

テラメッシュ・ハイブリッド工法 技術資料

第 2.2 版

平成 30 年 10 月

目 次

1. テラメッシュ・ハイブリッド工法とは	1
2. 製品性能	2
2.1 仕様	2
2.2 ジオシンセティックス製品基準強度	3
2.3 パラリンクと土との摩擦特性	4
2.4 耐久性	5
3. 設計法	6
3.1 設計手順	6
3.2 パラリンクと土とのせん断強さ	7
3.3 安定の照査	9
3.3.1 内的安定検討	9
3.3.2 外的安定検討	17
3.3.3 全体安定検討	25
3.3.4 設計安全率	26
4. 施工法	27
4.1 施工手順	27
4.2 テラメッシュ設置工	29
4.3 施工管理	33
5. 維持管理	35
5.1 基本方針	35
5.2 補強土の変状と対策	35
5.3 維持管理の方法	35
5.4 点検・保守	35
5.5 補修・補強対策	38
設計計算例 TMHB	39
付録 1. 耐久性	49
付録 2. 施工中の損傷	56
付録 3. 摩擦特性	61
付録 4. 施工方法	64
付録 5. 国内・海外事例	71

1. テラメッシュ・ハイブリッド工法 (TMHB) とは

地球温暖化の影響を受けているためか、日本各地で雨量が多く観測されるようになり、またゲリラ豪雨的現象も見られる。

盛土の安定にとって、水の影響が重要事項の一つであることは異論のない所である。

テラメッシュ・ハイブリッド工法（補強材一体ふとん籠補強土壁工法）は、沢地・集水地形における補強土壁工法である。

その特徴は

- ・壁面材としてふとん籠（ギャビオン）を使用しており、盛土内の排水・地下水位低下が期待できる。
- ・壁面材と補強材が一体になっており、構造上安定であり、施工性も向上する。
- ・部材である亀甲金網の線材はガルファンメッキ（溶融亜鉛-5%アルミニウム合金メッキ）にPVCコーティングされており、耐久性が著しく高い（PVCコーティング 120年耐久）。
- ・テラメッシュ・ハイブリッド工法は補強材にジオシンセティックスを用いることで、高盛土にも適用でき、コスト縮減が可能である（テラメッシュの補強材は、壁面強化材として使用する）。

以降、テラメッシュ・ハイブリッド工法は **TMHB** と呼ぶ。

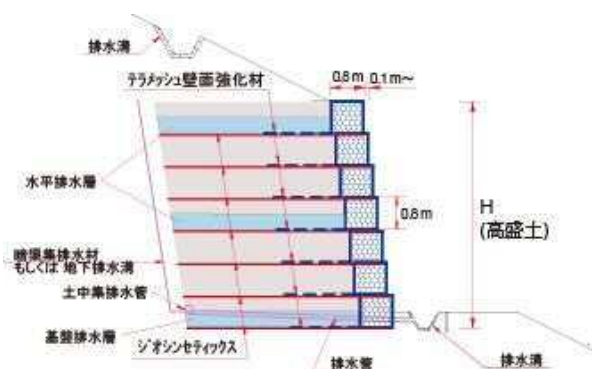


図 1-1 テラメッシュ・ハイブリッド工法の概念図

2. 製品性能

2.1 仕様

【テラメッシュ】

テラメッシュの製品仕様を図 2-1 及び表 2-1 に示す。

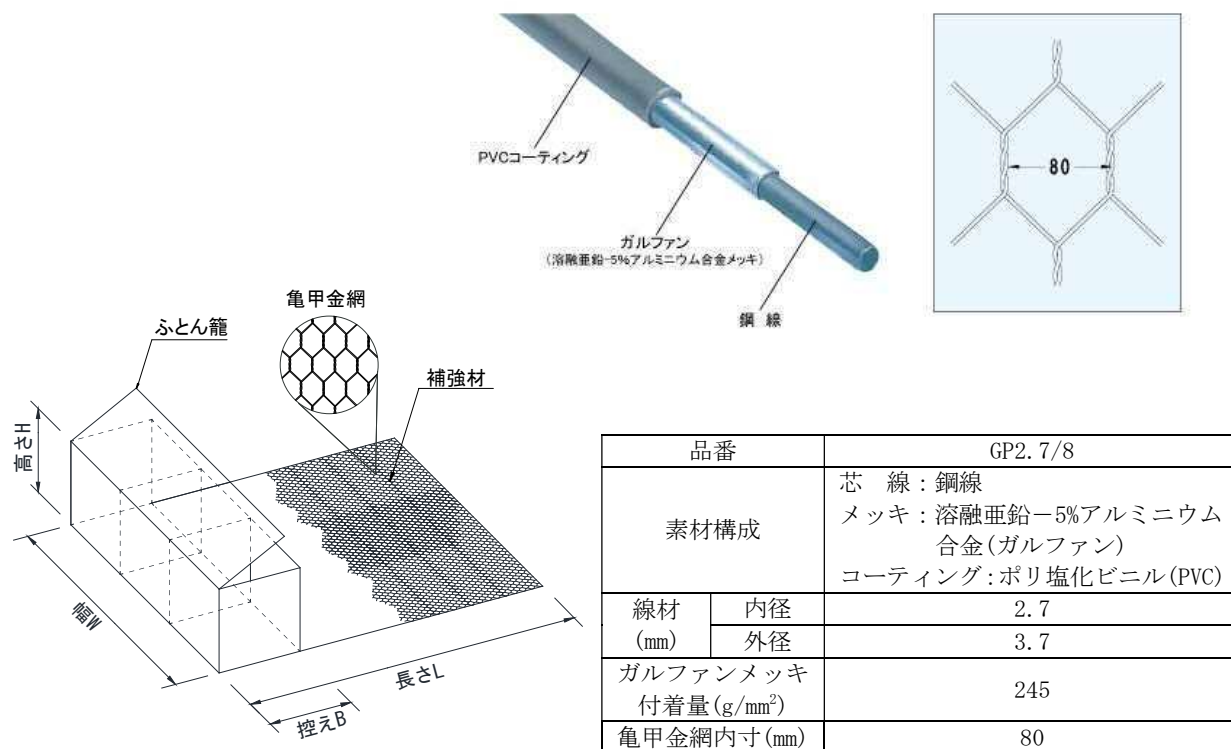


図 2-1 製品仕様

表 2-1 製品寸法

製品	高さ H (m)	控え B (m)	幅 W (m)	長さ L (m)	備考
テラメッシュ・ハイブリッド工法 (TMHB)	0.5 0.8	0.8	1.0~3.0	3.0 +ジオンセテックス長さ	高盛土
テラメッシュ凍上対策 (TMHB-E)	0.5 0.8	1.0	1.0~3.0	3.0 +ジオンセテックス長さ	凍上

※上記寸法の許容値は 0+5%以内 (ASTM-A975-11、BS EN 10223-3:2013 に準拠) である。

【テラメッシュワイヤー構成】

テラメッシュは図 2-2 に示すようなワイヤーで構成されている。

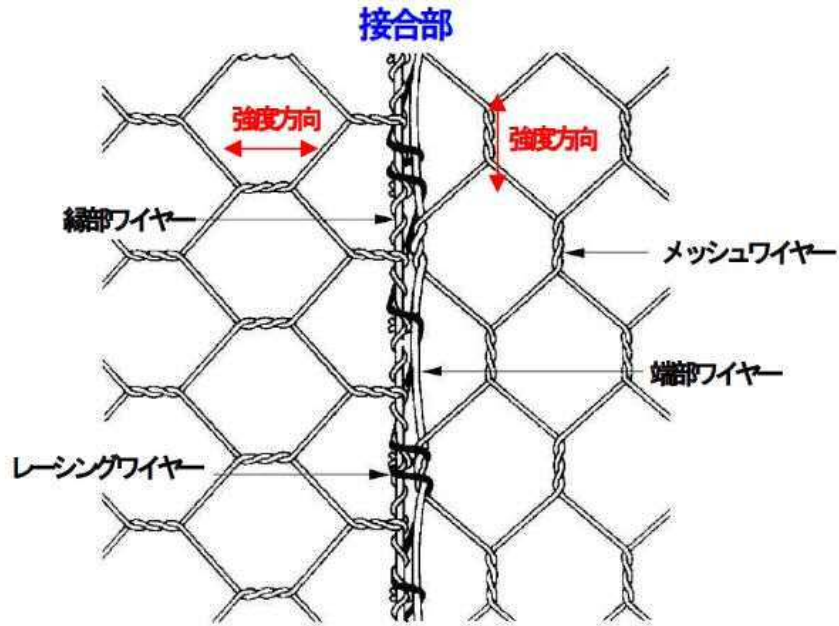


図 2-2 テラメッシュワイヤー構成

それぞれのワイヤー径は付表 2-2 に示すとおりである。

付表 2-2 テラメッシュワイヤー径

ワイヤータイプ	線材外径(mm)	線材内径(mm)	ガルファン メッキ付着量(g/m ²)
メッシュ	3.7 (PVC1mm)	2.7	245
端部・縁部	4.4 (PCV1mm)	3.4	265
レーシング	3.2 (PVC1mm)	2.2	230

