

ISBN4-87759-009-9

JICE 資料第 198009 号

ドレーン工設計マニュアル

平成10年3月31日

貸出用



財団法人 国土開発技術研究センター

Japan Institute of Construction Engineering (JICE)

ドレーン工設計マニュアル

平成10年3月31日



財団法人 国土開発技術研究センター
Japan Institute of Construction Engineering (JICE)

目 次

はじめに	1
1. ドレーン工の基本	2
1.1 基本方針	2
1.2 設置区間の選定	3
1.3 構造の基本	4
1.4 排水計画	6
2. ドレーン工の設計	7
2.1 設計の基本方針	7
2.2 断面形状の決定	8
2.3 ドレーン材料の選定	13
2.4 フィルター材料の選定	13
2.5 堤脚水路の設計	14
3. ドレーン工の施工上の留意点	15
4. ドレーン工の効果の観測	17
4.1 堤体およびドレーン工内の水位の観測	17
4.2 出水時の巡視および出水後の点検	18
参考文献	19
資 料	資-1
1. 実物大堤防実験によるドレーン工の効果の検証事例	資-2
1.1 江戸川における浸透実験	資-2
1.2 筑後川における浸透実験	資-6
2. ドレーン工の施工事例	資-9
2.1 利根川における施工事例	資-9
2.2 境川における施工事例	資-11
3. 欧米諸国におけるドレーン工の事例	資-14
3.1 欧州における事例	資-14
3.2 アメリカにおける事例	資-17

はじめに

河川堤防は氾濫原の住民の生命と資産を防御する防災構造物であり、氾濫原の人口や資産の増加にともない安全性向上に対する社会的要請が著しく高まっています。

河川堤防は、そのほとんどが自然に形成された河道に対し、長年月にわたる治水史を経て生み出されたもので、幾度かの洪水を経験している反面、基礎地盤の土質構成や堤体内部の土質構造等の把握が困難であるため、全川にわたって堤防に求められる機能が十分に確保されているのか不明確なことが多々あります。このため背後地の人口や資産の集積状況を勘案して、相対的にみて弱点と考えられる区間から優先的に堤防の強化を進めていくことが効率的かつ経済的であると考えられます。

河川堤防は、浸透、侵食および必要に応じて地震に対して十分な安全性を確保することが必要とされていますが、ここでは浸透に対する強化工法の一手法であるドレーン工の設計について示しています。

浸透対策の基本は、①降雨あるいは河川水を堤防に浸透させないこと、②浸透水は速やかに排水すること、③堤防特に裏のり尻部の強度を増加させること、④堤防断面を拡大することですが、ドレーン工は②および③を主眼とした強化工法です。ドレーン工については欧米諸国の実施例も多く、その効果については実物大の模型実験等によっても確認されていますが、浸透に対する堤防の質的強化を目的とするドレーン工の設計については基本的な考え方が明確にされておらず、実際に適用する場合の大きな障害となっています。

本資料は、このような実情を考慮し、ドレーン工の計画、設計に関する基本的な考え方を示したものです。今後は本資料を活用し、浸透対策工法としてドレーン工が積極的に導入されるとともに、現場の創意工夫の情報が集積されることを期待しております。

なお、本書の執筆編集にあたっては、建設省土木研究所土質研究室の三木室長に御指導を頂きました。ここに心より御礼を申し上げます。

平成9年12月

財団法人 国土開発技術研究センター 調査第一部

青山 俊行 (現：建設省河川局海岸室)

中山 修

佐古 俊介

1. ドレーン工の基本

1.1 基本方針

ドレーン工は、堤防の縦横断形状、堤体ならびに基礎地盤の土質、堤内地盤高等の諸条件を検討した上で基本構造を計画するものとする。

解 説

ドレーン工は、洪水時に堤防に浸透した降雨ならびに河川水を裏のり尻のドレーン部に集水し、堤防外に速やかに自然排水する機能を有する浸透対策工で、主として堤体の漏水対策を目的とするものである。その効果は図 1.1 に示すとおりで、降雨あるいは河川水の浸透によって形成される堤体内浸潤面が裏のり面に浸出することを抑制し、堤体内浸潤面を低下させるとともに、堤体の一部をドレーン材料に置き換えることによる剪断強度の向上とも相まって、浸透に対する堤防の安全性を確保しようとするものである。

ドレーン工の機能が十分に発揮されるためには、浸透対策が必要とされる区間に設置され、堤体内浸潤面を低下させるとともに、堤体にパイピングを発生させず、またドレーン工に目詰りを起こさせないような構造を有していることが重要である。このため、ドレーン工の計画にあたっては、その目的および機能に十分に留意し、堤防の縦横断形状、堤体ならびに基礎地盤の土質、堤内地盤高等の諸条件を検討した上で基本構造を検討する必要がある。

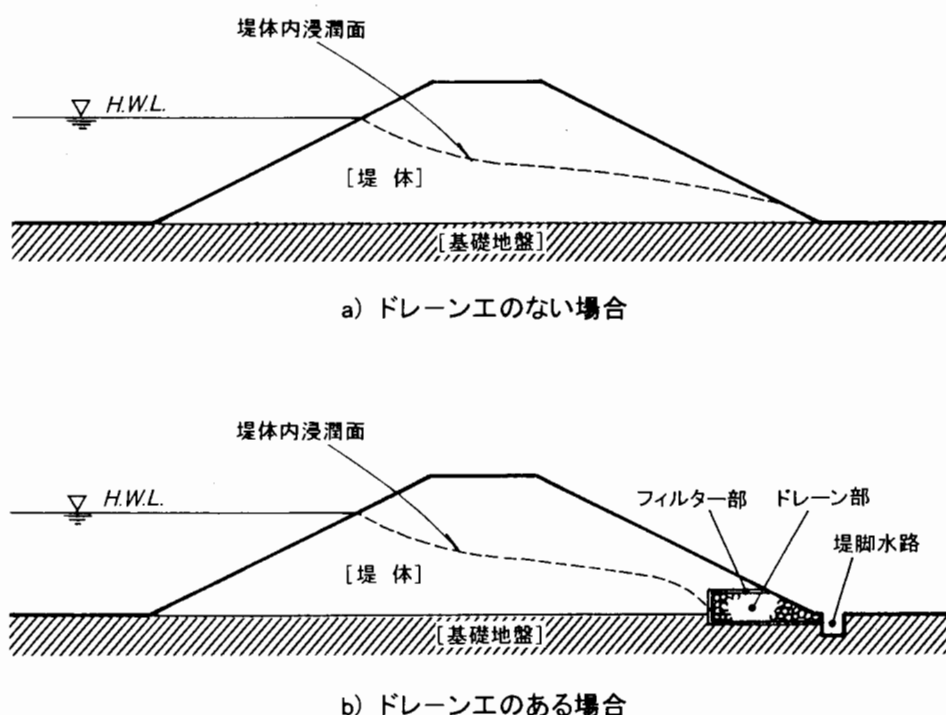


図 1.1 ドレーン工の構造とその効果

1.2 設置区間の選定

ドレーン工の設置区間は、浸透対策を必要とする区間について、効果の確実性等を考慮して適切に選定するものとする。

解 説

ドレーン工の設置区間は、浸透対策を必要とする区間を対象に、効果の確実性等を考慮して適切に選定する必要がある。

浸透対策を必要とする区間としては、①計算等により浸透に対する安全度が低いと評価された区間、②過去に堤防漏水の履歴がある区間、③治水上の重要区間であること等が該当する。

効果の確実性ということでは、ドレーン工の効果は主として堤体の土質に左右される。効果が確実に期待できる堤体土質は、大部分が砂質土で構成される（透水係数が $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{cm/sec}$ のオーダー）場合である。礫質土のように、堤体の透水性がこれより大きいと、ドレーン工自体の透水性との差が少なくなり、集水効果や排水効果が減退する。逆に堤体の透水係数がこれより小さい場合には、降雨や河川水の堤体への浸透は抑制されるので、このような区間では堤体浸透を対象とした対策は不要と評価されるのが普通である。

一方、基礎地盤については適用を制約するような条件は少ない。浸透が特に問題となる、いわゆる行止り型の地盤が形成されている箇所への適用は極めて効果的であるが、図 1.2 に示すように、基礎地盤からの浸透水が堤体に集中することになるので、ドレーン工の規模（幅や高さ）等について十分に留意して設計する必要がある。

なお、ドレーン工の設置にあたっては、排水を堤脚水路を通じて流末まで自然流下させる必要があるため、堤脚水路および排水先の確保について十分に留意する必要がある。

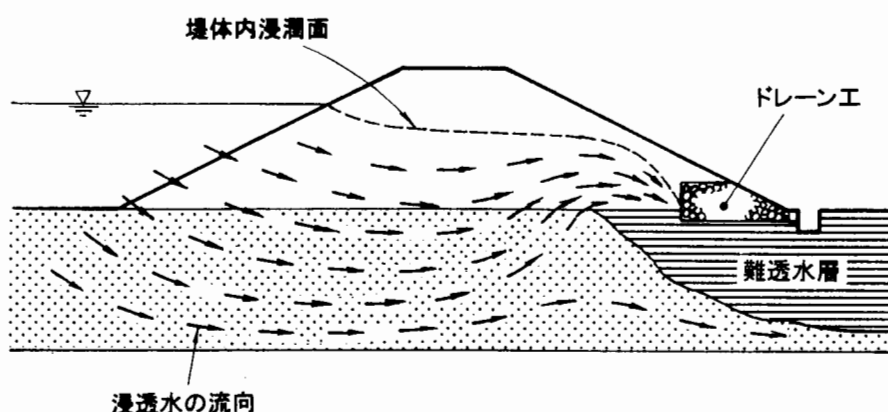


図 1.2 いわゆる行止り型地盤におけるドレーン工

1.3 構造の基本

ドレーン工は、原則としてドレーン部、フィルター部および堤脚水路で構成するものとし、その機能が長期的に確保され、かつ堤防の安定性を阻害することのない構造として計画するものとする。

解 説

ドレーン工の効果は、その構造、すなわち規模（主として断面形状）と構成材料に支配される。しかも、堤防の安全性を阻害することなく、ドレーン工の効果を長期的に持続するためには、ドレーン工を構成する各部の機能が維持されなければならない。

1) ドレーン工の種類

ドレーン工の基本的な構造には、図 1.3 に示すように、a)裏のり尻全面をドレーンとしたもの（全面ドレーン）、b)縦断方向と横断方向のドレーンを組合せたもの（縦・横ドレーン）、および c)横断方向のドレーンのみのもの（横ドレーン）がある。a)は効果の確実性や施工性という点で優れているが既設堤防に導入する場合には掘削土量が大きくなるという難点がある。b)および c)はこのような難点を解消するために考えられたものであるが、逆に施工が極めて難しく、また効果に不安を残している。特に b)については縦ドレーン部背面の堤体内浸潤面を押し上げてしまう可能性があること、また、c)の横ドレーンでは、当然のことながら、ドレーン工のない部分に対する効果がほとんど期待できないことが確認されており、ドレーン工の計画にあたっては、原則的には全面ドレーンとする必要がある。

