

8.3 構造

8.3.1 側溝

路面排水工は、「8.2.2 雨水流出量の計算方法」で算定された雨水を側溝から流末まで流下させるものであり、適切な工種及び流下能力を有する排水工を選定して設計する。

(1) 種類と構造

側溝には、芝張り側溝、石張り側溝、石積側溝、コンクリート側溝（L形、U形等）、アスファルト混合物を用いた側溝等がある（図-8.3.1～図-8.3.4参照）。

排水性舗装に接続する側溝の場合には、不透水層上を流れる水を集水できるよう、側溝に水抜き穴を設ける必要がある。これが難しい場合は、導水管等を用いて街渠柵に誘導する必要がある。

ア 芝張り側溝、石張り側溝

側溝の底面の洗掘を防ぐために芝、玉石等を張って補強したもので、形状は図-8.3.1に示すような曲面が多い。

イ 石積側溝、ブロック積側溝

図-8.3.2に示すように側溝の側面を石積又はブロック積にしたもので、底は必要に応じて石張り又はコンクリート張りで保護する。

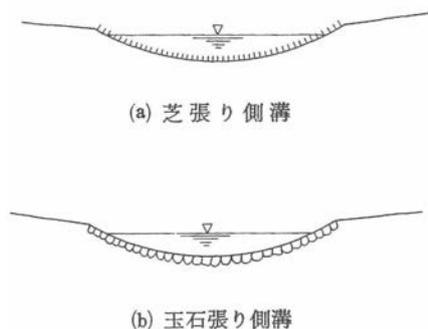


図-8.3.1 芝、玉石張り側溝²⁾

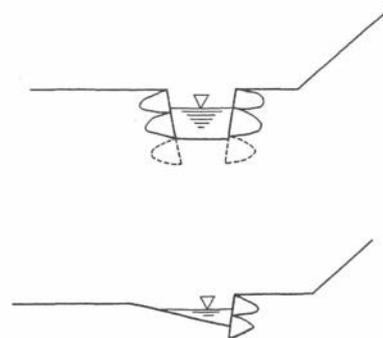


図-8.3.2 石積側溝²⁾

ウ コンクリート側溝

コンクリート側溝は我が国で最も広く用いられているもので、断面形状としてはL形、U形、半円形、円形側溝等がある（図-8.3.3）。構造的には無筋コンクリート及び鉄筋コンクリート造りで、プレキャスト製品を用いたもの、プレキャスト製品と現場打ちコンクリートを組み合わせたもの、及び全体を現場打ちとしたものに区別される。また、街渠側溝として、L形側溝とU形側溝やL形側溝と円形側溝等の様々な組合せがあり、これらについて経済性・施工性・維持管理等を総合的に評価し、最適な組合せを選定する必要がある。

(ア) L形側溝

L形側溝は、日本産業規格（JIS A 5372）や国土交通省制定土木構造物標準設計等に形状寸法が定められている。

なお、路肩側溝は、JIS A 5372 コンクリート境界ブロックの歩車道境界ブロック（プレ

キャスト製品)と側溝(エプロン部が場所打ちコンクリート)を兼ねた構造であり、歩道部がマウントアップ形式の場合とフラット形式の場合を標準化している。セミフラット形式とする場合は、ブロックを変更する必要がある。輪荷重が直接作用した場合は破損しやすいので、側溝の下は堅固な基礎とし、必要に応じてコンクリートによる基礎工を行う。また、プレキャスト製品を用いる場合においては、施工性の向上を目的として敷モルタルを用いることがある。

(イ) U形側溝

U形側溝には、日本産業規格(JIS A 5372)や国土交通省制定土木構造物標準設計等に形状寸法が定められている。なお、これらの側溝及び蓋の利用に当たっては、輪荷重が作用する場所に使用するもの、作用しない場所に使用するものに区分されているので、注意する必要がある。

また、U形側溝には、事故防止や歩道等の有効利用を考え、市街地や交通量の多い道路では、蓋を取り付けるのが望ましい。

(ウ) 可変勾配側溝

可変勾配側溝は、底面のインバートコンクリート厚さを調整することにより、自由な勾配設定が可能であることが特徴であり、道路勾配では流末に流下させることが困難な箇所に用いる。

(エ) 半円形側溝

半円形側溝は、JIS 製品(鉄筋コンクリートフリューム及び鉄筋コンクリートベンチフリューム: JIS A 5372)が使用されており、流量の小さい箇所及び大きな側圧の作用しない箇所に用いられる。

(オ) 円形側溝

円形側溝は、前記のL形とU形の機能を合わせ持つように考えられた側溝である。この側溝は、スリットが連続するものや不連続のものがあるが、このスリットに鋼製の蓋を用いるものが一般的である。また、内空形状が円形のほかに矩形や楕円形のタイプ等があるため、経済性・排水性・維持管理等を総合的に判断し、最適な構造を決定する必要がある。

(カ) 皿形側溝(ロードガッタ)

コンクリート皿形側溝(ロードガッタ)は水深が浅く通水断面が小さいので流量の小さい箇所に適しており、主に自動車専用道路の分離帯等の排水に用いられている。

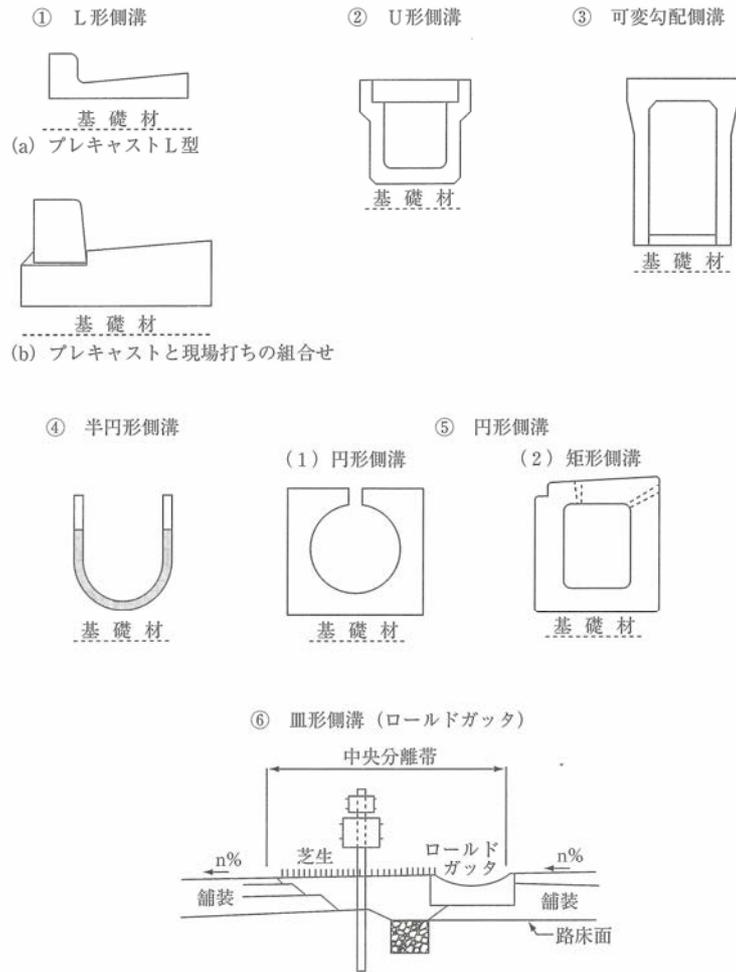
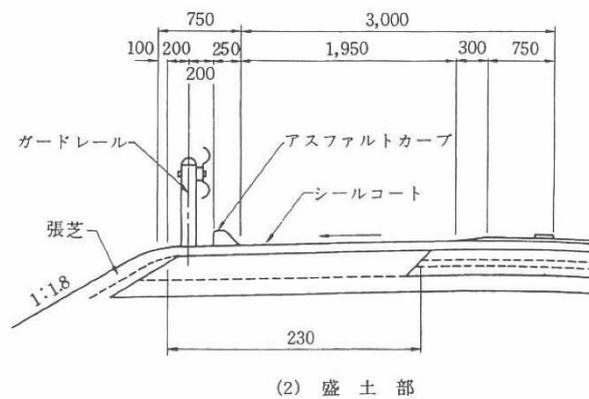
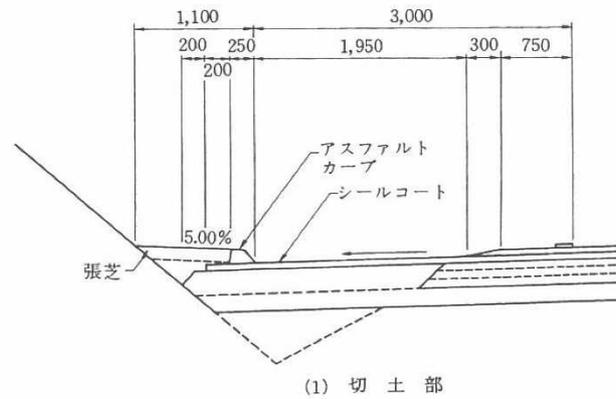


