

盛土に打設した排水パイプの耐降雨性向上効果の解析的評価

防災技術研究部 地盤防災研究室

副主任研究員 渡邊 諭

1. はじめに

降雨や地下水の浸透により安定性が低下すると予想される盛土に対しては、盛土内の排水対策が効果的かつ不可欠な対策とされている。しかし、排水溝などの表面排水設備を除いて、盛土内からの排水を促すための対策の多くは設計法が確立されておらず、その施工仕様については経験に基づいて決定されている場合が多い。そこで本稿では、施工実績も豊富で高い効果が期待される排水パイプを排水対策として選定し、排水パイプの浸透流解析モデルの作成手法について述べるとともに、このモデルを用いて排水パイプの耐降雨性向上効果を解析的に評価した結果について述べる。

2. 排水パイプの解析モデルの検討

2.1 小型模型地盤を用いた透水実験

排水パイプが有する排水効果を確認することを目的とした小型模型地盤を用いた浸透実験を行った。実験装置の概略図を図1に示す。実験では、模型地盤内に実際の排水パイプの施工条件と同様に排水パイプを挿入孔より打設した条件（ケース1）と、盛土地盤作成時に排水パイプを敷設した条件（ケース2）の2パターンを作成し、アクリル円筒上端から水が越流する状態まで水を浸透させた際の排水パイプからの排水量と圧力水頭を測定した。その結果、図2に示すように、今回の実験条件では両ケースで模型底面の間隙水圧が34～39%程度低下しており、排水パイプは排水による水位低下効果の他に間隙水圧低下効果を有していることが分かった。

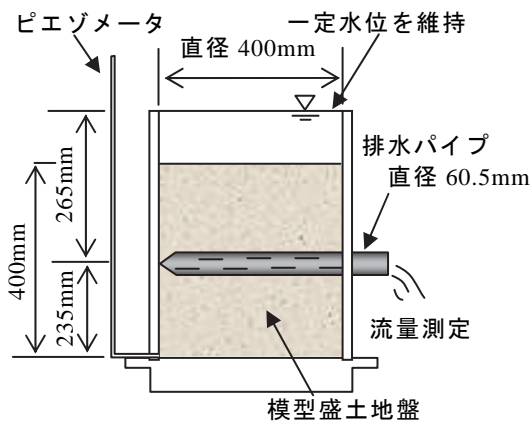
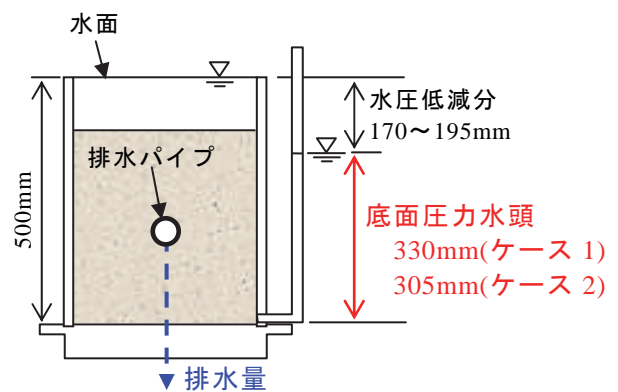


図1 小型模型地盤を用いた浸透実験装置



5.98cm³/s(ケース1)
6.39cm³/s(ケース2)

図2 実験結果概略

2.2 排水パイプのモデル化

図3に示すような小型模型実験を模擬した解析モデルを作成し、上述の実験結果を基にケース1に関する排水パイプのモデル化について検討した。このとき、排水パイプの周囲にはスキンエフェクト層を設けている。このスキンエフェクト層とは、排水パイプ打設によるパイプ周囲の密

度変化と、浸透水の流れによる土粒子の移動・再配列によって形成された排水パイプ極近傍の範囲における盛土材の透水性が低下した領域であり、上述の実験ではケース 1 において形成されていると考えられる。

