会;基礎体-地盤系の振動,地震応答,耐震設計に関する研究,本田公国等訳研究報46報告書,1972

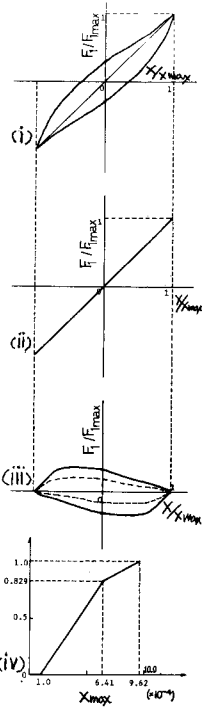


Fig.3 手法IIの説明図

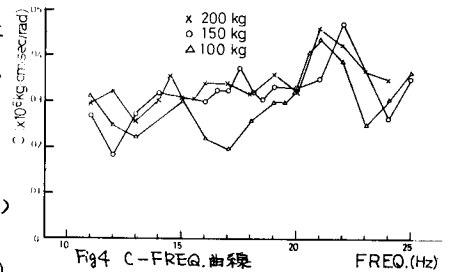


Fig.4 C-FREQ.曲線

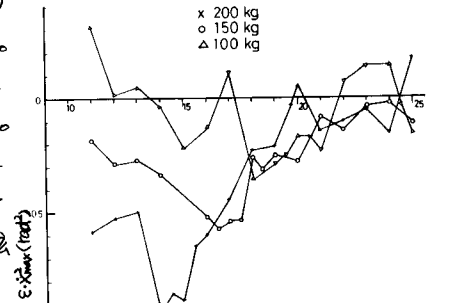


Fig.5 非線形パラメータ $\varepsilon \cdot \dot{X}_{\max}^2$ -FREQ.曲線

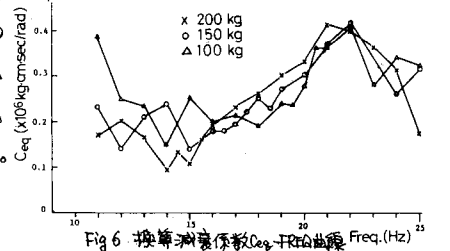


Fig.6 換算減衰係数 C_{eq} -FREQ.曲線