

採石技術指導基準書

(平成15年版)

経済産業省
資源エネルギー庁

ま え が き

本書は、採石業の実施に際し、一般的に採用すべき災害防止方法を説明し、採石業者の自主的な災害防止措置の指針とするとともに、都道府県が、採石法（昭和25年法律第291号）第33条の規定に基づいて行う「採取計画」の認否の処分に係る技術的な事項についての審査基準の参考として活用できるように作成したものである。

なお、本書（平成15年版）は旧版基準書（平成10年版）を一部改訂したものである。

平成15年8月

災 害 防 止 方 法

目 次

1 . 採掘の方法	1
(1) 露天採掘	1
表土除去	1
保全区域	1
転落石防止施設	1
濁水防止施設	1
採掘の範囲	1
採掘方法	1
(a) 砕石用原石の採掘	2
(b) 石材用原石の採掘	5
(c) 風化岩石の採掘	6
(d) 工業原料用原石の採掘	7
(2) 坑内採掘	8
天盤の厚さ	8
採掘方法	8
(a) 中段採掘法	8
(b) 残柱式・柱房式採掘法	9
(c) 採掘坑かくを上下2段以上設ける場合	9
2 . 発 破	12
(1) 通報	12
(2) 飛石防止	12
(3) 小 割	12
(4) 発破時刻	12
(5) 粉じん飛散防止	12
(6) 発破騒音・発破振動の防止	12
3 . 破碎・選別	13
(1) 設置位置	13
(2) 災害防止措置	13
(3) 作業時間帯	13
4 . 排水	14
(1) 場内水の排出	14
(2) 上流沢水等の処理	14
(3) 汚濁水処理施設	14

5 . 廃土、廃石、脱水ケーキ及び脱水ケーキの処理土の処理	15
(1) たい積場設置の事前措置	15
(2) たい積場の設置	15
(3) 脱水ケーキ及び処理土の物性を安定化するための措置等	16
(4) たい積の方法	16
(5) たい積場の維持管理	17
(6) 脱水ケーキ及び処理土の有効利用に当たっての留意事項	17
6 . 原石、製品並びに廃土等の運搬等	19
(1) 運搬の時間帯	19
(2) 運搬中の措置	19
(3) 粉じん発生防止	19
(4) 過積載防止	19
(5) 交通事故防止等	19
7 . 採掘終了時の措置	20
(1) 保全区域の土留工事	21
(2) 露天採掘終了後の残壁	21
砕石用原石採取場	21
石材用原石採取場	21
風化岩石採取場	21
工業原料用原石採取場	21
(3) 人に対する危害防止	21
立入禁止柵	21
埋立て	21
坑口閉塞	21
(4) 緑化	22
緑化の目的	22
適用植物の選定	22
基礎工	22
施工時期	22
施工後の管理	22
(5) 維持管理	22

1. 採掘の方法

(1) 露天採掘

露天採掘の場合には、これに伴う土地の崩壊、土砂の流出等の災害を防止するため、次のとおり措置するものとする。

表土除去

岩石の採掘に先行して表土及び風化物等を除去すること。

除去に当たっては、のり面を安全な傾斜に保持し、その範囲は、採掘中にあつては採掘箇所から10m以上（水平距離）とするが、更に地形及び土質等を十分に考慮して拡張すること。

保全区域

採掘箇所が他人の土地に隣接する場合は、隣地の崩壊を防止するため隣地との境界から一定の幅の表土を除去しない区域（以下「保全区域」という。）を設けること。

境界線から表土を除去するのり肩までの水平距離（以下「保全距離」という。）は、原則5m以上とするが、地形、表土の厚さ、土質、湧水の有無等を考慮し、隣地の崩壊を防止し得るよう拡張すること。ただし、最終採掘レベルが隣地と同一レベルとなる場合で隣地の崩壊のおそれがなく、跡地利用促進の観点から表土除去が適当と判断される場合は、保全区域を設けないことが出来る。

保全区域に接する表土を除去した後ののり面は、40°以下で、かつ、安全な傾斜とし、表土の崩壊が進行しないよう必要に応じて土羽打ち（整地、締め固め）、植栽、しがらみ、その他の保護工、土留工を施すこと。

転落石防止施設

起砕岩石、表土等が隣地に崩落するおそれのある箇所には、金網、土えん堤、石垣、コンクリートよう壁等、十分に効果のある転落石防止施設を設けること。

また、採掘ベンチの周辺部（端縁）で、転落石が生じるおそれがある箇所を採掘する場合には、転落石防止施設を設置するほか、転落石が生じない採掘方法によること。

濁水防止施設

採掘準備のための表土除去及び採掘範囲の拡大等に伴い、降雨時の場内水の流出量の増大が見込まれる場合には、濁水防止のための沈砂地を適切に設置すること。

採掘の範囲

岩石の採取による土地の崩壊等の災害を防止するため、山頂、稜線を含め採掘できる範囲となるよう、土地の確保等に努めること。

採掘方法

災害防止、終掘後の残壁保持と植栽、高能率かつ安定生産等の観点から、最も合理的な採掘方法である階段採掘法（以下「ベンチカット法」という。）を採用することとし、傾斜面採掘法、坑道式発破法等は原則として行わないこと。

採掘中に形成される残壁は、永久又は仮の存置いずれの場合においても、適当な採掘高さ以下毎に小段を設け、安全を保持し得る平均傾斜とすること。

起砕岩石をオープンシュートで運搬する場合は、岩石の投下に伴う周辺への岩石の流出等の災害を防止するため、シュート斜面は適当な高さ、傾斜とし、必要に応じ、原石流出防止堤又はネット等の設置及び粉じんによる災害を防止するための散水等の措置を講ずること。

掘下がり採掘（基準地盤面以下の方向に凹地状に行う採掘）の場合には、採掘により岩石採取場周辺の公共施設、建築物、田、畑、井戸等に被害を与えないよう十分な措置を講ずること。

なお、既存の採取場であって、傾斜面採掘法、坑道式発破法等による岩石採取を行っている場合には、速やかにベンチカット法へ移行すること。

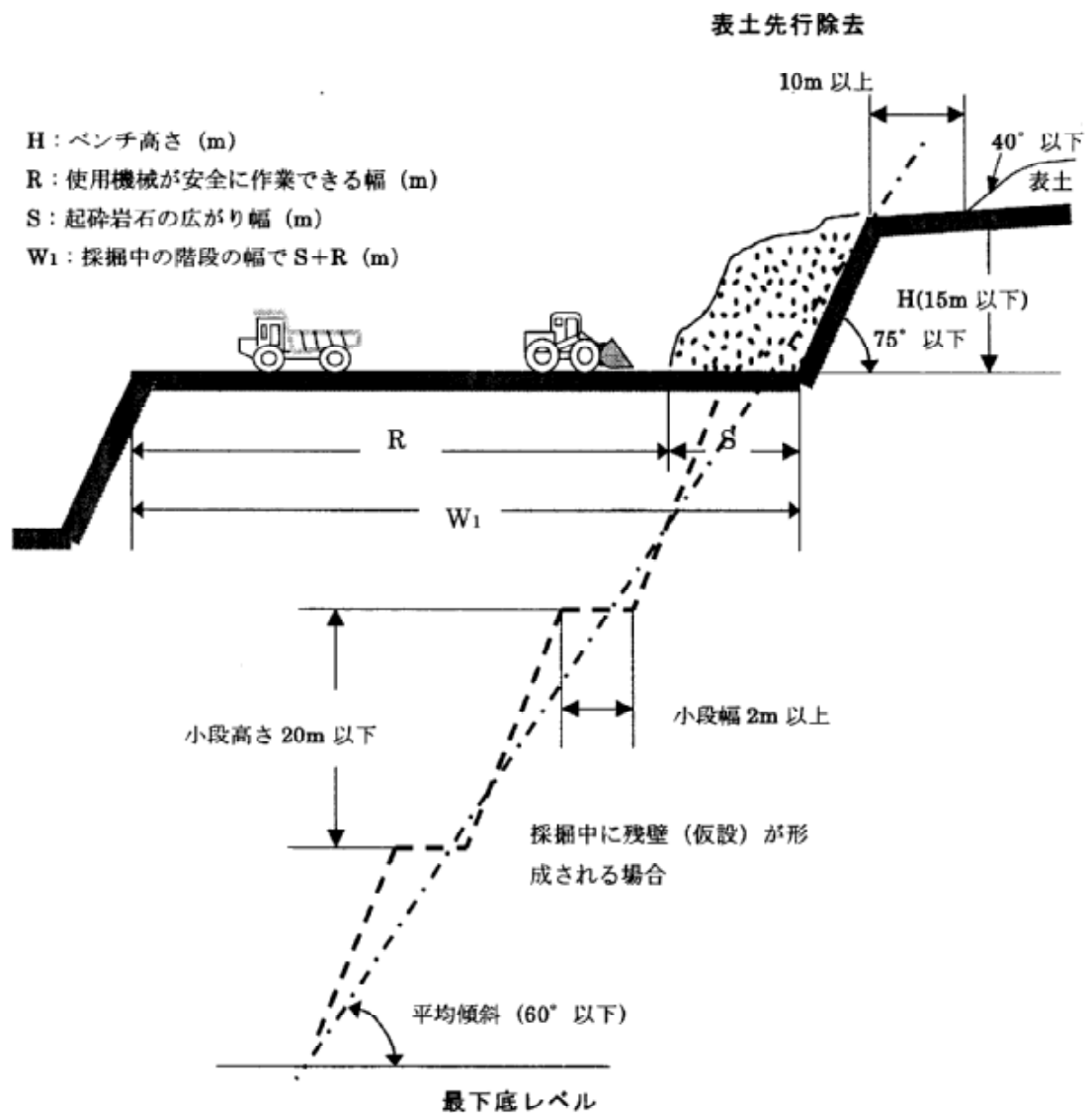
(a) 砕石用原石の採掘

(a-1) ベンチカット法（通常の場合）

砕石用原石の採掘の場合（石材用原石の採掘のうち、捨石等の用に供する岩石の採掘を含む）は、原則として採掘作業中のベンチの高さは1.5 m以下、ベンチの幅は W_1 以上（ $W_1 = S + R$ 、ただし、 S は起砕岩石の広がり幅、 R は使用機械が安全に作業できる幅）とすること。

また、掘削面の傾斜（各ベンチののり面が水平面となす角）は原則75°以下とし、岩質に応じて安全を保持し得る傾斜とすること。

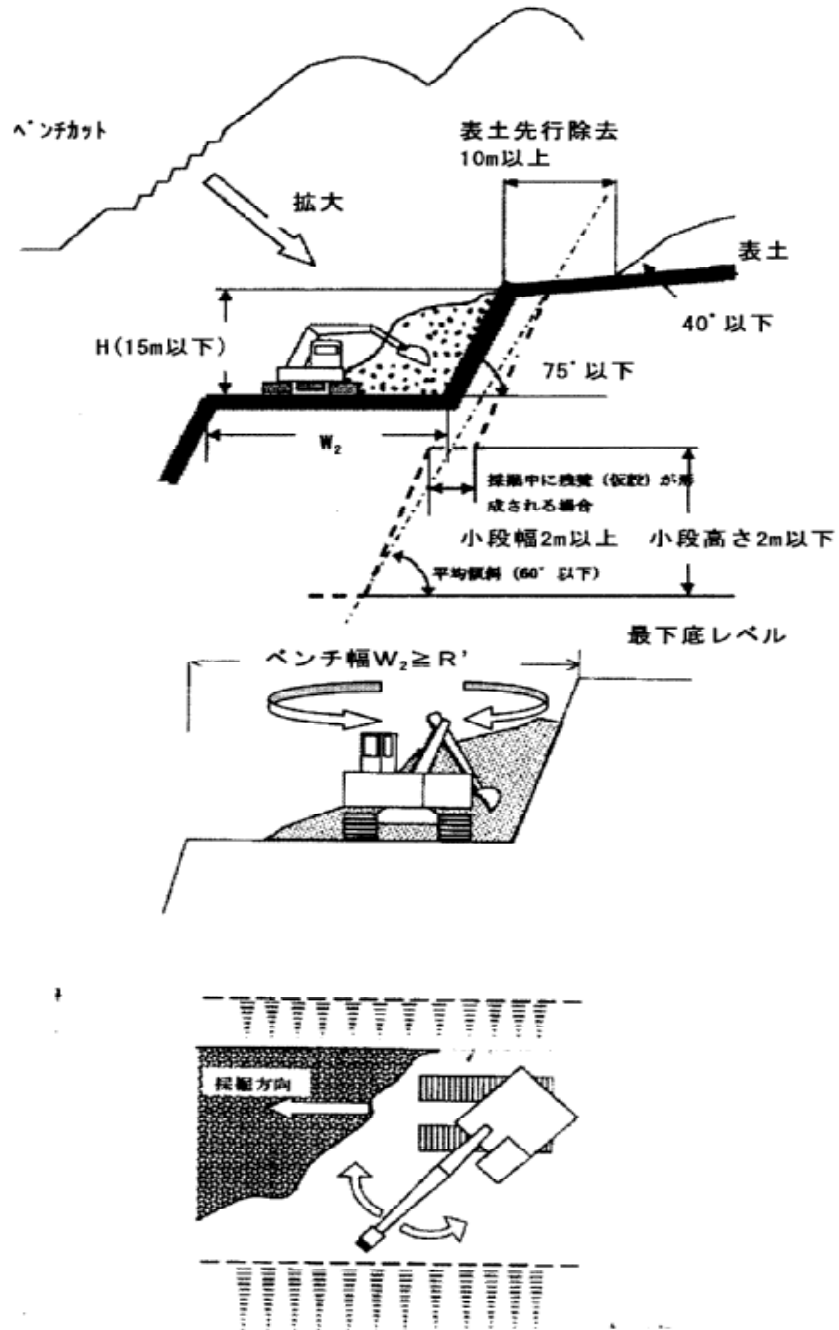
なお、採掘中に形成される残壁は、原則として高さ2.0 m以下毎に2 m以上の適切な幅を有する小段を設け、かつ、安全を保持し得る平均傾斜とすること。（第1 - 1図参照）



第 1 - 1 図 ベンチカット法による碎石用原石の採掘 (通常の場合)

(a-2) ベンチカット法 (ベンチ幅が十分に取れない場合)

ベンチカット法は、基本的には (a-1) と同様の方式によるべきであるが、地形、その他の理由によりベンチの幅が十分に取れない場合で、オープンシュート方式による採掘を行う場合には、履带式機械を用いる場合に限り、ベンチ幅は、 W_2 以上 ($W_2 = R'$ 、ただし、 R' は使用する履带式機械が安全に作業できる幅) とすることができる。ただし、適切な採掘計画とするなどにより可能な限りベンチ幅 (W_2) を広く取ることが望ましい (第1-2図参照)。なお、その際には視界を十分に確保すること。



第1-2図 ベンチカット法による碎石用原石の採掘
(ベンチ幅が十分に取れない場合)

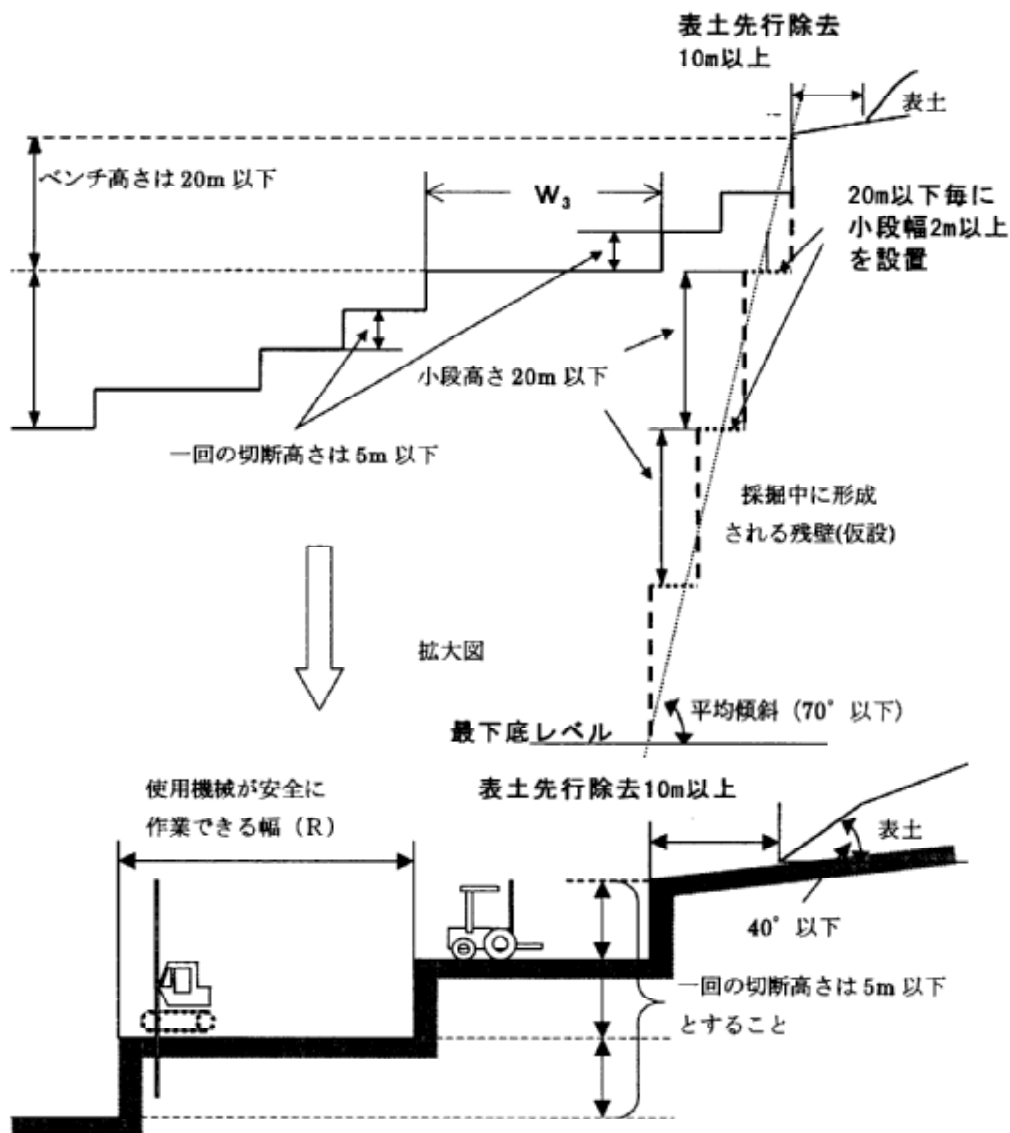
(b) 石材用原石の採掘

石材（切石、間知石等）用原石の採掘の場合は、原則として、採掘作業中のベンチの
高さは20m以下、1回の切断の高さは5m以下とし、ベンチの幅は W_3 m以上（ $W_3 = R$ 、
ただし、 R は使用機械が安全に作業できる幅）とする。

また、掘削面の傾斜は、岩質に応じて安全を保持し得る傾斜とすること。

なお、採掘中に形成される残壁は、原則として高さ20m以下毎に幅2m以上の適切
な幅を有する小段を設け、かつ、安全を保持し得る平均傾斜とすること。（第2図参
照）

発破等により岩石を起砕して捨石等の用に供する岩石を採取する場合は、原則として
(a) 砕石用原石の採掘（第1-1、1-2図参照）によること。



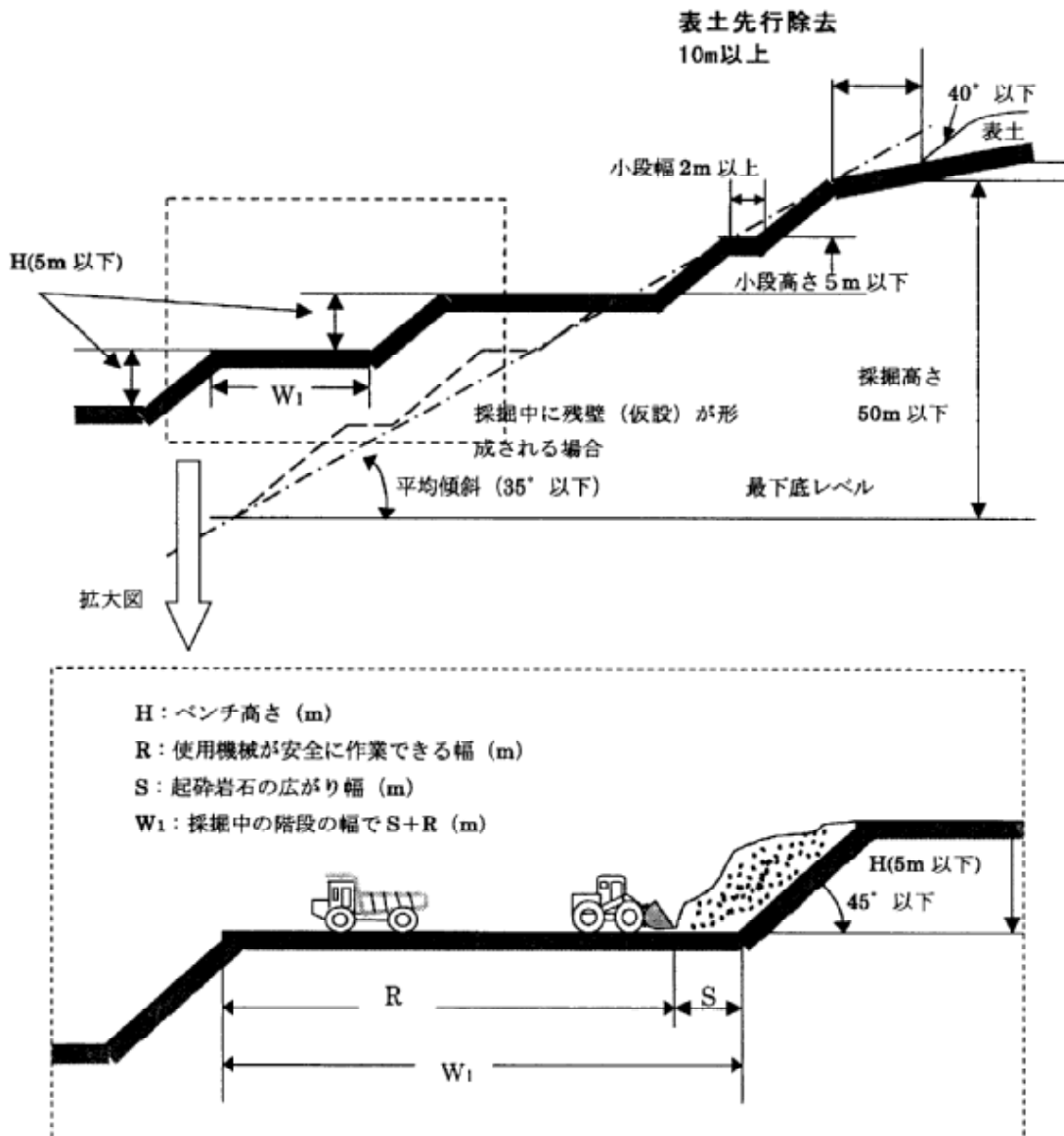
第2図 石材用原石の採掘

(c) 風化岩石の採掘

風化岩石（主として風化花崗岩、いわゆるマサ土、サバ土）の採掘の場合は、原則として採掘作業中のベンチの高さは5 m以下、ベンチの幅は W_1 m以上（ $W_1 = S + R$ 、ただし、 S は起砕岩石の広がり幅、 R は使用機械が安全に作業できる幅）とすること。

また、掘削面の傾斜は原則として 45° 以下とし、岩質に応じて安全を保持し得る勾配とすること。採掘箇所の総垂直高さは原則として50 m以下とし、その全体の傾斜は岩石の性質、賦存状態等を考慮して安全を保持し得る傾斜とすること。

なお、採掘中に形成される残壁は、原則として高さ5 m以下毎に2 m以上の適切な幅を有する小段を設け、かつ、安全を保持し得る平均傾斜とすること。（第3図参照）



第3図 風化岩石の採掘

(d) 工業原料用原石の採掘

その岩質及び採掘条件等に応じて、砕石用原石の採掘方法、石材用原石の採掘方法、風化岩石の採掘方法を準用すること。

(2) 坑内採掘

坑内採掘の場合には、これに伴う土地の陥没、沈下、亀裂等の災害発生を防止するため、岩石の種類並びにその状態及び採掘方法に応じ、天盤の厚さ、採掘坑かく（以下「採掘跡の空間」をいう。）、残柱の大きさ及び坑道の支保等を適正にするよう考慮し、原則として次の基準により採掘を行うものとする。

天盤の厚さ

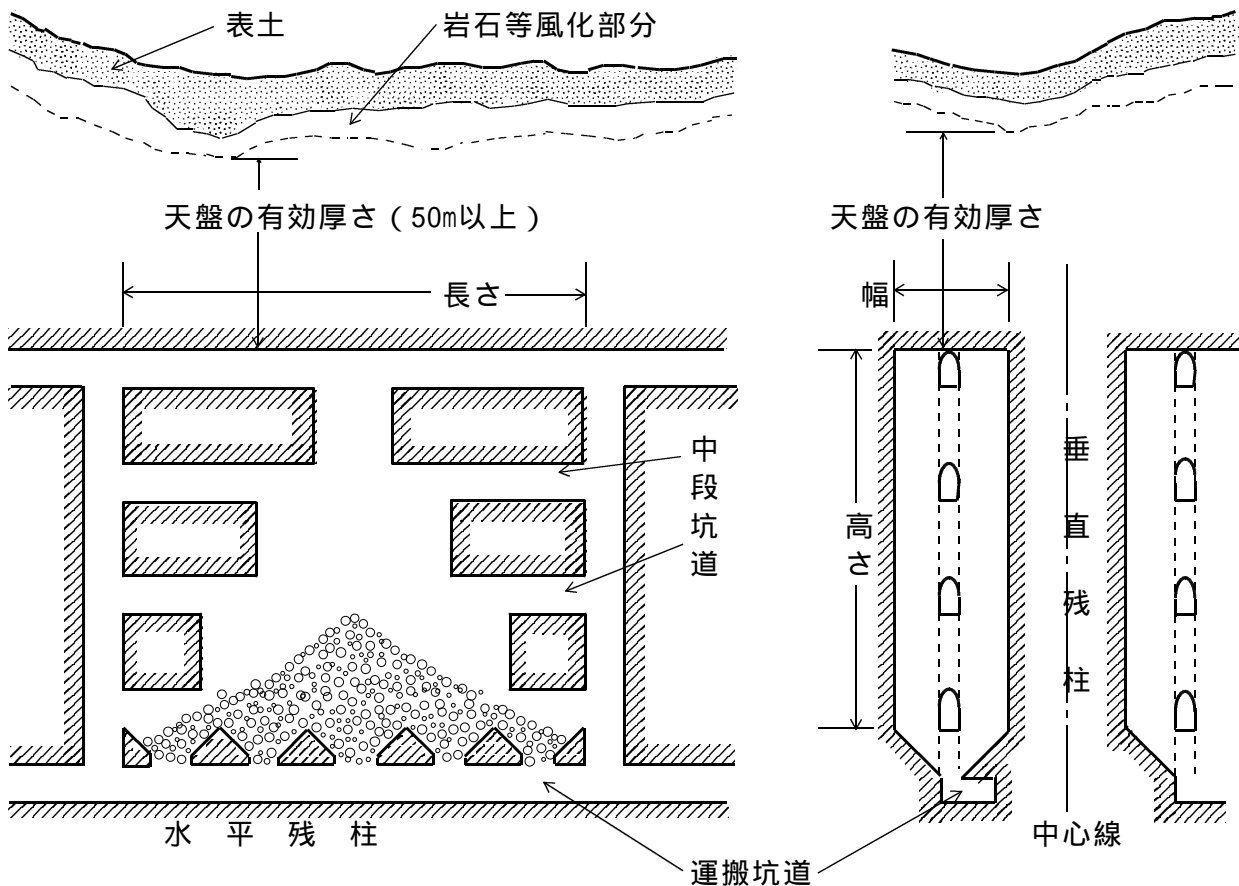
地表に近接する採掘箇所及びその周囲50m以内の天盤には、表土、岩石等風化部分の厚さを除き、有効厚さ50m以上の岩盤を残すこと。

