

正規圧密に近い地盤の動的応答解析について

京都大学工学部 正会員 赤井浩一

京都大学工学部 学生員 前河泉、○辻泰志

1. 序 以前から海域を埋め立てて人工の陸地とする沿岸付近の開発が続けられてきたわが国において、最近では内湾の沿岸から離れた沖合いに大規模な埋め立てを実施する施工例が見られるようになってきた。このような沖合いの地盤では、柔らかい沖積粘土層の下に過圧密比の小さい洪積粘土層が続き、また、構造物の支持層となるべき砂礫層はきわめて薄い、あるいは全く存在せず、clay-rich いわゆる海型となっている。そのため人工島やその上の構造物の設計に対する地盤条件が厳しくなってくる。本研究では、上に述べたような正規圧密に近い海底地盤の動的応答特性を検討するとともに、関西国際空港空港島護岸部分の地震時のすべりに対する安全性の検討を行なった。

2. $G \propto z$ なる地盤の動的応答解析 図1は泉州沖海底地盤で行なわれた深度150mに達するボーリングNo. 56-2の孔内P, S検層の一例である。これより、海底面からの深さを z (m)とすると、横波速度 V_s (m/s)はだいたい

$$V_s = 30z^{0.5} \quad (1)$$

として表わされ、 $G = \rho V_s^2$ なる関係より、せん断弾性係数 G は

$$G = 900 \rho z = Kz \quad (K: \text{比例定数}) \quad (2)$$

で表わされる。

地表面を深さ z の原点として下向きを正とし、密度 ρ と減衰定数 c が一定で、変形係数 G が $G = Kz$ で表わされるとき、基盤入力 $\ddot{u}_g(t)$ を受ける地盤の振動は変位 u に関して次式で表わされる。

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + c \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} \left(Kz \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\rho \ddot{u}_g \quad (3)$$

境界条件: $z=0$ で変位は有界, $z=H$ (基盤面) で変位はゼロ

初期条件: $t=0$ で変位、速度がゼロ

式(3)に対する解析解を誘導するために、まず、静止状態を初期条件として

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + c \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} \left(Kz \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\rho \cdot \delta(t) \quad (4)$$

を考える。すなわち、静止状態にある振動系に単位パルスが働く場合である。この問題は式(3)の斉次方程式を $t=0$ において $u=0, \dot{u}=-1$ のもとで解くことに相当する。この斉次方程式は変数分離法を用い、さらに $z = \xi^2$ なる新しい変数を導入することにより0次のベッセル方程式となり境界条件、初期条件より式(3)の一般解は

$$u(z, t) = -\frac{1}{\sqrt{H}} e^{-\alpha t} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \beta_n t}{\beta_n} \frac{J_0(2\lambda_n \sqrt{z})}{\lambda_n J_1(2\lambda_n \sqrt{H})} \quad (5)$$

で表わされる。しかるに、いま解くべき方程式(3)を式(4)と比較すると、 $-\rho \ddot{u}_g(t)$ が $-\rho \cdot \delta(t)$ となっている。したがって、 $\ddot{u}_g(t)$ を入力加速度としたときの地盤の応答は次のDuhamelの積分で与えられる。

$$u(z, t) = -\frac{1}{\sqrt{H}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\beta_n} \frac{J_0(2\lambda_n \sqrt{z})}{\lambda_n J_1(2\lambda_n \sqrt{H})} \times \int_0^t e^{-\alpha(t-\tau)} \sin \beta_n(t-\tau) \ddot{u}_g(\tau) d\tau \quad (6)$$

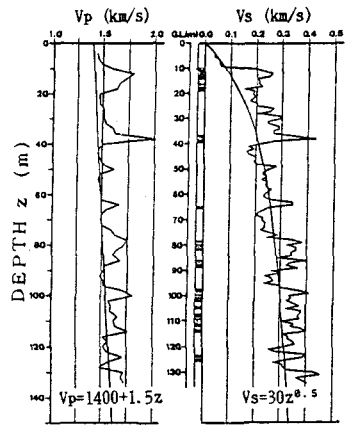


図1 ボーリングNo. 56-2のP, S検層結果

$$\dot{u}(z, t) = -\frac{\sqrt{K}}{\rho\sqrt{H}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0(2\lambda_n\sqrt{z})}{B_n J_1(2\lambda_n\sqrt{H})} \times \int_0^t e^{-\alpha(t-\tau)} \cos\{\beta_n(t-\tau) + \gamma_n\} \ddot{u}_g(\tau) d\tau \quad (7)$$

$$\ddot{u}(z, t) + \ddot{u}_g(t) = \frac{K}{\rho\sqrt{H}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\lambda_n J_0(2\lambda_n\sqrt{z})}{B_n J_1(2\lambda_n\sqrt{H})} \times \int_0^t e^{-\alpha(t-\tau)} \sin\{\beta_n(t-\tau) + 2\gamma_n\} \ddot{u}_g(\tau) d\tau \quad (8)$$

