

## 10.1 土構造物の排水性能向上技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（道路勘定）

研究期間：平 18～平 21

担当チーム：技術推進本部（施工技術）

研究担当者：小橋 秀俊、藪 雅行、澤松 俊寿、  
徐 永強、阪上 最一、林 豪人

### 【要旨】

本研究は、新設盛土における排水施設の設計手法を提案するとともに、既設盛土における排水性能の調査・点検手法、簡易で効果的な機能回復手法の開発を行うことを目的としている。本年度は、盛土内水位、盛土材料、排水施設の有無をパラメータとした盛土の浸透流解析及びすべり安全率の分析を行い、新設盛土並びに既設盛土に対する排水対策の効果を明らかにするとともに、詳細な点検を行うべき盛土の抽出から対策手法の概略検討を簡便に行う方法を検討した。また、既設盛土に対する排水対策として用いられる水平排水パイプ（有孔管）について、その仕様が集水性能に及ぼす影響を整理した。本年度は本研究の最終年度となることから、本稿では、過年度に実施した主な研究内容も含めて報告する。

キーワード：盛土、排水ブランケット、水平排水パイプ、浸透実験、浸透流解析

### 1. はじめに

盛土・擁壁の災害は、降雨浸透水や地山湧水の排水不良に起因して発生する場合が多い。したがって、土構造物の安全性向上のためには、排水工を適切に設置・維持管理することによって盛土内部や擁壁の裏込め土内の水を確実に抜くことが重要である。このような排水工の重要性は、2006年新潟県中越地震における土構造物の被災<sup>1)</sup>、2007年山陽自動車道での大規模盛土のり面崩壊、2008年能登半島地震における大規模な盛土崩壊<sup>2)</sup>等でも再確認された。このうち、能登半島地震では、能登有料道路で多くの盛土被害が生じた。大規模な崩壊は11箇所で見られ、いずれも、沢や湿地に位置し、湧水などの水の存在が確認されており、盛土内の水が大規模な崩壊の要因の1つと思われる。以上を踏まえ、本研究は、新設盛土における排水施設の設計手法を提案するとともに、既設盛土における排水性能の調査・点検手法、簡易で効果的な機能回復手法の開発を行うことを目的としている。

傾斜地盤上盛土、沢埋め盛土では、地山からの湧水が盛土内へ浸透し、盛土のり面を不安定化することが多い。このような場合、新設盛土に対しては、盛土底部に排水ブランケットを設置するように提案されている。また、既設盛土に対しては、盛土内に水平排水パイプ（有孔管）を増設し、水を排除することが効果的とされている<sup>3)</sup>。

こうした排水対策による盛土の安全率向上効果や、



写真 1.1 能登有料道路の盛土崩壊

所要安全率まで向上するために必要とする対策規模を見定めるためには、盛土に対して土質定数等を設定し、浸透流解析等を行なう必要がある。その一方、道路管理者が構築及び管理する土構造物の施設量は膨大であり、これら全てに対して浸透流解析等により評価を行うことは現実的でない。

こうしたことを踏まえて、本年度は、盛土内水位、盛土材料、排水施設の有無をパラメータとした盛土の浸透流解析及びすべり安全率の分析を行い、新設盛土並びに既設盛土に対する排水対策の効果を検証するとともに、詳細な点検を行うべき盛土の抽出から対策手法の概略検討を簡便に行う方法を検討した。また、既設盛土に対する排水対策として用いられる水平排水パイプ（有孔管）について、その仕様が集

水性能に及ぼす影響を整理した。

本年度は本研究の最終年度となることから、本稿では、過年度に実施した主な研究内容も含めて報告する。

## 2. 新設盛土における排水ブランケットの設計

湧水の影響を受けやすい盛土と判断される場合は、盛土の新設時に、盛土底面のり尻付近に砕石を材料とする排水ブランケットの敷設が採用されているケースが多い。本研究では、実験や数値解析から、実際にどの程度有効であるかを検証した。

### 2.1 排水ブランケットの水位低下効果

排水ブランケットの敷き幅と水位低下、排水量との関係を明らかにするため、傾斜地盤上に設置された片盛土を対象として浸透実験並びに模型盛土の浸透流計算を行った。

模型盛土の材料には、茨城県銚田市半原産の山砂（表 2.1）を用いた。模型盛土の概要を図 2.1 に示す。水平排水パイプと幅 1.8m の排水ブランケットを設置した盛土 1 及び幅 4.17m の排水ブランケットのみを設置した盛土 2 をそれぞれ構築した。ここで、傾斜地盤上に構築される盛土を想定しているため、勾配 1:1.5 の傾斜地盤を作成した。傾斜地盤の材料は関東ロームで、締め固め度  $D_c$  は 90~95%、飽和透水係数は  $3.26 \times 10^{-8} \text{m/s}$  である。地山からの湧水を想定して地盤の高さ 1m ごとに 5% の勾配を持つ送水層を設けた。

表 2.1 模型盛土材料の物性値

一般	土粒子密度	$\text{g/cm}^3$	2.664
	自然含水比	%	17.6
粒度構成	粗砂分	%	4.1
	細砂分	%	82.9
	シルト分	%	9.1
	最大粒径	mm	4.75
	均等係数		2.46
	曲率係数		0.78
締固め	最大乾燥密度	$\text{g/cm}^3$	1.638
	最適含水比	%	15.8
	飽和透水係数	cm/sec	$4 \times 10^{-3}$

実験方法は、棒状の風船を用いて盛土 1 においてすべての排水パイプの孔を閉塞した上で、盛土 1、盛土 2 において盛土背面の水位が一定になるように

給水し、盛土内の水位が安定した時点で水位を計測した。

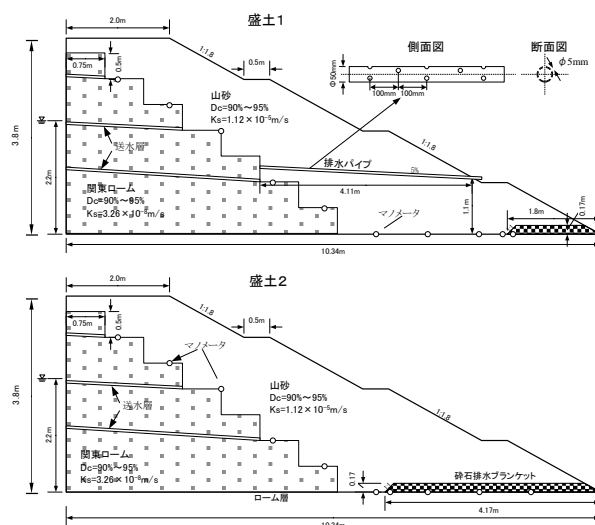


図 2.1 模型盛土の概要

また、実験の 2 ケースおよび排水ブランケットがない場合 ( $L=0\text{m}$ ) について FEM による 2 次元浸透流計算を行った。解析の対象領域は盛土と排水ブランケットの部分である。計算には、透水試験から得られた山砂の飽和透水係数  $1.12 \times 10^{-5} \text{m/s}$ 、砕石の飽和透水係数は  $1.54 \times 10^{-2} \text{m/s}$  を用いた。境界条件については、背面高さ 1.0m~2.2m の間は水位 2.2m の定水位境界、のり尻には浸出点境界を与えた。