図-8.3.3 コンクリート側溝²⁾

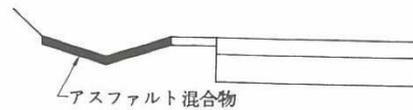
エ アスファルト混合物を使った側溝

アスファルト混合物を使った側溝は、**図-8.3.4** に示すものがある。一般に、アスファルトカーブは完成時に、皿形側溝は仮設時に用いられる。特にアスファルトカーブを盛土区間で用いる場合に、その末端が側溝や縦排水溝等に確実に接続されるよう留意することが大切である。

(i) アスファルトカーブの例



(ii) 皿形側溝の例

図-8.3.4 アスファルト混合物を使った側溝の例 (単位: mm) ²⁾

(2) 水理設計

側溝は、縦断勾配が緩い所では、土砂等が堆積しやすい。また、急勾配部においては、底面が洗掘されたり、勾配変化点や平面的に屈曲したりしている箇所では跳水が発生し、側溝の回りを洗掘する等の問題がある。したがって、側溝の縦断勾配や断面の決定には、これらを十分考慮する必要がある。

なお、跳水対策としては、側溝に蓋を設けたり、張芝や張石・コンクリート張り等で保護したりする方法がある。

通水断面は、流出量により決定するが、最小断面は維持管理を考慮し、幅 300mm 程度とする。

ア 通水能力

側溝の断面寸法は、流出量と側溝の通水能力とによって決定する。通水能力は、マンニング(Manning)公式による。

$$Q = A \cdot v \quad \dots\dots\dots \text{式 (8.3.1)}$$

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad \dots\dots\dots \text{式 (8.3.2)}$$

- ここに、 Q : 通水能力 (m³/s)
- A : 流積 (m²)
- n : 粗度係数 (表-8.2.5 参照)
- R : 径深 (m)
- I : 側溝勾配

イ 余裕高

断面決定に当たっては、式 (8.3.1) の流積に対して、20%以上の余裕をみておく。鉄筋コンクリートU形の場合の余裕高は、表-8.3.1のとおりである。

表-8.3.1 道路側溝工余裕高 (F_b)

鉄筋コンクリートU形 呼び名	幅 (mm)	高さ (mm)	余裕高 (mm)
U-300A	300	240	60
U-300B	300	300	70
U-300C	300	360	80
U-360A	360	300	70
U-360B	360	360	80
U-450	450	450	90
U-600	600	600	120

8.3.2 道路横断暗渠 (カルバート) 工

(1) 一般事項

農道下を横断して設置される水路用暗渠について説明する。

なお、設計の詳細については「第10章 10.2 暗渠 (カルバート)」に記述している。

(2) 暗渠の断面

水路用暗渠の断面積は、設計流量を安全に通水させるために、計算によって得られる数値に、20%以上の余裕を取って決定しなければならない。設計流量には、在来水路の計画流量を用いる場合が多いが、道路盛土を新しく設けたために、それまでの水の流れが変わったり、近隣の開発により流出係数や集水面積が一時的あるいは恒久的に変わったりする場合もあるので注意する。

小口径暗渠の場合には、その計算上の流量が小さい場合でも、清掃その他保守等により、管内での人力作業が必要となる場合は、直径 80cm 以上とすることが望ましい。

また、水路用暗渠の場合には、土砂の堆積や侵食を防止するため、その高さ、勾配等は極力従来の水路と一致させる。

暗渠の流量は、流域面積、流速、流出口における水位、暗渠の長さ等によって変化する。これらの水理条件と、これに対する注意事項を一括して、表-8.3.2に示す。

表-8.3.2 暗渠の水力条件と注意事項⁷⁾

タイプ	水力条件	流れの形態	備考
1	流入口で限界水深が発生 $D > (h_1 + z_1 - z_2) / 1.5$ $h_4 < h_c$ $S_0 > S_c$		出口付近で跳水が生じることが考えられるので、洗掘防止策を講じなければならない。
2	流出口で限界水深が発生 $D > (h_1 + z_1 - z_2) / 1.5$ $h_4 < h_c$ $S_0 < S_c$		出口での洗掘防止策を講じるのが望ましい。
3	全体を通して緩やかな流れ（常流） $D > (h_1 + z_1 - z_2) / 1.5$ $h_c < h_4 \leq D$		計画として最も望ましい条件である。
4	全体を通して満流（流出口が水没） $D < h_4$		異常事態としては起こる可能性があるが、計画としては用いてはならない。
5	流入口で射流 $h_4 \leq D$ $\leq (h_1 + z_1 - z_2) / 1.5$		異常事態としては起こる可能性があるが、計画としては用いてはならない。
6	全体を通して満流（流出口は自由放水） $h_4 \leq D$ $\leq (h_1 + z_1 - z_2) / 1.5$		異常事態としては起こる可能性があるが、計画としては用いてはならない。

注) D : カルバート高、 h : 水深、 z : 河床高、 S : 河床勾配、 h_c : 限界水深、 S_c : 限界勾配

8.4 地下排水

8.4.1 一般事項

地下排水工は盛土及び路床・路盤内の地下水位を低下させるため、周辺地山からの湧水が盛土内に浸透しないよう排除するとともに、路面や法面からの浸透水を速やかに排除できるよう適切に設計しなければならない。

ほ場内道路は、通常地下水位が高い場合が多いので、地下水位に対する検討が必要である。

地下排水が良好でないと、路床・路盤の支持力が減少し、また路床土の細粒分が浸透水によって路盤内に移動したり、あるいは舗装の継目や側端部の亀裂から地表に流れ出たりして、農道の破壊の原因になるので、路床及び路盤の排水について十分配慮する必要がある。

また、地下排水は、擁壁、法面等の崩壊防止、地すべりの対策及び切土区間における周辺の地下水の変動対策上からも大切なことである。

地下排水を適切に行うためには、地下水及び地形、地質等の調査を十分に行うことはもちろん、切土や盛土等の工事によって地盤内の地下水の状態が変わることもあるので、工事中及び工事完了後の排水状況には十分注意を払い、必要に応じて適宜排水施設の追加及び改良をしなければならない。

地下排水のうち、主として路床の排水を目的とするものを路床排水、路盤の排水を目的とするものを路盤排水という。

- ① 路床排水は、一般に道路側溝の直下に溝を掘って有孔管を敷設し、砂、礫等の透水性の大きい材料で埋戻すか、場合によっては盲暗渠とすることもある。
- ② 路盤排水は、路床土の透水係数が小さく、路盤内に水が停滞するおそれのある場合等に必要とし、路床上に砂層又は横断盲暗渠を土質及び排水量の程度によって10～20m程度の間隔で設け、吐口は必ず路床排水に連結させる。

8.4.2 排水量の算出

地下排水工の計算は、一般的には実施せず、湧水等が予想される箇所に十分な排水能力を有した排水工を適切に配置することを基本とする。ただし、事前の調査により地下水位が確認され、法面の安定が懸念される場合は、必要に応じて地下水位を考慮した安定計算を実施し、地下排水工の規模を計画するものとする。

地下水の間隙水圧を考慮した法面の安定計算に関しては、「第5章 5.2.1 常時・降雨の作用に対する盛土の安定解析」、土地改良事業計画設計基準・計画「農地地すべり防止対策」（農林水産省令和4年5月）によるものとする。

地下水位の低下量に関して、実際には複雑な条件の浸透流を計算により解くことは難しい。

したがって、法面の安定が懸念される場合は、切土部においては横ボーリング工や集水井工等の地下水排除工等により排水効果を確認しながら施工を実施するものとし、盛土部においては、 8.4.6 に示すような、基盤排水層や地下排水溝等の適切な配置を検討するものとする。

なお、地下水位の高い箇所や浸透流の多い箇所において、法面の安定が懸念される場合、及び駐車場等の広い面積の大きな排水施設では、調査資料に基づく検討を行って浸透量や地下水位低下量等の値の目安を得ておくことが望ましい。

(1) 路床・路盤等の排水

路床・路盤等の排水施設は、路体若しくは地盤内の地下水位を低下させ、又は農道隣接地から路床等に浸透する水を遮断し、路床・路盤を良好に維持するような構造としなければならない。

路床・路盤等の排水施設の必要な箇所は、地下水位の高い湿潤な場所、隣接地から多量の浸透水が流入するおそれのある場所等である。

このほか、積雪地帯では、融雪水が長期にわたって隣接地から路体等に浸透し、路床、路盤等の強度を弱めることがある。また、排水を良好にすると同時に浸透水に対して安定性の高い路体、路床、路盤等を造ることが大切である。

