

透水性堤体の浸透流量に及ぼす毛管領域の影響

宮崎大学工学部 正 員 藤本 廣
 学生員 ○佐藤 光博

1. 序 論

アースダムや河川堤防などの堤体内の浸透現象に関して、不飽和領域すなわち浸潤線以上の毛管領域を通じての浸透流量が無視出来ないことは、既にK.Terzaghi¹⁾などにより指摘されている事実である。その現象についてA.D.Kerrの浸透流量に及ぼす毛管領域の影響に関する実験的研究²⁾や、T.G.Chapmanの電氣的相似を応用した毛管領域の影響に関する解析結果³⁾が報告されている。なお我国では、1960年に藤本がKerrの実験範囲を更に拡大した場合について検討した結果⁴⁾を発表している。この種の現象は実際的な問題としても興味のあるものであるが、特にアースダム築造時における模型堤体による浸透実験の際には見逃し得ない現象の一つである。本研究は、堤体材料にしろすを用い、藤本が以前に行った豊浦砂の場合の実験結果と比較したうえで、C.S.Desaiの理論⁵⁾による解析方法の応用を試みたものである。

2. 試料と実験方法

試料には、宮崎県都城市関の尾で採取したしろすの粒径4.76mm以下と、豊浦砂を用いた。図-1に粒度曲線を示す。模型堤体の寸法は、堤高13.5cm、底幅50cm、天端幅3.4cm、堤長10.4cmで、法面勾配は上下流とも30°の均質堤体である。下流側法面に高さ4cm、粒径が0.3mm~6.0mmの碎石によるフィルターを設けた。実験は、間隙比を $e=1.141, 1.221, 1.316$ の三種、貯水水深を $h=3.6\text{cm}, 5.7\text{cm}, 7.6\text{cm}, 9.6\text{cm}, 11.6\text{cm}$ の五種に変化させて過マンガン酸カリウムによる流線の観測撮影を行った後、浸透が定常状態になってから、浸透流量の測定を行った。図-2に実験装置を、表-1にしろすと豊浦砂の別途に測定した透水係数を示す。

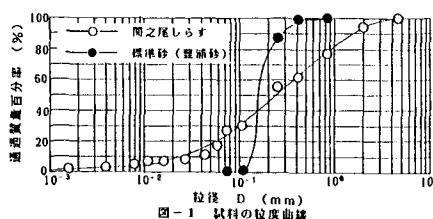


図-1 試料の粒度曲線

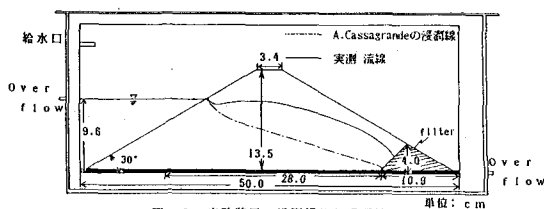


図-2 実験装置・模型堤体と浸透線

単位: cm

3. 実験結果と考察

3-1 流線網に対する考察

実測した浸潤線以下の流線は、A.Cassagrandeの方法による流線とほとんど同様であるが、浸潤線以上の毛管領域の流線は、図-2に一例を示したように、毛管サイフォン効果で上に凸の形状を示した。

3-2 浸透流量に対する考察

実測流量 Q_m 及びCassagrandeの方法で求めた浸潤線以下の計算流量 Q_c と貯水水深(h)／堤高(H)との関係は図-3、図-4に示すようにほぼKerrの結果と相似している。Kerrの実験結果では、 $h=0.2H$ 付近で毛管領域の流量が飽和領域の流量の約4倍であったと報告されているが、この傾向は図-5に示しているように豊浦砂の堤体(フィルターなし、 $e=0.863$)の場合にのみ現れている。一般的に Q_m/Q_c と h/H との関係は、 $\log_{10}(Q_m/Q_c) = \log_{10} A - \alpha \log_{10}(h/H)$ ----- (1)

で示されている。 Q_m/Q_c の値は、豊浦砂に比べてしろすの方が圧倒的に大きい。又、 h/H の増加に対する Q_m/Q_c の減少の割合、すなわち(1)式の傾き(α)は、堤体材料、フィルターの有無に関係なくほぼ同じである。

しろす		豊浦砂	
間隙比	透水係数(cm/sec)	間隙比	透水係数(cm/sec)
$e=1.141$	6.4×10^{-4}	$e=0.748$	2.6×10^{-2}
$e=1.221$	7.4×10^{-4}	$e=0.816$	3.1×10^{-2}
$e=1.316$	7.6×10^{-4}	$e=0.863$	3.5×10^{-2}