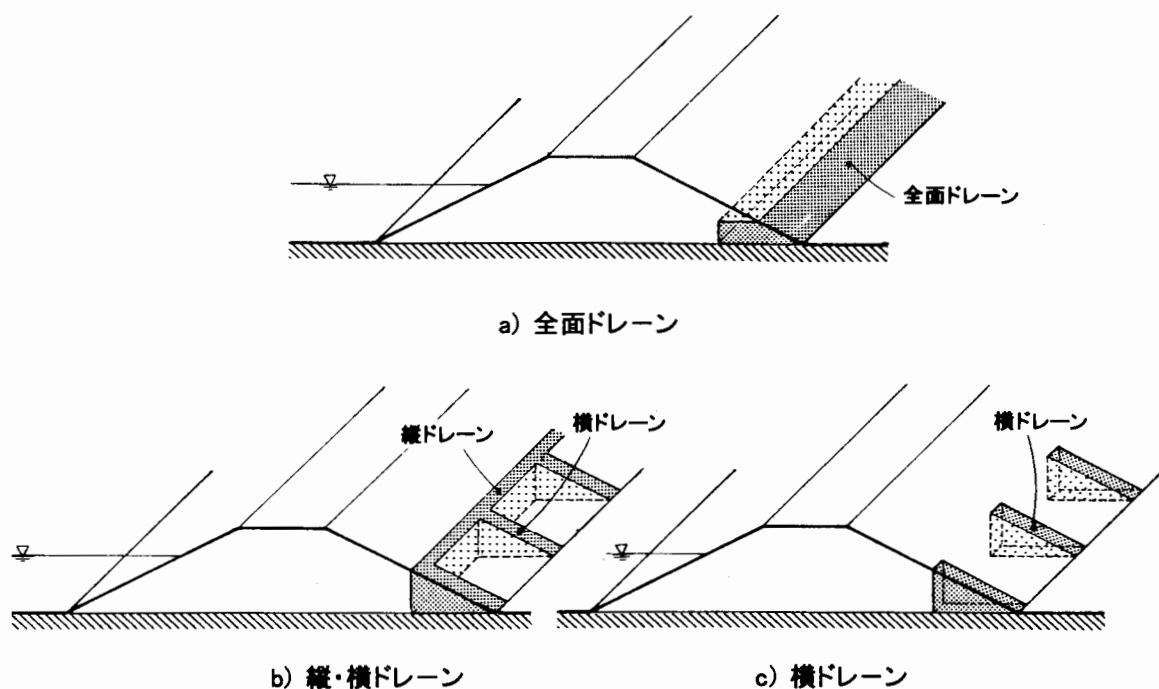
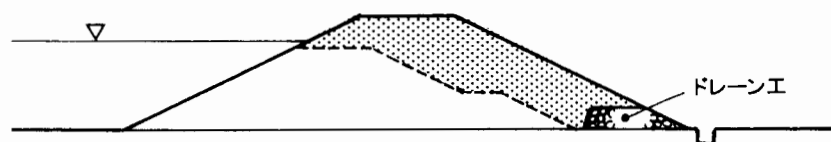


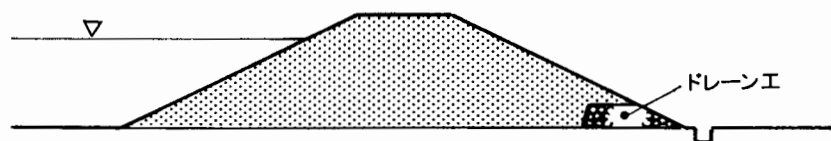
図 1.3 ドレーン工の基本的な構造

2) ドレーン工の断面形状

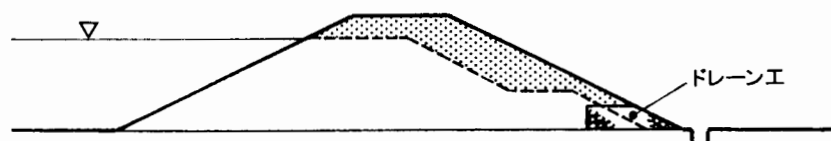
ドレーン工の断面形状は基本的には図 1.4 に示すとおりで、拡幅（裏腹付け）にともなって適用する場合と拡幅をとまなわない場合、および新築の場合とでは断面形状が多少異なる。拡幅の幅が大きく、ドレーン工を拡幅部に設置するような場合および新築の場合には、ドレーン工の前面（堤体内部側）を浸潤線に対してほぼ直交するよう施工することが望ましい（図 1.4 a), b)）。これに対して拡幅の幅が狭いあるいは既設堤防に直接ドレーン工を設置する場合には、敷設幅を確保するために既設の堤防を掘削することになり、ドレーン工の前面は、一般的には新築等の場合とは逆の勾配となる場合があるが、ドレーン工の効果の持続性を考慮して前面は最低でも鉛直とすることが望ましい（図 1.4 c)）。



a) 拡幅の幅あるいは既設堤防への切り込み幅が大きい場合



b) 堤防新築の場合



c) 拡幅の幅あるいは既設堤防の切り込み幅が小さい場合

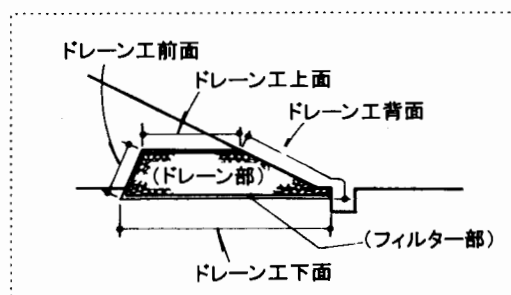


図 1.4 ドレーン工の断面形状

3) ドレーン工の構造

ドレーン部の構成材料には、その目的から透水性の大きい材料を使用することになるが、堤体とドレーン部の間には適切なフィルター部を必ず設け、堤体を構成する土粒子が移動して堤体にパイピングが生じないように、また移動した土粒子がドレーン部に侵入して目詰りを生じないようにし、ドレーン工の機能の長期的な確保を保証しなければならない。

なお、のり尻近傍には堤脚水路を設け、ドレーン部からの排水を確実に処理する必要がある。

1. 4 排水計画

ドレーン工には、原則としてドレーン部からの排水を処理するための堤脚水路を計画するものとする。

解 説

ドレーン工の計画にあたっては、ドレーン部からの排水を速やかに処理するための堤脚水路を裏のり尻近傍に計画する必要がある。堤脚水路は、ドレーン部からの排水および堤体における降雨の表面流出等を流下しうる断面とすることが望ましい。

堤脚水路は適当な排水路に接続する必要がある。適当な排水路とは、原則的には洪水中においても十分な排水機能を有している河川または水路である。

2. ドレーン工の設計

2.1 設計の基本方針

ドレーン工は、長期間にわたりその機能を発揮し、浸透に対する堤防の安全性が確保できるよう設計するものとする。

解 説

ドレーン工は浸透水を余裕をもって排水できる構造、すなわち断面形状と材料を設計する必要がある。ドレーン工の設計にあたって特に注意すべき点は、当初の機能を長期間にわたり維持する必要があることである。ドレーン工の内部では、降雨や出水のたびに浸透水が通過するわけであるから、堤体を構成する土粒子も移動しやすい条件にある。仮に土粒子の移動が長期間にわたり繰り返されれば、ドレーン部に目詰りが発生して機能が低下する可能性も否定できない。このようなことを考えると、ドレーン工の設計にあたっては長期の安定性を確保することに十分に留意することが重要である。

設計の手順は図 2.1 に示すとおりで、先ずドレーン工の断面形状を設定し、ドレーン材料を選定して、浸透に対する堤防の安全性を確認する。ここで安全性が確保されていないと確認された場合には、ドレーン工の断面形状（主として幅と高さ）を見直し、再度安定性を確認する。

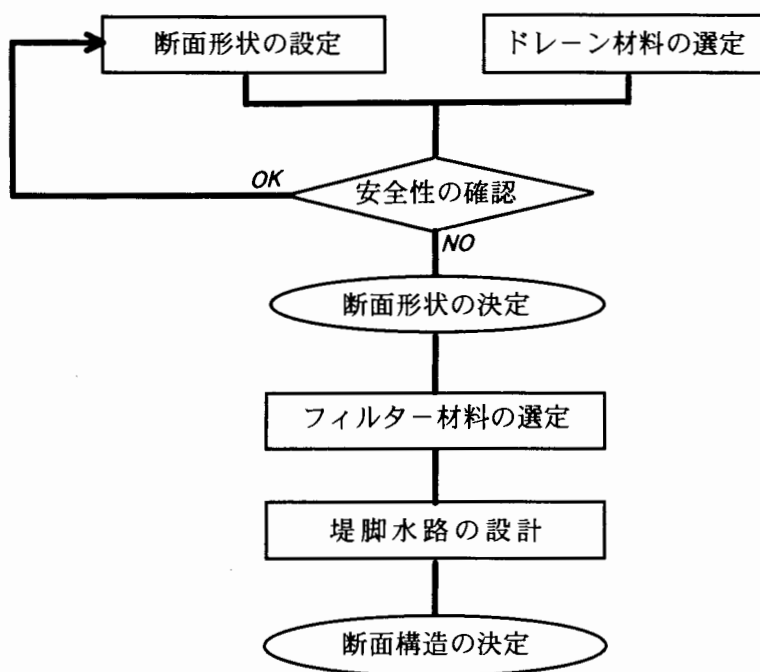


図 2.1 ドレーン工の設計手順

断面形状とドレーン材料が定まれば、次に堤体の土質や材料の入手の難易、経済性といった点を勘案してフィルター材料を選定する。最後にドレーン部からの排水量および降雨の堤防表面流出量等を想定して堤脚水路の断面を設計し、細部構造を考慮してドレーン工の断面構造を決定することになる。

2. 2 断面形状の決定

ドレーン工の断面形状は、ドレーン工の設置による堤防の浸透に対する安全性を確認した上で決定するものとする。

解 説

1) ドレーン工の幅（奥行）の設定

ドレーン工の幅（奥行）は、堤体内の浸潤面を低下させるという意味では広いほど、すなわち堤防の表側に追い込むほど効果があるが、極端に追い込むとドレーン工と接する堤体に大きな浸透圧が作用してフィルター部に過大な負担をかけることになり、フィルターの材料や構造によっては出水のたびに堤体を構成する土粒子が流失し、パイピングが発生する恐れがある。また、土粒子のドレーン部への侵入は目詰りの原因となり、ドレーン工の排水能力が低下することになる。一方、ドレーン工の幅（奥行）が小さ過ぎると堤体内の浸潤面を低下させることが困難になる。このようなことから、ここではドレーン工の幅（奥行）の設定の目安を以下のように考えることにする。

(1)幅（奥行）の上限

ドレーン工の幅（奥行）は、図 2.2 のように考えた平均動水勾配(H/D) が 0.3 以上とならないよう設定することにする。ここで平均動水勾配の最大値を 0.3 としたのは、図 2.3 に示すように、平均動水勾配が概ね 0.3 以下であればパイピングを生ずる可能性がほとんどないことが、土木研究所における模型実験で確認されているためである。

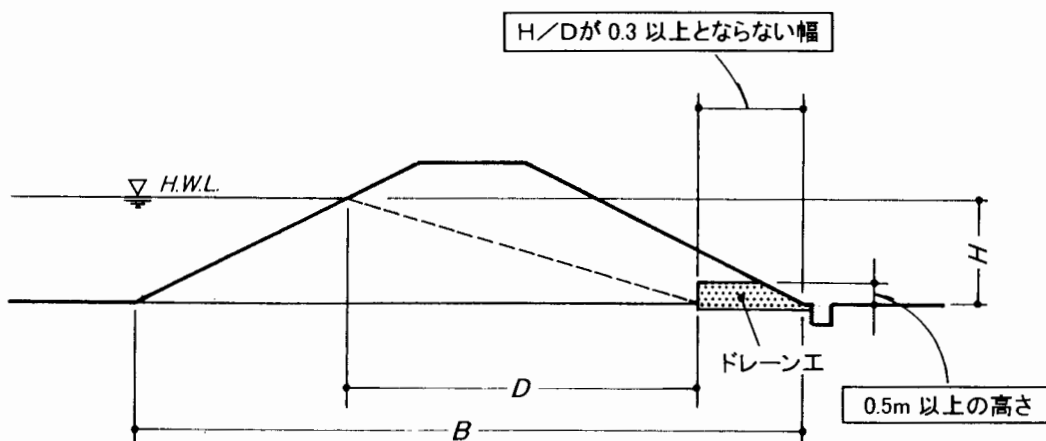


図 2.2 ドレーン工の断面形状と平均動水勾配

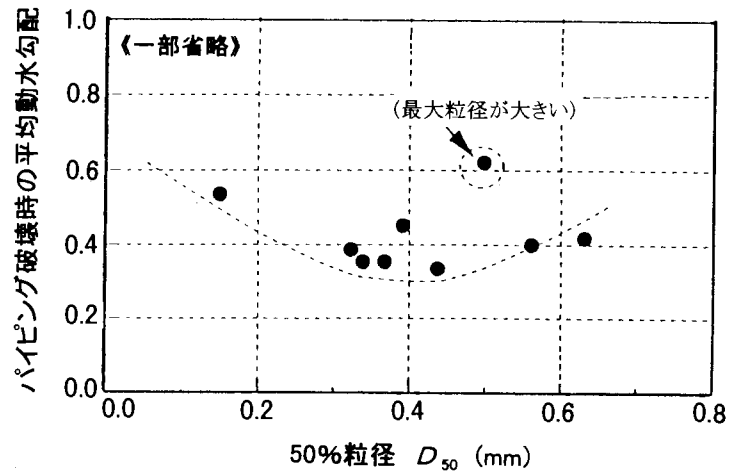


図 2.3 50%粒径と平均動水勾配の関係
(三木・山田他；土木技術資料,第 37 巻第 12 号,1995)

