

ーアンカー式空石積工ー
ラップストーン工法 設計要領



環境工学株式会社

目 次

1. ラップストーン工法の概要	1
1-1 ラップストーン工法の構造と理論	1
1-2 標準断面の構成	1
1-3 適用範囲	2
2. 設計条件	4
2-1 土質・地盤条件	4
2-2 載荷重	5
2-3 水質条件	5
3. ラップストーン工法の設計	6
3-1 アンカー式自然石	6
3-2 裏込材	6
3-3 基礎工・根入れ	6
3-4 天端工	7
3-5 防護柵の設置	8
3-6 小口止め工	9
3-7 吸出し防止材	10
3-8 構造安定検討	11

1. ラップストーン工法の概要

1-1 ラップストーン工法の構造と理論

ラップストーン工法の構造と理論については、「グラウンドアンカー工法」における支圧型支持方式の技術理論を応用したものです。構造は、自然石の背面にアンカーを固着し、その端部にストッパーパネル（支圧板）を装着させたアンカー式自然石を用いて、自然石とストッパーパネルの間に裏込材（割栗石 $\phi 50\sim 150$ ）を充填しながら、アンカー式自然石を急勾配に積み上げるものです。アンカーに取り付けたパネルの支圧効果によって自然石と裏込材の割栗石が一体化され、流体力や滑動力に対して抵抗できる強固な擁壁・護岸が形成されます。

また、自然石を用いた多孔質構造ですので水辺の生態系保全のほか、周辺環境と調和のとれた美しい景観を創出する工法となります。

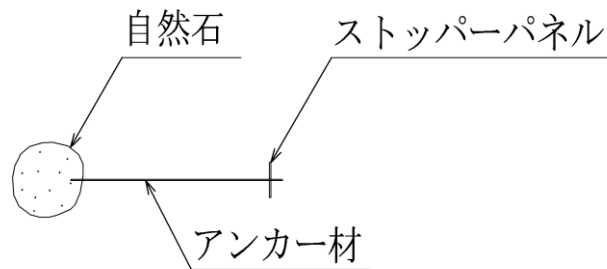


図 1-1 単体詳細図

1-2 標準断面の構成

ラップストーン工法の標準的な断面構成は、アンカー式自然石・裏込材（割栗石 $\phi 50\sim 150$ ）・基礎工・天端工からなります。裏込材（割栗石）の背面部には背面土の吸出しを防止するため、吸出し防止材を設置します。また、上下流端部における洗掘作用によるラップストーンのパネルの破壊を防ぐために、小口止め工を設置します。

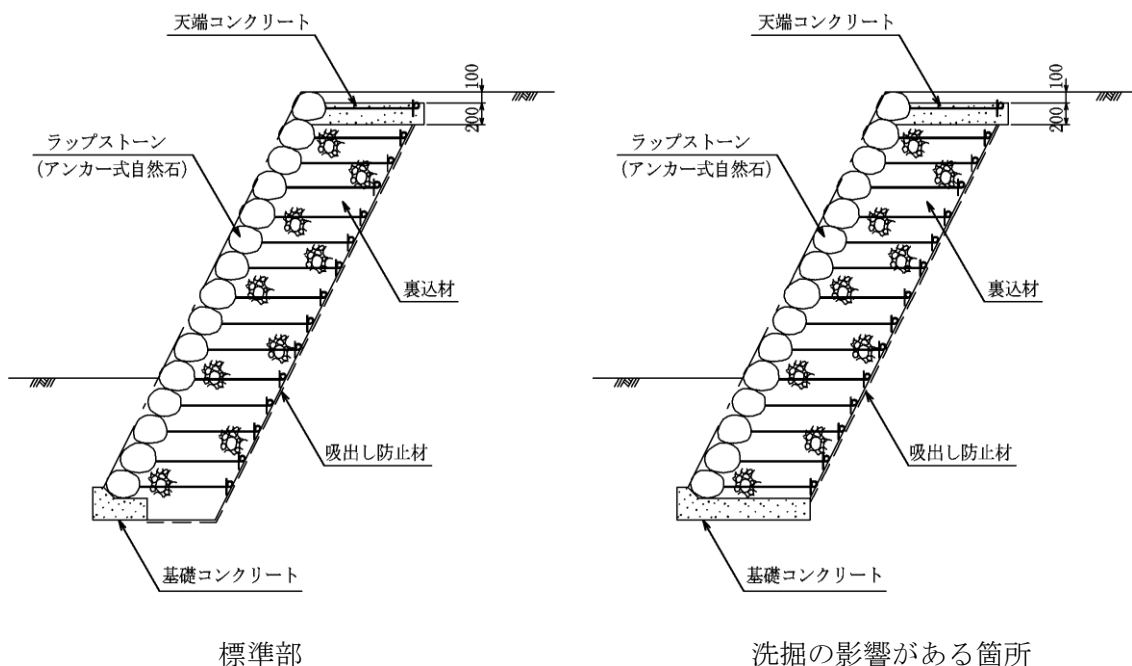


図 1-2 標準断面図

1-3 適用範囲

ラップストーン工法の標準的な適用範囲は、自然石と裏込材（割栗石）が一体化した構造の擁壁として、土質や載荷重等の条件より算定を行った結果と、施工実績等を考慮し、以下の通りとします。

(1) 限界直高

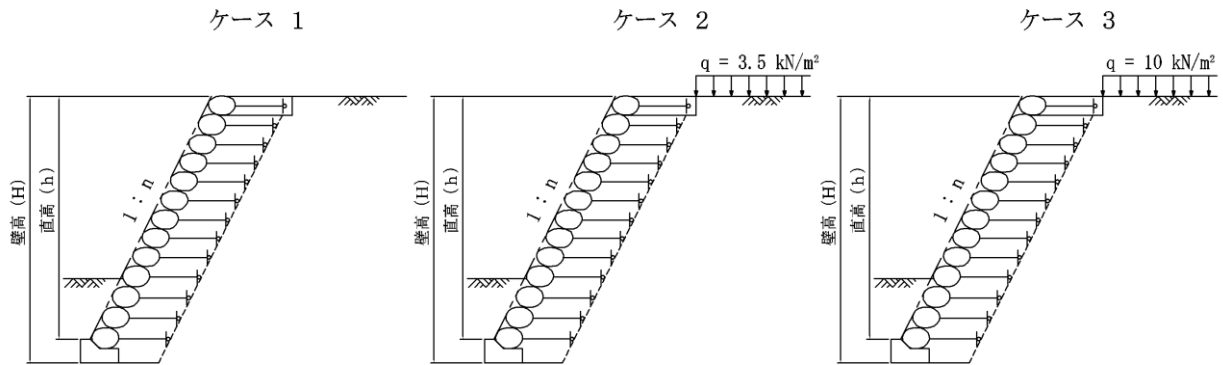


図 1-3 計算ケース

表 1-1 限界直高一覧表

土質設計条件：①せん断抵抗角 $\phi = 30^\circ$, 単位体積重量 $\gamma = 19\text{kN/m}^3$ 、粘着力 $c = 0\text{kN/m}^2$

②せん断抵抗角 $\phi = 35^\circ$, 単位体積重量 $\gamma = 20\text{kN/m}^3$ 、粘着力 $c = 0\text{kN/m}^2$

法勾配	土の内部摩擦角 (ϕ)	規 格	ケース 1		ケース 2		ケース 3	
			直高 (h)	壁高 (H)	直高 (h)	壁高 (H)	直高 (h)	壁高 (H)
1 : 0.3	30°	500 型	3.08	3.33	2.73	2.98	2.08	2.33
		800 型	4.24	4.54	3.88	4.18	3.22	3.52
	35°	500 型	4.11	4.36	3.77	4.02	3.14	3.39
		800 型	5.65	5.95	5.30	5.60	4.67	4.97
1 : 0.4	30°	500 型	3.49	3.74	3.13	3.38	2.48	2.73
		800 型	4.81	5.11	4.44	4.74	3.78	4.08
	35°	500 型	4.83	5.08	4.49	4.74	3.86	4.11
		800 型	6.65	6.95	6.31	6.61	5.67	5.97
1 : 0.5	30°	500 型	4.04	4.29	3.68	3.93	3.02	3.27
		800 型	5.56	5.86	5.20	5.50	4.53	4.83
	35°	500 型	5.86	6.11	5.52	5.77	4.88	5.31
		800 型	8.00	8.30	7.72	8.02	7.08	7.38

