

埼玉大学工学部 正員 岡間 秀孝
 東京電力(株) 正員 黒崎 秀
 埼玉大学大学院 学生員 竹内 信次

1. まえがき 粘性土の圧密に伴う透水係数の変化を微視的観点から検討し、圧密機構を明らかにすることを試みてきた。そして既に Taylor の透水係数式に粘土粒子の配向性を考慮した式を提案した²⁾。そこで本報告は、この透水係数式を間隙径分布を考慮した透水係数式に改良し、さらに水平方向の透水係数についても考え、その理論値と実験値を比較し、それらについて考察を加えたものである。

2. 試料及び実験方法 試料は市販のカオリン(ASP100)と、2種類の沖積粘土(川崎沖、志木市内)を用いた。それらの物理的性質、実験方法については参考文献を参照された。今回は水平方向の透水係数を求めるために、2-4種類の予圧密荷重の異なる試料を予圧密方向と垂直に切り出した供試本について、変水位透水試験を圧密容器にスタンドパイプをつけて行った。これに対して鉛直方向の透水係数は、圧密試験と並行して変水位透水試験を行って求めたものである。また間隙径分布を求めるために水銀圧入試験を行った。

3. 構造(配向及び間隙径分布)を考慮した透水係数 既に提案した透水係数式は、以下の形であった。

$$k = \gamma_w \frac{e}{1+e} \frac{R_H^2}{C_2 \mu} O.F. \quad \text{--- ①} \quad O.F. = \frac{\int \sin^2 \theta f(\beta, \alpha) \cos^2 \theta d\theta}{\int \sin^2 \theta f(\beta, \alpha) \cos^2 \theta d\theta} \quad \text{--- ②}$$

γ_w : 流体の単位体積重量, μ : 流体の粘性係数, e : 間隙比

β : ヤッドの傾斜角, α : ヤッドの走向角, C_2 : 形状係数

$f(\beta, \alpha)$: α が決まったとき β の条件確率密度関数

ここで問題となるのは代表半径 R_H である。 R_H は従来間隙比の一次関数として与えられることが多いが、より妥当なものにするには粘土中の間隙径分布を反映した形にすることが望ましい。そこで圧密に伴う粘土の間隙径分布の変化を調べ、その結果を透水係数式に導入することにより、ヤッドの配向と間隙径分布を考慮した透水係数式が得られる。水銀圧入試験から求めた圧密過程の間隙径分布の変化を示したものが図-1 である。図中 a - e - $\log P$ 曲線は圧密試験から得られたものであり、破線はその荷重段階における全間隙体積に占める大きさ別の間隙体積の割合を示している。図よりわかるように、間隙は $0.2 \mu\text{m}$ line を境に2つに分類できる。 $0.2 \mu\text{m}$ 以上の間隙は約9割減少している。さらに $1 \mu\text{m}$ 以上の大間隙についてみると、 $12.8 \sim 102.4 \text{ kgf/cm}^2$ の高圧域では全く無くなってしまっていることがわかる。従って圧密現象に大きくかわり合う間隙は $0.2 \mu\text{m}$ 以上、すなわち、この範囲の間隙がヤッド間隙に相当すると思われる。このような間隙の変化を密度分布で示したものが図-2, 3 である。比較のために $0.8, 6.4 \text{ kgf/cm}^2$ の荷重段階について示した。なお、図中の曲線は、分布を対数正規分布で近似したものである。この図からカオリンは間隙径分布が集中しているのに対して、沖積粘土では範囲が広く間隙径も大きいことがわかる。また、いずれの試料も圧密に伴い間隙径が小さい方へ移行

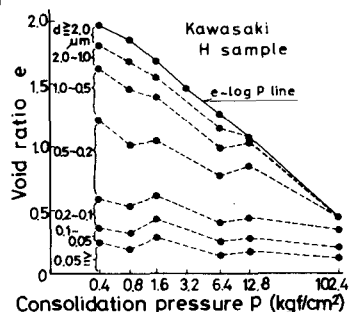


図-1 圧密過程の間隙径分布

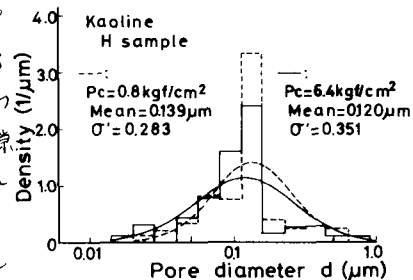


図-2 間隙径の密度分布

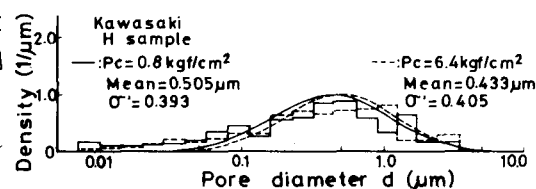


図-3 間隙径の密度分布

している。さて、前述の \$R_0\$ に間隙径分布を反映させることを考える。間隙半径 \$r\$ に対して間隙体積密度関数 \$M(r)\$ を考えると、 $\frac{e}{1+e} M(r) dr$ により単位面積当りの間隙半径 \$r \sim r+dr\$ の範囲の間隙面積が求まる。従ってこの大きさの範囲を流れる流量は次の③式で与えられる。

$$Q_r = (\bar{v}_x)_r \frac{e}{1+e} M(r) dr \quad \text{--- ③}$$

$(\bar{v}_x)_r$: 半径 \$r \sim r+dr\$ の範囲の間隙を流れる流速 (すべての配向を含む)

