

Ⅲ-A95

砂礫材の間隙水圧係数B値とP波速度の関係

中央大学理工学部 國生 剛治

1. まえがき

1995年兵庫県南部地震においては、マサ土からなる埋め立て地盤の液状化が被害の大きな要因となった。そのマサ土のP波速度は地下水以下においても予想外に小さく、十分には飽和していなかったのではないかと考えられている。マサ土のような砂礫材の液状化強度は飽和度に大きく依存するため、室内液状化試験を行う場合に、原地盤に飽和条件を合わせる事が重要となる。ここではそのための基礎的検討として、Biotの多孔質弾性体理論³⁾に基づき、均等係数の異なる4種類の砂礫材について原地盤のP波速度から液状化試験で採用すべきB値を推定するための関係式を導く。

2. 多孔質弾性体理論に基づく定式化と4種類の砂礫材についての計算

多孔質弾性体理論によれば、非排水条件でのB値、P波速度 V_p 、ポアソン比 ν は式(1)-(3)で表される。ここに、 n :間隙率、 ρ_t :湿潤密度、 G :せん断剛性、 K' :骨格体積弾性率、 K_s :土粒子体積弾性率である。また、 K_f :間隙水見かけ体積弾性率で、後述のように完全飽和の場合の値($K_f = K_f^*$)から飽和度の減少とともに低下する。

$$B = \left(\frac{1}{K'} - \frac{1}{K_s} \right) / \left(\frac{1}{K'} - \frac{n}{K_s} + \frac{n}{K_f} \right) \quad (1) \quad V_p = \sqrt{ \left[K' + \left\{ \left(1 - \frac{K'}{K_s} \right) / \left(\frac{1-n}{K_s} + \frac{n}{K_f} \right) \right\} + \frac{4G}{3} \right] / \rho_t } \quad (2)$$

$$\nu = \left[K' + \left\{ \left(1 - \frac{K'}{K_s} \right) / \left(\frac{1-n}{K_s} + \frac{n}{K_f} \right) \right\} - \frac{2}{3}G \right] / 2 \left[K' + \left\{ \left(1 - \frac{K'}{K_s} \right) / \left(\frac{1-n}{K_s} + \frac{n}{K_f} \right) \right\} + \frac{1}{3}G \right] \quad (3)$$

ここでは、文献2)で用いた4種類の均等係数の異なる砂礫材に式(1)-(3)を適用してみる。4種類の砂礫材は利根川砂礫からふるい分けで調整した堅硬な粒子からなる砂から礫にわたる材料で、その物理特性を以下に示す。

土質名	平均粒径(mm)	均等係数(U_ϕ)	最大間隙比	最小間隙比	土粒子密度(g/cm^3)
TS	0.34	1.95	0.966	0.584	2.701
G25	1.13	5.65	0.567	0.334	2.674
G50	2.28	11.3	0.429	0.240	2.668
G75	7.30	31.1	0.354	0.184	2.653

これらの砂礫材のせん断剛性 G は文献2)のS波速度の実験式にしたがい、式(4)により算定した($p_0=98kPa$)。

$$G = \rho_{sat} V_s^2 = \{ (1-n)\rho_s + n\rho_w \} [120 + \{ 420 U_\phi / (U_\phi + 1) - 120 \} Dr]^2 p_0 \quad (4)$$

この G より骨格の排水条件ポアソン比を $\nu'=0.3$ として土の骨格体積弾性率 K' をもとめ、砂礫の母岩のS波速度 $V_{sr}=3000m/s$ 、ポアソン比 $\nu_r=0.3$ 、 $K_s/p_0=5.2 \times 10^5$ として、4種類の砂礫の相対密度 $Dr=25, 50, 75, 100\%$ の場合について式(1)-(3)から B 、 V_p 、 ν を計算し、それらの相互関係を求めた。 V_p については水中の音波速度 $V_{pf}^* = \sqrt{K_f^*/\rho_w}$ で除して基準化した値 V_p/V_{pf}^* で示している(水の体積弾性率 $K_f^*/p_0=22200$)。

まず、式(2)、(3)で $K_f = K_f^*$ として、完全飽和状態での V_p と ν を計算し、間隙率 n との関係を図1に示す。この結果は文献1)による計算結果(海底飽和地盤での計測データとの一致度も認められている)とほぼ一致している。また、式(1)で $K_f = K_f^*$ として、完全飽和状態でのB値と間隙率 n との関係を4種類の砂礫材について示したのが図2である。これより、 Dr が小さい緩い砂礫では通常の液状化試験で目標とする $B \geq 0.95$ に楽に到達するが、 Dr が100%に近い特に礫分の多い土の場合、 $B \geq 0.95$ の達成は液状化試験試料が完全飽和で間隙水圧測定システムの剛性が無限大でも不可能であることが分かる。つぎに、B値が徐々に低下していく場合について、式(1)から K_f を計算し、それに対する V_p/V_{pf}^* 、 ν を式(2)(3)から計算する。図3は4種類の砂礫材について相対密度 Dr をパラ