採掘方法

(a) 中段採掘法

中段採掘法は、次の各号によること。（第4図参照）

- (イ) 採掘幅は、25m以下とすること。
 - (ロ) 採掘高さは、80m以下とすること。
 - (ハ) 採掘長さは、120m以下とすること。
- (ニ) 垂直残柱の幅は、次の各号により算出した数値のうち大なる数値以上とすること。
- ・ 採掘幅×0.8
 - ・ 採掘箇所の地表からの深さ及び採掘規格に応じて残柱の強度計算を行い安全率が10倍となる残柱幅の数値。



第4図 中段採掘法

(b) 残柱式・柱房式採掘法

残柱を置きながら採掘を進めていく採掘法のうち、柱状に残柱を置く場合にあっては、次の各号によること。（第5図参照）

- (イ) 採掘高さは、5 m以下とすること。
- (ロ) 採掘幅は、10 m以下とすること。
- (ハ) 垂直残柱の幅は、採掘幅と同等以上とすること。

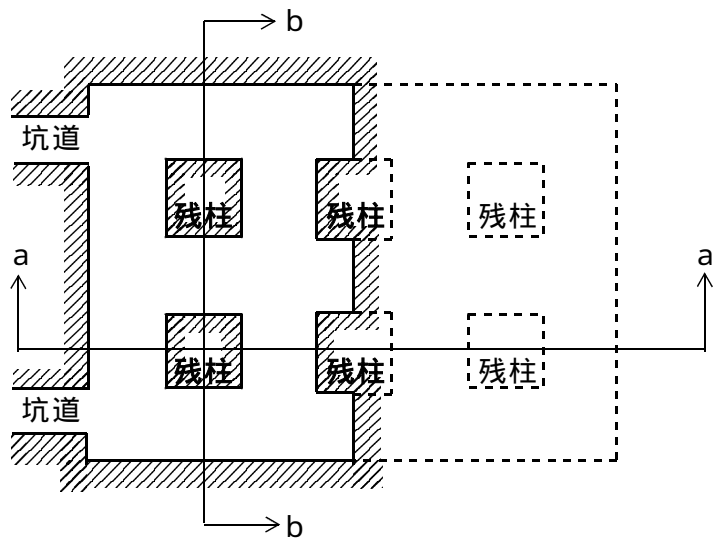
残柱を置きながら採掘を進めていく採掘法のうち、帯状に残柱を置く場合にあっては、次の各号によること。（第6図参照）

- (イ) 採掘高さは、5 m以下とすること。
- (ロ) 採掘幅は、15 m以下とすること。
- (ハ) 採掘長さは、50 m以下とすること。
- (ニ) 垂直残柱の幅は、採掘幅の80%以上とすること。

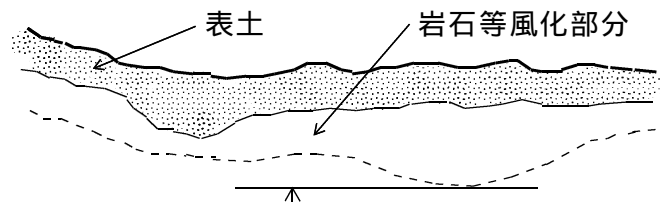
ただし、上記いずれの場合も、採掘箇所の地表からの深さ及び採掘規格に応じて残柱の強度計算を行い、安全な採掘を行うこと。

(c) 採掘坑かくを上下2段以上設ける場合

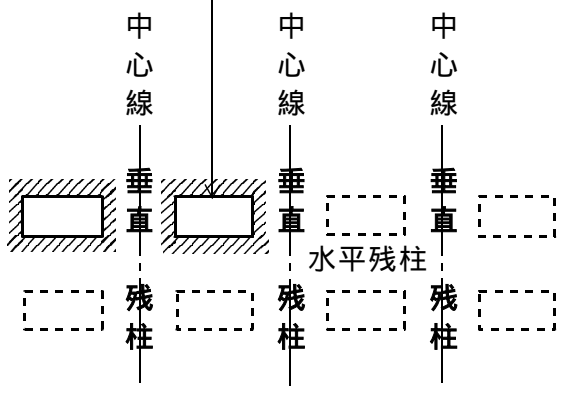
前記(a)・(b)の採掘法において、採掘坑かくを上下2段以上設ける場合の水平残柱の厚さは採掘幅と同等以上とし、上段、下段の垂直柱はその中心線が一致するように設けること。



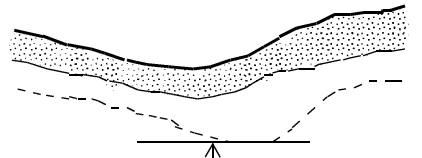
< 平面図 >



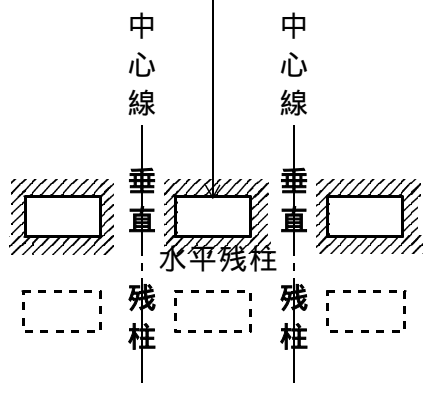
天盤の有効厚さ (50m以上)



< a - a 断面 >

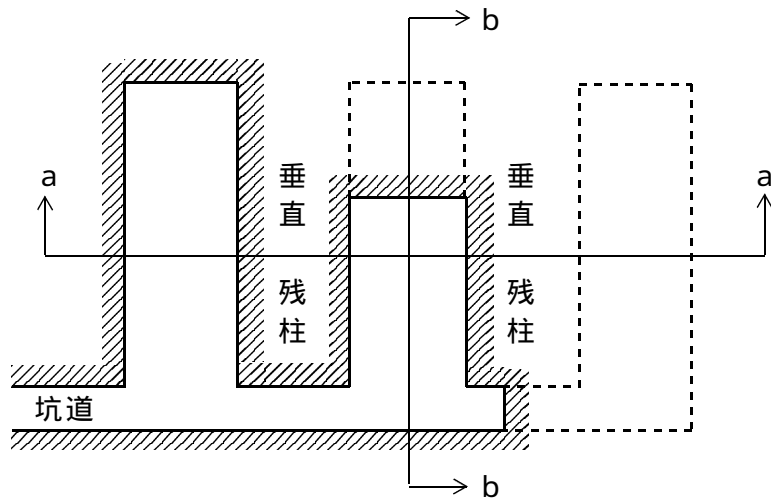


天盤の有効厚さ (50m以上)

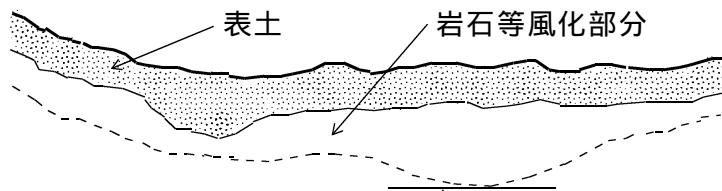


< b - b 断面 >

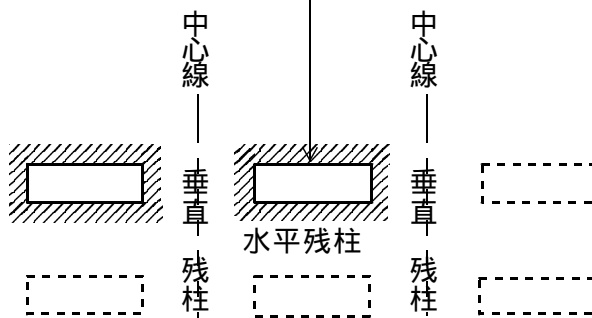
第5図 柱状の残柱を使用する残柱式・柱房式採掘法



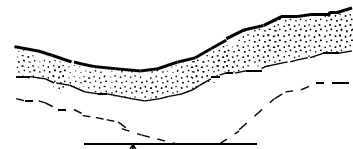
< 平面図 >



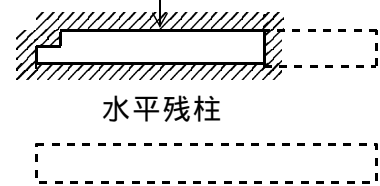
天盤の有効厚さ (50m以上)



< a - a 断面 >



天盤の有効厚さ (50m以上)



< b - b 断面 >

第6図 帯状の残柱を使用する残柱式・柱房式採掘法

2. 発 破

発破を行う場合には、飛び石に伴う災害、粉じん飛散、騒音・振動公害を防止するため、次のとおり措置するものとする。

(1) 通 報

発破を行うときは、あらかじめ危険区域を定め、同区域に通ずる道路に見張人を配置し、同区域内に発破関係人のほかは立入らぬよう措置をするとともに、サイレン等を用いて、発破予告、発破警報並びに発破終了の通報措置を講ずること。

(2) 飛石防止

採掘箇所の掘進方法、発破孔のせん孔方向及び装薬量の適正化を図るとともに、隣接地等に対し飛石による危険のおそれがあるときは、飛石防止等の措置を講ずること。

(3) 小 割

小割を行う場合には小割機によることが望ましいが、発破による場合は、装薬量を適正にし、安全な場所で行い、必要に応じ飛石防止の措置を講ずること。ただし、原則として張り付け発破は行わないこと。

(4) 発破時刻

発破の実施は、周辺状況を勘案しなるべく一定時刻に行うこと。

(5) 粉じん飛散防止

せん孔、発破及び起砕岩石の積込作業等に伴って発生する粉じんの飛散を防止するための措置を講ずること。

(6) 発破騒音・発破振動の防止

発破箇所周辺の状況を勘案しつつ使用する火薬類の適正化を図り、発破による騒音・振動公害の防止に努めること。

3 . 破碎・選別

採石場における破碎・選別プラントの稼働に伴い発生する汚濁水、粉じん、騒音、振動等による災害を防止するため、次のとおり措置するものとする。

(1) 設置位置

破碎・選別施設の設置場所は、周辺の環境を考慮して、汚濁水処理、防音・防振、防じん効果がある位置に選定すること。

(2) 災害防止措置

破碎・選別設備には、汚濁水の処理施設、集じん装置若しくは散水装置並びに防音・防振装置を設ける等により、汚濁水の排出防止、粉じんの飛散及び騒音・振動の防止に努めること。また、必要に応じ防音材による遮蔽、密閉建屋構造内への収納等の措置を講ずること。

なお、水質汚濁防止法（昭和45年法律第138号）、大気汚染防止法（昭和43年法律第97号）、騒音規制法（昭和43年法律第98号）、振動規制法（昭和51年法律第64号）、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（昭和45年法律第137号）及び関係条例に基づく基準が適用される場合には、それに適合するよう措置すること。

(3) 作業時間帯

騒音・振動の発生する作業は、周辺の状況を勘案し、適切な時間帯に行うこと。

4 . 排水水

岩石採取場内から場外に排出される破碎施設・選別施設からの汚濁水、場内の降雨水・湧水、廃土又は廃石のたい積場からの排水水等による災害を防止するため、次のとおり措置するものとする。

(1) 場内水の排出

場内から場外への排水水については、水質汚濁防止法（昭和45年法律第138号）及び関係条例に基づく基準が適用される場合にはそれに適合するよう処理し、また適用がない場合においても下流において災害を起こさないように沈殿池等の処理施設で処理して排水すること。

(2) 上流沢水等の処理

岩石採取場の上流の沢水及び山腹水は、これが場内を貫流することによって汚濁することのないよう必要に応じ沢水排水路、又は山腹水路等の所要の施設を設け、下流に誘導すること。

(3) 汚濁水処理施設

汚濁水処理施設は、地すべり等地盤の崩壊のおそれのない箇所に設置すること。

汚濁水処理施設は十分な処理能力を有するものとする。

汚濁水処理施設から河川等の公共用水域に接続する排水路は、再汚濁を防止し、通水能力を維持し得るコンクリート造りその他の堅固な構造とすること。

沈殿池等

- (a) 沈殿池は、処理能力を維持し得るコンクリート造りその他の堅固な構造とすること。
- (b) 沈殿池は、必要に応じ沈降促進剤等の投入その他所要の沈降促進措置を講ずることができるものとする。
- (c) 沈殿池は、浚渫時にも沈殿操作を続けられるよう、原則として2系列設置すること。
- (d) 沈殿池、沈砂池は、有効水深（沈殿池等が有効に働くために必要な深さ）を維持するため浚渫する等、常に最大機能を発揮できるよう必要な措置をとること。
- (e) 浚渫した土砂は、十分脱水した後、たい積場にたい積する等適切な措置を講ずること。

5．廃土、廃石、脱水ケーキ及び脱水ケーキの処理土の処理

廃土、廃石、脱水ケーキ及び脱水ケーキの処理土（以下、「廃土等」という。）のたい積場の崩壊又はたい積物の流出に伴う災害を防止するため、たい積場設置の事前措置、たい積場の設置、脱水ケーキ及び処理土の物性を安定化するための措置等、たい積の方法、たい積場の維持管理、脱水ケーキ及び処理土の有効利用に当たっての留意事項については、次のとおりとする。

(注) 脱水ケーキとは、湿式砕石生産施設における岩石の破砕、粉碎及び分級工程の水洗に伴い副次的に生じる微粒分を脱水したものをいう。処理土とは、脱水ケーキと廃土、廃石又は石灰等改良材との混合物をいう。

(1) たい積場設置の事前措置

たい積場の設置に際しては、事前に周辺の地形、物件等を調査し、次の各号による適切な位置を選定するとともに、岩石採取に伴って発生する廃土、廃石及び発生する脱水ケーキの量を予め調査、予測し、その量及び性状に見合うたい積場用地を確保すること。

なお、廃土等を埋立地等へ搬出するための一時的に置きたい積場であっても、採取計画に基づく規制の対象となるので、その量に見合う用地の確保等について十分配慮すること。また、岩石採取場外に搬出する場合には、関係法令を遵守すること。

下流側の近くに人家、構築物等が存在しないこと。

土石の流入が少ないこと。

山崩れ、地すべり等のおそれがないこと。

集水量の大きい地形でないこと。

湧水量が少なく、基礎地盤が適切なものであること。

河川の付近はできるだけ避けること。

～ のほか、たい積物の流出等の災害防止の観点から不適切な場所でないこと。

(2) たい積場の設置

たい積場内へ流入するおそれのある沢水及び山腹水並びにたい積場内の流下水をたい積場の下流に誘導するため、必要に応じて十分な通水能力を有する次の各号に該当する排水施設を設置するとともに、必要に応じ汚濁水処理施設を設置すること。

(a) 場外水排除施設（沢水排水路又は山腹水路）

(b) 場内水排除施設（暗きょ）

たい積場を設置するときは、安定計算を行い、その安全性を確認すること。なお、設計、施工管理及び安定性の確認に必要な基礎地盤、築堤材料及びたい積物に関する物性値は土質試験により取得することとする。ただし、予め試験により物性値を取得することができない場合には推定値により安定計算を行ってもよいこととするが、適切な時期に試験を行い必要な措置を講ずるものとする。

たい積場ののり尻には強度計算を行った上で土留施設を設けること。ただし、上記安定計算により、その安定性が確認された場合には、この限りではない。

土留施設は、自重及び外力に対し、恒久的に安全なかん止提（石塊、土、重力式コンクリート又は石積）又はよう壁（コンクリート又は石積）とすること。

原則 ～ によるが、たい積場の崩壊防止、粉じん防止、たい積物の流出防止等災害防止のために必要な措置及び管理を行い、安定的にたい積が可能な場合にあってはこの限りではない。

掘り下がり採石場跡地にたい積する場合にあっては、～ によらず、次の各号のとおり措置すること。

- (a) たい積する場所は安定した地盤又は岩盤内であること。
- (b) 転落防止、粉じん防止、たい積物の流出防止等災害防止のために必要な措置を講じていること。
- (c) 必要に応じ、場外水排除施設及び汚濁水処理施設を設置すること。

たい積場の建設に当たっては、工事記録簿を作成し土留施設、排水施設等の工事途中における地形及び地質状態の変化並びに工事状況等の記録（写真を含む）を保存すること。

(3) 脱水ケーキ及び処理土の物性を安定化するための措置等

湿式砕石生産施設の破砕、粉碎及び分級工程における水洗施設

- (a) 適正な能力によるシクナー、フィルタープレス等の水洗施設により脱水を行うこと。
- (b) 凝集剤使用に当たっての留意点
 - ・ 岩質により凝集効果が変わることを留意の上、適正な薬剤を使用すること。
 - ・ 凝集剤の選定に当たっては、これらが及ぼす環境への影響の観点から成分を確認すること。
 - ・ 凝集効果は薬剤の量とは比例しないことに留意し、適正な薬剤量を使用すること。

脱水ケーキの強度向上に必要な方法

水洗施設における脱水のみでは脱水ケーキの強度が十分でない場合には、排水性のよい廃土若しくは廃石と適量混合又は石灰等改良材を適量添加し混合するか、サンドイッチ工法とすることにより必要とされる物性を満たすよう調整すること。

環境関連基準の遵守

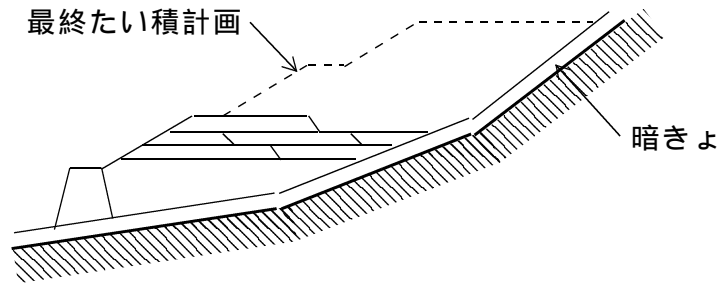
たい積物が環境に悪影響を与えないよう、関係法令を確認し、遵守すること。

(4) たい積の方法（掘り下がり採石場跡地にたい積する場合にあっては適用せず）

たい積に当たり、地盤面が草、竹木等で覆われているときは、これらを取り除き、地盤を露出させること。また、積雪地においては除雪を完全に行ってからたい積すること。

廃土等のたい積は、原則として水平層状たい積法によることとし、次の各号のとおり措置すること。

- (a) 1回の積上げ高さは1m以下とし、十分に締め固めを行った後に、上層の積上げを行うこと。
- (b) 高さ10m以内毎に幅2m以上の小段を設けること。



第7図 水平層状たい積法の概念

たい積場においては、粉じんの発生防止、のり面保護及びたい積場の地山化を促進するため、完成したのり面には順次、できるだけ速やかに、芝張り、実播、覆土植栽等の措置を行うこと。

(5) たい積場の維持管理

たい積場の維持管理

土留施設、排水施設、のり面の状況等について、定期的な点検及び管理を行い、記録を保存すること。

安全性の確保

異常な浸出水があるとき等たい積物の安全性に疑問のある場合には、直ちに災害の発生を未然に防止するための措置を講ずるとともに、安定計算を行い所要の安定度を確保するために必要な措置を講ずること。

計測施設

- (a) たい積場には、地形、たい積方法、規模、たい積物の種類、土留施設の種類等を勘案し、必要に応じ、降水量、沈下量、間げき水圧その他の安全上必要な測定値を測定するための施設を設けること。
- (b) 計測記録簿を作成し、測定値の記録を保存すること。

(6) 脱水ケーキ及び処理土の有効利用に当たっての留意事項

脱水ケーキ及び処理土を有効利用することは、たい積物の減量化に繋がり、ひいては、たい積場の崩壊防止、粉じん防止、たい積物の流出防止等災害防止に大きく寄与することから、積極的に推進することが望まれる。

なお、脱水ケーキ及び処理土の有効利用を図るに当たっては、以下の点に留意すること。

脱水ケーキの性状、発生量、利用目的等に応じて、適切な処理方法を選定すること。

脱水ケーキ及び処理土を岩石採取場内に仮置きする場合は、品質が低下しないよう適切な措置を講じるとともに、周辺環境に影響を及ぼさないようにすること。

脱水ケーキ及び処理土を運搬する際には、後述の「6. 原石、製品並びに廃土等の運搬等」に従い運搬すること。

6．原石、製品並びに廃土等の運搬等

原石、製品並びに廃土等の積込及び運搬に伴う粉じん、騒音及び振動等による災害を防止し、また、ダンプトラックによる過積載防止等交通安全対策の強化を図るため、関係法令を遵守するとともに、次のとおり措置するものとする。

(1) 運搬の時間帯

運搬道路は、付近住民への影響を考慮して選定することとし、かつ、運搬作業はできるだけ通学・通勤時間帯及び深夜を避けること。

(2) 運搬中の措置

運搬中における粉じん発生防止並びに運搬物の漏洩及び落下防止のため、シートカバーの装着等必要な措置を行うこと。

(3) 粉じん発生防止

積込み場、場内道路及び採取場から公道にいたるまでの道路等については、必要に応じ、舗装、散水、清掃その他の粉じん発生防止の措置を行うこと。また、必要に応じ採取場近隣の公道等への散水、清掃等を行うこと。

必要に応じ、場内の出入口付近に洗車ピット等を設置し、場内の泥土を持ち出さないようにすること。

(4) 過積載防止

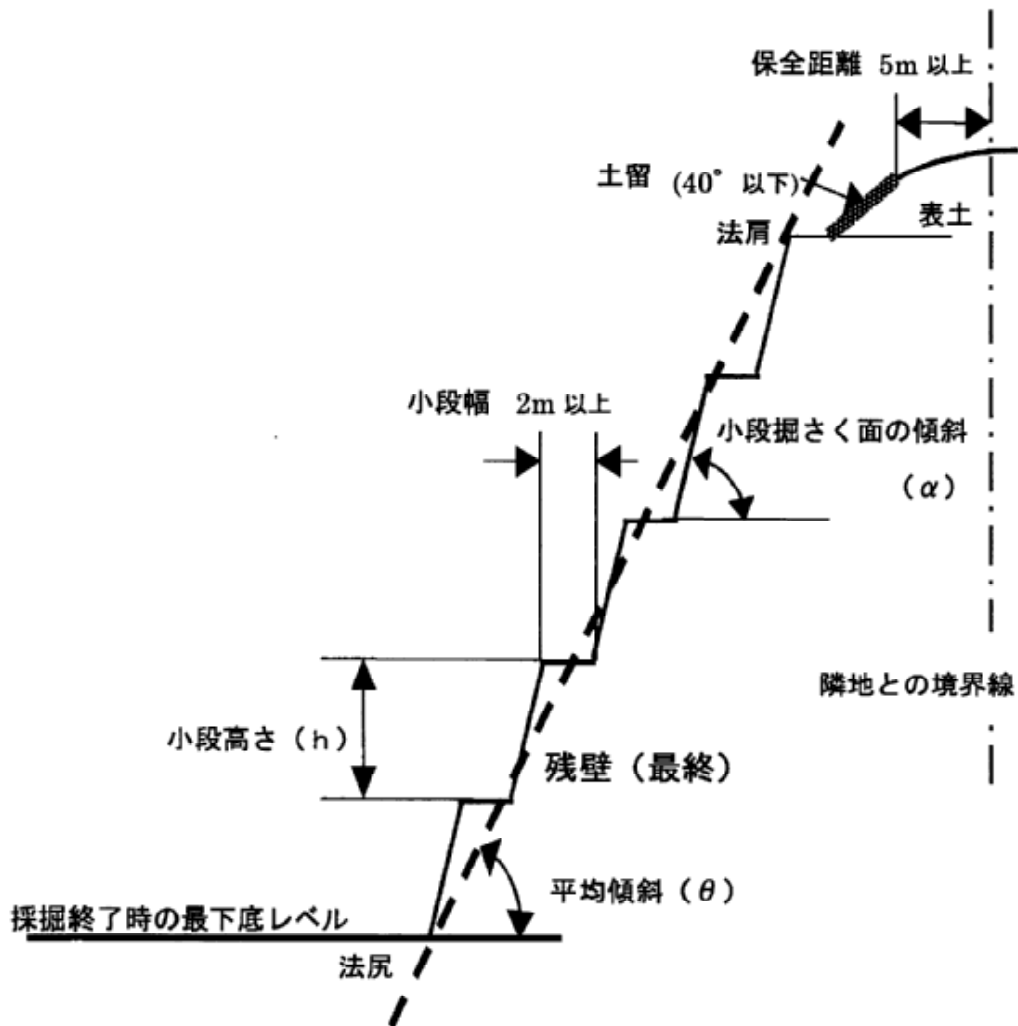
過積載の防止のため、検量の方法を定めるとともに、さし枠装着車等の不正改造車に対し、岩石、製品及び土砂等の積み込みを行わせないこと。また、従業員その他の関係者に対し、過積載防止に関する教育等必要な措置を行うこと。

(5) 交通事故防止等

土砂等を運搬する大型自動車による交通事故の防止等に関する特別措置法（昭和42年法律第131号）第12条第1項に規定する交通事故等の防止を目的とする団体の設立並びに交通事故防止対策のための協議会及び協定への加盟に努めること。

7. 採掘終了時の措置

採掘終了時においては、採掘終了後の災害を防止するため、次のとおり処置するものとする。



	平均傾斜 (θ)	小段掘さく面の傾斜 (α)	小段の高さ (h)
砕石用原石	60° 以下	75° 以下	20m以下
石材用原石	70° 以下	90° 以下	20m以下
風化岩石	35° 以下	45° 以下	5m以下

(注) 平均傾斜 (θ) は、「法肩と法尻を結んだ線と、採掘終了時の最下底レベルがなす角」をいう。

第8図 露天採掘終了後の概念

(1) 保全区域の土留工事

隣地との間の保全区域が崩壊しないよう、必要に応じて土留工事を施すこと。

(2) 露天採掘終了後の残壁

露天採掘終了後は、残壁の崩壊等の災害を防止するため、岩質、岩盤の状況等に応じて、適当な高さと幅を有する小段を設け、安全を保持し得る傾斜をとること。のり面は必要に応じて整形し、保護工事を行うこと。

残壁の形状は、採石場の区分に応じて次の各号を基準とすること。

砕石用原石採取場

砕石用原石の生産を目的とした採取場（石材用原石の採取場のうち、捨石等の用に供する岩石の採取場を含む）については、原則として高さ20m以下毎に2m以上の適切な幅を有する小段を設け、かつ、残壁の平均傾斜は60°以下とすること。

石材用原石採取場

石材（切石、間知石等）用原石の生産を目的とした採取場については、原則として高さ20m以下毎に2m以上の適切な幅を有する小段を設け、かつ、残壁の平均傾斜は70°以下とすること。