(2)幅（奥行）の下限

ドレーン工の幅（奥行）は、後述するように、定常浸潤面を設定した断面において堤防の裏のりのすべり破壊に対する安定計算を行い、図 2.4 に示すように安全率が 1.2 以下とならないよう設定する。

なお、図 2.6 はモデル断面における試算の結果を示したもので、安全率 1.2 を満足するドレーン工の幅としては概ね堤防敷幅の 1/10 程度以上は必要と考えられる。また、図 2.7 は土木研究所における模型実験の結果で、極端に小規模なドレーン工では排水が追い付かないことを示している。

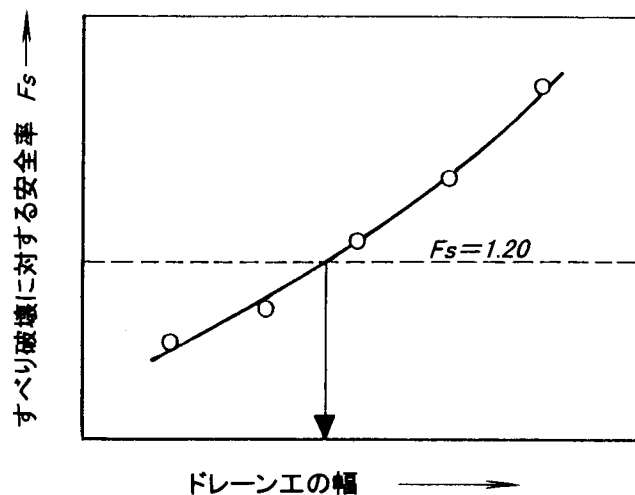


図 2.4 ドレーン工の最小幅の設定法

2) ドレーン工の高さ（厚み）の設定

ドレーン工の高さ（厚み）については、理論的には排水量とドレーン部の透水性によって決まり、一般には相当薄くても良いことになるが、余裕のある通水断面とする必要があること、および施工の確実性や設置後の変形や沈下による機能の低下を考慮し、図 2.2 に併示したように、堤体内で 0.5 m 以上を確保するものとする。

なお、ドレーン工の敷高については、堤体内の浸透水の確実な排除に加え基礎地盤からの浸透水の排水も考慮して地盤面より若干低くすることが望ましいが、堤脚水路の敷高より深くしないよう配慮する必要がある。

3) 安全性の確認およびドレーン工の断面形状の決定

1) および 2) を目安にドレーン工の断面形状を設定し、堤防の浸透に対する安全性を確認した上でドレーン工の断面形状を決定する。安全性の確認はドレーン工の幅が前述の下限値以上であれば、改めて実施する必要はない。安全性の確認方法は、①堤体内浸潤面の設定および②裏のり円弧すべりに対する安定計算によるものとする。①の堤体内浸潤面については、安全側にフィルター材料に目詰りが生じてドレーン工の機能が発揮されなくなることを想定し、計画高水位に対応する定常浸潤面を設定する。ただし、ドレーン工内の浸潤面は、図 2.5 に示すように、堤内地盤高と同じ高さにあるものとする。なお、降雨量の多い地域や堤体や基礎地盤の土質構成が複雑な場合には、十分な土質調査を実施した上で適切な外力条件（高水の波形や降雨量）を設定し、非定常浸透流計算を行って設定する方法もある。

②のすべり破壊に対する安定計算は、原則として次式によるものとする。

$$F_s = \frac{c \cdot l + (W - u \cdot b) \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi}{W \cdot \sin \alpha}$$

ここに、 F_s ; 安全率
 W ; 分割片の重量
 b ; 分割片の幅
 l ; 円弧の長さ
 α ; 円弧の中央とすべり円の中心を結ぶ直線と鉛直線のなす角
 u ; すべり面における間隙水圧
 c ; すべり面に沿う土の粘着力
 ϕ ; すべり面に沿う土の内部摩擦角

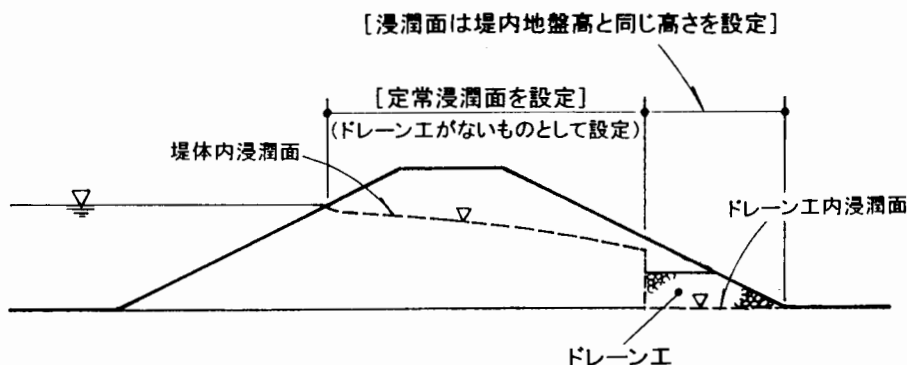
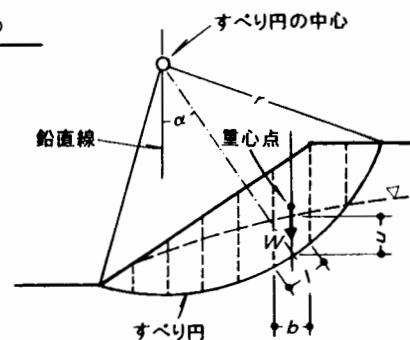
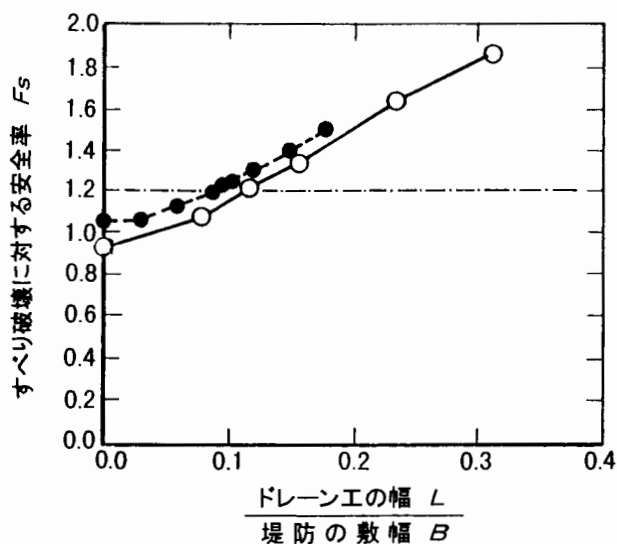
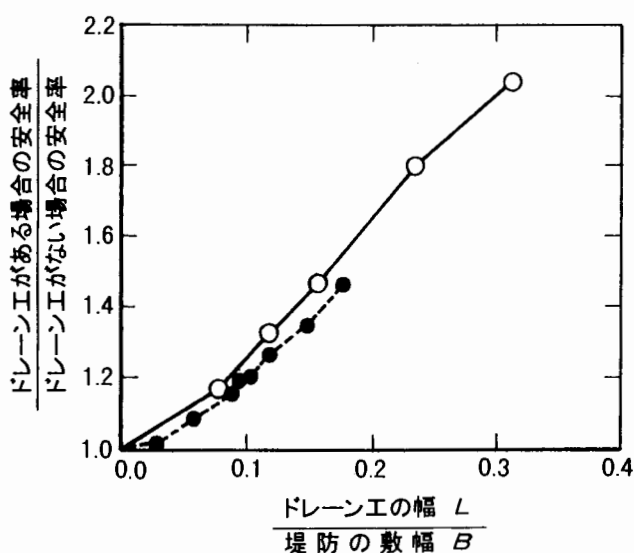
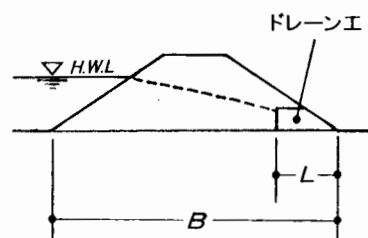


図 2.5 安全性確認時の堤体内浸潤面の設定

安全性の確認は、堤体の裏のりのすべり破壊に対する安全率が 1.2 以上であるか否かによって判断する。ここで安全性が確保されていないことが確認された場合には、断面形状を再設定した上で改めて安全性の確認を行う必要がある。なお、安定計算におけるドレーン工の密度(ρ)については $\rho=2.0\text{t/m}^3$ 、強度定数については、粘着力 $c=0.1\text{tf/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi=40^\circ$ を標準として設定する。



a) 安全率とドレーン工の幅の関係

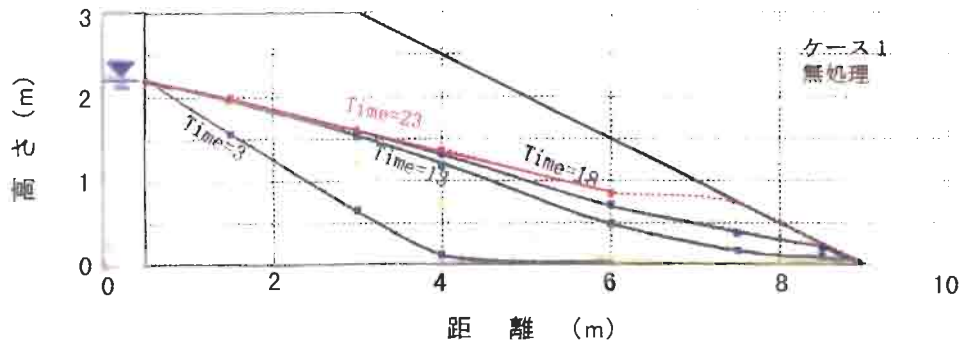


b) 安全率の増加割合とドレーン工の幅との関係

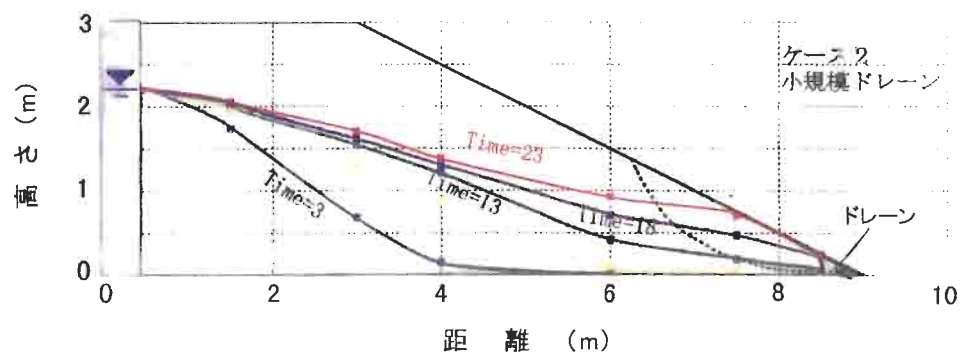
- 大規模堤防
(堤高 10m、のり勾配 3 割)
- 小規模堤防
(堤高 5m、のり勾配 2 割)

	堤 体	ドレーン工
透水係数 k	$1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$	$1 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$
粘 着 力 c	0.1 tf/m^2	0.1 tf/m^2
内部摩擦角 ϕ	30°	40°

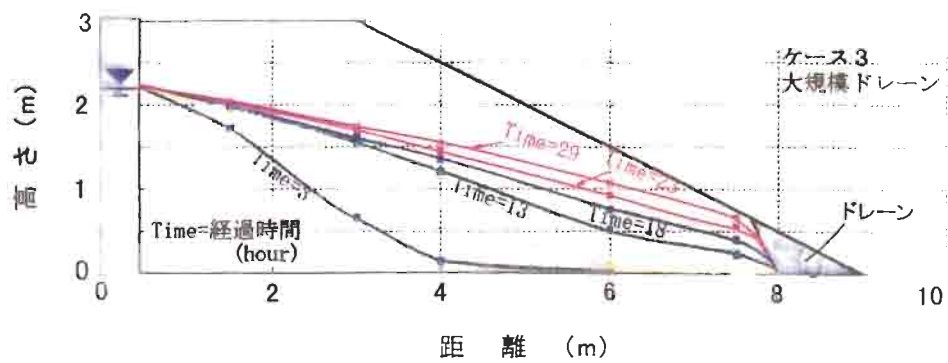
図 2.6 ドレーン工の幅と安全率の関係の検討の事例



a) ケース1；無処理



b) ケース2；小規模ドレーン



c) ケース3；大規模ドレーン

図 2.7 ドレーン工の効果についての模型実験の結果
(三木・山田他；土木学会第 51 回年次学術講演会,1996)

