

国士館大学工学部 正員 伊藤秀夫
東京建設コンサルタント 正員 川辺弘美

1. はじめに 延長の長い河川堤防では、どうしても透水性地盤や、軟弱地盤上に堤防を築造しなければならない場合がある。このため堤内では浸透による漏水や、堤体の沈下などで悩まされることが多い。地盤浸透に関する研究は昔から行なわれて来ているが、特に最近の電子計算機の発達によって有限要素法、数値解析法などが盛んになり成果を上げて来ている。この論文は実験を基にして、どんな計算法が容易で良く実験値に適合するかを中心にして、各種計算法の比較と漏水量を減少させる矢板工法、ブランケット工法、下流盛土工法、溝掘排水工法などの対策を検討した。さらに、模型の縮尺比を1:2.5に変化させた場合の実験をし、漏水量に対する相似則についても調べた。

2. 実験装置と実験方法 実験装置は前面プラスチックの水槽で模型設置部の長さ80cmと200cm、高さ40cmと100cm、幅30cmと50cmの大きさの異なる2つの水槽を使用した。水槽の左右には水位を一定に保つための余水吐用の排水管を設置し、同時に右側の排水管を利用して漏水量を測定した。実験は下層に15cmと27.5cmの珪砂(最大粒径0.2mm平均粒径0.15mm透水係数 1.63×10^{-5} cm/s)の難透水層とその上層に15cmと37.5cmの石英砂(最大粒径1.0mm平均粒径0.7mm透水係数0.208cm/s)の透水層を適当に締固め、次に各層が完全に飽和するまで水を入れ、その後水を抜き、その地盤上に難透水性の粘土を用いて法勾配1:1.5高さ10cmと25cm天端幅5cmと12.5cm、底長35cmと87.5cmの堤防を作った。左側に水を入れ水位が安定するのを待って、上下流の水位を測り、右側の排水管を使って漏水量を測定した。圧力水頭は直径3mmの先端に金網をつけたものを差し込んで測定した。溝掘排水工法の溝の大きさは幅5cm、深さ3.5cmで、溝にたまった水はサイフォンの原理を利用して排水し、下流側漏水量とは別に測定した。また、流線はいずれの場合も注射針にウォーターブルーを注入して測定した。

3. 実験結果と解析 解析方法はリラクゼーション法、有限要素法などであるが、実験結果のすべてにこれらの方法を適用したわけではなく、矢板工法、ブランケット工法については有限要素法とリラクゼーション(Relaxation)法を用い溝掘工法については境界条件の入れやすい有限要素法を用いて流線および漏水量を求め、それぞれの実験値との比較を行った。計算は、実験条件によって境界条件の与え方に問題はあが、流れ関数 ψ とポテンシャル関数 ϕ のいずれか一方を境界条件として与えた。

(i) 流線網解析 二次元浸透流の場合、(1)、(2)式で表わされるLaplace型の方程式を解くことになるが、任意の境界条件、任意節点における流れ関数 ψ 、ポテンシャル関数 ϕ をリラクゼーション法と有限要素法によって求めた。結果の1部を示せば図. 1～図. 3のようである。

$$k_x \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \dots\dots\dots(1) \quad \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \dots\dots\dots(2)$$

ここに k_x : x 方向の透水係数, k_y : y 方向の透水係数, ϕ : ポテンシャル関数, ψ : 流れ関数。

(ii) 漏水量解析 漏水量の計算はフローネット法および一部の実験値については有限要素法を用いた。その結果は表. 1のようである。

(iii) 相似則 相似則の関係についてはDarcy則、Fr数則を用いて表. 2のように実験値と比較した結果、Darcy則の平均適合度78%に対して、Fr数則の適合度はさらに良く、平均適合度82%であった。これは浸透流速が早く、乱流の要素が強い結果と思われる。

Darcy則 $Q_l = Q_s \cdot \frac{h_l}{h_s} \cdot \frac{B_l}{B_s} \dots\dots\dots(3)$

Fr数則 $Q_l = Q_s \cdot \left(\frac{h_l}{h_s} \right)^{1/2} \cdot \frac{B_l}{B_s} \cdot \frac{L_l}{L_s} \dots\dots\dots(4)$

ここに、 Q_l : 大型模型に換算した漏水量, Q_s : 小型模型の漏水量, L_l : 大型模型の長さ, L_s : 小型模型の

長さ, B_l : 大型模型の横幅, B_s : 小型模型の横幅

(iv) 溝掘排水工法 堤体から離れた位置に透水性の排水溝を掘ることによって強制的に、浸透水を抜く方法であるが、これは、堤内の溝に流線を集中させるため他の堤内に浸水させない利点があって良い方法と考えられる。これまでの実験では堤体の法尻より余り近くても、遠くても流線が全部溝に集中しないので、溝の位置をどこに決めるのが良いか問題である。