計算された定常時の浸潤線（排水ブランケットの敷き幅  $L=0\text{m}$ 、1.8m、4.17m）と実験で得られた浸潤線（排水ブランケットの敷き幅  $L=1.8\text{m}$ 、4.17m）を図 2.2 に示す。

この図から FEM を用いた浸透流解析による結果は、実験結果の浸潤線を良く再現されていることがわかる。

また、この図から排水ブランケットの敷き幅の長さや浸潤線の間接を見ると、排水ブランケットの敷き幅が水位に与える影響は大きく、排水ブランケッ

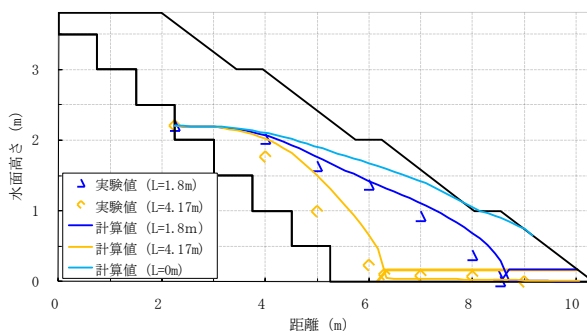


図 2.2 排水ブランケットの水位低下効果

トを盛土のり面の奥行きに対して1/2程度の幅のブランクettを敷設すると水位が大きく低下することがわかる。

## 2.2 排水ブランクett敷設によるすべり安定性の向上効果

被災事例の多い傾斜地盤上に設置された盛土について、様々な条件下での排水ブランクettの効果を検証するため、盛土高さ、盛土材料、背面水位、排水ブランクettの有無等をパラメータとしてFEMによる2次元浸透流計算およびすべり安全率の計算を行った

### 2.2.1 解析条件

#### (1)解析に用いた盛土形状等

勾配30°の傾斜地盤上にある、天端幅8m、法面勾配1:1.8の盛土とし(図2.3)、盛土材料としては5種類を設定(表2.1)した。盛土高さ $H_1$ の条件は、10、20、30、40、50mとし、これらの盛土の法面には、法尻から高さ5、15、25、35、45mの位置に、幅1mの小段を設けた。なお、裏法面の法尻の位置は、各盛土の天端から0.2 $H_1$ 下がった箇所とした。また排水ブランクettの厚さは50cm、敷き幅は、斜面水平距離の半分とした。

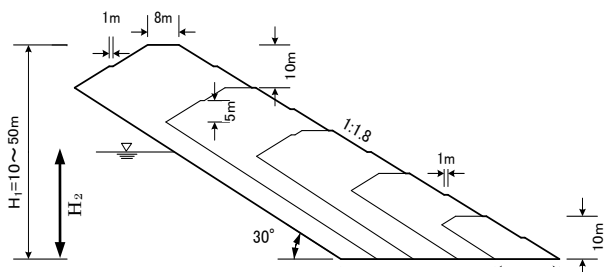


図 2.3 解析に用いた盛土形状

表 2.1 解析に用いた盛土材料

種類	状態	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )	地盤工学会基準
砂	締め固めたもの 1.粒径幅の広いもの 2.分級されたもの	20	35	0	(S)
		19	30	0	
砂質土	3,4.締め固めたもの	19	25	0 10	(SF)
粘性土	5#	18	15	10	(M) (C)

#### (2)盛土内水位の算定

この盛土において、FEMによる2次元飽和～不飽

和浸透流解析より、定常状態の地下水位を算定した。なお、湧水の水位を模擬した背面水位 $H_2$ は0.5×盛土高さ、0.8×盛土高さの2パターンを設定し、境界条件は、背面水位以下は定水頭境界、法面の表面を浸出点境界とし、底面は不透水境界とした。

#### (3)円弧すべり計算

円弧すべり計算は修正フェレニウス法により実施した。

7すべり線の円弧はのり肩から車道側に4mの位置を通り、のり尻からの高さ0.5mののり面を通過するものとして、最小のすべり安全率を算定した。なお、円弧は地山を切らないものとした。これは、道路盛土において車両の通行に支障が生じるような、ある程度大規模な崩壊を対象にすることを考えたものである。

### 2.2.2 解析結果

解析結果のうち、図2.4、図2.5に盛土高10m及び盛土高30mにおけるすべり安全率を盛土材料毎に、湧水の水位及び排水ブランクettの有無をパラメータとして示す。

湧水がない場合(湧水の水位 $H_1$ /盛土高 $H_2=0$ )と湧水の水位がある場合の安全率見ると、盛土高や盛土材料の条件による違いはあるものの、排水ブランクettを敷設した盛土の安全率は、無対策(排水ブランクettを敷設しない)の場合に比べ、湧水の水位が上昇しても大きく低下しない傾向がある。特に湧水の水位が盛土高の1/2程度までは特にその効果が大きいことがわかる。

これらの結果は、2.2.1に示した解析条件下での結果であることを踏まえる必要はあるが、地盤からの湧水量が多く、かつ湧水の水位が高い条件でなければ、新設盛土において盛土のり面の奥行き1/2程度の幅の排水ブランクettを設置すれば、湧水の盛土内の浸透によるすべり安全率の低下度合いを大きく押さえられることが確認できる。一方、図2.4、図2.5を見ると、湧水の水位が極端に高い条件の場合には、排水ブランクettを敷設しても、湧水がない条件下に比べ安全率が大きく低下するケースも見られる。このため、湧水量が極めて多く、湧水の水位が極端に高い条件の場合には、排水ブランクettの敷き幅の拡大や地下排水工等により地盤からの湧水を盛土内に浸入させない対策を合わせて実施することが必要と考えられる。