2.2 ジオシンセティックス製品基準強度

TMHB としては、ジオシンセティックスの製品基準強度 50~1000kN/m である。ジオシンセティックスは高強度帯状ジオシンセティックスを想定しており、その詳細についてはパラリンク技術資料を参照されたい。

2.3 パラリンクと土との摩擦特性

パラリンク 100L・300L・700L（縦帯 2 本）を用い、 $c \cdot \phi$ 材（関東ローム、 $c = 19\text{kN/m}^2$ 、 $\phi_s = 6^\circ$ ）、 ϕ 材（豊浦標準砂、 $c = 0$ 、 $\phi_s = 39^\circ$ ）に対し実施した中型土中引抜き試験の結果を図-3 に示す。これより、パラリンクと土の見かけのせん断抵抗は以下の通りである。

- ① $c \cdot \phi$ 材 : $c' = 0.3c$ 、 $\tan \phi_{sg} = 0.6 \tan \phi$ c' : 見かけの粘着力 c : 土の粘着力
 ② ϕ 材 : $c' = 0$ 、 $\tan \phi_{sg} = 0.5 \tan \phi$ Φ_{sg} : 見かけの摩擦角 ϕ : 土の摩擦角

なお、100L はパラリンク品番の中において縦帯占有率が最小であり、最小引抜き抵抗力であるので安全側を見て上記数値を全品番について適用する。（試験は 2010 年パラリンク 100L・300L・700L にて実施した。）しかし、800L 以上の品番については縦帯占有率が大きく異なっているので、縦帯占有率を考慮した補正値を用いることは可である。

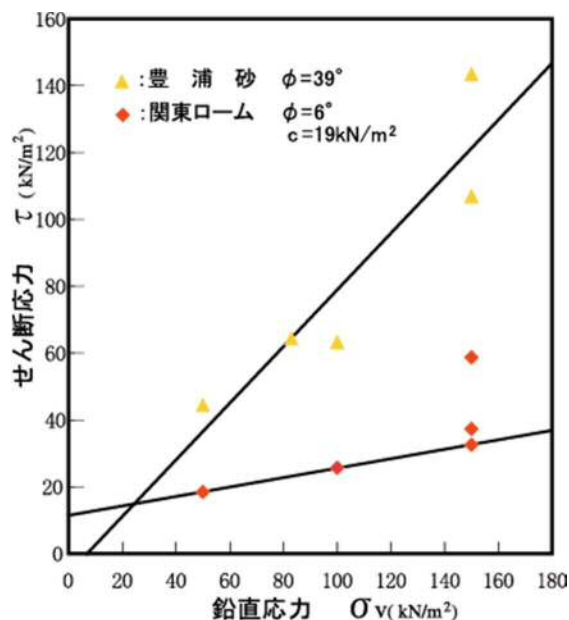


図 2-3 引抜き試験結果グラフ



図 2-4 引抜き試験状況写真（敷設後）

2.4 TMHB 耐久性

TMHB の耐久性能は、120 年である：BBA (Approval Inspection Testing Certification ; Technical approvals for construction) 詳細は、付録 1 に記す。

〈耐熱性、耐候性、耐腐食性、耐薬品性で実用上問題はない。耐久性を考慮した材料安全率は 1.05 とする。〉

テラメッシュを被覆している PVC 樹脂の劣化促進試験により評価すると、使用温度 19℃の時、耐用年数 120 年である。

材料：鋼線+ガルファンメッキ(溶融亜鉛-5%アルミニウム合金メッキ)+PVC コーティング
線材内径 2.7mm+ガルファンメッキ付着量 245g/m²+PVC 1mm

通常の「亜鉛メッキ」、「ガルファンメッキ」及び「ガルファンメッキ+PVC コーティング」の腐食環境下での塗膜の損失量の相違を図 2-4 に示す。

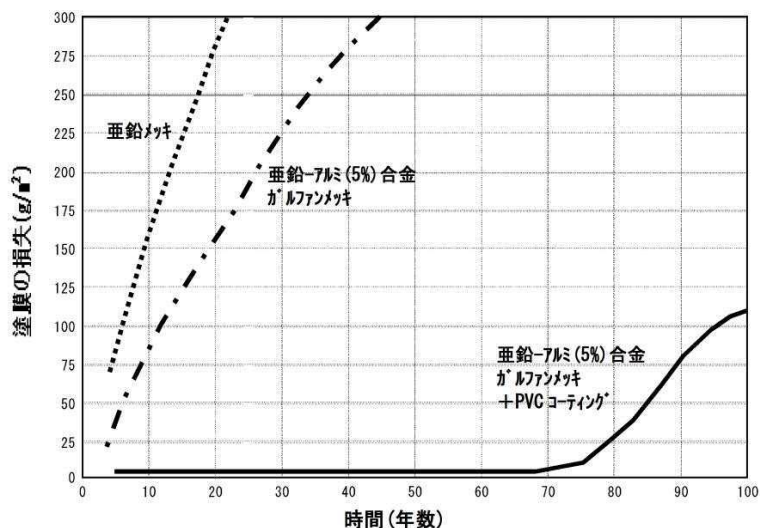


図 2-5 腐食環境下での耐久性 (Maccaferri 社実験データ)

また、高強度帯状ジオシンセティックスの耐久性についてはパラリンク技術資料を参照されたい。

参考文献

- 1) (一財) 土木研究センター： ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル (平成 25 年 12 月)
- 2) (一財) 土木研究センター： 建設技術審査証明報告書 (建技審証 第 1306 号)
盛土・地盤補強用帯状ジオシンセティックス 「パラリンク」
(50L、100L、150L、200L、250L、300L、400L、500L、600L、700L、800L、1000L、1200L、1250L)

3. 設計法

3.1 設計手順

設計法は、「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル 第二回改訂版」（一般財団法人土木研究センター、平成 25 年 12 月）に準拠して常時の内的、外的、全体安定及び地震時の安定検討を行う。