以下に、地下排水溝（集水管あり）を用いた場合の排水量の簡易な計算法を示す。

① 不透水層の勾配が大きい場合：排水管を不透水層に接して設ける場合の排水管の単位長さ当たりの排水量は、式（8.4.1）によって求める。

$$q = k \cdot i \cdot H_0 \quad \dots\dots\dots \text{式 (8.4.1)}$$

q ：単位長さ当たりの排水量（ $\text{cm}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{cm}$ ）

i ：不透水層の勾配

k ：透水係数（ cm/s ）

H_0 ：排水管理設位置付近の地下水位低下量（ cm ）（図-8.4.1 参照）

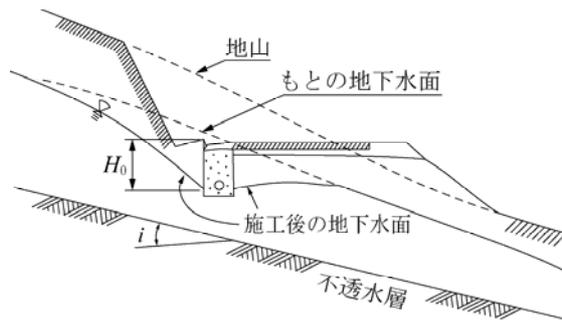


図-8.4.1 不透水層の勾配が大きい場合⁹⁾

路床土、あるいは地盤の透水係数は試験によって求めるが、試験を行っていない場合は、表-8.4.1を参考にすればよい。

表-8.4.1 代表的な土の透水係数の概略値⁹⁾

代表的な土	透水係数 (cm/s)	透水性
礫	0.1 以上	透水性が高い
砂	$0.1 \sim 1 \times 10^{-3}$	中位の透水性
砂質土	$1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-5}$	透水性が低い
粘質土	$1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-7}$	非常に透水性が低い
粘土	1×10^{-7} 以下	不透水性

② 不透水層の勾配が緩やかな場合：図-8.4.2に示すように、水は排水溝の片側からのみの流入とすると、排水管の単位長さ当たりの排水量 q は、式（8.4.2）によって求められる。

$$q = \frac{k(H^2 - h_0^2)}{2R} \quad \dots\dots\dots \text{式 (8.4.2)}$$

- H : 排水前の地下水位 (cm)
- h_0 : 排水管理設位置の地下水位 (cm)
- R : 排水によって地下水が影響を受ける水平距離 (cm)

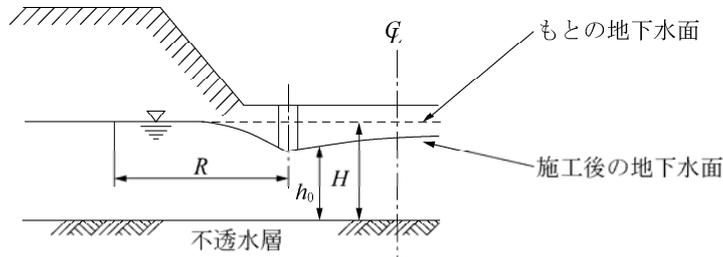


図-8.4.2 不透水層の勾配が緩やかな場合⁹⁾

R は一般に、透水係数、水位低下量及び透水層の厚さや広がり等の地域的な条件の影響を受け、定まった値ではないが、近似的に表-8.4.2 の値を用いて概略の計算を行ってもよい。

③ 不透水層が深い場合：図-8.4.3 に示すように、不透水層が深い場合には、水は排水溝の片側のみから流れ込むものと考え、排水管の単位長さ当たりの排水量は、式 (8.4.3) から求める。

$$q = \frac{\pi \cdot k \cdot H_0}{2 \ln\left(\frac{2R}{r}\right)} = \frac{\pi \cdot k \cdot H_0}{4.6 \log\left(\frac{2R}{r}\right)} \quad \dots\dots\dots \text{式 (8.4.3)}$$

r : 排水溝の幅の 1/2 (cm)

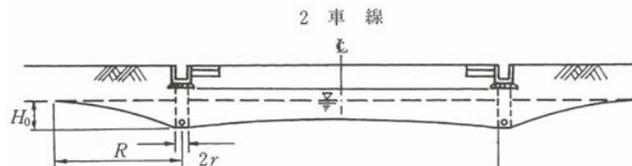


図-8.4.3 不透水層が深い場合⁹⁾

表-8.4.2 排水によって地下水が影響を受ける水平距離 R の値⁹⁾

細粒砂	25～ 500m
中粒砂	100～ 500m
粗粒砂	500～ 1,000m

注) 水平距離 R の値は、井戸の水位を 2～3m 低下させたときの影響半径である。

④ 被圧地下水による浸透流のある場合：図-8.4.4 に示すように、深部から浸透流を排水する場合には、地盤を含めた農道の断面図に流線網を描き、式 (8.4.4) によって排水量を求める。

$$Q = kH_0 = \left(\frac{N_f}{N_p} \right) \dots\dots\dots \text{式 (8.4.4)}$$

Q : 単位長さ当たりの全排水量 ($\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)

H_0 : 全水頭 (cm)

N_f : 流線にはさまれる流路の数

N_p : 等ポテンシャル線にはさまれた帯状部の数

なお、**図-8.4.4**に示すように、農道の両側に2本の排水溝を設ける場合には、排水管1本の単位長さ当たりの排水量 q は、**式 (8.4.4)** で求める Q を用いて、 $q = 1/2 \cdot Q$ とすればよい。

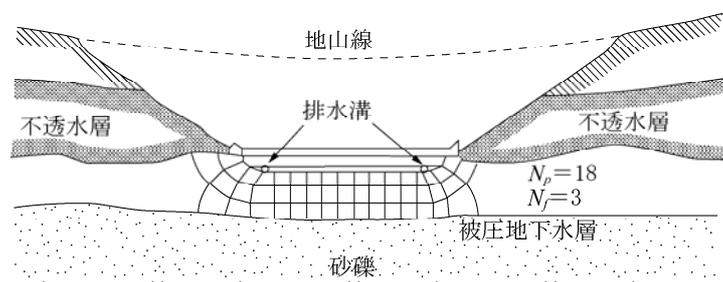


図-8.4.4 流線網の一例

(2) 盛土内の排水

盛土内の排水については、盛土の安定性を確保するために、水平排水層や地下排水溝等の地下排水工を設け、浸透水、湧水等を盛土外に排出できるような構造としなければならない。

盛土崩壊の要因として、地下水、降雨、融雪水等の浸透による盛土内水位の上昇等がある。盛土内の水位を低下させるためには、地盤及び盛土内の排水処理が重要である。排水処理を設計するに当たっては、広範囲にわたる踏査、土質調査結果等により、透水層や不透水層の把握、及び断層破碎帯の存在等、原地盤の湧水の有無を把握し、湧水が盛土内に浸透しないよう、確実に盛土外に導くよう配慮しなければならない。しかし、湧水の有無や、地中の浸透水の動きを調査のみによって正確につかむことは難しいため、山地部の沢部を埋めた盛土では、流水や湧水の有無に関わらず、水平排水層、地下排水溝、基盤排水層等の地下排水工を設置する必要がある。

また、盛土の安定性が懸念されるような場合には、必要に応じて水平排水層や基盤排水層等を設置することで、盛土内水位を低下させるように配慮しなければならない。

盛土内の排水処理には、路体への浸透水の排水、施工中の降雨等に対する排水処理、高い含水比の材料で盛土を構築する場合における間隙水圧低下のための排水等がある。

ア 路体への浸透水の排水

地山から路体への浸透水は、地下排水溝や基盤排水層等により、路体内へ浸透させないように配慮するものとする。

降雨等による路体への浸透水は、できる限り早期に路体の外に排出するように配慮しなければならない。例えば、火山灰質粘性土、シラス、山砂等、水による盛土の安定性が懸念される盛土材料については、**図-8.4.5**に示すように水平排水層等により路体への浸透水を小段排水溝等に導き、速やかに路体外に排出する必要がある。

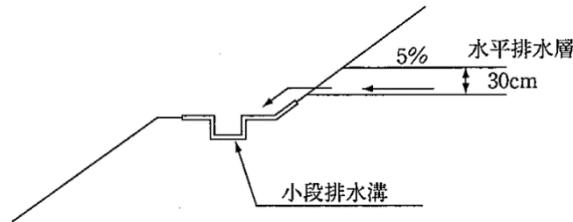


図-8.4.5 水平排水層端末部⁹⁾

イ 間隙水圧低下のための排水

沢部を埋めた盛土、片切り片盛りや、シラス、山砂等、雨水が浸透しやすく、しかもそれによって強度の低下が著しい土質材料や、高含水比の火山灰質粘性土によって高い盛土を構築せざるを得ない場合には、図-8.4.6のように盛土法面内に水平排水層を設置し、盛土内の排水を図らなければならない。水平排水層の厚さ及び設置間隔は、盛土材料の圧密特性、盛土材料及び排水層の透水係数、施工速度等を考慮して決定する。

