

東大地震研究所 学生員 片田敦行
東大地震研究所 正会員 伯野元彦

1 まえがき

一般に、動的外力に対する構造物の非線形応答を解析するためには、その構造物の応力-ひずみの関係が必要となる。そのゆえ、数値解析によって、非線形振動特性を解析する場合には数式でモデル化された復元力特性が用いられることが多い。このことは地震時における地盤の非線形振動の解析においても同様である。土に関する、数多くの応力-ひずみモデルが提案されている。

しかし、復元力特性が複雑な場合や、応力破綻近くまで達した場合などでは復元力特性のモデルが困難となってくる。このような困難を解消する方法として、アナログ計算機-動的試験機のオンライン・リアルタイム実験方法が伯野²⁾によって初めて提案された。伯野はこの実験方法を「はり型」と「杭基礎型」³⁾に適用して、その有効性を実証している。その後、この実験方法は建築の分野で盛んに行なわれている。例えば、①骨組構造、②高カボルト接合部、③鉄筋コンクリート柱、④鉄筋コンクリート造り壁壁、などに適用されている。

本報告は動的試験機としての振動三軸試験装置とアナログ計算機を組合せたオンライン・リアルタイム実験方法を用いた地盤の非線形振動の解析方法を提案するものである。実験解析例として、本報告では変位過程における砂層地盤の非線形振動を取り上げることにする。

2 解析手法

オンライン実験に当っては表層地盤を1自由度系でモデル化する必要はある。(右図参照) 周知のように1自由度系の振動方程式は次式で与えられる。

$$\bullet \text{線形の場合} \quad \ddot{x} + 2\beta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = -\ddot{y} \quad (1)$$

$$\bullet \text{非線形の場合} \quad \ddot{x} + 2\beta\omega_n\dot{x} + R(x) = -\ddot{y} \quad (2)$$

ここで、 x : 変位量, t : 時間, β : 1自由度系の減衰定数, ω_n : 1自由度系の固有円振動数, $R(x)$: 非線形復元力, $\ddot{y}$: 入力加速度

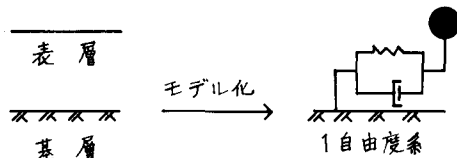


図-1 表層地盤のモデル化

①式で与えられる線形計算の場合には1自由度系の固有円振動数 ω_n と減衰定数 β を適宜仮定すれば、応答計算が可能である。しかし、②式で与えられる非線形計算の場合には、さらに復元力関数 $R(x)$ が必要となる。本報告で提案する解析手法では振動三軸試験装置を用いて供試体に強制変位を加えて、その結果得られる反力を地盤の復元力 $R(x)$ と考えて、地盤の非線形振動解析を行なう。図-2は実験のブロック図である。また、図-3はアナログ計算のブロック図である。

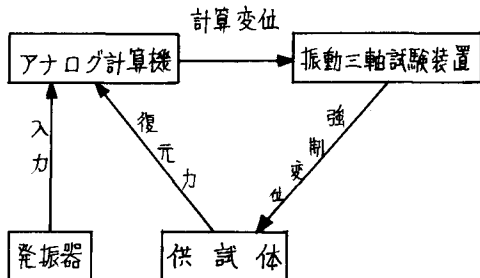


図-2 オンライン実験のブロック図

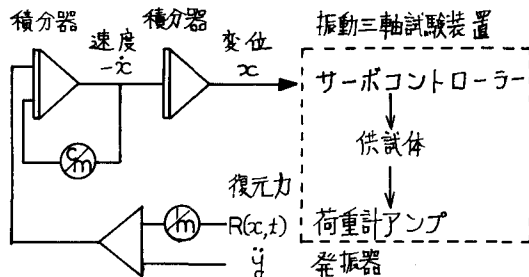


図-3 アナログ計算のブロック図

3 実験結果及び考察

実験に当って、モデル地盤の物性値を次のように仮定した。モデル地盤の固有振動数 $f_0 = 2^{Hz}$ ，減衰定数 $\beta = 0.02$ 。また、ランダム入力波としては、ランダム波発生装置の出力（ホワイト・ノイズ）をローパス・フィルタで $10Hz$ 以上の成分をカットしたものを用いた。

