

河川堤防の浸透挙動把握における透水係数に関する一考察

建設技術研究所 正会員 李 圭太, 岡嶋 義行
国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所 河東 礼
京都大学大学院 正会員 小山 倫史, 大西 有三
建設技術研究所 吉川 智勝, 大橋 泰博

1. 目的

近年の豪雨災害の発生より、河川堤防に対する質的な評価および評価に伴う強化対策が急務となっている。この質的な評価にあたっては、河川堤防関連指針¹⁾²⁾に準じて全国で実施されており、特に浸透に対する安全性検討が着目されている。浸透に対する安全性検討は、対象外力を降雨・洪水とし、飽和・不飽和浸透流解析により堤体内浸潤面を解析し得られた浸潤面を円弧すべり計算に用いて最小すべり安全率で評価している。この浸透流解析における支配的な土質特性は透水係数である。とくに、堤体部分の透水係数は堤体内浸潤面の挙動に大きく寄与すると考えられる。この堤体部分の不飽和帯であることから、攪乱試料による密度調整した試料を用いた室内透水試験が主に実施されている。李らによる既往の関連研究³⁾によれば不飽和地盤の透水係数について、現場透水試験と室内透水試験による透水係数の値に差異が生じる場合があることを示している。そこで本研究では、同一堤体盛土を対象としてマリOTTサイフォンを用いた Borehole permeameter 法による現場透水試験と室内透水試験を実施し、堤体の透水係数の評価を行うとともに、堤体の透水係数が浸潤挙動、浸透に対する安全性検討に与える影響について考察した。

2. 不飽和地盤における透水試験の原位置測定

本研究で用いた不飽和地盤における透水試験の原位置測定法は、写真2に示すφ300mmのコアチューブを用いてオーガー孔を作成し、写真1に示すような補助タンク付きのマリOTTサイフォンを用いて、一定水压による注水を行い、定常状態における注水量より透水係数を算定した。この方法はE-19法として米国内務省開拓局のアースマニュアルに示された方法で我が国では、締固めた地盤の透水試験方法として地盤工学会基準としても規定されている。試験装置の概要を図1に示す。なお、注水量の測定にあたっては、マリOTTタンクに差圧計を設置し、データロガーを接続し自動計測を行った。透水係数の算定は、次式を用いた。

$$k = \frac{Q}{2\pi h^2} \left[\ln \left[\frac{h}{r_0} + \left\{ \left(\frac{h}{r_0} \right)^2 + 1 \right\}^{\frac{1}{2}} \right] - \left\{ \left(\frac{r_0}{h} \right)^2 + 1 \right\}^{\frac{1}{2}} + \left(\frac{r_0}{h} \right) \right]$$

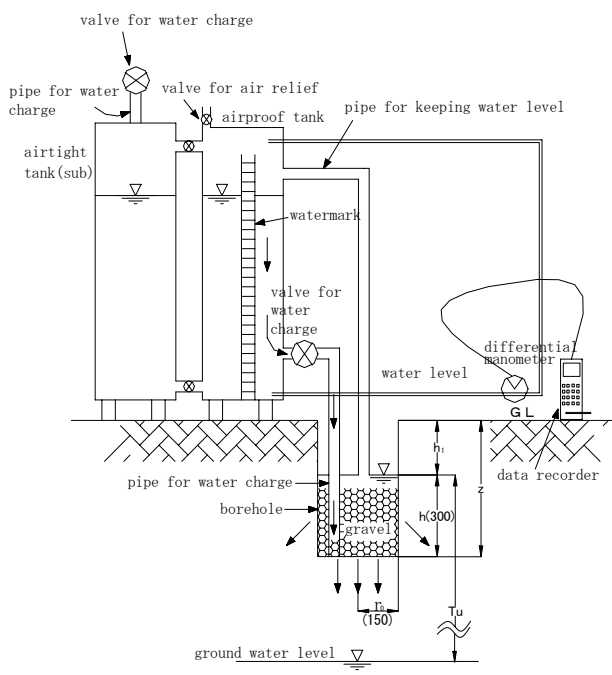
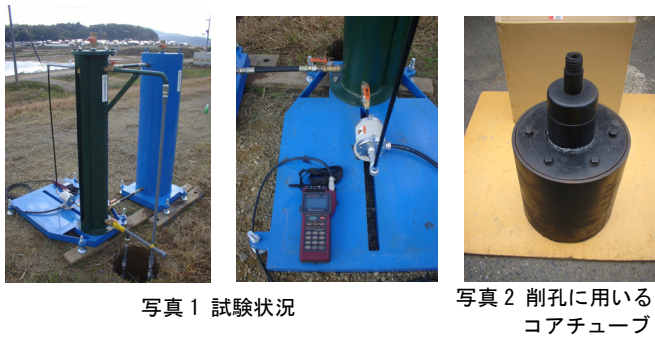