なお、同マニュアルの標準的な設計手順は図 3-1 に示すとおりである

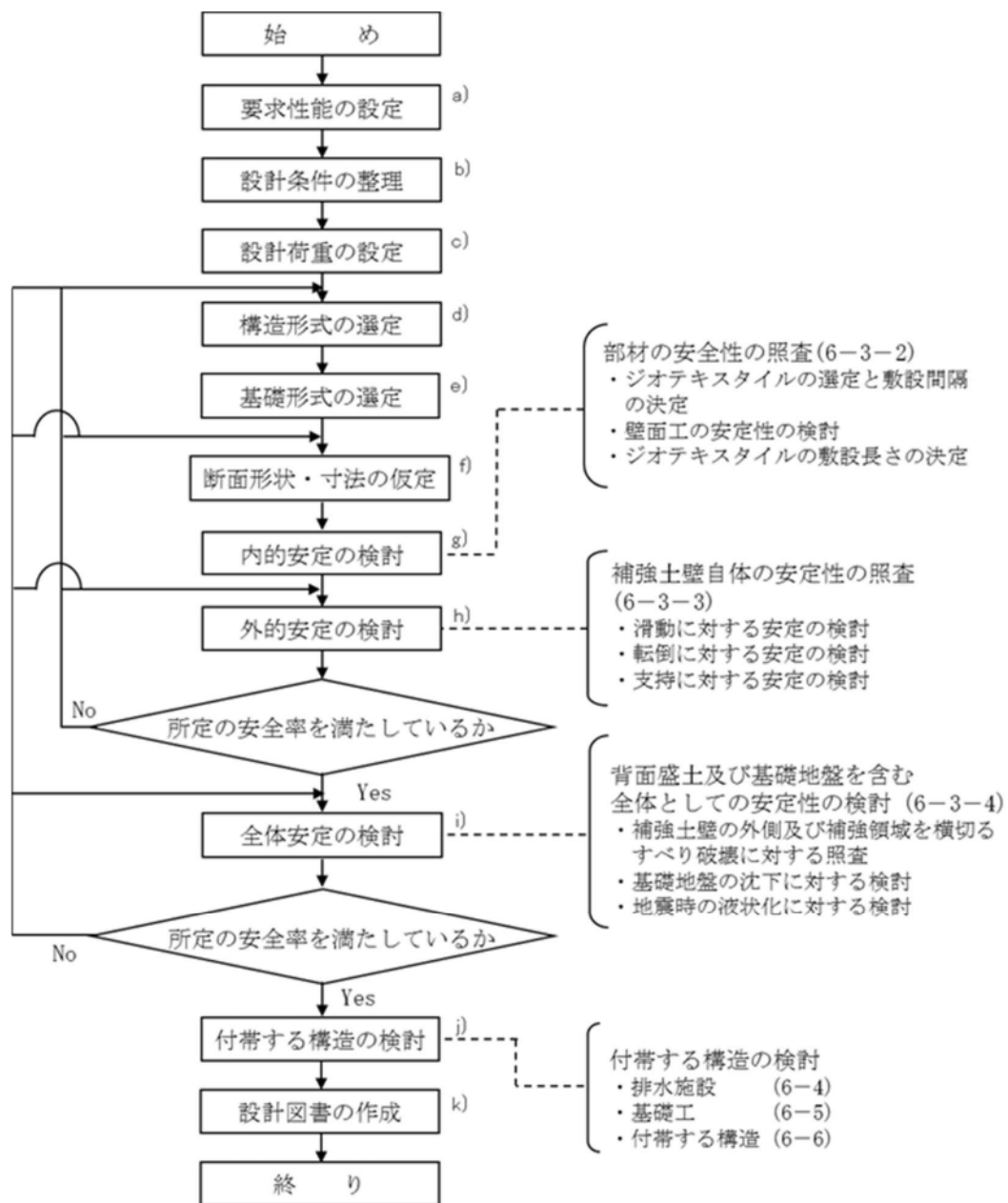


図 3-1 補強土壁の標準的な設計手順

3.2 パラリンクと土とのせん断強さ

パラリンクと土とのせん断強さは、盛土材料の設計定数（せん断強さ）に補正係数を乗じて求めるか、あるいは引抜き試験によって決定する。

(1) 盛土材の設計定数による方法

盛土材料の粘着力およびせん断抵抗角と補正係数を用いて、次式によりせん断強さを決定する。

$$\tau^* = \alpha_1 \cdot c + \alpha_2 \cdot \sigma_v \cdot \tan \phi \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

- ここに、 τ^* : パラリンクと盛土材料とのせん断強さ (kN/m²)
 σ_v : パラリンクと土との接触面での鉛直応力 (kN/m²)
 c : 盛土材料の粘着力 (kN/m²)
 ϕ : 盛土材料のせん断抵抗角 (°)
 α_1, α_2 : 補正係数

表 3-1 パラリンクと盛土材料との摩擦特性における補正係数 α_1 α_2

品 番	50L~700L		800L		900L~1000L	
	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2
砂または砂質土（ ϕ 材） を盛土とする場合	0.0	0.5	0.0	0.6	0.0	0.7
粘性土 を盛土とする場合	0.3	0.6	0.4	0.8	0.4	1.0

砂質土（ $c \cdot \phi$ 材）については、山砂の引抜き試験を実施している。その結果を付録 3.に記載する。より安全サイドの設計が必要な時（傾斜地盤や片盛土等）には、この試験値から得られる値を採用することが標準である。

注：表-7 の補正係数は、パラリンク 100L・300L・700L に対し実施した中型土中引抜き試験機による引抜き試験結果を 1 m² 当たりの換算値として求め、この値に縦帯占有率 a（表-8）をかけた値（下記式）を適用することとした。

50L~700L については煩雑さを避けるために、縦帯占有率が最も小さい 100L の値を採用し、800L 以上の品番については縦帯の占有率が増加することから補正した値を使用することとした。なお、四捨五入により小数点第 1 位の値を使用する。

$$\phi \text{材の時 } \alpha_1=0 \quad \alpha_2=1.0 \cdot a \quad \text{粘性土の時 } \alpha_1=0.579 \cdot a \quad \alpha_2=1.34 \cdot a$$

表 3-2 縦帯占有率

パラリンク品番	50L	100L	150L	200L	250L	300L	400L
a: 縦帯占有率/1	0.45	0.45	0.47	0.47	0.47	0.49	0.50
パラリンク品番	500L	600L	700L	800L	900L	1000L	/
a: 縦帯占有率/1	0.50	0.50	0.51	0.61	0.73	0.73	

(2) 引抜き試験など摩擦特性試験による方法

実際に用いる盛土材料により、現場条件を考慮した引抜き試験を実施し、パラリンクと盛土材料とのせん断強さを求める。

$$\tau^* = c^* + \sigma_v \cdot \tan \phi^* \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

- ここに、 c^* : パラリンクと盛土材料との見かけの粘着力 (kN/m²)
 ϕ^* : パラリンクと盛土材料との見かけのせん断抵抗角 (°)

また、テラメッシュとパラリンクのせん断強さは下表のとおりである（付録 3 を参照）。

表 3-3 テラメッシュとパラリンクのせん断強さ

c^*	ϕ^*
5	14

3.3 安定の照査

設計は、考慮する荷重に対して必要な性能を満足するように以下の項目等について照査する。

- ・ 内的安定検討
- ・ 外的安定検討（滑動、転倒、支持力に対する検討）
- ・ 支持地盤を含む全体安定検討

3.3.1 内的安定検討

TMHB においては、補強土壁の内部を通るすべり破壊に対して補強土壁が安定であることを照査する。具体的には、仮定した円弧すべり破壊に対して補強土壁の安定に必要な補強材の引張力を求め、この必要な引張力に対して、補強材の破断や引抜き、壁面材の破壊、壁面材と補強材の連結部の破損などが生じないことを照査し、必要な補強材の材料強度及び敷設長さを決定する。

(1) 補強材の選定と敷設間隔

1) 補強材の必要引張力の算出

【常時】

常時における補強材の必要引張力の合計 ΣT_{req} は、図 3-2 に示すように、円弧すべりに対して滑動力とせん断抵抗力とが釣り合うことから、式(3-3)により算出することができる。

$$\Sigma T_{req} = \frac{\Sigma W \sin \alpha - \Sigma W \cos \alpha \tan \phi}{\Sigma \left\{ \frac{2}{H^2} z b \tan \theta (\cos \theta + \sin \theta \tan \phi) \right\}} \quad (3-3)$$

ここに、 ΣT_{req} : 常時の補強材の必要引張力の合計 (kN/m)

α : 分割片で切られたすべり線の中心とすべり円の中心を結ぶ直線が鉛直線とのなす角度 (°)

θ : 補強材とすべり線の交点と、すべり線の中心を結ぶ直線が鉛直線とのなす角度 (°)

z : 各分割片で切られたすべり面の midpoint の盛土天端からの深さ (m)

b : 分割片の幅 (m)

H : 補強土壁の高さ (m)

