

第3章 排水工の設計・施工

第3章 排水工の設計・施工

3.1 総説

3.1.1 目的、種類および一般的留意事項

斜面崩壊の主な要因としては降雨、湧水、地下水がある。斜面に降った雨水や斜面周辺から流入する表面流水によって斜面が侵食されたり、地中に浸透した水によって土中の間隙水圧が上昇し、また地盤の強度が低下したり、含水による地盤の重量増等により斜面の安定が損なわれる。また砂質の斜面では地中に浸透した水により、パイピングによる局部崩壊とその進行により斜面が崩壊することもある。さらに二次的なものとして、斜面地山の凍結融解や湿潤乾燥の繰り返しによる風化の促進等の影響もある。

排水工はこのような、斜面の安定を損なう可能性の大きな地表水・地下水を速やかに集めて斜面外の安全なところへ排除したり、地表水・地下水の斜面への流入を防止することで斜面の安定性を高めると同時にのり面保護工、擁壁工等の他の崩壊防止施設の安定性を増すことを目的として用いられる。

なお、鳥取県の急傾斜地崩壊対策事業では、待受擁壁の前面水路等の流域改変を伴わない排水工の流末は宅内排水等の直近の水路に接続することを基本とする。

3.1.2 種類と適用

排水工は地表水と地下水排除工に分けられる。地表水排除工は一般に地表水の集水、斜面外への排水、斜面内への流入防止のために用いられ、のり肩排水路工、小段排水路工、縦排水路工、浸透防止工、および谷止工がある。

また地下水排除工は一般に地下水の集水、斜面外への排水、斜面内への流入防止のために用いられる。急傾斜他では主として、暗渠工、横ボーリング工などが用いられ、その他には遮水壁工、集水井工、排水トンネル工などがある。

排水工の計画・設計にあたっては対象斜面付近の気象、地形および地表面の被覆状況、地質・土質と地下水・湧水、斜面および周辺の既設排水施設の断面と状況、および排水系統を調査し、排水系統全体のバランスがとれるよう合理的に計画・設計する。また工事施工中に思わぬ湧水・地下水が見つかったら、そのつど適宜対処するものとする。

地表水排除工に用いる水路等の断面を決定するには、これまでの周辺の斜面における既設排水施設の実態、および対象斜面からの流出土砂量、維持管理、施工性、工費等を総合的に検討して決定する。この際、流出量の計算値も考慮に入れることが望ましい。

3.1.3 排水工のための調査

排水工を設計・施工するための調査は工事を合理的、機能的、経済的に行うと同時に、施工性および維持管理に必要な情報を得るために行われる。排水工のための調査としては、表 3-1 に表すように気象、地形および地表面の被覆状況、地質・土質と地下水、斜面および周辺の既設排水

施設の断面と状況および排水系統がある。

表 3-1 排水計画・設計のための調査

調査項目	調査目的趣旨
気象	計画雨量の決定 凍上対策 除雪・融雪対策 施工時の排水
地形および地表面の被覆状況	流出量の決定 地下浸透流予測
地質・土質と地下水など	凍上対策 施工時の排水 地下排水工の決定 のり面排水工の決定
斜面および周辺の既設排水施設の断面の状況および排水系統	新設排水系統 流出量の決定

(1) 気象調査

気象調査は排水施設を計画するうえで最も重要な要素であって、排水施設の構造・規模を決定する場合の基本となるものである。また排水施設の施工および維持管理を検討するうえでの基礎資料としても必要である。

気象調査では計画地域付近の降雨量、降雪量、気温、凍結深さ、月別降雨日数などについて調査する。気象台や学校などから気象資料を収集するとともに、計画地点にできるだけ近い場所で行われた他の工事の実績を参考にするとよい。

(2) 地形および地表調査

一般に地形および地表面の状況に関しては、現地踏査を行うことによって地形図の判読からだけでは得られない詳細な資料を得ることができる。

集水区域内の地表面の状況や傾斜、あるいは周辺地域の開発などの人為的な要因による地表状態の変動によって流出係数の値は異なるので、その調査には十分注意を払わねばならない。また、特にのり面排水、地下水排水のためには地すべりや崩壊の有無、斜面の侵食状況、植物の状態などを調査することが重要である。

(3) 地質・土質と地下水

地質・土質と地下水に関する調査は予備調査、現地踏査によりその概要を把握した後、必要に応じてボーリング、サンプリングなどによって土質および地層の状態を調べる。

排水工の設計にあたっては地下水位、地下水の動き、湧水の状況、不透水層の深さなどを調査しておくことが望ましい。

しかしながら、事前の調査のみによって地下水の状態を把握しきることは難しい。切土を行っていくと思わぬところから湧水することもあるので、施工中に十分注意しながら工事を進め、その都度これに対処していかなければならない。

(4) 斜面および周辺の既設排水施設の断面の状況および排水系統

斜面内にある既設の排水施設や排水路を調べておくと同時に斜面周辺の既設排水施設の場合、排水系統、水路の断面、施設の状況、管理者等を調査しておき、斜面外に排水された水が安全に処理されるよう努める。

3.1.4 水路等の断面の検討

一般に斜面背後の集水面積が広い場合には地表水排除工、特にのり肩排水路工、小段排水路工、縦排水路工、谷止工などの水路の断面等の設計に際しては集水域からの流出量を求め、この値から必要な水路の断面を検討し、既設の流末処理可能な水路へ接続することが望ましい。一般に水路等の断面は土砂などの堆積を考慮して流出量より 20%程度余裕をもった断面とするが、特に豪雨の際に多量の土砂が流出するおそれのあるのり面や、点検・清掃などが困難な箇所や、勾配が急で水路内へ小さな障害物（小石、枯枝等）が侵入しやすく、これらの障害物により跳水が生じやすいところでは、さらに十分な余裕をもたせる必要がある。

なお、水路の最小断面は B300×H300 を基本とする。接続する既設水路の断面が流下能力を満たさないときは改修を検討するものとするが、その際、改修した水路は従前の管理者へ引き継ぐことを基本とする。

3.1.5 雨水流出量の計算

雨水流出量の計算は、一般的に合理式（ラショナル式）を用いて計算する。一般的な算定手順を図 3-1 に示す。

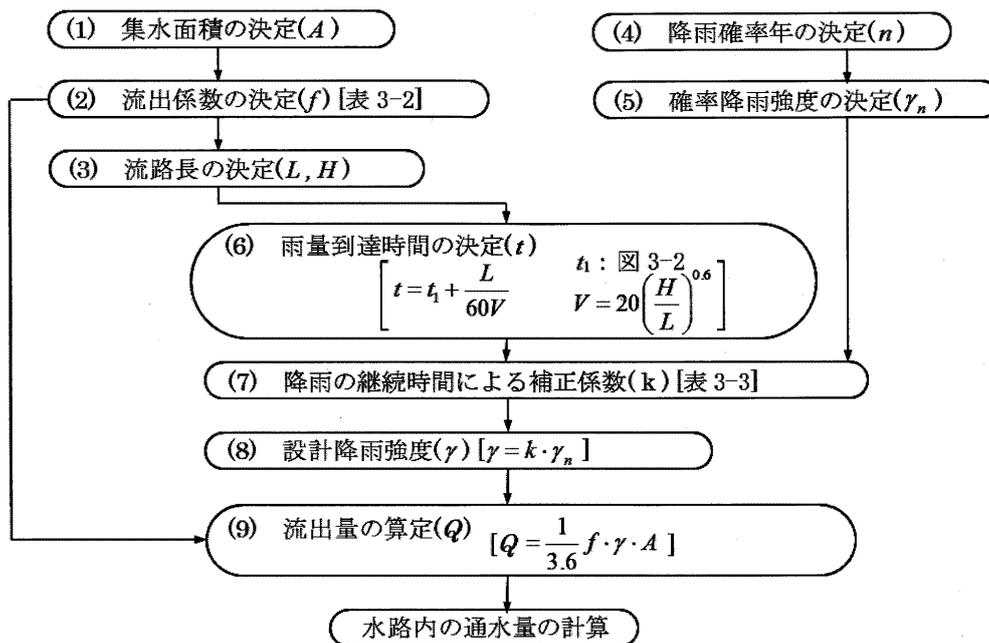


図 3-1 雨水流出量の算定手順

合理式には次のような仮説、特徴や仮定が含まれている。

- ① 合理式は、集水区域最遠点からの雨滴が計画地点に到達した場合に最大流出量になると仮定している。そのため到達時間の把握が重要であるが、最近では到達時間はもちろん、流出係数も降雨強度によって変化するとの考え方もある。
- ② 到達時間に相当する時間内に降る雨の平均強度を降雨強度とする。このため降雨継続時間が短いほど降雨特性が反映されるが、長い場合はその逆となる。
- ③ 合理式における流出係数には、浸透、蒸発などに関係するもののほか、集水区域の特性

としての凹地や、側溝などの排水施設での雨水の停滞の要素もすべて含まれているので、その適用にあたっては、将来の土地利用形態などを十分配慮する必要がある。

(i)集水面積 (A) の決定

使用する地形図は一般に 1/1,000 の平面図が多いが、流域面積の大小により適宜選定する。また、単位は km²表示とする。

(ii)流出係数 (f) の決定

流出係数 (f) は集水区域内の地表面の状態、傾斜、土質、降雨の継続時間などによって異なるが、一般には表 3-2 に示す値を標準値として用いればよい。通常の斜面では 0.7 以上を用いることが多い。