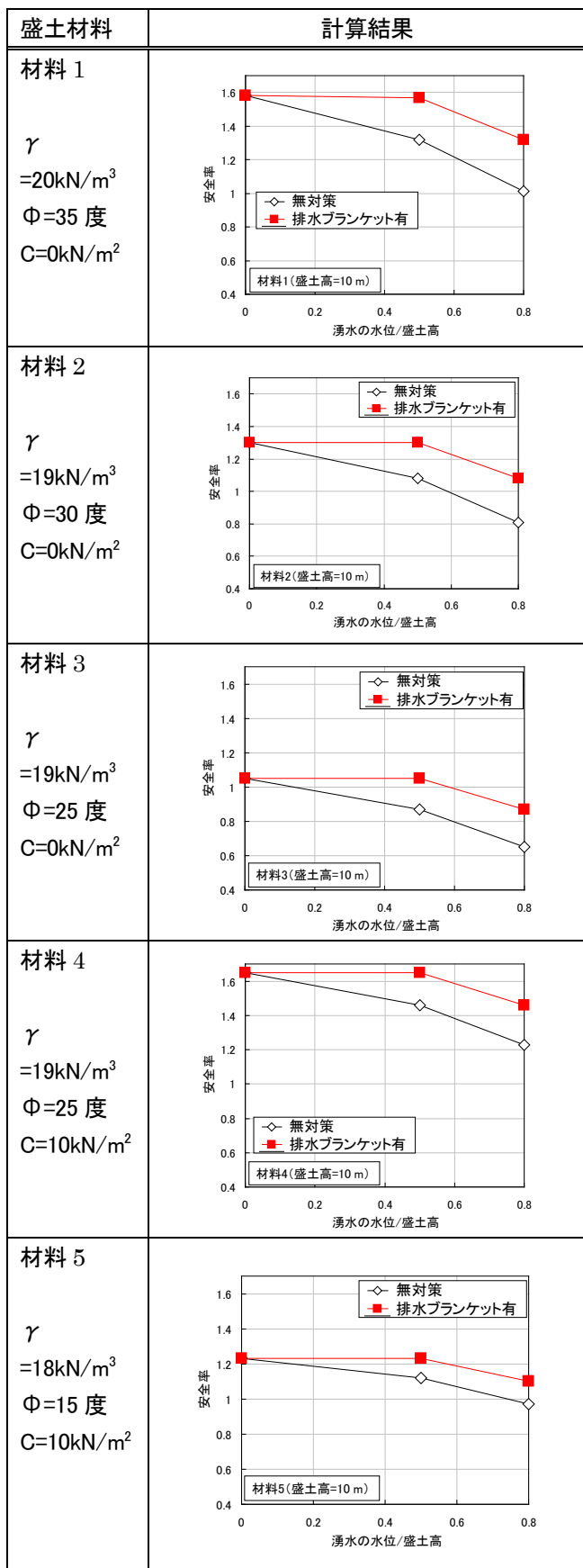


図 2.4 盛土高 10 m における円弧すべり計算結果

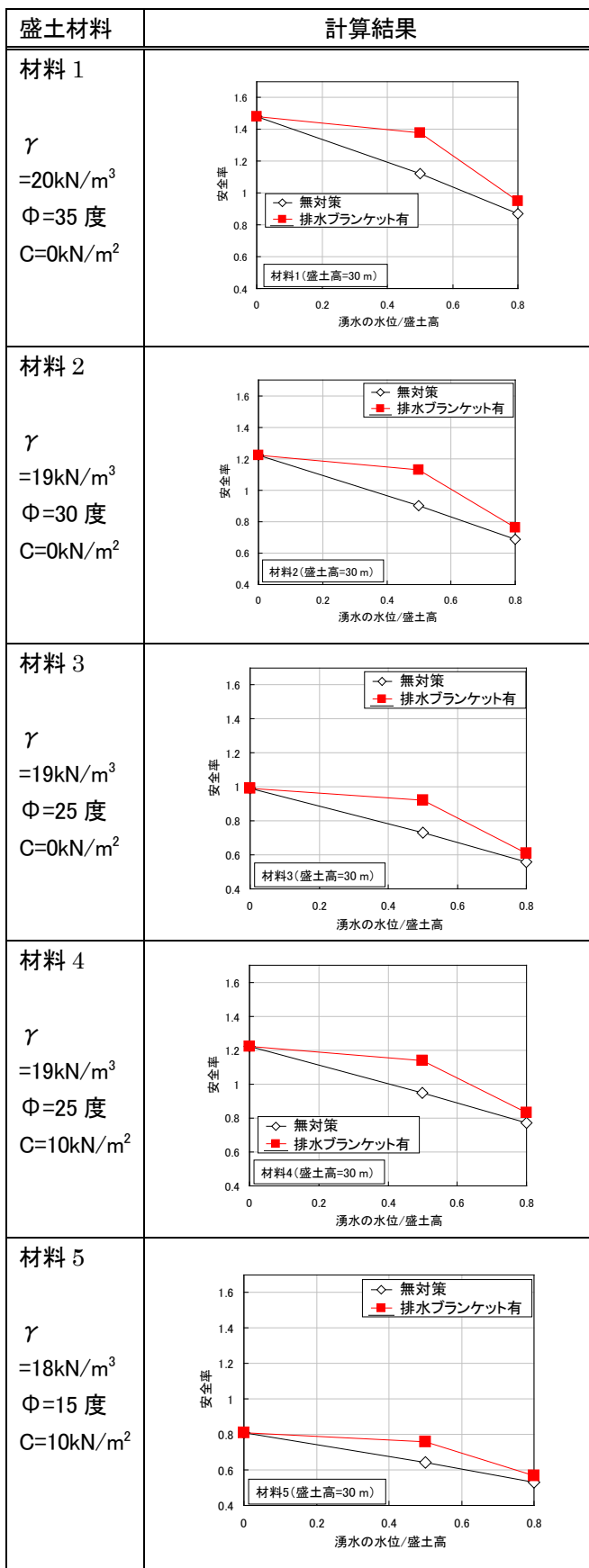


図 2.5 盛土高 30 m における円弧すべり計算結果

### 3. 既設盛土の調査点検手法

道路管理者が管理する土構造物の施設量は膨大であり、全ての土構造物に対して詳細な点検を行うことは現実的でない。

効率的に調査すべき土構造物を抽出する必要がある、その一つの方法として非破壊探査手法による盛土内水位の把握等が考えられる。そこで、非破壊探査手法について調査したところ、各種手法が提案されているが、現時点においては精度等に課題があり、継続的に精度良く地下水位を把握するためには、ボーリング孔を用いた地下水位モニタリングが必要であることが分かった。

このため、本研究では、対策を必要とする盛土を抽出し、効率的に検討を行う方法として、点検を行うべき盛土の抽出から対策手法の概略検討の流れを検討した。

図 3.1 はその流れを示したものである。まず、現地の盛土の材料、形状や排水施設（排水ブランケット）の有無等の諸条件から安全率早見表をもとに一定の安全率を下回る可能性がある盛土を抽出する。これらの盛土に対して、既設盛土の排水対策として一般的に行われる水平排水パイプによる対策の効果に関する安全率早見表をもとに、抽出した盛土に対する概略的な対策工の想定を行い、比較的簡易に対策が可能かを想定する。これらを通じて特に詳細な検討を行う必要がある盛土を抽出し、これらの盛土に対して水位モニタリング等の詳細調査を実施し、その結果に応じて対策工の検討を実施する。