2. 3 ドレーン材料の選定

ドレーン材料は、透水性が大きく、かつ剪断強さの大きい材料とすることを原則とするものとする。

解 説

ドレーン材料は、堤体から、あるいは基礎地盤を通じての浸透水を少ない損失水頭で排水しうるものでなければならない。したがって、透水性の大きい材料とする必要があるが、その目安を透水係数でいえば、フィルター部を含むドレーン工全体としては堤体のそれより2オーダー程度大きめ(100倍程度)、ドレーン部単独ではそれ以上の透水係数を有する土質材料ということになる。一方、堤防の安定性に関わる剪断強さについては、内部摩擦角(剪断抵抗角)が概ね 40° 以上の材料とする必要があり、また施工時や施工後に劣化、すなわち細粒化を生ずるような材料は避けなければならない。

以上のようなことを考えると、ドレーン材料としては、細粒分含有量の少ない単粒度碎石や礫とすることが望ましいといえる。

2. 4 フィルター材料の選定

フィルター材料は、品質の長期的安定性、入手の難易、経済性、施工性等を十分に検討して選定するものとする。

解 説

フィルター部は、透水性すなわち粒度組成が大きく異なる堤体とドレーン部の間に設置するもので、堤体の土粒子のドレーン部への移動流失を遮断してパイピングの発生を防止し、また目詰りによるドレーン工の透水性の低下を防止するという極めて重要な機能を有しており、ドレーン工の成否を左右するものといっていよい。

フィルター材料は土質材料と人工材料に大別できるが、材料の入手の容易さ、品質の安定性、および施工性を考慮すると、吸出し防止材あるいは目詰り防止材と称される人工材料(いわゆるジオテキスタイル)を使用することが望ましい。なお、人工のフィルター材料には、河川護岸用吸い出し防止シートの開発や河川堤防のドレーン工への適用という点を考慮し、次のような条件を満たしているものが望ましい。

- ①フィルター材の開孔径は、以下の範囲内であること

$$0.1\text{mm} \leq O_{95} \leq D_{85}$$

ここに、 O_{95} ；ジオテキスタイル 95%開孔径(AOS)

D_{85} ；粒径加積曲線の通過重量 85%相当粒径

- ②長期的に目詰りを生じないこと

- ③低動水勾配下($i \leq 0.1$)においても、透水係数は $1 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 以上

- ④材質の強度が高いこと

$$T_p \geq 0.2 \text{ tf/m} \quad (T_p; \text{引張強度})$$

- ⑤化学的変質に対して安定であること

- ⑥親水処理が施されていること

2. 5 堤脚水路の設計

堤脚水路は、ドレーン部からの排水ならびに雨水等を流下しうよう設計するものとする。

解 説

ドレーン工に附帯する堤脚水路は、ドレーン部からの排水を速やかに流末に導水することを目的として設置するもので、堤内地盤高やドレーン工の敷高に留意して適切な設置高とする必要がある。

堤脚水路の断面は、排水先の水路や河川までの距離や勾配を踏まえ、ドレーン部からの排水量および堤防における降雨の表面流出量等を考慮して、余裕のある大きさとすることが望ましい。

3. ドレーン工の施工上の留意点

ドレーン工の施工は浸透対策としてのドレーン工の成否を左右するものである。したがって、その目的および機能を十分に理解した上で、適切かつ入念な施工が必要である。施工にあたり特に留意すべき事項は次のとおりである。

1) きめ細かな施工計画の立案

ドレーン工の施工では、既設堤防の掘削、ドレーン材料やフィルター材料の敷設および埋戻し等を比較的狭い空間で丁寧を実施する必要がある。したがって、完成後のドレーン工の機能を損なうことなく、施工を効率的かつ安全に行うためには、重機や人員の配置、材料や掘削土の搬出入、施工の方法や手順、施工管理等について綿密な施工計画を立てる必要がある。

2) 既設堤体の掘削にあたっての留意点

ドレーン工の敷設に先立つ堤体の掘削では、既設の堤体を乱さないよう留意する必要がある。また、敷設地盤面の攪乱はドレーン工の沈下の原因となるので注意を要する。

掘削面は必ずしも平滑に仕上げる必要はないが、フィルター材料の敷設精度を高める程度の不陸の整成が必要である。

3) フィルター材料の敷設

(1) フィルター材料としてのジオテキスタイルは、既設の堤体および地盤との間に空隙が生じないように、敷設面に密着して敷設する必要がある。密着を容易にするためには厚さ 30～50mm の砂質土（堤体材料よりは透水性の大きいもの）を敷設面に敷均すとよい。特に、敷設面が傾斜している部分では空隙ができやすく、このような場合にはジオテキスタイルと敷設面の間を砂質土で充填することが望ましい。ただし、充填にあたっては、締め固め過ぎることによってドレーン工と堤体との間に不透水性の層を作らないよう十分に注意する必要がある。

(2) ジオテキスタイルとジオテキスタイルの間は 20cm 程度重ね合わせ、隙間が生じないようにする。ドレーン材料の敷設にともなって隙間が生じたような場合には、隙間を同種のジオテキスタイルで補間することを怠ってはならない。

(3) ジオテキスタイルの敷設にあたっては、できるかぎり丁寧に扱うことが大切であり、重機等でジオテキスタイルを損傷しないよう注意し、仮に損傷したような場合には、その部分にジオテキスタイル重ねる等の処置が必要である。また、ドレーン工の完成後にジオテキスタイルが地表に露出していると、日照等による化学的な劣化の原因となるので、この点にも留意しなければならない。

仮置き時や敷設時のジオテキスタイルへの泥水等の侵入も、品質の劣化すなわち目詰りにつながるので注意が必要である。

4) ドレーン材料の敷設

(1) ドレーン材料は、材料の品質を損なわないよう、またフィルター材料を損傷しないよう敷設する必要がある。ドレーン材料はフィルター材料の敷設後、あるいはフィルター材料の敷設と並行して敷設される。材料の撒出し、敷均し、締め固めについては通常の盛土工に準ずればよいが、過度な締め固めは細粒分を生じさせたり、フィルター材料を損傷するので注意が必要である。

(2) ドレーン材料として粒径の大きなものを使用する場合には、フィルター材料の損傷を防

止するため、周囲には粒径の相対的に小さい材料を配置するよう配慮する必要がある。

5) ドレーン工の上方の埋戻し

ドレーン工の上方を埋戻し、締固める場合には、ドレーン工に沈下や変形等の損傷を与えないよう十分に留意する必要がある。また、ドレーン工の上方の緑化を図る必要がある場合には、土羽土の厚さは 50cm 以上とし、タンパー等によって締固める。

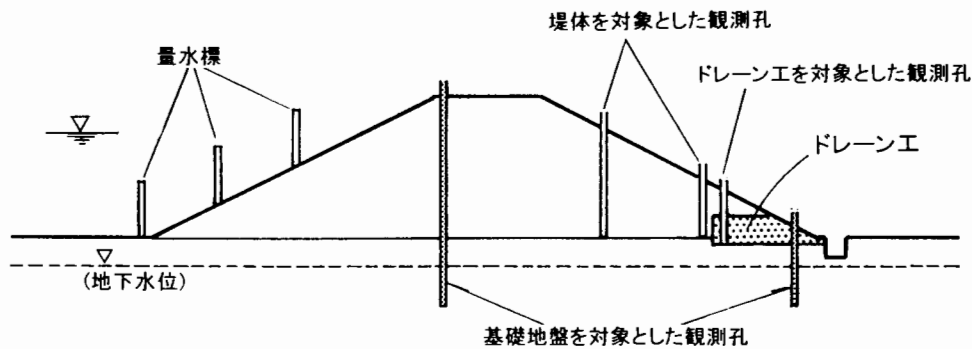
4. ドレーン工の効果の観測

ドレーン工は、我が国では施工実績に乏しく、その効果が十分に把握されているわけではない。特に、効果の持続性、すなわち長期的な安定性については不明確な点が多いため、必要に応じて効果を確認し、当初の機能が確保されているか否かを判断するための調査、観測を実施することが望ましい。

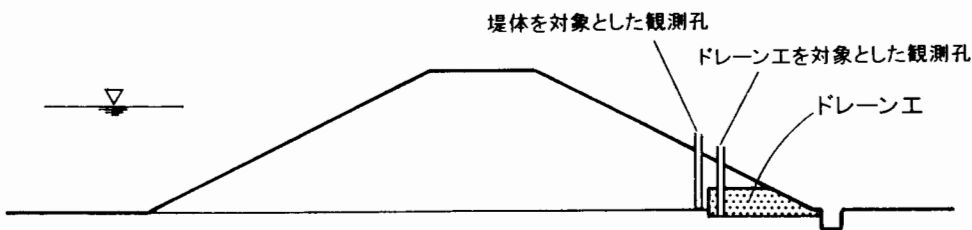
4.1 堤体およびドレーン工内の水位の観測

追跡調査の方法としては、多量の降雨時や出水時にドレーン内あるいは堤体内の水位を観測する方法が確実である。観測施設（水位観測孔）については施工時に設置するのが容易で経済的である。特に、ドレーン工内部の水位を観測する施設については、施工後の設置は極めて困難なので、施工時に設置する必要がある。図 4.1a)は代表断面における観測施設の標準的な配置を示したもので、水位観測孔と河川水位を観測するための量水標で構成する。また、近傍に雨量の観測施設がない場合には、雨量計も併せて設置することが望ましい。なお、それ以外の断面についても、比較のため図 4.1b)に示すように水位観測孔を設置しておくといよい。水位観測孔については次のような構造とする必要がある。

- (1) 堤体内あるいはドレーン工内を対象に設置するものについては、全体にストレーナー加工を施した直径 40mm 以上の管とし、図 4.2a) に示すように、目詰りや管内への土砂の流入を防止する構造とする。



a) 代表断面



b) その他の断面

図 4.1 観測施設の標準的な配置

(2) 基礎地盤を対象とするものについては、同じく 40mm 以上の管とし、管底は低水位時期の地下水位以下 1 m 程度とする。また、基礎地盤内の水位、水圧の測定を目的とするため、図 4.2b) に示すように堤体内は遮水を完全にし、ストレーナーは基礎地盤のみに設ける構造とする。

観測の方法は、特に制約がないかぎり自動計測とし、水位の経時変化を詳細に把握することが望ましい。手動計測の場合、観測を開始する時点は河川水位が指定水位に達した時点、あるいは連続雨量が 100mm に達した時点を目安とする必要がある。自動計測の場合には出水や降雨の直後に観測記録を回収すればよい。ただし、自動計測については計測器を定期的に点検し、作動状況を確認する必要がある。また、河川水位についても同時に観測する必要があるが、水位観測の自動計測システムに取り込んでおくことと記録の整理に好都合である。

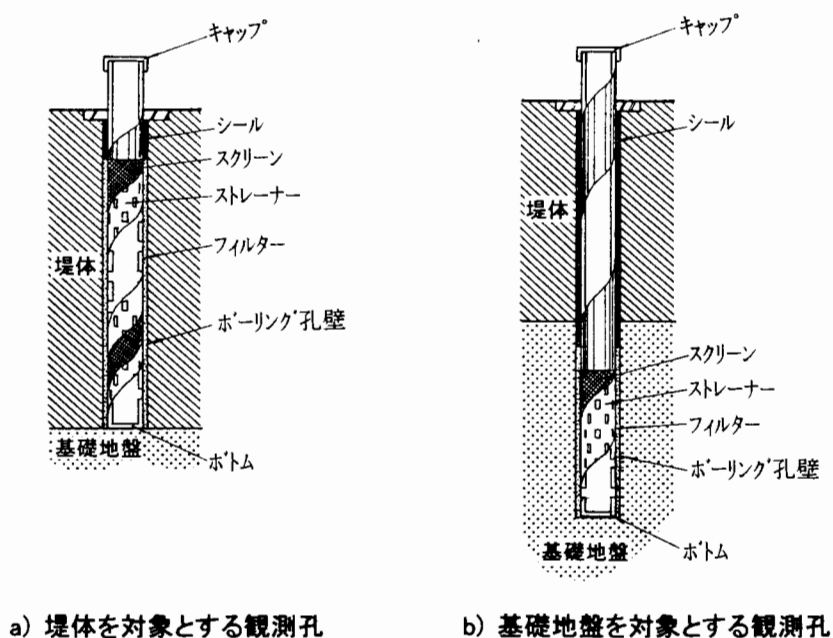


図 4.2 水位観測孔の標準的な構造

4.2 出水時の巡視と出水後の点検

出水時や多量の降雨時には、ドレーン工の施工区間において①ドレーン工からの排水の状況（排水位置、排水量や排水の濁り）、②のり面を流下する表流水のドレーン工周辺での状況（集中傾向や吸い込み）、および③ドレーン工の上方ののり面からの浸出水の有無等を観察し、ドレーン工の効果や機能が確保されているかを確認する必要がある。また、出水後には、堤体を起源とする土砂が堤脚水路等に堆積していないか、あるいは変状が発生していないか等を点検し、ドレーン工に機能の低下等が生じているかを確認するとともに、平常時にも重点的に巡視を行い、機能の低下の徴候を速やかに把握することが重要である。

