III-229　土質諸係数の地盤内変動特性

京都大学工学部　正員　黒田勝彦
名古屋大学工学部　正員　松尾　稔
京都大学工学部　正員　浅岡　顕

1. はじめに

土を対象とする設計には各種の不確実な因子が存在する。その中でも，設計式に入力する土質諸係数の変動は結果に重大な影響を及ぼす。一般に我々が入手する土質データーには，サンプリング時の試料の乱れ，試験時の誤差等が混入したものであるが，結論的に言えば，これらの乱れや誤差の影響は取り除くことができ，従って残された変動要因である地盤内での位置的変動が入手データーより分析可能である。今回の報告は，以上の観点から，土質諸係数の地盤内変動を表現するための確率モデルと数種の現場データーによる検討結果について述べたものである。

2. 土質諸係数の地盤内変動の確率過程としての記述

地表面の任意の固定された座標系に対し(図-1)，点 (x, y, z) での土の性質(soil property)を $u(x,y,z)$ とすると，$u(x,y,z)$ は一般に一定の傾向を示す平均値関数 $m_u(x,y,z)$ とランダム成分 $u'(x,y,z)$ の和として，(1)式のように与えられる[1]。

$$u(x,y,z) = m_u(x,y,z) + u'(x,y,z) \quad \cdots\cdots(1)$$

我々が通常入手することのできるデーターは，数個のボーリング地点 $\{(x_1,y_1),(x_2,y_2),\cdots(x_i,y_i)\cdots(x_N,y_N)\}$ での各深さにおける soil mass に関する土の性質である。特定のボーリング地点を考えてみると，(1)式は次のようにも表わすことができる。

$$u(z) = m_u(z) + u'(z) \quad \cdots\cdots(2)$$

ここで，$m_u(z)$ は soil property の深度方向の一定傾向を示す平均値関数，$u'(z)$ はランダム成分である。一般に(2)式の確率過程を完全に記述するためには無限点における $u(z)$ の結合分布が必要である。しかし，特別な場合として，$u(z)$ の過程が定常(stationary)であれば，$u(z)$ の1次モーメント($m_u(z)$)および2次モーメント(分散，共分散)はその値そのものとは独立になる。筆者らは，以前，連続シンウオールによる結果から，$u'(z)$ の自己相関関数を調べ，ほぼ一様と考えられる粘土の C_u 強度の相関は，深さ方向に5〜6m程度離れた2点間では，ほとんど無くなることを示した[2]。この場合の相関関数は，

z_i，z_j の2点間の共分散の定義より

$$\left.\begin{aligned} &Cov[u'(z_i), u'(z_j)] = r_u'(z_j - z_i) = r_u'(\tau_z) \\ &r_u(\tau_z) = r_u'(\tau_z) / r_u'(0) \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(3)$$

$r_u(\tau_z)$ は property 自身の相関を示す自己相関関数で最大値は1.0である。
さて，$u(z)$ がマルコフ過程であれば，$r_u(\tau_z)$ は次式で与えられる。

$$r_u(\tau_z) = exp(-\lambda_z|\tau_z|) \quad \cdots\cdots(4)$$

以前の筆者らの検討[2]では，$\lambda_z \doteqdot 0.7 \sim 1.7/m$ であった。(C_u に対し)

さて，1次元確率過程の場合と同様，3次元確率過程 $u(x,y,z)$ に対しても，定常マルコフを仮定すれば，相関関数は次式で与えられる。

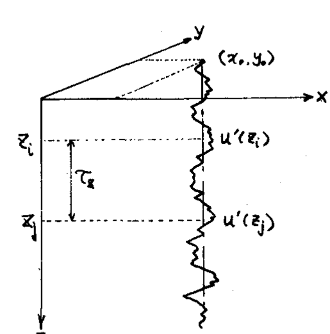

Fig.1

$$\left.\begin{aligned} &Cov(U'_i, U'_j) = r'_u(x_j - x_i,\ y_j - y_i,\ z_j - z_i) = r'_u(\tau_x, \tau_y, \tau_z) \\ &r_u(\tau_x, \tau_y, \tau_z) = r'_u(\tau_x, \tau_y, \tau_z) / r'_u(0, 0, 0) \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (5)$$

上式において，$\tau_x = x_j - x_i$，$\tau_y = y_j - y_i$，$\tau_z = z_j - z_i$ であり，相関距離（$1/\lambda$）を用いて表わせば，

$$r_u(\tau_x, \tau_y, \tau_z) = exp\left[-(\lambda_x|\tau_x| + \lambda_y|\tau_y| + \lambda_z|\tau_z|)\right] \quad \cdots\cdots (6)$$

通常，一様と考えられる層では，3次元的な取り扱いよりも，しばしば2次元的取り扱いの方が便利である。この場合には，(6)式は次のように表わせる。即ち，水平方向に均質（homogeneous）と考え $\lambda_x = \lambda_y$ とすると，

$$r_u(\tau_x, \tau_y, \tau_z) = exp\left[-\lambda_x(|\tau_x| + |\tau_y|)\right] exp\left[-\lambda_z|\tau_z|\right] \quad \cdots\cdots (7)$$

さらに，水平方向の面内での soil properties の変動が一定であるとすれば，(7)式は，次式のように書ける。

$$r_u(\tau_h, \tau_v) = exp\left[-\lambda_h|\tau_h|\right] exp\left[-\lambda_v|\tau_v|\right] \quad \cdots\cdots (8)$$

但し，$|\tau_h| = |\tau_x| + |\tau_y|$，$\tau_v \equiv \tau_z$，$\lambda_h = \lambda_x = \lambda_y$，$\lambda_v = \lambda_z$ である。
(8)式のように表わすと，鉛直方向と水平方向の相関距離は独立に求めることができ，2次元的相関関数が，1次元相関関数の積として与えられる。

3. 現場データによるモデルの検討

図-2は，我が国のある地点での土質調査の結果を示したもので，(a)は，各ボーリング地点に於ける q_u 値の深さ方向の変動を，(b)図は，これを一括した変動を示している。水平方向の変動が場所に依らないと考えれば，式(1)の $m_u(x, y, z)$ は水平方向に離れた2地点（x_i, y_i）と（x_j, y_j）の間で変化がなくなり，

$$m_u(x_i, y_i, z) = m_u(x_j, y_j, z) = m_u(z) \quad \cdots\cdots (9)$$

と仮定することができる。図(b)は，この場合の平均値関数 $m_u(z)$ が示されている。水平方向の自己相関は(1)式の $U'(x, y, z)$ を算出して求めたが，紙数の都合上，講演時に示す。また，現場のボーリング結果から r_u を求める方法についても講演時に説明する。

参考文献

1) M.I.T. Research Report R74-9. (J.D. Padilla & E.H. Vanmarcke)
2) 黒田他：S.50年度関西支部講演概要，III-37

Fig. 2 q_u values as functions of depth