

梶谷調査工事(株) 正会員
同上

済 木 幸 平
橋 本 雅 宏

1. 序 論

クイックサンドに対する砂の限界動水勾配は、単に掘削底面下地盤のパイピング破壊の問題だけでなく、地震時における砂の液化化破壊、切羽や斜面の砂層の流動化破壊、あるいは砂の侵食破壊などに関係する重要なものであるが、限界動水勾配に及ぼす細粒分の影響については十分に研究されているとはいえない。

図1のような条件において点Aの単位立方体を考えると、限界動水勾配の一般式は次式で表わされる。

$$g_c = \frac{G_s - 1}{1 + e} + \frac{\Delta g + 4s + m}{\gamma_w \cdot L} = i_c + i'_c \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 g_c ：有効応力がゼロの状態でも強度を保持する土（粘着力などを有する土）の限界動水勾配 = h_c/L 。

G_s ：土粒子の比重。 e ：土の間隙比。 Δg ：上載圧力。

s ：土の鉛直せん断強さのうち有効応力に支配されない成分（粘着力など）。 m ：土粒子間の引張り強さ。

γ_w ：水の単位体積重量。 L ：図1参照。

i_c ：強度のすべてを有効応力に依存する土の限界動水勾配 = $(G_s - 1)/(1 + e)$ 。

i'_c ：有効応力に支配されない強度成分による限界動水勾配 = $(\Delta g + 4s + m)/\gamma_w \cdot L$ 。

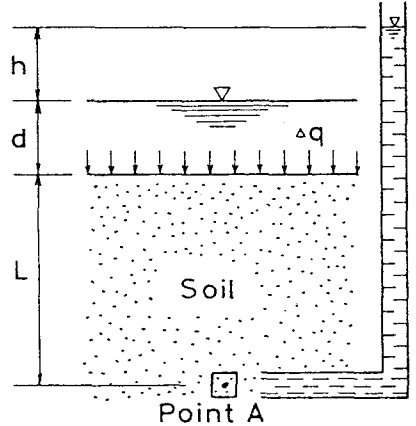


図1 上昇浸透流を受ける土の条件

$\Delta g = 0$, $s = 0$, $m = 0$ の特殊な条件の場合は $g_c = i_c$ となる。いま微少な粘着力を想定し $s = 5 \text{ gf/cm}^2$, $m = 1 \text{ gf/cm}^2$ とし、かつ $\Delta g = 0$, $L = 8 \text{ cm}$ という条件を仮定して(1)式によって i'_c を計算してみると、 $i'_c = 2.6$ が得られる。 $i_c = 1$ であるから $g_c = 3.6$ となり、微少な粘着力でも限界動水勾配に及ぼす影響は極めて大きいことがわかる。そこで、限界動水勾配に及ぼす細粒分の効果を確認するために、若干の細粒分を含む砂試料に対して限界動水勾配実験を行ったのでそれについて報告する。

2. 試料と実験方法

実験に用いた試料は、1) 標準砂、2) 標準砂に粘土を混合したもの（混入率3%、6%および9%）および3) 乱さない試料であり、それぞれの粒度特性は図2および表1に示す通りである。

表1 試料の比重および粒度特性値

原 材 料	比 重	最大粒径mm	細粒分%	均等係数
標 準 砂	2.647	0.42	0	1.4
混入粘土	2.642	0.074	100	—
乱さない砂	2.70~2.74	0.46	3~6	1.5~1.9

添加粘土は横浜大黒埠頭沖で採取した粘土を絶乾後 $74 \mu\text{m}$ ふるいでふるった。この土のコンシステンシー特性値は、乾燥前では $w_L = 90.5\%$, $w_p = 38.1\%$, 乾燥後は $w_L = 66.2\%$, $w_p = 31.1\%$ であった。乱さない砂は洪積層に属するもので、横浜市戸塚区内においてブロックサンプリング方法で6供試体採取した。それらの間隙比は $0.66 \sim 0.78$ であった。標準砂および混合試料の供試体は、試験用モールドに試料を5層に分けて入れ、その都度モールド

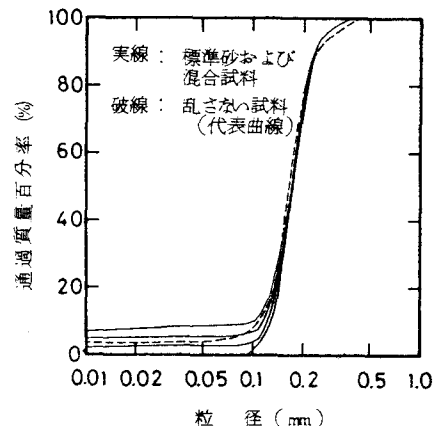


図2 試料の粒径加積曲線

ドの側面を木づちでたたいて間隙比の異なる供試体をそれぞれ数個作成した。ただし間隙比の大きい供試体はファンネルを用いた低ヘッド落し込み法で作成した。

実験に用いた装置は図3に示す通りであり、動水勾配を自由に調節できる機構を備えており、浸透流水の水頭差はピエゾメータで読定するようになっている。

供試体の入った試験モールドを実験装置にセットした後、次の要領で実験を行った。

1) 十分に時間をかけながら通水し、動水勾配0.3の浸透状態を12時間継続させ、供試体を飽和させる。

2) 次に、水頭調節装置を1 cmづつ段階的に上げる。各段階ごとに透水量を継続的に測定し、定常状態になったらそのときの水頭差と透水量を記録する。この測定をくり返しながら、供試体がパイピング破壊またはクィックサンド状態になるまで水頭差を増大させる。