キーワード：P波速度、B値、ポアソン比、間隙率、相対密度、均等係数

連絡先：東京都文京区春日1-13-27 中央大学理工学部

メータとして求めたB値と V_p/V_{pf}^* 、 ν の関係である。これより、次の結論が導かれる。

- (1) いずれの砂礫材についても、B値のわずかな低下によって V_p は大幅に低下し、Drが小さいほどその低下割合は大きい。
- (2) 完全飽和土のB値に相当する V_p は水中の音波速度 V_{pf}^* （ $\approx 1500\text{m/s}$ ）を上回っており、Drが大きいく均等係数 U_c が大きい材料ほどその傾向は著しい。。
- (3) ポアソン比 ν のB値に対する低下はDrによる差も、 U_c による差もほとんど認められずほぼ同一である。

以上のように、原地盤でのP波速度がわかれば、液状化試験のような室内非排水せん断試験で採用すべきB値が図3により推定できるものと思われる。

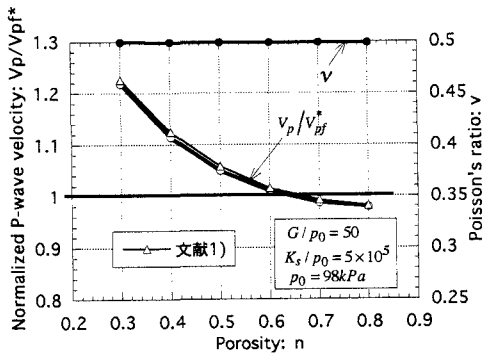


図1 完全飽和土の間隙率 n と V_p 比、ポアソン比の関係

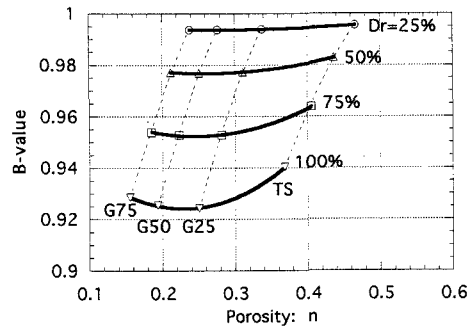


図2 異なるDrについての完全飽和土の間隙率とB値の関係

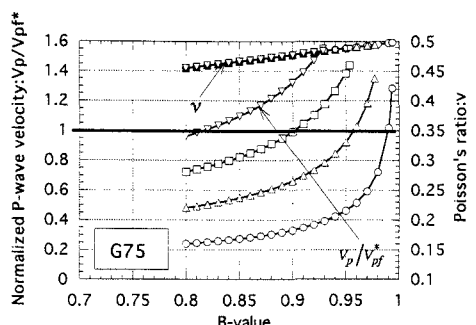
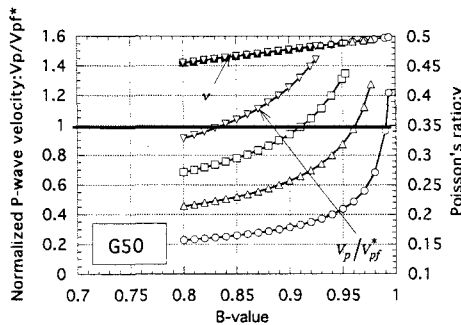
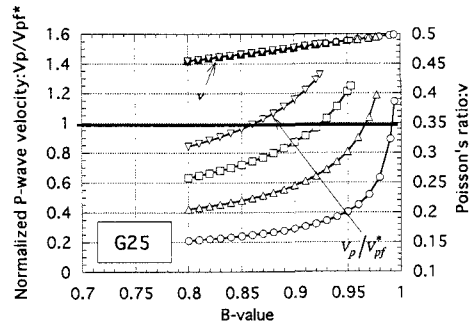
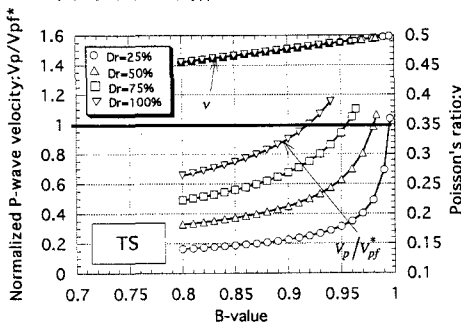


図3 4種類の砂礫材料の異なる相対密度Drに対するB値と V_p 比、ポアソン比の関係

参考文献：1)石原研而「土質動力学の基礎」第4章多孔質弾性体の波動理論、鹿島出版、昭和51年 2)Kokusho,T. and Yoshida,Y., "SPT N-value and S-wave velocity for gravelly soils with different grain size distribution" Soils and Foundations Vol.37, No.4, pp.105-113, 1997 3)金谷 守「有効応力に基づく地盤の非線形地震応答解析手法の開発とその適用」東京大学博士号請求論文、平成6年