なお、流域内に複数の地形が混在する場合は、加重平均により流出係数を求める等の方法もあるが、流域内の代表的な地形の値を採用してもよい。

表 3-2 流出係数 (f)

切上のり面	0.9	平坦な耕地	0.5	山地河川地域	0.8
急峻な山地	0.8	湛水した水田	0.8	平地小河川地域	0.7
緩い山地	0.7	市街地	0.7	半分以上平地の大河川地域	0.6
起伏ある山地および森林	0.8	森林地域	0.3		

(iii) 降雨確率年 (n) の決定

排水施設の設計に重要なのは設計降雨強度のとり方で、どの程度の頻度で発生する降雨を対象にするかによって降雨強度のとり方も異なってくる。設計降雨強度は構造物の重要度、設計流量以上の流水量が生じた場合の危険度の大きさ、経済性などを考慮して決める。

表 3-3 道路区分による選定基準 (参考) ※道路土工要綱より抜粋

道路の種別 計画交通量 (台/日)	高速自動車道路 及び 自動車専用道路	一般国道	都道府県道	市町村道
10,000 以上	A	A	A	A
10,000~4,000	A	A,B	A,B	A,B
4,000~500	A,B	B	B	B,C
500 未満	—	—	C	C

表 3-4 排水施設別採用降雨確率年の標準 (参考) ※道路土工要綱より抜粋

分類	排水能力の高さ	降雨確率年	
		(イ)	(ロ)
A	高い	3 年	10 年以上 (ハ)
B	一般的		7 年
C	低い		5 年

注) (イ) は路面や小規模なり面等、一般の道路排水施設に適用する。

(ロ) は長大な自然斜面から流出する水を排除する道路横断排水工、平坦な都市部で内水排除が重要

な場所の道路横断排水工等、重要な排水施設に適用する。
(ハ) 道路管理上、構造上重要性の高い沢部の盛土等の道路横断排水工については 30 年程度とするのがよい。

鳥取県では、一般的な排水施設においては、表 3-3 及び表 3-4 を参考として 3 年確率を標準とする。なお、斜面湧水が特に多い、谷水の流入が特に多いなど特別な事由がある場合には、理由を整理した上で一つ上の確率年（5 年）を採用してもよい。

(iv) 確率降雨強度 (rn) の決定

決定した降雨確率年 (n) に基づき、確率降雨強度は原則として対象斜面付近のいくつかの雨量観測所（气象台、測候所、土木事務所、学校等）の雨量資料より求める。また土木事務所単位などであらかじめ求められている場合はそれを用いる。ただし確率雨量を用いずに既往最大雨量を用いる場合もある。

参考までに、確率雨量図の一例を図 3-2 に示す。

鳥取県では、「河川計画の手引き」（H26.8 鳥取県）に記載の近傍観測所の降雨強度式により求める

(v) 雨水到達時間 (t) の決定

雨量到達時間は集水区域の最遠点から排水施設に達するまでの時間（流入時間） t_1 と流路などを流れて計画地点に達するまでの時間（流下時間） t_2 とに分けられる。

$$\begin{aligned} t &= t_1 + t_2 \\ &= t_1 + \frac{L}{60V} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで、

t : 流出量を求めようとする地点までの雨水到達時間 (min)

t_1 : のり面および斜面より流路に流入する時間 (min) (流入時間は地表面の状況、勾配、集水区域の大きさ、形状などによるが、図 3-3 に示すようなグラフより求まる)

t_2 : 水路などを流れて計画地点に達するまでの時間 (min)

L : 最上流から流量を求めようとする地点までの流路に沿って測った水平距離 (m)

V : 流路中の平均流速 (m/sec)

平均流速 (V) は一般にはわからない場合が多いので、(3-2) 式から推定する。

$$V = 20 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6} (m/sec) \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

H : L 区間の落差 (m)

しかし t は一般に過去の経験から斜面長に応じて長大な急斜面で 10~30 分、一般の斜面で 3~10 分程度をとってもよい。

鳥取県では、t は斜面長に応じて長大な急斜面で 10 分、一般の斜面で 3 分とする。ただし、特別な事由がある場合は、理由を整理した上で (3.1) 式を用いて t を算出する。

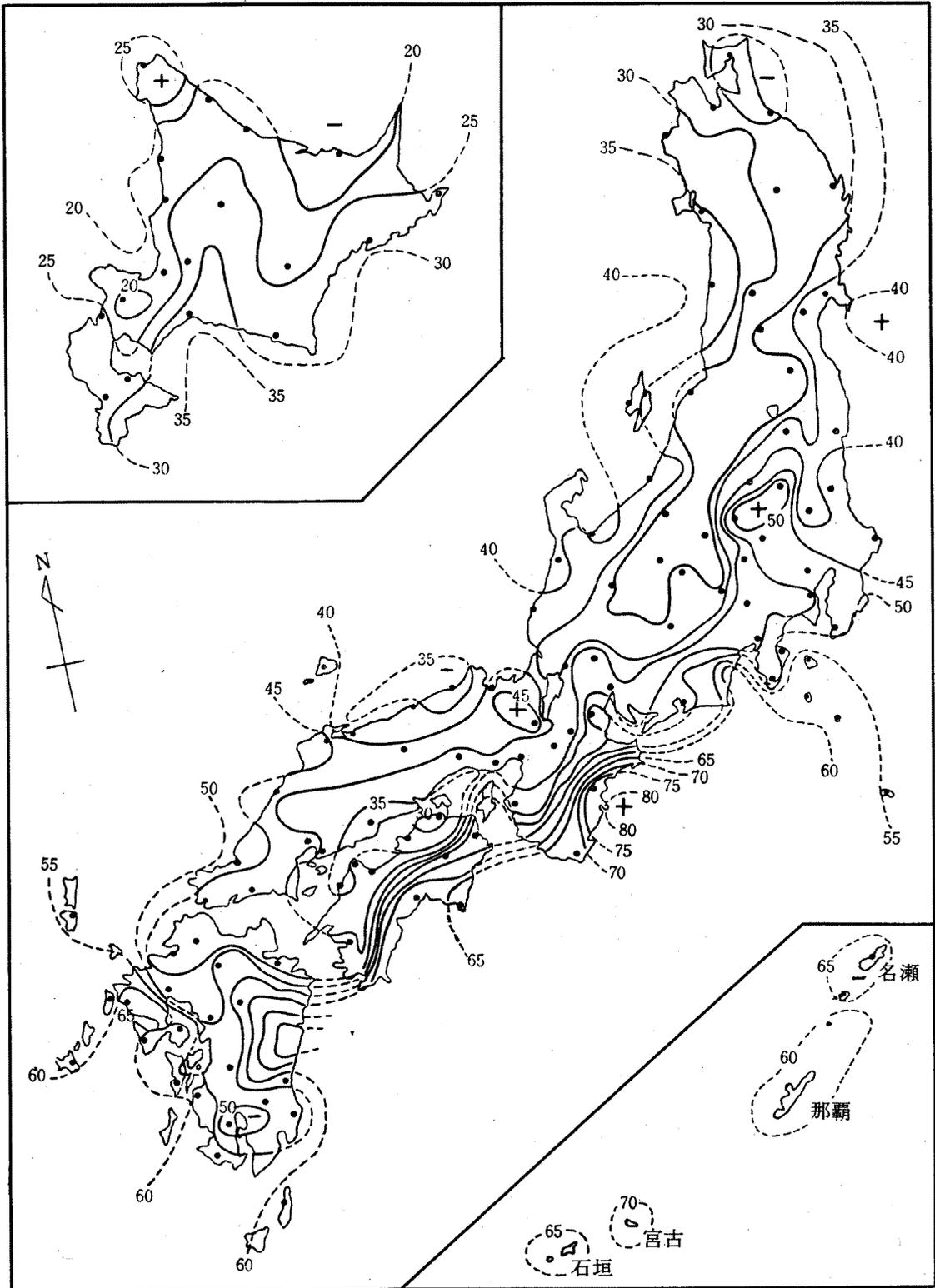


図 3-2(1) 本邦 3 年確率時間雨量 r_3 の分布図 (単位 mm)