参 考 文 献

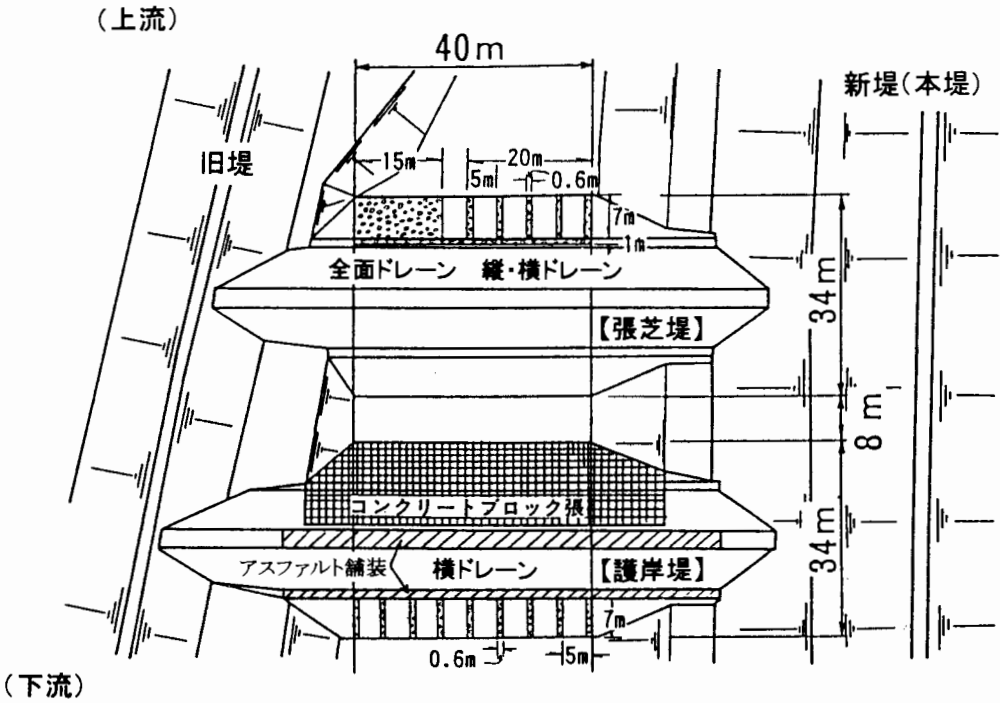
- 1) 関東地方建設局・(財)国土開発技術研究センター(1985)；河川堤防強化マニュアル(案) (浸透対策編)、昭和 60 年 3 月
- 2) (財)国土開発技術研究センター(1992)；アメリカにおける堤防の設計及び施工マニュアル、平成 5 年 5 月
- 3) 玉光・中島・定道・藤井(1991)；堤防の設計と施工 ― 海外の事例を中心として ― 、新体系土木工学 74、土木学会編
- 4) 関東地方建設局・(財)国土開発技術研究センター(1990)；江戸川実物大堤防現地浸透実験概要書、平成 2 年 3 月
- 5) 九州地方建設局筑後川工事事務所(1993)；堤体ドレーン工現地実験業務概要書、平成 5 年 3 月
- 6) 三木・山田・藤井・野口(1995)；堤防基礎地盤のパイピング破壊基準に関する考察、土木技術資料 37-2
- 7) 三木・山田・藤井・野口(1996)；大型模型堤防を用いたのり尻ドレーンの効果に関する検討、土木学会第 51 回年次学術講演会
- 8) ジオテキスタイル補強土工法普及委員会(1996)；ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル、平成 8 年 4 月、(財)土木研究センター
- 9) 神奈川県藤沢土木事務所・(財)国土開発技術研究センター(1996)；総合治水対策特定河川工事(公共)第 2 号分割の 28 (境川 藤沢市西俣野地先) 概要報告書、平成 8 年 5 月
- 10) 水防構造物技術諮問委員会、土木研究・基準化センター(オランダ、1991)；河川堤防設計指針、第一巻(上流区間)、(財)リバーフロント整備センター
- 11) Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.(DVWK)；MERKBLÄTTER ZUR WASSERWIRTSCHAFT 210/1986, Flußdeiche, Verlag Paul Parey