①、②式により③式 $(\bar{v}_x)_r$ をおきかえ、単位面積当りの総流量を考えると、透水係数は、

$$k = \frac{\gamma_w}{c_2 \mu} \frac{e}{1+e} O.F. \int r^2 M(r) dr \quad \text{--- ④}$$

となる。④式は配向分布及び間隙径分布を同時に考慮した形となっている。④式において $\int r^2 M(r) dr$ の項は、図-2.3 に示した近似曲線により計算可能である。図-4 にはその計算結果を示した。間隙径分布を反映して、沖積粘土の方がカオリンより大きい。また、水平方向の透水係数 k_h は、 H_{sample} の配向分布 $f(\theta/\alpha)$ に対して一次変換することにより、鉛直方向の透水係数 k_v と同様の手法で求められる。なお、 V_{sample} の圧密試験と並行して行った透水試験から得られた透水係数 k_v とは異なることに注意された。また、 H_{sample} の圧密試験と並行して行った透水試験から得られた鉛直方向の透水係数 k_v で表れた。

4. 実験と計算値の対応

④式による計算値と実験値との対応をみたものが図-5~7 である。水平方向の透水係数 k_h 、 V_{sample} の鉛直方向の透水係数 k_v 、 H_{sample} の鉛直方向

の透水係数 k_v の大小関係及び間隙比に伴う変化の様子をほぼ表わしているが、絶対値そのものはカオリンを除いて十分対応を得られなかった。しかし、これは $\int r^2 M(r) dr$ の計算に用いている間隙径分布曲線が、水銀圧入試験データに基づいていることに起因すると思われる。つまり、水

銀圧入試験は実験操作上、試料の除荷、乾燥を伴うこと、また試料を細分化しなくてはならないこと等から、自然粘土はこれらの影響が大きいことが予想される。また、試料と実験値の差は k_h と k_v との差が大きいことは興味深い。

5. まとめ 新たに間隙径分布を考慮した透水係数式は、実験値の変化の様子をほぼ表現することができ、妥当性のあるものと考えられる。しかし、沖積粘土については絶対値が十分対応ができず、形状係数 c_2 の意味を明らかにすることが今後の問題である。また水平方向の透水係数については、十分理論値と実験値の対応は得られなかったが、実験値の変化の様子は V_{sample} の透水係数 k_v とほぼ同程度であることがわかった。

参考文献：1) 風間他 第15回土質工学研究発表会 1980 pp.213~pp.216 2) 風間他 第14回土質工学研究発表会 1979 3) 風間他 第15回土質工学研究発表会 1980 pp.193~pp.196 4) 風間他 第35回土学会年次学術講演会 1980

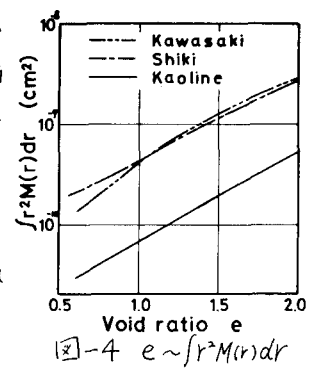


図-4 $e \sim \int r^2 M(r) dr$

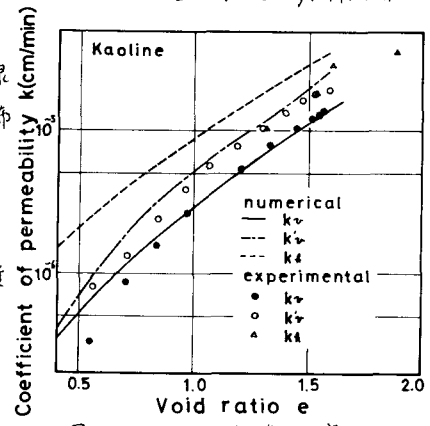


図-5 $e \sim k$ (計算値と実験値)

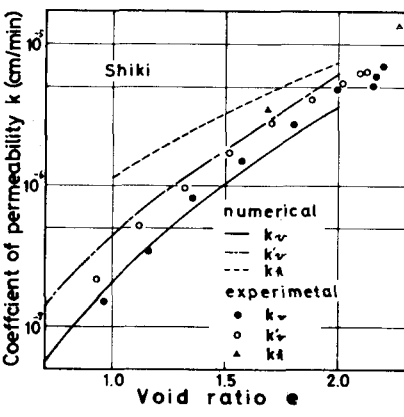


図-6 $e \sim k$ (計算値と実験値)

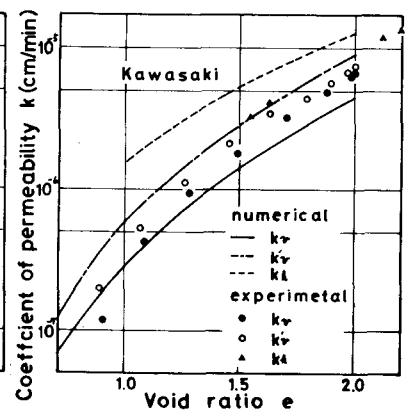


図-7 $e \sim k$ (計算値と実験値)