風化岩石採取場

風化岩石（主として風化花崗岩、いわゆるマサ土、サバ土）の採取場については、特に雨水等による掘削のり面の洗掘防止の処置を講ずること。残壁の形状は、原則として高さ5m以下毎に2m以上の適切な幅を有する小段を設け、平均傾斜は35°以下とし、当該風化岩石の性状に応じて適切な形状とすること。

工業原料用原石採取場

その岩質及び採掘条件等に応じて、砕石用原石採取場、石材用原石採取場、風化岩石採取場の残壁形状を準用すること。

(3) 人に対する危害防止

採掘終了後における落石等による人に対する危害を防止するため、次の措置を講ずること。

立入禁止柵

落石及び人の転落のおそれがある残壁の周囲には立入禁止柵を設けること。

埋立て

掘り下り採掘終了後の凹地は、環境条件を考慮しつつ他用途に活用する計画がある場合を除き埋立等適切な措置をすること。

坑口閉塞

坑口は閉塞すること。

(4) 緑化

採掘跡地は、他用途に活用する計画がある場合等を除き、原則として順次緑化すること。

緑化の目的

採掘跡地の緑化の目的が、水土保全、環境保全、景観保全、生態系保全のどの機能を主とするか判断し、かつ、できるだけこれらの機能を併せ持つように緑化すること。

適用植物の選定

適用植物は、気象条件、土壌条件等を考慮し、復元すべき目標（高木、低木、草本、つるなど特殊樹草）を決めてから選定すること。ただし、草本の単純群落は防災上、景観上、好ましくないなので、可能な限り木本を併用すること。

基礎工

小段には必要に応じ有機物の多い客土を行うこと。ただし、小段から客土が流出するおそれがあるところでは、土のうやネット等を設置することが望ましい。また、過湿と乾燥のおそれがある場合には、排水施設や被覆工等を適宜行うこと。

施工時期

緑化施工の時期は、適用植物、方法、気象条件等を考慮すること。

施工後の管理

緑化は1回の施工だけで完成するものではないので、追肥、不成功地への補植、次代の適用木の植栽等を随時行うこと。

(5) 維持管理

採掘終了後も跡地処理工事等が安定するまで、又は、採掘跡地の管理責任が消滅するまで、採掘跡地の状況について点検、管理を行うこと。

参 考 资 料

〔参 考 資 料 目 次〕

1	露天採掘	
(1)	表土除去	1
(2)	保全区域	1
(3)	転落石防止施設	1
(4)	採掘の範囲	2
(5)	採掘方法	3
(a)	砕石用原石の採掘	5
(b)	石材用原石の採掘	6
(c)	風化岩石の採掘	7
2	坑内採掘における垂直残柱の設計	9
3	発破における適正装薬量の算定	
(1)	1 自由面の発破	11
(2)	2 自由面の発破	11
(3)	小割発破	12
(4)	係数諸表	12
4	流出量の算定	
(1)	降雨による流出量	15
(2)	集水面積	15
(3)	流出係数	15
(4)	流達時間	16
(5)	降雨強度	17
5	沈殿池及び沈砂池の設計と管理	
(1)	沈殿池	20
(2)	沈砂池	23
(3)	沈殿地の管理	24
(4)	その他	25
6	通水能力の算定	26

7	土留施設の設計方式	
(1)	土留施設の設計通則	29
(2)	地震力	29
(3)	土圧	30
(4)	石塊かん止堤	31
(5)	土かん止堤	32
(6)	コンクリート重力かん止堤	34
(7)	石積よう壁	40
(8)	コンクリートよう壁	41
8	たい積場の安定計算方式	42
	〔円弧すべり面法解説〕	
9	緑化技術	
(1)	復元目標	47
(2)	緑化植物の発芽・成育	47
(3)	主な緑化植物の性状	49
(4)	施工	51
(5)	採石地の緑化例	53
(6)	植生調査	54
10	廃土、廃石、脱水ケーキ及び脱水ケーキの処理土の処理	
(1)	湿式砕石生産施設のフロー及び水洗施設の能力について	56
(2)	水洗施設で使用する凝集剤の選定と使用方法について	57
(3)	脱水ケーキの強度向上に必要な方法	57
(4)	環境関連基準の遵守	58
(5)	排水施設について	58
(6)	土質試験について	60
(7)	災害防止のために必要な措置を講じている場合のたい積方法について	61
(8)	計測施設を設置する際の留意事項	61
(9)	脱水ケーキ及び処理土の有効利用に当たっての留意事項	61

(1) 表土除去

岩石を露天採掘により採取するには、表土及び風化物等（以下「表土」という。）の除去を行い岩石を露出させる必要がある。表土の除去が不十分であると、表土、浮き石等の崩壊、製品に付着することによる品質低下、生産能率の低下等の弊害を引き起こすことになるので、採掘に先行して表土を十分に除去するのが基本である。（ただし、採取計画上最終残壁となる箇所は、「保全区域」及び「採掘終了時の措置」等関係する記述を参照のこと。）

表土の除去に当たっては、のり面を安全な傾斜に保持して行き、表土の除去範囲は、のり面の崩壊が採掘箇所等に及ばないように、採掘中にあつては採掘箇所から10m以上（水平距離）になるようにする。なお、地表、地質、試錐等の事前調査結果から、のり面崩壊の影響が採掘箇所等に広く及ぶおそれのある場合には、拡張する。

(2) 保全区域

採掘箇所が他人の土地に隣接する場合は、隣地の崩壊を防止するため隣地との境界から一定の幅の表土を除去しない区域（以下「保全区域」という。）を設けなければならないが、その範囲は、原則として、表土を除去したのり肩から5m以上（水平距離）とする。なお、採掘箇所毎に地形、表土の厚さ、土質、湧水の有無等諸条件が異なるので、その条件に対応して、隣地の崩壊を防止しうよう保全区域の幅を拡張する。ただし、最終採掘レベルが隣地と同一レベルとなる場合で、隣地の崩壊のおそれがなく、跡地の有効活用促進の面から保全区域を設けず平坦化することが適切な場合は、保全区域を設けないことが出来る。

保全区域に接する表土を除去した後ののり面傾斜は、 40° 以下で、かつ、安全な傾斜とし、表土の崩壊が進行しないよう必要に応じて土羽打ち（整地、締め固め）、植栽、しがらみ、その他の保護工、土留工を施す。

また、当該採掘箇所が森林法等他の法令の適用を受け、当該法令において保全区域の範囲、保全区域に接する表土を除去した後ののり面の傾斜等に関し別途基準が定められている場合には、当該基準に照らし適正であること。

(3) 転落石防止施設

転落石防止施設は、崩壊が予想される転落石の大きさ、表土の量等に対し、十分な強度、規模が必要である。特に、公共施設等に隣接する場合は、転落石防止施設のほか、必要に応じ、クレーク（壕）の設置、十分な保安距離の確保等の措置を行う。また、採掘ベンチ周辺部（急傾斜となっている場合が多く、転落石が生じるおそれがある箇所）を採掘する場合、採掘方法によっては、転落石を生じ、斜面下方の施設等に損傷を与える場合が想定されるため、採掘（処理）にあたっては十分な注意が必要である。このような場所を採掘（端縁（ハブチ）処理）する場合には、転落石防止施設を設置するほか、転落石を生じない採掘方法（弱装薬発破

法、静的破碎剤などによる無発破工法、ブレーカ等の重機による破碎処理など)によること。

(4) 採掘の範囲

岩石の採取に当たっては原則後述するベンチカット法によるが、ベンチのとり方により、山頂にベンチを造り採掘の進行に伴い山全体が次第に低くなる山頂型(図1-1参照)、山の斜面にベンチをとり山腹を採掘する山腹型(図1-2参照)及び基準地盤面以下の方向に凹地状に採掘する掘下がり型(図1-3参照)に大別される。

いずれの方式を採用するかは、採掘対象区域の地形、採掘権利の範囲、地理的環境等の条件により制約されるが、残壁の崩壊等による災害の防止、採掘跡地の利用には山頂型ベンチカット法による採掘が有利である。山頂型ベンチカット法は尾根や峰を丸ごと採掘する方式であるが、我が国においては、古来の山地利用形態による慣習から、山の尾根や峰を土地の境界とする例が多く、本方式の採用のためには、採掘権利を含む土地の確保等が必要である。

また、同様の理由から、隣接採石場がある場合には相互の同意により採掘境界に未採掘地域が残置しないよう協調・共同採掘を実施することが災害防止、採掘跡地の利用上有効であり積極的に推進すべきである。

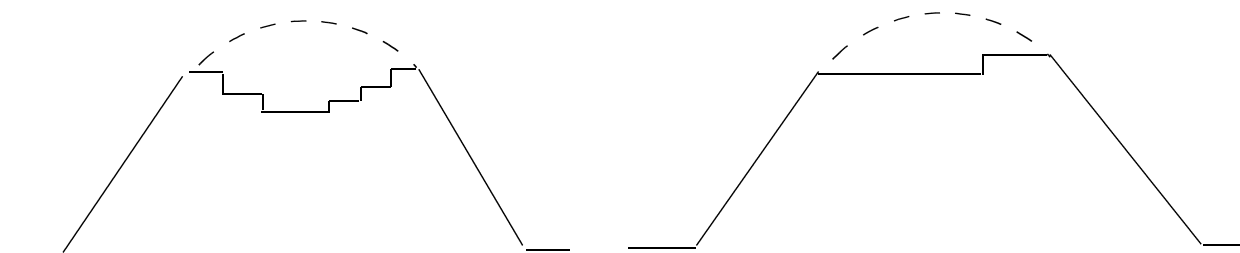


図1-1 山頂型ベンチカット法

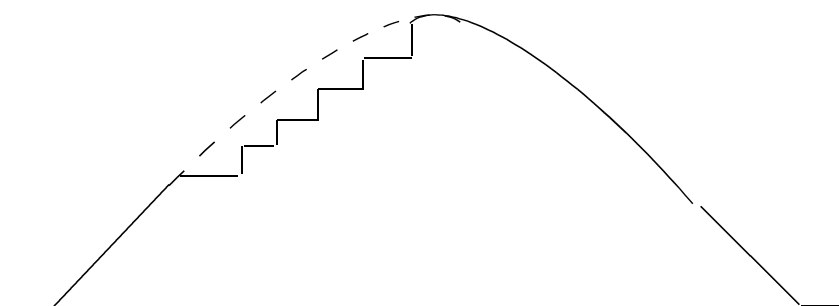


図1-2 山腹型ベンチカット法

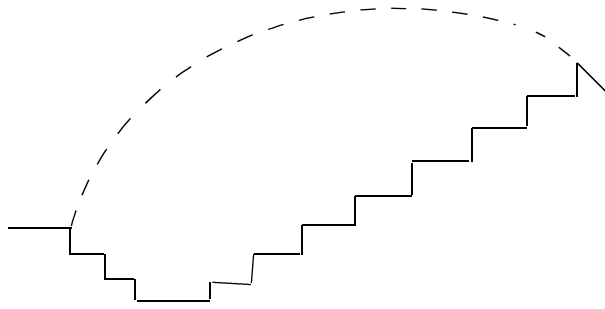


図 1 - 3 掘下がり型ベンチカット法

(5) 採掘方法

ベンチカット法は、その上部から平坦な階段状切羽（以下「ベンチ」という。）を造り、逐次ベンチを下方に展開させていく方法であって、作業の安全性（保安）と機械力を活用した生産性の向上が可能で、採掘終了後の跡地対策上有利な採掘方法である。

ベンチカット法は前述のベンチのとり方による分類の他、起砕岩石の運搬方法により分類すると、起砕岩石を各ベンチでダンプトラック等に積込んで破碎選別施設まで直行運搬する道路運搬式（図 1 - 4 参照）、起砕岩石を山頂付近に開坑した立坑に投入し地下のゲートから搬出する立坑式（図 1 - 5 参照）、及び起砕岩石をオープンシュートか崖面を利用して破碎選別施設地並近くまで落とすオープンシュート方式（図 1 - 6 参照）がある。

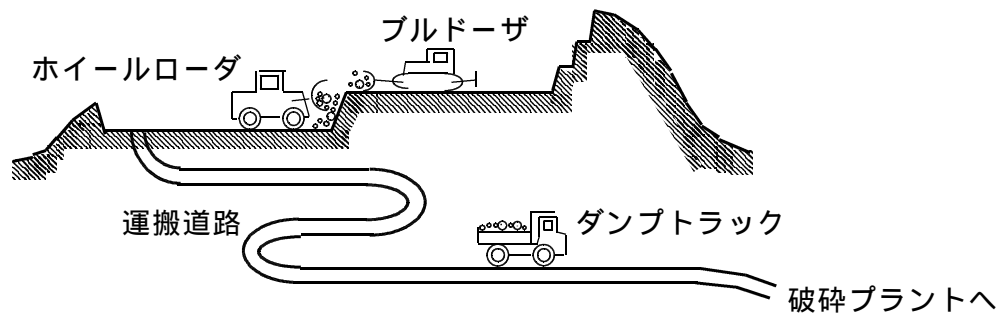


図 1 - 4 道路運搬式ベンチカット法

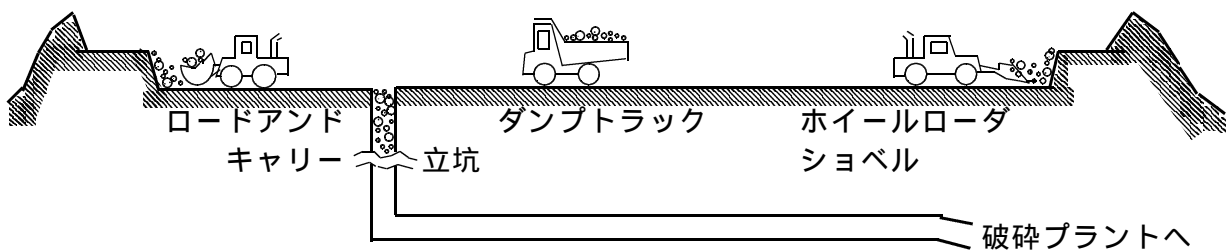


図 1 - 5 立坑式ベンチカット法

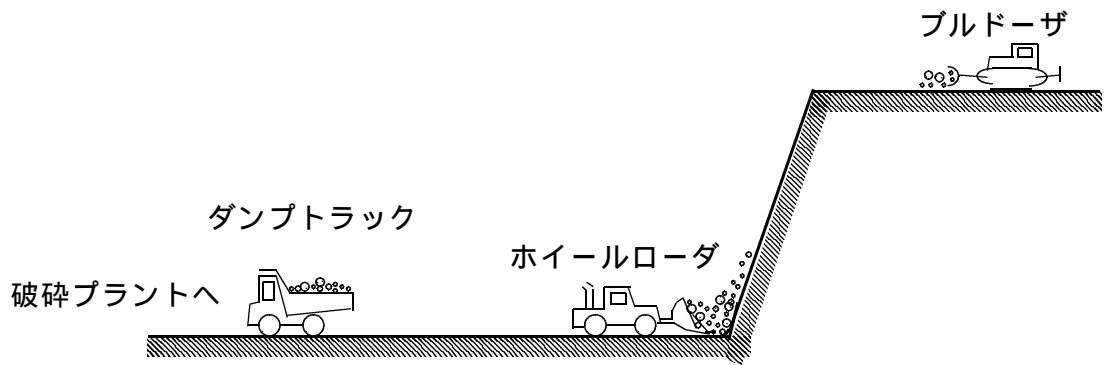


図 1 - 6 オープンシュート式ベンチカット法

残壁（岩石の採取に伴って残った斜面で、ベンチの掘削面は含まない。）については、休廃止採石場や稼行採石場の休止切羽において、小段を設けずに不安定な急傾斜の状態では放置されている例が認められるが、これらは採掘中に最終残壁面傾斜を配慮をせず、採掘をしたためと考えられる。このような残壁の存在は採石災害の原因となるばかりでなく植栽等終了時の措置をとることを極めて困難にしている。

最終残壁の整形並びに整備工事は全て終了した後に行うことは困難が伴うばかりでなく、採掘中に採掘が終わった地域の崩壊が起こるおそれがある。

このため、地形と岩石の賦存状況を確認し、あらかじめ終了時の最終残壁の形状及び終了時の状態を設計し、各地並における採掘が予定位置まで終了した段階において、残壁となる掘削のり面を適確に整形・整備していくことが基本である。

しかしながら、地形、地質等の要因によりこのような対応が困難な場合が考えられるため、採掘中に形成される残壁については、最終（永久）残壁又は仮残壁を問わず、採掘岩石の用途別に、常に適正な高さ毎に適正な幅の小段を設け、かつ、安全を保持しうる平均傾斜を維持すること。

なお、平均傾斜は、切羽の最頂部と最下底を結ぶ平面が下底面となす角である。図 1 - 7 (a)において小段幅 d 、小段の高さ h 、小段掘削面の傾斜 θ は各採掘岩石の用途別に定めた基準の範囲であれば、同数値であることを要しないが、図 1 - 7 (b)のように採掘ベンチ幅相当以上の広い小段 d' がある場合は、 θ' が平均傾斜である。（ θ は平均傾斜ではない。）

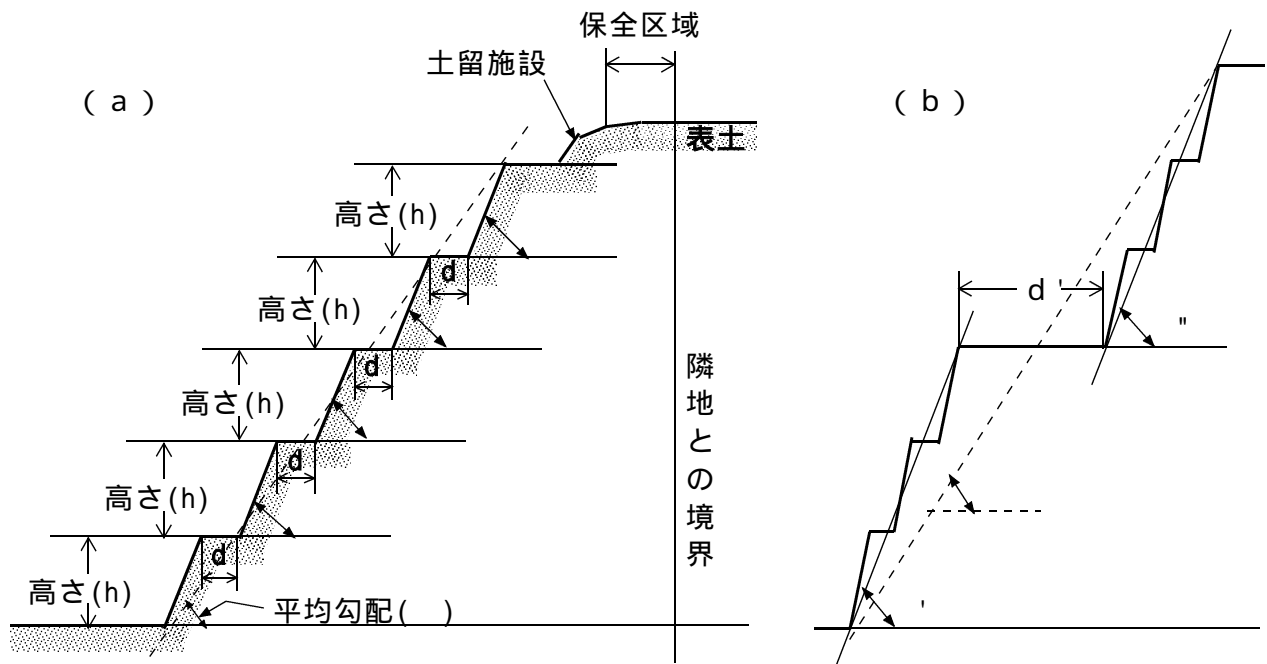


図1 - 7 平均傾斜の概念

掘下り採掘の場合には、万一土地の崩壊が起きても、その被害が道路、河川、住宅等に及ぶことのないよう隣地とは十分な距離をとること。また、井戸水、灌漑用水等の被害を防止するため、事前に地下水位の調査を行い、採掘予定深度を定めておくとともに、採掘箇所湧水が想定される場合、事前に貯水池、揚水施設等を設置しておくことが必要である。

(a) 砕石用原石の採掘

ベンチの高さは、岩石の種類、節理・層理、亀裂・断層等の地質条件、立地条件、作業の安全、さく孔機や積込・運搬機等の能力、所要生産量などによって決定する。最近、さく孔機や積込・運搬機が大型化・高能率化し、生産性向上のために高ベンチ化の傾向にあるが、一方では発破振動の低減、採掘の単純化・平易化を目的として低ベンチ（5 m程度）採掘も指向されている。

採掘中のベンチの幅は、起砕された岩石の広がり幅と積込・運搬等に使用する重機の行動半径（タイヤショベル・ダンプトラック等の回転半径、油圧ショベルのアーム長等）を考慮しなければならない。最小必要幅は W_m 以上（ $W = S + R$ 、ただし S は起砕岩石の広がり幅、 R は使用機械が安全に作業できる幅）であるが、ベンチの幅はできる限り広く確保した方が余裕ある作業が可能である。

一般に、ベンチカット法による通常の採掘の場合は、最終残壁の規模を極小化するために、可能な限り用地確保に努め計画的で効率的な採取計画とすることが望ましい。

地形、その他の理由により十分なベンチ幅を確保することが出来ない場合で、起砕岩をオープンシュート方式や崖面を利用して破碎選別施設近くまで落とすオープンシュート方式をとる場合には、履带式機械を用いる場合に限り、ベンチ幅は、 W_2 以上（ $W_2 = R'$ 、ただし、

R'は使用する履帯式機械が安全に作業できる幅)の幅とする事が出来る。ただし、採取計画を適切に見直すなどにより可能な限りベンチ幅を広く取ることが望ましい。なお、安全に作業する上で、使用機械からの視界を十分に確保する必要がある。

採掘中のベンチの掘削面の傾斜は原則75°以下とし、岩質に応じた安全を保持しうる傾斜とするが、特に風化等による脆弱岩が存在する原石山の表層部や地層の擾乱地帯等においては十分に安全な傾斜とする。

(b) 石材用原石の採掘(切石、間知石等の採掘の場合)

ここでいう石材用原石の採掘とは、主として機械力によって岩石を切さくし、補助的に火薬を使用して石材を採取する場合である。土木工事用に使用する捨石等の採取を目的として発破により採掘している場合は、砕石用原石の採掘と同様のベンチカット法とする。

採掘中のベンチの幅は、積込・運搬等に使用する重機の行動半径(フォークリフト等の回転半径等)を考慮しなければならない。石材の採掘においては、通常発破による岩石の起砕は行われないので、ベンチの最小必要幅は Wm 以上($W = R$ 、ただし R は使用機械が安全に作業できる幅)である。

垂直に近い形で残る採掘跡の岩壁(掘削面)の高さは、節理の少ない堅硬な岩石の場合でも、原則として、1回の切断の高さは5m以下、掘削面の高さは20m以下とする。掘削面の高さが20mより高くなる場合には、2m以上の適当な幅の小段を設けてベンチ状にし、下部の採掘に移るようにする。

節理が発達している岩盤から石材用原石を採掘する場合、原則として、1回の切断の高さは5m以下、掘削面の高さは15m以下の安全な高さとする。また、掘削面の高さがこれより高くなる場合には、2m以上の適当な幅の小段を設けてベンチ状にし、下部の採掘に移るようにする。

丸鋸やチェーンソーで切断する軟岩類の採掘は、採掘に伴う岩盤の傷みは比較的少ないが、原則として、1回の切断高さは5m以下、掘削面の高さは20m以下とする。掘削面の高さが20mより高くなる場合には、2m以上の適当な幅の小段を設けてベンチ状にし、下部の採掘に移るようにする。

(c) 風化岩石の採掘

風化岩石の採掘方法としては、岩石の状態から立坑の掘削、オープンシュートの設置が困難であり、道路運搬式ベンチカット法が適当である。

掘削斜面の安定には傾斜と垂直高さが影響する。原則として、ベンチの高さは5 m以下、掘削面の傾斜は45°以下とし、砂状にまで風化した岩盤の採掘箇所は十分な緩傾斜を保持するようにして採掘する。

採掘中のベンチの幅は、積込・運搬等に使用する重機の行動半径（ホイールローダ、ダンプトラック等の回転半径、油圧ショベルのアーム長等）を考慮しなければならない。ベンチの最小必要幅は Wm 以上（ $W = S + R$ 、ただし S は起砕岩石の広がり幅、 R は使用機械が安全に作業できる幅）であるが、風化岩石の場合、ベンチの肩付近が崩れ易いので、ベンチの幅はできる限り広く確保する。

(参考1) 使用機械が安全に作業できる幅(R)の目安(通常の場合)

使用機械の種類	安全に作業できる幅(R)
油圧ショベル等、主としてバケットを回転させながら掘削、積込み等を行う機械	最大掘削半径(バケット回転半径)の2倍以上
ダンプトラック、ホイールローダ、ブルドーザ、フォークリフト、クローラドリル等、主として移動させながら、積込み、運搬等を行う機械	最小回転半径の2倍以上

(参考2) 地形、その他の理由によりベンチ幅(R')が十分に取れない場合の目安
最低限確保すべき幅

使用機械の種類	最低限確保すべき幅(R')
油圧ショベル等、主としてバケットを回転させながら掘削、積込み等を行う履带式機械	最大掘削半径(バケット回転半径)以上
ブルドーザ、クローラ式トラクタショベル、クローラドリル等、主として移動させながら、積込み、運搬等を行う履带式機械	最小回転半径の2倍以上

(参考3) 視界の確保の方法

使用機械の種類	視界の確保の方法
油圧ショベル等、主としてバケットを回転させながら掘削、積込み等を行う機械	メーカーカタログでの死角の確認、又は一般的にバケット回転中心から半径4 m以内及び運転席後方が死角となることから、可能な限りミラー等により視界を確保すること
ダンプトラック、ホイールローダ、ブルドーザ、フォークリフト等	メーカーカタログでの死角の確認、

ークリフト、クローラドリル等、主として移動させながら、積込み、運搬等を行う機械

又は一般的に以下の範囲が死角となることから、可能な限りミラー等により視界を確保すること

(ダンプトラック)

運転席前方6 m以内、後方全面、右側面は9 m以内、左側面は5 m以内

(ホイールローダ)

運転席前方の作業装置から10 m以内、後方のエンジンルームから10 m以内、側面左右とも5 m以内

(ブルドーザ)

運転席前方の作業装置から15 m以内、後方のエンジンルームから8 m以内、側面左右とも5 m以内

(フォークリフト、クローラ等)

メーカーカタログ等に記載されている範囲

(参考4) 傾斜面採掘法

傾斜面採掘法は、起砕された岩石が積込運搬レベルまで落下するように40～60°ののり面上でさく孔・発破する方法である。採掘斜面の高さが高くなれば、爆落石も転落石も落下速度が大きくなって遠くまで転がり、広がりも大きくなり、危害を及ぼすおそれが多くなる。

傾斜面採掘は、作業の安全性や採掘跡地の緑化等に問題があるため、原則として行わないこととなっているが、既存の採掘場において、本方式により岩石採取を行っている場合には、速やかにベンチカット法に移行すること。

(参考5) 坑道式発破

坑道式発破(薬室発破)による採掘は、大量の爆薬を使用するため、付近一帯に転落石、飛石、振動、騒音等の災害を及ぼすことが多い。また、採掘跡には大規模な崩落崖が残るので、将来、残壁の形成や緑化等の跡地処理にも支障が生じる。このため、坑道式発破は、原則として行わないこととなっているが、既存の採掘場において、本方式により岩石採取を行っている場合には、速やかにベンチカット法に移行すること。