図1 不飽和地盤における現場透水試験装置の概要

3. 堤体の透水係数の評価

室内透水試験と締固めた地盤の透水試験は、同一河川の3カ所の堤防で実施した。堤体の土質は、断面A、断面BについてはN値が2～5程度の花崗岩質の砂と耕作土を材料としたと思われる盛土で、やや粘性があり、 $\phi 20\text{mm}$ ～ 30mm の礫が混入している。断面Cは比較的上流に位置しN値は10程度で、山土を堤体材料としたと思われる盛土で砂質粘土を主体としており、最大粒径 80mm 程度の礫が混入している。室内透水試験の実施においては、まず、締固め試験により最大乾燥密度を求め、堤体材料の乾燥密度から堤体の締固め度を算定した。試験は締固め度を変えた3ケースの試料で実施し、最も小さい締固め度は、堤体の締固め度を下回るように設定した。室内透水試験の結果、および現場透水試験の結果とそれぞれの試料の礫分含有率(Gc)、細粒分含有率(Fc)を表1に示す。締固めた地盤の透水試験による透水係数は 10^{-3}cm/s オーダーであるのに対し、室内試験の結果では $10^{-5}\sim 10^{-6}\text{cm/s}$ オーダーの値が得られている。室内透水試験と締固めた地盤の透水試験の差について、締固めた地盤の透水試験に用いた試料の礫分含有率(Gc)が、室内試験のものより大きいことがわかる。その要因として、締固めた地盤の透水試験により採取された試料は $\phi 300\text{mm}$ のオーガー孔によるものに対し、室内試験に用いた試料は標準貫入試験のサンプラーにより採取されたもので採取可能な最大粒径が限定されていることや、地盤の不均一性が考えられる。断面Aについては、室内透水試験の結果は締固め度の違いにより大きく変化しており、実際の堤防盛土の締固め度により透水係数が大きく依存することが推察される。

表1 室内透水試験と現場透水試験による透水係数

試験種別	断面A				断面B				断面C			
	締固度(%)	透水係数(cm/sec)	Fc	Gc	締固度(%)	透水係数(cm/sec)	Fc	Gc	締固度(%)	透水係数(cm/sec)	Fc	Gc
室内透水試験	77.5	1.03E-02	25.9	5.2	75.0	1.20E-05	31.1	10.4	84.8	8.69E-04	36.0	25.4
	86.0	4.27E-06			85.0	1.14E-06			91.4	3.86E-05		
	90.0	4.90E-07			95.0	9.30E-07			94.9	2.68E-05		
締固めた地盤の透水試験	表のり	3.17E-03	12.2	13.9	表のり	6.77E-03	45.2	12.9	表のり	1.69E-03	26.1	46.0
	裏のり	1.77E-04	17.5	20.9	裏のり	1.97E-03	29.6	17.0	裏のり	6.69E-03		

4. 堤体の透水係数と浸潤挙動

堤体の透水係数が浸潤挙動に与える影響を考察するため、断面Bを対象に堤体の透水係数を $1\times 10^{-2}\sim 1\times 10^{-6}\text{cm/s}$ の範囲で変化させて浸透流解析を実施し、川裏すべりに対する安全率を算定した。図2に解析モデル図を示し、図3に各透水係数によるピーク時の浸潤面とすべり安全率を示す。透水係数が $1\times 10^{-3}\sim 1\times 10^{-4}\text{cm/s}$ の間で安全率に大きな変化があり、室内透水試験に得られた透水係数に近い $1\times 10^{-6}\text{cm/s}$ の場合、Fsが2を上回るが、締固めた地盤の透水試験により得られた透水係数に近い $1\times 10^{-3}\text{cm/s}$ では、Fsが1.2程度となった。

5. まとめ

堤体の透水係数の評価として、室内透水試験と締固めた地盤の透水試験を実施した。その結果、両手法による透水係数には差異があり、洪水時のすべりに安全率の評価にも違いが生じる結果となった。今後、土質特性に着目したそれぞれの手法の適用性について、考察を進める必要がある。

参考文献

- 1) 「河川堤防の構造検討の手引き」平成14年7月 財団法人国土技術研究センター
- 2) 「中小河川における堤防点検・対策の手引き(案)」平成16年11月 財団法人国土技術研究センター
- 3) 李ら：不飽和地盤における現場透水試験に関する考察，第41回地盤工学研究発表会，平成18年7月

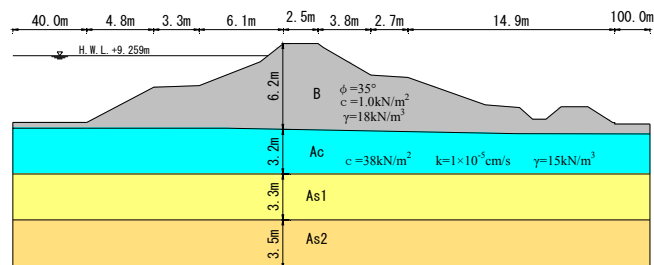


図2 解析モデル図

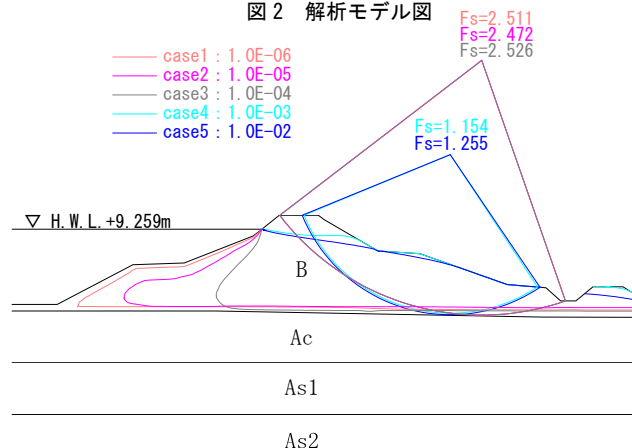


図3 浸潤面とすべり安全率