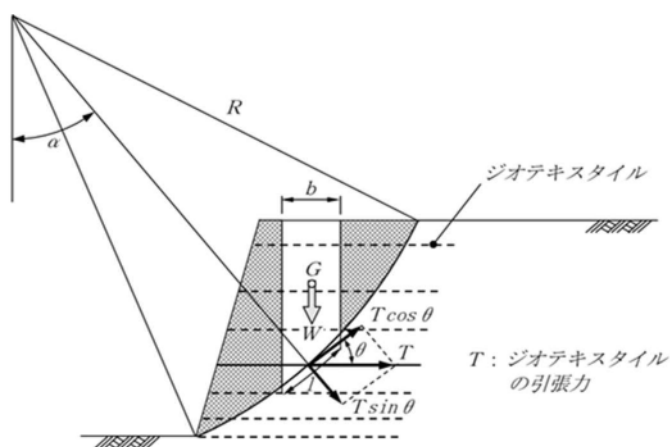


図 3-2 常時の補強材による補強効果

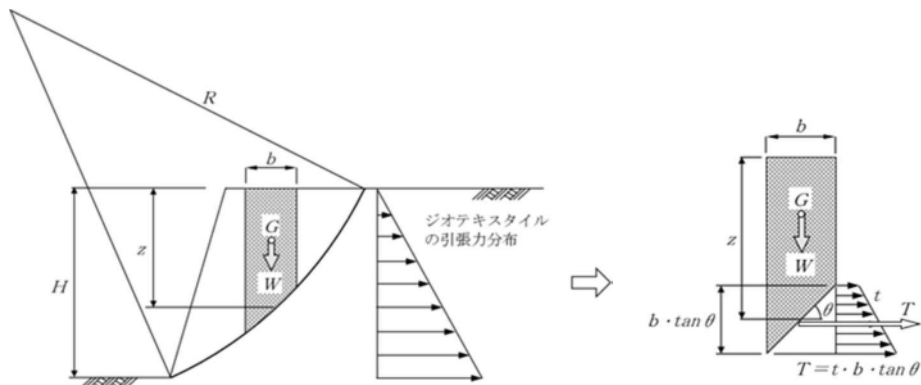


図 3-3 常時の必要引張力 T_{req} の算出

なお、盛土天端から深さ z における単位深さ当りの引張力 t を、必要引張力の合計（分布荷重の三角形の面積） ΣT_{req} を用いて表すと式(3-3)となる。

$$t = \frac{2 \Sigma T_{req}}{H^2} z \quad (3-4)$$

ここに t : 単位深さ当り補強材の引張力 (kN/m²)

この ΣT_{req} が最大となる三角形分布荷重の深さ方向への増加係数を K_G とし、式(3-5)より求めることができる。

$$K_G = \frac{2 \Sigma T_{req}}{\gamma H^2} \quad (3-5)$$

ここに、 γ : 盛土材料の単位体積重量 (kN/m³)

【地震時】

地震時における補強材の必要引張力の合計 ΣT_{reqE} は、図 3-4 に示すように、常時における補強材の必要引張力に、地震力による各層の単位深さ当りの引張力が高さ方向に一定に付加されるものと仮定して、常時の場合と同様に円弧上のすべり土塊の滑動モーメントと、土のせん断力に補強材の引張力 (T) を加えたせん断抵抗モーメントとが釣り合うように、地震時における補強材の必要引張力の合計 ΣT_{reqE} を算出する。

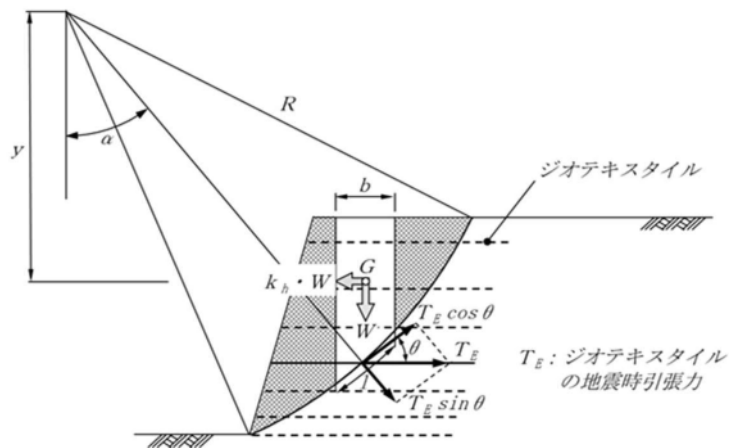


図 3-4 地震時における補強材による補強効果

盛土天端から深さ z における単位深さ当りの引張力 t の分布は、図 3-5 のとおりである。

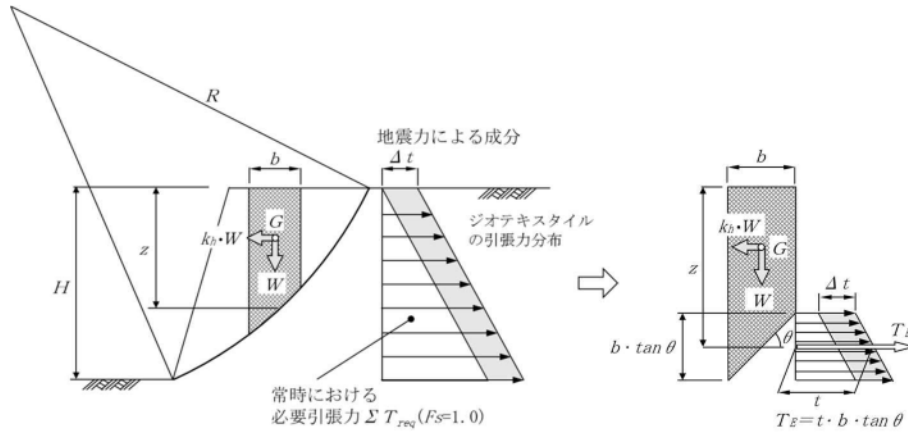


図 3-5 地震時の補強材の引張力分布の仮定

地震時における補強材の必要引張力 t 、 ΣT_{reqE} は、式(3-6)と式(3-7)より次のように求められる。

$$t = K_G \sigma_v + \Delta t = K_G \gamma z + \Delta t \quad (3-6)$$

$$\begin{aligned} \Sigma T_{reqE} &= \int_0^H t dz \\ &= \frac{1}{2} K_G \gamma H^2 + \Delta t H \\ &= \Sigma T_{req} + \Delta t H \end{aligned} \quad (3-7)$$

ここに、

ΣT_{req} : 常時の補強材の必要引張力の合計 (kN/m)

K_G : 常時の補強材の必要引張力の合計 ΣT_{req} に対する増加係数

Δt : 地震力に起因する単位深さ当りの補強材の必要引張力 (kN/m²)

式(3-7)より、式(3-8)が得られる。

$$\Delta t = \frac{\Sigma T_{reqE} - \Sigma T_{req}}{H} \quad (3-8)$$

地震時における円弧すべりに対する必要引張力の合計 ΣT_{reqE} を求める式(3-9)が得られる。式(3-9)と式(3-7)より、 Δt は式(3-10)で表せる。

$$\Sigma T_{reqE} = \Sigma T_{req} + \left\{ \frac{M_{DE} - M_{RE}}{R \Sigma A} - \frac{\Sigma K_G \gamma z A}{\Sigma A} \right\} H \quad (3-9)$$

$$\Delta t = \frac{M_{DE} - M_{RE}}{R \Sigma A} - \frac{\Sigma K_G \gamma z A}{\Sigma A} \quad (3-10)$$

実際の耐震設計計算では、常時の補強材の必要引張力の合計 ΣT_{req} に対する増加係数 K_G を求めた後、式(3-9)で与えられる ΣT_{reqE} の最大値 (ΣT_{reqE})_{max} を求め、式(3-8)または式(3-10)により、与えられる地震力に起因する単位深さ当り補強材の必要引張力 Δt を求めることができる。

2) 補強材の選定と敷設間隔の設定

敷設間隔 V は、ギャビオンの高さ方向間隔に合わせて設定すればよい。実際のギャビオンの高さは 0.5m 、 1.0m で、補強材の敷設間隔は 0.5m 又は 1.0m を標準とする。なお、盛土の締固め層厚は、本工法では 0.25m を標準とする。

盛土天端からの補強材の敷設深さ h において、敷設間隔 V で敷設された補強材に生じる引張力 T_{req} 、 T_{reqE} は、係数 K_G を用いて式(3-11)、式(3-12)のように表される。

常 時)

$$T_{req} = VK_G\sigma_v = VK_G(\gamma h + w_1 + w_2 + w_3) + \gamma_w\Delta h \leq T_A \quad (3-11)$$

地震時)

$$T_{reqE} = V \left\{ K_G (\gamma h + w'_1 + w_3) + \Delta t + \gamma_w \Delta h \right\} \leq T_{AE} \quad (3-12)$$