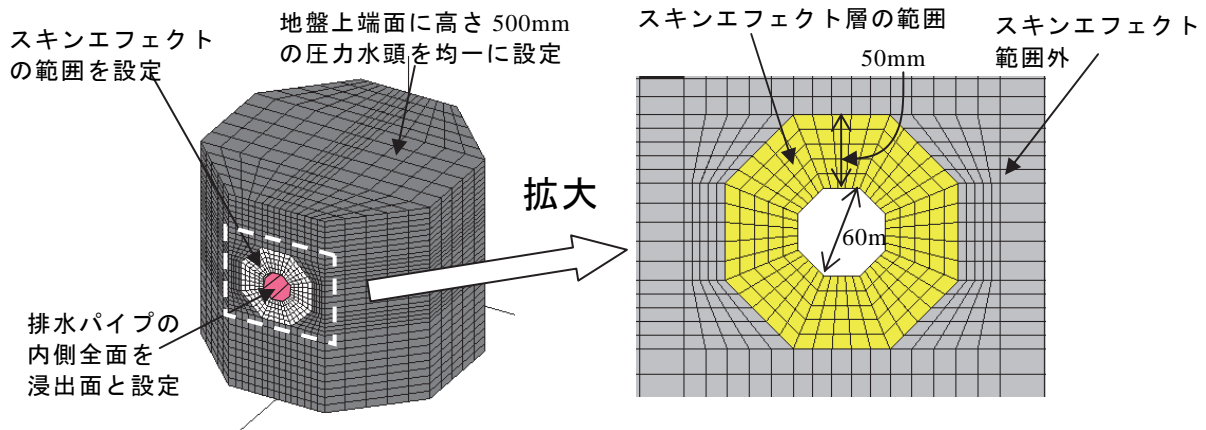


図 3 解析モデル概要

この解析モデルにおいて、表 1 に示す解析パラメータを設定し、小型模型実験と同様に円筒模型地盤上端面に底面からの高さ 50cm の圧力水頭を均一に作用させた定常解析を実施した。まず、スキンエフェクト層を考慮せず、モデル全体の透水係数が一様な条件で解析を実施し、解析における流出量と図 2 で示したケース 2 の流出量とが一致するような盛土材の透水係数を求めたところ $3.1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ が得られた。次に、スキンエフェクト層の厚さは 50mm と仮定し、スキンエフェクト範囲外の透水係数を $3.1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ に設定して解析を行った場合、スキンエフェクト層の透水係数をスキンエフェクト範囲外の透水係数の 85% に設定した場合に、解析における流出量とケース 1 における流出量とが一致することが分かった。また、図 4 には、その時の円筒模型盛土地盤の圧力水頭の分布を求めた結果を示す。図から、土槽底面の圧力水頭は約 44% 低減されており、実験における低減率 (34~39%) とほぼ一致している。このように、検討した解析モデルは排水パイプによる間隙水圧の低減効果についても再現可能であるといえる。

表 1 解析パラメータ¹⁾

飽和堆積含水率 θ_{sat}	比貯留係数 S_s	最少容水量 M_n
40%	1×10^{-4}	0%

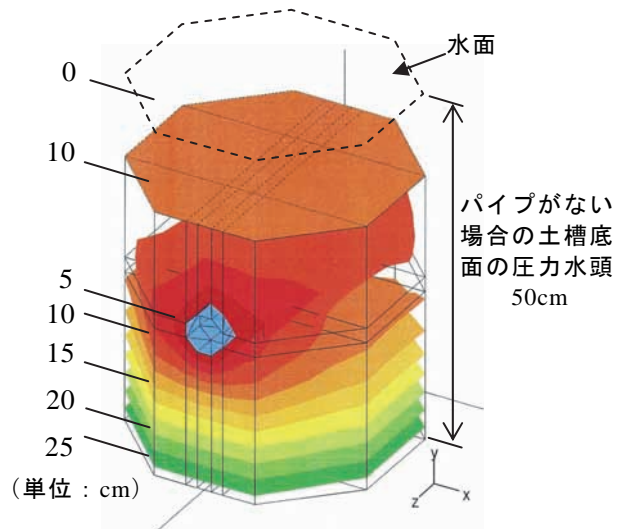


図 4 検討した解析モデルにより求めた圧力水頭分布

以上のことから、小型模型地盤を用いた実験とその再現のための解析モデルの検討により、排水パイプをモデル化するにはスキンエフェクトを考慮する必要があることが明らかになった。

3. 排水パイプの排水効果の定量化

排水パイプが持つ排水効果の基本性能を確認するため、前述のスキンエフェクトを考慮した排水パイプのモデルを用いて、飽和・不飽和浸透流解析により求めた圧力を換算して得た水位（以