※直高及び壁高の単位は (m) です。

注) 上表は標準型の 500 型・800 型の場合です。アンカーの長さを長くすることにより積み上げ限界高さより高く積み上げることができます。最寄りの営業所にお問い合わせください。

(2) 適応勾配

1 : 0.3～1.0

ただし、緩勾配断面へのすり付け等のように延長が短い区間における適用は1割5分まで可能としますが、通常の一般部においては上記範囲を原則とします。

(3) 道路兼用護岸の扱い

ラップストーン護岸の天端部には、兼用道路を設置することができます。車両による载荷重に対する強度については、別紙「ラップストーン工法 道路兼用護岸としての強度試験」を参照して下さい。

(4) 一般擁壁

ラップストーンは護岸以外の一般擁壁にも適用できます。ただし、道路・歩道の山側における適用は、既設石積みの積直しを前提とし技術審査証明取得の高耐久仕様を基本とします。新規に採用する場合は、加えて前面石材の控長の確保及び石工による施工を必用とします。また、アンカー式ブロック工法のラップブロック（擁壁用または河川用高耐久仕様）、ハードストーン工法、アルダストーン工法の代用も可能です。

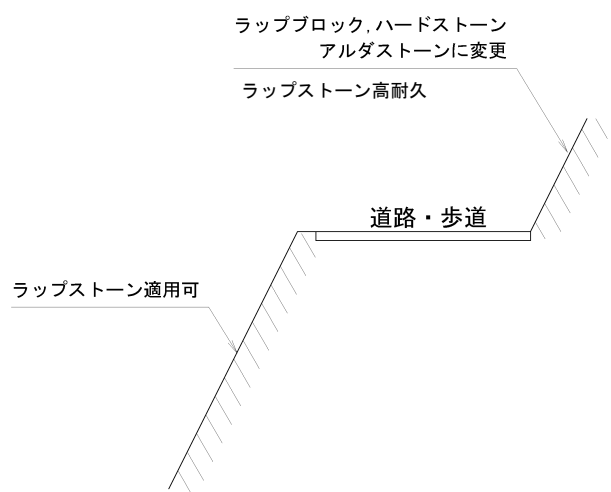


図 1-4 適用範囲

設計条件

1-4 土質・地盤条件

ラップストーン工法の安定検討の条件として、背面土のせん断定数と単位体積重量・支持地盤の許容支持力度と摩擦係数等が必要となります。各々の定数は土質試験値により設定するのが望ましいのですが、土質試験を行うことが困難な場合は、¹⁾「道路土工 擁壁工指針（社）日本道路協会」等にある推定値を用います。（以下は道路土工よりの抜粋です。）

表 2-1 裏込め土のせん断定数

高さ 8 m 以下の擁壁で土質試験を行うことが困難な場合は、経験的に推定した表 1-1 の値を用いてもよい。

表 1-1 裏込め土のせん断定数

裏込め土の種類	せん断抵抗角 (ϕ)	粘着力 (c) 注2)
礫質土 注1)	35°	—
砂質土	30°	—
粘性土(ただし $w_L < 50\%$)	25°	—

注1) きれいな砂は礫質土の値を用いてもよい。

注2) 土質定数をこの表から推定する場合、粘着力 c を無視する。

表 2-2 土の単位体積重量

表 1-2 土の単位体積重量 (kN/m³ (tf/m³))

地盤	土質	緩いもの	密なもの
自然地盤	砂および砂礫	18 (1.8)	20 (2.0)
	砂質土	17 (1.7)	19 (1.9)
	粘性土	14 (1.4)	18 (1.8)
盛土	砂および砂礫	20 (2.0)	
	砂質土	19 (1.9)	
	粘性土(ただし $w_L < 50\%$)	18 (1.8)	

注) 地下水位以下にある土の単位体積重量は、それぞれ表中の値から 9 kN/m³ (0.9tf/m³) を差し引いた値としてよい。

表 2-3 支持地盤の種類と許容支持力度 (常時値)

表 1-3 支持地盤の種類と許容支持力度 (常時値)

支持地盤の種類		許容支持力度 q_a (kN/m ² (tf/m ²))	備考	
			q_a (kN/m ² (kgf/cm ²))	N 値
岩盤	亀裂の少ない均一な硬岩	1000 (100)	10000以上 (100以上)	—
	亀裂の多い硬岩	600 (60)	10000以上 (100以上)	—
	軟岩・土丹	300 (30)	1000以上 (10以上)	—
礫層	密なもの	600 (60)	—	—
	密でないもの	300 (30)	—	—
砂質地盤	密なもの	300 (30)	—	30~50
	中位なもの	200 (20)	—	20~30
粘性土地盤	非常に堅いもの	200 (20)	200~400 (2.0~4.0)	15~30
	堅いもの	100 (10)	100~200 (1.0~2.0)	10~15

表 2-4 基礎底面と地盤との間の摩擦係数と付着力

表 1-4 基礎底面と地盤との間の摩擦係数と付着力

せん断面の条件	支持地盤の種類	摩擦係数 $\mu = \tan \phi_B$	付着力 c_B
岩または礫とコンクリート	岩盤層	0.7 0.6	考慮しない 考慮しない
土と基礎のコンクリートの間に 割り栗石または碎石を敷く場合	砂質土 粘性土	0.6 0.5	考慮しない 考慮しない

注) プレキャストコンクリートでは、基礎底面が岩盤であっても、摩擦係数は0.6を超えないものとする。

1-5 載荷重

(1) 活荷重

ラップストーン天端部に道路を設置する場合は、通常 10kN/m^2 の自動車荷重を考慮します。また、群集荷重としては 3.5kN/m^2 を考慮します。他各基準に準拠して荷重を考慮して下さい。

(2) かさ上げ盛土

かさ上げ盛土がある場合、壁体への影響範囲を土圧として考慮します。

(3) その他荷重

その他、雪荷重や擁壁上に構造物を設置する等によって載荷重が発生する場合は、(社)日本道路協会「道路土工 擁壁工指針」¹⁾ 等各基準書を参照して、荷重を考慮して下さい。

1-6 水質条件

ラップストーンは、アンカー部材に亜鉛アルミ合金メッキ鉄線を標準仕様として使用しています。一般的な淡水河川等の環境においては、概ね 30～40 年の耐久性を有するものと考えられますが、塩水など腐食力の強い環境で使用する場合は、耐腐食性を向上させたアンカー部材を使用した高耐久仕様を用います。

《高耐久仕様の使用が望ましい条件》

- ・ 海水の流入が見られる感潮域
- ・ 酸性 (pH5 以下) 又はアルカリ性 (pH13 以上) の水質

2. ラップストーン工法の設計

2-1 アンカー式自然石

アンカー式自然石は、自然石の背面部にアンカー材とストッパーパネルを取り付けたもので、ラップストーン工法の主要部材です。材料として使用する自然石の規格は、 $\phi 200\sim 400\text{mm}$ を 12 個/ m^2 程度 (10 個 $\sim$ 16 個/ m^2)、アンカー材は安定計算によってその必要長を検討しますが、500mm または 800mm を標準規格として設定しています。また、製造方法の違いにより、以下の 3 種類の仕様があります。

(1) 自然石採取現場製作仕様

現場発生の自然石を使用して、施工時に現場においてアンカー材及びストッパーパネルを取り付けます。現場付近に適度な大きさの自然石が必要量確保できる場合に適用可能で、施工費を軽減することができます。