ここに、

- h : 補強材の盛土天端からの敷設深さ (m)
- T : 深さ h における補強材の引張力 (kN/m)
- V : 深さ h における補強材の敷設間隔 (m)
- σ_v : 深さ h における鉛直土圧 (kN/m²)
- w_1 、 w'_1 : 常時及び地震時における嵩上げ盛土荷重 (kN/m²)
- w_2 : 深さ h における活荷重 (kN/m²)
- w_3 : 深さ h におけるその他の荷重 (kN/m²)
- γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m³)
- Δh : 残留水位 (m)
- T_A 、 T_{AE} : 補強材の常時及び地震時の設計引張強さ (kN/m)

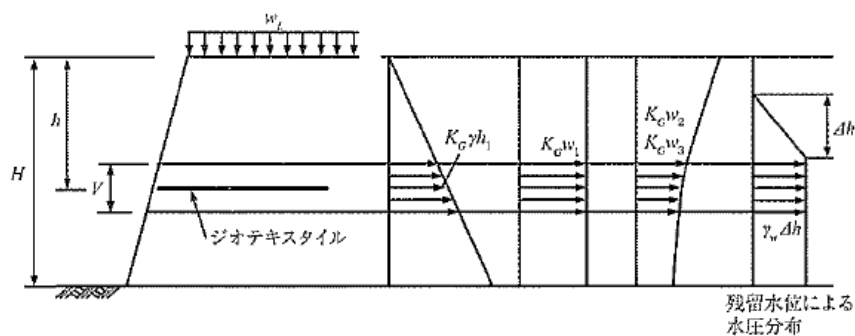


図 3-6 補強材に発生する引張力の算出法 (a)常時における作用荷重

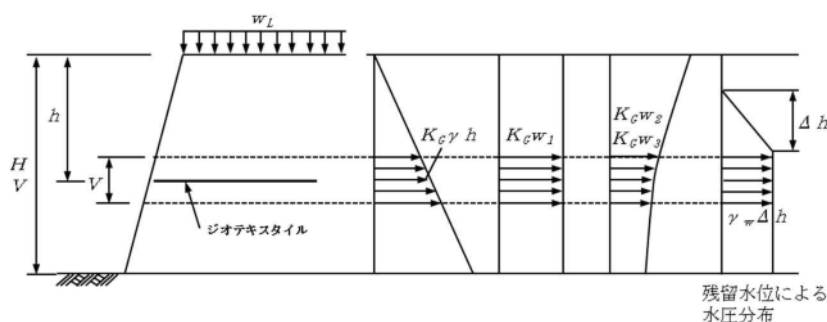


図 3-7 補強材に発生する引張力の算出法 (b)地震時における作用荷重

3) 荷重 (w_L) の求め方

(a) 嵩上げ盛土荷重 (w_1 、 w'_1)

嵩上げ盛土は、図 3-8 に示すように、式(3-12)、式(3-13)により等分布荷重 w_1 、 w'_1 に換算し、補強土壁の天端に一様に負荷される荷重として扱う。

常 時)

$$w_1 = \gamma H_1 = \frac{\gamma}{n_1} (L_{Smax} - B_b) \quad (3-13)$$

地震時)

$$w'_1 = \gamma H'_1 = \frac{\gamma}{n_1} (L_{SEmax} - B_b) \quad (3-14)$$

ここに、 γ : 嵩上げ盛土の単位体積重量 (kN/m^3)

H_1 、 H'_1 : 常時及び地震時の着目点における嵩上げ盛土高さ(m)

n_1 : 嵩上げ盛土ののり勾配($\tan\beta=1/n_1$)

L_{Smax} 、 L_{SEmax} : 常時及び地震時の壁面から必要引張力の合計 ΣT_{req} 及び ΣT_{reqE} が最大となる円弧すべり線までの最大水平距離(m)

B_b : 嵩上げ盛土ののり尻の小段幅(m)

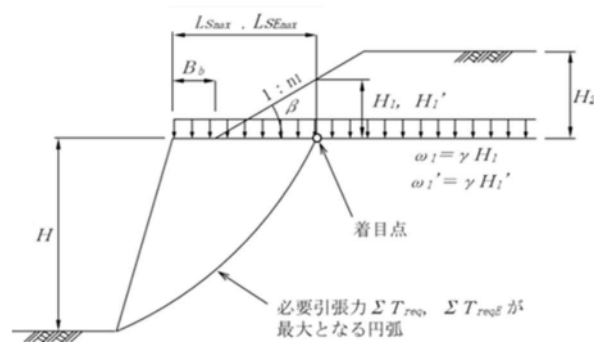


図 3-8 嵩上げ盛土荷重 (w_1 、 w'_1) の求め方

なお、嵩上げ盛土の高さ H_2 が補強土壁の高さ H より高い場合や、嵩上げ盛土ののり面勾配 β が、嵩上げ盛土材料のせん断抵抗角 ϕ と同程度となるような場合には、式(3-13)の換算方向によると、補強土壁の安定に影響する嵩上げ荷重を十分に評価できないため、「3.3.3 全体安定の検討」においてより詳細な検討を行う必要がある。

(b) 活荷重 (w_2) またはその他の載荷重 (w_3)

活荷重またはその他の載荷重は、図 3-9 に示すように補強土壁の断面方向に水平と鉛直の比が 1:2 の勾配で盛土内に分布するものとして扱い、 w_2 、 w_3 は式(3-15)で表される。

$$\left. \begin{aligned} \{ w_2, w_3 \} &= w_L \frac{B_L}{B_{Li}} && \text{(分布荷重の場合)} \\ w_3 &= \frac{P_L}{B_{Li}} && \text{(集中荷重の場合)} \end{aligned} \right\} \quad (3-15)$$

ここに、
 w_L : 上載する活荷重またはその他の載荷重 (kN/m²)
 P_L : 上載する集中荷重 (kN/m)
 B_L : 路面または地表面における活荷重の載荷幅 (m)
 B_{Li} : 補強材の敷設位置における荷重の分布幅 (m)

$$\left. \begin{aligned} z &\leq \frac{2(L_1 + B_G - nH_2)}{1 - 2n} && \text{のとき} \\ &B_{Li} = B_L + z \\ z &> \frac{2(L_1 + B_G - nH_2)}{1 - 2n} && \text{のとき} \\ &B_{Li} = B_L + L_1 + B_G - nH_2 + \left(n + \frac{1}{2}\right)z \end{aligned} \right\} \quad (3-16)$$

n : 補強土壁の壁面勾配 ($\tan\alpha = n$)

H_2 : 嵩上げ盛土の高さ (m)

z : 活荷重の作用位置からの深さ (m)

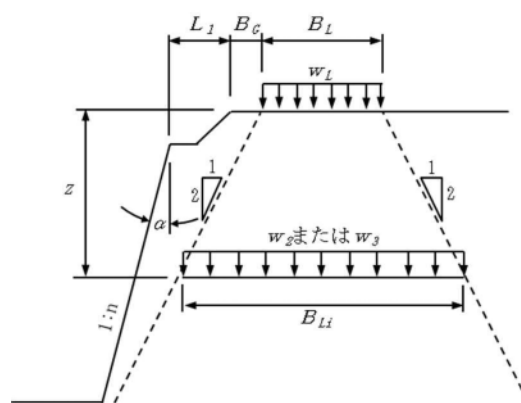


図 3-9 活荷重の分布形状

なお、活荷重またはその他の載荷重による影響は図 3-10(b)に示すように、その分布域が着目点とのり尻とを直線で結んだ領域内に侵入する範囲に位置する補強材に対してのみ考慮すればよい。