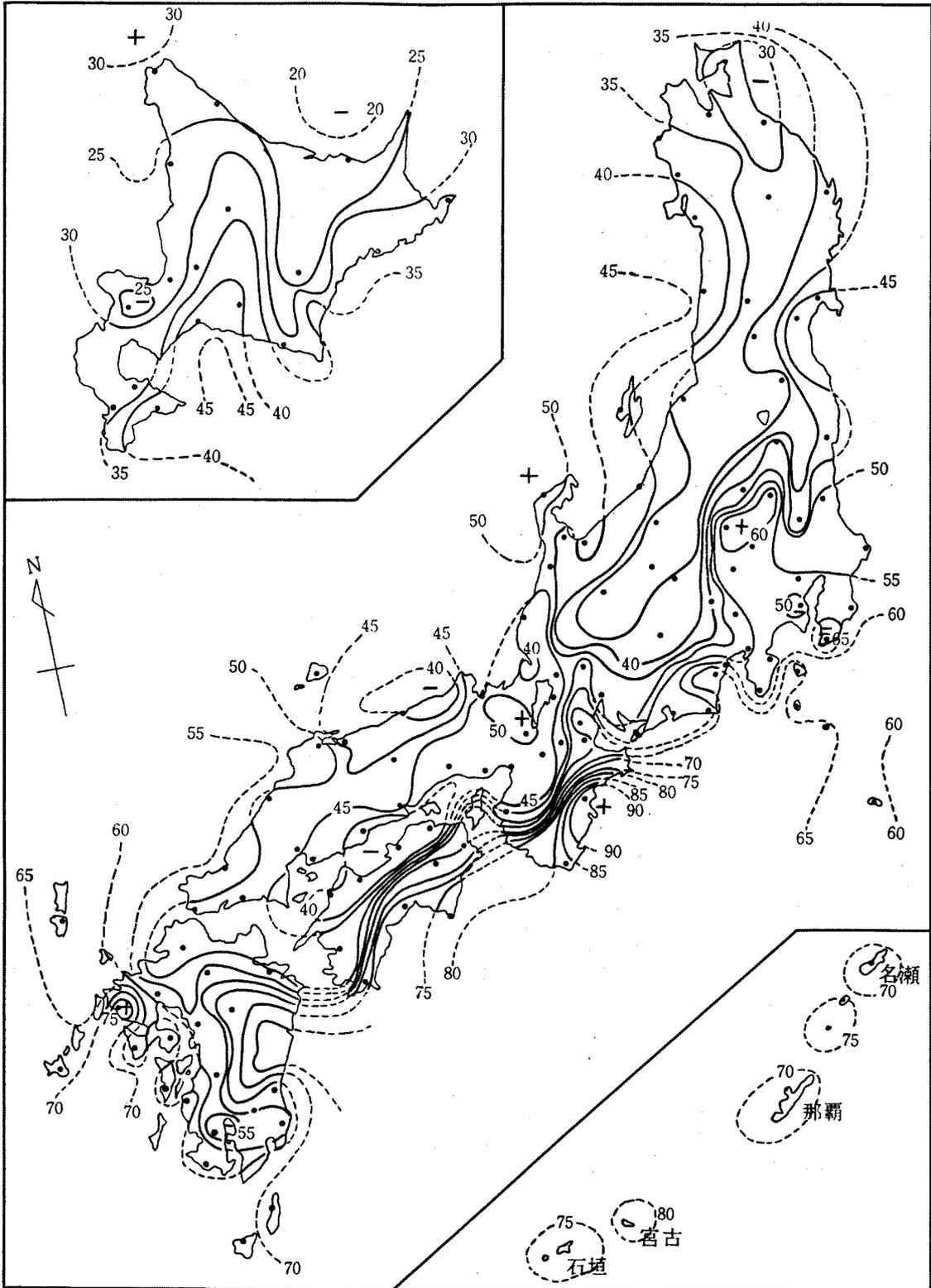
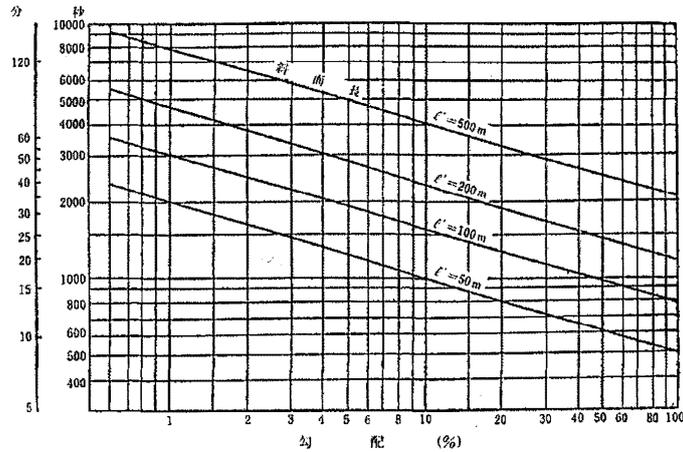
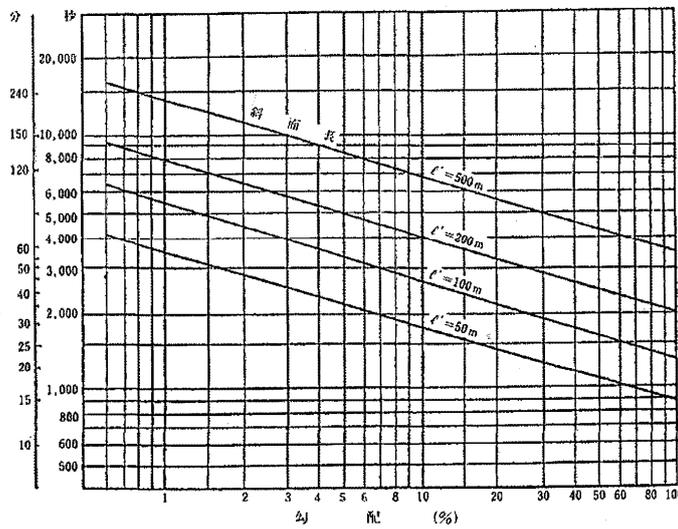


図 3-2(2) 本邦 5 年確率時間雨量 r_5 の分布図 (単位 mm)



(a) 草の生育の悪い土地, ある程度の凹凸のある裸地の流入時間(粗度係数 $n=0.2$)



(b) 普通の草地の流入時間(粗度係数 $n=0.4$)

図 3-3 流入時間

(vi) 設計降雨強度 (r)

合理式による雨水流出量の算定においては、降雨が集水区域の最遠点から流下してくるまでの時間、すなわち到達時間 t (分) の降雨強度 r (mm/h) を求めることが必要である。そのためには任意の継続時間に対応する降雨量を過去の観測資料から取り出して各 t に対する降雨強度に換算する方法が用いられる。これには、いろいろな実用公式が発表されている。いずれの方法も、地域、確率などによって変化する 60 分間の降雨強度 rn と、 t が 60 分でないために生じる補正係数 k (図 3-4 参照) との積をもって r を表そうとするものである。

すなわち、

$$r = k \times r_n \dots \dots \dots (3.3)$$

(vii) 流出量 (Q) の決定

以上の結果を用いて、次式により対象斜面における集水面積内からの流出量を求める。

$$Q = \frac{1}{3.6} f \cdot r \cdot A \dots \dots \dots (3.4)$$

Q : 流出量 (m³/sec)
 f : 流出係数
 r : 設計降雨強度 (mm/h)
 A : 集水面積 (km²)

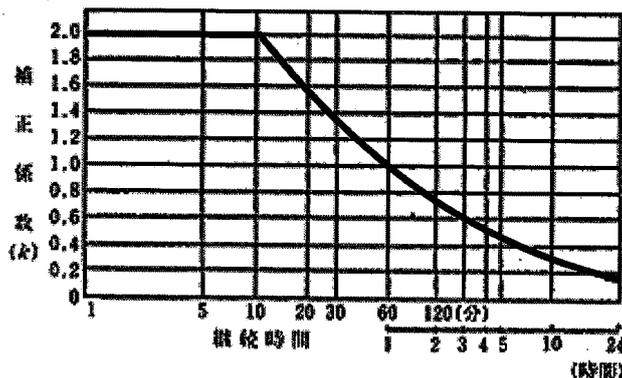


図 3-4 降雨の継続時間による補正係数

3.1.6 水路内の流量の計算および勾配の検討

排水路および排水管の通水流量 (Q_h) は Manning 式による平均流速 (V_h) と通水断面積 (A_h) との積により、次式のように求めるのが一般的である。

$$Q_h = A_h \cdot V_h \quad \dots \dots (3.5)$$

表 3-5 粗度係数の値

$$V_h = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I_h^{1/2} \quad \dots \dots (3.6)$$

Q_h : 通水流量 (m³/sec)
 V_h : 平均流速 (m/sec)
 A_h : 通水断面積 (m²)
 n : 粗度係数 (表 3-3 参照)
 R : 径深 (m) (R=A/P, P : 潤辺長 (m))
 I_h : 水路勾配

排水施設の種類		粗度係数 n
素掘り	土	0.02~0.025
	砂 礫 岩 盤	0.025~0.04 0.025~0.035
現場施工	セメントモルタル コンクリート	0.01~0.013 0.013~0.018
	粗石 練積 空積	0.015~0.03 0.025~0.035
工場製品	鉄筋コンクリート	0.011~0.014
	コンクリート管	0.012~0.016
	コルゲートパイプ	0.016~0.025

ただし、水路の勾配 (I_h) が 1/10 を越えるとこの計算式は理論上適用できなくなるが、安全側をとるため実用上はこの式を用いてもよい。水路等の最小勾配は原則として 0.2% とするが、土砂の沈澱、内面の摩耗等を防ぐためできるだけ流速が 0.6~4 m/sec の範囲になるよう設計することが望ましい。

また土砂の流出の多い地域あるいは施工後の清掃の困難な排水路において水路勾配が緩くなる場合には、土砂だめの数を増すなどして水路内への土砂の流下を防ぐように心がける。また流速が上記の値を大きく超える場合には断面積を割り増しして十分な断面とするか、排水施設の材質または断面形状を変えて粗度係数や径深を変えるなど十分な水路を設計する。

3.2 地表水排除工の設計・施工

3.2.1 一般的留意事項

地表水排除工を計画する箇所としては斜面上部、斜面内および斜面下部いずれも可能である。また斜面の上部に凹地等があって滞水し地下に浸透して斜面の安定を害している場合には、地形を整形するとともに排水路を設置することが望ましい。

地表水排除工は一般に他の工法と併設されるほか、斜面状況によっては単独に設置して斜面の安定を図る場合もある。また切土工の着手に先行して、周囲から流入する地表水を遮断する目的で施工する場合もある。特に切土工中に降雨水が斜面に集中して流下したため崩壊事故が発生することが多いことから、できるだけ工事区域の周辺に地表水排除工を先行して実施することが望ましい。場合によっては仮設工事として設置することも考慮しなければならない。