(1) 地盤の加速度応答特性

豊前標準砂を用いて飽和な供試体を加振させた。実験結果を図-4に示す。図-4を見てわかるように、加振により間隙水圧が上昇して供試体が液状化すると、反力が減少して行く。さらに、供試体が完全に液状化すると、変位振幅は大きく不安定になった。このとき、絶対加速度応答波形は次のように変化を示した。すなわち、加振直後には地盤の固有周期である 0.5 秒の波が卓越している。しかし、間隙水圧が割圧 (1.5 kg/cm^2) の約 $1/2$ を超えると反力は減少して行き、絶対加速度応答は小さくなって行く。以上のように、オンライン実験方法を用いることによって、液状化過程における地盤の非線形振動を解析できるのがわかる。

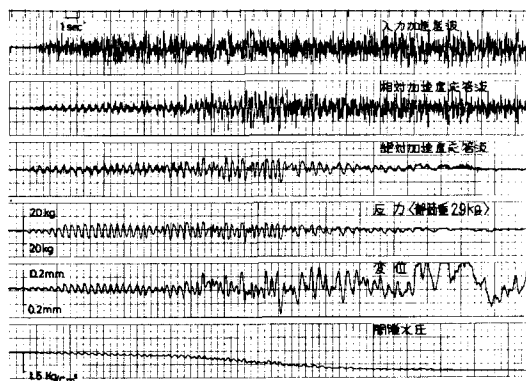


図-4 オンライン実験結果〈飽和砂 $D_r=36\%$ 〉

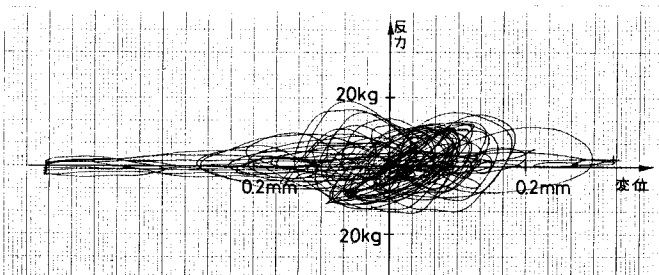


図-5 オンライン実験によって得られた反力-変位曲線
-飽和砂 $D_r=36\%$ -

(2) 地盤の復元力特性

図-5は図-4に示される実験結果より得られた反力-変位曲線である。加振によって、供試体が軟化・液状化するにつれて、ヒステリシス・ループの形が複雑に変化するのがある。図-6はループの変化を模式的に示したものである。液状化過程における地盤の復元力特性の変化が複雑である。

4 あとがき

動的試験機としての振動三軸試験装置とアナログ計算機を組合せたオンラインリアルタイム実験方法を用いた地盤の非線形振動解析手法を提案した。この解析手法を用いて、液状化過程における砂層地盤の非線形振動特性の解析を試みた。

実験に当っては武蔵工大4年生の横山健一君（現、鉄建建設KK）と古川碩一君に手伝ってもらった。謝意を表します。

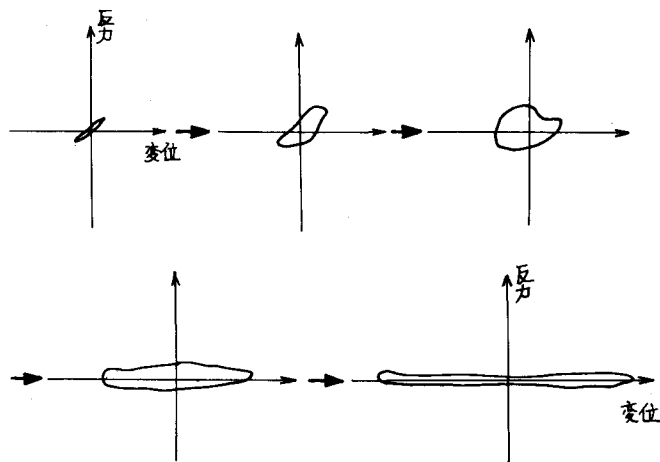


図-6 地盤の液状化過程における反力-変位曲線の変化

参考文献 1) 土と構造物の動的相互作用, 土質工学会, 2) 伯野元彦, 他, 計算機に制御された, はりの動的破壊実験, 土論集, No.171, 3) 伯野元彦, 他, 原型杭基礎の復元力特性に関するオンラインリアルタイム実験, 土論集, No.200