(2) 自然石購入現場製作仕様

購入自然石を使用して、上記と同様に現場において部材を取り付けます。安価に石材を確保できる場合等に適用します。

(3) 工場製作製品仕様

工場であらかじめ自然石に部材を取り付け製品化したものを現場に搬入します。部材を取り付ける必要がないために短期間で施工ができ、現場に自然石が確保できない場合や短期間で施工する場合等に適用できます。

2-2 裏込材

裏込材（割栗石）は残留水圧を軽減するとともに、アンカーに取付けたパネルによって、前面自然石部分と一体化をはかるなど、壁体の一部を構成する重要な部分となります。裏込材は割栗石 $\phi 50\sim 150$ を厳守してください。

2-3 基礎工・根入れ

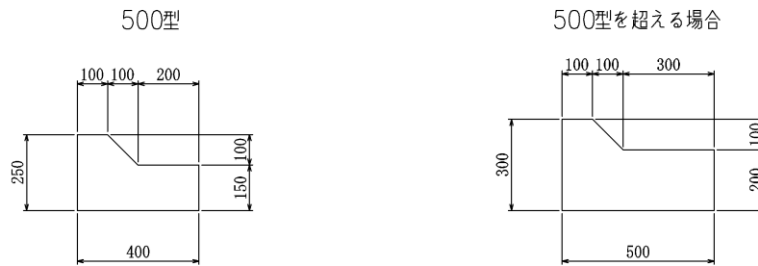
(1) 基礎工

支持層が良質な場合は直接基礎としますが、軟弱地盤等で十分な地盤支持力が得られない場合は、置換え基礎等の地盤改良工法の検討が必要となります。また、基礎地盤の状況に応じて、基礎コンクリートの下部に均しコンクリートや砕石基礎等、基礎材の設置を考慮して下さい。

基礎工の形状は、ラップストーン用標準基礎または間知ブロック用標準基礎を用いますが、洗掘の影響が懸念される箇所（湾曲外側、落差工やその他構造物上下流に設置される護岸）は、洪水時の局所洗掘によって裏込材が吸い出されることを防止するために基礎コンクリートの控え幅を延伸した形状にするとともに、原則として根固め工を併用して下さい。

基礎工（基礎コンクリート工）は、10m間隔を標準として目地材を設置します。

標準部用基礎



延伸基礎 (洗掘の影響がある箇所)

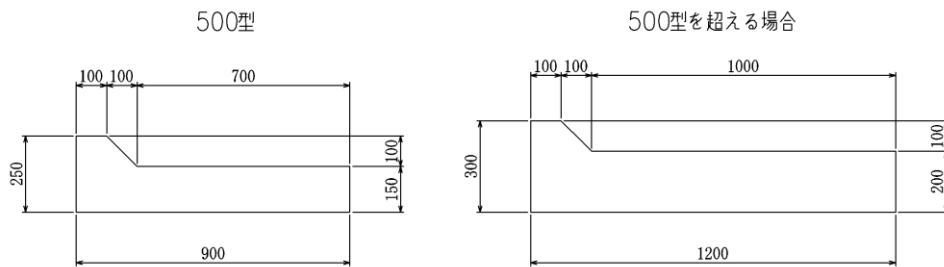


図 3-1 基礎工の形状

※落差工等における取付擁壁や条件護岸工等に関する検討については、最寄の営業所に問合せ下さい。

(2) 基礎の根入れ

ラップストーンの直接基礎の根入れ深さは、地表面から基礎工天端までの深さとし、河川護岸等では河床低下や洗掘の影響を受けるため、一般的には 1.0m (0.5～1.5m) を標準とするケースが多く見られますが、洗掘の影響が大きい場合は、洗掘による最深河床高を基礎工の天端高として根入れ深さを検討します。また、根入れが深い場合 (1.5m を越えるような場合) は、根固め工や基礎矢板を用いて根入れ深さを浅くすることもできます。各発注機関による基準に準じて根入れを確保して下さい。

(3) 基礎工の縦断勾配

ラップストーン工法における基礎工は、河床に対して平行に設置することを標準とし、縦断勾配が大きい場合は、階段状の基礎工を設けます。一般的には、5% 程度までを縦断勾配に沿った基礎工とし、5% を越える場合に階段状の基礎工を設置します。

2-4 天端工

天端部の保護のために、最上段のラップストーンのアンカー部分に厚さ 20cm の天端コンクリートを設けます。一般にコンクリートが見えないように、計画天端高から 10cm 程度下げた位置に設置し、覆土等をする形状を標準としています。低水護岸に使用する場合は、洪水時に天端からの洗掘を防ぐため、天端保護工の設置も検討します。天端コンクリートには 10m 間隔を標準として、目地材を設置します。

天端部に舗装等をおこない、コンクリートと同等程度の強度が確保できる場合は、舗装部分を天端工とみなすこともできます。

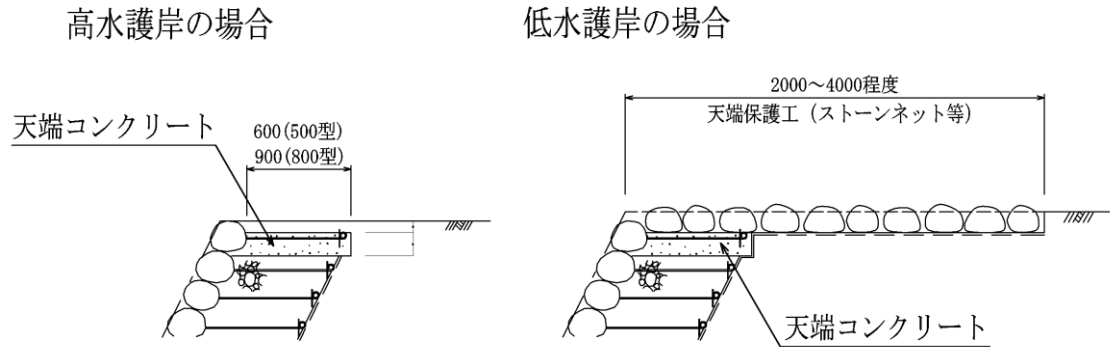


図 3-2 天端工の形状参考図

2-5 防護柵の設置

ラップストーン为天端部に防護柵を設置する場合は、防護柵の種類や形状等に応じて天端コンクリートの形状を調整します。以下に、その参考図を示します。

(1) 車両用防護柵

防護柵の種別がC種（設計速度 50km/h 以下の一般道路用）の場合の参考です。天端コンクリートの仕様は、 $f'_{ck}=18\text{N/mm}^2$ を標準としますが、利用状況に応じてコンクリート強度は変更可能です。修景を考慮する場合は、コンクリート前面に植石や化粧型枠等を考慮します。防護柵の形状については、条件に応じて決定して下さい。

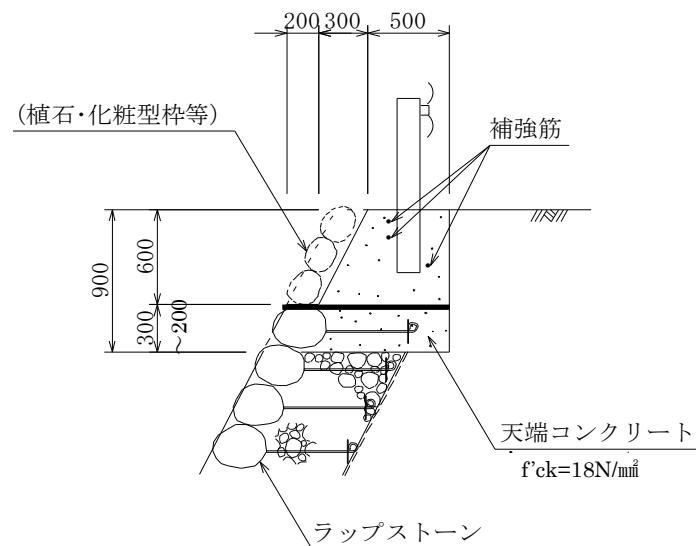


図 3-3 車両用防護柵の設置例

※記載寸法は参考値です。現場状況に応じて決定して下さい。

(2) 歩行者自転車防護柵

天端コンクリートの厚さを 300mm として防護柵を設置することができます。天端コンクリートの仕様は、 $f'_{ck}=18\text{N/mm}^2$ を標準としますが、利用状況に応じて強度の変更は可能です。