工種としては地表水を横断的に集めるのり肩排水路、小段排水路、のり尻排水路等と、集めた水を迅速に排水するための縦排水路工に区分されるが、一般にはこれが一体となって機能するものである（図 3-5 参照）。しかし地形的に自然な集水が期待できるときは縦排水路工のみの場合もある。また斜面に小規模の食溪があってそれが発達するおそれがある場合、その縦横侵食を防止するために縦排水路を設けることがある。

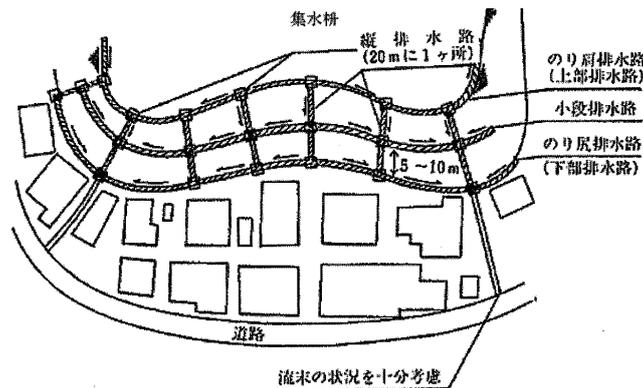


図 3-5 地表水排除工模式図

また排水路の線形や勾配の急激な変化によって溢水や跳水が生じることがないように必要に応じて落差工、減勢工、跳水防止工を設けることが望ましい。

排水路の設計にあたっては地形および崩壊防止施設完成後の排水系統等を考慮する。

排水路の流末処理は排水された水が再び斜面や施設の基礎地盤に悪影響を及ぼさないよう、速やかに区域外へ排水するよう配慮する。流末処理として、既設水路に連結することが多いため、既設水路の断面が著しく不足する場合には、既設水路の改修を検討する。この場合、事前に施設の管理者と十分に協議する。また既設水路の改修を避けるため、原則として斜面の排水は小集水区域に分割し、既存の施設の断面内で流せるように細分して処理することが望ましい。

縦排水路では施工後の排水路のずり落ちにより跳水が生じ、流水が地下に浸透して斜面に害を与える場合が比較的多いので、すべり止めつきの U 形溝を用いたり、すべり止め杭を設けるなどの対策を検討する。

のり面排水施設の破壊は主として水が排水路内を流れず、その外側や底裏を流れて周囲の土を洗掘する場合が多い。表流水を受ける排水施設はそれをのみ込みやすくするため地山に十分に食い込ませるとか、不透水性の材料で入念に埋戻しを行うなどの配慮をしなければならない。急流となるところでは水が跳ね出さないようにふたを設けたり、少々の跳水があっても排水路の外側が洗掘されないように排水路の両側を矢羽根状に切り込み、そこを張コンクリートや石張で補強しておくなどの措置が必要である(図 3-6 参照)。施工にあたっては、水路から周辺に水があふれたり飛び散ったり漏れたりすることのないよう入念に実施する。

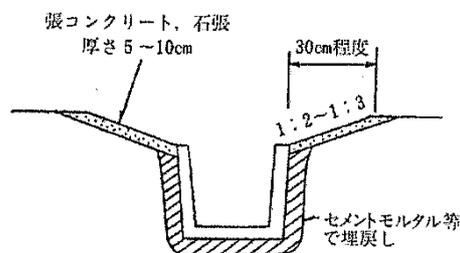


図 3-6 縦排水路の跳水対策

排水施設の施工はできる限り早い時期に行うことが望ましい。例えば、のり肩排水施設などは切土工事に先がけて行っておくほうが、切土作業のために有利である。しかし必ずしも工事に先がけて、あるいは工事の進み具合に備えて施工できない場合もある。このような場合は仮排水施設によらなければならないが、本排水施設施工後も地下排水路として活用するなど、何らかの排水の役目をもたせておくように検討すべきである。

縦排水路は原則としてのり面整形後に施工するが、流速が大きくなるような、安定した構造が必要なため、特に入念な施工が必要である。

切土区間では岩質や地層の走向・傾斜などがのり面の湧水に非常に関連が深いので、十分把握しておかなければならない。そして切土作業中の観察とあわせて、のり面排水施設的设计・施工に臨機応変の措置がとれる態勢にしておかなければならない。特に蛇紋岩、魚閃岩、かんらん岩、千枚岩、粘板岩、頁岩などの風化帯は水による影響を受けやすいので気をつけなければならない。また排水施設が降雨などの表面水を適切に排水できないとかえってのり面の安定性を損なうことになるので、十分に効果を発揮するよう施工することが必要である。

施工中または切り取り後の斜面は、植生その他の斜面保護を完成するまでは最も不安定な状態にあるので、必要に応じ降雨時に備えてビニールシートやキャンバスなどによる被覆やビニールパイプなどによる仮排水などの手段をあわせて講ずる必要がある。

3.2.2 排水路工

排水路工には、のり肩排水路、小段排水路、縦排水路等がある(図 3-7 参照)。のり肩排水路、小段排水路は斜面に流入する地表水および斜面内の降雨水および湧水を集水し、縦排水路に導き速やかに斜面外に排除するものである。水路勾配については、縦排水路に向かって流れやすい勾配にし、途中で屈折点などの逆勾配部分をなくし滞水しないように注意する。断面は土砂や枝葉等の流入、堆積

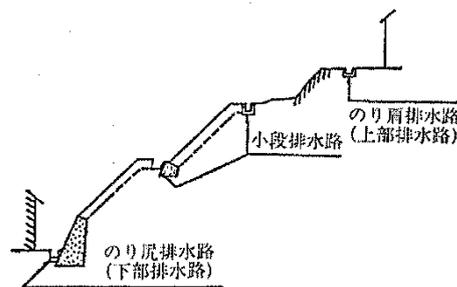


図 3-7 のり肩排水路、小段排水路等の設置位置

を見込んで十分余裕をもたせた断面とする。水路の構造はコンクリートブロック製品が多く用いられるが、施工にあたっては漏水、越水または滞水しないよう注意する。基礎部分が軟弱であれば栗石等で敷き固め、その上にならしコンクリートを打設し不等沈下を防ぐ。のり肩排水路と小段排水路の間隔および小段排水路相互の間隔は通常小段間隔と同じで直高 5m 程度が標準である。

小段排水路は原則として小段の全区間に設置する。

侵食されやすい砂質土からなるのり面および重要なのり面に設置する排水路工はコンクリート、アスファルト等で被覆し、侵食等を防止しなければならない。

排水施設は事前の調査に基づいて計画されるが、地中の浸透水の動きを事前の調査のみによって正確につかむことは難しく、施工中に地下水や透水層の存在が判明することが多い。したがって、のり肩排水路、小段排水路はのり面整形後にも斜面の状況を観察し、有効に排水できるように施工する。なお斜面のり尻排水路は擁壁上部の埋戻部分には原則として設置しない。やむを得ず設置する場合には、擁壁と排水路が一体となるように設計・施工する。

(1) のり肩排水路

のり肩排水路は上部斜面に降った雨水や湧水をのり面に流入させないようにするために、のり肩に設けるものである。

その種類はのり面の存在する地形、流量および土質などを十分検討して決定しなければならない。

通常、のり肩排水路は維持管理が行き届き難く、土砂の溜まったときも清掃し難い位置にあることが多い。しかし土砂が溜まると溢水によりのにり面への影響が大きいため、その断面は十分大きくしておく必要がある。また流末は地形をよく考慮し、のり面の安定に影響のないように導くべきである。

のり肩排水路としては、流量に応じて次のような種類のものがある。

(i) 鉄筋コンクリート U 型溝等

排水路に集まる水量が多く、またその延長も長くなるような場合は、図 3-8 のようにプレキャストの鉄筋コンクリート U 形溝などを使用するのが望ましい。集水面積、地表面の状態にもよるが、30cm×30cm 程度のプレキャスト鉄筋



図 3-8 プレキャスト製品によるのり肩排水施設

コンクリート U 形溝を使用する人が多い。のり肩排水路は通常は断面が大きいのでかなりの排水能力をもつが、もしプレキャスト製品と地山が十分なじんでいないと、地表面を流下する雨水を呑みきれずに排水路の両側面裏に沿って水が流れたり、排水路を流れる水が速度を強めて勾配の変化点や何らかの障害物に当たって水を跳ね排水路の側面を洗掘したりすることがある。このため、排水路の裏込めの施工を十分に行うことは当然であるが、山側には芝を張り侵食を防止し、排水路の勾配の変化点には蓋を置くなどの考慮が必要である。勾配が急になる場合は、縦排水施設同様にソケット付き製品を用いるのが望ましい。

(ii) コンクリート張り排水溝等

集水量が比較的少なくても浸透した水がのり面の崩壊の原因になるおそれのある場合には、図 3-9 に示すようなコンクリートやセメントモルタルで素掘り排水路を保護する。

(2) 小段排水路

長大のり面では高さ 5~10m ごとに幅 1.0~2.0 m の小段が設けられる。これはのり面の連続性を遮って、のり面の安定を図るほか、小段を設けることによって流下する表面水の流速を低下させ、洗掘力を低下させることができるためである。さらに小段に排水路を設けて水のをり面の外へ排水させれば、のり面下部に表面水が集中するのを防ぐこともできる。したがって小段排水路は小段上部のり面の表面水を処理できるように設計し、下部のり面に悪い影響を与えないようにしなければならない。