表-1 試料の間隙比と透水係数

$Q_m - Q_c = Q_d$ を毛管領域のみの浸透流量とみなすと、 Q_d と h/H との関係は図-6のようになり、Chapmanが解析している次式、

$$Q_m - Q_c = (K \cdot h_c / L) \cdot (Y_M - Y_N) \quad \text{----- (2)}$$

の関係をほぼ満足するのではないかと考えられる。しらすの Q_d が豊浦砂の Q_d より小さい理由は、豊浦砂に比べてしらすの均等係数が $U_s = 11.43$ と大きく、またしらすは毛管ポテンシャルは高いが、透水係数が小さいためであると考えられる。

3-3 Desaiの理論の応用

模型堤体内の毛管領域を含めた流線網を求めるため、DesaiのResidual Flow Procedureを用いた。これは、解析範囲を全領域とした有限要素法の1つであり、従来の方法より簡単に解析が行えるものである。要素分割した堤体モデルに条件を与えて得られた各節点のポテンシャルから求めた等ポテンシャル線を図-7に示す。図示している値は、ポテンシャルの値である。自由水面は下流側でわずかにずれてはいるが、Cassagrandeの浸潤線とほぼ一致している。又、等ポテンシャル線の形状は実際の浸透のフロントとほぼ同じ形状となった。

4. まとめ

以上の結果より、1)実際の流線は、浸潤線より上部に表れ、上に凸の形状を示す。

2)浸透流量は、 Q_m および Q_c と h/H との関係は、Kerrの実験結果とほぼ一致し、また $(Q_m - Q_c)$

と h/H との関係は、Chapmanの近似解析式に似た1次式を示した。3)しらすと豊浦砂との比較については浸透流量はかなりの違いがあるが、その他の性質についてはほぼ一致している。4)Desaiの理論を応用した解析については、よい結果が得られているため、要素分割は適当であったと考えられる。

参考文献

- 1) K.Terzaghi: Theoretical Soil Mechanics, 1959, P304
- 2) A.D.Keer: "A Study of The Effect of The Capillary Zone on The Flow Through Homogeneous Earth Dams" Geotechnique(The International Journal of Soil Mechanics)Vol IX NO.2, June 59', P59
- 3) T.G.Chapman: "Capillary Effects in A Two-Dimensional Ground Water Flow System" Geotechnique(The International Journal of Soil Mechanics)Vol X NO2 June 60' P55
- 4) 藤本 廣: "模型堤体の浸透実験における毛管領域の影響" 昭和36年度土質工学会秋期学術講演会講演概要 (S36,11,18), P7
- 5) Desai&Li: A Residual Flow Procedure and Application for Free Surface Flow in Porous Media, Adv.in water res., vol.6, p27-35 March, 1983

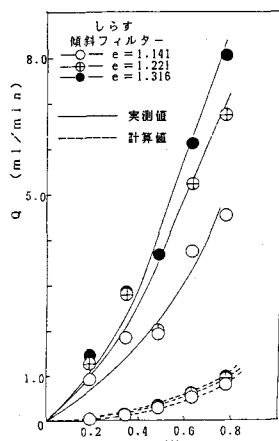


図-3 Q_m 及び Q_c と h/H との関係(しらす)

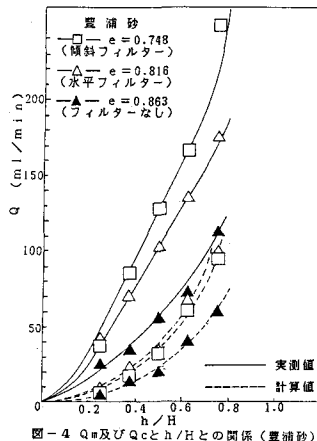


図-4 Q_m 及び Q_c と h/H との関係(豊浦砂)

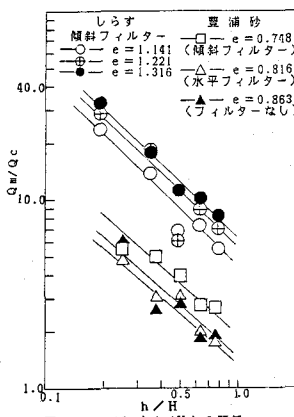


図-5 Q_m/Q_c と h/H との関係

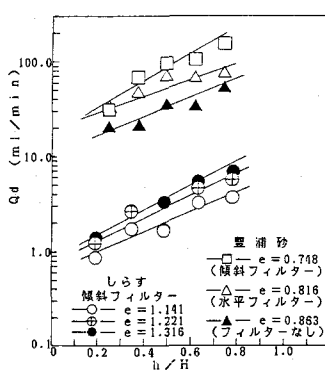


図-6 Q_d と h/H との関係

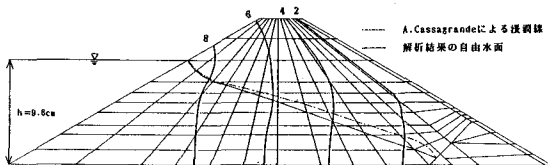


図-7 堤体の要素分割と等ポテンシャル線