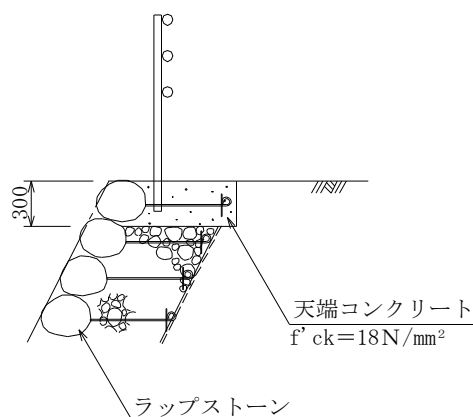


図 3-4 歩行者自転車防護柵の設置例

※記載寸法は参考値です。現場状況に応じて決定して下さい。

2-6 小口止め工

ラップストーン上下流端は、護岸保護のために原則として小口止め工を設置します。小口止めの控え幅は護岸法面から 1000mm 以上、厚さは 300mm 以上を標準とします。長いアンカーを使用して裏込材の背面位置が 1000mm を越える場合は、別途、壁体背面位置以上に小口止め工の控え幅を設定します。護岸延長が長い場合は、施工区間の中間部に 50m 程度の間隔で隔壁工を設置し、護岸の変位・破損が他に波及しないように絶縁します。

尚、景観への配慮はコンクリート前面に植石や化粧型枠等を利用することで対応が可能です。

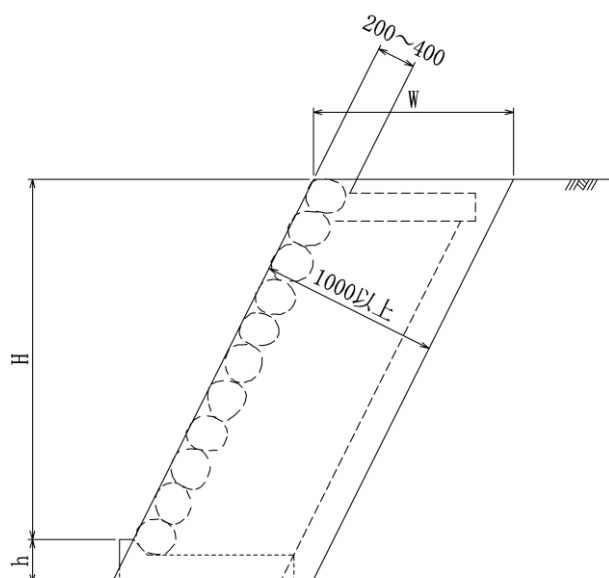


図 3-5 小口止め工の形状

2-7 吸出し防止材

水位の変動等による背面土砂の吸出しを防止するため、吸出し防止材を設置します。吸出し防止材としては、強度、耐久性、目づまり、施工性に優れた品質を選択する必要があり、（公社）全国防災協会「河川災害復旧護岸工法設計指針（案）」³⁾を参考とし現場状況に応じて選定して下さい。

表 3-1 吸出し防止材の参考値

項 目	規 格	備 考
厚さ	10mm以上	
開孔径	0.2mm以下	
引張り強度	9.8kN/m以上	縦・横方向
化学的安定性 (強度保持率)	70%以上130%以下	JIS K 7114準拠 (PH5～9)
耐候性 (強度保持率)	70%以上130%以下	JIS A 1410、A 1415 準拠

(「河川災害復旧護岸工法技術指針」より抜粋)

構造安定検討

ラップストーン工法の構造安定検討については、設計条件にもとづき、次の 2 つに対する安全性の検討を行います。

- ・ (内的安定)：背面土圧により発生する壁体内部の応力に対する部材強度の安全性
- ・ (外的安定)：背面土圧に対する壁体全体の安全性

(1) 内的安定の検討

ラップストーン工法は、背面土圧と壁体自重（もたれ自重）の応力バランスによって安定する構造です。しかし、空積構造であることから自重と背面土圧の影響による壁体内部の破壊が心配されます。そこで、壁体内部に発生する内部応力に対してラップストーン工法の部材の安全性を確認します。

以下に、内的安定の考え方を示します。

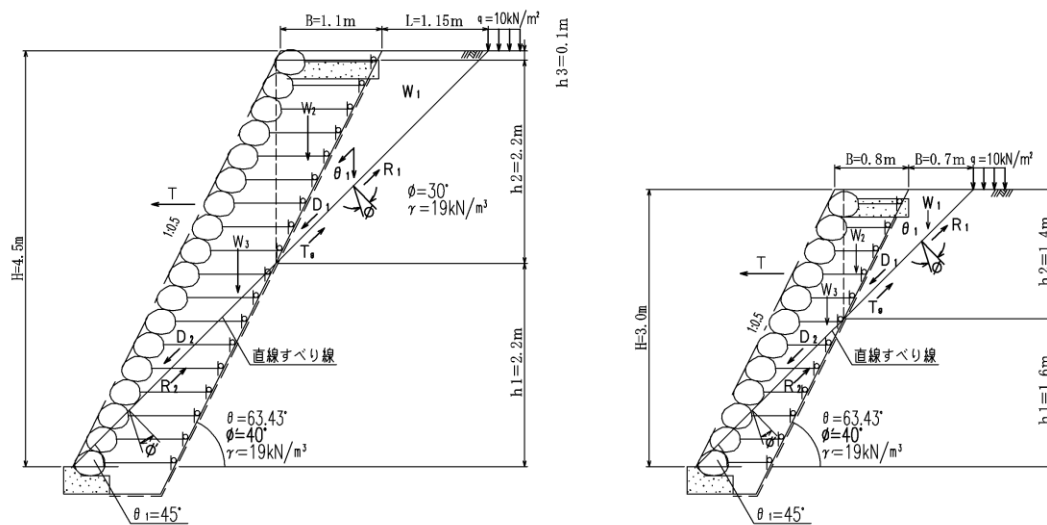


図 3-6 内的安定検討の検討断面図

壁体の内的安定は土の直線滑り角を 45° と仮定して、ラップストーン 800 型は断面①～⑨の滑り線について、ラップストーン 500 型は断面①～⑥の滑り線についてアンカー 1 本当たりの引張力 T_g を算定してその安全性の確認を行います。

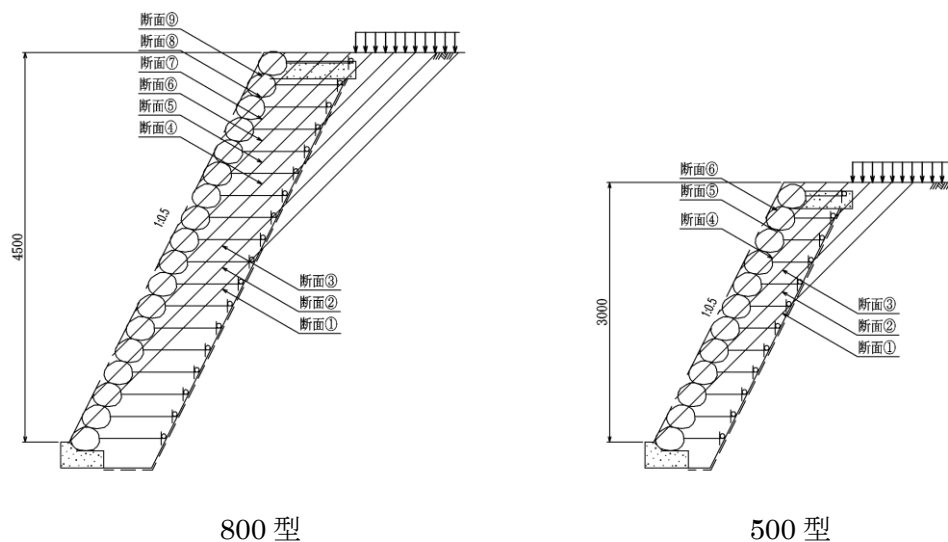


図 3-7 内的安定検討の検討ケース

直線滑り線における力のつり合いより、

$$D < R + T_g \times N \quad \text{であれば良いといえます。}$$

D ; 土塊による滑動力

R ; 土の摩擦抵抗力

T_g ; ラップストーン 1 個当りのアンカー引張力

N ; 直線滑り面でのアンカー本数

【滑動力D】

$$D = (W_1 + W_2 + W_3 + q \times L) \sin \theta_1$$

【土の摩擦抵抗力R】

$$R = R_1 + R_2$$

$$R = (W_1 + W_2 + q \times L) \cos \theta_1 \times \tan \phi + W_3 \times \cos \theta_1 \times \tan \phi'$$