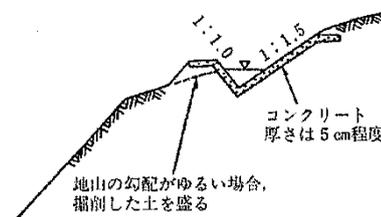


図 3-9 コンクリート等による排水溝

小段の横断勾配は一般に図 3-10 (a) のようにのり面勾配とは逆方向に勾配をつけるのが一般的であるが、この場合は小段から水が全く浸透しないことが施工面で保証されるか、あるいは小段から多少水が浸透しても、のり面の安定に重大な影響がないと判断されることが必要である。このような条件が満たされない場合は、のり表面が流水により侵食されないように、のり面保護工を施工するか、あるいはのり面保護工を施工しなくても侵食されにくいことを確認のうえ、図 3-10(b)に示すように、斜面と同じ方向に勾配をつける必要がある。

小段排水路としては鉄筋コンクリート U 形溝、およびコンクリート排水溝などが用いられる。

(i) 鉄筋コンクリート U 形溝等

小段に集まる水量が多い場合は、鉄筋コンクリート U 形溝などを使用する。

一般に 30 cm×30 cm 程度の U 形を使用する人が多い。地山と排水路の間の埋戻しは図 3-11 のように不透水性の土やソイルセメントなどを用い、水が排水路の側面や裏面に回らないように配慮することもある。

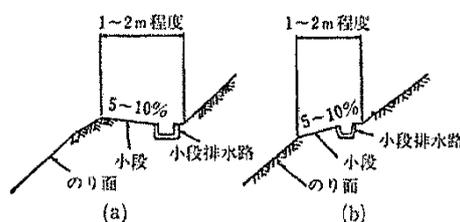


図 3-10 小段の横断勾配

(ii) コンクリート張り排水溝等

小段に集まる水量が少ない場合にはコンクリート等を用いた排水路を設ける場合もある (図 3-12 参照)。

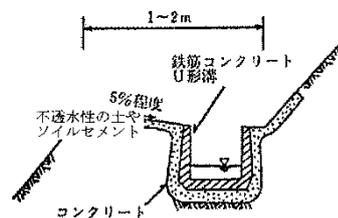


図 3-11 鉄筋コンクリート U 形溝

また、切取りのり面で地層の変化する部分や地表が凹状になった部分などには、地下水が湧出または浸出することがある。このような箇所は切り取りを施工していく段階で発見されることが多いので、施工中はのり面の状況に注意して発見に努めなければならない。また降雨時にのみ水が浸出したり、季節により地下水位も変動するので注意が必要である。湧出または浸出の予想される箇所が発見されたならば浸出水量、浸出箇所の分布などを考えて排水工配置や構造等を決定する (図 3-13 参照)。斜面のり尻排水路は擁壁上部の埋戻部分には

原則として設置しない。やむを得ず設置する場合には、擁壁と排水路が一体となるように設計・施工する。

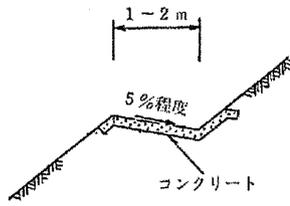


図 3-12 鉄筋コンクリート張排水工

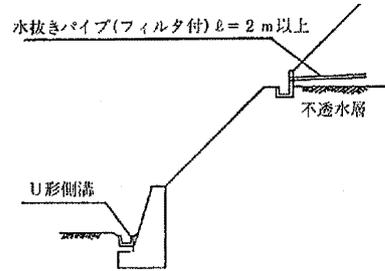


図 3-13 のり面に湧水のある場合の対策例

(3) 縦排水路

斜面に対して縦方向に設置し、のり肩排水路、小段排水路からの流水を速やかに斜面外に排水するもので、横方向に約 20m 間隔で設置する。水路はできるだけ地形上の凹部に設けたり掘込水路とするなど、周囲からの水の流入を容易にすることが望ましい。

水路の断面は原則として斜面背後の集水面積が広い場合には流量を検討して決定するが、土砂や枝葉等の流入・堆積を考慮して十分余裕のある断面が望ましく、少なくとものり肩排水路、小段排水路の断面以上とする。特に斜面に常時流水のある沢や水路がある場合は、断面に十分余裕をもたせることが必要である。

縦排水路の材料としては鉄筋コンクリート U 形溝、半円ヒューム管、鉄筋コンクリート管、コルゲート管、プラスチック管などが用いられる。U 形溝、半円ヒューム管等はのり面に明暗渠として、また鉄筋コンクリート管等はのり面に埋設して暗渠として用いられるが、前者のほうが施工は容易で維持管理も便利である。U 形溝はソケット付きがよく、水が裏面に回らぬよう継目のモルタルを完全にし、約 3m ごとにすべり止めを設置する (図 3-14 参照)。

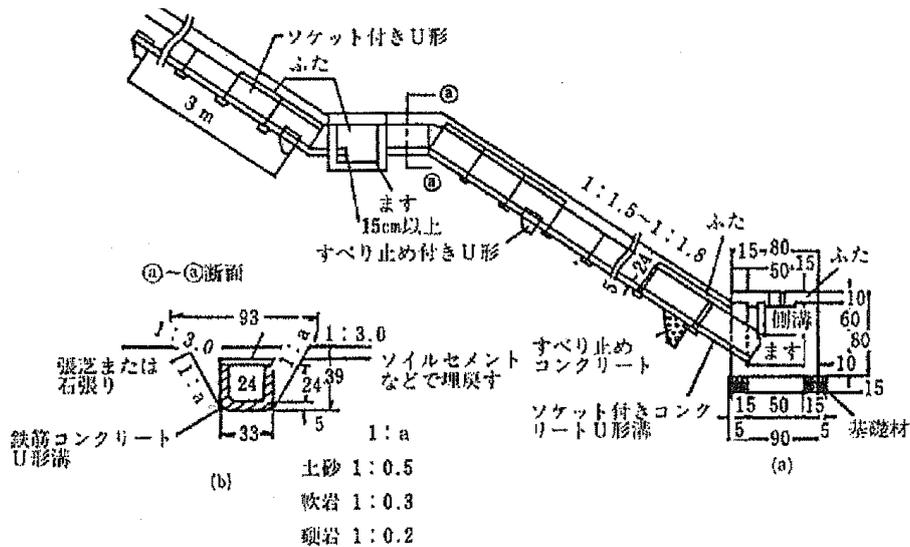


図 3-14 鉄筋コンクリート U 形溝による縦排水路の例 (単位 : cm)

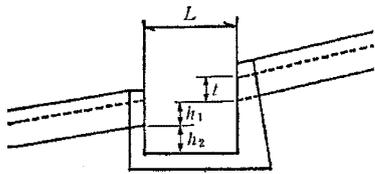


図 3-18 集水柵側面図

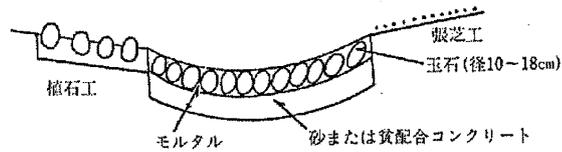


図 3-19 玉石張排水工の一例

その他の縦排水路には石張および植石コンクリート水路などがある。縦排水路の流速は通常の場合相当大きいので、流量の多い排水路には側面の跳水による破壊防護措置として植石などを行えば、水勢を弱める効果もある。流量が少なく美観を考慮する必要のあるところには図 3-19 のように玉石張排水路を使用するのがよい。また、場合によっては上流側にコンクリート止水壁を設けて、水が水路の下側を流れることを防ぐことも必要である。

縦排水路は地形条件にあわせ不等沈下、水路のすべり、二次製品の継目の緩み等がないよう入念に無理なく排水できるよう施工する。特にのり肩排水路、小段排水路との取付部、縦排水路の屈曲部分などで流れにくくなり、水が周辺に飛び散ったり溢れたりして斜面の崩壊原因となるので注意が必要である。なお、寒冷地においては凍上現象が起こる場合があるので、砂、礫等で排水路に接する地山を保護することが必要である。

3.2.3 その他の地表水排除工

(1) 谷止工

斜面区域内に谷地形部がある場合は、流域の斜面状況や集水面積を調査して谷止工を設ける。谷止工は雨水が斜面の谷地形部に集中して流れ込むことによって斜面が侵食され崩壊を助長するのを防ぐことと、谷地形部上部の崩壊が斜面内に及ぶのを防止する意味がある。また、間接的には谷地形部上部の侵食を掘削土で押さえることも可能である。

谷止工の基礎部は必ずしも着岩させる必要はないが、十分な支持力のある地盤を基礎としなければならない。谷止工の規模は集水量や予想される崩壊土量を一時的に貯留させるに必要な大きさとする。谷止工には水抜き孔を十分な数だけ設け長時間滞留させないようにしなければならないが、流末部の水路断面積も考慮して過大に流下させないようにする。

流下水路としての縦水路には一般にコルゲート半管等が用いられ、勾配変化点には落差工あるいは集水柵を設ける。

水抜き孔の位置は上流側谷河床より上に設けるものとするが、できるだけ低い位置に設けるとともに、水抜き効果を高めるため図 3-20 のように暗渠を設けるのが望ましい。