資 料

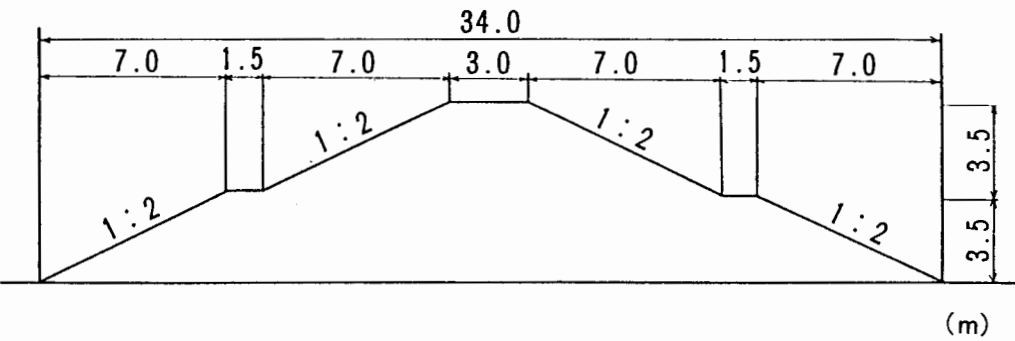
資料1 実物大堤防実験によるドレーン工の効果の検証事例

1. 1 江戸川における浸透実験

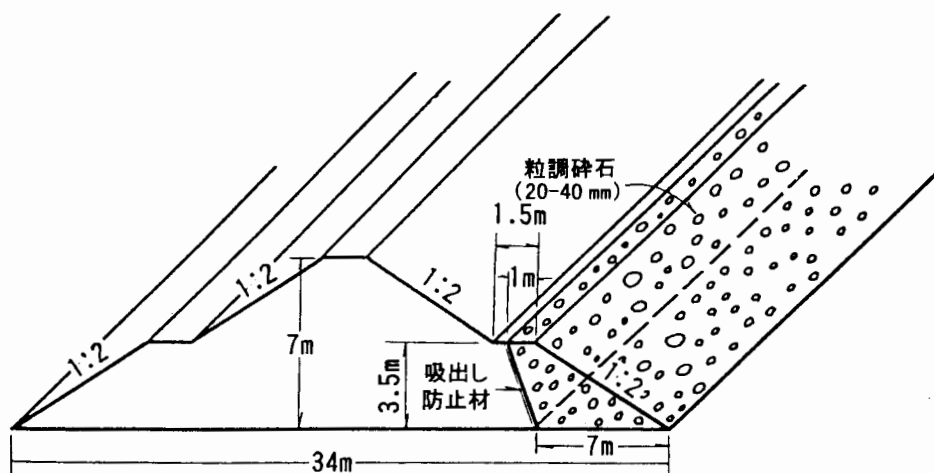
(1) 実験堤防の概要



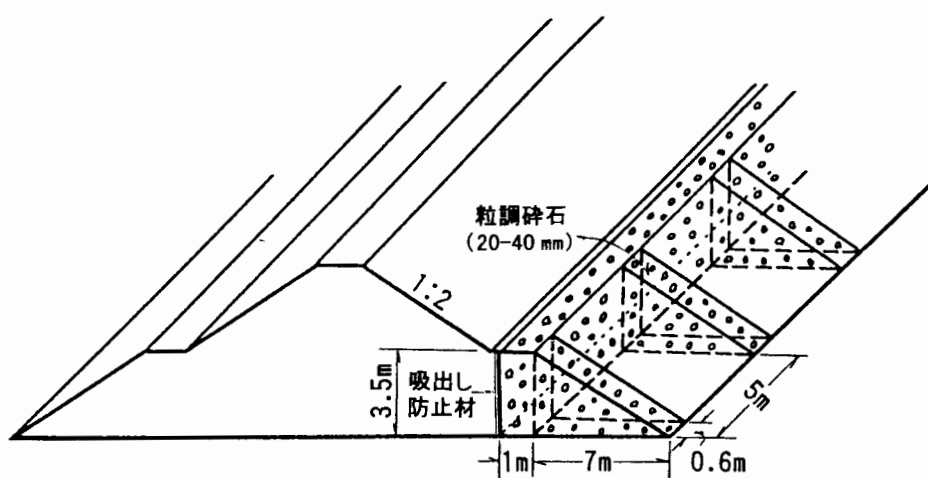
図・資1. 1 実験堤防平面図



図・資1. 2 実験堤防の基本形状



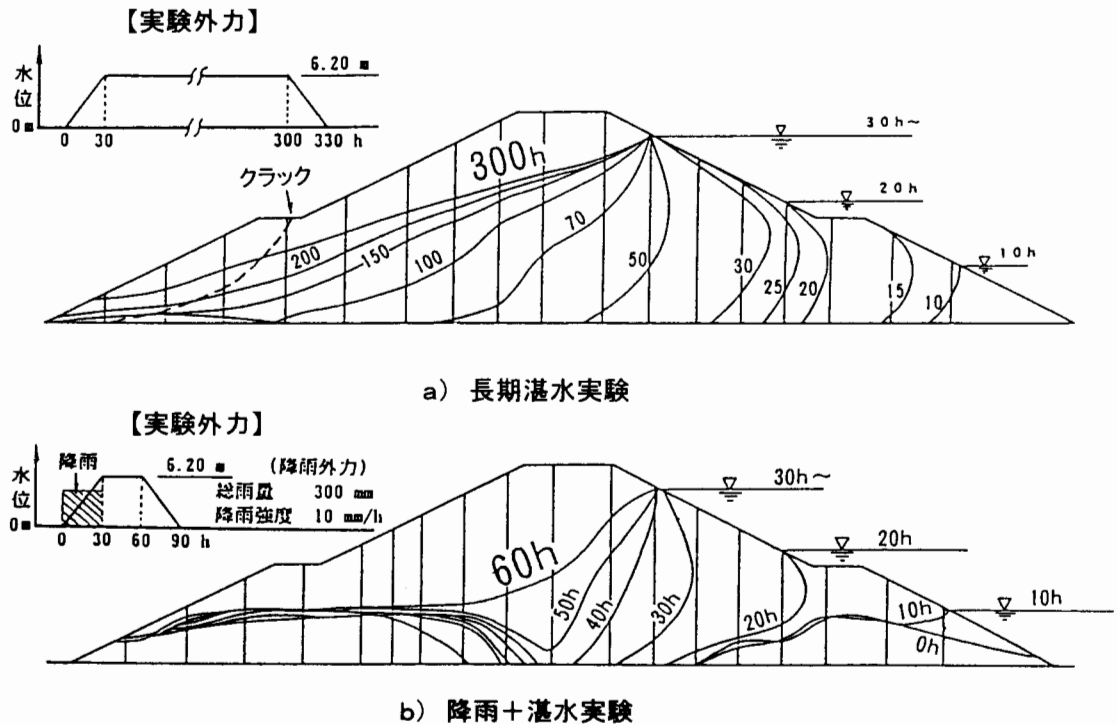
a) 全面ドレーン



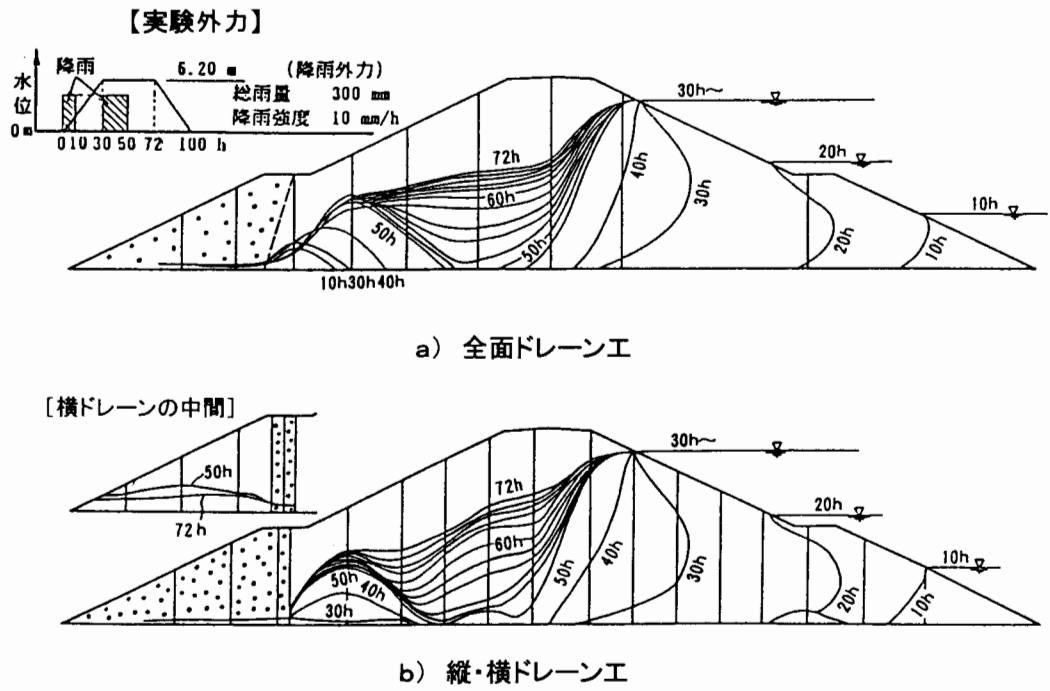
b) 縦・横ドレーン

図・資1.3 ドレーン工の構造

(2) 実験の結果

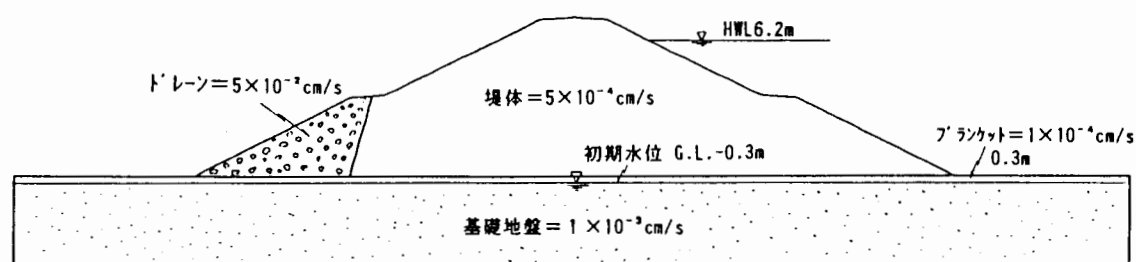


図・資1. 4 実験結果その1(ドレーン工がない場合)

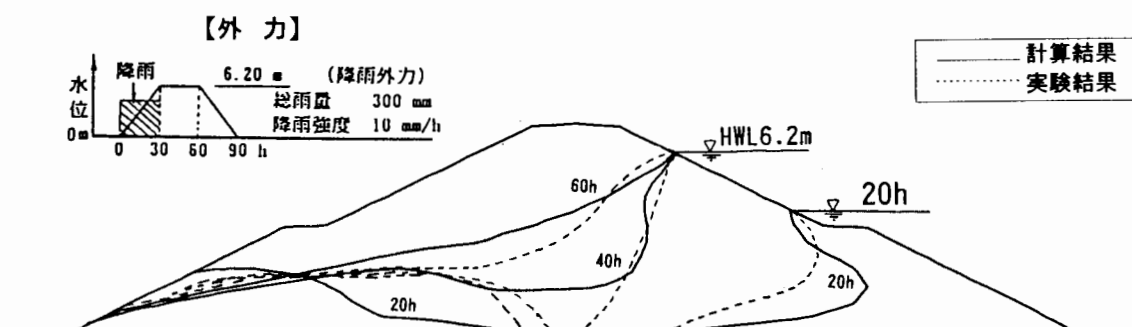


図・資1. 5 実験結果その2(ドレーン工がある場合)

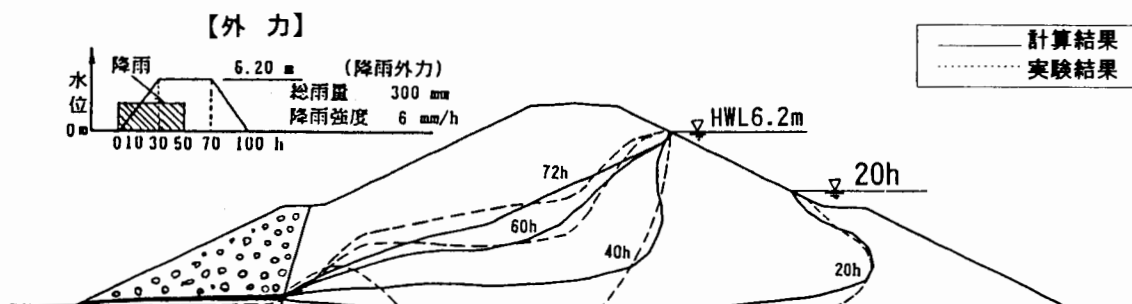
(3) 浸透流計算結果と実験結果の比較



a) 計算モデル



b) 降雨+湛水実験(ドレーン工がない場合)

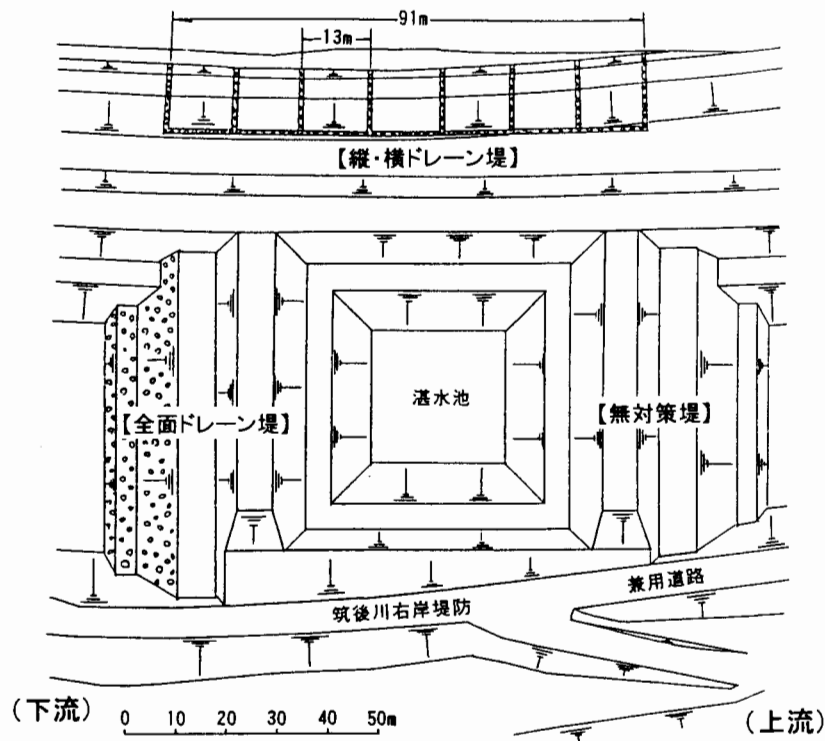


c) 降雨+湛水実験(ドレーン工がある場合)