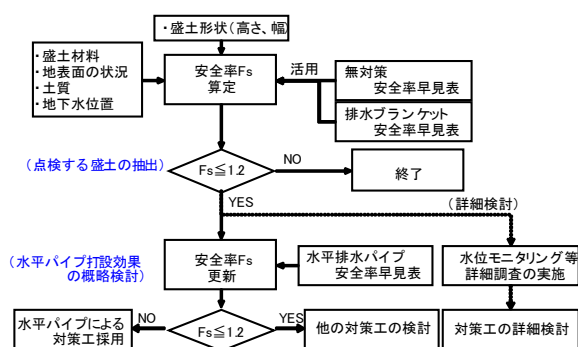


図 3.1 点検～対策手法の概略検討の流れ

本研究では、図 3.1 に必要なツールとして、被災事例の多い傾斜地盤上の盛土を対象として、盛土における排水ブランケットの有無、盛土材料、形状をパラメータとした安全率早見表を図 3.2、図 3.3 のとおり作成した。

安全率の算定は、「2.2 排水ブランケット敷設による安全性向上効果」において示した条件により実施した。これら安全率早見表は、2.2.1 に示した解析条件での結果であるので、あくまでも数値については参考値であることに留意する必要があるが、これらの表から盛土形状や土質条件、排水施設の有無、湧水の状況が盛土の安定性に及ぼす影響を見ることができるとともに、相対的な関係から、より注意すべき盛土の条件の概略を把握することができる。

### 4. 既設盛土の排水機能の向上手法

既設盛土において、湧水等の水の影響により安定性に問題が生じる可能性がある場合、地下水の速やかな排除により安定性の向上を図る対策や抑え盛土等のように盛土のり面自体の安定化を図る対策等を講じる必要がある。

本研究では、既設盛土の排水対策として一般的に行われる水平排水パイプに着目し、その効果の把握を行うとともに、図 3.1 に活用できる早見表の作成を行った。また、水平排水パイプ（有孔管）について、その仕様が集水性能に及ぼす影響を分析した。

#### 4.1 水平排水パイプによる安全性向上効果

水平排水パイプの打設が盛土の安全性に与える効果を検証するため、被災事例の多い傾斜地盤上の盛土を対象に、FEM による 3 次元飽和-不飽和浸透流解析を実施するとともに、盛土高さ、盛土材料、背面水位、水平排水パイプの有無をパラメータとしすべり安全率の計算を行った。