2 坑内採掘における垂直残柱の設計

垂直残柱（以下「残柱」という。）の設計に際しては、残柱及びその周辺に作用する応力の状態、天盤の状態、断層・しゅう曲・岩目等の状態を把握し、必要な強度を有する残柱とすることが求められるが、これらの要素を正確に知ることが非常に難しく、そのため不確定要素に影響される場合が多い。

したがって、最も基本となる計算法について以下に記載する。ただし、以下の計算法は天盤や残柱の弱面を考慮したものではないので、実際には、採掘場の地質条件・岩盤の物性・地山応力などのデータを入手し、現場の状況に応じて、より詳細な検討を加える必要がある。

残柱応力の計算法

図 2 - 1 は、帯状の残柱と採掘切羽が規則正しく交互に配置された坑内採掘場を表している。ただし、採掘場は水平面内に広がっていて、残柱は垂直であり、残柱の奥行きは無量大とする。ここで、残柱に加わる平均応力 m は、図 2 - 2 の小部分（AEFGHBCLKJID）に関する力の釣り合い又は図 2 - 2 の上半分を切り出した図 2 - 3 の小部分（AEFMNJID）の釣り合いから、2.1 式あるいは 2.2 式により計算することができる。

$$m \cdot t = P v (t + a) \text{ ----- (2.1 式)}$$

$$m = P v \frac{t + a}{t} \text{ ----- (2.2 式)}$$

m : 残柱に加わる平均応力 a : 採掘幅
 $P v$: 採掘前の地山応力の垂直成分 t : 残柱幅

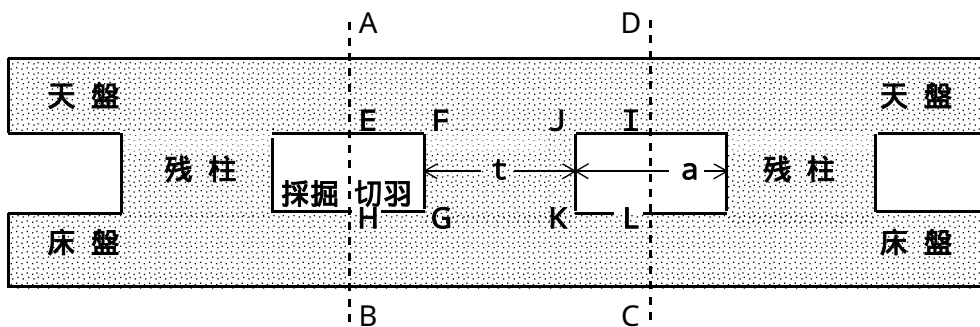


図 2 - 1 無限に長い残柱と採掘切羽が繰り返される採掘場の垂直断面図

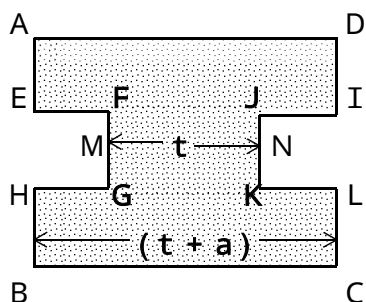


図 2 - 2 上図の小部分

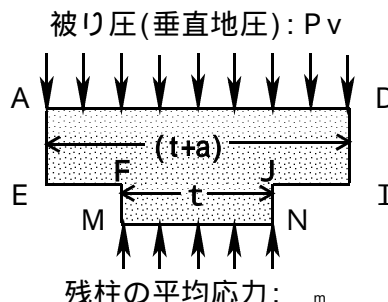


図 2 - 3 左図の上半分

残柱が帯状でなくてもこの方法により計算ができる。図2 - 4は、柱状の残柱が規則正しく配置された坑内採掘場を表している。ただし、採掘場は水平面内に広がっていて、残柱は垂直である。ここで、残柱に加わる平均応力 m は、図2 - 4の小部分(ABCD)に関する力の釣り合いから、2.3式あるいは2.4式により計算することができる。

$$m \cdot t b = P v (t + a) (b + a) \dots\dots\dots (2 . 3 式)$$

$$m = P v \frac { (t + a) (b + a) } { t b } \dots\dots\dots (2 . 4 式)$$

b : 残柱奥行き

さらに、残柱の形状が正方形の場合、すなわち $t = b$ の場合には、2.5式となる。

$$m = P v \left(\frac { t + a } { t } \right)^2 \dots\dots\dots (2 . 5 式)$$

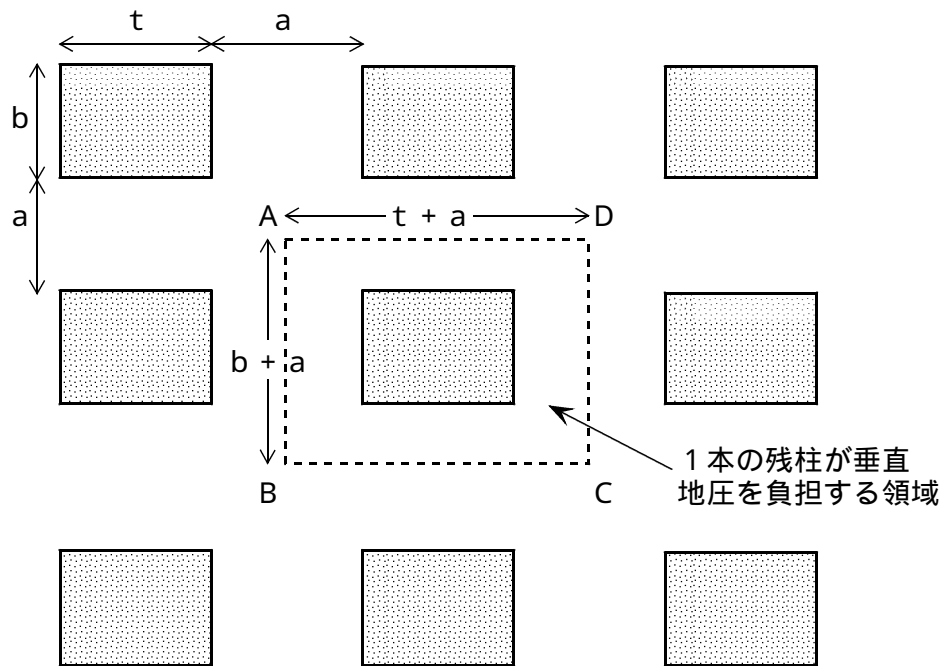


図2 - 4 柱状残柱が規則正しく配置された採掘場の平面図

3 発破における適正装薬量の算定

(1) 1自由面の発破

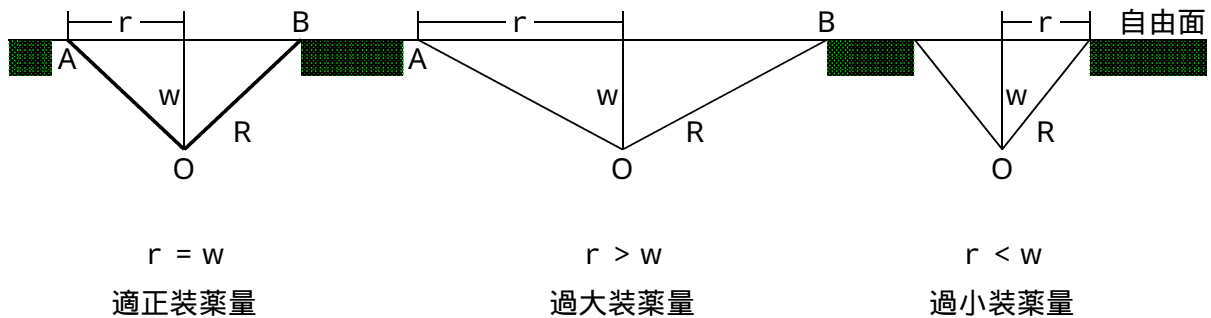


図3 - 1 1自由面の発破形態図

ハウザ公式によれば

$$L = C W^3 \dots\dots\dots (3.1式)$$

L : 装薬量 (kg)

C : 発破係数

W : 最小抵抗線 (m)

適正装薬量の漏斗形態となるようクレーターテストを行って発破係数Cを定め、適正装薬量(L)を算定する。

また(3.1式)は次のように書きかえられる。

$$L = g \cdot e \cdot d \cdot f(n) \cdot W^3 \dots\dots\dots (3.2式)$$

g : 岩石抗力係数

e : 爆薬の効力係数

d : 填塞係数

f(n) : 薬量修正係数 (漏斗指数 $n = \frac{r}{W}$ の函数)

(2) 2自由面の発破

装薬量については(3.1式)を次のように変形して用いる。

$$L = C \cdot D \cdot W \cdot H$$

L = 装薬量 (kg)

C = $g \cdot e \cdot d \cdot f(n)$

D = 孔間隔 (m)

W = 最小抵抗線 (m)

H = ベンチの高さ (m)

孔間隔Dは最小抵抗線Wの0.8 ~ 1.2倍、ベンチの高さHは最小抵抗線Wの3倍程度がよいといえる。装薬長は穿孔長の65 ~ 70%とし、Wが2m以下の場合には残孔長を最小抵抗線Wぐらいにとるとよい。また、孔径(mm)は最小抵抗線Wの1/40 ~ 1/45が標準である。

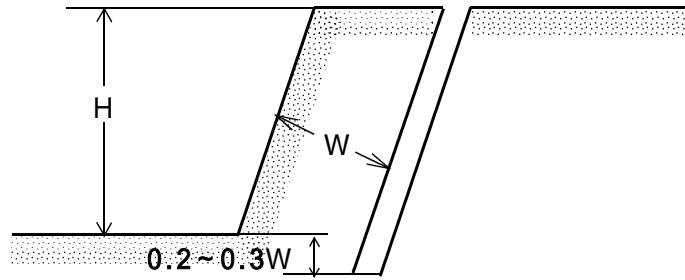


図 3 - 2 2自由面の発破形態図

(3) 小割発破

岩石の大塊、玉石を発破によって小さく砕く、いわゆる小割発破には次のような三つの方法があるが、穿孔法以外は発破効果、発破騒音、発破飛石の面で不利でありできるだけ行わない。

穿孔してその中に爆薬を込めて発破する穿孔法

岩石の下部に蛇穴を掘って発破する蛇穴法

岩石に直接爆薬を張り付け、その上を粘土等で覆って発破する張付発破法

薬量の計算式としては次の式を用いる。

$$L = C \cdot D^2$$

L : 薬量 (g)

C : 発破係数

D : 岩塊の直径 (cm)

この場合のCの値は次の範囲とする。

穿孔法 0.007 ~ 0.02

蛇穴法 0.05 ~ 0.07

張付法 0.15 ~ 0.20

(4) 係数諸表

発破係数 (C)

発破係数Cは岩石の抗力係数g、爆薬の効力係数e、てん塞係数d (通常d = 1.0) 及び薬量修正係数f (n)に関するものであり、特に岩石では走向、石目等の状態の変化により同じ強度の岩石でも大きく異なる。たとえばg = 1.2程度の花崗岩でも石目の発達したものは0.6程度となることがあるから、この点は試験発破等によって決定する必要がある。このほかに自由面の数も考慮に入れる必要がある。

岩石の抗力係数 (g)

表 3 - 1 岩石の抗力係数 (g) (岩石 1 m³ を爆破)

岩石名	g の値			岩石名	g の値		
	最大	最小	平均		最大	最小	平均
硬珪岩	4.32	2.70	3.26	粗面岩	2.27	1.85	2.02
硬角閃岩	3.06	2.56	2.88	安山岩	2.16	1.44	1.80
珪岩	2.85	2.54	2.68	片岩	1.66	1.66	1.66
硬石灰岩	2.55	2.34	2.46	石灰岩	1.85	1.44	1.62
硬砂岩	2.35	2.16	2.26	砂岩	1.98	1.22	1.44
硬粘板岩	2.16	2.16	2.16	粘板岩	2.58	1.08	1.33
花崗岩	2.34	1.85	2.09	凝灰岩	1.80	1.08	1.28
閃緑岩	2.32	1.84	2.08	頁岩	1.08	0.72	1.00
片麻岩	2.30	1.84	2.07	(注) 60%桜ダイナマイトを標準			

爆薬の効力係数 (e)

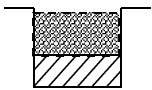
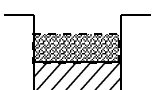
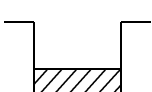
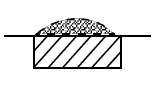
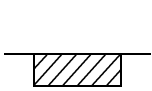
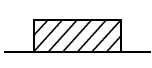
表 3 - 2 爆薬の効力係数 (e)

爆薬種類	e	爆薬種類	e	爆薬種類	e
松ダイナマイト	0.63	3 桐ダイナマイト	0.84	アーバナイト	0.88
桜ダイナマイト	1.00	2 榎ダイナマイト	0.87	ANFO	1.00
特桐ダイナマイト	0.79	杉ダイナマイト	0.85	黒色火薬	3.0
新桐ダイナマイト	0.82	あかつき爆薬	0.94	スリ-爆薬(日油)	1.04

てん塞係数 (d)

発破孔には爆薬を装填してからさく孔の空隙を粘土、砂等の込物によっててん塞しなければならない。てん塞 (tamping) が十分であれば爆薬の空費が少ないから少薬量で大きい効果が得られる。

表 3 - 3 てん塞状態とてん塞係数 (d)

てん塞の状態			てん塞係数
適当に深い装薬孔	てん塞完全		d = 1.0
	てん塞不完全		1.0 < d < 1.25
	てん塞なし		d = 1.25
装薬のみ装薬室にあり	上に盛土		d = 1.5
	盛土なし		d = 2.0
外部装薬(張付発破法)	多くの場合		2.0 < d < 4.5
	ときとして		d = 9

漏斗指数の函数 (f (n))

ハウザ・ダムブラム (Dambrum) 等多くの提案者の式があるが、次のダムブラムの式が最も良くあうとされている。特にこの式は漏斗孔試験により岩石の抗力あるいは爆薬の実用威力の比較に利用される。

$$f(n) = (\sqrt{1 + n^2} - 0.41)^3 \dots\dots\dots (3 . 3 式)$$

なおこの式を変形した次式はスケール・エフェクト修正項として使用する。

$$f(n) = (\sqrt{1 + \frac{1}{W}} - 0.41)^3 \dots\dots\dots (3 . 4 式)$$

表 3 - 4 漏斗指数の函数 (f (n))

W(m)	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	10	15
f (n)	1.0	0.83	0.68	0.53	0.46	0.41	0.36	0.31	0.26	0.24

(注) 参考文献として「発破ハンドブック」工業火薬協会編 (山海堂) 等がある。

4 流出量の算定

(1) 降雨による流出量

降雨時に岩石採取場から流出する汚濁水処理するための導水路、沈殿池等の処理施設並びにたい積場の排水施設の能力を決定するために必要な流出量は、次式(4.1式)によって計算される。

$$Q = \frac{1}{360} \cdot f \cdot r \cdot A \quad (\text{m}^3/\text{s}) \dots\dots\dots (4.1 \text{式})$$

- Q : 流出量 (m³/s)
- f : 流出係数
- r : 流達時間内の平均降雨強度 (mm/h)
- A : 集水面積 (ha)

降雨水は流下するにしたがって土砂を伴って汚濁水になる。それゆえ、流出する汚濁水の量は、Qm³/sより土砂の含有量だけ増加する。採石場に設置する導水路、沈殿池などの諸施設の容量は、増加した汚濁水としての量を対象に考えなければならない。

汚濁により総量が増加する割合は、岩石採取場並びに付近の状態によってかなりの相違がある。増加する割合を とすれば、降雨時の汚濁水の流出量は次式で示される。

$$V = Q (1 + \quad) (\text{m}^3/\text{s}) \dots\dots\dots (4.2 \text{式})$$

- V : 汚濁水の流出量 (m³/s)
- Q : 4.1式から算出した流出量 (m³/s)
- : 土砂混入率(土砂混入により増加する割合)

土砂混入率 は、採石場や付近の状態を考慮して定めるべき値であって、普通は5%前後であろう。

(2) 集水面積

集水面積(流域面積)は、ある地点(採石場)に雨水が流下してくる周囲の地域の広さ(面積)である。その地点を基点とした稜線で囲まれた範囲になる。(図4-1)

集水面積は、実測値又は縮尺が1/25,000より大きい地形図から算出した値をとるのがよい。

(3) 流出係数

流出係数は、降雨量に対して地表を流下する雨水の割合をあらわす数値である。降った雨水は地中への浸透、樹木への付着、蒸散等により地表を流れる量は降雨量より少なくなる。その値は地形、地質、樹木の繁茂の状態などによって相違がある。採用に当たっては、表4-1に示す数値を基本とする。

表4 - 1 流出係数値

地 表 状 態	流出係数
急峻な山地	0.75 ~ 0.90
三紀層山岳	0.70 ~ 0.80
起伏のある土地及び樹林	0.50 ~ 0.75
平坦な耕地	0.45 ~ 0.60
植芝地	0.60 ~ 0.80
灌漑中の水田	0.70 ~ 0.80
山地河川	0.75 ~ 0.85
平地小河川	0.45 ~ 0.75
流域の大半が平地である大河川	0.50 ~ 0.75
グラウンド、コート等	0.90 ~ 1.00
宅地	0.80 ~ 0.90

(4) 流達時間

流達時間は、集水地点（流出量を求めようとする地点、この場合は採石場）から最も遠距離にある集水地域内の地点に降った雨水が、集水地点まで流達するのに要する時間をいう。

図4 - 1においてBを集水地点、Bから最遠距離にある集水地域内の地点がAであれば、Aに降った雨水は山腹を流れてCで枝川に入り、Dで支川に合流してBに流達する。AからBまでの曲線距離を流れてBに流達するのに要する時間が流達時間である。

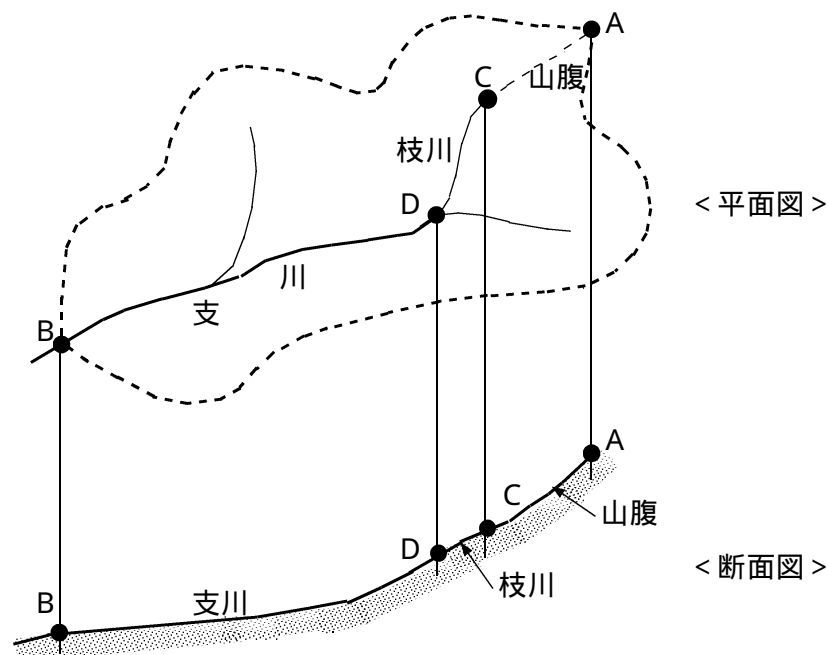


図4 - 1 集水地域図

具体的には、森林法に基づく開発行為の許可基準の運用細則を準用して下記表 4 - 2 により設定するものとする。

表 4 - 2 流達時間表

集水面積 (ha)	流達時間 (min)
5 0 以下	1 0
1 0 0 以下	2 0
5 0 0 以下	3 0

(5) 降雨強度

降雨強度は、任意の継続時間に降った雨量を 1 時間当たりの強さに換算したもので、mm/h で表現される。また、降雨強度は、算定対象地域を含む地域について、都道府県等により以下に示す方式に準じ算定された地域別降雨強度算定値がある場合は、その数値を使用するものとする。

流達時間内の平均降雨強度は、時間確率降水量を基に、流達時間及び集水区域の特性を勘案して定めるものとする。

排水施設、沈殿池等は十分な能力を確保する必要があり、原則として 5 0 年に 1 回あると考えられる降雨量を採用するが、適宜、都道府県の指導に対応した確率年を考慮するものとする。

・ 降雨強度 (時間確率降水量) の求め方

時間確率降水量は、時間降水観測記録から求めるものとするが、時間降水観測記録が不十分な場合には、日降水観測記録から求めるものとする。

時間確率降水量の算定に用いる記録の数は 3 0 以上であることが望ましい。

) 時間降水観測記録からの求め方

イ 表 4 - 3 の 列のように既往の記録 (年間極値) を大きさの順にならべる。

ロ 列のように $\frac{2}{2N} \cdot i - 1$ を計算する。ここに N は記録の数、i は順位。

ハ この結果を対数確率紙上に移し、図上で目視により直線を引く。

ニ ハの直線が所要の確率を切る点に対応する降水量をとる。

表 4 - 3 時間確率降水量計算表例

順位 i	年月日	降水量 (mm)	$\frac{2i-1}{2N} \times 100$
1		83	1.61
2		72	4.84
3		71	8.06
⋮		⋮	⋮
⋮		⋮	⋮
⋮		⋮	⋮
29		30	91.94
30		27	95.16
31		18	98.39

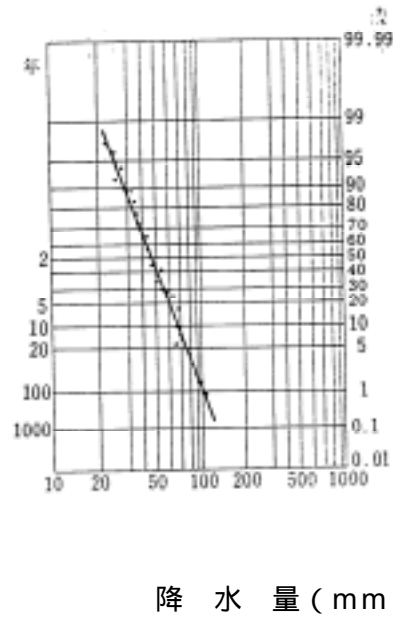


図 4 - 2 対数確率紙による確率降水量算出図例

) 日降水観測記録からの求め方

イ と同様にして日降水観測記録から日確率降水量を求める。

ロ 次の式により日確率降水量から時間確率降水量を求める。

$$R = \frac{R'}{2.4^n} \times 2.4^n \quad \text{ここに } R : \text{時間確率降水量 (mm/h)}$$

$R' : \text{日確率降水量 (mm/日)}$

$n : \text{集水区域における降雨の特性を勘案して} 1/2 \sim 2/3 \text{ の範囲で定める。}$

流達時間内の平均降雨強度の算定は、上記で求めた確率降水量（1時間と10分間の1組又は1時間と20分間の1組といった組合せ）を使って、その地域の特性に適合した確率降雨強度式を用い算出する。

降雨強度式（例） 石黒型

$$\text{降雨強度式: } r = \frac{a}{\sqrt{t \pm b}}$$

$t : \text{降雨継続時間 (min)}$

$r : \text{任意の継続時間内の平均降雨強度 (mm/h)}$

$a, b : \text{降雨の地域特性により決まる定数}$

$$a = \frac{[r \cdot \sqrt{t}] [r^2] - [r \cdot \sqrt{t}] [r]}{n [r^2] - [r] [r]}$$

$$b = \frac{[r] [r \cdot \sqrt{t}] - n [r^2 \cdot \sqrt{t}]}{n [r^2] - [r] [r]}$$

) 降雨資料がない場合には、次の確率雨量分布図を参考に計算してもよい。

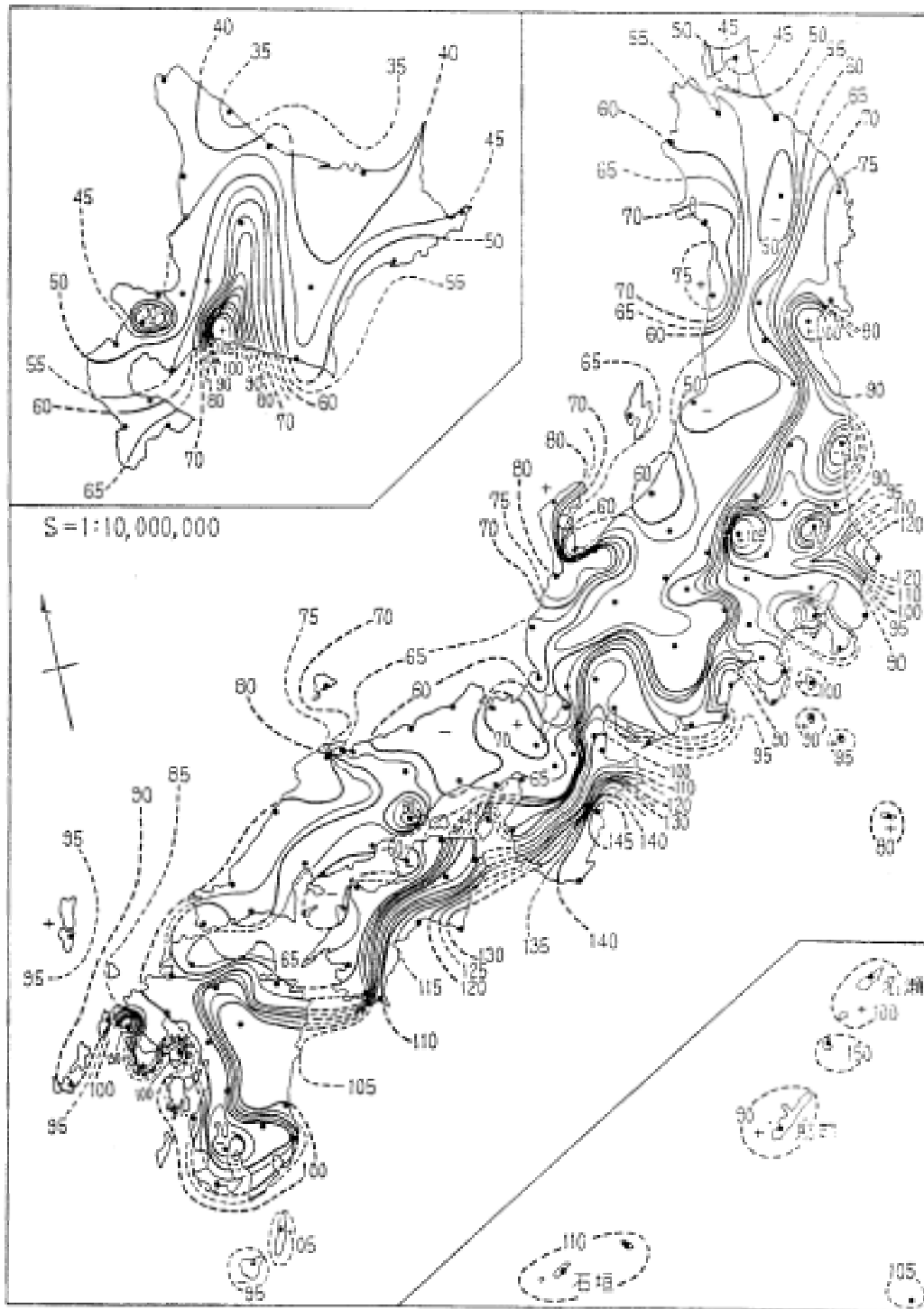


図 4 - 3 50年確率時間雨量の分布図（出典：「応用水分統計学」）

5 沈殿池及び沈砂池の設計と管理

本章は、汚濁水処理設備（骨材水洗プラントの排水等を対象）としての沈殿池及び採石場内からの流出土砂を含む汚濁水を清澄化するための沈砂池についての記述である。

(1) 沈殿池

沈降分離の原理

沈降分離によって固体と液体とを分離するのに自然沈降と凝集沈降とがある。自然沈降は薬品を加えるなど化学的・物理的な操作を加えることなく、個々の粒子を単独に沈降させて固体を分離する方法であり、凝集沈降は凝集剤を加えて粒子を凝集させて大きな粒子とし、沈降し易くして固体を分離する方法である。沈降分離の原理においては、いずれの場合も変りはない。