下、圧力換算水位という)の抑制効果を確認した。ここでは、排水パイプをのり面に1本のみ設置し、その長さを変化させたモデルと、パイプ長さは一定で打設間隔を変えて配置するモデルを作成して、それぞれ解析を行った。表3に解析条件を示す。図5、図6にそれぞれの盛土および排水パイプのモデルの概要を示す。また、ここでは10mm/hの降雨が50時間降り続いた場合について検討した。

表3 解析条件

モデル種別	パイプ長	打設ピッチ	透水係数	
			盛土	スキンエフェクト領域
A	無し		5×10^{-3}	4.25×10^{-3}
	1m	1本のみ		
	2m			
	4m			
	10m			
B	無し		5×10^{-3}	4.25×10^{-3}
	3.6m	1m		
		2m		
		3m		

図7に排水パイプの長さとのり面中腹部直下の圧力換算水位との関係を示す。ここで、同図に示した圧力換算水位は、図5の排水パイプを打設した断面から1.5m離れた位置(3m間隔で打設した排水パイプの中間位置)の断面におけるのり面中腹直下でのものである。図から、排水パイプの長さが長くなるほど圧力換算水位は低下することがわかる。また、4m程度の長さの排水パイプの効果として、排水パイプがない場合(パイプ長さ0m)の1/2程度に圧力換算水位が低下することが示されている。

図7と同様に、図8に長さ3.6mの排水パイプの打設間隔と圧力換算水位との関係を示す。図から、打設間隔が密なほど圧力換算水位を抑制し、1, 2, 3m間隔で打設した時、排水パイプがない場合の水位上昇をそれぞれ73, 61, 51%抑制していることがわかる。

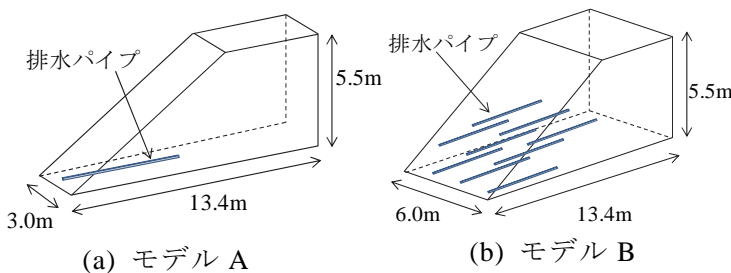


図5 モデルの概要

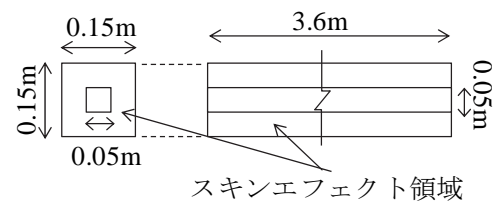


図6 排水パイプのモデル概要

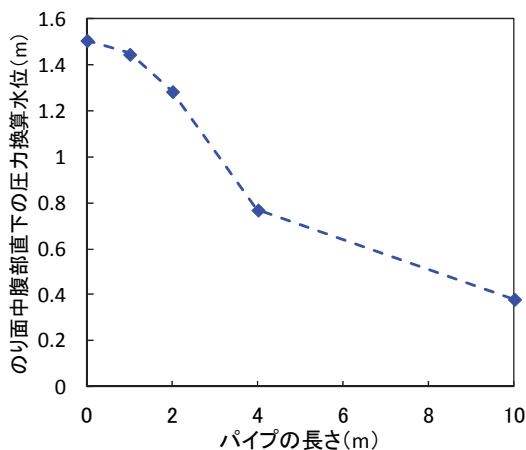


図7 パイプ長さと圧力換算水位との関係

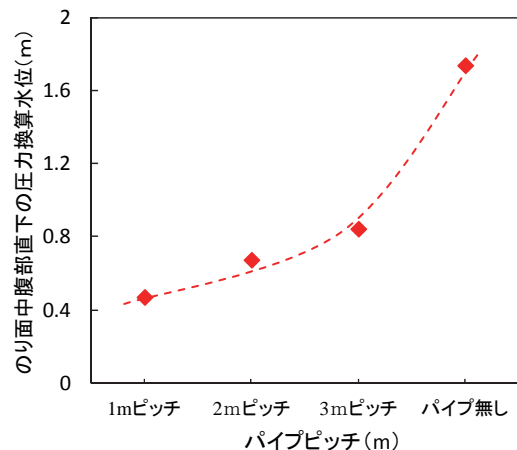


図8 パイプピッチと圧力換算水位との関係

4. 排水パイプが打設された盛土の安定性評価方法

図9に示す実物大模型盛土を用いて実施した排水パイプの排水効果確認実験の結果を基に、提案する解析モデルを用いて排水パイプの効果を適正に考慮した盛土の安定性評価方法を検討した。