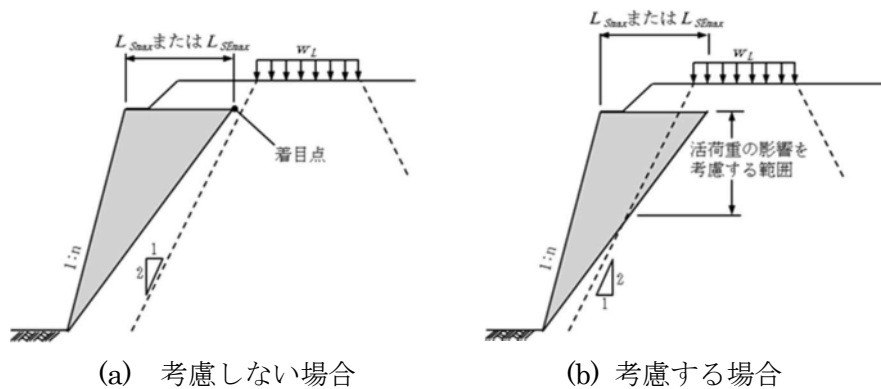


図 3-10 活荷重の影響を考慮する範囲

(2) 壁面工の安定性

1) 壁面材と補強材との引抜きに対する検討

TMHB では、生じる引張力は、式(3-17)、式(3-18)より求め、引抜き（摩擦）抵抗力 T_{BW} または T_{BWE} 以下であることを照査する。なお、 T_{BW} 、 T_{BWE} はテラメッシュとパラリンクの引抜き試験結果（表 3-3）に基づいて決定する。

常 時)

$$T = v K_G (\gamma h + w_1 + w_2 + w_3) \leq T_{BW} \quad (3-17)$$

地震時)

$$T_E = v (K_G \sigma_v + \Delta t) = v [K_G (\gamma h + w_1 + w_2 + w_3) + \Delta t] \leq T_{BWE} \quad (3-18)$$

ここに、 T 、 T_E ：常時及び地震時における連結部に作用する引張力（kN/m）

T_{BW} 、 T_{BWE} ：常時及び地震時における引抜抵抗力（kN/m）

v ：ジオシンセティックスの分担範囲（m）

h ：ジオシンセティックスの盛土天端からの敷設深さ（m）

γ ：盛土材料の単位体積重量（kN/m³）

2) 壁面強化材の設置

TMHB の場合、壁面補強材としての敷設長さは 3m を標準とし、十分な強度及び耐久性を有している。

3) 壁面材の部材の安全性の照査

本工法の壁面材は、中詰材として栗石等を使用するふとんかご（ギャビオン）であることから、十分な安定性を有している。

(3) 補強材の敷設長さの算出

補強材の敷設長さは、図 3-11 に示すように、常時では必要引張力の合計 ΣT_{req} が最大となる円弧すべり線から壁面までの水平距離 (L_s) と、補強材の引抜きが生じない必要定着長 (L_e) を合わせた長さである。各段の補強材の敷設長は、式(3-19)より求めることができる。

地震時も同様に必要引張力の合計 ΣT_{reqE} が最大となる円弧すべり線に対し、各段の補強材の敷設長として、円弧すべり線から壁面までの水平距離 (L_{sE}) と、補強材の引抜きが生じない必要定着長 (L_{eE}) を式(3-20)より求める。

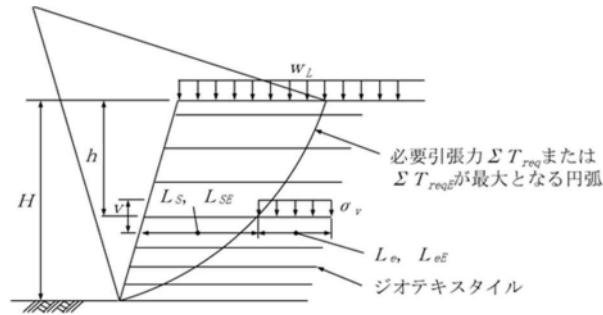


図 3-11 補強材の敷設長さの算出

常 時)

$$L = L_s + L_e = L_s + \frac{F_s T_{req}}{2(c^* + \sigma_v \tan \phi^*)} \quad (3-19)$$

地震時)

$$L = L_{sE} + L_{eE} = L_s + \frac{F_s T_{reqE}}{2(c^* + \sigma_v \tan \phi^*)} \quad (3-20)$$

ここに、 L ：各段の必要敷設長 (m)

L_s 、 L_{sE} ：常時及び地震時における各段の壁面から ΣT_{req} 及び ΣT_{reqE} が最大となるすべり面までの水平距離 (m)

L_e 、 L_{eE} ：常時及び地震時における各段の補強材の必要定着長さ (m) ($\geq 1.0\text{m}$)

通常の場合、敷設長さは、各段同一長さとするを原則とする。自然地山に接近した補強土壁の場合、部分的に不同長となる敷設配置を計画してよいものとする。但し、全体的な安定に対して十分に配慮する必要がある。

3.3.2 外的安定検討

(1) 仮想的な擁壁の領域設定

外的安定の検討は、図 3-12 に示すように、積層したギャビオンと補強材の敷設領域を一体とした仮想的な構造体（以下、仮想的な擁壁の領域）とみなし、滑動、転倒、支持力の検討により構造物の安定性を照査する。

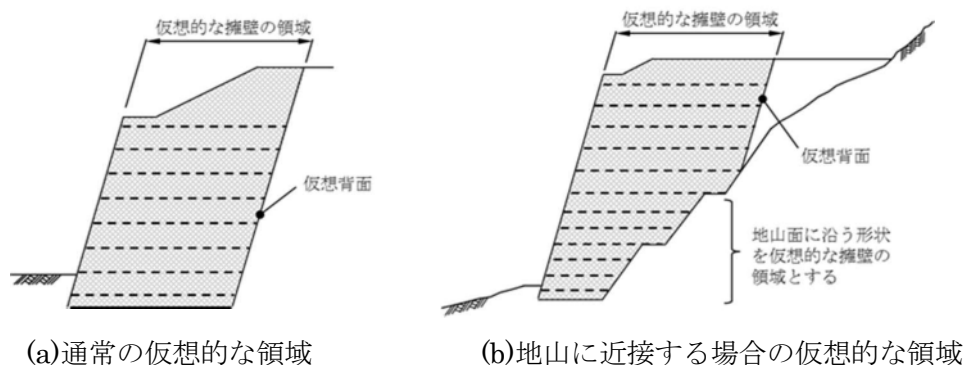


図 3-12 仮想的な擁壁の領域設定

(2) 仮想背面に作用する土圧

常時の仮想背面に作用する土圧は、図 3-13 に示すように、試行くさび法により最大となる土圧 P_A を式(3-21)により求める。

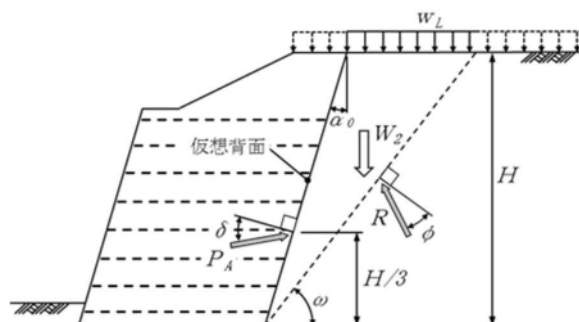


図 3-13 補強土壁の仮想背面に作用する土圧（試行くさび法）

$$P_A = \frac{W_s \cdot \sin(\omega - \phi)}{\cos(\omega - \phi - \alpha_0 - \delta)} \quad (3-21)$$

ここに、 W_2 ：土くさびの重量（上載荷重 q を含む）（kN/m）

P_A ：土圧合力（kN/m）

ω ：すべり面と水平面のなす角（°）

α_0 ：仮想背面のなす角（°）

R ：すべり面に作用する反力（kN/m）

ϕ ：背面の盛土材のせん断抵抗角（°）

δ ：仮想背面の摩擦角（°）（ $= \phi$ ）

地震時土圧 P_{AE} の算定は、図 3-14 に示すように、土くさびに水平方向の設計水平震度 $v \cdot k_h$ ($v = 0.7$) を作用させて式(3-22)により求める。