##### 4.1.1 解析条件

(1) 解析に用いた盛土形状等

2.2.1(1) と同様の盛土形状を設定し、水平パイプの配置については図 4.1 のとおりとした。

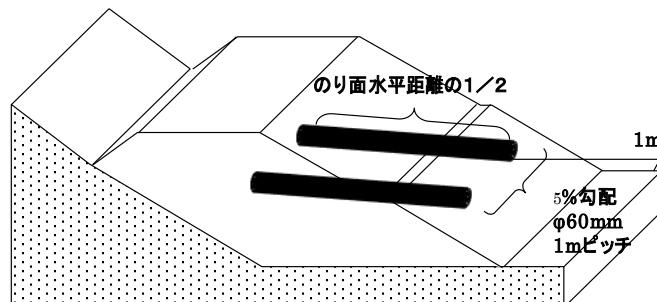


図 4.1 水平排水パイプの配置

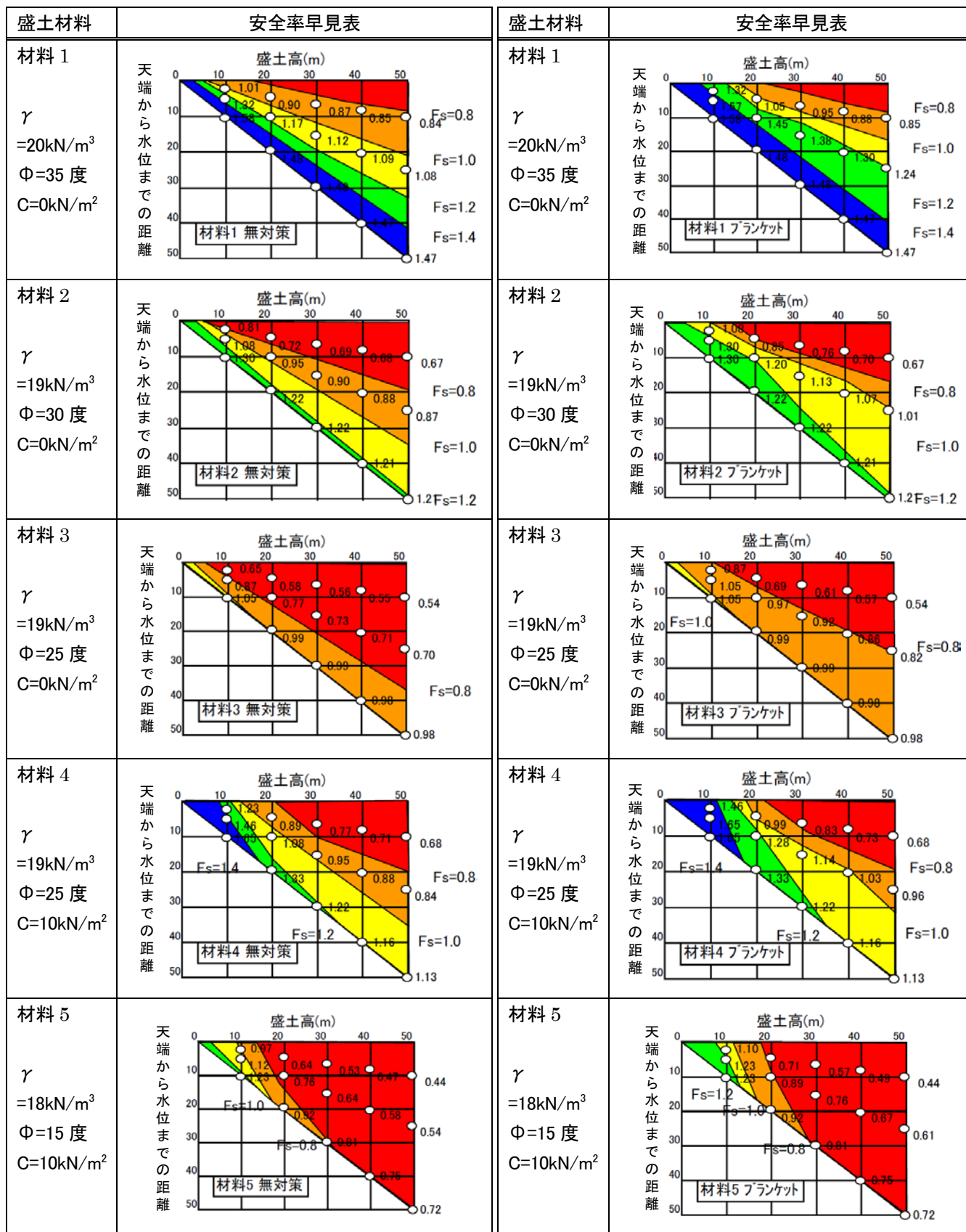


図 3.2 排水ブランケットを設けない場合（無対策）の安全率早見表

図 3.3 排水ブランケットを設置した場合の安全率早見表

(2) 水平排水パイプのモデル化

水平排水パイプの部分を直径 60mm の円柱体に要素分割し、パイプの上端にあたる節点に浸出点境界を与えた。また、パイプ周囲要素の透水性を低下させるモデル化方法<sup>4)</sup>を用いて、過年度における検討結果<sup>5)</sup>から水平排水パイプの上部要素(10cm 分)の飽和透水係数は盛土本体の飽和透水係数の 1/2 とし、不飽和浸透特性は盛土本体と同じものとした。水平排水パイプはのり尻高さ 1m から横断方向 5% の勾配で配置することとする。また、水平排水パイプの盛土縦断方向間隔は 1m とした。なお、パイプ内面は、頂点のみを浸出点と仮定した。

(3) 盛土内水位の算定

この盛土において、3次元飽和～不飽和浸透流解析より、定常状態の水位を算定した。なお、湧水の水位を模擬した背面水位  $H_2$  は  $0.5 \times$  盛土高さ、 $0.8 \times$  盛土高さの 2 パターンを設定し、境界条件は、背面水位以下は定水頭境界、法面の表面を浸出点境界とし、底面は不透水境界とした。

なお、(4)で用いる盛土内水位には、3次元の計算で縦断方向の水平排水パイプ間の水位の最も高い断面とした。

(4) 円弧すべり計算

2.2.1(3)と同様に算定した。

4.1.2 解析結果

解析結果のうち、図 4.2 に盛土高 30m における円弧すべり計算の結果を盛土材料毎に、湧水の水位及び排水パイプの有無をパラメータとして示す。

湧水がない場合(湧水の水位/盛土高 = 0)と湧水の水位がある場合の安全率を見ると、盛土高や盛土材料の条件による違いはあるものの、水平排水パイプを打設した盛土の安全率は、無対策(水平排水パイプを打設しない)の場合に比べ、湧水の水位が上昇しても一定の水位条件までは安全率が大きく低下しない傾向が確認できる。

また、図 3.1 における対策工の概略検討の参考資料となる排水パイプ安全率早見表を図 4.3 に示す。4.1.1 に示した解析条件での結果であるので、あくまでも数値については参考値であることに留意する必要があるが、現地の概ねの盛土形状や土質条件、湧水の状況に応じて図 4.3 を図 3.2 と比較することにより、排水パイプの打設による効果の概略を把握することができる。

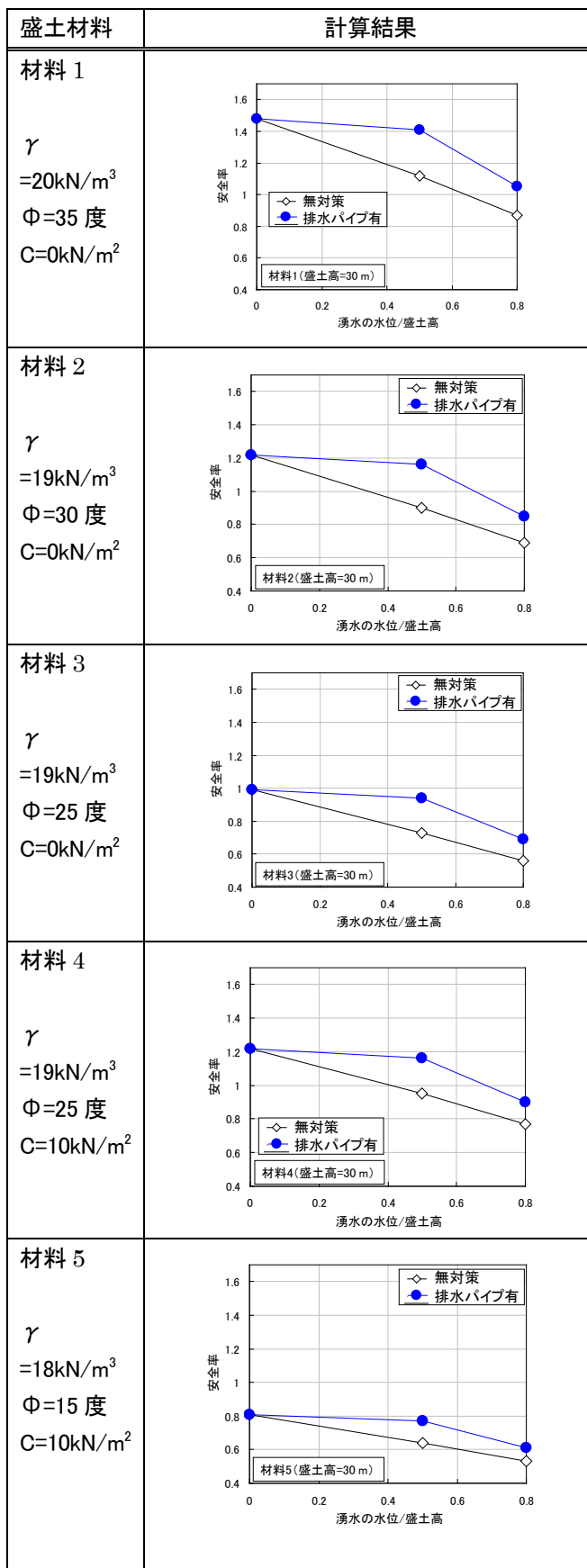


図 4.2 盛土高 30m における円弧すべり計算結果

4.2 排水パイプの集水性能に関する研究

現在のところ様々なタイプの水平排水パイプが提案されているが、水平排水パイプの仕様や配置は現場ごとに経験に基づいて決定しており、パイプ単体の仕様に基づいた設計はされていない。より合理的な設計を行うためには、水平排水パイプの仕様に応じた性能を把握する必要がある。そこで本研究では水平排水パイプの孔単体の断面積および孔周辺の土パイプ間の境界条件、開孔数が水平排水パイプの集水性能に及ぼす関係を把握するため、室内実験を行った。