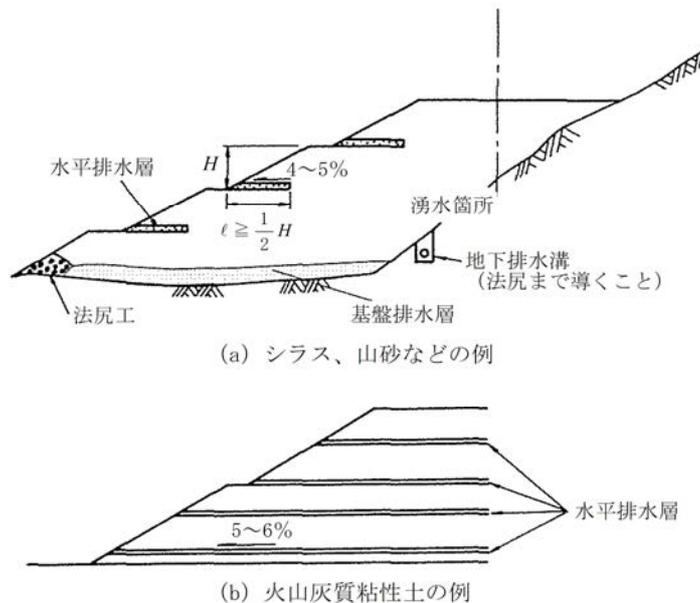


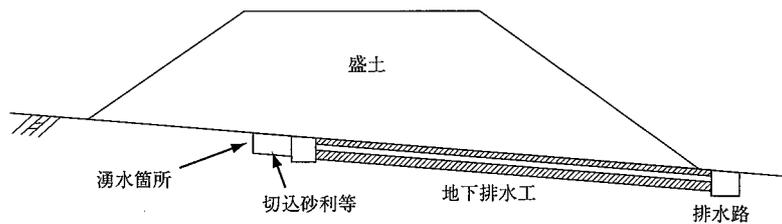
図-8.4.6 水平排水層の例⁹⁾

ウ 基礎地盤の排水

基礎地盤の排水は、盛土の安定性を確保する上で重要であり、土質調査等の結果により、その性状、分布等を把握するとともに、適切な排水対策を講じなければならない。

基礎地盤からの湧水は、盛土内水位を上昇させ盛土を不安定にし、法面崩壊の原因となることもあるので注意しなければならない。一般的に、切土部と盛土部の境界は地下水位が高く、かつ地表面からの浸透水が集まるので湧水の量が多い。湧水の処理の例を図-8.4.7に示す。

また、水田等で水位が高く、建設機械のトラフィカビリティが得られない場合や、基礎地盤の地下水が毛管水となって盛土内に浸入するおそれのある場合には、素掘り排水溝の設置やサンドマット（敷砂層）を設けて排水を図る。

図-8.4.7 湧水処理の例⁹⁾

8.4.3 地下排水溝の構造

地下排水溝の設計に当たっては、地下水及び湧水を速やかに排出するよう適切に配置するものとする。

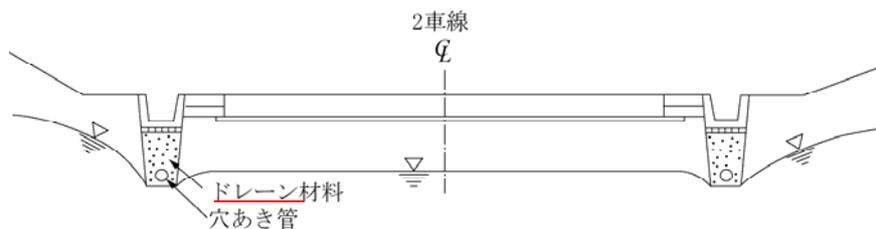
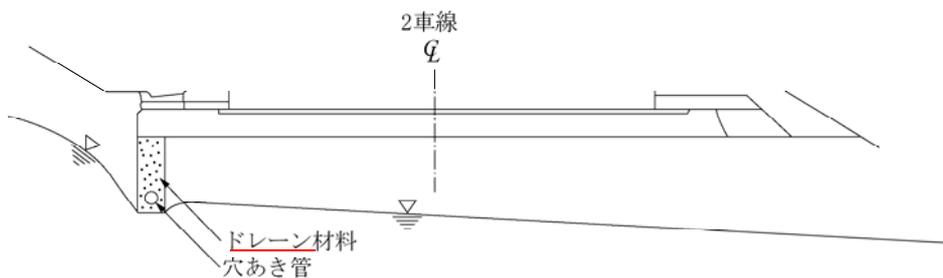
地下排水のために用いられる排水施設は、路側の地下排水溝、横断排水溝、遮断排水層等である。

(1) 路側の地下排水溝

地下排水溝による排水は、路床及び路盤を対象に行われ、地下水の高い地域では数多く施工され、地中の排水には極めて有効である。

一般に平地部は、地下水面がほぼ平らな所では、図-8.4.8に示すように農道の両側に設ける。しかし、傾斜地で地下水が一方からのみ流出してくるような箇所では、図-8.4.9に示すように山側の路側にのみ設けることもある。

地下水の特に多い地域では、地下排水溝のみでは排水能力が不足するため、路床と路盤の境界、あるいは路床や路体内に水平の遮断排水層を設けて浸透流を地下排水溝に導く。(後述の(3)遮断排水層参照)

図-8.4.8 両側の路側に設けられた地下排水溝⁹⁾図-8.4.9 片側に設けられた地下排水溝⁹⁾

地下排水溝の深さは、1.5～3.0m程度必要な場合が多いが、地形、土質、地下水位等の条件によって変わってくる。

地下排水溝の底部には、穴あき管を設置する 경우가多く、穴あき管にはコンクリート管、塩ビ管、ポリエチレン管、鋼管等がある。

地下排水溝に埋設する管は、内径 20~30cm を標準とし、管の周囲を粒度分布のよいフィルタ材で保護しなければならない。地下排水溝の埋戻し材料には、透水性がよく、しかも、土の細粒分の流入を防ぐことのできるドレーン材を用いる。

また、地下排水溝の位置が側溝の下部であるときや、路肩等に当たるときは、地表水が直接地下排水溝のドレーン部に浸透するおそれがあるので、表面の 30cm 程度を比較的透水性の低い土で覆い、十分締め固める。

(2) 横断地下排水溝

横断地下排水溝は、道路延長方向の地下排水溝のみでは不十分な場合に横断方向にも設けるが、特に横断地下排水溝の必要となる箇所は、農道が切土部から盛土部へ変わる境界等である。地下水位の高い台地を切土すると、切土面から浸透水が流出し、それに接して造る盛土部へ水が流出することがあるので、このような場合には、図-8.4.10 に示すような横断地下排水溝を設けるとよい。

また、路床部から浸入してくる水を除くために、遮断排水層と併用すると効果の大きいことがある。横断地下排水溝は路側の地下排水溝に接続するものとする。

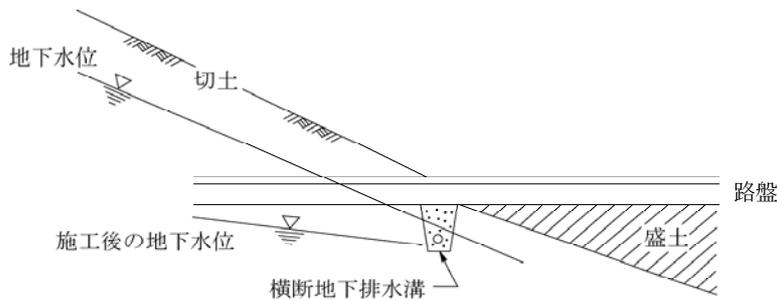


図-8.4.10 横断地下排水溝⁹⁾

(3) 遮断排水層

路盤の排水性が十分でなく、しかも、路床が不透水性である場合や、地下水位が高く浸透水の多い場合に、遮断排水層が施工されることがある。一般に、路盤は透水性がよいと考えられているが、使用する材料によっては、透水係数が意外に小さく、排水が悪い場合も少なくない。このような場合、路盤の下に透水性の極めて高い粗目の砂利、碎石を敷き、いわゆる遮断排水層を設ける。その厚さは 30cm 程度以上が必要である。

なお、遮断排水層によって排水する場合で流量が多いときには、図-8.4.11 に示すように、排水層内に集水管を配置すると効果的である。また、図-8.4.4 に示したような浸透流のある場合には、排水層の排水能力を検討して、遮断排水層に十分な厚さを持たせなければならない。

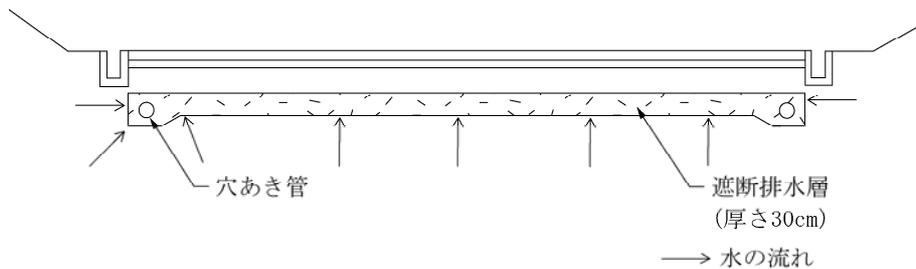


図-8.4.11 遮断排水層内に埋設した集水管⁹⁾

8.4.4 地下排水工の材料

(1) ドレーン材料の選定

ア 土質材料

排水溝内に穴あき管等を設置して埋戻す場合、あるいは路床上に遮断排水層を設ける場合には、その機能を長く維持させるために、次のような条件に適合した材料を使用しなければならない。