谷止工の設計は砂防ダムの設計法を準用するものとするが、堆砂形状については現場条件に応じて適宜考えるものとする。天端幅については流水の量、流送土砂の形態等の条件から適切と認められる場合には、標準よりも薄くすることができる。

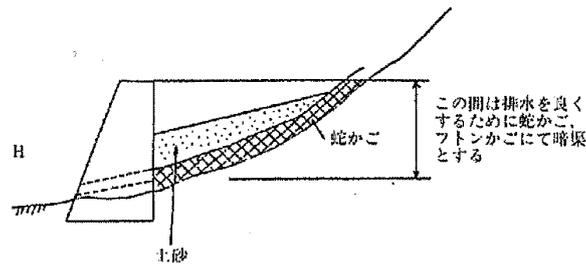


図 3-20 谷止工上流排水例

(2) 浸透防止工

浸透防止工は斜面の地表全体を対象として実施することは困難なので、特に浸透しやすい亀裂発生部や地表水が多量にあり地下水の補給源となる沼地や水路などを対象として、計画されるのが通例である。地表に亀裂が発生した場合は亀裂内に粘土やセメントの充填やビニール布での被覆を行い、沼や水路などで漏水がある場合はこれらの底部を不透水性の材料で被覆するのが望ましい。沼の場合は底張り、薬液注入工等を施工し、水路の場合はコンクリートやコルゲート管等による水路に改修する。

3.3 地下水排除工の設計・施工

3.3.1 一般的留意事項

地下水排除工は地表面下に透水性のある層を構築して斜面内に分布している地下水を誘導排水し、土塊中の含水比や間隙水圧を下げて斜面を安定させる。また隣接地域から斜面内に地下水が流入する場合は、流入前にこの地下水を遮断して排除する。斜面崩壊防止工事でこの工法を採用する場合は、主に地すべり性の崩壊が予想される地質構造あるいは地下水が豊富な箇所であるが、その規模も地すべり防止工事を実施する地下水排除工と比較して一般に小規模な場合が多い。斜面崩壊防止工事として地下水排除工単独で対策を講ずることはまれで、他の施設とあわせて施工されることが多い。

地すべり防止工事では地下水排除工は主要な工種であり、排除の対象となる地下水の深浅によって浅層地下水排除工と深層地下水排除工に区分し、その目的に応じた対策工法がとられている。浅層地下水排除工としては暗渠工、横ボーリング工等がある。深層地下水排除工としては横ボーリング工、集水井工、排水トンネル工等がある。斜面崩壊防止工事でも、主として地表水の浸透が多く軟弱な箇所あるいは湧水の多い箇所で暗渠工が地表水排除工に併設されたり、地下水の豊富な箇所では横ボーリング工が用いられる。地下水排除工を計画するにあたっては、湧水や地下水について十分な調査が必要である。

3.3.2 暗渠工（暗渠工および明暗渠工）

地表水排除工を設置しても、なお地下水の影響が斜面の崩壊にとって懸念される場合にはまず浅層の地下水を排除することになる。

暗渠工は比較的浅い（深度 1～2.0m 程度）地下水を排除することを目的としている。斜面の

場合、地形的条件で施工が困難なこと、またはずり落ちの危険があること、斜面への掘削や異質の層をつくることによって斜面の安定を損うおそれがあることなどの理由から、斜面そのものに施工されることは少なく、斜面上部で隣接地域からの地下水を遮断する目的で設置する場合が多い。また斜面下部で地盤の軟弱化を防ぐ目的で設置する場合も多い。

暗渠工には砂利、栗石、蛇かご、そだ束、合成樹脂製品などの有孔管で溝の中を詰めた暗渠工（図 3-21 参照）と、コンクリートU形溝などの開水路と前記の暗渠を組み合わせた明暗渠工（図 3-22 参照）がある。

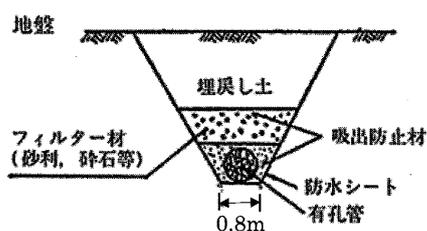


図 3-21 暗渠工標準図

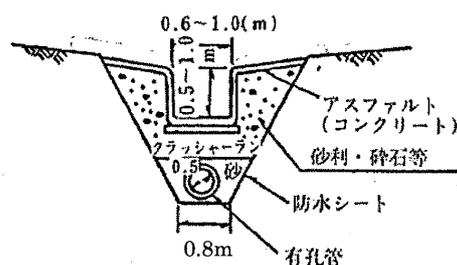


図 3-22 明暗渠工標準図

暗渠の配置は地形・土質を勘案して浸透水が集まりやすい場所で、適当な勾配をもつように計画する。1本の暗渠の長さは20m程度の直線を標準として、できるだけ速やかに表流水とするよう集水桝や落差工に接続し地表排水路により排水を行う。暗渠の深さは2mを標準とし、底には漏水防止のための防水シート等を布設し、暗渠管の周囲並びに上部には土砂の吸出しによる陥没を防止するため吸出防止材を布設する（図 3-22 参照）。暗渠管の周囲は目詰まりを起こさないため、および浅層地下水の吸水を容易にするためフィルター材を詰める。地表水をも吸水しようとする場合は地表まで栗石または切込砕石等で詰める。暗渠管の材料は透水性がよくしかも目詰まりを起こしにくく、ある程度の地盤変動にも耐える構造とする。一般に有孔集水管、そだ、蛇かごが用いられている（図 3-21,23,24 参照）。なお、蛇かごを使用する場合は、目詰まりを防ぐため吸出防止材等で巻く必要がある。また、急勾配の斜面に設置する場合には、図 3-23,24 に示すように杭等により固定する必要がある。

暗渠工および明暗渠工の施工は浸透水および地下水の排除を円滑に行うために、掘削と埋戻しを入念に行わなければならない。

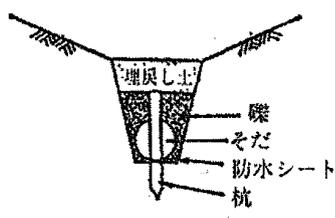


図 3-23 そだ詰暗渠

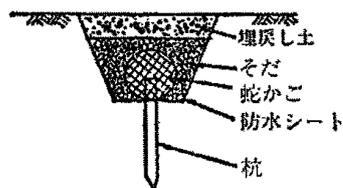


図 3-24 蛇かご暗渠

- ① 暗渠工：暗渠の位置および構造については浸透水の流れや流量から決定する。断面形状を底幅 80 cm の逆台形断面とし、下部より約 10 cm までは砂を置き、その上に 6~12 cm の粗粒の砂利または碎石を詰める。さらに上部は上にいくにしたがって細粒なものにし、目詰まりを起こさないようにして埋戻しをする（図 3-21 参照）。目詰まりを防止するために高分子布を布設したり、適当な目の粗さの合成樹脂繊維やグラスファイバーなどで砂利の外側を巻いたりすることもある。また集水量が特に多い場合には溝のかわりに蛇かご、ポーラスコンクリート管、合成樹脂ネット管、合成樹脂の海綿状管などが使用されることもある。
- ② 明暗渠工：明暗渠工は浅層地下水の排水と地表水の排水を同時に必要とする場合に計画する。浅層地下水は地表水と同じく地表の地形に左右され、地表の凹部や谷部に集まりやすい。このような場所では、暗渠工と地表排水工を兼ねた構造の明暗渠工が用いられる。明暗渠工は浸透水の流れや流量から、位置および構造を決定する。明暗渠工の構造の例を図 3-25、26 に示す。

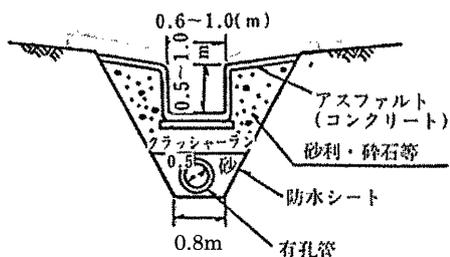


図 3-25 明暗渠工標準図

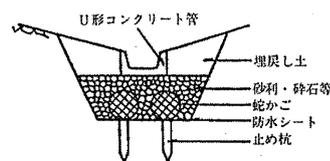


図 3-26 蛇かご明暗渠

暗渠工（①暗渠工および②明暗渠工）は不透水層が地表近くに分布する湿地帯か地下水位が地表付近に達する場合に有効である。暗渠によって排水された地下水は必ず地表排水路に連結して速やかに排除しなければならない（図 3-27 参照）。暗渠工の長さは集水された地下水が再び浸透しないよう通常 15~20 m 程度を限度にしており、その都度集水枡に連結しておく（図 3-28 参照）。