）沈降速度

一般に汚濁水処理の対象となる懸濁粒子は、微細で沈降速度が小さく $Re < 2$ で、 $C_R = \frac{2}{Re}^4$ であって粘性が主な抵抗であり、式は次のようになる。

$$u = \frac{g (s - \rho) d^2}{18 \mu} \dots\dots\dots (\text{ストークスの式}) \dots\dots\dots (5.1 \text{ 式})$$

u : 沈降速度 (mm/s)

g : 重力加速度 (mm/s²)

d : 粒子の直径 (mm)

s : 固体粒子の密度 (mg/mm³)

ρ : 水の密度 (mg/mm³)

C_R : 抵抗係数

μ : 粘度 (mg/mm・s)

表 5 - 1 粒子の沈降速度 (mm/s) (水温：10、密度：2.65mg/mm³)

直径 (mm)	沈降速度	直径 (mm)	沈降速度	直径 (mm)	沈降速度	直径 (mm)	沈降速度
1.0	100	0.2	21.0	0.04	1.1	0.006	0.025
0.9	92	0.15	15.0	0.03	0.62	0.005	0.017
0.8	83	0.10	7.4	0.02	0.28	0.004	0.011
0.7	72	0.09	5.6	0.015	0.155	0.003	0.0062
0.6	63	0.08	4.8	0.010	0.069	0.002	0.0028
0.5	53	0.07	3.7	0.009	0.056	0.0015	0.00155
0.4	42	0.06	2.5	0.008	0.044	0.0010	0.00069
0.3	32	0.05	1.7	0.007	0.034	0.0001	0.00007

注) 密度2.65mg/mm³の粒子は水中の砂を主体とする無機物
直径0.002mm以下は、計算値であり、適用外である。

沈降速度の評価に当たっては、表 5 - 1 を基準にするが、実験により求めても差し支えない。

なお、水の粘度は、表 5 - 2 のとおり水温により大きく変化し、沈降速度も変わること
に留意する必要がある。

表 5 - 2 水温と粘度

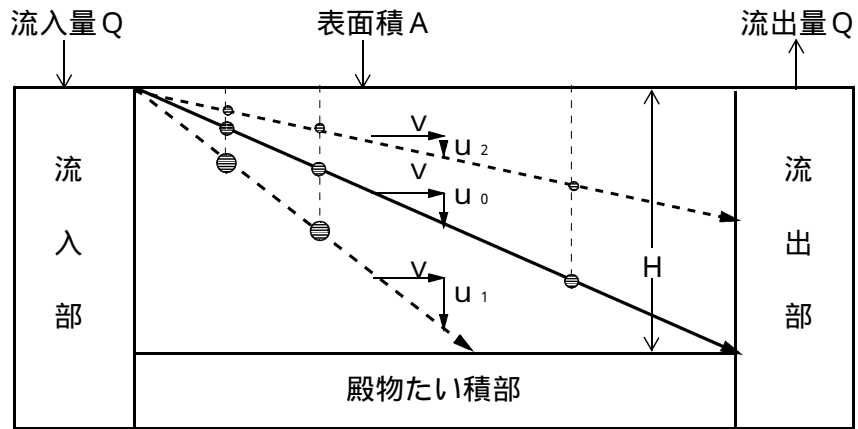
水温 ()	粘度	水温 ()	粘度
0	1.792	20	1.002
5	1.520	25	0.890
10	1.307	30	0.797
15	1.138	40	0.653

(出典：理科年表 2002年版)

注) 粘度の単位は、mPa・s又はmg/mm・s

沈殿池の設計

図 5 - 1 のような沈殿池について、粒子の沈降分離効率 (除去率) を考えてみる。沈殿池内の水の流れは水平で流速は均一であり、乱れも短絡もないとする。沈殿池内に流入してくる粒子は全横断面で一様に分布され、粒子が沈降して池底に達したものは再懸濁することなく除去されるものとする。



注) 斜線は、同じ大きさの粒子の沈降の軌跡を示している。

図 5 - 1 沈殿池の原理

汚濁水が沈殿池に流入して、丁度沈殿池内に滞留している時間(滞留時間)で池底に達する粒子の沈降速度 u_0 を限界沈降速度という。沈降速度が u_0 より大きい粒子はすべて除去されることになる。

図 5 - 1 のような沈殿池において、

A : 沈殿池の表面積 (m^2)

H : 沈殿物を沈積させる部分を除いた沈殿池の深さ(有効深さ、 m)

Q : 処理水量 (m^3/h)

u_0 : 限界沈降速度 (m/h)

T : 滞留時間 (h)

とすれば、次の関係式が成り立つ。

$$u_0 = \frac{H}{T} \quad (m/h) \quad \dots \dots \dots (5.2 \text{ 式})$$

$$T = \frac{A \times H}{Q} \quad (h) \quad \dots \dots \dots (5.3 \text{ 式})$$

$$u_0 = \frac{Q}{A} \quad (m/h) \quad \dots \dots \dots (5.4 \text{ 式})$$

5.4式からわかるように、処理水量 Q と沈殿池の表面積 A とからその沈殿池で除去できる粒子の限界沈降速度が定ってくるし、除去しようとする粒子群のうちの最も小さい沈降速度、即ち、限界沈降速度 u_0 と処理水量 Q とがわかれば、所要の沈殿池の表面積が定められることになる。

沈殿池の深さ H は、掃流現象等が起ることによって沈殿物が再懸濁するおそれのない水深 (1 m 程度) を考慮し、これに沈殿物を池底にたい積させるのに必要な深さを加えた深さにすればよい。

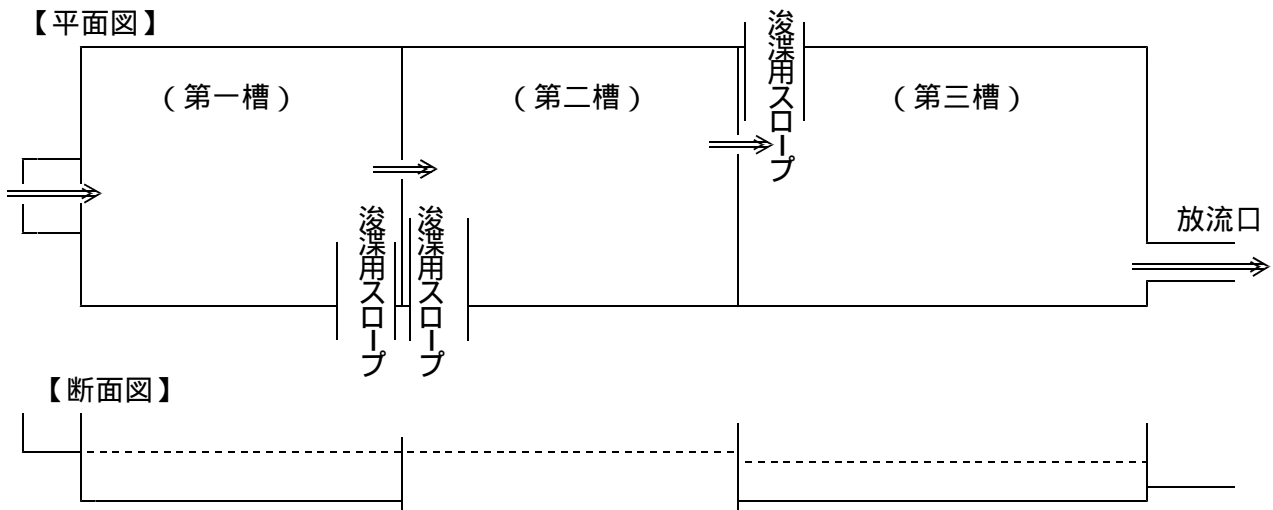


図 5 - 2 沈殿池の参考図

〔計算例〕

5 0 m³/minの汚濁水を処理するために必要な沈殿池の規模を求めよ。ただし、粒径 0.2 mm以上の土砂の除去を目的とする。

) 処理水量 Q

$$Q = 50 \text{ m}^3/\text{min} = 50 \times 60 = 3,000 \text{ m}^3/\text{h}$$

) 沈降速度 u_0

粒径 0.2 mmで比重 2.65 の粒子の沈降速度は、表 5 - 1 により 21.0 mm/s。

$$u_0 = 21.0 \text{ mm/s} = 75.6 \text{ m/h}$$

) 沈殿池の表面積 A

(5.5式)から

$$u_0 = \frac{Q}{A}$$

$$A = \frac{Q}{u_0} = \frac{3,000}{75.6} \approx 40 \text{ m}^2$$

表面積 40 m²の沈殿池を必要とする。即ち、8 m × 5 mの沈殿池を設置すればよい。

一般には計算値より大きめの沈殿池を設けることが望ましい。沈殿池の深さは、沈殿物のたい積深さを考えて、2.5 m位にするのがよい。

(2) 沈砂池

露天採掘は表土を除去して岩石を採掘するのであるから、降雨の際には自然の状態の山肌から流れ出る汚濁水の場合よりも、その懸濁粒子が粗く、スラリー濃度が高い汚濁水を流出する

ことになる。このような汚濁水中の土砂等を水中から分離沈降させ、清澄化するために沈砂池を設置することが必要である。

・ 沈砂池の設計

沈砂池における土砂等と雨水を分離させるために必要な沈砂池の規模の算定に当たっては、前記(1)沈殿池の設計基準に準じて行うものとする。

なお、算出に当たっての処理水量（流出量）については、**4** 流出量の算定を参照のこと。
すなわち理論的には、滞留時間について余り考えなくても良いが、この場合も沈砂池の流動状態をできるだけ理想的になる様、分離効率を上げるように心がける必要がある。

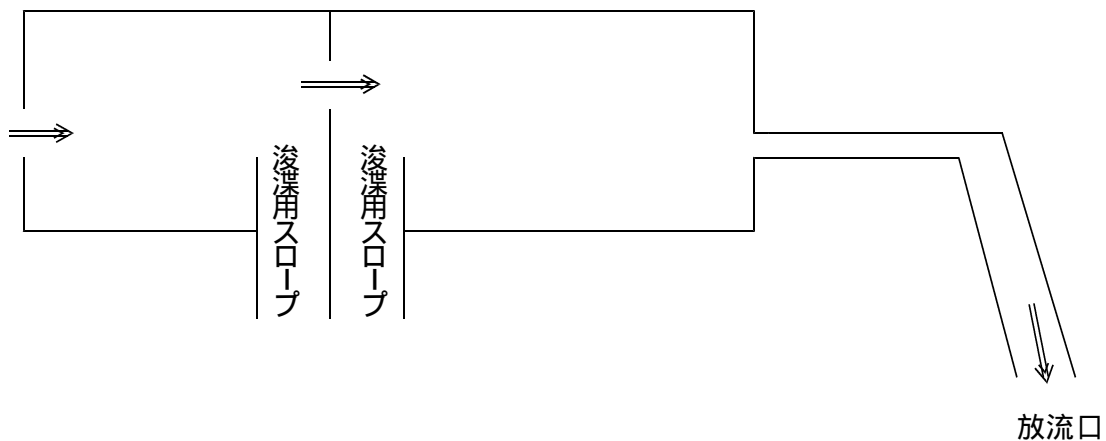


図 5 - 3 沈砂池の参考図

(3) 沈殿池の管理

排水処理の方法

排水処理には自然沈降による処理と凝集剤による処理がある。

・ 自然沈降による排水

動力や薬剤を使用する必要はないが、沈降に時間がかかるため広い沈殿池用地が必要となる。

・ 凝集剤使用による排水

沈殿池用地が十分確保できない場合でも処理が可能となるが、沈降を促進するため凝集剤と攪拌設備が必要となる。

凝集剤

凝集剤は、無機系凝集剤と有機系凝集剤に大別される。

無機系凝集剤は、微細な粒子の凝集を行うことができ、濁度の低い排水、雨水等の処理に適しているため、一般的に沈殿池に用いられる。

ただし、無機系凝集剤は、フロックが小さく、沈降速度が遅いため、排水の濁度の状況によって、濁度の高い排水に効果がある有機系凝集剤と併用する場合がある。

凝集剤の使用上の諸注意

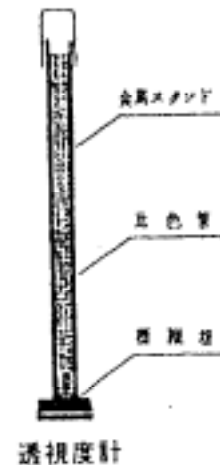
- ・土質や岩質が変わると凝集効果が変わるので、対応する薬剤を常に把握しておく必要がある。
- ・凝集効果と薬剤の量は比例しないため、適正な添加量を常に把握しておく必要がある。

排水状況の確認

沈殿池からの排水については、定期的に濁水の排水状況を確認する必要がある。なお、濁水の排水状況の確認には、簡易な測定方法を用いることができる。

測定の方法

試料を右図の透視度計の比色管に満たし、上部から底部を透視して、標識板上の二重十字が明らかに識別できるまで試料を捨てていき、残った試料の高さ（cm）を求め、濁度計で求めた検量線から濁度を換算して求める。



検量線の求め方

濁度計により予め濁度（mg/liter）の測定をした同一試料を、透視度計から透視度（cm）を測定する。この測定を濁度を替えて数回行い、濁度と透視度の相関を求め、検量線を求める。

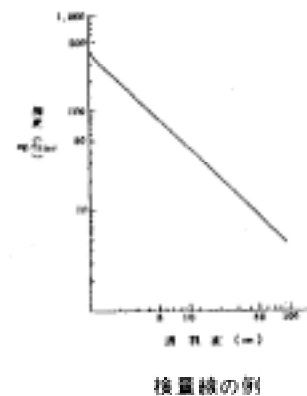


図5 - 4 透視度計を用いた簡易汚濁測定方法（参考）

(4) その他

洪水調節池については、森林法に基づき設置が必要な場合は、各都道府県の林地開発許可を受けること。

6 通水能力の算定

$Q = A \cdot v > \text{流出量}$

Q : 通水量 (m³/s)

A : 水路の断面積 (m²)

v : 平均流速 (m/s)

平均流速 (v) を与える公式のうち、採石業において一般的に使用するマンニングの公式によれば、

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

n : 粗度係数

R : 径深 = $\frac{A}{P}$

(P : 潤辺 (流水時に水路の横断面における水に接する辺長))

I : 勾配

表 6 - 1 マニングの粗度係数 n 値

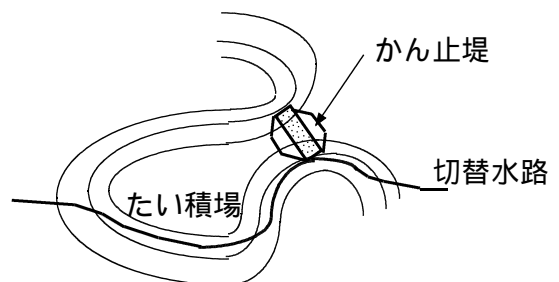
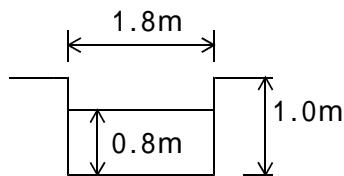
材料及び潤辺の状態	n の 値
管路	
鋳鉄管	0.011 ~ 0.013
純セメント平滑管	0.010 ~ 0.013
コンクリート管	0.012 ~ 0.016
コルゲートパイプ	0.020 ~ 0.035
開渠	
滑らかな木材	0.010 ~ 0.014
コンクリート	0.012 ~ 0.018
切石モルタル積	0.013 ~ 0.017
粗石モルタル積	0.017 ~ 0.030
土開削水路、直線状開水路	0.017 ~ 0.025
土開削水路、蛇行鈍流	0.023 ~ 0.030
岩盤に開削した水路 (平滑)	0.025 ~ 0.035
岩盤に開削した水路 (粗い)	0.035 ~ 0.045
自然河川	
規則正しく、水深が大	0.025 ~ 0.033
同上で河床が礫のもの	0.030 ~ 0.040
蛇行し、淵、瀬のあるもの	0.033 ~ 0.045
同上で水深の小さいもの	0.040 ~ 0.055
水草が多いもの	0.050 ~ 0.085

出典：「採石ハンドブック」

なお、マンニングの公式を使用するに当たって、管路（内径Dのヒューム管等）の場合は、 $R = D / 4$ で計算してよい。

〔計算例 1〕

1. 4.44 m³/sの流出量をたい積場内を通さずに切替水路で流下させる。次のような水路断面とするときの通水量を計算せよ。（水路材料はコンクリート、勾配は1/100とする。）



流量計算式 $Q = A \cdot v$ において
v についてはマンニングの平均流速公式

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \text{ を使用する。}$$

ただし、Q：通水量(m³/s)、A：通水断面積(m²)、v：平均流速(m/s)

R：径深 = $\frac{A}{P}$ (P：潤辺)、I：勾配、n：粗度係数

$$A = 1.8\text{m} \times 0.8\text{m} = 1.44\text{m}^2$$

$$P = 1.8\text{m} + 2 \times 0.8\text{m} = 3.4\text{m}$$

$$R = \frac{1.44\text{m}^2}{3.4\text{m}} = 0.424\text{m}$$

$$I = \frac{1}{100} = 0.01$$

n = 0.016 とする。

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} = \frac{1}{0.016} \times 0.424^{2/3} \times 0.01^{1/2} \\ &= \frac{1}{0.016} \times 0.564 \times 0.1 \\ &= 3.53\text{m/s} \end{aligned}$$

$$Q = A \cdot v = 1.44\text{m}^2 \times 3.53\text{m/s} = 5.08\text{m}^3/\text{s} > 4.44\text{m}^3/\text{s}$$

したがって、設計通水量 > 流出量であり流下できる。

〔計算例2〕

1. 沢にかん止堤を築造し、上流沢水をたい積場内に暗渠を設け流下させるとする。流出量が4.44m³/sであるので内径1.1mのヒューム管を用いることとした。通水能力を検討せよ。(勾配は1/50とする。)

流量計算式 $Q = A \cdot v$ において

vについてはマンニングの平均流速公式

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \text{ を使用する。}$$

$$A = \frac{1}{4} \times (1.1\text{m})^2 = 0.95\text{m}^2$$

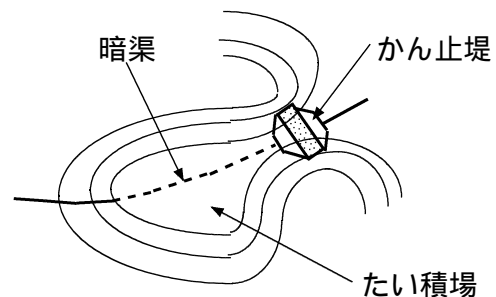
$$R = \frac{\text{内径}}{4} \text{ より}$$

$$R = \frac{1.1\text{m}}{4} = 0.275\text{m}$$

$$I = \frac{1}{50} = 0.02$$

n = 0.011 とする。

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} = \frac{1}{0.011} \times 0.275^{2/3} \times 0.02^{1/2}$$



$$= 0.011^1 \times 0.423 \times 0.141$$
$$= \frac{0.060}{0.011} = 5.42 \text{ m/s}$$

$$Q = A \cdot v = 0.95 \text{ m}^2 \times 5.42 \text{ m/s} = 5.15 \text{ m}^3/\text{s} > 4.44 \text{ m}^3/\text{s}$$

したがって、設計通水量 > 流出量であり流下できる。

7 土留施設の設計方式

土留施設は、地震力、土圧を考慮し、(1)設計通則に示す要件を満たすよう設計しなければならない。

(1) 土留施設の設計通則

土留施設は、臨時応急の目的で設ける場合を除き原則として永久施設として設計すること。
基礎地盤に対し許容支持力以上の荷重を与えないこと。

土留施設の自重及び外力に対し、土留施設が安定であること。

たい積物の水分を排除するに適した構造であること。

斜面が雨水によって洗掘されない工法とすること。

土留施設がその目的のために要求されることは、施設が常に安全であることであり、そのためには施設が永久的であることが望ましく、地耐力、地震、浸透水等に対し安全側になければならない。特に土留施設においてはその背後にたい積されるものが、粘土質のものであり脱水しにくく、湿潤であれば土の強度は低下し、強いては安定度の低下を来たすことから努めて水分を排除できるような構造とすること。

(2) 地震力

地震の影響を算定するための設計震度は、かん止堤の構造、基礎地盤の状態、たい積場下流近傍の人家、重要な構築物等の状況、地震発生頻度等を考慮して、次表に掲げる値以上で定めるものとする。

設計に際して地震力は構造物に静的荷重として作用するものとし、静荷重に下表の係数（設計震度）をかけて求めるものとする。

表 7 - 1 設計震度

	強震帯地域	弱震帯地域
設計震度	0.15	0.12

（備考）強震帯地域及び弱震帯地域は次のとおりとする。

強震帯地域：北海道(日高支庁、釧路支庁、十勝支庁及び根室支庁の区域に限る。)、青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、新潟県、富山県、石川県、福井県、山梨県、長野県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、鳥取県、徳島県、

高知県及び宮崎県

弱震帯地域： に掲げる地域以外の地域

(3) 土 圧

たい積物が土留施設におよぼす土圧について、クーロンの方法による算出例を以下に示す。
土圧(P)は、次の各号に定めるところによるものとする。

P : 土圧 (t/m²)

K : 主働土圧係数

C : 土の粘着力 (t/m²)

: 土の単位体積重量 (t/m³)

H₀ : よう壁の鉛直高さ (m)

: 背面土の内部摩擦角 (°)

: 壁背面と土との間の壁面摩擦角 (壁背面の法線と、土圧の作用方向とのなす角度とみなす) (°)

(注) : について

コンクリート壁背面と、これに接する土の壁面摩擦角 の値は背面土の内部摩擦角 の1/2にとる。しかし粘土質の裏込めの場合には = 0とみなすのが普通であり、又砂の場合でも20°以下にとる。

: 地表面と水平面とのなす角度 (°)

: 壁背面と鉛直面とのなす角度 (°)

ただし、壁背面が鉛直面に対して裏込土の外側に傾斜する場合を正、内側に傾斜する場合を負とする。

o : 地震により、構造物が危険側に回転すると考える角度 (°)

地震時の最大水平震度 S_H

最大鉛直震度 S_V

合成震度 $S = \frac{S_H}{1 - S_V} = \tan \theta_o$

とするとき

$$\theta_o = \tan^{-1} S$$

水平方向単位幅当たりの合力

$$P = \frac{1}{2} \cdot K \cdot \cdot H^2 \quad (\text{t/m})$$

ただし、合力作用点は基礎底面より鉛直上方H/3の位置に働くものとする。

主働土圧係数(K)は次式によって算出するものとする。

a 地表面が水平で、かつ、壁背面が鉛直で壁面摩擦を無視できる場合 (図7 - 1)

$$K = \tan^2 (45^\circ - \frac{\phi}{2})$$

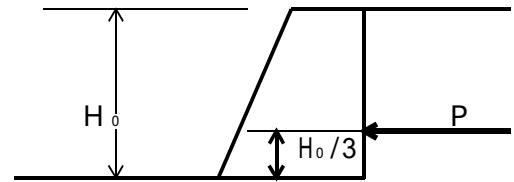


図 7 - 1

b 地表面及び壁背面とも傾斜している場合

$$K = \frac{\cos^2 (\alpha - \beta)}{\cos^2 \alpha \cos (\alpha + \beta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin (\alpha + \beta) \sin (\alpha - \beta)}{\cos (\alpha + \beta) \cos (\alpha - \beta)}} \right]^2}$$

ただし、 $\alpha < \beta$ の場合は $\sin (\alpha - \beta) = 0$ とする。

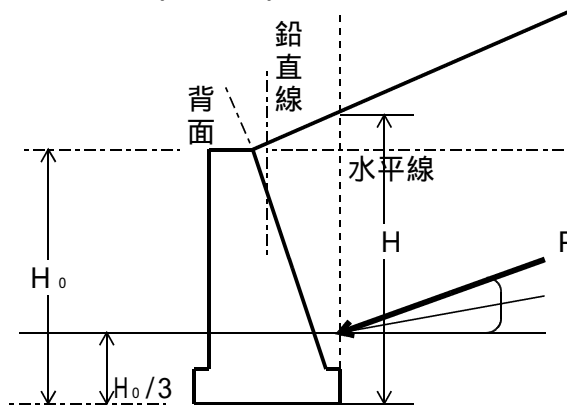


図 7 - 2

c 地震力を考慮した場合

$$K = \frac{\cos^2 (\alpha - \beta - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \alpha \cos (\alpha + \beta + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin (\alpha - \beta - \theta) \sin (\alpha + \beta + \theta)}{\cos (\alpha + \beta + \theta) \cos (\alpha - \beta - \theta)}} \right]^2}$$

ただし分母の平方根中の $\sin (\alpha - \beta - \theta)$ は $\alpha < \beta + \theta$ のときには 0 とおく。

(4) 石塊かん止堤

石塊かん止堤の材料

築堤材料としての石塊は次の性質を有するものであること。

- a 堅硬なこと。
- b 水及び気象作用に対する耐久性が大であること。

築堤を構成する材料は堅硬でひび割れが少なく、堤体施工後に材料が風化しないものがよい。堤体が高くなれば底部に作用する圧力も大きくなるので、石塊相互の接触面積が小さければ大きな力を受けることになり、このため石塊の圧縮強さは大きいものが要求されることになる。

石塊かん止堤の設計

石塊かん止堤の設計は次の各号によるものとする。

- a のり面の勾配は次の値を標準とすること。
上流側（内側）1：1.3 （37°34'）
下流側（外側）1：1.7 （30°28'）
- b 堤体と地盤との境界面又は地盤中における滑動の有無を検定すること。
- c 堤頂幅は次式による値を標準とすること。

$$B = 1.1\sqrt{H} \quad (\text{m})$$

B：堤頂幅（m）

H：かん止堤有効高（m）

- d のり先の部分は石塊が散乱しないように石積み等とすること。

のり面の勾配について、上流側のり面勾配は理論的には相当急にすることが出来るとされている。廃土・廃石たい積場では実際には上流側のり面は土砂によって埋没されるが、その勾配は使用する石塊の安息角程度を標準とする。下流側のり面勾配は安定度からは緩い程よいが経済的ではない。しかしその勾配は堤体材料の安息角より緩やかで、地震により緩やかになる安息角と同程度であるべきである。