このドレーン材料には、透水性が大きく、かつ粒度配合のよい天然の砂利、あるいは粒度調整をした砂利、碎石等を用いる。

ドレーン材料として必要な条件は、粒子自体の安定性が高く、風化したり溶解したりしないことと、粒度曲線が適切なことである。必要な粒度曲線は、路床土の粒度曲線及び穴あき管の大きさに関係をもつ。すなわち、ドレーン材料が路床から流入してくる微粒子によって詰まらない条件として、

$$\frac{D_{15}(\text{ドレーン材料})}{D_{85}(\text{路床土})} < 5$$

を満足しなければならない。ここに、 D_{15} 、 D_{85} はそれぞれ、粒径加積曲線において通過質量百分率の15%、85%に相当する粒径である。さらに、ドレーン材料が路床土に比較して十分な透水性があるための条件として、

$$\frac{D_{15}(\text{ドレーン材料})}{D_{15}(\text{路床土})} > 5$$

を満足しなければならない。

ドレーン材料の粒度は、穴あき管の場合には、次式のように穴の大きさによって定められる。

$$\frac{D_{85}(\text{ドレーン材料})}{D(\text{穴の径})} > 2$$

ドレーン材料の粒径加積曲線は、**図-8.4.12**に示すように、できるだけ路床土の粒径加積曲線に平行で、かつ、滑らかな曲線がよい。

路床土にかなり大きい礫を含むときは、粒径が25mm以上の粒子を除いた土について粒径加積曲線を作って、ドレーン材料の選定を行う。

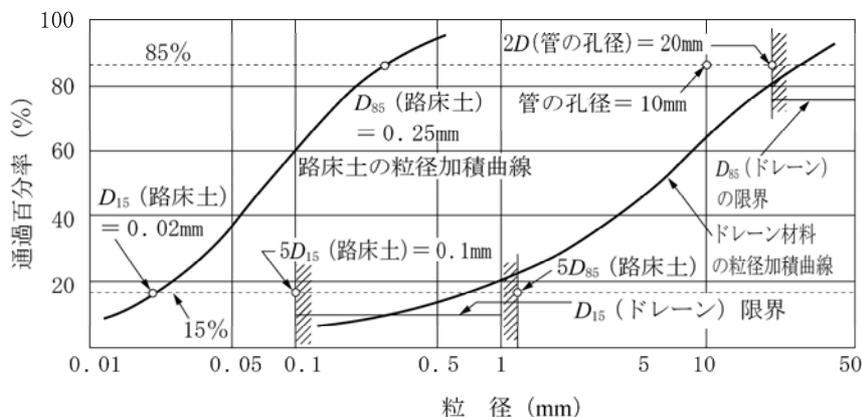


図-8.4.12 ドレーン材料の粒度曲線

イ 人工材料

人工材料としては、不織布やパイプ状あるいは板状のジオテキスタイルが使用されている。また、吸出し防止材あるいは目詰まり防止材と称される不織布等のジオテキスタイルは、碎石等の排水層の目詰まり防止のためにも使用される。人工材料の適用に当たっては、透水性が高く、長期的に目詰まりを生じず、材料の強度が高く、また化学的変異に対して安定な材料を選定するとともに、碎石等の土質材料を用いた場合と同等以上の透水性、排水能力を確保するよう設置しなければならない。

(2) 集水管の選定

排水溝の中に埋設する集水管として、遠心力鉄筋コンクリート管、合成樹脂管等を用いるものとし、外面が平滑な管の場合、孔の径は1.2~2.0cm標準とすることができる。集水管の内径は15~30cmを標準とし、地下水位が著しく高い場合及び湧水の多い箇所においては、地下排水調査の結果によって断面を決定するのがよい。溝の中に埋設する管は、内径30cm以下の細いものが多く、しかもトレンチ型の埋設条件となるため、荷重条件が特殊な場合を除き、一般に用いられている有孔コンクリート管、コンクリート透水管、合成樹脂管等では強度の面での検討は通常必要ない。ただし、施工の際に埋設後に安易に重機を載荷させて破損することのないよう注意が必要である。

8.5 法面排水

8.5.1 一般事項

法面排水工は、表流水や浸透水により法面の崩壊を防止するのに十分な効果を発揮するように設計しなければならない。

水による法面の破壊は、大別すると、法面を流下する表流水による表面の侵食、洗掘と、浸透水が法面を構成する土のせん断強さを減じたり、間隙水圧を増大したりすることにより生ずる崩壊とに分けられる。

法面の排水工は、この両方を防止するのに十分な効果を発揮するよう設計しなければならない。また、十分な機能を持った排水施設が造られても、これを受け入れる流末の処理能力が十分保たれていない場合には、下流に被害を及ぼすことにもなるので、法面排水工は流末の排水能力のある施設に接続するようにしなければならない。

排水施設の設計に当たっては、事前に降雨、地表面の状況、土質、地下水の状況、既設排水路系統等を十分調査し、排水量を決定する。

実際の調査に当たっては、特に以下に示す点に注意する。

- ① 表流水が局部的に集中して流れる箇所
- ② 地山からの湧水や浸透水の多い箇所
- ③ 周囲の地下水の状況
- ④ 集めた水を排除する流末の状況

8.5.2 法面の湧水

法面の湧水は、法面を侵食するおそれがあるほか、場合によっては湧水の流出する地層に沿ってすべり面が形成され、法面崩壊の原因となることもあるので注意しなければならない。一般に、切土部と盛土部の境界は地下水位が高く、かつ地表面からの浸透水が集まるので湧水の量が多い。

図-8.5.1のように、切土法面の湧水は、地下水や地中に浸透した雨水が原因であり、盛土法面の湧水は、路面や地山から盛土部に浸透した水が原因となる。

法面からの湧水を排水する施設には、図-8.5.2に示したような、法面蛇かご、地下排水溝、水平排水層、水平排水孔等がある。

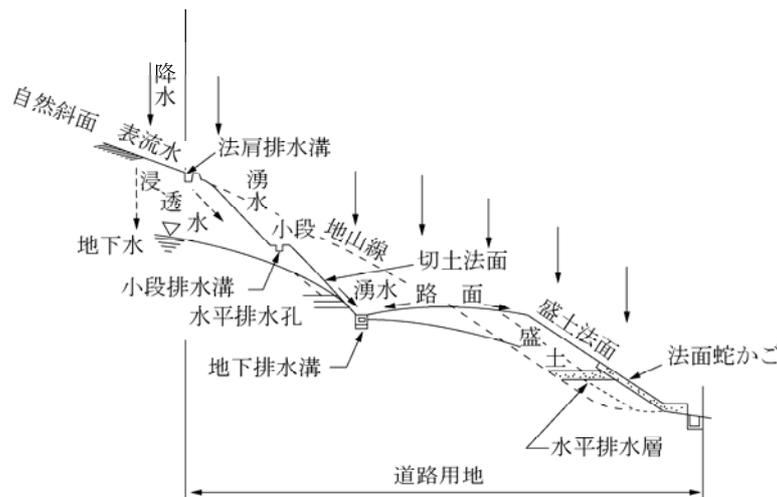
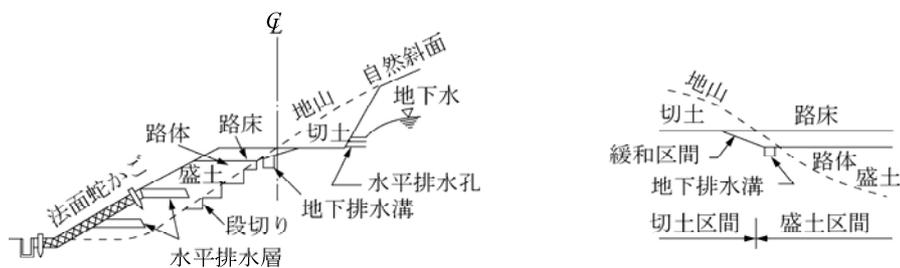


図-8.5.1 道路法面と排水施設²⁾



(a) 片切り・片盛り部における例(横断面図) (b) 切土・盛土接続部における例(横断面図)

図-8.5.2 法面からの湧水を排水する施設²⁾

8.5.3 法面排水溝の構造

法面排水溝には、法肩排水溝、小段排水溝及び縦排水溝があるが、構造上は大差がなく、鉄筋コンクリートU形を用いる、又はソイルセメント若しくはコンクリートによりライニングを行う。

水路断面は、集水面積により決定されるが、法面排水溝の断面決定に当たっては、土砂等の堆積を考慮して20%程度の断面余裕を見込むとともに、特に、豪雨の際に多量に土砂の流出のおそれがある自然斜面では、更に十分な余裕をもたせる必要がある。

なお、維持管理の面から断面は0.2×0.2m以上とする。

法面排水施設の破壊は、主として水が排水溝内を流れず、その外側や底裏を流れて周囲の土を洗掘することによる。このため、表流水を受ける排水施設は、それを飲み込みやすくするため、地山

に十分食い込ませるとか、不透水性の材料で入念に埋戻しを行う等の配慮が必要である。

また、急流となるところでは、水が跳ね出さないように蓋を設けたり、少々の跳水があっても、排水溝の外側が洗掘されないように、張芝や張石等で保護したりする等の措置が必要である。