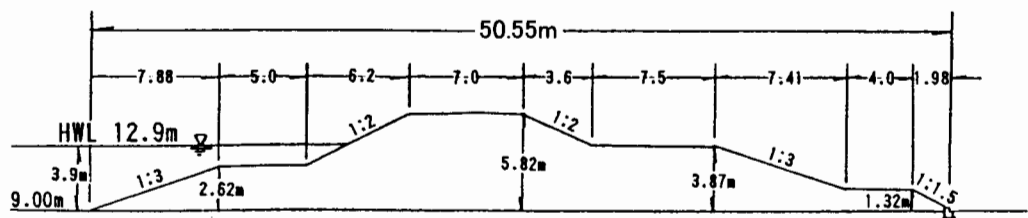
図・資1.6 実験結果

1. 2 筑後川における浸透実験

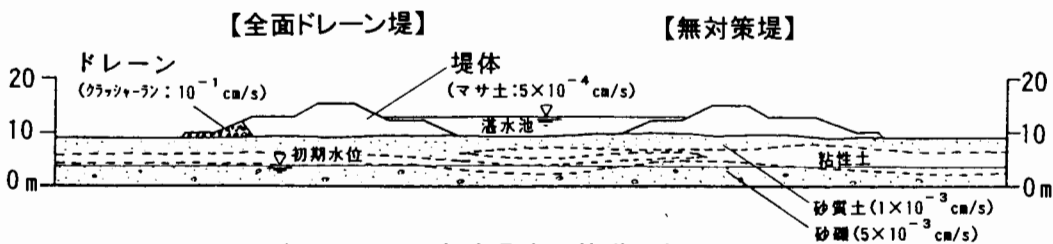
(1) 実験堤防の概要



図・資1. 7 実験堤防平面図

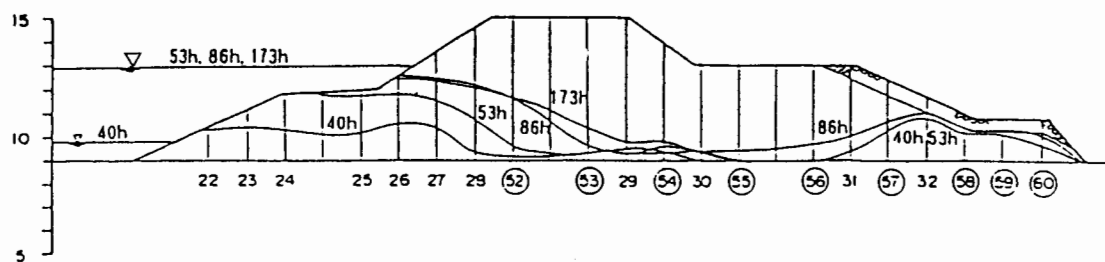


図・資1. 8 実験堤防の基本形状

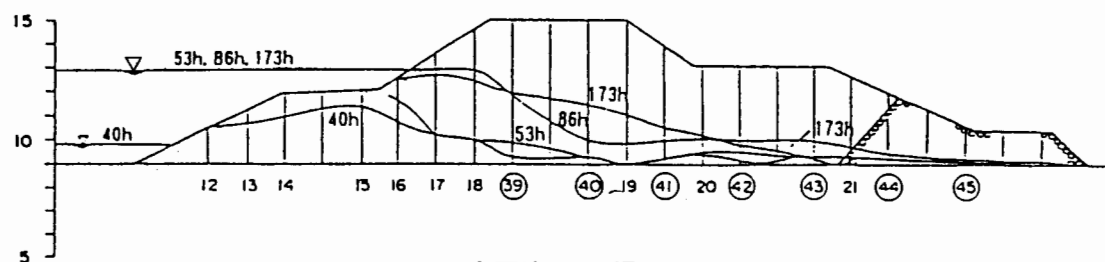


図・資1. 9 実験堤防の基礎地盤状況

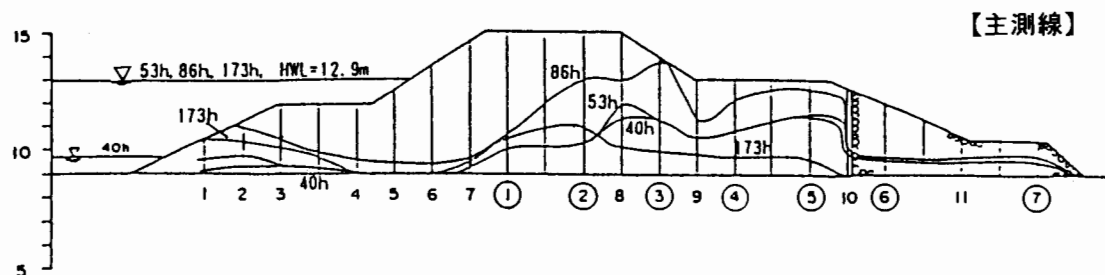
(3) 実験の結果



a) 無対策堤



b) 全面ドレーン堤



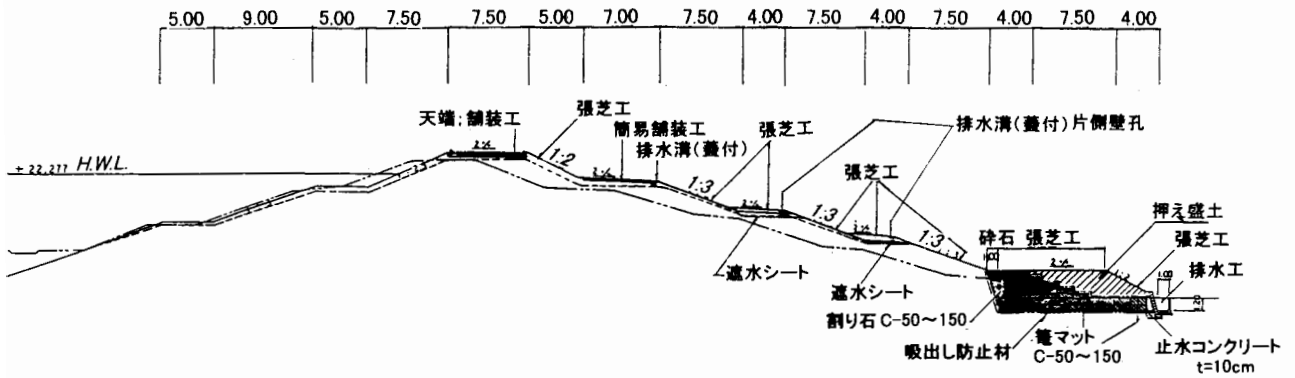
c) 縦・横ドレーン堤

図・資1. 12 [降雨+湛水実験]の結果

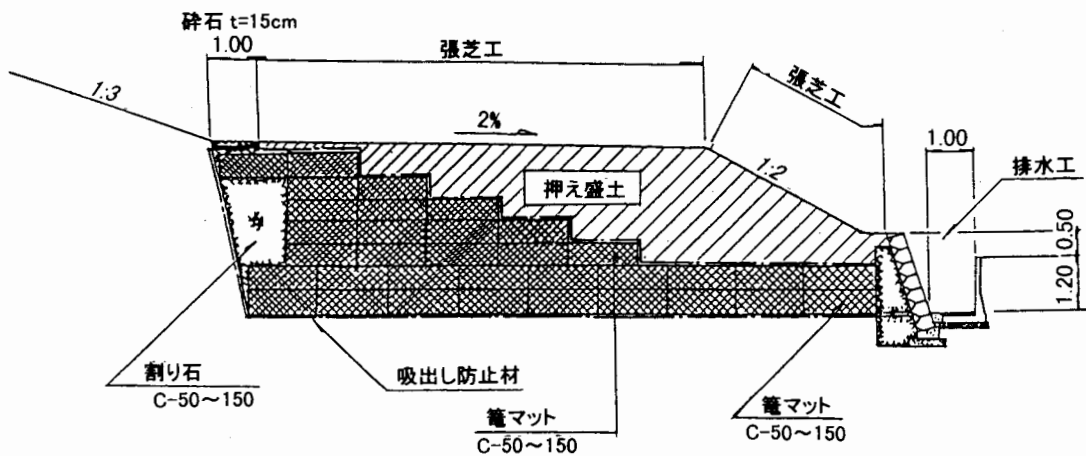
資料2 ドレーン工の施工事例

2.1 利根川における施工事例(建設省利根川上流工事事務所)

(1) 堤防強化の標準断面とドレーン工の構造



図・資2.1 堤防強化標準断面図



図・資2.2 ドレーン工詳細図

(2) ドレーン工の施工状況

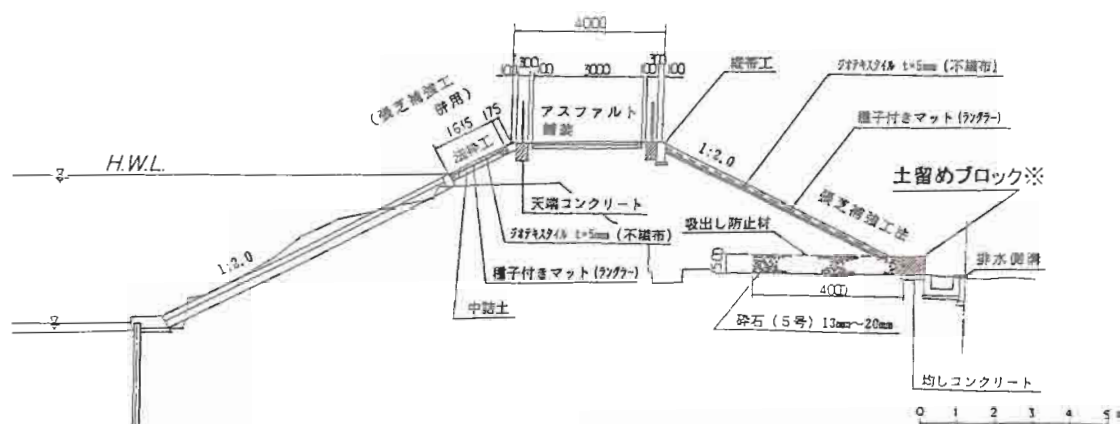


敷砂利により施工性を確保し、ドレーン工が施工されている。右手の白い布状のものが吸出し防止シート。

写真・資2. 1 ドレーン工の施工状況

2. 2 境川における施工事例(神奈川県藤沢土木事務所)

