

手樽干拓堤防の非線形応答解析

東北大学工学部 (学) 〇 園 部 好 洋
同 (正) 柳 沢 栄 司
同 佐々木 静 男

1. まえがき

1982年6月12日の宮城県沖地震で、松島町手樽地区の干拓堤防では、亀裂 沈下等の著しい変形が生じた。本報告は、セン断弾性係数 G の歪依存性を考慮し、非線形ヒステリシス曲線を用いて、各地点での応答解析を行、た結果について報告するものである。

2. 解析方法

(1) 応力-歪曲線について

解析に用いた土の非線形特性モデルは Hardin-Drnevich¹⁾ モデルである。

このモデルは、骨格曲線については、Konderの応力-歪を用いて、

次のように表わす。

$$\tau = \frac{G_{max} \cdot \gamma}{1 + \frac{G_{max}}{G_{max}} \cdot \gamma} \quad (1)$$

ヒステリシス曲線は、Finn, Martin²⁾の方法を用いる。骨格曲線(1)を、 $\tau = f(\gamma)$ と書き表わしたとき、

$$\frac{\tau - \tau_m}{2} = f\left(\frac{\gamma - \gamma_m}{2}\right) \quad (2)$$

で表わされる。step by step で動的応答を求めるために必要なセン断弾性係数は、このような応力-歪曲線における割線係数である。

G_{max} は、現地盤の N 値と G の関係

$$G = a N^b \quad (3)$$

において、 $a=120$, $b=0.80$ を用いて決定した。 N 値が0の軟弱な粘土層は、原³⁾による深さと G の関係を用いて、一義的に決定した。

(2) 地盤のモデル化について

本報告は、地盤のセン断振動をシミュレートしたもので、地盤をセン断バネで連結された質点系にモデル化した。(図-2 参照) この質点系に対して、次の振動方程式をたてる。

$$[M] \cdot \ddot{u} + [C] \cdot \dot{u} + [K] \cdot u = \{P(t)\} \quad (4)$$

ここに $[M]$: 質量マトリックス, $[C]$: 減衰マトリックス

$[K]$: 剛性マトリックス, $\{P(t)\}$: 外力ベクトル

(4) 式を解くには、直積積分法のうち、線形加速度法を用いた。

また 入力外力は、加速度として基盤に入力するので、(4) は

$$[M] \cdot \ddot{u} + [C] \cdot \dot{u} + [K] \cdot u = -[M] \cdot \ddot{x}_{INPUT} \quad (5)$$

の形になっている。質量マトリックスは、集中質量マトリックスで、その対角要素は、次の式で表わされる。

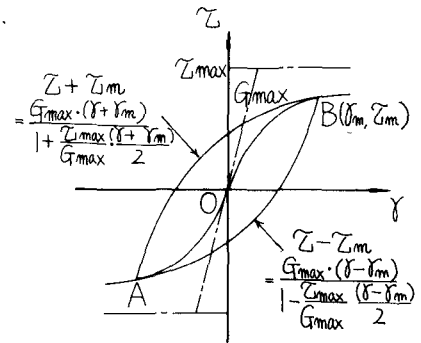


図-1 Hardin-Drnevich Model

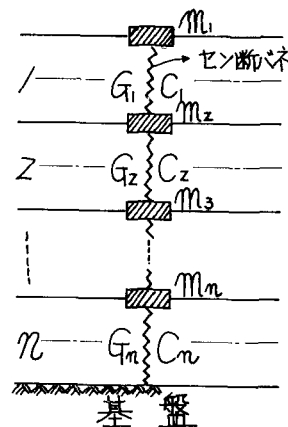


図-2 地盤のモデル化

$$m_i = (H_{i-1} \cdot \gamma_{sub,i-1} + H_i \cdot \gamma_{sub,i}) / 2 \quad (6)$$

ここに m_i : 第 i 番目の質点質量, H_i : 第 i 層の層厚, $\gamma_{sub,i}$: 第 i 層の ρ 中単位体積重量
減衰マトリックス $[C]$ は、剛性と同一分布を持っていることから、Rayleigh Damping を用いて

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (7)$$

として定義する。 α , β は比例定数であり、地盤の自由振動を行った結果から、本報告では、 $\alpha=0.25$, $\beta=0.007$ と定めた。この場合、最も粘土層の厚い地盤での減衰比は 約5% である。

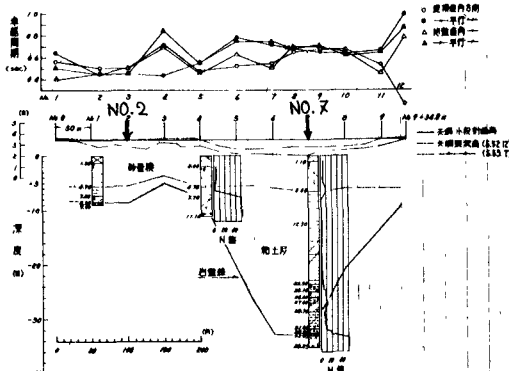


図-3 手標地区柱状概略

3 結果、考察

基礎に入力する加速度波形を図4に示す。手標地区からは近距離にある、塩釜市で得られた地震記録を補正したものである。図3における Point No. 2, No. 7 について、応答加速度、応答変位を図4～8に示す。応答倍率は、地表面で1.4倍 (No. 2), 3.4倍 (No. 7) であり、粘土層が厚いほど応答倍率が高い。常時振動の解析によれば、地震波入力方向の卓越周期は No. 2 で 0.4 SEC, No. 7 で 0.7 SEC であり、応答変位の周期は ほぼこれに一致している。応答加速も、No. 7 では細かい成分が少ない。一般的に、卓越周期が大きいくほど強度が劣るのは No. 7 のように粘土層の影響が大きいくからで、この場合もそれが明らかである。図9は No. 7 の粘土層の最深端にある質点の応答加速度である。細かい成分が多くなっている。地表面の応答加速度と比較してみると、粘土層最深端での応答倍率は 約1倍であるのに対して、地表面では約3倍になっている。従って、剛性の比較的小さい粘土層を通過する間に、加速度が3倍に拡大されたことになる。

4 あとがき

本報告は、間ガキ水圧を考慮していないが、実際におこった災害は、液状化現象によるものと考えられており、間ガキ水圧の影響は無視できない。今後は、動的間ガキ水圧の上昇を考慮した非線形応答解析を進めてゆく予定である。

参考文献 1) 国生 裕博 Modified Hardin-Drnevich Model について、土木学会第33回年講 2) Finn's An Effective Stress Model for Liquefaction, etc.



図-4 入力加速度



図-5 No. 2 応答加速度 (地表)

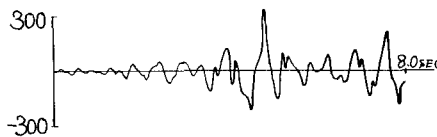


図-6 No. 7 応答加速度 (地表)



図-7 No. 2 応答変位 (地表)



図-8 No. 7 応答変位 (地表)



図-9 No. 7 粘土層最深端応答加速度