堤体と地盤等における滑動の有無については、表土と基礎地盤までの深さが大であり、堤体及びたい積物による滑動が予想されるときは当然行うべきである。

堤頂幅については堤体の沈下、変形に対する余裕、斜面安定に対する余裕等から定めるべきである。

石塊かん止堤の築造

石塊かん止堤を築造するときは、かん止堤の安定上障害となる基礎地盤の表土、竹木及び不良土等を取り除くこと。

(5) 土かん止堤

土かん止堤の材料

築堤材料としての土は次の性質を有するものであること。

- a 高い密度を与える粒度配合であり、かつ、せん断強度が大で安定性があること。
- b 有機物を含まず鉱物成分が不溶性であること。
- c 多量の粘土を含まないこと。

堤体の安定のためには乾燥密度、せん断強度の大きい土を使用することが望ましいが、一般の土は最初から最大乾燥密度（この時の含水比が最適含水比）であるような状態にはない

ので、これを締め固めるなどして最大乾燥密度を得ることが望ましい。しかし高含水比の粘性土の場合は突き固めをしても密度は高くなり、単にこね返しているに過ぎない場合もあり、このような土は避けるべきである。

また、せん断強度は内部摩擦角と粘着力によって決まるが、粘着力は最適含水比付近で最大、内部摩擦角は最適含水比より小さい含水比で最も大きく、含水比の増加によって減少する。

一般に粒度の細かい土は突き固めることによって水密性となるが、逆に安定性は失われ、例えば安定度のよい土は粒子も粗であるので、透水性は大きい。ここでは堤体の目的からいって水密性よりもむしろ安定性について考慮すれば良い。

粘土の含有量については、その量が10～20%程度のものが粒度分布からは最も土として安定しているとされている。

土かん止堤の設計

土かん止堤の設計は次の各号によるものとする。

a のり面の勾配は次の値を標準とすること。

上流側（内側）1：1.5（33° 41'）

下流側（外側）1：1.8（29° 4'）

b 堤体と地盤との境界面又は地盤中における滑動の有無を検定すること。

c 堤頂幅は次式による値を標準とすること。

$$B = 1.3\sqrt{H}$$

B：堤頂幅（m）

H：かん止堤有効高（m）

d たい積場内からの浸透水をかん止堤上流側で排除するため、かん止堤の上流側に粒度を調整して遮水層を設け、かつ、この層と連絡した排水施設を設けること。

e 下流側のり面には直高およそ10m毎に幅2m以上の小段を設けること。

f かん止堤の両岸には必要に応じ雨水溝を設けること。

g 下流側のり面には、芝付け又は石塊被覆等の適当な保護工事を施すこと。

土かん止堤の設計については、堤体を安定させるためにかん止堤の上流側でたい積場内からの浸透水を排除し、下流部では上流側からの土圧に充分耐え、かつ浸透した水によって飽和することを防ぎ、浸潤線位置を低下せしめるように設計する。かん止堤のり面勾配については、本来築堤材料、基礎地盤の土質試験結果から円弧すべり面法計算により決定すべきであるが、ここでは実例から定めた大体の標準値をあげた。

かん止堤の上流側でたい積場内からの水を遮水する具体的な方法としては、上流側の土層

に接して砂、又は小砂利等からなる層を設け、相接する層間においては、細かい土層の粒子が砂層に漏出せず、しかも砂層は充分透水性をもつような粒度関係とし、この層の下部と連絡した排水施設を設けるものとする。

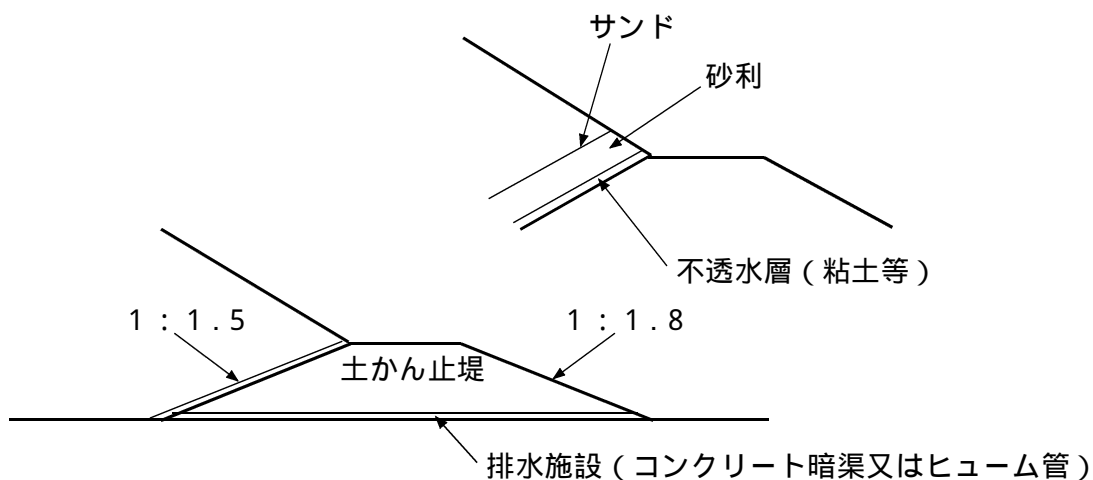


図 7 - 3 遮水層構造図

そしてこの層の下流には不透水層（粘土もしくは細粒土）をおき、この層の前面で浸透水をすべて排除する。

土かん止堤の築造

土かん止堤を築造するときは次の各号によるものとする。

- a かん止堤の安定上障害となる基礎地盤の表土、竹木、不良土、石塊及び構築物等を取除くこと。
- b 廃石をまじえた築堤材料を使用するときは、廃石の混入量の少ないものを上流側に多いものを下流側に使用すること。
- c 築堤材料の撤き出し厚さは20～30cm程度とし十分に締め固めること。休止後再び築堤を增高する場合にはその接触面の施工に特に注意しなければならない。
- d 降雨及び積雪のとき又は地盤もしくは築堤材料が著しく凍結しているときは、築堤作業を行わないこと。

(6) コンクリート重力かん止堤

コンクリート重力かん止堤の設計

コンクリート重力かん止堤の設計は次の各号によるものとする。

- a かん止堤は次の力に対し所定の安全率を満足せしめるように設計すること。ただし、必要ある場合には揚圧力を考慮するものとする。

イ)自重 ロ)土圧 ハ)地震力

b 堤体コンクリートの単位体積当たり重量は、実際に使用する材料と配合で試験を行って決定すること。

予備設計で試験を行わずに設計する必要がある場合は、堤体コンクリートの単位体積重量としては 2.30 t/m^3 を標準とすること。

c コンクリートの所要強度は、中庸熱セメントを使用するときには材令 91 日、その他のセメントを使用するときには 28 日における圧縮強度及び引張り強度を基準とし、設計応力に対し必要な安全率を有するように定めること。安定計算を行うときには原則として水平断面に鉛直方向の引張り応力を生じてはならない。

d 滑動に対する安定は次式により検討すること。

$$H \leq \mu \frac{V + L}{n}$$

H : 堤体単位幅当たり総水平力 (地震力を含む) (t)

V : 堤体単位幅当たり総鉛直力 (揚圧力を含む) (t)

μ : 摩擦係数 0.65 ~ 0.80

L : せん断抵抗強度 (t/m^2)

岩盤とコンクリートのせん断強度のうち小さい方の値をとる。

n : せん断抵抗を考慮する長さ (m)

4 : せん断摩擦安全率

上記は原則として高さ 1.5 m 以上のコンクリート重力式かん止堤に対して適用するものとし、これ以下のものについては次の設計による。

かん止堤の設計に当たっては、

イ) 転倒について

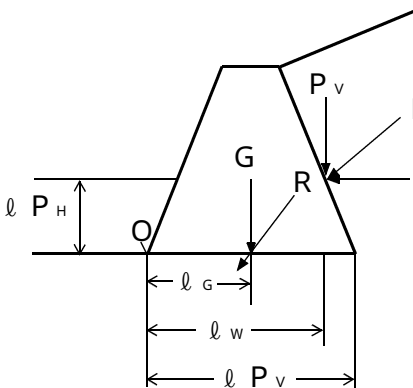


図 7 - 4

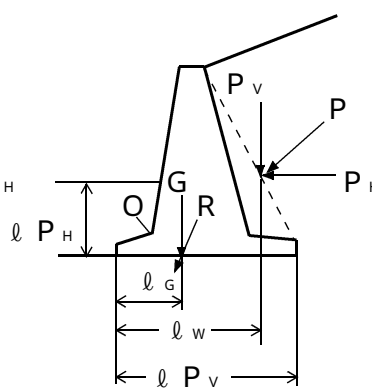


図 7 - 5

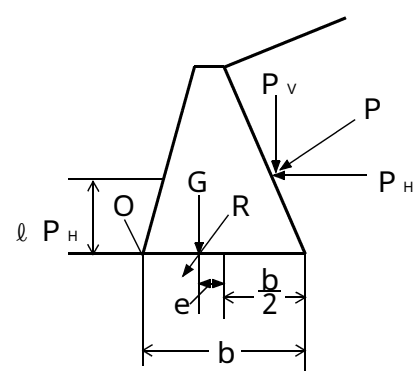


図 7 - 6

かん止堤が転倒しないためには、かん止堤に働く外力の合力の作用線がよう壁 (かん止堤) 底面と交わらなければならない。基礎が土の場合には外力の合力が底幅の中央 1/3 以

内におちるようにすれば良い。

転倒に対する壁（堤）の抵抗モーメントは土圧による回転モーメントの1.5倍以上でなければならない。即ち

$$G l_G + P_v l_w \geq 1.5 P_H l_P$$

なお、基礎地盤が土の場合には外力の合力が底幅の中央1/3以内に、振動をうけるところでは底の中央付近にくるようにする。

$$e \leq \frac{b}{6} \quad \text{ただし } e = \frac{b}{2} - \frac{M}{V}$$

e : 偏心距離、b : 底幅

M : 外力及び自重によるよう壁（かん止堤）前端0点のモーメントの合計

V : 外力及び自重の垂直分力の合計

）滑動について

かん止堤がその底面に沿って滑動しないためには、滑動に対する抵抗力がよう壁（かん止堤）に働く水平圧力より大きくなければならない。滑動に対する抵抗力は、一般にかん止堤に働く外力の合力の鉛直分力に底面と基礎地盤との摩擦係数を乗じたものとし、かん止堤の前面にある土の抵抗力は考えに入れないのが安全である。

滑動に対する抵抗力はよう壁（かん止堤）に働く全水平圧力 H の1.2倍以上とするのが望ましい。壁体と基礎地盤の摩擦係数を μ として、 $\mu V \geq 1.2 H$ が成立することが必要と考えられる。

表7-2 摩擦係数と摩擦角度

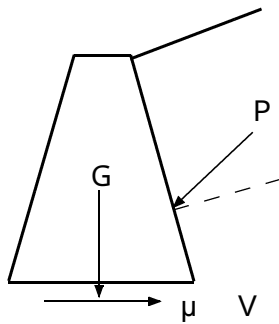


図7-7

材 料	摩擦係数 μ	摩擦角度
コンクリートと突き固めた土	0.50	27
" 湿 土	0.33	18
" 小 玉 石	0.60	31
" 玉 石	0.50	27
" 砂 利	0.60	31
" 乾燥した粘土	0.50	27
" 湿潤な粘土	0.20	11
" 乾 砂	0.50	27
" 普通砂又は湿砂	0.2 ~ 0.33	11 ~ 18
" コンクリート	0.65	33
" 栗 石	0.70	35

) 支持力について

かん止堤の底面に働く地盤の最大応力度は地盤の許容支持力を超えてはならない。この場合、地盤における応力度の分布は等変分布と仮定して実用上差し支えない。

また、一般によう壁（かん止堤）の底面と地盤との間には引張応力は働かないものとする。

全垂直力の合計を V 、底版の前後両端における地盤反力強度を q_1 、 q_2 とすれば

$$q_1 = \frac{V}{b} \left(1 + \frac{6e}{b} \right)$$

$$q_2 = \frac{V}{b} \left(1 - \frac{6e}{b} \right)$$

q_1 が地盤の許容支持力 q_0 以内にあることが必要である。

$e > \frac{b}{6}$ である時

$$q = \frac{2}{3} \frac{V}{\left(\frac{b}{2} - e \right)}$$

q : 最前端に働く最大地盤反力

この場合も $q < q_0$ (地盤の許容支持力)

なお、 q_1 、 q_2 あるいは q がそれぞれ上式を満足しないときは、底版の幅 b を大きくするか、あるいは杭打基礎を行って地盤の許容支持力 (q_0) を大きくする。

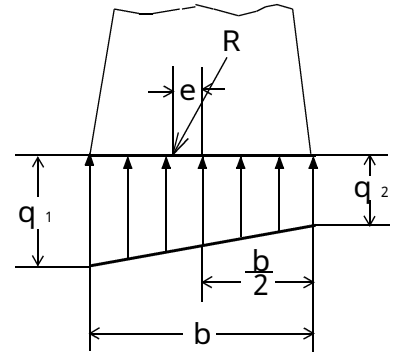


図 7 - 8

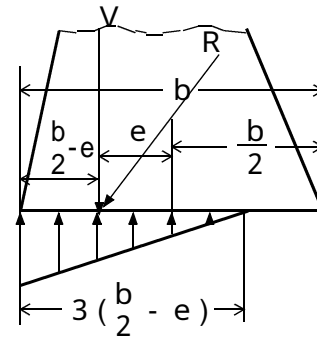


図 7 - 9

〔重力式コンクリートかん止堤の設計例〕

(1) 設計条件

$$= 1.7 \text{ (t/m}^3\text{)}$$

$$H_0 = 5.0 \text{ (m)}$$

$$= 35^\circ$$

背面土(粘土質)の内部摩擦角は 10° であるが裏込栗石により背面土圧を軽減する。

$$= 20^\circ \left(\frac{2}{3} \right)$$

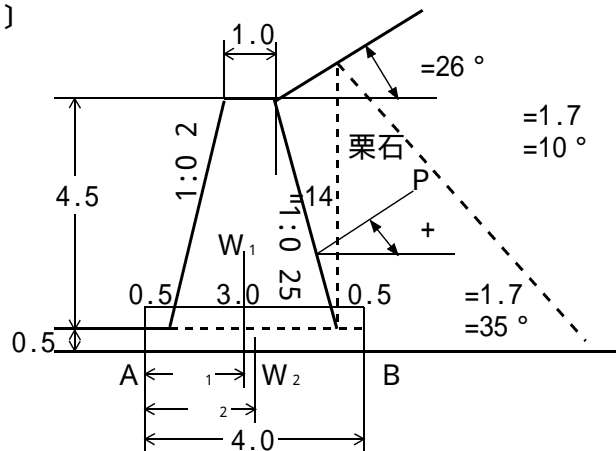
$$= 14^\circ$$

$$= 26^\circ$$

(2) 土圧を求める

$$\cos^2 \left(\quad \right) = \cos^2 (35^\circ - 14^\circ) = \cos^2 21^\circ = 0.934^2 = 0.872$$

$$\cos^2 \quad = \cos^2 14^\circ = 0.970^2 = 0.941$$



$$\cos(+) = \cos(14^\circ + 20^\circ) = \cos 34^\circ = 0.829$$

$$\sin(+) = \sin(35^\circ + 20^\circ) = \sin 55^\circ = 0.819$$

$$\sin(-) = \sin(35^\circ - 26^\circ) = \sin 9^\circ = 0.156$$

$$\cos(-) = \cos(14^\circ - 26^\circ) = \cos(-12^\circ) = 0.978$$

$$\begin{aligned} K &= \frac{0.872}{0.941 \times 0.829} \left(1 + \sqrt{\frac{0.819 \times 0.156}{0.829 \times 0.978}} \right)^2 \\ &= \frac{0.872}{0.780} \left(1 + \sqrt{\frac{0.128}{0.811}} \right)^2 \\ &= \frac{0.872}{1.523} = 0.573 \end{aligned}$$

水平方向単位幅当たり土圧力

$$P = \frac{1}{2} K \cdot H^2 = \frac{1}{2} \times 0.573 \times 1.7 \times 5^2 = 12.2 \text{ (t/m)}$$

(3) 断面の重量を計算し、土圧力による転倒、滑動、沈下について計算する。

) 設計断面の重量

$$W_1 = \left(\frac{1.0 + 3.0}{2} \right) \times 4.5 \times 2.3 = 20.7 \text{ (t)}$$

$$W_2 = 4.0 \times 0.5 \times 2.3 = 4.6 \text{ (t)}$$

$$V = 25.3 \text{ (t)}$$

) 各部の重心位置

$$\begin{aligned} x_1 &= 0.5 + \left\{ 0.9 \times 4.5 \times \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} \times 0.9 + 1.0 \times 4.5 \times (0.9 + 0.5) \right. \\ &\quad \left. + 4.5 \times 1.1 \times \frac{1}{2} \times (0.9 + 1.0 + \frac{1.1}{3}) \right\} \div \left(\frac{1+3}{2} \times 4.5 \right) \\ &= 1.96 \text{ (m)} \end{aligned}$$

$$x_2 = \frac{1}{2} \times 4.0 = 2.0 \text{ (m)}$$

(4) 土圧力から水平土圧及び垂直土圧を計算すれば

) 水平土圧

$$P_H = P \cos(+) = P \cos 34^\circ = 12.2 \times 0.829 = 10.11 \text{ (t)}$$

) 垂直土圧

$$P_V = P \sin(+) = P \sin 34^\circ = 12.2 \times 0.559 = 6.82 \text{ (t)}$$

また土圧力と堤体重量とによる合力Rの大きさは

$$\begin{aligned}
R &= \sqrt{P^2 + 2PW\cos\theta + W^2} \\
&= \sqrt{(12.2)^2 + 2 \times 12.2 \times 25.3 \times 0.559 + (25.3)^2} \\
&= \sqrt{146.65 + 342.54 + 640.09} \\
&= \sqrt{1129.28} = 33.6 \text{ (t)} \\
\theta &= 90^\circ - (\alpha + \beta) = 90^\circ - (14^\circ + 20^\circ) = 56^\circ \\
\cos 56^\circ &= 0.559
\end{aligned}$$

土圧力及び自重のA点に関するモーメントを求めれば

区分	A (m ²)	W (t)	アーム (m)	モーメント W (tm)
W ₁	9.0	20.7	1.96	40.57
W ₂	2.0	4.6	2.0	9.20
P _v		6.82	3.23	22.03
V		32.12		
M				71.80

(5) 沈下に対する安定

$$= \frac{M}{V} = \frac{71.80}{32.12} = 2.24 \text{ (m)}$$

偏心距離

$$e = 2.24 - \frac{4.0}{2} = 0.24 < \frac{4.0}{6} = 0.67 \text{ (m)}$$

堤体底面の圧縮応力度

$$q_1 = \frac{V}{b} \left(1 + \frac{6e}{D} \right) = \frac{32.12}{4.0} \left(1 + \frac{6 \times 0.24}{4.0} \right) = 10.92 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

$$q_2 = \frac{V}{b} \left(1 - \frac{6e}{D} \right) = \frac{32.12}{4.0} \left(1 - \frac{6 \times 0.24}{4.0} \right) = 5.14 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

基礎地盤の状況によって最大圧縮応力度 10.92 t/m²と比較して、安全性を調べる。

乾燥砂層（許容支持力）が 20 t/m² ~ 40 t/m²程度以上であれば安全である。

(6) 滑動に対する安定度

コンクリートの基礎栗石との摩擦係数

$$\mu = 0.70$$

$$\mu V = 0.70 \times 32.12 = 22.48 \text{ (t)}$$

$$H = 10.11 \text{ (t)}$$

$$\text{安全率 } F = \frac{22.48}{10.11} = 2.22 > 1.2$$

ゆえに安全である。

(7) 転倒に対する安全度

M_o : 回転モーメント

$$= P_{H \cdot y} = 10.11 \times 1.67 = 16.88 \text{ (tm)}$$

M_r : 抵抗モーメント

$$= V \times W = 71.80 \text{ (tm)}$$

$$\frac{M_r}{M_o} = \frac{71.80}{16.77} = 4.25 > 1.5$$

ゆえに転倒に対しては十分安全である。

(7) 石積よう壁

石積工の材料

石積工の材料としての石材は次の性質を有するものであること。

- a 堅固なこと。
- b 風化し難いこと。

石積工の設計

石積工の設計は次の各号によるものとする。

- a 原則としてその高さは5m以内とし練積とすること。
- b 高さに応じた控長、勾配、裏込め厚さとすること。
- c 石積工背面の排水をよくするため、よう壁面3m²以内ごとに水抜孔を設けるとともに、よう壁とたい積物との間に栗石層を設けること。

石積工の施工

石積工を施工するときは次の各号によるものとする。

- a 安定上支障となる基礎地盤の草木根、不良土、石塊、構築物等を取り除くこと。
- b 岩盤を基礎地盤としない場合にあっては、地形、地質等に応じて適切な基礎地盤の改良を行うこと。
- c 石積工（割石、間知石）は原則として谷積みとすること。
- d 栗石層には、砂又は砂利による目潰しをすること。
- e 裏盛土は盛土高さ60cm毎に突き固めること、その範囲は石積高さの1.5倍とすること。
- f 石積工の施工に当たっては、その高さが1日に1.2mを超えないこと。
- g 石積工の安定度を大にするため下層には形の大きな石を使用すること。

(8) コンクリートよう壁

コンクリートよう壁は次の要件を満たすように設計するものとする。

土圧等によってよう壁の各部に生ずる応力度がよう壁の材料である鉄筋又はコンクリートの許容応力度を超えないこと。

よう壁の転倒に対する抵抗モーメントは、外力による転倒モーメントの1.5倍以上であること。

滑動に対する抵抗力は、よう壁に働く外力の水平分力の1.2倍以上であること。

土圧等によってよう壁の地盤に生ずる応力度が当該地盤の許容応力度を超えないこと。ただし基礎杭を用いた場合においては、土圧等によって基礎杭に生ずる応力が基礎杭の許容支持力を超えないこと。

よう壁背面の排水をよくするため、よう壁面 3 m^2 以内毎に内径が5 cm以上の水抜孔を少くとも1ヶ所以上設けること。また、よう壁の背後には容易に集水できるように壁の全長にわたり水平な割石層を設けること。

8 たい積場の安定計算方式

たい積場の安定計算

たい積場の安定計算は原則として次の各号によるものとする。

- (1) たい積場の安定計算は、設計時において行うほか、たい積終了後においてもたい積場に異常があった場合には、これを行うものとする。
- (2) たい積場の安定計算は円弧すべり面法によること。
- (3) 安定計算におけるたい積場の安全率は1.2以上とする。
- (4) 基礎地盤内のすべりについては、円弧すべり面法が適用できる場合にはそれにより、その他の場合は状況に応じ適当な方法によること。

たい積物によってつくられた斜面の崩壊の形は、勾配とか土質により異なるが、半長円形のものが多い。しかし斜面の安定度の解析については、実質的には円弧すべり面法で求めた数値と大した差がないこと、及び円弧は取扱いに便利であることから、一般的に円弧すべり面法が用いられている。その計算の方法は、提体を切る円弧を想定し、この円周内の土に滑動を与えるモーメントと、滑動に対して抵抗するモーメントの比を求めるもので、次にその計算例をあげる。

〔円弧すべり面法解説〕

1. 安定計算

粘着力と内部摩擦角を有する土の斜面のすべり破壊面は円弧状を呈することが多いので斜面の安定計算はすべり面を円弧と仮定して次のように行う。

すべり面上の土塊を図のように分割して見ると土塊を滑動させようとする力は T_1 、 T_2 、 T_3であり滑動に抵抗する力は N_1 、 N_2 、 N_3による摩擦力 $N_1 \tan \phi$ 、 $N_2 \tan \phi$ 、 $N_3 \tan \phi$ と粘着力 $C l_1$ 、 $C l_2$ 、 $C l_3$であるから、土塊が滑動しないためには、

$$T_1 + T_2 + T_3 \dots < \tan \phi (N_1 + N_2 + N_3 \dots) + C (l_1 + l_2 + l_3 \dots)$$

すなわち、

$$\tan \phi \frac{N + C l}{T} > 1 \dots \dots \dots (1)$$

でなくてはならない。

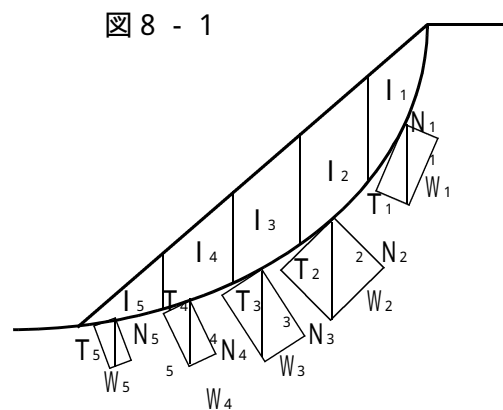


図 8 - 1

$T_1、T_2、T_3……、N_1、N_2、N_3……$ 等を求めるには各土塊の重量 $W_1、W_2、W_3……$ 、及び各土塊の重心線が円弧と交わる点の法線が鉛直線となす角 $\alpha_1、\alpha_2、\alpha_3……$ を図上で求めて、

$$\begin{aligned} T_1 &= W_1 \sin \alpha_1 & N_1 &= W_1 \cos \alpha_1 \\ T_2 &= W_2 \sin \alpha_2 & N_2 &= W_2 \cos \alpha_2 \\ T_3 &= W_3 \sin \alpha_3 & N_3 &= W_3 \cos \alpha_3 \end{aligned}$$

とすればよい。

以上の計算を種々の円弧について行い、いずれの場合も(1)式を満足していれば斜面は安定である。

安全率は種々の円弧について求めた(1)式の値の内最小のものをもって表わす。

2. 地震時の安定計算

地震時には重力 W の他に水平地震力 kW (k は水平震度)が静的に作用するものと考えられる。この水平力と重力の合成力 W' は鉛直方向と $\tan^{-1} k$ なる傾きをなし、その大きさは重力 W の $\sqrt{1+k^2}$ 倍になる。したがって地震時の安定計算は斜面の傾斜角を $\tan^{-1} k$ だけ大きくし、かつ、土の重量を $\sqrt{1+k^2}$ 倍にして前述の計算を行えばよい。(内部摩擦角、粘着力は不変)

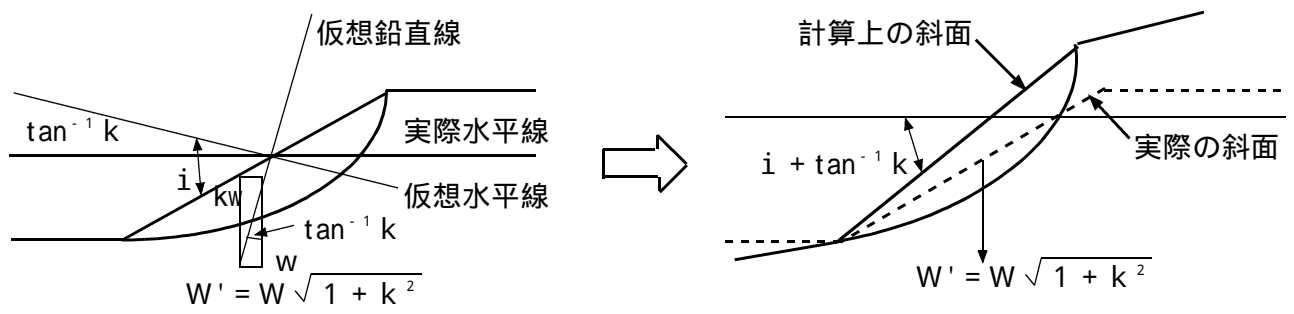


図 8 - 2

当然のことながら安全率は1.2より大きくなければならない。内部摩擦角、粘着力が円弧全長にわたり一様でない場合は、抵抗力算定に当たりこれらの変化を考慮する必要がある。