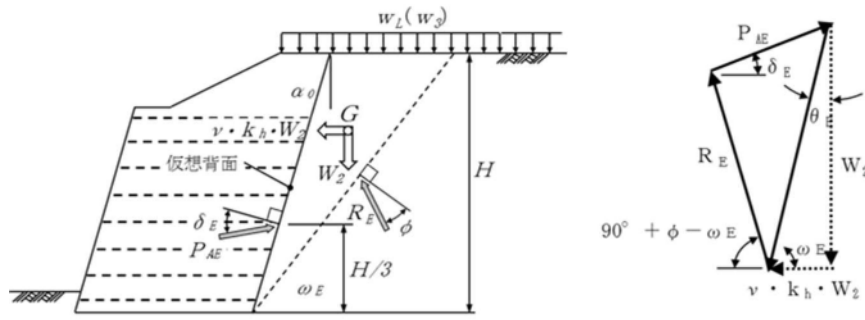


図 3-14 補強土壁の仮想背面に作用する地震時土圧

$$P_{AE} = \frac{W_2 \cdot \sin(\omega_E - \phi + \theta)}{\cos(\omega_E - \phi + \alpha_0 - \delta_E) \cdot \cos \theta_w} \quad (3-22)$$

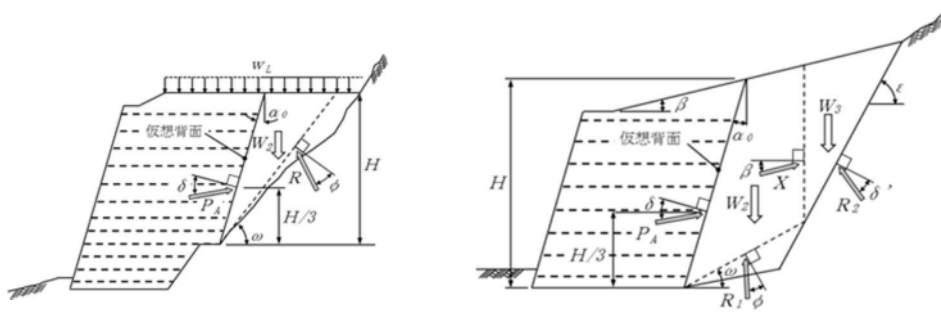
ここに、 P_{AE} ：地震時土圧合力 (kN/m)

ω_E ：すべり面と水平面のなす角 (°)

θ ：地震合成角 (°) $\theta = \tan^{-1} k_h$

δ_E ：壁面摩擦角 (°) ($= \phi$)

なお、安定した勾配の地山へ接近して補強土壁を設置する場合、図 3-15 に示すように、切土のり面等における壁面摩擦角 δ' は、地山の地質や表面状態によって異なるが、表 3-4 を目安に適当な値を定めてよい。しかし、切土部の土圧の大きさは δ' の値によって影響を受けるため、周辺の状況、地山の状態、土質試験等に基づいて慎重に決定する必要がある。



(a) 直線で算定する場合

(b) 折れ線で算定する場合

図 3-15 地山に接近する補強土壁の仮想背面に作用する切土部土圧

表 3-4 切土のり面等における壁面摩擦角 δ'

地山の地質や表面状態	壁面摩擦角 δ'
軟岩以上で比較的均一な平面を課している場合	$2\phi/3$
粗面であるが、段切り等の処理がされ粗面とみなしうる場合	ϕ

(3) 外的安定の検討

外的安定の検討では、設定した仮想的な擁壁を通常の重力式擁壁と扱い、滑動、転倒、支持に対する安定を照査する。

1) 滑動に対する安定の検討

【常時】

常時の滑動に対する安定の検討は、図 3-16 に示すように、補強領域の仮想背面に作用する土圧等による滑動力に対して、仮想的な擁壁の底面におけるせん断抵抗力が所定の安全率を有していることを照査する。

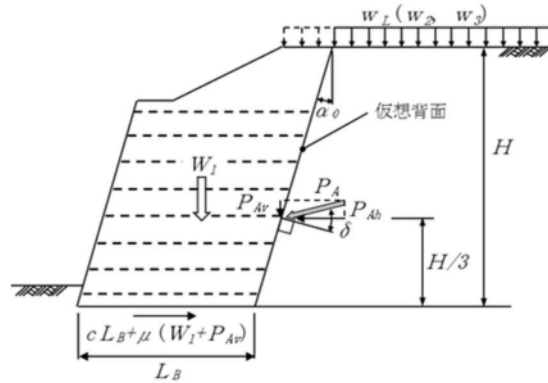


図 3-16 常時の滑動に対する検討

常時の滑動に対する検討は、式(3-23)の安全率を満足しなければならない。

$$F_s = \frac{c \cdot L_B + \mu \cdot \sum V}{\sum H} = \frac{c \cdot L_B + \mu \cdot (W_1 + P_{AV})}{P_{Ah}} \geq 1.5 \quad (3-23)$$

ここに F_s : 滑動に対する安全率

L_B : 仮想的な擁壁の底面幅 (m)

$\sum V$: 仮想的擁壁の底面における全鉛直荷重 (kN/m)

$\sum H$: 仮想的擁壁の底面における全水平荷重 (kN/m)

c, μ : 仮想的擁壁の底面と基礎地盤との粘着力と摩擦係数

W_1 : 仮想的擁壁の自重 (kN/m)

P_{AV} : 仮想背面に作用する土圧 P の鉛直方向成分

$$P_{AV} = P_A \cdot \sin (\delta - \alpha_0) \text{ (kN/m)}$$

P_{Ah} : 仮想背面に作用する土圧 P の水平方向成分

$$P_{Ah} = P_A \cdot \cos (\delta - \alpha_0) \text{ (kN/m)}$$

δ : 仮想背面の壁面摩擦角 ($^\circ$) ($= \phi$)

α_0 : 壁面と鉛直面のなす角 ($^\circ$)

【地震時】

地震時の滑動に対する検討は、図 3-17 に示すように、仮想的な擁壁の自重に起因する地震時慣性力及び仮想背面の地震時土圧を考慮して照査を行う。

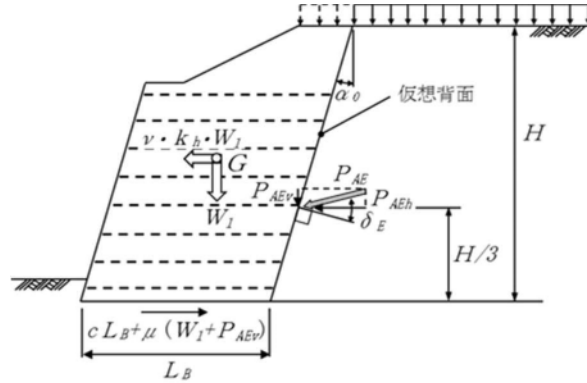


図 3-17 地震時の滑動に対する検討

地震時の滑動に対する安全率は、式(3-23)から求められる。

$$F_{SE} = \frac{c \cdot L_B + \mu \cdot \sum V_E}{\sum H} = \frac{cL_B + \mu(W_1 + P_{AEv})}{vk_h W_1 + P_{AEh}} \geq 1.2 \quad (3-24)$$

ここに F_{SE} : 滑動に対する安全率

L_B : 仮想的な擁壁の底面幅 (m)

P_{AEv} : 仮想背面に作用する地震時土圧 P_{AE} の鉛直方向成分

$$P_{AEv} = P_{AE} \cdot \sin (\delta_E - \alpha_0) \text{ (kN/m)}$$

P_{AEh} : 仮想背面に作用する地震時土圧 P_{AE} の水平方向成分

$$P_{AEh} = P_{AE} \cdot \cos (\delta_E - \alpha_0) \text{ (kN/m)}$$

δ_E : 地震時における仮想的な擁壁背面の壁面摩擦角 (°) (= ϕ)

2) 転倒に対する安定の検討

【常時】

常時における転倒に対する安定の検討は、図 3-17、図 3-18 に示すように、通常の重力式擁壁と同様に仮想的な擁壁の自重、補強土壁の仮想背面に作用する土圧などの底面における合力 R の作用位置が許容範囲内に位置することを確認する。