4.2.1 開孔断面積の影響

ここでは一般的な水平排水パイプの仕様である硬化塩化ビニル有孔管 (JPPFA AS13) を対象とし、孔単体の断面積およびその周囲における土とパイプとの境界における水みちの形成が水平排水パイプの集水能力に及ぼす影響を把握することを目的とし、図4.4に示すモールドにて透水実験を行った。土質材料は茨城県銚田市半原産の山砂を用いた。模型作製後の試料は、初期含水比 15.2~15.4%、締固め度 91.6~93.7%である。実験パラメータはモールド下部に設けた通水孔の径 ( $\phi 1, 2, 3, 5, 7, 10\text{mm}$ ), 通水孔の周囲における円形の滑面領域の径 ( $\phi 10, 20, 30, 50\text{mm}$ ) および圧力水頭 (25, 50, 75, 100mm) である。なおここでの滑面領域の直径は、グリースを塗布した不織布をその領域外に設けることにより設定した。滑面領域内では水みちが形成しやすく、滑面領域外では水みちが極めて形成しにくいと想定される。

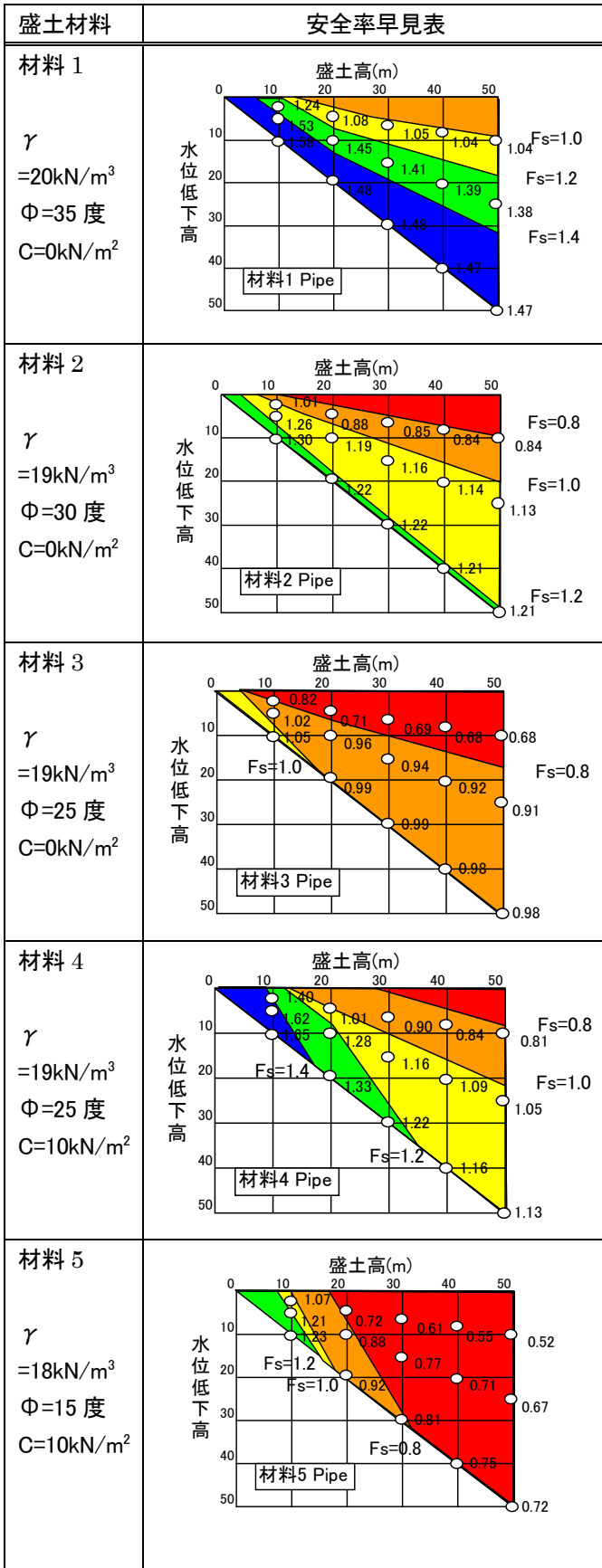


図 4.3 水平排水パイプを打設した場合の安全率早見表

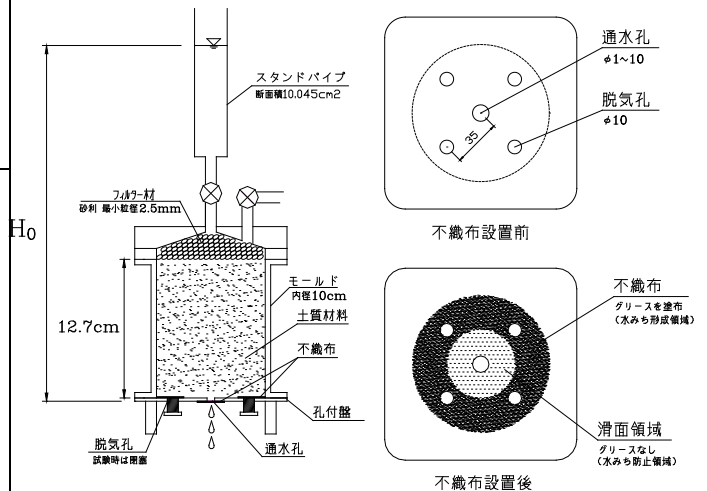


図 4.4 実験概要



通水孔の断面積  $a$  と排出流量  $Q_1$  の関係を図 4.5 に示す。この結果より、通水孔の径が  $\phi 3\text{mm}$  ( $a=7.1\text{mm}^2$ ) から  $\phi 10\text{mm}$  ( $a=78.5\text{mm}^2$ ) までの範囲において、通水孔の断面積の増加に応じ排出流量が増加しており、その関係はほぼ線形であることがわかる。一方  $\phi 2\text{mm}$  ( $a=3.1\text{mm}^2$ ) 以下での排出流量は、 $\phi 3\text{mm}$  以上の場合と比較して極端に低下することがわかる。このことから、孔径が  $\phi 2\text{mm}$  以下の場合、流出量に及ぼす要因として孔径は水頭と同程度になり、無視し得ない影響を与えていると言える。模型解体後に行った観察の結果、長径が  $2\text{mm}$  以上の土粒子による通水孔の目詰まりが認められ、これが流量低下の原因となっていることが分かった。なお本実験で用いられた試料における粒径  $2\text{mm}$  以上の土粒子の質量百分率は  $0.5\%$  である。このことから、実現場へ水平排水パイプを効果的に適用する際、盛土地盤の粒径分布と孔径の組合せを考慮する必要があることがわかる。特に砂地盤の場合で孔径が  $2\text{mm}$  以下の場合には目詰まりが生じやすい。なお孔径が大きい場合は、土粒子の流出に十分留意が必要である。