切土区間では、岩質や地質の走向等が法面の湧水に大きく影響するので、十分把握しておかなければならない。

(1) 法肩排水溝

法肩排水溝は、隣接地域の雨水や湧水が法面に流入しないように法肩に設ける。法肩排水溝の種類は、法面の存在する地形、土質及び流量等により十分検討して決定する必要がある。法肩排水溝としては次のような種類があるが、一般に 30cm 程度の鉄筋コンクリート U 形が多く用いられている。

ア 素掘り排水溝

水量が少なく、他の水路に容易に導くことができる場合には、**図-8.5.3** に示すような素掘り排水溝とすることができる。

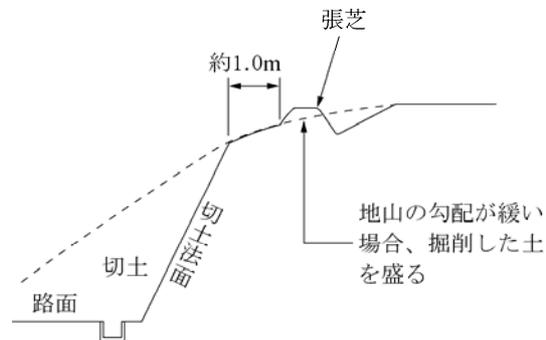


図-8.5.3 素掘り排水溝

イ ソイルセメント排水溝

水量は少ないが、水が地中に浸透してはならない場合には、**図-8.5.4** に示すようなソイルセメント又はコンクリートライニングとする。ソイルセメントの場合のセメント量は、土質により異なるが、乾燥重量比で 5～10% 程度であり、一般に、6% が多く用いられる。また、現地に砂質土がない場合には貧配合のコンクリートを使用した方がよい。

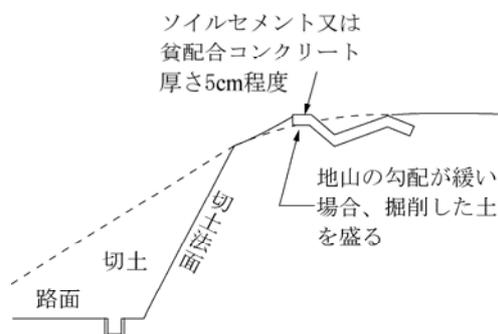


図-8.5.4 ソイルセメント排水溝

ウ 鉄筋コンクリート U 形溝等

排水溝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-8.5.5** に示すように、コンクリート二次製品の鉄筋コンクリート U 形溝や遠心力鉄筋コンクリート半円管等を使用する。集水面積、地表面の状態にもよるが、30cm 規格程度の二次製品を使用するケースが多い。通常、法肩排水溝は勾配も急であるのでかなりの排水能力を持つが、地山と排水溝が十分なじんではないと、地表面を流下する雨水を飲みきれずに排水溝の裏面に沿って水が流れたり、排水溝を流れる水が速度を速め、勾配の変化点等に当たって水が跳ね、側面を洗掘したりする。したがって、排水溝の裏込めの施工を十分慎重に行う必要がある。

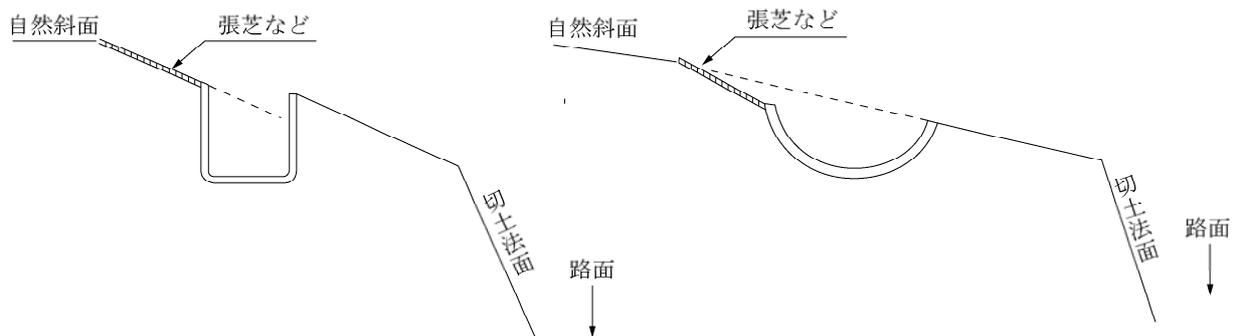


図-8.5.5 コンクリート二次製品による法肩排水施設

(2) 小段排水溝

法面が長大になると、一般に 5～10m の高さ間隔で 1.5m 幅程度の小段が設けられるが、これは、法面を流下する雨水による侵食防止に有効である。法面を流下する雨水は、できれば各小段ごとに処理し、法面に悪い影響を与えないようにしなければならない。小段の縦断勾配は、一般には農道縦断勾配に合わせても支障はないが、0.3～5%程度にしておくのが望ましい。

小段排水溝は、ソイルセメントや鉄筋コンクリート U 形溝等が用いられ、縦排水溝（シュート工）により排水される。

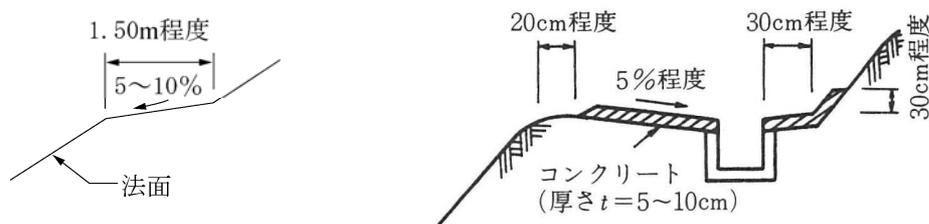


図-8.5.6 小段の横断勾配

ア ソイルセメント排水溝

小段に集まる水量が少ない場合は、特に排水溝を設けずに張芝等の植生を行う程度でよいが、水が地下に浸透してはならない場合は、ソイルセメント又は貧配合のコンクリート等を用いた排水溝を設けるものとする（**図-8.5.7** 参照）。

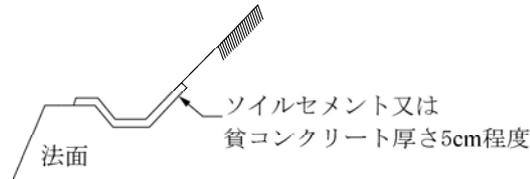


図-8.5.7 ソイルセメント排水溝

イ 鉄筋コンクリート U 形溝

小段に集まる水量が多い場合は、鉄筋コンクリート U 形溝等を使用し、水が排水溝の側面や裏面にまわらないように注意する。通常、24cm 又は 30cm 規格程度の U 形溝を使用する場合が多く、ソイルセメント等を打設して周辺を固める（図-8.5.6 右図参照）。土砂等の流入のない所では、遠心力鉄筋コンクリート半円管が有利なこともある

(3) 縦排水溝

縦排水溝は、路肩側溝から盛土下の水路や、あるいは法肩排水溝や小段排水溝から路側水路に排水するため、法面に沿わせて設置するもので、鉄筋コンクリート U 形、遠心力鉄筋コンクリート半円管、鉄筋コンクリート管、石張り水路等を使用する。

施工性、経済性、維持管理の容易さ等に優れた鉄筋コンクリート U 形が最も多く使われているが、流速が大であり、排水溝内の僅かな障害物によっても跳水し、それにより排水溝の側面や裏面を洗掘し、法肩崩壊の原因となることもあるので施工には特に注意を要する。

また、切土によって在来の沢をつぶしたり、図-8.5.8 のように、斜面の凹部を横断して切土したりする場合がある。このような所では、集中豪雨により、土石を含んだ鉄砲水が直接道路に流れ込むおそれがあるので、集水区域内の地形、地質、地覆状態等をよく調査して、コンクリート、石積、蛇かごにより堰を設置して、流下水の流勢を落とし、適当な水路まで導くようにすべきである。このような水路は、計算による排水断面の数倍ないし数十倍の断面をとり、流木等により排水溝が閉塞されないように、呑口部にスクリーンを設ける等、適切な対策を講じておく必要があるが、かえって呑口部の閉塞を助長することもあるので、注意しなければならない。

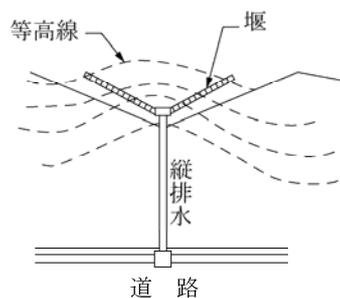


図-8.5.8 斜面凹部の排水施設

ア 鉄筋コンクリート U 形溝等

鉄筋コンクリート U 形あるいは遠心力鉄筋コンクリート半円管等は、法面の地表面に設置するので、施工しやすく、維持管理も容易である。

排水溝の断面決定は、流量計算によることは当然であるが、240×240、300×300 の U 形溝を使用する場合が多い。形状は、ソケット付が望ましく、原則として、3 m 間隔にすべり止め

付を用いるとよい。また、跳水等による側面の浸食を防止するため、**図-8.5.9(a)**に示すように、10cm程度掘り下げ、コンクリート張り又は張芝を施すのがよい。