ただし $J_0(2\lambda_n\sqrt{H})=0$, $\alpha = \frac{c}{2\rho}$

$$\beta_n = \frac{\sqrt{c^2 + 4\rho K \lambda_n^2}}{2\rho} , \quad \gamma_n = \tan^{-1} \frac{\alpha}{\beta_n} \quad (9)$$

先に図1示した泉州沖海底地盤において、地盤定数として、密度： $\rho=1.7(t/m^3)$ 、減衰定数： $c=3.577(t/m^2 \cdot s)$ 、地震時の変形係数のひずみ依存性を考慮して、式(2)より計算される値の2/3倍である $K=1020(t/m^2 \cdot s^2)$ を用い、S-9層 ($H=97.3m$) を入力基盤とし、これに十勝沖地震 (1968.5.16) の八戸におけるE-W成分の波形¹⁾ (最大加速度203.3gal) を地動として与えたときの地盤の最大応答値の深度分布を図2の実線に示す。これによると、最上部の沖積層表面において最大応答変位は16.6cm、最大応答速度は78.4kine、最大絶対応答加速度は959galであり、最大絶対応答加速度は入力基盤での地動加速度の最大値の4.7倍にも達していることがわかる。このような応答の増幅は地表面付近の沖積層において顕著である。図2の点線は地盤定数の複雑な変化を考慮した重複反射理論を用いた等価線形化手法によって得られた結果である。図からわかるように両者を比較すると、地表面で得られる応答値には多少の差異が見られるが、ある程度の深さ以下では非常に似通った応答値が得られている。図2において、いわゆる上部洪積層粘土とその直上の砂礫層でのS波速度が式(1)より相当大きい実測値が出ていることなどが地表面での加速度応答値に差異がみられた原因として考えられる。

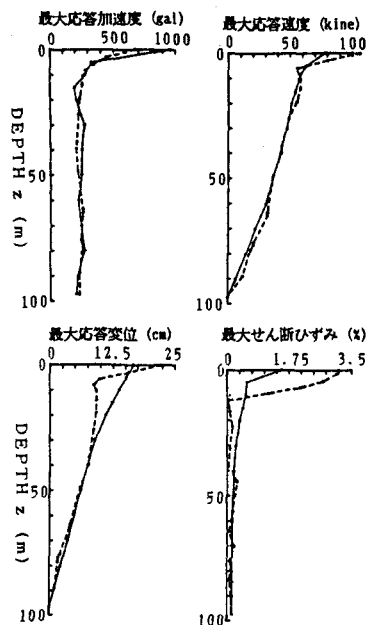


図2 最大応答値の深度分布

ne、最大絶対応答加速度は959galであり、最大絶対応答加速度は入力基盤での地動加速度の最大値の4.7倍にも達していることがわかる。このような応答の増幅は地表面付近の沖積層において顕著である。図2の点線は地盤定数の複雑な変化を考慮した重複反射理論を用いた等価線形化手法によって得られた結果である。図からわかるように両者を比較すると、地表面で得られる応答値には多少の差異が見られるが、ある程度の深さ以下では非常に似通った応答値が得られている。図2において、いわゆる上部洪積層粘土とその直上の砂礫層でのS波速度が式(1)より相当大きい実測値が出ていることなどが地表面での加速度応答値に差異がみられた原因として考えられる。

3. 地震時における護岸の安定解析 関西国際空港空港

島のA護岸付近の斜面の安定性の検討を震度法を用いて行った。先に述べた波形から求めた八戸の基盤上での加速度波形 (最大加速度104.7gal) を用い、応答解析による各位置の絶対応答加速度の最大値から水平震度を求めた。ごく短い時間だけ作用する荷重に対しては粘性土が大きい強度を示すという性質を考慮してこの安定計算ではさきの震度の2/3倍の値を採用した。解析結果の一例を図3に示す。護岸付近ですべりが起こる可能性は低いと考えられ、主に後退性すべりの安全性を検討したが、図よりわかるようにこれが起こる可能性も余り多くないであろう。

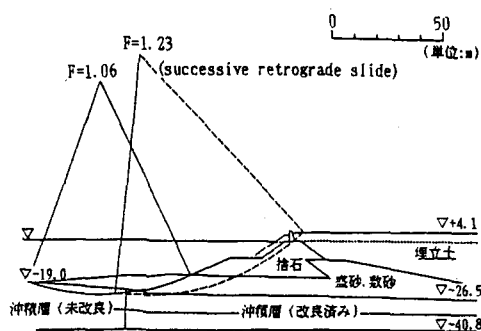


図3 すべり面と安全率

京都大学土木系教室 田村 武助教授と杉戸 真太助手の教示を得たことを付記して謝意を表する。

<参考文献> 1) 土田鑑・倉田栄一・須藤克子: 1968年十勝沖地震とその余震の港湾地域における強震記録, 港湾技術研究所資料, No. 80, 1969.