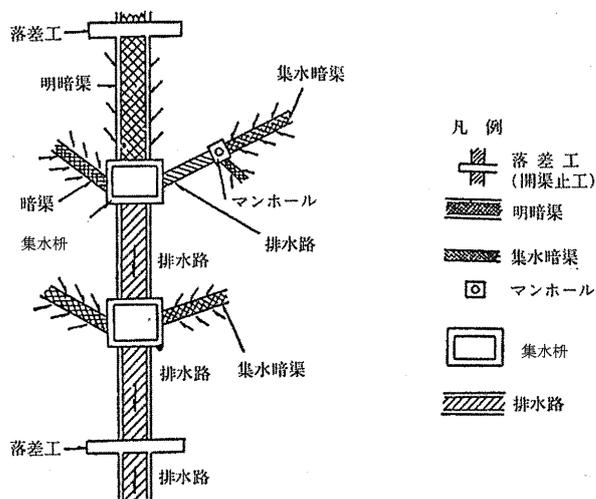


図 3-27 排水路工の組み合わせ

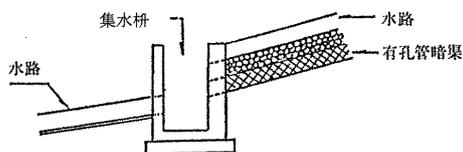


図 3-28 集水枡側面図

暗渠工は斜面崩壊の危険を避けるためできるだけ人力で掘削し、防水マットなどによる不透水層の施工と埋戻しを入念に行わなければならない。また施工中の安全管理のため工程に合わせて下部から延長を短く区切り、1区間ごとに施工が完了するよう心がけることが大切である。掘削は下流から上流に向かって行う。一度に計画深まで掘削せず、状況判断、地質調査、仕上げ掘削を考慮して2～3回ぐらいに分けて行うことが望ましい。

軟弱な地盤や急斜面で施工を行う場合は矢板を使っての掘削が多く、この場合周辺の地山を緩めないよう埋戻しが終わってから、逐次矢板を取り外すよう心がけねばならない。

施工基面も整正して暗渠内において滞水を避ける。また暗渠を透水層の中にやむを得ず設置する場合は、あらかじめ粘土などの不透水性の土で突固めてその上に暗渠を設置する。

暗渠を設置してこれを埋戻す場合、埋戻しに用いる土は透水性のよい土を先にして順次密度の高い土に変えていき、最後に突固めていくぶん余盛りをしておく。

3.3.3 横ボーリング工

暗渠工などで処理できない比較的深い所に存在している地下水を排除するために横ボーリング工を用いる。横ボーリング工の設置箇所は、地下水の分布または流入の著しい箇所、あるいは湧水のある箇所やパイピングによる局所崩壊の予想される箇所とする。斜面崩壊防止工事では地すべり防止工事の場合より集水範囲が狭いため、ボーリングの延長も短く、1本あたり通常15～30m程度で用いられる。横ボーリング工の施工は地下水の水位、流量等の調査結果に基づいて計画的に施工しなければならない。なお、常時湧水している箇所で降水時に集中して流量・流速が増大するような場合は、透水性マットや蛇かごなどを置いて周辺の土粒子や砂の流出を防ぐなど、吸出防止対策も忘れてはならない。

ボーリング孔から集水した水は速やかに集水枡、排水路に流入させ、斜面外に排水する。また、その配置は先端間隔が5～10m程度になるように配置するのが一般的である（図3-28参照）。

ボーリングの位置は安定した地盤の箇所とし、軟弱なところに地下水を集中させないように心がける。ボーリング孔口から奥へ50cmぐらひは透水性のマットや蛇かご等を置いて、土砂の流出すなわち吸出しを防ぐことが望ましい。破碎帯や崩積土の地質のところではボーリング穿孔中、孔崩れや孔曲り等を生じやすいために、ストレーナ管の挿入が非常に困難な場合が多い。このような地質のところでは計画の段階で地質調査を十分行い、ボーリング方法を決定する。

ボーリングの穿孔角度は被圧地下水を排除する目的で行う場合を除き、一般に仰角5～10°で施工する。掘進中、孔曲りで伏角にならないよう注意する。

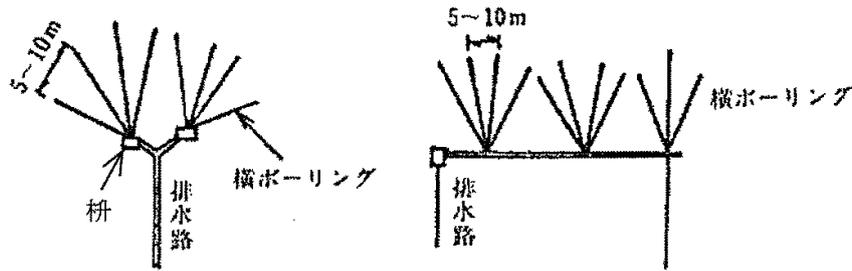


図 3-29 横ボーリングの位置

ボーリングの延長が長くなると礫混じりの土砂層や不均質な地層で孔曲がりを生ずるおそれがあるので、滞水層への確に到達させるには細心の注意と慎重な掘削が必要である。このためにはできるだけ孔曲り測定器を使用し、ボーリング先端位置を確認しておくといよい。

一般に孔径は 66~100 mm が多く、掘進終了後滞水箇所（滞水層）に円形またはスリットのストレーナをつけた硬質塩化ビニール管かガス管を保孔管兼集排水管として挿入する。ストレーナの目詰まりを防ぐためストレーナ部分にポリエチレンの網状管を二重管状につけることもある。一般には滞水層区間内のみストレーナ加工を行うが、透水性の悪い地盤から集水を行う場合は保孔管全長にわたってストレーナをつける場合もある。ストレーナの大きさ、配置を決めるにあたり目詰まりを起こさないような考慮をする必要がある。大きい孔をあければ目詰まりの心配がない代わりに管周辺の土砂の流れ出しによって崩壊に至る危険があり、孔径を小さくすれば目詰まりを起こしやすい。これを防ぐため細いスリットをあける方法等が一部で試みられている。

なお円孔のストレーナの直径は 5 mm 程度である。(図 3-30 参照)。保孔管の継手はソケット継手または突合せ継手とし、継手の長さは内径の 1.5 倍程度を標準とする。また、近年は強度や集水性能の向上を図った保孔管も必要に応じて使用されている。

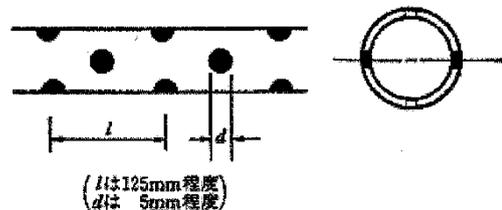


図 3-30 保孔管のストレーナの例

排水口には必ず保護工を施工し、前面に擁壁工を築造する場合は擁壁背面に漏水しないよう擁壁前面まで排水パイプを延長し、既設水路に排水する。また擁壁背面浸透水の排除対策も十分配慮しなければならない。ボーリング孔からの排水が飛び散って孔口が崩壊するおそれがある場合には、孔管の先端にエルボ（曲管）を使用し、必要ならば蛇かご等のり面保護工を施工するかまたは導水パイプを布設する(図 3-31、32 参照)。

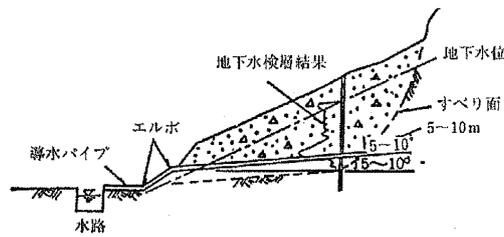


図 3-31 横ボーリング工の事例 (断面図)

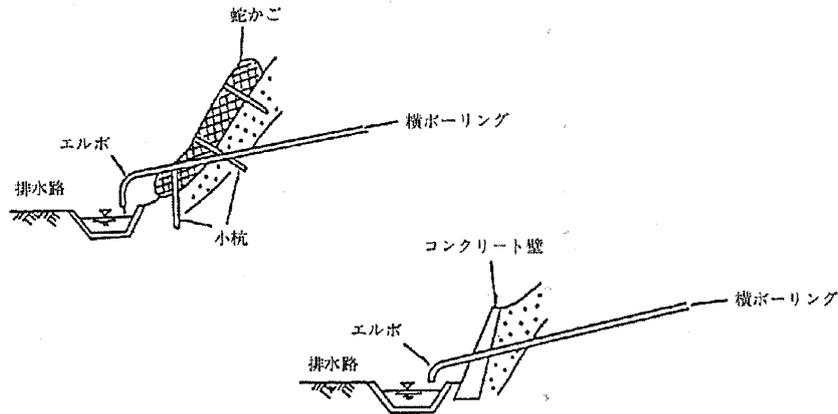


図 3-32 横ボーリング工の孔口保護

横ボーリング工の施工は排水路工を実施した後に行うことを原則とする。排水路工実施前に横ボーリング工を施工する場合には仮排水路工を施工しておかなければならない。また施工中は工事用水の処理に十分配慮する。ボーリング施工中は地質状況および湧水状況に十分注意し、施工後には排水量の測定を行うことが望ましい。

3.3.4 その他の地下水排除工

湧水があるのり面では、以上のほかに蛇かごをのり尻に敷き並べて排水とのり面の崩壊防止に兼用される場合もある。蛇かご工の詳細については本編第 12 章 12.3 を参照されたい。

また大規模な地すべり等では以上の工法のほかに遮水壁工、集水井工、排水トンネル工などが用いられるが、一般の斜面崩壊防止工事に用いられることはほとんどない。

3.4 他工種との関連および維持管理

3.4.1 施工時の排水 (仮排水路工)

工事の準備排水や切土施工時の仮排水は工事の成否の鍵をもつものである。仮排水をおざなりにしたために工期の延期や材料の置き換えなどが必要となることがあるので、施工計画を立案する際には準備排水や施工時の排水計画を十分検討しなければならない。

また切土工による排出土が多量となる場合は、土捨場の排水処理にも十分注意する必要がある。

(1) 準備排水

工事区域外の水を工事区域内に入らないよう区域内の水とあわせて素掘りの溝、暗渠などで区域外に排水しなければならない。この際排水の末端が私有地などへ害を及ぼさないよう注意しなければならない。