さらに、縦排水溝が他の水路と合流する所や、勾配の変化する所、流れの方向が急に変わる所には柵を設け、柵には、深さ15cm以上の土砂だめを設け、水勢を減じさせる構造とし、必ず蓋を設ける。なお、勾配が1:1より急な所や、法尻から1~2mの区間、勾配の変化点等の縦排水溝は、水が跳ね出すおそれがあるので蓋付きにする。

小段柵の土砂清掃が困難なので、小段に柵を設けない場合もある。このような場合には、柵がないので流速も速く、跳水も激しいので、下流側排水溝の上部の蓋は堅牢にしておかなければならない。

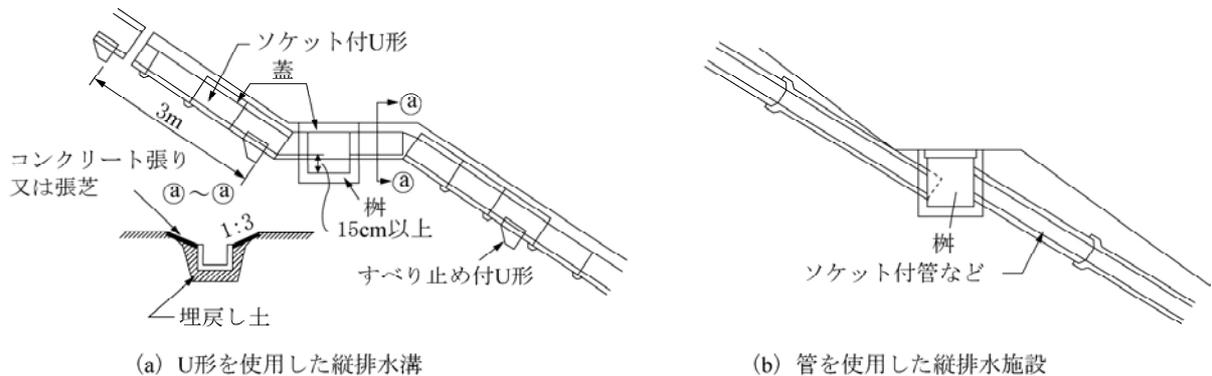


図-8.5.9 コンクリート二次製品による縦排水施設

イ 鉄筋コンクリート管等

法面勾配が急で延長が長い等の理由で、流量・流速や跳水が大きくなる場合には、縦排水施設として鉄筋コンクリート管等を使用する場合もある。このような暗渠構造は、U形溝等の開渠構造に比べ維持管理が容易でないので、適当な間隔に柵を設けなければならない。

なお、他の水路との合流点、勾配の変化点、流れ方向の変化点にも柵を設置する必要がある(**図-8.5.9(b)**参照)。

ウ その他の縦排水溝

その他の縦排水溝には、石張り及び植石コンクリート水路等がある。縦排水溝の流速は通常の場合、相当大きいので、流量の多い排水溝には路面の跳水による破壊防護措置を考慮して植石等を行えば、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所には、**図-8.5.10**のように、玉石張り排水溝を使用するのがよい。

場合によっては、水路の裏面に排水が廻らないよう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。

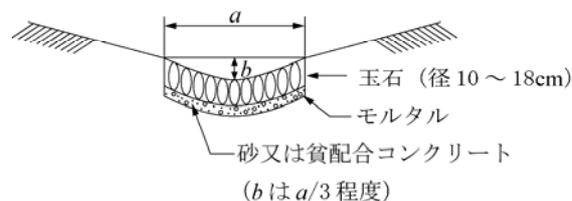


図-8.5.10 玉石張り排水溝の断面

8.6 凍上防止対策

8.6.1 一般事項

寒冷地においては、道路舗装やその他土工構造物等の凍上による被害の可能性について検討し、必要に応じて対策を行うものとする。

凍上の発生及び対策の検討に当たっては、調査により凍結深さを推定し、適切な対策工法を選定するものとする。

凍上とは、地盤中に霜柱が発生し、それが成長することによって地面が隆起する現象をいう。この凍上現象は、多くの要因によって支配されるものであるが、最も大きな要素として、寒冷気象によって引き起こされる地盤の温度低下と地盤深さ方向への温度勾配、凍上を起こしやすい土質、下層の部分から補給される十分な地中水等がある。

寒冷地における道路やそれに附帯する構造物の基礎等には、土の凍上作用のもたらす影響が極めて大きい。特に、道路の凍上現象は、北海道、東北地方や山岳地帯において最も重要な問題である。

凍結融解を受ける地域に舗装する場合は、その地域の凍結深さを求め、交通量と設計 CBR から得られる舗装厚さより凍結深さが大きい場合には、凍上を起こしにくい材料で、その差だけ路床を置換えるか、路盤を厚くする（ただし、路床土の置換えを行う場合、地下水位が置換え深さより低位にあることが必要である。）。

なお、積雪のある地域で除雪しない道路については、積雪が断熱効果を発揮するため、舗装の厚さ（ H ）が小さく、大型車の通行が予想されない道路において、おおむね 15cm 以上の積雪深のある期間が長い場合は、置換える必要はほとんどない。

8.6.2 凍上抑制層の材料

凍上抑制層の材料は、川砂、山砂、スラグ、切込み砂利、クラッシュラン等の材料で、ごみ、どろ、有機物等を含まないものでなければならない。

(1) 粒度

材料の粒度は、ふるい目により 40mm 級と 80mm 級に分類され、ふるい通過質量百分率は表-8.6.1 値の範囲のものとする。

表-8.6.1 凍上抑制層用粗粒材料の粒度

ふるいの呼び寸法 粒度 (mm)	ふるい通過質量百分率 (%)			
	90 mm	53 mm	37.5 mm	4.75 mm
80	100	70~100	-	20~65
40	-	100	70~100	20~65

(2) 凍上を起こしにくい材料の目安

- ① 砂：75 μ m ふるいを通過するものが全試料の 6% 以下となるもの
- ② 切込砂利：全試料について 75 μ m ふるいを通過する量が、4.75mm ふるいを通過する量に対して 9% 以下となるもの
- ③ 切込み碎石：全試料について 75 μ m ふるいを通過する量が、4.75mm ふるいを通過する量に対して 15% 以下となるもの

- ④ 火山灰（火山礫含む）スラグ：凍上試験に合格したものでなければならない。ただし、凍上試験結果の判定が要注意のものは、75 μ m ふるい通過量が 20%以下で強熱減量が 4%以下のもの

8.6.3 凍上防止対策及び工法

凍上対策の検討に当たっては、その地域の気象条件や地盤の特性について十分に検討を行い、凍結面への水の供給条件を勘案して、凍上のおそれがあるかどうかについて現場の試料を採取し、凍上試験を行う等の評価が必要である。

置換深さは、凍上対策上必要な置換深さが経験的にわかっている場合は、その値をそのまま採用し、わからない場合や凍結深さの大きい地方では実測や気温データから求めた理論最大凍結深さの 70%の値を置換深さとするが、路床の CBR と材料、凍上抑制層の材料、地下水位の条件によって、置換深さをこの値より浅くすることができる。

このようにして求めた置換深さと、凍結を考慮しないで求めた舗装厚を比較し、もし置換深さの方が大きい場合は、その差だけ凍上を起こしにくい材料を路盤の下に加える。この部分を凍上抑制層と呼び、通常、路床の一部と考える。

工法としては、置換工法が一般的であるが、ほかに薬剤等を添加混合して土の性質を変え、又は凍結温度を下げる方法、断熱層を設けて凍上性の土の温度低下を少なくする方法、遮水層を設けて降水及び地下水から凍上性の土を遮断する方法がある。

8.6.4 凍結深さ

凍上の検討に当たっては、凍結深さを推定し、凍上対策の必要性の判断及び対策工の選定と設計に活用する。

凍結深さは以下に示す適切な方法により推定するものとし、必要に応じて積雪による影響を考慮する。

凍結深さは主として、気温、土質、地中水の状態によって決まるが、気象条件や路面上の積雪状態によっても変わる。

凍結深さは、気温観測データを用いて推定することもできるが、特に重要な構造物の凍上対策には、凍結期の地中温度を測定して凍結深さを実測するのが望ましい。

凍結深さとは、「路面から地中温度の 0 $^{\circ}$ C 線までの深さ」であり、ここでいう路面とは、凍結前を基準にした路面とする。

(1) 実測によって凍結深さを求める方法

実測によって、凍結深さを求める方法としては、①メチレンブルー凍結深度計を利用する方法、②地盤中の各層に測温抵抗体温度計や熱電対を埋設する方法、③調査孔を掘削して凍結期の地中の温度及び凍結の様相を観測する方法がある。

(2) 計算によって凍結深さを求める方法

実測調査によらず、計算によって理論最大凍結深さを求める場合は、最寄りの気象データにより凍結指数 F_{\max} ($^{\circ}$ C \cdot days) を求め、 F_{\max} に対応する凍結深さを Aldrich による修正 Berggren 式を簡易化した式 (8.6.1) により計算する。

$$D_{\max} = C\sqrt{F_{\max}} \dots\dots\dots \text{式 (8.6.1)}$$

ここに、 D_{\max} : 理論最大凍結深さ (cm)