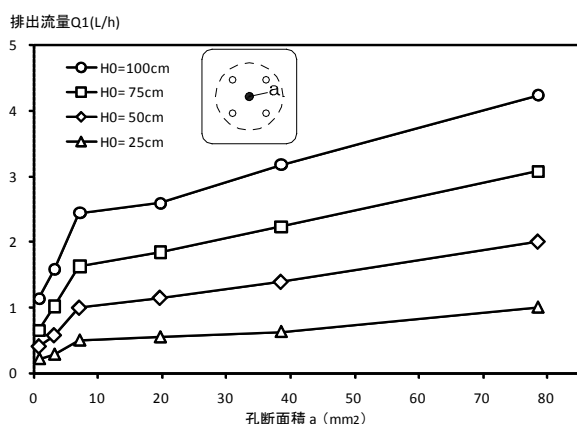


図 4.5 孔の断面積と流出量の関係

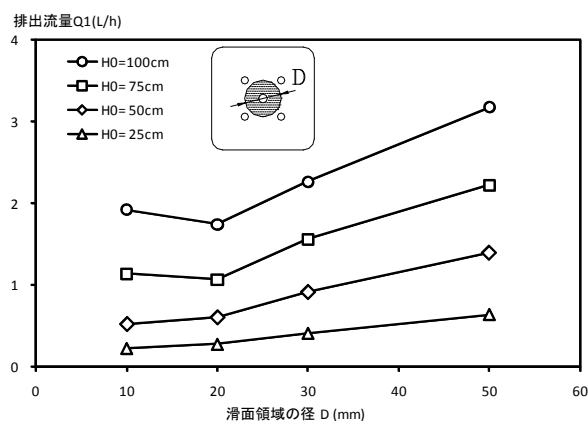


図 4.6 滑面領域の径と排出流量の関係

通水孔周辺の滑面領域の径と排出流量の関係を図 4.6 に示す。この結果から滑面領域の増大により排出流量が増加することがわかる。これは滑面と土との境界面において透水性の高い領域が発生し、その領域が広いほど集水面積が広がるためと考えられる。このことより、孔周辺における土と有孔管との接触状況が有孔管の集水性能を規定する 1 つの要因となることがわかる。

#### 4.2.2 開孔数及び断面形状の影響

水平排水パイプの集水能力は、孔単体の特性のみならず孔数および突起や粗面の有無などのパイプの表面状態に応じて変化すると考えられる。そこで四隅のストレーナー管を定水位に保った小型土槽内に水平排水パイプを設置し、集水量の測定を行った。実験の概要を図 4.7 に示す。地盤材料は茨城県銚田市半原産の山砂を用いた。模型作製後の試料は、初期含水比  $16.1\sim 17.0\%$ 、締固め度  $95.0\%$  である。なお実験に用いた水平排水パイプは塩化ビニル製の有孔管であり、外径  $60\text{mm}$  である。実験パラメータは図 4.8 に示すとおり、孔数およびパイプの表面形状である。孔径は全てのケースで直径  $\phi 7\text{mm}$  である。

ストレーナー管内の水頭と水平排水パイプの集水量の関係を図 4.9 に示す。全てのケースにおいて水頭と集水量が比例関係となっていることから、水平排水パイプの集水量はパイプ近傍における全水頭に比例することが分かる。またパイプに設置した孔数に応じて集水量の増加が認められた。

孔数と集水量比の関係を図 4.10 に示す。ここで示した集水量比とは、各ケースでの水平排水パイプの集水量を孔 1 個のケースの集水量で除した値である。グラフより孔数が増加するに従い集水量が増加する傾向にあるが、孔数が 12 個以上の場合においては集水量が増加する割合は減少している。これは孔数の増加による孔間の距離の減少に伴い群効果が発生したためと考えられる。なお、図 4.10 には実験に用いた土層をモデルとした FEM による浸透流解析の結果も示した。数値解析に用いたモデルの概要を図 4.11 に示す。ここでの孔のモデルは、直径  $\phi 7\text{mm}$  の孔の中心および外周の 16 個の節点に浸出点境界を設定したものとした。図 4.10 から明らかなように解析値は実験値と概ね一致する。なお孔 6 個のケースに関しては、パイプ表面が滑らかなケースにおいて実験値は解析値を下回るが、山砂付着やリブ付きのケースでは解析値とほぼ一致する。このことから、前述

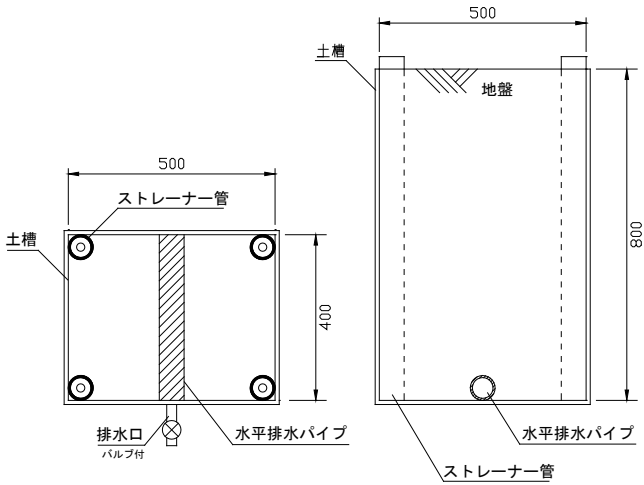


図 4.7 土槽による水平排水パイプの集水実験

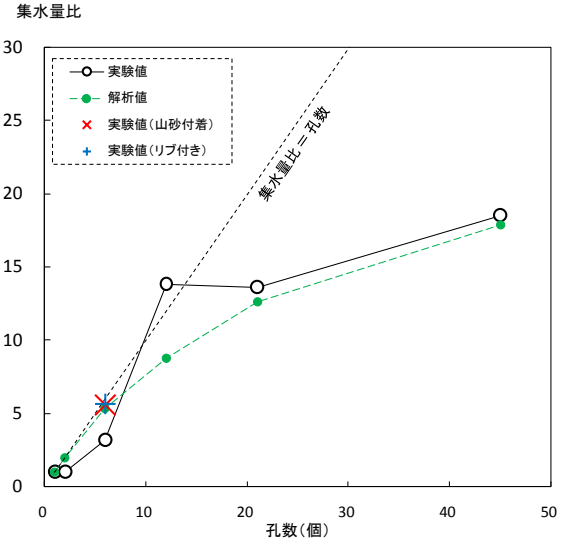


図 4.10 孔数と集水量比の関係 (水頭 75cm)