準備排水工の施工はできるだけ早い時期に行うべきで、のり肩排水路などは切土工事に先がけて行くと切土作業がしやすくなる。

(2) 切土施工時の排水

切土のり面は気象条件によって種々の被害を受けるが、最も多いのは雨水の流下による侵食であり、集排水が十分であればのり面損傷防止に役立つ。したがってのり面の集排水路やのり面の保護はなるべく早めにのり面の仕上げを追いかけて施工する必要がある。特に火山灰質（しらす等）地山の崩壊はほとんどの場合不完全な水処理によって生じるので、排水路の位置の決定は特に入念に行う。

切土部に流入する表面水を遮断するため伐開除根の際、周囲に適当な素掘りの溝などを設け、掘削したところに湛水しないようにし、工程の進捗とともにこの素掘りの溝を移動させる。また切土施工中は湧水の有無、その状態に注意し速やかに対応するとともに、必要に応じて降雨時にはビニールシートやキャンバスなどによる被覆や仮排水路の設置などの手段を講じる。

(3) 土捨場の排水

土捨場は一般に山間谷部、低湿地など地形や地質の悪いところに設置されることが多く、土の扱いも粗雑になりやすいので、排水処理に十分注意しなければならない。

土捨場は降雨によって捨土が滑動するおそれがないよう常に周到な排水処理を行うことが必要である。在来地表面の水は暗渠などであらかじめ排除しておく。また、捨土作業中に水たまりができないように整地しながら捨土作業を行う。

3.4.2 構造物裏込め部の排水

斜面の安定もさることながら、構造物の機能を十分発揮させるうえから域内に流入する地表水・地下水の処理は最も重要なことである。一般的に用いられる水抜き孔は耐水材料を用い、 3° 程度の傾斜をつけて設置する。詳細については各工種の章で述べるが、主たる工法に対する留意点を次に取り上げる。

(i) のり枠工における排水の留意点

中詰めが張芝で斜面湧水がある場合、事前に十分な水処置をしておかないと降雨時は吹き出して斜面が洗掘され、他ののり枠梁にも被災が波及する。こういう箇所は図 3-32 のような湧水の処理を考えねばならない。

張コンクリート、栗石張なども明らかな湧水箇所は張芝に準ずるが、一般的には、内径 40～50 mm 程度の水抜き孔を $2\sim 4\text{m}^2$ ごとに 1 個以上設け、湧水の多いところではこれより密に配置する（図 3-33 参照）。

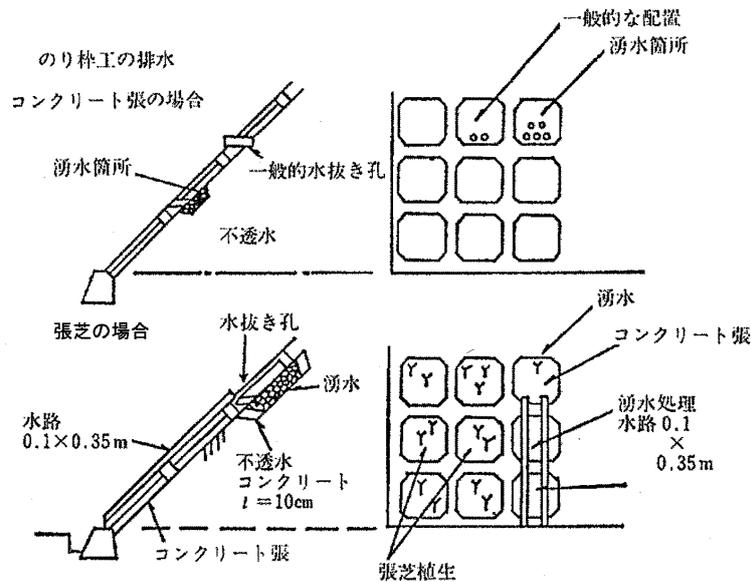


図 3-33 のり枠工における排水工の例

(ii) コンクリートまたはモルタル吹付工における排水の留意点

吹付工を施工する上部斜面から流入してくる地下水がしばしば斜面の崩壊原因となっている場合がある。このような斜面は地形・地質・過去の崩壊状況、湧水状況等の調査からも、そしてまた施工途中の表土層の取り除き時においても地下水が予測されることがあるので、斜面上部に有孔管を暗渠として埋設して排水するのが有効である。また地表水の吹付部への流入を防止するため、斜面上部にのり肩排水路を設置する（図 3-34 参照）。

斜面に湧水があるような箇所は気象作用（凍結による膨張、水圧の増加）も受けて吹付部が弱化し、吹付モルタルやコンクリートが剥離脱落するので集水マット等を入れて排水処理しなければならない。水抜き孔は標準として内径 40～50mm 程度のものを 2～4m²ごとに 1 個以上設ける。

吹付斜面は地形的変化も大きく、しかも長大になると縦水路の施工も困難となるが、斜面地山に埋め込む形で設ける（図 3-34(a)参照）。縦水路が長大で直線的に下部まで埋め込むのが困難あるいは不適当な場合は小段を利用して 2,3 段落しとする。

(iii) 重力式コンクリート擁壁における排水の留意点

擁壁の裏には排水層として、図 3-35 のように切込碎石等を壁に沿って設ける。この排水

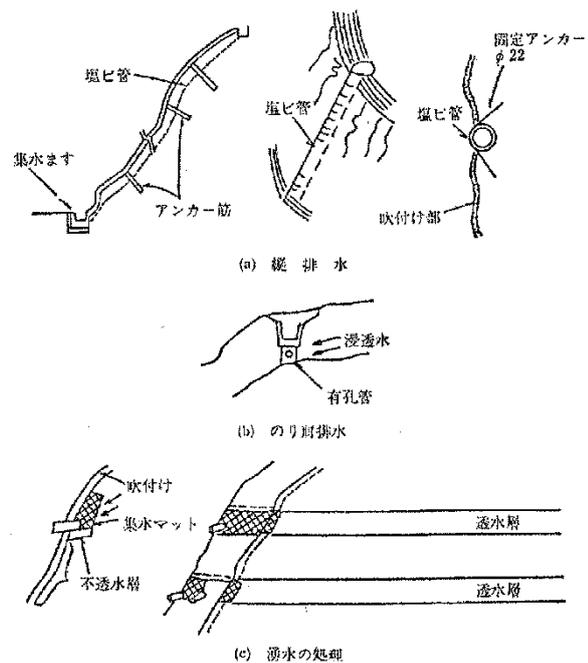


図 3-34 コンクリートまたはモルタル吹付工における排水

層で集水した水は水抜き孔で擁壁前面に排除する。水抜き孔は一般に擁壁背面の排水層下端に内径 7.5 cm 程度の硬質塩化ビニール管を 2~4m²ごとに 1 箇所個以上の割合で設置する。

なお排水層の厚さ、水抜き孔の位置、間隔、その他の寸法は現場の状況に応じて検討する必要がある。

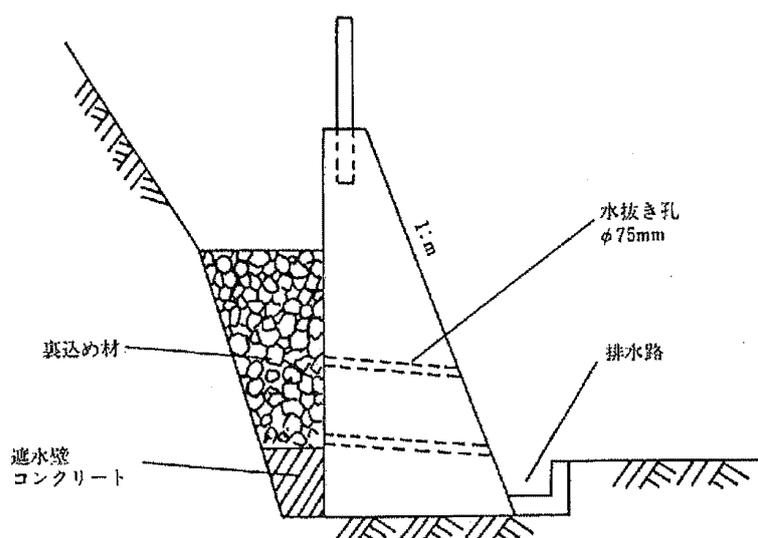


図 3-35 重力式コンクリート擁壁における排水例

(iv) 石積擁壁およびコンクリートブロック擁壁における排水の留意点

石積擁壁およびコンクリートブロック擁壁の背面の水は必ず擁壁表面に排除し、排水不良のため擁壁が破損することのないようにしなければならない。

水抜き孔にはφ75mm程度の硬質塩化ビニール管などが用いられる。数は2~4m²に1個以上の割合で設置する。

(v) 待受擁壁における排水の留意点

待受擁壁は降雨時にはそのポケット内に背後斜面からの流水がとどまり斜面内部や擁壁基礎に悪影響を与えるので、速やかに近くの水路に排除させなければならない。

水抜き孔はφ75mm程度の水抜き孔を埋戻しコンクリート(又は張コンクリート)上面に3mに1箇所程度以上の割合で設置するものとする。湧水・浸透水の多い場合は必要に応じて数量を増す。

擁壁の縦排水は壁内部に切り込んで設け、プレート板で蓋をする。

〔第3章 参考文献〕

- 全国治水砂防協会：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例 本編，令和元年5月