背面土の内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$

裏込材（割栗石）の内部摩擦角 $\phi' = 40^\circ$

【アンカー張力 T_g の算定】

直線滑り面でのアンカー本数Nの算定

$$N = n \times M = 12 \times \sqrt{h_1^2 + (0.5 \times h_1)^2}$$

n ; 1 m²当りのアンカー本数（基準数量 12 本）

M ; 直線滑りを受けるラップストーン部分の面積

力のつり合いより

$$D < R + T_g \times N$$

ここで、

$$T_g = (D - R) / N \quad \text{とすると}$$

$$T_{ag} > T_g \quad \text{であれば良いといえます。}$$

ラップストーン 800 型と 500 型において地中埋設試験を実施したところ、その結果各々の引抜力 $T_{ag} = 1960\text{N/本}$ と $T_{ag} = 980\text{N/本}$ の値を得ることができました。したがって流体力や土圧が作用した場合、ラップストーンのアンカー1本の許容引張力は、

ラップストーン 800 型 $T_{ag} = 1960\text{N/本}$

ラップストーン 500 型 $T_{ag} = 980\text{N/本}$

として算定を行います。

① 内の安定（800 型）

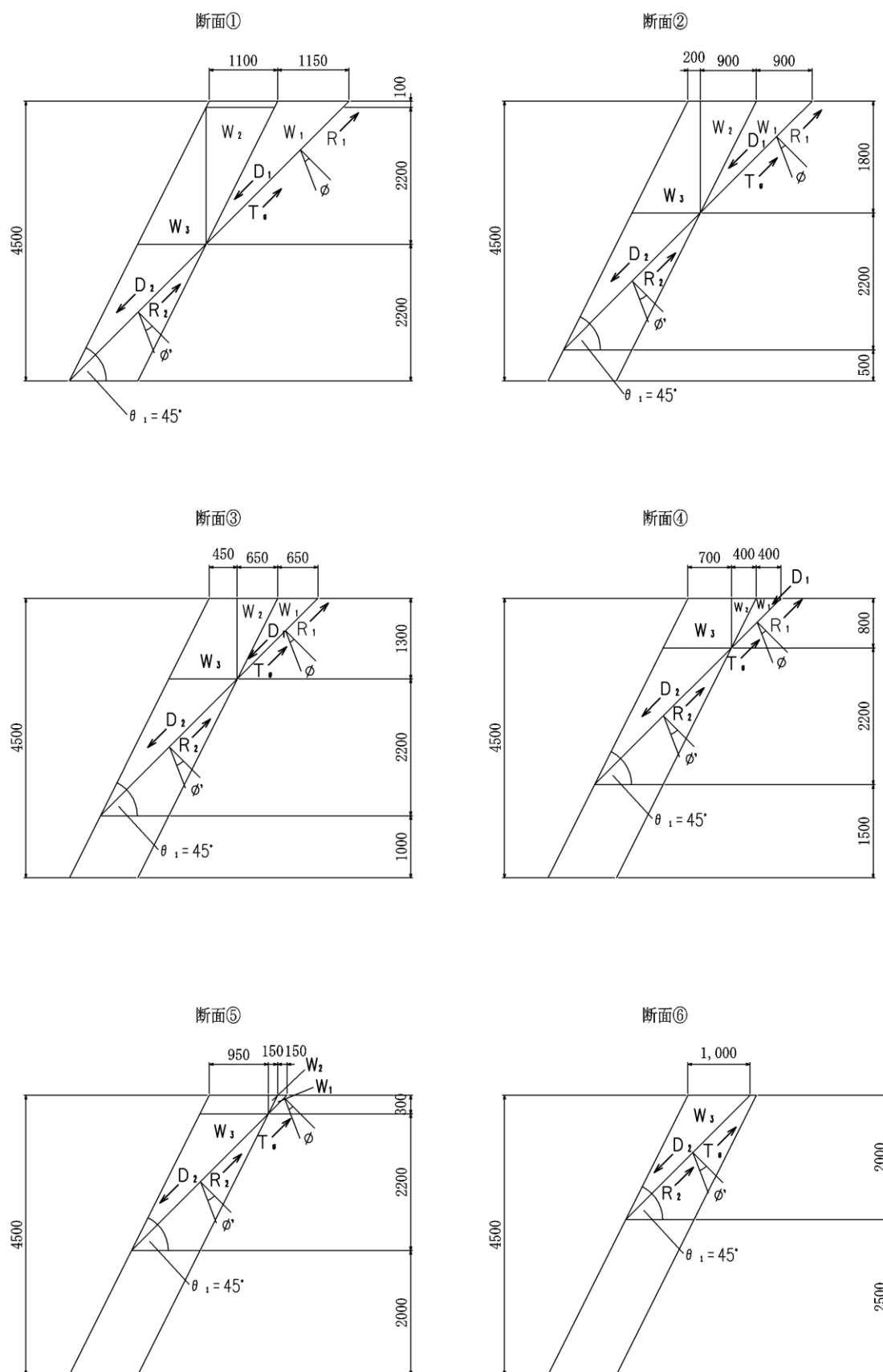


図 3-8 内の安定検討の検討ケース（800 型その 1）

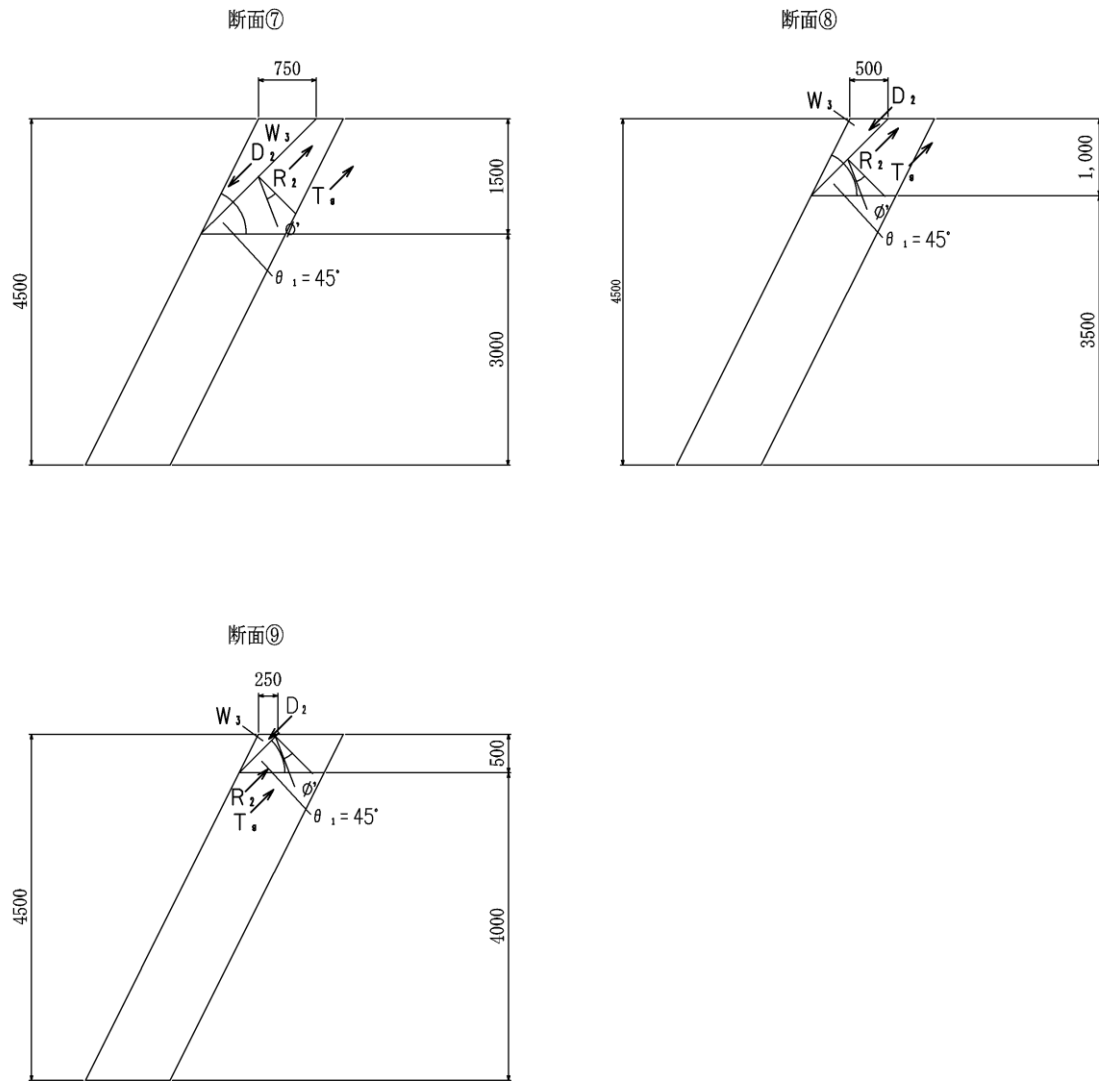


図 3-9 内的安定検討の検討ケース（800 型その 2）

W_1 の算定

$$\text{断面① } W_1 = 1/2 \times 1.15 \times (2.2 + 0.1) \times 19 = 25.128 \text{ kN}$$

$$\text{断面② } W_1 = 1/2 \times 0.90 \times 1.8 \times 19 = 15.390 \text{ kN}$$

$$\text{断面③ } W_1 = 1/2 \times 0.65 \times 1.3 \times 19 = 8.028 \text{ kN}$$

$$\text{断面④ } W_1 = 1/2 \times 0.40 \times 0.8 \times 19 = 3.040 \text{ kN}$$

$$\text{断面⑤ } W_1 = 1/2 \times 0.15 \times 0.3 \times 19 = 0.428 \text{ kN}$$

W_2 の算定

$$\text{断面① } W_2 = (1.1 \times 0.1 + 1/2 \times 1.1 \times 2.2) \times 18 = 23.760 \text{ kN}$$

$$\text{断面② } W_2 = 1/2 \times 0.90 \times 1.8 \times 18 = 14.580 \text{ kN}$$

$$\text{断面③ } W_2 = 1/2 \times 0.65 \times 1.3 \times 18 = 7.605 \text{ kN}$$

$$\text{断面④ } W_2 = 1/2 \times 0.40 \times 0.8 \times 18 = 2.880 \text{ kN}$$

$$\text{断面⑤ } W_2 = 1/2 \times 0.15 \times 0.3 \times 18 = 0.405 \text{ kN}$$

W₃の算定

$$\text{断面①}W_3=1/2\times1.1\times2.2\times2\times18=43.560\text{ kN}$$

$$\text{断面②}W_3=\{(0.20+1.1)\times1.8\times1/2+1/2\times1.1\times2.2\}\times18=42.840\text{ kN}$$

$$\text{断面③}W_3=\{(0.45+1.1)\times1.3\times1/2+1/2\times1.1\times2.2\}\times18=39.915\text{ kN}$$

$$\text{断面④}W_3=\{(0.70+1.1)\times0.8\times1/2+1/2\times1.1\times2.2\}\times18=34.740\text{ kN}$$

$$\text{断面⑤}W_3=\{(0.95+1.1)\times0.3\times1/2+1/2\times1.1\times2.2\}\times18=27.315\text{ kN}$$

$$\text{断面⑥}W_3=1/2\times1.00\times2.0\times18=18.000\text{ kN}$$

$$\text{断面⑦}W_3=1/2\times0.75\times1.5\times18=10.125\text{ kN}$$