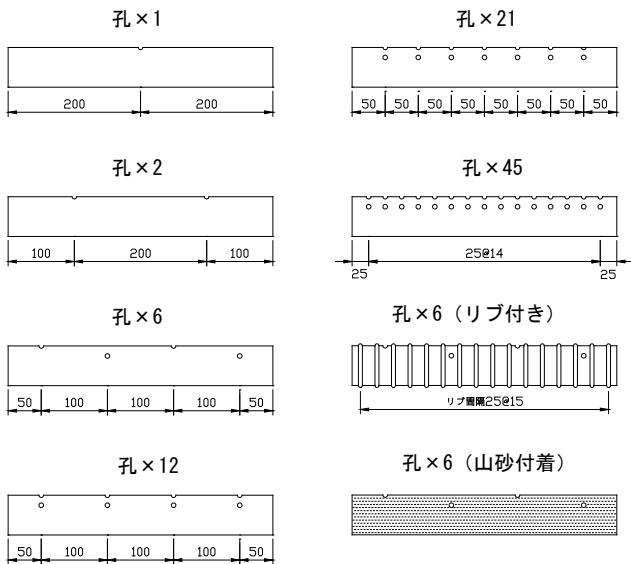


図 4.8 実験に用いた水平排水パイプ

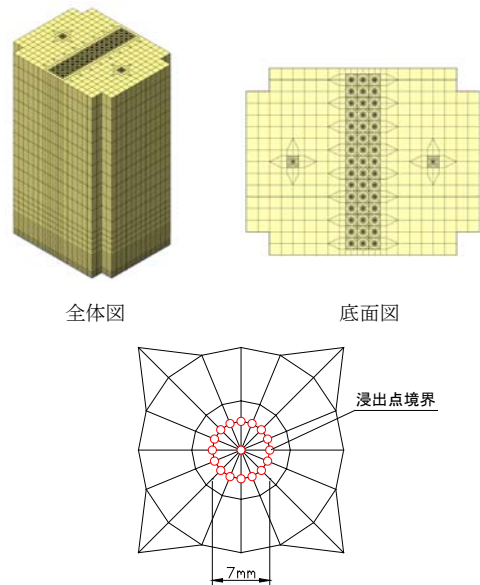


図 4.11 解析モデル

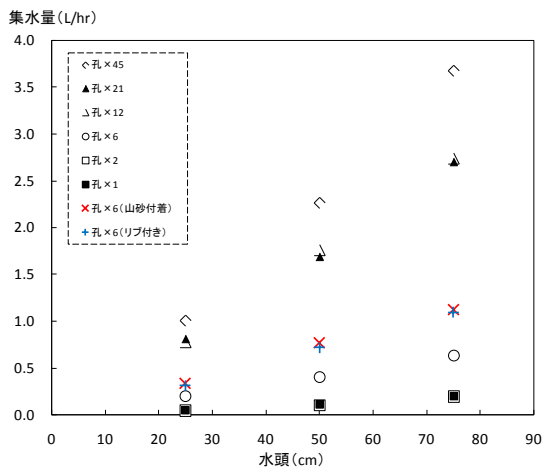


図 4.9 ストレーナー管内の水頭と集水量の関係

4.2.1 のように土-パイプ表面の境界に粘性の高い物体が存在すると集水能力が低下するが、パイプ表面が粗であるか3mm程度の突起物が存在していても集水性能は低下しないことが言える。

以上の結果より、水平排水パイプの集水性能を検証する際に、孔を図4.11のように浸出点境界でモデル化した数値解析によって集水量を再現することが可能であることが分かる。ただしその場合は孔1個での実験値と解析解とのキャリブレーションが必要である。

## 5. おわりに

本研究の成果を整理すると以下の通りである。

新設盛土の排水工の設計手法について、被災事例の多い盛土構造の1つである傾斜地盤上盛土を対象として、排水対策として有効と考えられる単粒碎石を用いた排水ブランケットをパラメータとした実大盛土に対する浸透流解析、模型盛土を対象とした浸透実験と解析を行い、盛土内部への排水ブランケットの敷き幅の増加による地下水位低下効果を確認するとともに、新設盛土において盛土のり面の奥行き $1/2$ 程度の幅の排水ブランケットを設置すれば、湧水による安全率の低下度合いを大きく押さえることを明らかにした。

土構造物の施設量は膨大であり、全ての土構造物に対して詳細な点検を行うことは現実的でないため、効率的に調査すべき土構造物を抽出する必要があるが、その一つの手法として、現地の盛土の材料、形状や排水施設（排水ブランケット）の有無等の諸条件からあらかじめ検討された安全率早見表を用いた概略検討手法を示した。

さらに、排水施設の機能回復手法として、既設盛土の排水対策として一般的に行われる水平排水パイプに着目し、その対策の効果を明らかにし、概略検討に活用できるよう早見表として整理するとともに、水平排水パイプの孔単体の断面積および孔周辺の土一パイプ間の境界条件、開孔数が水平排水パイプの集水性能に及ぼす関係を明らかにした。

## 参考文献

- 1) 小野寺誠一、近藤益央：新潟県中越地震での道路擁壁の被害状況、土木技術 Vol. 61、No. 2、2007.
- 2) 佐々木哲也、杉田秀樹、大川寛、水橋正典：沢埋め盛土の耐震対策、土木技術資料、49-8、pp. 34-39、2007.
- 3) 盛土の調査・設計から施工まで（第1回改訂版）、社団法人 地盤工学会、pp. 179、1990.
- 4) 徐永強、澤松俊寿、林豪人、藪雅行、小橋秀俊：浸透流解析における盛土排水パイプのモデル化、地盤工学会第44回地盤工学研究発表会、2009.
- 5) 徐永強、澤松俊寿、林豪人、藪雅行、小橋秀俊：盛土における水平排水パイプの地下水排除効果、土木学会第64回年次学術講演会講演概要集、2009.

## IMPROVEMENT OF DRAINAGE SYSTEM FOR ROAD EMBANKMENTS AND RETAINING WALLS

**Abstract :** The purpose of this study is to improve drainage system for embankments. For the existing design approach of embankment drainage systems, the objection is the lack of appropriate simplified design methods corresponding to certain ground water levels, embankment materials, . For maintenance of drainage system of embankments, one of the objections is the lack of performance investigation and inspection systems, the other objection is the development of a simplified and effective function recovering method. This year, seepage flow analyses of embankments with changing various conditions for example groundwater levels, embankment materials, and presence or absence of drainage countermeasures are conducted. Then safety factors of the embankments are analyzed. As a result, drainage efficiency for embankments and simplified methods for extracting embankments which need detail inspections and for designing countermeasures are examined. Moreover, the difference of water catchment performance depending on installation conditions of horizontal drain pipes which are being used for existing embankments is analyzed.

**Key words :** road embankments, drainage blanket, permeation experiment, horizontal drain pipe, seepage flow analysis