なお、斜面の傾斜角 i と $\tan^{-1} k$ の和が土の内部摩擦角より小さい場合は、円弧すべりの計算を行うことなく斜面が安定であると判定してよい。

この場合、粘着力を無視すれば安全率 n は、

$$n = \frac{\tan \phi}{\tan (i + \tan^{-1} k)} = \frac{\tan \phi (1 - k \tan i)}{\tan i + k}$$

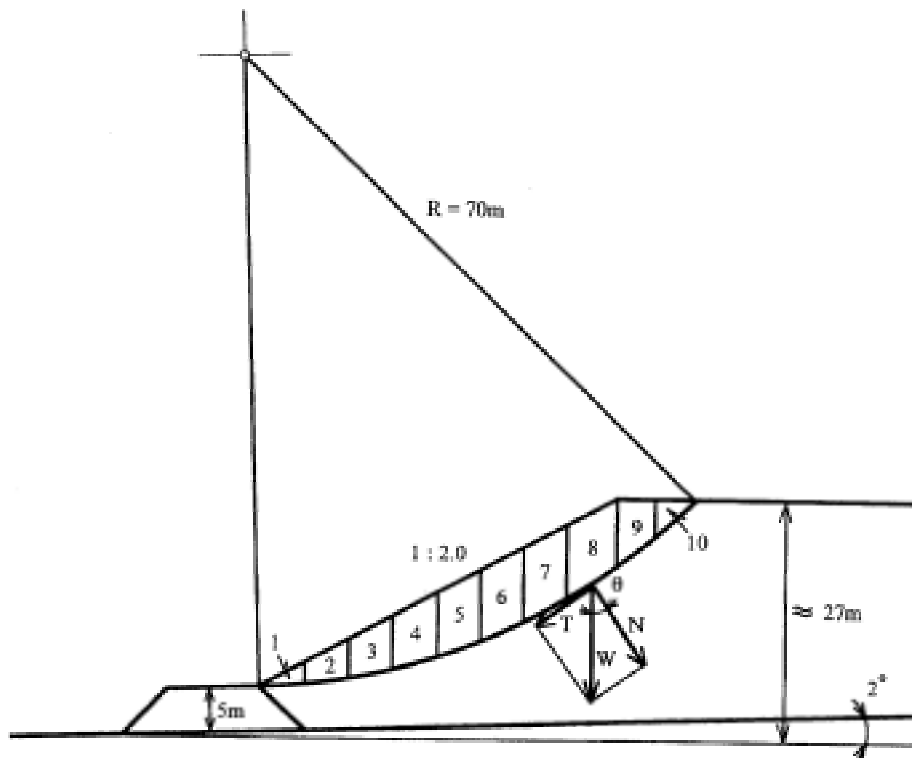
で表わされる。

〔計算例〕 安定計算（その1）

	W		sin	cos		tan	T _x	N tan _x	C	l	C l
1	10.2	4° 47'	0.083	0.997	16°	0.287	0.9	2.9	5	5.01	25.1
2	27.3	8° 8'	0.142	0.990	"	"	3.9	7.8	"	4.85	24.3
3	41.6	12° 8'	0.210	0.978	"	"	8.7	11.7	"	4.90	24.5
4	53.0	16° 11'	0.279	0.960	"	"	14.8	14.6	"	5.00	25.0
5	61.2	20° 20'	0.347	0.938	"	"	21.3	16.5	"	5.13	25.6
6	66.1	24° 35'	0.416	0.909	"	"	27.5	17.2	"	5.28	26.4
7	68.1	28° 59'	0.485	0.875	"	"	33.0	17.1	"	5.46	27.3
8	74.8	33° 56'	0.558	0.830	"	"	41.8	17.8	"	6.63	33.1
9	41.5	38° 48'	0.627	0.779	"	"	26.0	9.3	"	5.26	26.3
10	16.4	42° 39'	0.677	0.736	"	"	11.1	3.5	"	6.22	31.1
							188.9	118.3			268.7

たい積土 = 1.7t/m²、 = 16°、 c = 5.0t/m²

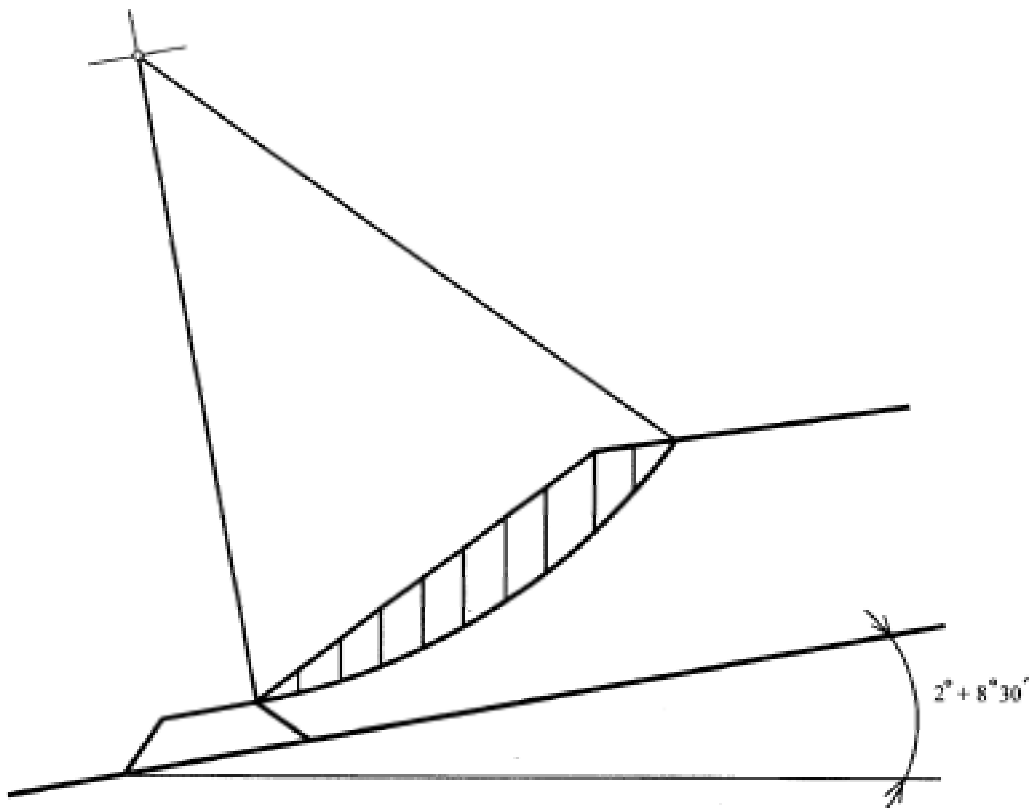
$$\frac{(N \tan) + (C l)}{T} = \frac{118.3 + 268.7}{188.9} = 2.05$$



安定計算 (その 2) 水平震度 k = 0.15の場合

	W		sin	cos		tan	T _x	Ntan _{x x}	C	l	C l
1	7.9	13°04'	0.226	0.974	16°	0.287	1.8	2.2	5	4.83	24.1
2	24.6	16°14'	0.279	0.960	"	"	6.9	6.8	"	4.46	22.3
3	39.2	19°55'	0.341	0.940	"	"	13.4	10.6	"	4.59	22.9
4	52.6	23°49'	0.404	0.915	"	"	21.2	13.8	"	4.93	24.6
5	59.1	27°50'	0.467	0.884	"	"	27.6	15.0	"	4.88	24.4
6	65.0	31°53'	0.528	0.849	"	"	34.4	15.8	"	5.03	25.1
7	69.6	36°10'	0.590	0.807	"	"	41.1	16.1	"	5.44	27.2
8	76.9	41°07'	0.658	0.753	"	"	50.6	16.6	"	6.66	33.3
9	46.8	46°13'	0.722	0.692	"	"	33.8	9.3	"	5.80	29.0
10	19.3	50°34'	0.772	0.635	"	"	14.9	3.5	"	7.27	36.3
							245.6	109.7			269.4

$$\frac{(N \tan) + (C l)}{T} = \frac{109.7 + 269.4}{245.6} = 1.54$$



3. 斜面が長い場合の滑動の計算

傾斜した山腹にほぼ均一な厚さの表土がたい積した場合で、円弧すべり面法が適用しにくいときの滑動の有無についての計算式等を次にあげる。

たい積限界厚さから滑動の有無を求める。

- : 山腹の傾斜角
- d : たい積土の単位重量 (t/m^3)
- t : 斜面を構成するたい積土砂の垂直深 (m)
- : 土砂の内部摩擦角
- C : 土砂の粘着力 (t/m^2)
- l : 斜面長 (m)

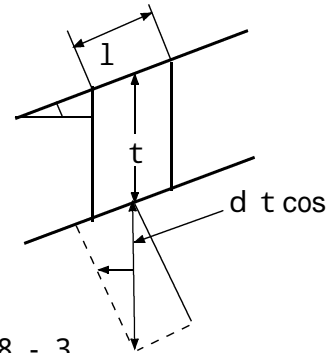


図 8 - 3

とすれば、次の関係が成立する場合に斜面は安定である。

$$d t \cos \alpha \sin \beta < d t \cos^2 \beta \tan \beta + C$$

あるいは

$$t < \frac{C \cos \alpha}{d \cos \alpha \sin \beta - \cos^2 \beta \tan \beta}$$

〔計算例〕

$$\alpha : 26^\circ \quad d : 1.6 t/m^3 \quad \beta : 15^\circ \quad C : 3 t/m^2$$

とすれば

$$t < \frac{3 \times \cos 15^\circ}{1.6 \times \cos 26^\circ \times \sin (26^\circ - 15^\circ)}$$

$$< \frac{3 \times 0.966}{1.6 \times 0.899 \times 0.191} = 10.54 \text{ (m)}$$

(1) 復元目標

緑化とは、自然が持つ再生力が最大限に発揮されるように手助けする行為である。自然の再生には自然が形成されてきた順序や法則を尊重し、生態系の流れに順応してできるだけ自然に近い緑化方法で施工することが重要である。

植生の再生は、復元目標 緑化基礎工 植生工 植生管理工の一貫した技術体系のもとで行う。採石跡地の当面の復元目標は、荒廃裸地の改善に有効なヤシャブシ、アカマツなどその地方の先駆樹種や肥料木を主体とする群落としたほうがよい。採石跡地は、一般に土壌のない硬質な痩せ地で乾燥するため、極盛相を構成する樹種を当初から導入してもほとんど成育しない。逆に、単純な草本緑化では、根系が浅いので崩壊など土砂災害の危険性が高いこと、衰退しやすいこと、景観と調和しないこと、生態系の回復が遅いことなどから、一般に好ましくない。したがって、木本と草本を組み合わせた緑化が好ましい。

(2) 緑化植物の発芽・成育

(a) 土壌硬度

表 9 - 1 山中式土壌硬度計による土壌硬度と成育

硬度（山中式硬度計）	成 育 ・ 障 害
0～7mm	乾燥のため発芽不良
8～20mm	成育良好（最良）、根系、草丈とも最良
20～26mm	発芽良好、成育良、ただし、使用した外来草種は衰退が早い傾向
26～30mm	成育不良、衰退早期、根系は土中への侵入困難
30mm～	成育困難



図 9 - 1 山中式硬度計

(b) 温度と播種適期

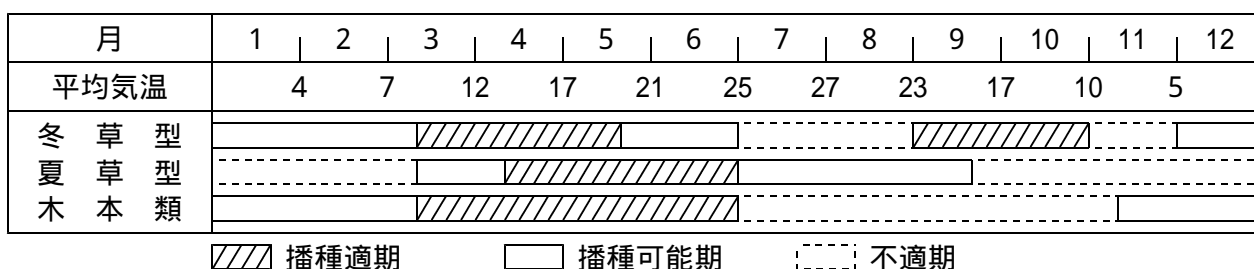


図9 - 2 温度と播種時期

ただし、図9 - 2は関東地方を標準としたものである。

冬草型とは、冬季にも緑色している植物で、クリーピングレッドフェスク、トールフェスク、オーチャードグラス、ホワイトクローバーなど。

なお、任意地点の月平均気温を推定する式を以下に示す。

表9 - 2 月平均気温推定式

1月	tc = 9.6 - 1.19 (- 30°) - 0.0056h	tc : 任意の地点の月平均気温 () : 任意の地点の緯度 h : 任意の地点の標高 (m) (気象技術報告第2号, 1960)
2月	tc = 10.6 - 1.11 (- 30°) - 0.0060h	
3月	tc = 13.0 - 1.06 (- 30°) - 0.0056h	
4月	tc = 17.7 - 0.94 (- 30°) - 0.0055h	
5月	tc = 22.1 - 0.88 (- 30°) - 0.0054h	
6月	tc = 25.6 - 0.81 (- 30°) - 0.0060h	
7月	tc = 29.4 - 0.65 (- 30°) - 0.0062h	
8月	tc = 30.1 - 0.59 (- 30°) - 0.0064h	
9月	tc = 26.7 - 0.68 (- 30°) - 0.0058h	
10月	tc = 21.5 - 0.80 (- 30°) - 0.0056h	
11月	tc = 16.6 - 0.90 (- 30°) - 0.0051h	
12月	tc = 12.4 - 1.03 (- 30°) - 0.0053h	

(c) 斜面傾斜と成育

表9 - 3 斜面傾斜と成育

斜面傾斜	植物の成育及び緑化基礎工の適用の目安
30° 未満 (1割7分)	<ul style="list-style-type: none"> ・高木が優占する植物群落の復元が可能 ・成育が良好 ・緑化基礎工として排水工が必要
30 ~ 35° (1割4分)	<ul style="list-style-type: none"> ・35° は、放置した場合に自然に復旧する限界角度 ・一般に、35° を境として、これ以上では表土層保全のための緑化基礎工が必要になる。
35 ~ 45° (1割)	<ul style="list-style-type: none"> ・中・低木が優占し、草本が地表を覆う植物群落の復元を目指す ・成育基盤の安定を目的とする緑化基礎工を設置する。 ・高木を導入すると、将来成育基盤が不安になる危険性がある
45 ~ 60° (6分)	<ul style="list-style-type: none"> ・低木や草本からなる丈の低い植物群落の復元を目指す ・のり面上に15cm以上の厚さに客土することをさける ・成育基盤の安定を目的とする強固な緑化基礎工を設置する ・60° 以上の斜面にも植物の導入は可能であるが、将来崩落する危険性が高いので、のり面形状を変えて植物を導入する。

(3) 主な緑化植物の性状

(a) 木本類

表9 - 4 主な木本類とその特性

植物名	草丈・樹高 (cm)	播種適期 (月)	生育可能地域 (温量指数)	形態等	単位粒数 (粒/g)	発芽率 (%)	耐瘠地	耐乾性	耐陰性	耐暑性	耐寒性	耐酸性
メドハギ	50~100	3~6	冷温帯~暖温帯 (45~180)	在来草本 肥料木草	720	60~90						
コマツナギ	60~90	3~6	冷温帯~暖温帯 (70~180)	在来低木 肥料木	210	60~80						
ヤマハギ	150~250	3~6	冷温帯~暖温帯 (45~180)	在来低木 肥料木	150	50~70						
イタチハギ	150~250	3~7	冷温帯~暖温帯 (45~180)	外来低木 肥料木	90	60~80						
ヤマハンノキ	300~600	3~6	冷温帯~暖温帯 (45~130)	中高木 肥料木	1,200	30~50						
ヤシャブシ	200~450	3~6	冷温帯~暖温帯 (45~180)	中高木 肥料木	1,000	30~50						
シラカンバ	300~600	3~6	冷温帯 (45~100)	落葉広葉 先駆樹種	2,300	30~50				×		
ダケカンバ	300~500	3~6	亜寒帯 (15~55)	落葉広葉 先駆樹種	1,000	30~50				×		
ミズナラ	200~400	11~6	冷温帯 (45~85)	落葉広葉	350/kg	60~80				×		
アカマツ	300~600	3~6	冷温帯~暖温帯 (65~150)	針葉樹 先駆樹種	90	20~50			×			
ネズミモチ	200~400	3~6	暖温帯 (85~180)	常緑広葉	25	50~70						
シラカシ	200~500	11~6	暖温帯 (90~180)	常緑広葉	950/kg	60~80					×	
シャリンバイ	100~200	12~6	暖温帯~亜熱帯 (85~200)	常緑低木	2.6	70~90						
ササ類	30~150	11~6	亜寒帯~暖温帯 (30~150)	常緑地被 地下茎	40	30~50						

特 性	植物名
瘠地、乾燥地に強い。硬質地でもよく生育する。初期生育がやや遅い。土壌緊縛力が高い。表土層形成力が大きい。木本植物との混播に適する。	メドハギ
瘠地、乾燥地に強い、硬質地でもよく生育する。	コマツナギ
瘠地、乾燥地、硬質地でもよく生育する。3~4年に一度刈り取ると毎年花を觀賞できる。	ヤマハギ
根系の土壌緊縛力が特に大きい。発芽・生育が安定し確実性が高い。耐陰性もややある。草本植物との混播が容易である。	イタチハギ
瘠地、崖錐地、岩ずり地でもよく生育する。寒冷地を好む。混播当年の生育は極めて遅いが、2年目から急速に成長する。生態系の早期回復に有効。亜高山：ミヤマハンノキ。	ヤマハンノキ
瘠地、乾燥地、急傾斜地、岩石地などでよく生育する。寒冷地にはヒメヤシャブシ、暑い地方ではオオバヤシャブシを用いる。初期成長は遅いが2年目から急速に成長する。	ヤシャブシ
冷温帯のブナ群団やミズナラ群集地域においてよく生育する。草本植物との混播は熟練した技術を要する。使用種子を確保する。	シラカンバ
亜高山地帯の主構成種として最適。耐寒性が大。初期生育は遅い。使用種子を確保する。	ダケカンバ
耐寒性大。盛土面の安定に有利。土壌の厚い箇所、肥沃地でないと成林しにくい。使用種子をあらかじめ確保する。種子の貯蔵は土中がよい。	ミズナラ
瘠地、乾燥地、急傾斜地、岩石地などでよく生育する。肥沃で、硬質な生育基盤をつくる植生基材吹付工は不適。日影に弱い。草本植物に被圧されやすい。	アカマツ
耐陰性が大きい。根系の土壌緊縛力は極めて大きい。初期生育は遅い。刈り込みに強い。養分の要求量は高いが、瘠地でも生育の持続性はある。	ネズミモチ
耐陰性が大きい。養分の要求量が高く瘠地では生育不良になる。初期生育が遅い。肥沃で厚い生育基盤の造成が必要である。盛土面への適用が望まれる。	シラカシ
耐陰性に優れている。発芽・生育に安定性がある。有機質肥土を多く含んだ厚層基材吹付工での導入が容易である。潮風に強い。	シャリンバイ
耐寒性、耐陰性に優れている。強酸性地でも生育する。肥沃土層がないと、ほとんど繁茂しない。種子は低温湿層貯蔵する。有機質肥沃主体の厚層基材吹付工で導入できる。	ササ類

注1) 高い、中庸、低い、×劣る

注2) 温量指数とは、各月の平均気温から5°Cを引いて1年間合計した値。ただし、月平均気温が5°C以下の場合は除外する。

札幌 65、仙台 85、東京 110、大阪 120、鹿児島 130、沖縄 200程度。

(b) 草本類

表9 - 5 主な草本類とその特性

植物名	草丈・樹高 (cm)	播種適期 (月)	生育可能地域 (温量指数)	形態等	単位粒数 (粒/g)	発芽率 (%)	耐瘠地	耐乾性	耐陰性	耐暑性	耐寒性	耐酸性
クレーンソウレット フェスク (CRF)	30~80	3~9	亜寒帯~暖温帯 (20~140)	外来草本	1,300	50~80						
オーチャートグラス (OG)	60~100	3~9	亜寒帯~暖温帯 (45~140)	外来草本	1,400	50~80						
トールフェスク	80~120	3~9	亜寒帯~暖温帯 (45~140)	外来草本	400	60~90						
ケンタッキーブルー グラス (KBG)	30~40	3~6	亜寒帯~冷温帯 (30~100)	外来草本	4,300	50~70		×		×		
ウィーピングラフ グラス (WLG)	80~110	3~9	暖温帯~亜熱帯 (100~240)	外来草本	3,300	70~90			×		×	
ハミューダグラス (BG)	10~30	3~8	暖温帯~亜熱帯 (110~240)	外来草本	4,800	60~80			×		×	
パヒアグラス (BaH)	30~50	3~8	暖温帯~亜熱帯 (110~240)	外来草本	300	50~80					×	
ホワイトクローバー (WC)	20~30	3~6	冷温帯~暖温帯 (50~130)	外来草本	1,400	70~90						
ススキ	80~200	3~6	冷温帯~暖温帯 (45~200)	在来草本	1,000	20~50						
カリヤスモトキ	60~120	3~6	亜寒帯~冷温帯 (30~85)	在来草本	7,700	40~60						
トダシバ	30~60	3~7	冷温帯~暖温帯 (70~180)	在来草本	2,500	50~70						×
ノシバ	10~30	5~7	冷温帯~亜熱帯 (70~200)	在来草本	2,800	50~70			×			×
ヨモギ	80~150	3~7	亜寒帯~暖温帯 (30~180)	在来草本	3,500	70~80						
イタドリ	60~100	3~6	亜寒帯~暖温帯 (15~150)	在来草本	500	40~70						

特 性	植物名
耐寒性が大きい。酸性に強い。発芽、初期生育が少し遅い。単純植生になりやすい。寿命が長い。根系密度が高く土壌形成力が優れ、ササとの共存に有効。	クレーンソウレット フェスク (CRF)
耐陰性が大きい。樹林の林床植生として好ましい。耐寒性が大きい。霧が発生する地帯での生育が旺盛である。	オーチャートグラス (OG)
各種の立地条件に対し適応性が高い。土壌を選ばない。耐寒性が大きい。	トールフェスク
寒さに強い、耐陰性が大である。発芽・初期生育が少し遅い。暑さと乾燥にやや弱い。	ケンタッキーブルー グラス (KBG)
暑さや乾燥に特に強い。瘠地や砂地でもよく生育する。日影に弱い。寒さに弱い。冬期に地上部が枯れるので火災の危険性がある。	ウィーピングラフ グラス (WLG)
暑さや乾燥に特に強い。海岸砂地でもよく生育する。日影には不適。寒さに弱い。	ハミューダグラス (BG)
暑さや乾燥に特に強い。日影にも比較的よく育つ。発芽率が低いことが多い。寒さに弱い。	パヒアグラス (BaH)
瘠地によく育つ。湿潤地で旺盛な生育を示す。発芽が速い。乾燥に弱い。根系の土壌緊縛力が弱い。日影の急斜面に用いると表層土滑落の原因になる。	ホワイトクローバー (WC)
根系の土壌緊縛力が強い。弱酸性地でも生育する。瘠地や乾燥地に強い。発芽率にむらがありほとんど生えないことがあるので事前にチェックする。	ススキ
ススキの生育しにくい寒冷地でよく生育する。砂礫地に育つ。種子散布工では生えにくい。	カリヤスモトキ
乾燥地に強い。根系の土壌緊縛力が強い。初期生育は遅いが、2年目にはよく生育する。	トダシバ
乾燥地に強い。暑さに弱い。発芽にはかなりの高温を要するので播種適期が短い。初期生育が遅い。発芽促進処理をした種子を用いる。	ノシバ
気象条件、土壌条件に対する適応性が高い。単純植生になりやすい。土壌緊縛力が弱い。冬期間に地上部が枯れて見苦しい。	ヨモギ
耐寒性が大である。強酸性地に育つ。群落状をなして生育する。単純植生になりやすい。土壌緊縛力が高い。冬期間枯れ裸地状になる。	イタドリ

注) 高い、中庸、低い、×劣る

(c) 肥料木・草

緑化施工の対象地は、本来の土壌条件と異なっているため、目的とする植物を最初から直接導入しても容易には成育しないことが多い。そこで、植物の成育を保護し助ける働きを持つ植物を導入する。それが肥料木・草で、共生遊離窒素固定を行い、地力の増進と他植物の成育を促進する機能を持つ根粒植物である。このほかに、同じように土壌の肥沃化に有効な働きを行う新肥料木・草がある。

表9 - 6 主な肥料木・草

肥料木	アカシア類, アキグミ, イタチハギ, エニシダ, オオバヤシャブシ, クズ, コマツナギ, サイカチ, タニガワハンノキ, ナツグミ, ニセアカシア, ネムノキ, ハギ類, ハンノキ, ヒメヤシャブシ, メドハギ, モクマオウ, ヤシャブシ, ヤマハンノキ, ヤマモモなど
新肥料木	アカメガシワ, イヌザクラ, オオシマザクラ, ニワトコなど
肥料草	カラスノエンドウ, クサネム, クサフジ, クララ, クローバー類, スズメノエンドウ, ツルフジバカマ, ハマエンドウなど
新肥料草	カワラケツメイ, ツルアズキ, ノアズキ, ノササゲ, ヤブマメなど

(4) 施工

(a) 播種量

播種量 = 希望発生本数 / (平均粒数 × 純度 × 発芽率)

希望発生本数は、草本類を主体とする時、3,000本 / m²、木本類を混播又は播種する時、草本類を500本 / m²程度にする。木本類は初期成長が遅く草本の播種量が多いと被陰されてしまうからである。

(b) 肥料

一般に、草本の成育を抑えて播種による木本類の成育を期待するには遅効性の肥料を施すとよい。

表9 - 7 肥料の種類と特質

1) 主な窒素肥料

名 称	性 質 ・ 用 途
硫 安 (アンモニア態窒素)	代表的なアンモニア態窒素肥料、純製品窒素21.0%を含む。水に溶けやすく速効性。元肥追肥に適す。吸収後硫酸根が残り酸性を呈する。

硝 安 (硝酸態窒素)	水に溶けやすく速効性であるが、流亡しやすい。元肥はさけ、追肥に用いる。生理的中性肥料。
尿 素	純製品は46.65%の窒素を含む。水によく溶解する。生理的中性肥料速効性
石 灰 窒 素 (シアンミド性窒素)	灰褐色の重い粉末で窒素分を20～24%含む。施肥後の播種・植付けはさける(シアンミドは有害で、直接根や葉にふれると枯死する)。また、一時に湿気を吸うと、チシアン、チアミドができ生育が阻害される。遅効性
緩効性窒素肥料	窒素の形態を化学的に変化させ肥効の発現を遅らせた化学肥料。肥効に持続性があり、また、流亡が少ないので、樹木用として最適である次の製品がある。I B、ウレアホルム、C D U