$$\text{断面⑧}W_3=1/2\times0.50\times1.0\times18=4.500\text{ kN}$$

$$\text{断面⑨}W_3=1/2\times0.25\times0.5\times18=1.125\text{ kN}$$

滑動力Dの算定

$$D=(W_1+W_2+W_3+q\times L)\times\sin\theta_1$$

表 3-2 滑動力Dの集計表

断面	算出式	D
①	$(25.128+23.760+43.560+10\times1.15)\times\sin45^\circ$	73.502 kN
②	$(15.390+14.580+42.840+10\times0.90)\times\sin45^\circ$	57.848 kN
③	$(8.028+7.605+39.915+10\times0.65)\times\sin45^\circ$	43.875 kN
④	$(3.040+2.880+34.740+10\times0.40)\times\sin45^\circ$	31.579 kN
⑤	$(0.428+0.405+27.315+10\times0.15)\times\sin45^\circ$	20.964 kN
⑥	$18.000\times\sin45^\circ$	12.728 kN
⑦	$10.125\times\sin45^\circ$	7.159 kN
⑧	$4.500\times\sin45^\circ$	3.182 kN
⑨	$1.125\times\sin45^\circ$	0.795 kN

土の摩擦抵抗力Rの算定

$$R=R_1+R_2=(W_1+W_2+q\times L)\times\cos\theta_1\times\tan\phi+W_3\times\cos\theta_1\times\tan\phi'$$

表 3-3 土の摩擦抵抗力Rの集計表

断面	算出式	R
①	$(25.128+23.760+10\times1.15)\times\cos45^\circ\times\tan30^\circ+43.560\times\cos45^\circ\times\tan40^\circ$	50.499 kN
②	$(15.390+14.580+10\times0.90)\times\cos45^\circ\times\tan30^\circ+42.840\times\cos45^\circ\times\tan40^\circ$	41.328 kN
③	$(8.028+7.605+10\times0.65)\times\cos45^\circ\times\tan30^\circ+39.915\times\cos45^\circ\times\tan40^\circ$	32.719 kN
④	$(3.040+2.880+10\times0.40)\times\cos45^\circ\times\tan30^\circ+34.740\times\cos45^\circ\times\tan40^\circ$	24.662 kN
⑤	$(0.428+0.405+10\times0.15)\times\cos45^\circ\times\tan30^\circ+27.315\times\cos45^\circ\times\tan40^\circ$	17.159 kN
⑥	$18.000\times\cos45^\circ\times\tan40^\circ$	10.680 kN
⑦	$10.125\times\cos45^\circ\times\tan40^\circ$	6.007 kN
⑧	$4.500\times\cos45^\circ\times\tan40^\circ$	2.670 kN
⑨	$1.125\times\cos45^\circ\times\tan40^\circ$	0.667 kN

直線滑り面でのアンカー本数Nの算定

$$N = n \times M = 12 \times \sqrt{h_1^2 + (0.5 \times h_1)^2}$$

表 3-4 直線滑り面でのアンカー本数Nの集計表

断面	算出式	N
①	$12 \times \sqrt{2.2^2 + 1.1^2}$	29.516 本
②	$12 \times \sqrt{2.2^2 + 1.1^2}$	29.516 本
③	$12 \times \sqrt{2.2^2 + 1.1^2}$	29.516 本
④	$12 \times \sqrt{2.2^2 + 1.1^2}$	29.516 本
⑤	$12 \times \sqrt{2.2^2 + 1.1^2}$	29.516 本
⑥	$12 \times \sqrt{2.0^2 + 1.0^2}$	26.833 本
⑦	$12 \times \sqrt{1.5^2 + 0.75^2}$	20.125 本
⑧	$12 \times \sqrt{1.0^2 + 0.5^2}$	13.416 本
⑨	$12 \times \sqrt{0.5^2 + 0.25^2}$	6.708 本

