

消散を考慮した地盤の応答解析

東北大学工学部 (正) 柳沢 栄司
同 (学) 〇桜井 雅之

1. まえがき

1978年6月12日に発生した宮城県沖地震で、松島町手搏地区の千拓堤防では、堤体の沈下、亀裂、崩壊、堤体表面のアスファルト被覆の破壊等の被害を受けた。これらの被害は、震動そのものに起因するものもあるが、主因は地震動に伴って堤体基盤の軟弱の顕在化現象であると考えられる。本研究は、現地で行われたボーリング調査結果をもとにして、堤体下地盤の地震動による過剰間ゲキ水圧の発生及び消散を考慮した痕状化解析を行ったものである。

2. 解析方法

本研究では、地盤を半無限地盤と仮定している。そして各層をバネ、ダッシュポットで連結し、多質点系の震動モデルを作った。入力として1978年宮城県沖地震の際、基盤が同一に見なされる塩釜港で得られた地表面の加速度記録を重複反射理論によって、基盤にもじしたものである。この入力に対する系の応答は、NewmarkのB法($\beta=1/4$)によって求めた。なお、運動方程式における、粘性減衰マトリックスは次の様な比例型の減衰により定義した。

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K]$$

ここに $[M]$ は集中質量マトリックスで $[K]$ は剛性マトリックスである。また α および β は定数で、系の自由振動100rad/s(波)解析を行い、減衰比を算定した結果から $\alpha=0.50$ 、 $\beta=0.012$ とした。この場合の減衰比は、98%である。

地盤要素の動的応力およびひずみは、修正Hardin-Drnevich Model¹⁾に従うものとする。解析はまず、 $[C]$ 、 $[M]$ 、 $[K]$ の各マトリックスを求め応答計算を行ったあと、各層のせん断応力を計算し、この波形をもとにして発生する間ゲキ水圧を計算する。さらに動水勾配の発生に伴う消散を考慮する。有効拘束圧の変化に伴う剛性の低下を評価し、剛性マトリックスを組み交えて、次のタイムステップに移る。

3. 間ゲキ水圧発生および消散のモデル

間ゲキ水圧発生モデルは、柳沢、金子らが千鶴地区の試料を用いて、動的三軸試験を行って求めたモデルである。これは応力比(σ_v/σ'_v)が0.30より小さい所では、発生間ゲキ水圧比は(1)式に従い、0.30以上では間ゲキ水圧比は(2)式に従う。

$$u_w^* = 3.5 N^{-0.85} (1 - u_{w(N-1)})^2 (\sigma'_v / \sigma'_{v(N-1)})^{0.75} \quad (1)$$

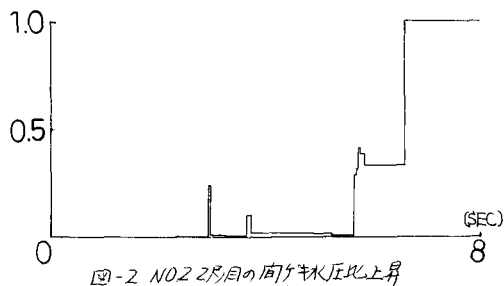
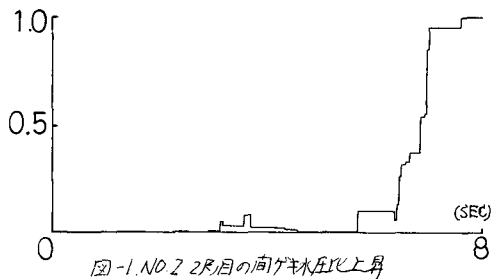
$$\Delta u_w = 1.0 \times \alpha_w \cdot 0.70 \times \sigma'_v \quad (2)$$

Δu_w^* ; N回目サイクルで発生する間ゲキ水圧比
 $u_{w(N-1)}$; (N-1)回目サイクルで発生する間ゲキ水圧比
 σ'_v ; センダン応力
 $\sigma'_{v(N-1)}$; (N-1)回目サイクル終了時の有効拘束圧
 Δu_w ; N回目サイクルで発生する間ゲキ水圧

消散モデルは、²⁾一次元圧密理論に動的間ゲキ水圧の項を加えた(3)式を、中央差分で解いている。

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{k}{\rho_w g} \frac{\partial u}{\partial z} \right) = m_v \left(\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u_g}{\partial t} \right) \quad (3)$$

$\frac{\partial u}{\partial t}$; 消散による間ゲキ水圧の変化率
 $\frac{\partial u_g}{\partial t}$; せん断による間ゲキ水圧の蓄積率
 k ; 透水系数
 m_v ; 体積圧縮系数



4. 結果, 考察

基礎に入力する加速度波形を図3に示す。粘土層がそれぞれ14mと16.7mあるNO.1, NO.2について、地表面での応答加速度、応答変位を図4~8に示す。応答倍率は地表面で0.5倍(NO.1), 1.6倍(NO.2)であり、粘土層が厚いほど応答倍率は大きい。常時微動の割利によると、地震力方向の卓越周期は、No.1で0.4sec, NO.2で0.7secであり応答変位の周期は、ほぼこれと一致している。NO.2は剛性の比較的小さい粘土層が厚いので、地表での応答加速度は細かい成分が少ないことがわかる。図8はNo.2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おり、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0.6倍であるのに対して、地表面では約1.6倍になっている。従って粘土層を通過する間に加速度が約3倍に拡大されたことになる。図1, 図2はNO.2モデルにおける地表面下1.1mの層の間ゲキ水圧比の上昇過程を示したものである。(3)式の m_w と k の影響を見るため1図では $m_w = 8.4 \times 10^{-5} \text{m/tonf}$, $k = 10 \times 10^5 \text{m/sec}$ 、図2では $m_w = 53 \times 10^{-5} \text{m/tonf}$, $k = 20 \times 10^5$ とした。図1と図2を較べてみれば、図1の方が、間ゲキ水圧の消散が効果的で液状化する時刻も遅くなっている。この事は表層土の透水性を高めることが、液状化対策として有効であることを示すものと考えられる。

参考文献, 1) 国生 龍井 Modified Hardin-Drnevich Model による土
工学学会33周年講
2) 吉見昌昭著「砂地盤の液状化」技報堂出版
p88~89