2) 主な燐酸肥料

名 称	性 質 ・ 用 途
過 燐 酸 石 灰	水に溶けやすく、速効性である。元肥用、追肥用。酸性土では石灰を十分に施用する。火山灰土では、燐の固定が行われ無効化するのでこれを防ぐために堆肥を併用する。
溶 成 燐 肥	燐酸は水に溶けにくく過燐酸石灰より遅効性である。元肥用。肥効は高く、火山灰土や酸性土壌に適する。硫安、硝安、過燐酸石灰などの酸性肥料と混合してはならない。

3) 主な加里肥料

名 称	性 質 ・ 用 途
塩 化 加 里	白色の結晶で、加里分を約60%位含む。水溶性加里を50%含み、速効性で肥効が高い。生理的に酸性肥料であるので、石灰を施すのがよい
硫 酸 加 里	加里分を約50%含有し、このうち水溶性加里は45%以上、速効性、生理的酸性肥料。

4) 主な複合肥料

名 称	性 質 ・ 用 途
化 成 肥 料	N・P・Kの合計が30%以上のものをいう。硫加燐安系、尿素燐安系のものが樹木用として適する。(30%以下のものを低度化成肥料という)
固 形 肥 料	複合肥料に泥炭を加え3mm以上に成形した肥料で大豆や小豆ぐらいの大きさ(粒径6～10mm)の粒状固形肥料と豆炭状(1個10～15g)の大形固定肥料とがある。植栽木にこの大形固定肥料は多用されている。
液 体 複 合 肥 料	液体肥料、葉面散布肥料で追肥用。

(c) 侵食防止材と土壌改良材、その他

表 9 - 8 土壌侵食防止剤、土壌改良材等

区		分	摘	要
土 壌 侵 食 防 止 剤	化学的資材	養生材	カチオン系アスファルト乳剤・ソイルカード・エンキャップ・エスフィックス・ルナゾール	
		粘着材	セメント・エスフィックス、ルナゾール・ドロゲン	
	物理的資材	セシイ類	グリーンファイバー・シルバーファイバー・ターファイバー・カクストン・スタピラリントー・糸くずセシイ・鉾滓セシイ・ガラスセシイ	
		ネット類	金網・合成樹脂網・天然せんい網	
		シート類	わらむしろ・紙・不織布・寒冷紗+紙など厚さ1cm未満の資材	
		マット類	植生基材が厚さ1cm以上入っている資材	
その他	わら・枝条・乾草・海藻・笹・鋸屑			
土 壌 改 良 材	無機質系		フィルトン・パーライト・ネニサンソ(真珠岩の焼成物)。 パーミキュライト(蛭石の焼成物)・ゼオリン(凝灰岩の粉末)・モンモリナイト(モンモリナイトの粉末)	
	高分子系		高吸水性ポリマー・ハイグロチル・エスソイル	
	有機質系		樹皮系(キノックス・ミノリ堆肥) 泥炭系(ピートモス・テンポロン・ポーラス) 亜炭褐炭系(テルナイト・アミゾール・アズミン・タイヒゲン) その他(コンポスト・ユーキゲン)	
植生基材			人工土壌	
鳥獣忌避材			酸化第二鉄・鉛丹	
着色剤			粉末着色剤(顔料)・結晶着色剤(マラカイド系染料)	

(5) 採石地の緑化例

表 9 - 9 採石地の緑化例

立地区分	復元目標の外観	主な構成種	緑化工法
残壁法面部	低木性樹木を主構成種とする群落	ヤシャブシ, ヤマハギ, アカマツ, ススキ, ヨモギ, メドハギ, ウィーピンググラブグラス, クローバー, イタドリ, ウツギ, タニウツギ, キブシ, キイチゴ類, リョウブなど	金網張工 + 植生基材吹付工

小段部	中・高木性樹木を主構成種とする群落	ヤマハンノキ,アカマツ,ヤマモモ, ヤシャブシ, シラカンバ, サクラ類, カエデ類など	厚層客土 + 植栽工 + 植生基材吹付工 (排水工)
平坦部	高木性樹木が主体の群落	ヤマハンノキ, シラカンバ, アカシア類, ヤマモモ, サクラ類, カエデ類など	盛土式植栽工 + 植生基材吹付工 (排水工)

注：主な構成種は参考までにあげたもので、地方によって異なる。緑化工法は標準的なものである。

具体的な施工例を以下に示す。

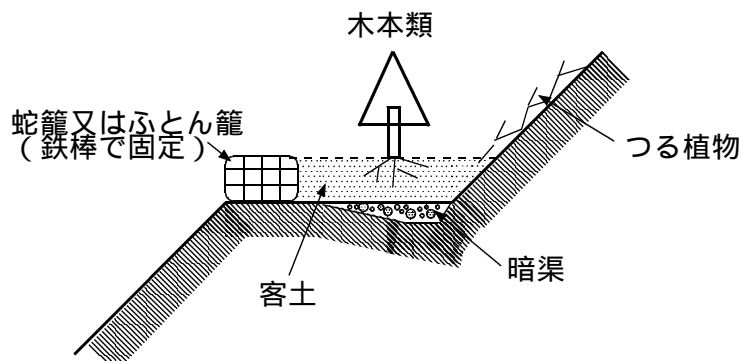


図9 - 3 小段・のり面への緑化施工法

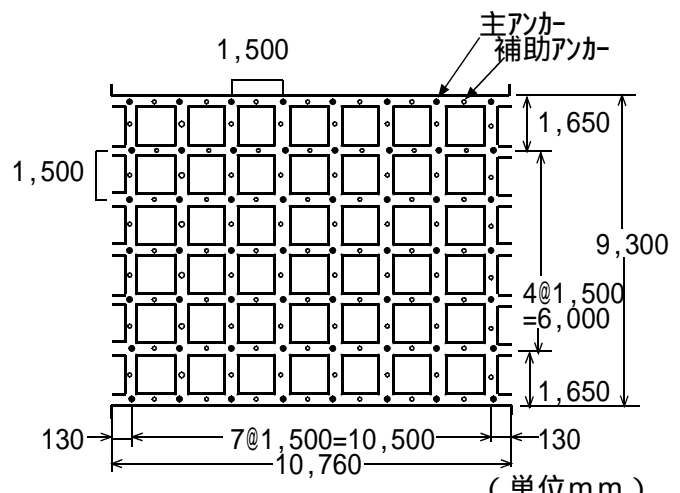


図9 - 4 金網張り工と湧水処理施工

図9 - 5 のり面におけるコンクリート砕工の施工法 (単位mm)

(6) 植生調査

植生調査は、施工の成否判定、植生推移の予測、管理方法の判断などのために実施される。

調査区決め方は、ランダム抽出と系統的抽出がある。ランダム抽出は、まず対象区をあらかじめ図上で標本区の大きさの方眼に区切り一連の番号をつける。そして乱数表や番号の付いたカードを抜き出す方法などで、標本区を決める。系統的抽出は、同じく標本区の大きさの方眼に区切り番号を付けたあと、一定の順序で標本区を決める。調査法には、わく法(コドラート法)、トランセクト法、ライン法、ポイント法などがある。

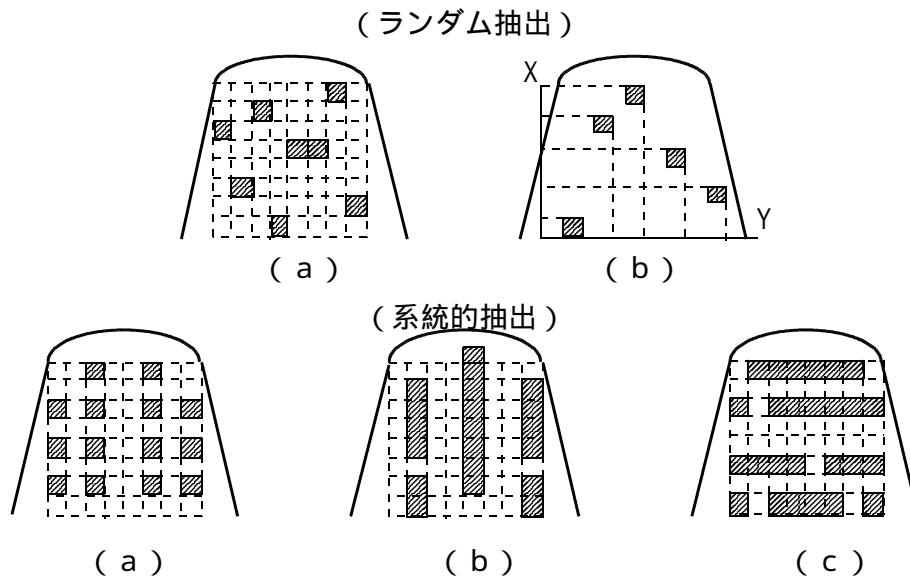


図9 - 6 調査区のみめ方(抽出法)(治山調査法より)

表9 - 10 コドラート面積の目安

植 生 状 態	調査面積の大きさ
施 工 初 期 吹付工	0.1 ~ 1.0m ²
筋 工	1.0 ~ 2.0m ²
施 工 後 (3~7年)	4.0 ~ 25.0m ²
樹木を含む場合 低木 (1~5m)	4.0 ~ 25.0 ~ 100m ²
高木 (8m以上)	25.0 ~ 100 ~ 400m ²

植生調査の測定項目を以下に示す。

密度 (D) = 種類総個体数 / 調査総面積

頻度 (F) % = (ある種が含まれる調査区数 / 調査区総数) × 100

被度は以下の階級区分が使われる。一般的にはブラウンプランケの階級が使用される。

表9 - 11 階級区分と被覆率

ブラウンプランケの階級			その他	
階級	被覆率 (%)	中央値 (%)	階級	被覆率 (%)
5	76 ~ 100	87.5	5	81 ~ 100
4	51 ~ 75	62.5	4	61 ~ 80
3	26 ~ 50	37.5	3	41 ~ 60
2	11 ~ 25	17.5	2	21 ~ 40
1	1 ~ 10	5.0	1	6 ~ 20
+	1以下	0.1	+	1 ~ 5

その他、生育高、胸高直径などを測定する。

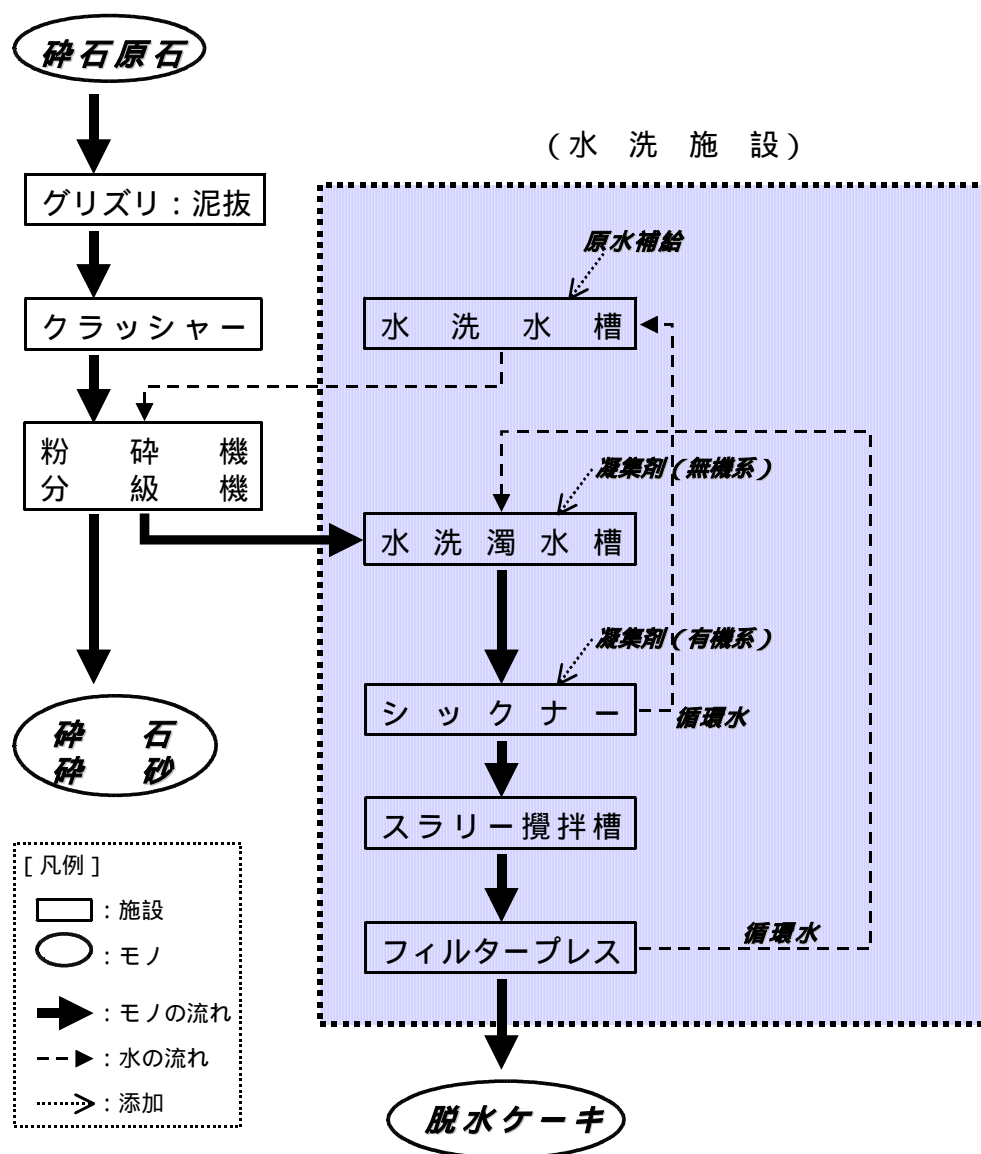
(1) 湿式碎石生産施設のフロー及び水洗施設の能力について

湿式碎石生産施設の水洗施設について（概要）

碎石の水洗は、コンクリート用等の碎石・砕砂の品質管理を主目的に行われる。

水洗施設は、破碎、粉碎及び分級工程で原石に附着した泥分や碎石微粒分を、水洗水槽、水洗濁水槽、シックナー、スラリー攪拌槽、フィルタープレス等で分離回収する碎石生産施設と一体となった施設をいう。

湿式碎石生産施設の水洗施設概要図



水洗施設の能力

破砕、粉碎及び分級工程により発生するスラッジ量に見合ったシックナー、フィルタープレス等適正な能力を有する水洗施設を設置する必要がある。

(2) 水洗施設で使用する凝集剤の選定と使用方法について

凝集剤について

凝集剤には有機系と無機系がある。

無機系凝集剤は、粘土等微粒子に対して凝集効果が大きいですが、フロックが小さく、沈降速度が遅い。このため、通常は、懸濁した微粒子の表面電荷を中和し架橋して大きなフロックを形成し沈降させる有機系凝集剤と併用される。

[無機系凝集剤の一例]

- ・アルミニウム系凝集剤（硫酸アルミニウム、ポリ塩化アルミニウム（PAC））

上記凝集剤使用により処理水のpHが低下する場合には石灰等による中和処理を行う必要がある。

[有機系凝集剤の一例]

- ・アニオン（陰イオン）系又はノニオン（非イオン）系凝集剤（ポリアクリルアミド系高分子凝集剤）

ポリアクリルアミド系高分子凝集剤の製造中にポリアクリルアミドモノマーが残存すると毒性を有する恐れがあることを留意する必要がある。

凝集剤の選定及び使用方法について

土質及び岩質と凝集効果並びに凝集効果と薬剂量について、常に把握しておく必要がある。また、水洗施設で使用した水を排水する場合には関連法令を遵守するとともに、脱水ケーキを有効利用する場合には、使用する薬剤の安全性について事前に検討する必要がある。

(3) 脱水ケーキの強度向上に必要な方法

各処理の特徴について

(a) 廃土又は廃石との混合処理

排水性のよい廃土又は廃石と脱水ケーキを適量混合転圧し、締め固めることにより、処理土の強度向上が可能である。

(b) 石灰等改良材との混合処理

石灰等改良材は以下の特徴があることから、処理土のたい積時に必要とされる物性を確保するためには有効である。

- ・含水比及び塑性指数を低下させ、施工性が早期に改善
- ・低強度～高強度まで改良強度を発現させることが容易

- ・ 長期に及び強度の発現が可能

(c) サンドイッチ処理

排水性のよい廃土又は廃石やジオテキスタイル等透水性の高い材料と脱水ケーキを交互に盛土することにより、圧密脱水が図られ、たい積物の強度向上が可能である。

混合及びたい積方法

(a) 廃土又は廃石との混合処理

- ・ 混合処理により処理土の含水比率を安定なレベルまで下げる
- ・ 十分に混合し、締め固めを行う
- ・ その他、十分に安定である

(b) 石灰等改良材との混合処理

- ・ 処理土の用途に対応した適正な添加量を設定する
- ・ プラント等にて脱水ケーキと石灰等改良材を十分混合する
- ・ 十分に締め固めを行う
- ・ その他、十分に安定である

(c) サンドイッチ処理

- ・ 排水性のよい廃土又は廃石やジオテキスタイル等の材料を用いる
- ・ 十分に締め固めを行う
- ・ のり尻部からの排水が容易となるような構造と
- ・ その他、十分に安定である

(4) 環境関連基準の遵守

脱水ケーキの特徴

75 μ以下のシルト及び粘土分が大部分を占めるSiO₂及びAl₂O₃主体の岩石粉であり、含水率は20～30%程度。地質状況にもよるが、通常、ヒ素、カドミウム、クロム、水銀、鉛等有害重金属は含まない。なお、岩石粉を沈降処理する際、凝集剤を使用するため、無機系及び有機系凝集剤を含む。

留意事項

岩石採取場の地質状況及び湿式碎石生産施設での使用凝集剤を十分把握の上、脱水ケーキ中に有害物質を含有するか否かを判断し、必要に応じ適切な措置を講ずること。

(5) 排水施設について

排水施設については、以下に従い設置すること。

排水施設

- (a) たい積場には、原則として場外水排除施設及び場内水排除施設を設けるものとする。

(b) 場外水排除施設及び場内水排除施設は、地形及び地質に応じた最も適切な配置及び構造とすること。

(c) 場外水排除施設及び場内水排除施設には、必要に応じ減勢工等の適切な措置を講ずること。

場外水排除施設

(a) 沢水、山腹水等の場外水は、沢水排水路及び山腹水路を設けて排除し、できるだけ積場内に流入させないようにすること。

ただし、山腹水路については、地形上設置が困難と認められる場合又は集水面積が極めて小さい場合には、他の施設による十分な排水能力が確保されることを前提にこれを設けないことができる。

(b) 沢水排水路は、次の各号により設けるものとする。

- ・ 流量に対し余裕のある構造とすること
- ・ 堤体外の地山に設けること
- ・ 地形上前号の規定によることができない場合には、基礎地盤を切り込み堅固な構造とし、その内部を検査できるようにすること
- ・ 流木、土石等による埋そくを防止するため、上流部に土砂止め、流木止め等適切な施設を設けること

(c) 山腹水路は、次の各号により設けるものとする。

- ・ 流量に対し余裕のある構造とすること
- ・ たい積場の周囲になるべく接近して設けること
- ・ 山腹水をよく捕集することができる構造とすること
- ・ 雪崩又は土砂流入のおそれがある箇所には、適切な保護施設を設けること
- ・ 土留施設付近において越流又は破損のおそれがないように適切な設計及び施工をすること

場内水排除施設

(a) たい積物の上を流下する水を排除するため、適切な表面排水路を設けるものとする。

(b) たい積場内の湧水及びたい積物の含有水を排除するため、暗きょを設けるものとする。

(c) 前項の暗きょにはたい積物の流出を防止するため、ろ過層による被覆等の適切な措置を講ずるものとする。

排水能力

場外水排除施設及び場内水排除施設が有すべき排水能力を決定するための降水量並びに降雨時における沢及び山腹からの流入水量については、「参考資料[6]通水能力の算定」に

準ずること。

暗きよ

たい積場内の暗きよは、次の各号により設けるものとする。

- (a) 流量に対し余裕のある構造とすること。
- (b) 外力に対し堅固な構造とすること。
- (c) 原則として基礎地盤を切り込んで設けること。
- (d) 有害な不等沈下が生じない位置及び構造とすること。
- (e) 基礎地盤を切り込んで設ける場合にあつては、側面を埋め戻し、締め固めを十分に行うこと。
- (f) 基礎地盤上に設ける場合にあつては、原則として側面を盛土し、締め固めを十分に行うこと。
- (g) 周辺が洗掘されないよう必要な措置を講ずること。
- (h) 鉄筋コンクリートによる暗きよを設ける場合であつて、浸透水が鉄筋を腐食する成分を含むおそれがある場合には、無筋の状態を外力に耐え得る構造とすること。

排水の処理施設

- (a) たい積場から排出される排水が排出基準に適合しない場合には、排水の処理施設を設けること。
- (b) 前項の施設は、地滑り、雪崩等のおそれがない場所に設けること。

(6) 土質試験について

基礎地盤、築堤材料及びたい積物に関し行う土質試験の種類は次のとおりとする。具体的な試験方法については、土質の性状とたい積環境により適宜選択すること。

基礎物性試験

含水比試験、粒度試験、密度試験及び突き固めによる締め固め試験

強度試験

一面せん断試験（圧密定体積又は圧密定圧の条件から選択）及び三軸圧縮試験（非圧密非排水、圧密排水又は圧密非排水の条件から選択）

透水試験

室内透水試験（定水位試験又は変水位試験から選択。排水性能の劣る材料では圧密試験で代替可）

その他（必要に応じ実施）

液性限界試験、塑性限界試験、繰返し非排水三軸試験、現場密度試験、標準貫入試験、静的貫入試験、P S 検層、現場透水試験、有機物含有量試験、原位置間げき水圧試験

(7) 災害防止のために必要な措置を講じている場合のたい積方法について

廃土、廃石、脱水ケーキ及び処理土のたい積物が往々にして崩壊、流出等災害発生の要因となっていることから、採石法上は採石業者にその管理義務を負わせているところである。この観点からも、たい積場に土留施設及び場内外排水施設を設置すること並びに強度計算及び安定計算により安全性を確認することは重要である（安定計算については、「参考資料8 たい積場の安定計算方式」に準ずること）。

しかしながら、たい積場の崩壊、粉じん飛散、たい積物の流出、汚濁水等による災害の恐れがなく、安全なたい積が可能な場合には上記措置の一部を免除するものである。この場合には、おおよそのり面傾斜を25°以下、たい積高さを10m以下とする等のたい積計画を策定し、これに従いたい積することが望ましい。

(8) 計測施設を設置する際の留意事項

従来使われている円弧すべり解析法でも明らかなように、たい積物内に浸透した水が排水されないと間げき水圧が発生し、安全率が低下する。この場合には、間げき水圧の測定が必要である。一方、たい積物内にもともと水が浸透しない場合や、たい積物内に水が浸透しても直ちに排水される構造となっている場合、あるいは間げき水圧が最大限上昇しても安全率が1.2未満とならない場合には間げき水圧の計測は免除しても差し支えない。

(例) 円弧すべり解析法

$$F = \frac{\{c + (p - u)\tan \theta\}L}{w \sin \alpha}$$

F: 安全率	p: すべり面単位幅当たりの法線力
c: 粘着力	u: すべり面単位幅当たりの水圧
θ: 内部摩擦角	L: すべり面の長さ
α: 要素底面と水平面のなす角度	w: スライスの重さ

(9) 脱水ケーキ及び処理土の有効利用に当たっての留意事項

脱水ケーキ及び処理土の有効利用に当たっては種々の処理方法及び用途があることから、有効利用を行う際には、関係法令、品質基準及び施工管理基準を確認するとともに、関係機関の担当部局と十分連携をとり、適正な方法により有効利用を図っていくことが重要である。以下に有効利用の一例を示す。

土質材料等として利用

「発生土利用基準（案）（平成6年7月20日、建設省技調発第173号）」の土質区分第2種から第4種に相当する場合には、土木建設用の土質材料として利用可能である。

「発生土利用基準（案）」（抄）

土質区分基準 関係部分のみ抜粋

区分（建設省令）	土質区分	コーン指数	日本統一土質分類	含水比
第2種建設発生土	第2種改良土	800kN/m ² 以上	（改良土）	-
第3種建設発生土	第3b種発生土	400kN/m ² 以上	シルト、粘性土	40%程度以下
	第3種改良土		火山灰質粘性土	-
第4種建設発生土	第4b種発生土	200kN/m ² 以上	（改良土）	-
			シルト、粘性土	40～80%程度
	第4種改良土		火山灰質粘性土	-
			有機質土	40～80%程度
			（改良土）	-

適用用途標準案

用途 土質区分	工作物の埋戻し		道路（路床）盛土		土木構造物の裏込め	
	評価	付帯条件	評価	付帯条件	評価	付帯条件
第2種改良土		-		-		-
第3b種発生土		安定処理		施工上の工夫 安定処理		施工上の工夫 安定処理
第3種改良土		施工上の工夫		施工上の工夫		施工上の工夫
第4b種発生土		安定処理		安定処理		施工上の工夫 安定処理
第4種改良土	×		×			施工上の工夫

用途 土質区分	道路路体用盛土		河川築堤			
	評価	付帯条件	高規格堤防		一般堤防	
			評価	付帯条件	評価	付帯条件
第2種改良土		-		-		-
第3b種発生土		-		-		-
第3種改良土		-		-		-
第4b種発生土		施工上の工夫 安定処理		安定処理		施工上の工夫 安定処理
第4種改良土		施工上の工夫		安定処理		施工上の工夫

用途 土質区分	土地造成				水面埋立て	
	宅地造成		公園・緑地造成		評価	付帯条件
	評価	付帯条件	評価	付帯条件		
第2種改良土		-		-		-
第3b種発生土		-		-		-
第3種改良土		-		-		-
第4b種発生土		施工上の工夫 安定処理		施工上の工夫 安定処理		-
第4種改良土		施工上の工夫		施工上の工夫		-

- 凡例 [評価] : そのままで使用可能なもの
: 施工上の工夫、もしくは、簡易な土質改良（安定処理を含む）を行えば使用可能なもの
: 安定処理法等の土質改良を行えば使用可能なもの
× : 使用が不適なもの
- [付帯条件] - : 十分な施工を行えば、そのまま使用できるもの
/ : 土質改良、施工上の工夫をしても、使用が不適なもの

「建設汚泥再生利用基準（案）（平成11年3月29日、建設省技調発第71号）」（抄）

主な処理方法と利用用途例

処理方法		形状	主な用途
製品化処理技術	焼成処理	粒状	ドレーン材、骨材、緑化基盤園芸用土、ブロック
	スラリー化安定処理	スラリー状 固化	埋戻し材、充填材
	高度安定処理	粒状、塊状	砕石代替品、砂代替品、ブロック
	熔融処理	粒状、塊状	砕石代替品、砂代替品、石材代替品
土質材料としての処理技術	高度脱水処理（脱水処理含む）	脱水ケーキ	盛土材、埋戻し材
	安定処理	改良土	盛土材、埋戻し材
	乾燥処理	土～粉体	盛土材

水硬性複合路盤材として利用

水硬性複合路盤材は、安定処理した脱水ケーキとクラッシュラン又は再生クラッシュランを混合設備で混合処理（修正CBR 30%以上）し生成する。混合割合は材料の性状によるが、安定処理した脱水ケーキの含有率を20%以下の範囲で設定する。

（参考）

脱水ケーキの物性：生石灰及び石灰系処理材を添加・配合して安定処理

粒度 [5mmふるい通過質量百分率95%以上]、CBR [10%以上]

クラッシュラン及び再生クラッシュランの物性：

修正CBR [20%以上]、塑性指数 [6以下]、すりへり減量 [50%以下]