(1) 堤防強化の標準断面



※土留めブロックはドレーン工、のり尻洗堀防止工、越流水の減勢工を兼ねる

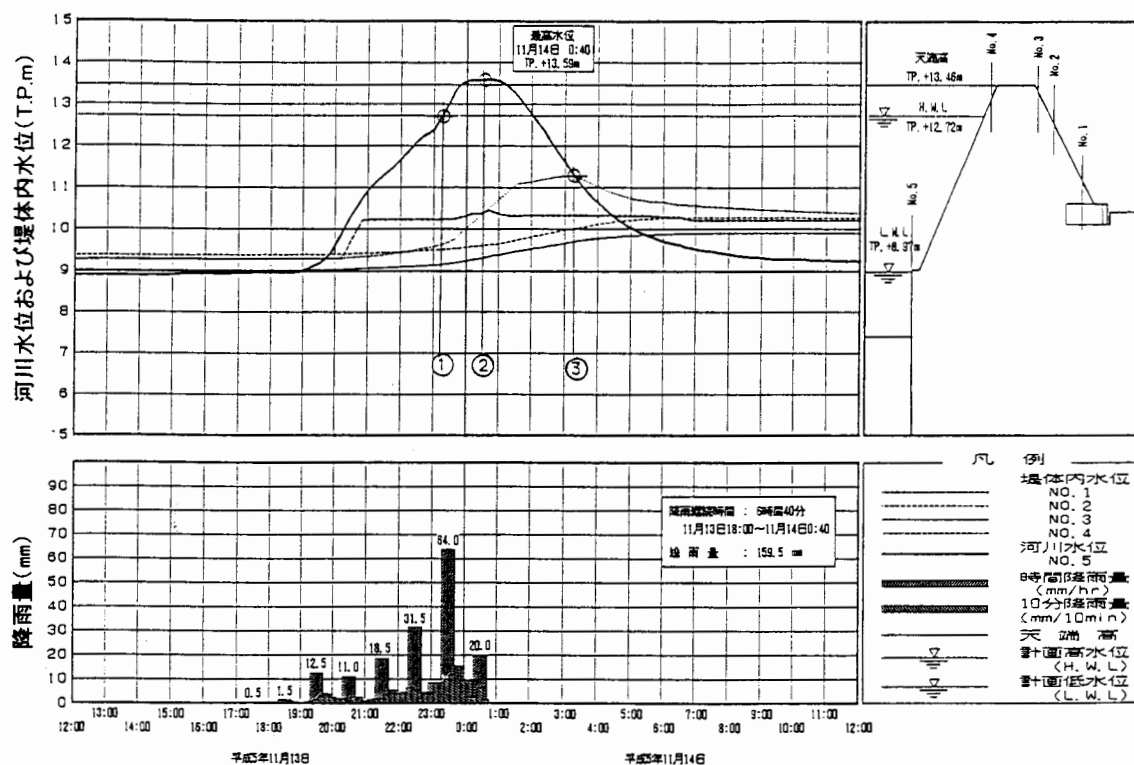
図・資2. 3 堤防強化一般部標準断面図

(2) ドレーン工の施工状況

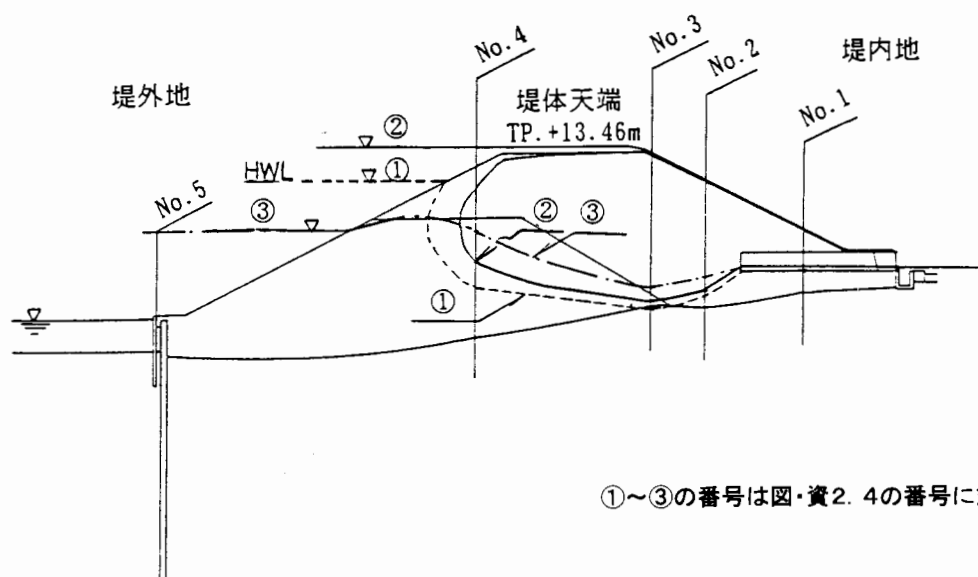


写真・資2. 3 完成直後のドレーン工の状況

(3) 越水をとまう平成5年11月出水時の状況



図・資2. 4 河川水位および降雨の状況



①～③の番号は図・資2. 4の番号に対応

図・資2. 5 堤体内水位の状況



越水があつたにもかかわらず、ドレーン工を含むのり尻には、ほとんど被害は認められなかつた。

写真・資2. 4 裏のり尻の状況

資料3 欧米諸国におけるドレーン工の事例

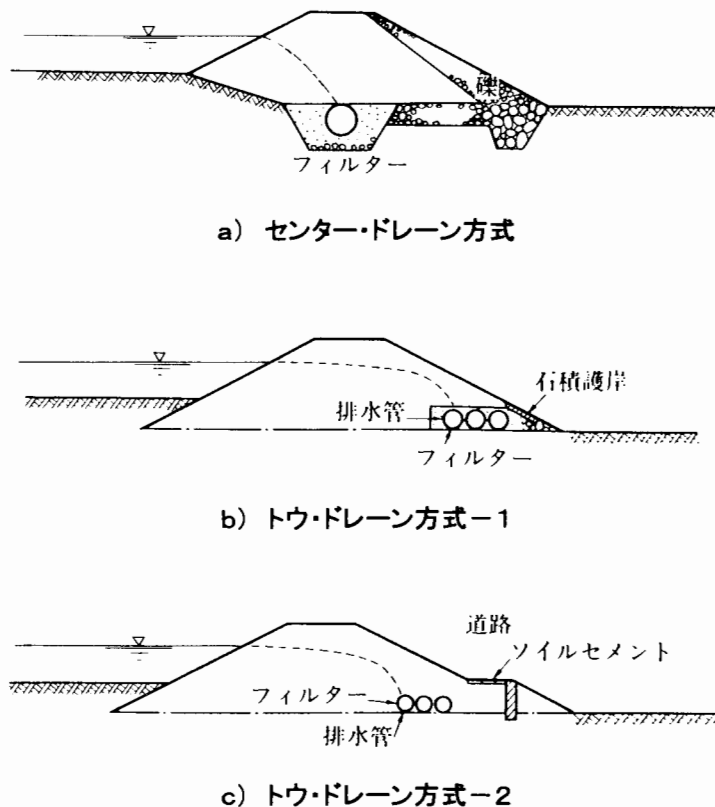
3. 1 欧州におけるドレーン工

欧州におけるドレーン工の事例として、「堤防の設計と施工」（参考資料 3）や各国の基準（参考資料 10）、11）等から引用すると次のとおりである。

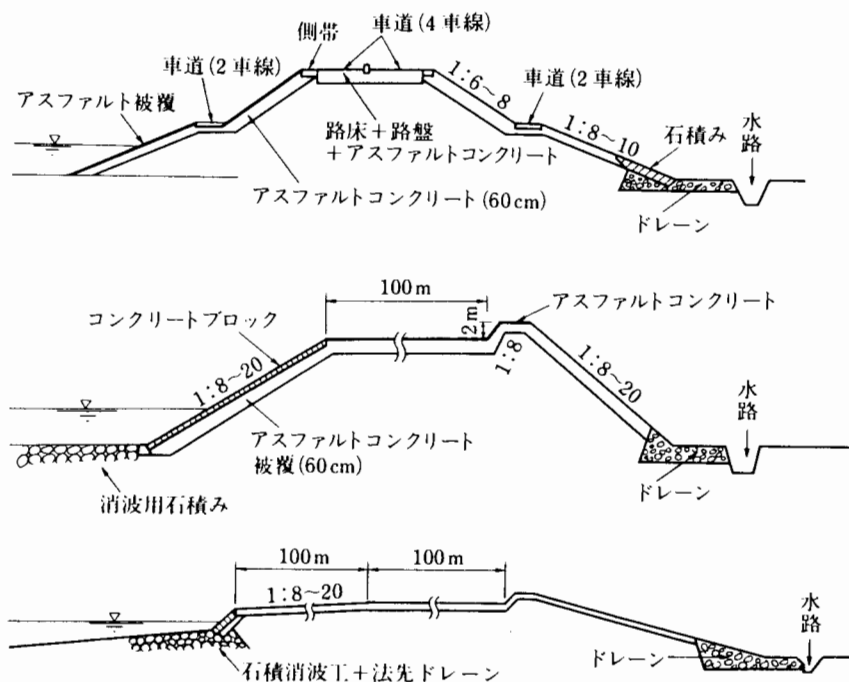
(1) オランダ

オランダでは堤体の強化法としてドレーン工法が進められている。図・資3. 1に、オランダの堤防におけるドレーン工のタイプを示した。河川堤防の設計指針では、ドレーン工の機能を堤体と基礎地盤の間隙水圧の低減とし、間隙水圧のために安定した堤防の設計ができないときや、他の方法では堤防断面を強化できないときにドレーン工を利用することを推奨している。また、堤防の長期間にわたる有効な排水を保証するため安定性と透水性に関する条件を満足する必要があること、さらに検査と保守が極めて重要なことが強調されている。

なお、図・資3. 2に示すように、デルタ地帯の海岸堤防（デルタ計画）にもドレーン工が導入されている。



図・資3. 1 オランダの堤防におけるドレーン工

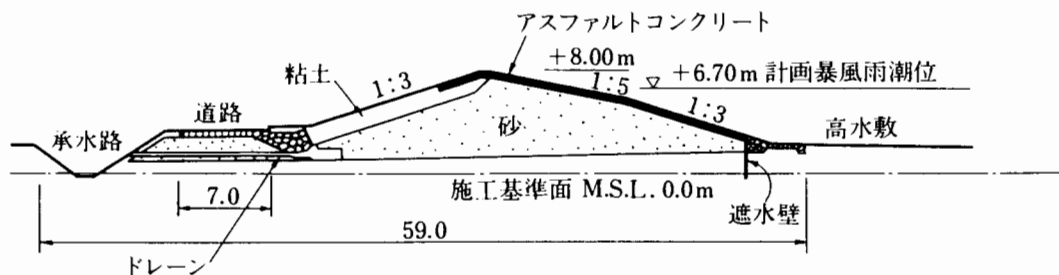


図・資3.2 オランダにおけるデルタ計画の堤防

(2) ドイツ

図・資3.3は、北ドイツにおける河川堤防の事例を示したもので、裏のり尻に丈夫なドレーン工を設け、堤体からの排水を承水路に導く構造となっている。

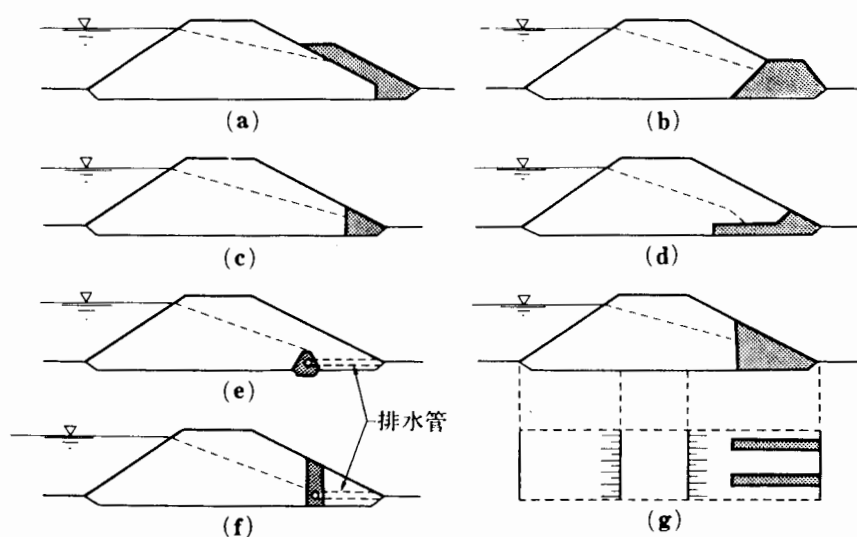
堤防基準（DVWK）では、ドレーン工の役割を堤体漏水を集め誘導すること、必要に応じ基礎地盤からの浸透水を排水することとしており、ドレーン工の規模として予想される浸透水量に対して少なくとも2倍以上の水量を完全に排水できるように寸法を設定するように求めている。



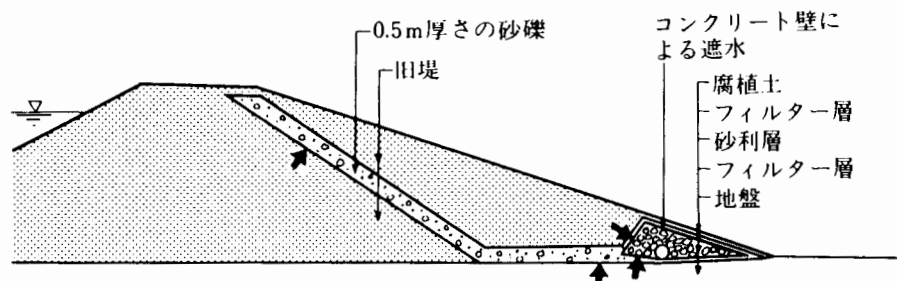
図・資3.3 北ドイツにおける河川堤防のドレーン工

(3) ハンガリー

ハンガリーの河川では、堤防の安定度を増すための一方法としてドレーン構造をとっている。均一型堤防の改良ドレーン構造の標準モデルは図・資3. 4に示すとおりで、これを参考に堤体と基礎地盤の土質を考慮してタイプを決定することになっている。一方、図・資3. 5は、既設堤防に裏腹付けを行った事例を示したもので、既設部分と新設部分の間にパイピングが生じないように境界に傾斜型ドレーンを設け、裏のり尻のドレーン工と一体として堤防の安定化を図っている。



図・資3. 4 ハンガリーにおける均一型堤防の改良ドレーン構造の標準モデル



図・資料3. 5 ハンガリーにおける堤防の裏腹付けにともなうドレーン工の事例

3. 2 アメリカにおける事例

「*Engineer Manual* No.1110-2-1913（米国陸軍工兵隊のエンジニア・マニュアル）」に示されているドレーン工の構造は図・資3. 6および図・資3. 7のとおりで、ドレーン層の設計と締固めについては以下のような記述がある。

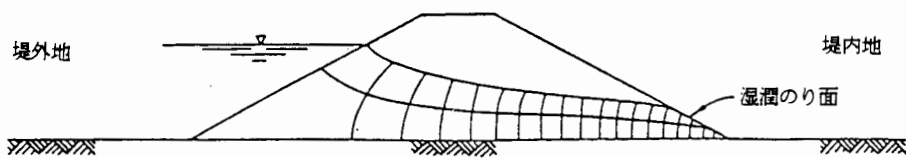
(1) ドレーン層の設計

透水性のり尻ドレーンおよび水平・傾斜ドレーン層の設計は、このようなドレーンが、水頭の損失をほとんど生じることなく、同時により細かい土粒子の移動を防止しつつ浸透流を透過させるのに適した厚さと透水性となるようにしなければならない。

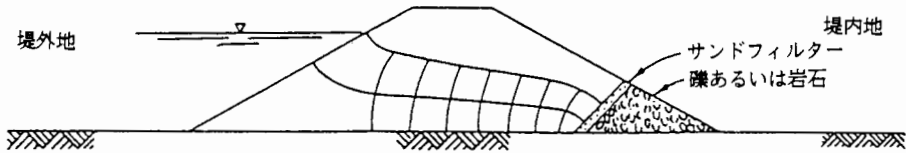
ドレーン層の設計は、付録Eで概要を示したフィルター設計基準を満足しなければならない。水平ドレーン層は、種々の施工目的のために最低 18 インチ（45cm）の厚さとすべきである。

(2) ドレーン層の締固め

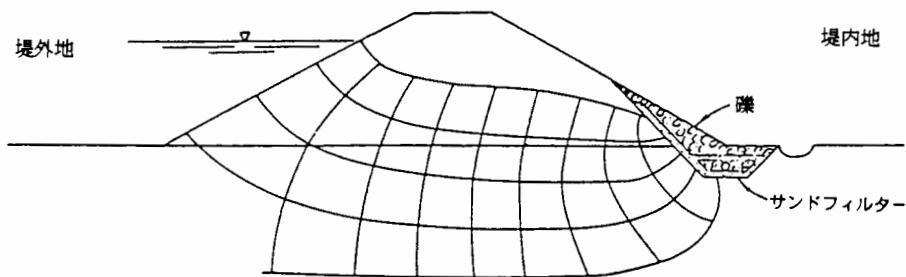
ドレーン層の敷設および締固めは適切な密度が達成されるようにしなければならないが、分離および汚染が発生するのを許容すべきでない。クローラ式トラクタおよびタイヤローラも利用され好成績をあげているが、振動ローラは粘着性のない材料の締固めに最良の機械であると思われる。ローラが材料の上を通過する際に飽和あるいは浸水していると締固めプロセスにおける助けとなり、目標密度が達成できる唯一の方法となっている場合もある。積み込み、荷下ろし、および撒き出し作業は、分離が発生しないよう監視すべきである。材料が仕様に適っていること、含有細粒分が多すぎないことを確かめるため、締固めの前後に粒度組成試験を実施すべきである。



a. 不透水性地盤上にある均一な堤体において浸潤線が裏のり面に現れた断面

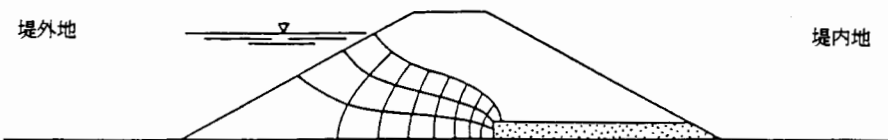


b. 裏のり尻が透水性の場合の断面

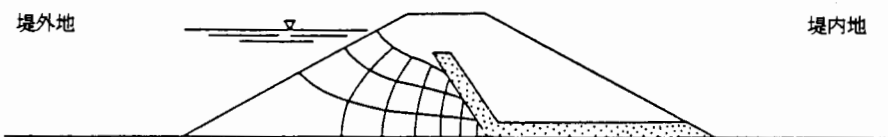


c. 部分的に貫入するトレンチと組み合わせた透水性裏のり尻

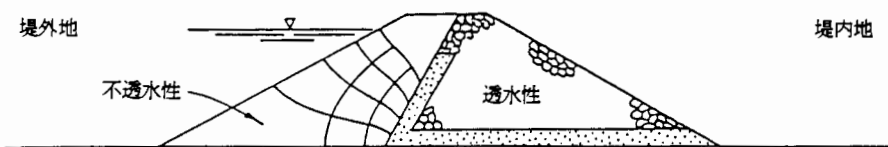
図・資3.6 堤体浸透のある堤防



a. 水平ドレーン層



b. 傾斜ドレーン層 — 均一型堤体



c. 傾斜ドレーン層 — 複合型堤体

図・資3.7 堤体内の浸透を抑止するための水平および傾斜ドレーン層の利用

本書に対するご意見等は、下記までお願いします。

〒105-0001 東京都港区虎の門2-8-10 第15森ビル6階

(財)国土開発技術研究センター 調査第一部

TEL. 03-3503-0393 FAX. 03-3592-6699