アンカー張力 T_g の算定

$$D < R + T_g \times N \quad \text{より}$$

$$T_g = (D - R) / N \quad \text{とすると}$$

$$T_{ag} > T_g \quad \text{であれば良いといえます。}$$

表 3-5 アンカー張力 T_g の集計表

断面	算出式	T_g
①	$(73.502 - 50.499) / 29.516$	0.779 kN/本 = 779 N/本
②	$(57.848 - 41.328) / 29.516$	0.560 kN/本 = 560 N/本
③	$(43.875 - 32.719) / 29.516$	0.378 kN/本 = 378 N/本
④	$(31.579 - 24.662) / 29.516$	0.234 kN/本 = 234 N/本
⑤	$(20.964 - 17.159) / 29.516$	0.129 kN/本 = 129 N/本
⑥	$(12.728 - 10.680) / 26.833$	0.076 kN/本 = 76 N/本
⑦	$(7.159 - 6.007) / 20.125$	0.057 kN/本 = 57 N/本
⑧	$(3.182 - 2.670) / 13.416$	0.038 kN/本 = 38 N/本
⑨	$(0.795 - 0.667) / 6.708$	0.019 kN/本 = 19 N/本

表 3-6 内的安定検討の諸数値一覧表 (800 型)

	W_1	W_2	W_3	滑動力 D	摩擦抵抗力 R	アンカー本数 N	アンカー張力 T_g
断面①	25.128kN	23.760kN	43.560kN	73.502kN	50.499kN	29.516 本	779 N/本
断面②	15.390kN	14.580kN	42.840kN	57.848kN	41.328kN	29.516 本	560 N/本
断面③	8.028kN	7.605kN	39.915kN	43.875kN	32.719kN	29.516 本	378 N/本
断面④	3.040kN	2.880kN	34.740kN	31.579kN	24.662kN	29.516 本	234 N/本
断面⑤	0.428kN	0.405kN	27.315kN	20.964kN	17.159kN	29.516 本	129 N/本
断面⑥	—	—	18.000kN	12.728kN	10.680kN	26.833 本	76 N/本
断面⑦	—	—	10.125kN	7.159kN	6.007kN	20.125 本	57 N/本
断面⑧	—	—	4.500kN	3.182kN	2.670kN	13.416 本	38 N/本
断面⑨	—	—	1.125kN	0.795kN	0.667kN	6.708 本	19 N/本

直高 $H=4.5\text{m}$ までラップストーン 800 型で積み上げた場合、アンカー張力は断面①で最大値 779 N/本を示したため、1 本当たりの必要アンカー張力は 779 N より大きければ良いと言えます。

したがって、ラップストーン 800 型の許容引張力は $T_{ag}=1960\text{ N/本}$ のため、直高 $H=4.5\text{m}$ 以内であれば内的安定は十分確保されと考えられます。

② 内的安定（500 型）

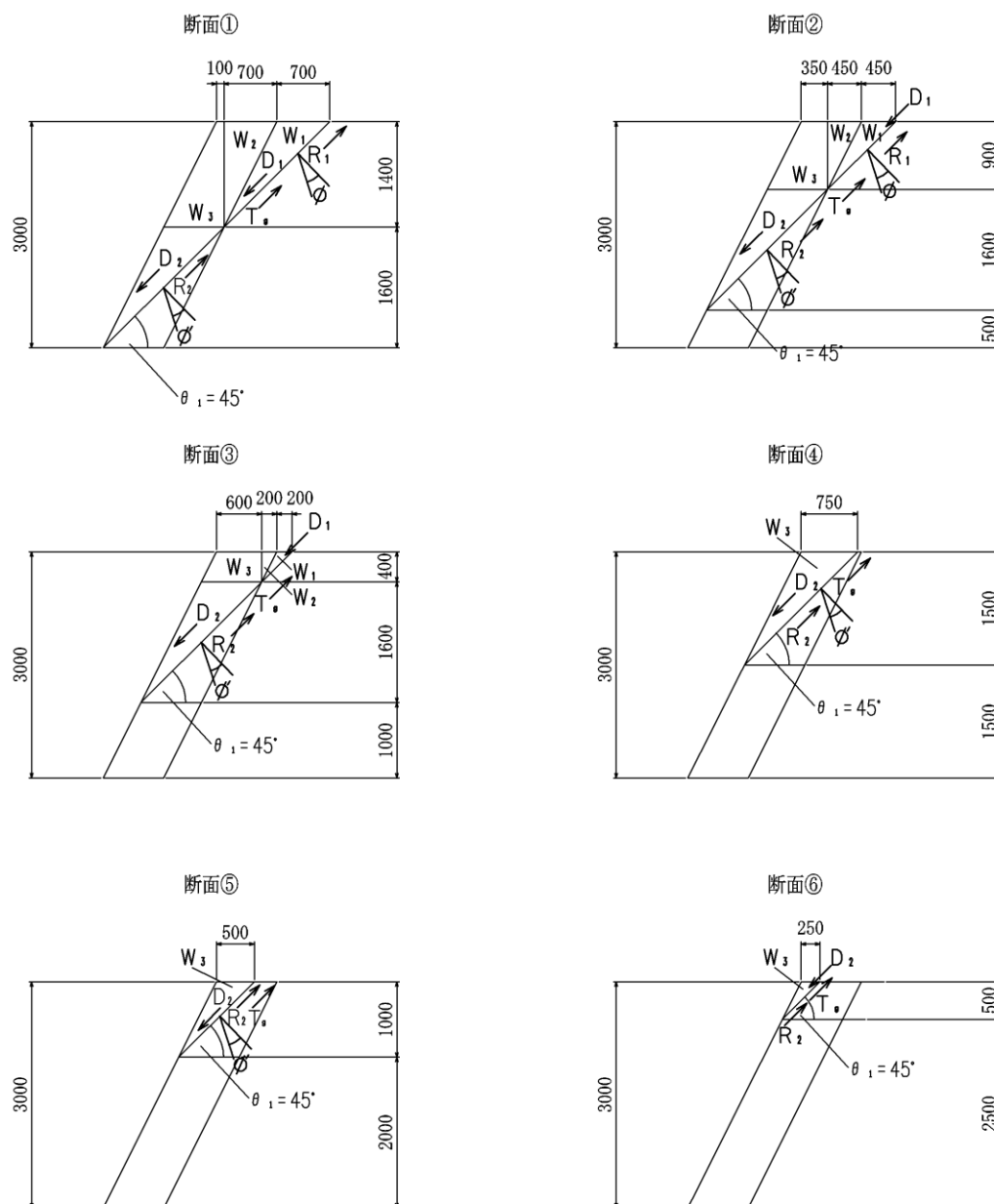


図 3-10 内的安定検討の検討ケース（500 型）

W₁ の算定

$$\text{断面① } W_1 = 1/2 \times 0.70 \times 1.4 \times 19 = 9.310 \text{ kN}$$

$$\text{断面② } W_1 = 1/2 \times 0.45 \times 0.9 \times 19 = 3.848 \text{ kN}$$

$$\text{断面③ } W_1 = 1/2 \times 0.20 \times 0.4 \times 19 = 0.760 \text{ kN}$$

W₂ の算定

$$\text{断面① } W_2 = 1/2 \times 0.70 \times 1.4 \times 18 = 8.820 \text{ kN}$$

$$\text{断面② } W_2 = 1/2 \times 0.45 \times 0.9 \times 18 = 3.645 \text{ kN}$$

$$\text{断面③ } W_2 = 1/2 \times 0.20 \times 0.4 \times 18 = 0.720 \text{ kN}$$

W₃の算定

$$\text{断面①}W_3 = \{ (0.10+0.8) \times 1.4 \times 1/2 + 1/2 \times 0.8 \times 1.6 \} \times 18 = 22.860 \text{ kN}$$

$$\text{断面②}W_3 = \{ (0.35+0.8) \times 0.9 \times 1/2 + 1/2 \times 0.8 \times 1.6 \} \times 18 = 20.835 \text{ kN}$$