4. 結び 透水係数が一様な地盤においては、リラクゼーション法によって矢板、プランケット、盛土のいずれの工法に対しても流線、漏水量共に実験値より計算値が小さい結果が得られた。これは地盤の透水係数の取り方に問題があって、実験時での透水係数を正しく把握する必要があると思われる。漏水量を完全になくすには矢板などの不透水性のものをに入れて浸透を完全にしゃ断する工法になるが、不透水性の地盤が深い所にあたりする場合は工費が増大し不可能になる場合も考えられるし、矢板の長さを長くすることによって漏水量は減少するが、ある範囲では長くすることによって、かえって漏水量が増加する結果が得られた。プランケットの効果についてもプランケットの長さの増加によって漏水量は減少する結果が得られたが、その効果は矢板の場合と大差はない。漏水量に対する模型の相似則はフルード数則が

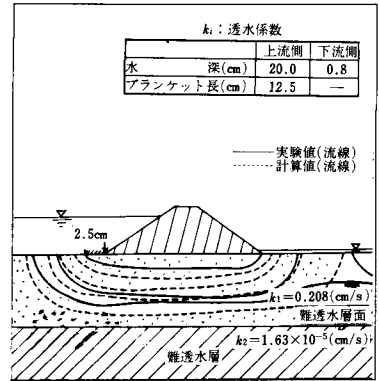


図. 1 上流プランケット工法

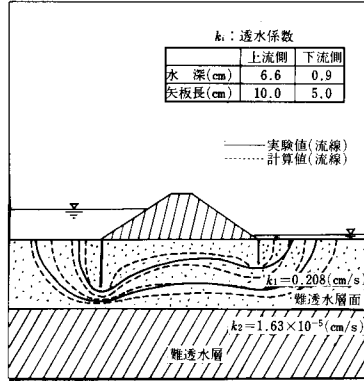


図. 2 矢板工法

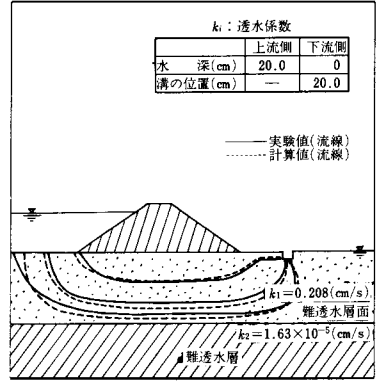


図. 3 溝掘工法(表土のない場合)

表. 1 各種工法の漏水量の比較

各種工法	水頭差 (cm)	漏水量 (l/s)			各種工法	水頭差 (cm)	漏水量 (l/s)		
		実験値	リラクゼーション法	有限要素法			実験値	有限要素法	有限要素法
対策工法なし	20.0	0.1071	0.0741	0.0667	溝掘工法 (1)溝および堤内が全部透水性の場合。 堤防法尻より溝までの距離 (cm)	20.0	0.093	0.162	0.149
矢板工法									
上流矢板長 (cm)									
下流矢板長									
12.50	19.5	0.1033	0.0663	0.0575					
18.75	19.0	0.0867	0.0623	0.0519					
20.00	19.0	0.0900	0.0613	0.0468					
プランケット工法					7.5 15.0 20.0	20.0	0.105	0.145	0.149
上流プランケット (cm)									
12.50	19.2	0.0883	0.0494	0.0567					
18.75	18.8	0.0867	0.0399	0.0535					
25.00	18.0	0.0767	0.0310	0.0487					

一番適合性が良かった。溝掘排水工法は堤内の限定された所に水を集めるので、目的によっては良い工法と考えられるが、パイピングの防止から他の工法と併用すればさらに安全と考えられる。本論文作成に当って実験および解析などに協力して戴いた元学生、南橋丈二外8名の諸氏に厚く感謝申し上げます。

表. 2 Darcy 則および Fr 数則による大型、小型模型の漏水量の比較

各種工法	漏水量 (l/s)	大型模型の実験流量		小型模型の換算流量	
		Darcy 則	Fr 数則	Darcy 則	Fr 数則
対策工法なし	0.1071 l/s	0.0839	0.1186	0.0839	0.1186
上流矢板長 12.5cm	0.1033	0.1254	0.1679	0.1254	0.1679
上流矢板長 18.5cm	0.0867	0.0774	0.1032	0.0774	0.1032
上流矢板長 25.0cm	0.0900	0.0810	0.1059	0.0810	0.1059
上流プランケット長 12.5cm	0.0883	0.0617	0.0924	0.0617	0.0924
上流プランケット長 18.75cm	0.0867	0.0571	0.0819	0.0571	0.0819
上流プランケット長 25.0cm	0.0767	0.0579	0.0807	0.0579	0.0807