パイピングまたはクィックサンド状態はほぼ瞬間的に起る。これは視察でも容易に判定できるが、下部ピエゾメータの水頭が一時的に上昇した後急激に低下するのでこの現象によっても判定できる。

3. 実験結果

図4は、(1)式の i_c の値に対する g_c (実験値) の比と間隙比との関係を示したものである。この図から明らかなおよび実験結果のその他を要約して下記に示す。

1) 標準砂は間隙比に関係なく $g_c = i_c$ の関係にあるが、細粒分を含む砂は $g_c > i_c$ なる関係にありかつ間隙比の減少につれて g_c は急激に増大する。

2) 乱さない試料と混合試料および細粒分混入率6%と9%の試料の間には明確な差異は認められないが、細粒分混入率 C_F (%) と実流速との間には次の概略関係が得られた。

$$v_p = (0.062)(0.747)^{C_F} \dots \dots (2)$$

$$\text{相関係数 } r = -0.925$$

ここに、 v_p ; 限界動水勾配時の実流速 (cm/s) = 測定で得られた流速を間隙断面積率で割った値。

3) 乱さない試料の場合には認められなかったが、混合試料の場合には g_c に達する前から細粒分の流出が認められ、最終流出率は元の細粒分量の13~21%に及んだ。図4の e と(2)式の C_F は補正值である。

4. あとがき

細粒分の混入量が僅かであっても限界動水勾配は間隙比の減少につれて急激に増大することが確認された。有効応力ゼロの状態における粒子間応力の測定と(1)式の適用性の検討などは今後の研究課題である。

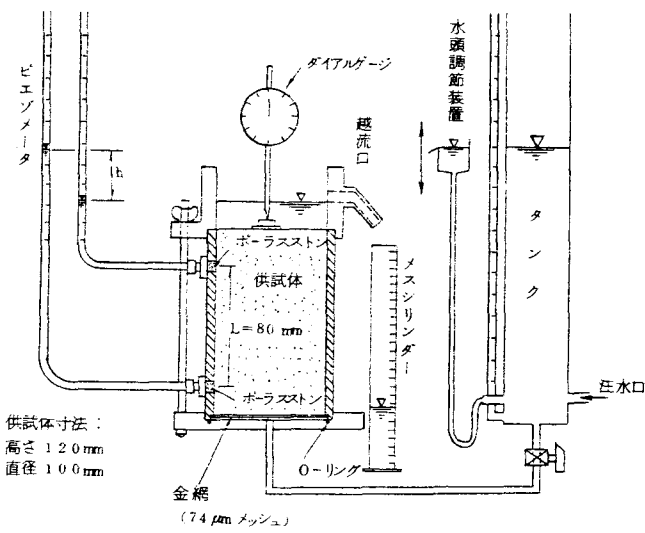


図3 実験装置概要図

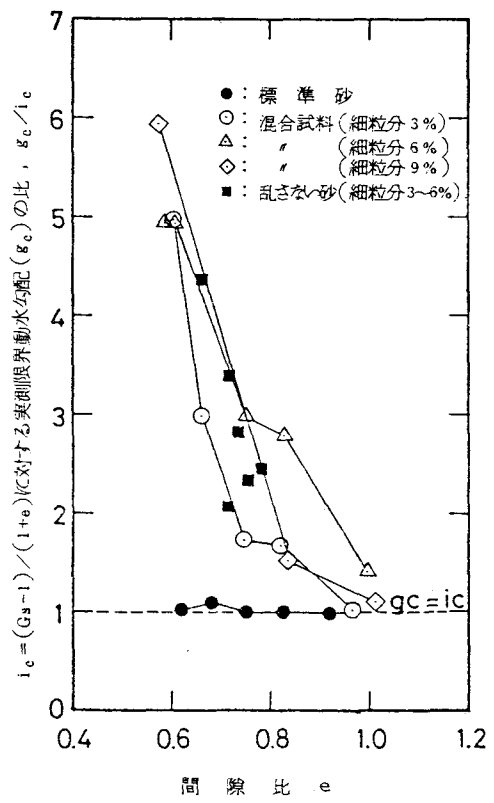


図4 g_c/i_c と間隙比 e の関係