F_{\max} : 設計に用いる凍結指数 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{days}$)

C : 凍結係数 $C = \alpha \sqrt{\frac{172,800}{(L/\lambda) \text{ eff}}}$

α : 平均気温、熱伝導率、融解潜熱等によって決まる補正係数

L : 凍結潜熱 (J/m^3)

λ : 熱伝導率 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)

図-8.6.1 に示す B 曲線は、凍上を起しにくい粗粒材料 (乾燥密度 $\rho_d=1.80\text{g}/\text{cm}^3$ 、地盤の含水比 $W=15\%$) からなる半無限地盤を地表面から冷却したときの凍結指数に対する凍結深さを計算したもので、これが理論最大凍結深さの推定に用いられている。したがって、より正確に行うには実際に用いられる粗粒材の乾燥密度と含水比等のデータから理論最大凍結深さを推定する必要がある。これに対し、A 曲線は、凍上を起ししやすい細粒材料 ($\rho_d=1.20\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $W=50\%$) からなる地盤について B 曲線と同様に計算したもので、これは舗装の設計に直接利用されることはほとんどないが、埋設管の凍結しない位置等を概略的に判断するのに利用できる。これら A 及び B 曲線の凍結指数に対する凍結深さの計算値と、それを逆算して求めた凍結係数 C を表-8.6.2 に示した。

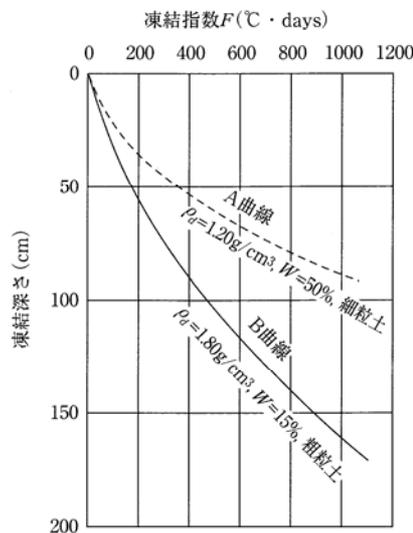


図-8.6.1 凍結指数と凍結深さの関係²⁾

表-8.6.2 凍結指数と凍結深さ、定数 C の関係²⁾

材料名	乾燥密度 $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	含水比 $W(\%)$	凍結指数 $F(^{\circ}\text{C}/\text{days})$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
				凍結深さ $Z(\text{cm})$	25	37	45	53	61	67	74	79	84	89
A 曲線	1.20	50	$C = Z/\sqrt{F}$	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
			凍結深さ $Z(\text{cm})$	37	58	76	91	105	117	130	141	150	161	171
B 曲線	1.80	15	$C = Z/\sqrt{F}$	3.7	4.1	4.4	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.0	5.1	5.2
			凍結深さ $Z(\text{cm})$	25	37	45	53	61	67	74	79	84	89	93

(3)理論最大凍結深さ

理論最大凍結深さとは、凍上対策工法を検討する場合の基準となる凍結深さをいい、凍上を起こしにくい均一な粗粒材料からなる地盤の最近 n 年間（設計相当年で 10 年以上）のうち、最も寒さの厳しい年の最大の凍結深さをとることを原則とする。

ア 実測による場合

実測から理論最大凍結深さを求める場合には、実測した年の最大凍結深さから、式 (8.6.2) を用いる。

$$D_{\max} = D_e \sqrt{F_{\max} / F_e} \quad \dots\dots\dots \text{式 (8.6.2)}$$

ここに、 D_{\max} ：理論最大凍結深さ (cm)

F_{\max} ：現地の最近 n 年間（設計相当年で 10 年以上）の最大凍結指数 (°C・days)

F_e ：現地で調査した年の凍結指数 (°C・days)

D_e ：換算最大凍結深さ (cm)

換算最大凍結深さとは、現地で実測した凍結深さから、現地の地盤が全て凍上を起こしにくい均一な粒状材料であるとした場合に、換算した凍結深さをいう。

凍結深さ内に路床土のような凍上を起こしやすい土層があるときは、次に示す式 (8.6.3) を用いて換算最大凍結深さを求めることができる。

$$D_e = D_c + 1.8D_f \quad \dots\dots\dots \text{式 (8.6.3)}$$

ここに、 D_c ：実測した凍結深さ内の凍上を起こしにくい粒状材料からなる層の厚さ (cm)

D_f ：実測した凍結深さ内の凍上を起こしやすい細粒材料からなる層の厚さ (cm)

概念図を図-8.6.2 に示す。

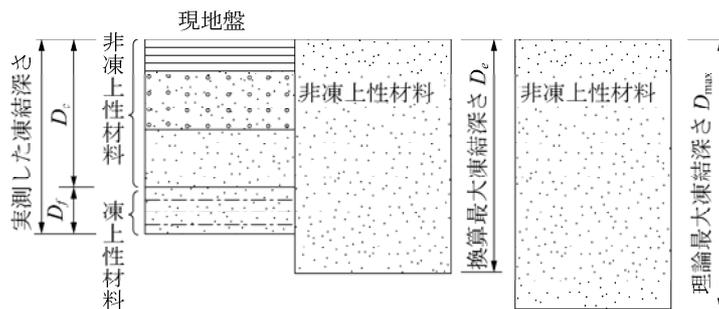


図-8.6.2 換算最大凍結深さと理論最大凍結深さ²⁾

凍結指数を求める場合、表-8.6.3 のように日平均気温の累計値が最大となる日を最初として、日平均気温の累計値が最小となる日までの日平均気温を積算し、日平均気温積算値の±最大値を表-8.6.3 の①欄に記入する。凍結指数は、①欄に記入した±最大値の絶対値を加えたものとなる。以上のことを図示したものが、図-8.6.3 である。

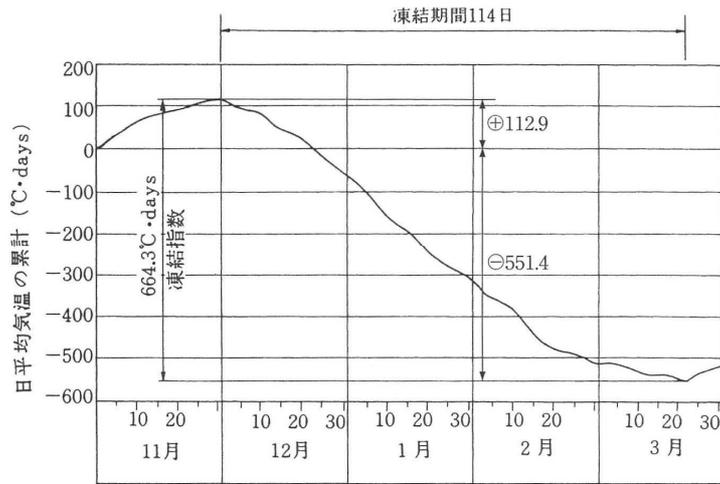


図-8.6.3 日平均気温から求めた凍結指数と凍結期間²⁾

表-8.6.3 日平均気温から求めた凍結指数²⁾

月	日	1	2	3	23	24	25	26	27	28	29	30	31	㊤欄
11	日平均気温	8.7	4.1	3.7	1.5	6.0	8.8	-0.7	0	1.2	6.0	1.3		
	累計	8.7	12.8	16.5	90.3	96.3	105.1	104.4	104.4	105.6	111.6	112.9		+最大 112.9
12	日平均気温	-4.5	-5.8	-5.7	-6.2	-8.8	-11.0	-11.9	-12.8	-7.0	-9.1	-8.5	-6.9	
	累計	108.4	102.6	96.9	-6.9	-15.7	-26.7	-38.6	-51.4	-58.4	-67.5	-76.0	-82.9	
1	日平均気温	-5.7	-6.7	-9.2	-6.1	-9.1	-8.1	-4.2	0.4	-5.2	-6.2	-11.2	-11.9	
	累計	-88.6	-95.3	-104.5	-285.0	-294.1	-302.2	-306.4	-306.0	-311.2	-317.4	-328.6	-340.5	
2	日平均気温	-11.4	-10.7	-1.3	3.8	-1.2	-3.0	-4.7	-6.0	-7.1				
	累計	-351.9	-362.6	-363.9	-498.6	-499.8	-502.8	-507.5	-513.5	-520.6				
3	日平均気温	-4.2	-1.2	2.7	0.8	-0.2	0.3	3.9	5.7	2.6	1.4	5.0	5.0	
	累計	-524.8	-526.0	-523.3	-550.2	-550.4	-550.1	-546.2	-540.5	-537.9	-536.5	-531.5	-526.5	-最大 551.4

注) 凍結指数 : 112.9 + 551.4 = 664.3°C · days

イ 計算による場合

計算によって理論最大凍結深さを求めようとする場合は、凍結指数として最近10か年のその地域の最大凍結指数をとり、これに対応する凍結深さを図-8.6.1から読み取り、これを理論最大凍結深さとする。