排水パイプのモデルとして、スキンエフェクト層の範囲を 50mm とし、その透水係数をスキンエフェクト範囲外の透水係数の 85% として解析した結果を図 10 に示す。また、同図中には排水パイプがない場合についても同様に示している。なお、実験では水位観測井戸で水位を測定している（以下、この水位を井戸水位という）。

図に示すように、排水パイプのない場合の実験結果と解析結果とはよく一致しており、解析に用いている各水分特性値は適切に設定されていることが示されている。一方、排水パイプが打設された付近（のり先から 4m 程度までの範囲）の水位を比較すると、解析から得られた圧力換算水位は実験による井戸水位を大きく下回っており、両者の差はのり先から 2m~3m 付近で最も大きく、その差は 0.4m 程度であることがわかる。したがって、図 10 に示した圧力換算水位と井戸水位との差は、盛土に排水パイプが打設された場合、盛土に設置した水位観測井戸では排水パイプの上方に水面が測定されるものの、この井戸水位以下で圧力換算水位以上の部分（図 10 で「間隙水圧低下領域」と示した部分）の間隙水圧はほぼ 0kPa に低減されることを表している。すなわち、両水位に図 10 に示したような差異が生じていることは、排水パイプを打設した盛土の安定性を評価するためには、井戸水位ではなく圧力を換算した水位を用いて安定解析を実施する必要があることを示しているといえる。

以上のことから、スキンエフェクトを考慮した浸透流解析を実施して得られた圧力換算水位を安定計算に適用することで、盛土の立地条件別に排水パイプの打設仕様（長さ、ピッチ等）を決定することが可能になると考える。

5. おわりに

本稿では、これまで経験的に施工されてきた排水パイプについて、その排水性能を明らかにした上で、排水パイプの効果を解析的に評価するとともに、施工仕様を適切に決定するための解析手法を提案した。今後、実務への展開を考慮して、降雨、盛土構造、立地などの条件を様々に変えたケーススタディーを実施し、これらの条件に応じた、排水パイプの最適な打設仕様を提案する予定である。

文献

1) Domenico, P. A. and Schwartz, F. W.: Physical and Chemical Hydrogeology, John Wiley & Sons, New York, 824p, 1990.

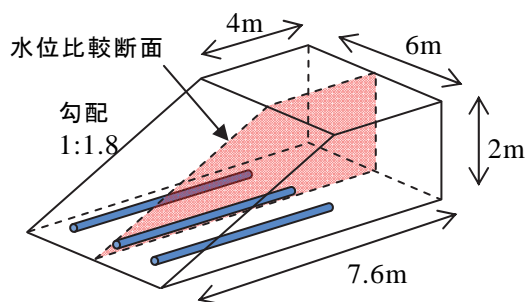


図 9 実験に用いた実物大模型盛土

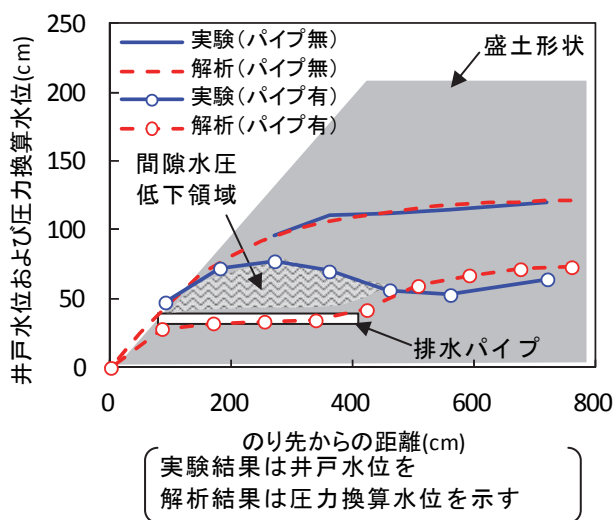


図 10 実験と解析の比較