$$\text{断面③}W_3 = \{ (0.60+0.8) \times 0.4 \times 1/2 + 1/2 \times 0.8 \times 1.6 \} \times 18 = 16.560 \text{ kN}$$

$$\text{断面④}W_3 = 1/2 \times 0.75 \times 1.5 \times 18 = 10.125 \text{ kN}$$

$$\text{断面⑤}W_3 = 1/2 \times 0.50 \times 1.0 \times 18 = 4.500 \text{ kN}$$

$$\text{断面⑥}W_3 = 1/2 \times 0.25 \times 0.5 \times 18 = 1.125 \text{ kN}$$

滑動力Dの算定

$$D = (W_1 + W_2 + W_3 + q \times L) \times \sin \theta_1$$

表 3-7 滑動力Dの集計表

断面	算出式	D
①	$(9.310 + 8.820 + 22.860 + 10 \times 0.70) \times \sin 45^\circ$	33.934 kN
②	$(3.848 + 3.645 + 20.835 + 10 \times 0.45) \times \sin 45^\circ$	23.213 kN
③	$(0.760 + 0.720 + 16.560 + 10 \times 0.20) \times \sin 45^\circ$	14.170 kN
④	$10.125 \times \sin 45^\circ$	7.159 kN
⑤	$4.500 \times \sin 45^\circ$	3.182 kN
⑥	$1.125 \times \sin 45^\circ$	0.795 kN

土の摩擦抵抗力Rの算定

$$R = R_1 + R_2 = (W_1 + W_2 + q \times L) \times \cos \theta_1 \times \tan \phi + W_3 \times \cos \theta_1 \times \tan \phi'$$

表 3-8 土の摩擦抵抗力Rの集計表

断面	算出式	R
①	$(9.310 + 8.820 + 10 \times 0.70) \times \cos 45^\circ \times \tan 30^\circ + 22.860 \times \cos 45^\circ \times \tan 40^\circ$	23.823 kN
②	$(3.848 + 3.645 + 10 \times 0.45) \times \cos 45^\circ \times \tan 30^\circ + 20.835 \times \cos 45^\circ \times \tan 40^\circ$	17.258 kN
③	$(0.760 + 0.720 + 10 \times 0.20) \times \cos 45^\circ \times \tan 30^\circ + 16.560 \times \cos 45^\circ \times \tan 40^\circ$	11.246 kN
④	$10.125 \times \cos 45^\circ \times \tan 40^\circ$	6.007 kN
⑤	$4.500 \times \cos 45^\circ \times \tan 40^\circ$	2.670 kN
⑥	$1.125 \times \cos 45^\circ \times \tan 40^\circ$	0.667 kN

直線滑り面でのアンカー本数Nの算定

$$N = n \times M = 12 \times \sqrt{h_1^2 + (0.5 \times h_1)^2}$$

表 3-9 直線滑り面でのアンカー本数Nの集計表

断面	算出式	N
①	$12 \times \sqrt{1.6^2 + 0.8^2}$	21.466 本
②	$12 \times \sqrt{1.6^2 + 0.8^2}$	21.466 本
③	$12 \times \sqrt{1.6^2 + 0.8^2}$	21.466 本
④	$12 \times \sqrt{1.5^2 + 0.75^2}$	20.125 本
⑤	$12 \times \sqrt{1.0^2 + 0.5^2}$	13.416 本
⑥	$12 \times \sqrt{0.5^2 + 0.25^2}$	6.708 本

アンカー張力 T_g の算定

$$D < R + T_g \times N \quad \text{より}$$

$$T_g = (D - R) / N \quad \text{とすると}$$

$T_{ag} > T_g$ であれば良いといえます。

表 3-10 アンカー張力 T_g の集計表

断面	算出式	T_g
①	$(33.934 - 23.823) / 21.466$	471 N/本
②	$(23.213 - 17.258) / 21.466$	277 N/本
③	$(14.170 - 11.246) / 21.466$	136 N/本
④	$(7.159 - 6.007) / 20.125$	57 N/本
⑤	$(3.182 - 2.670) / 13.416$	38 N/本
⑥	$(0.795 - 0.667) / 6.708$	19 N/本

表 3-11 内的安定検討の諸数値一覧表 (500 型)

	W_1	W_2	W_3	滑動力 D	摩擦抵抗力 R	アンカー本数 N	アンカー張力 T_g
断面①	9.310kN	8.820kN	22.860kN	33.934kN	23.823kN	21.466 本	471 N/本
断面②	3.848kN	3.645kN	20.835kN	23.213kN	17.258kN	21.466 本	277 N/本
断面③	0.760kN	0.720kN	16.560kN	14.170kN	11.246kN	21.466 本	136 N/本
断面④	—	—	10.125kN	7.159kN	6.007kN	20.125 本	57 N/本
断面⑤	—	—	4.500kN	3.182kN	2.670kN	13.416 本	38 N/本
断面⑥	—	—	1.125kN	0.795kN	0.667kN	6.708 本	19 N/本

直高 $H=3.0\text{m}$ までラップストーン 500 型で積み上げた場合、アンカー張力は断面①で最大値 471 N/本を示したため、1 本当たりの必要アンカー張力は 471 N より大きければ良いと言えます。

したがって、ラップストーン 500 型の許容引張力は $T_{ag}=980 \text{ N/本}$ のため、直高 $H=3.0\text{m}$ 以内であれば内的安定は十分確保されと考えられます。

(2) 外的安定の検討

ラップストーン工法は、アンカー式自然石（ラップストーン）と裏込材（割栗石 $\phi 50\sim 150$ ）が一体化した構造体です。したがって、前面の自然石から裏込材までを壁体構造物として安定検討を行います。

外的安定の検討では、もたれ擁壁として「転倒」・「滑動」・「地盤支持力」に対する安全性を確認します。

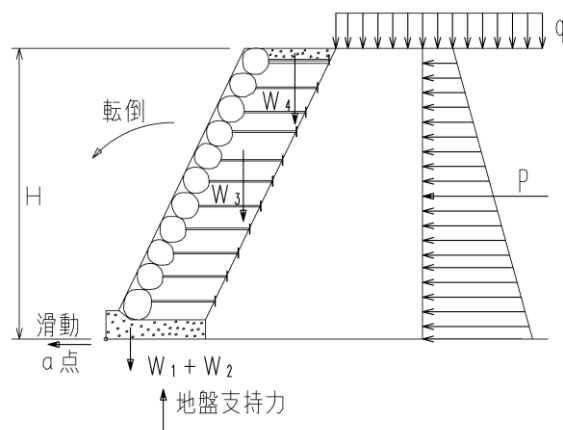


図 3-11 安定検討のモデル図

検討断面と土質条件により、その都度当社にて安定検討を行います。

(3) 設計流速について

ラップストーン工法の設計流速は、実績を踏まえ（平成 10 年度から全国で 3000 箇所以上） 8m/s までを適応流速とします。この値は*⁸「美しい山河を守る災害復旧基本方針」に掲載されています（アンカー式空石積工法参照）。なお、適用流速以下でも水衝部や狭窄部および落差工下流部等の治水的条件の厳しい箇所については現地状況に照らして安全性の確認が必要となります。

(参考図書一覧)

- 1) 社団法人日本道路協会：道路土工—擁壁工指針，p.66 p.69-70，平成 24 年 7 月
- 2) 財団法人国土技術研究センター編：護岸の力学設計法，p.71-78，平成 19 年 11 月
- 3) (公社) 全国防災協会：河川災害復旧護岸工法技術指針 (案)，p.22，平成 30 年 9 月
- 4) 設計便覧 (案)：近畿地方整備局
- 5) 設計要領：国土交通省 中部地方整備局監修
- 6) 続・擁壁の設計法と計算例 右城 猛 著：理工図書
- 7) 新・擁壁の設計法と計算例 右城 猛 著：理工図書
- 8) (公社) 全国防災協会：美しい山河を守る災害復旧方針，p.64,平成 30 年 6 月

2021.03