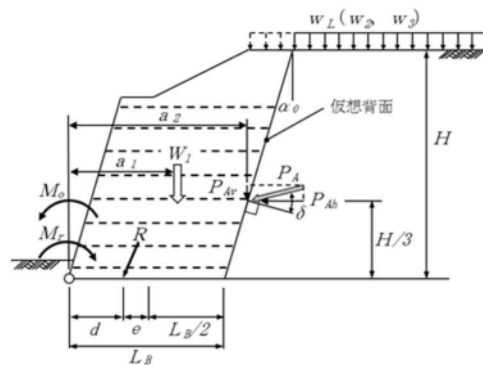


図 3-18 常時の転倒に対する検討 (a) 通常に設置する場合

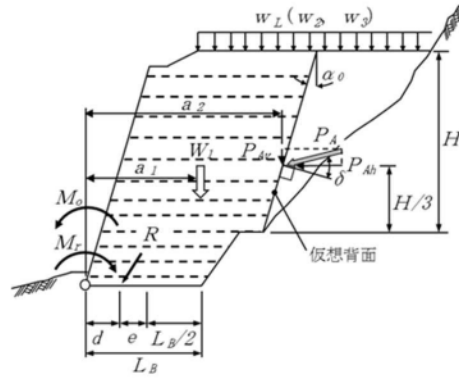


図 3-19 常時の転倒に対する検討 (b) 地山に接近して設置する場合

仮想的な擁壁のつま先から合力 R の作用点までの距離 d は、式(3-25)から求められる。

$$d = \frac{\Sigma M_R - \Sigma M_o}{\Sigma V} = \begin{cases} \frac{W_1 \cdot a_1 + P_{Av} \cdot a_2 - P_{Ah} \cdot H/3}{W_1 + P_{Av}} & (\text{通常の場合}) \\ \frac{W_1 \cdot a_1 + P_{Av} \cdot a_2 - P_{Ah} \cdot (H - 2 \cdot H/3)}{W_1 + P_{Av}} & (\text{地山に近接する場合}) \end{cases} \quad (3-25)$$

- ここに
- d : 仮想的な擁壁のつま先から合力の作用点までの距離 (m)
 - ΣM_R : つま先まわりの抵抗モーメント (kN・m/m)
 - ΣM_o : つま先まわりの転倒モーメント (kN・m/m)
 - H : 仮想背面の高さ (m)
 - a_1 : つま先から W_1 までの水平距離 (m)
 - a_2 : つま先から P_{Av} までの水平距離 (m)

合力 R の作用点の底面中央からの偏心距離 e は、式(3-26)から求められる。

$$e = \frac{L_B}{2} - d \quad (3-26)$$

- ここに
- e : 仮想的な擁壁底面中央からの偏心距離 (m)

転倒に対する安定条件は、仮想的な擁壁が前方へ転倒しなければよい。すなわち、偏心距離 e は、式(3-27)を満足しなければならない。

$$e \leq \frac{L_B}{6} \quad (3-27)$$

【地震時】

地震時の転倒に対する安定の検討は、図 3-19、図 3-20 に示すように、地震時慣性力と仮想的な擁壁背面の地震時土圧を考慮して照査を行う。

仮想的な擁壁のつま先から合力 R の作用点までの距離 d は、式(3-28)から求められる。

$$d = \frac{W_1 \cdot a_1 + P_{AEv} \cdot a_2 - \nu k_h \cdot W_1 \cdot H_h - P_{AEh} \cdot H'/3}{W_1 + P_{AEv}} \quad (3-28)$$

ここに H_h : 仮想的な擁壁の慣性力の作用高さ (m)

合力 R の作用点の底面中央からの偏心距離 e は、式(3-29)から求められる。

$$e = \frac{L_B}{2} - d \quad (3-29)$$

転倒に対する安定条件は、仮想的な擁壁が前方へ転倒しなければよい。すなわち、偏心距離 e は、式(3-30)を満足すればよい。

$$e \leq \frac{L_B}{3} \quad (3-30)$$

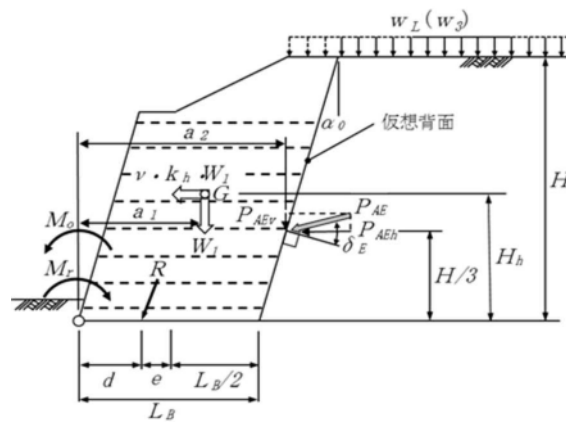


図 3-20 地震時の転倒に対する検討 (a) 通常に設置する場合

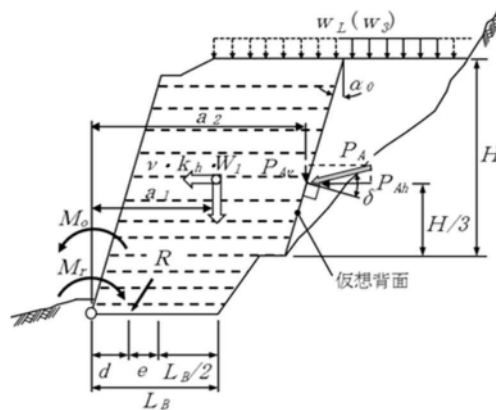


図 3-21 地震時の転倒に対する検討 (b) 地山に近接して設置する場合

3) 支持に対する安定性の検討

支持に対する安定性の照査は、図 3-22～図 3-25 に示すように、仮想的な擁壁の基礎地盤面に作用する鉛直地盤反力度は、仮想的な擁壁の自重、仮想背面に作用する常時または地震時の土圧合力の鉛直成分及び載荷重等の鉛直成分が補強領域の底面に均等に作用するものとして求め、これが基礎地盤の許容鉛直支持力度以下であることを照査する。

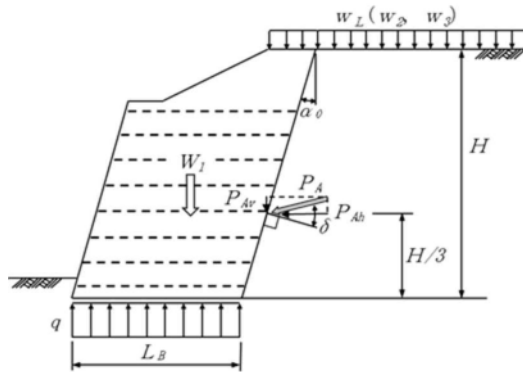


図 3-22 常時の基礎地盤の支持力に対する検討 (a) 通常に設置する場合

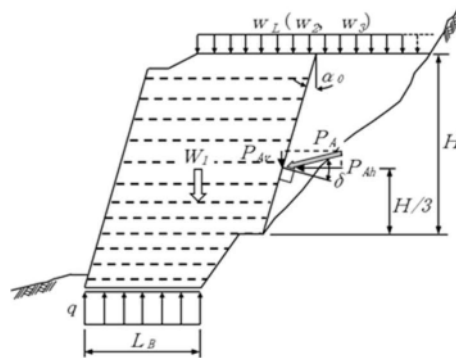


図 3-23 常時の基礎地盤の支持力に対する検討 (b) 地山に近接して設置する場合

【常時】

常時における基礎地盤の支持力検討では、仮想的な擁壁の底面における全鉛直荷重が、基礎地盤に対して等分布に作用するものとして、式(3-31)より求める。

$$q = \frac{\sum V}{L_B} \quad (3-31)$$

ここに $\sum V$: 仮想的な擁壁の底面における全鉛直荷重 (kN/m)、ただし
活荷重による影響も考慮する ($= W_1 + P_{Av} + w_L$)

この地盤反力度 q は、式(3-32)を満足しなければならない。

$$q \leq q_a = \frac{q_u}{F_s} \quad (3-32)$$

ここに q_u : 基礎地盤の極限支持度 (kN/m²)
 q_a : 基礎地盤の許容支持度 (kN/m²)
 F_s : 基礎地盤の極限支持度に対する安全率 (=3)

【地震時】

地震時の仮想的な擁壁の底面における全鉛直荷重が、図 3-24、図 3-25 に示すように、基礎地盤に対して等分布に作用するものとして、式(3-33)より求める。

$$q_E = \frac{\sum V_E}{L_B} \quad (3-33)$$

ここに $\sum V_E$: 地震時の仮想的な擁壁の底面における全鉛直荷重 (kN/m)、ただし活荷重による影響も考慮する ($=W_1+P_{AEV}+w_L$)

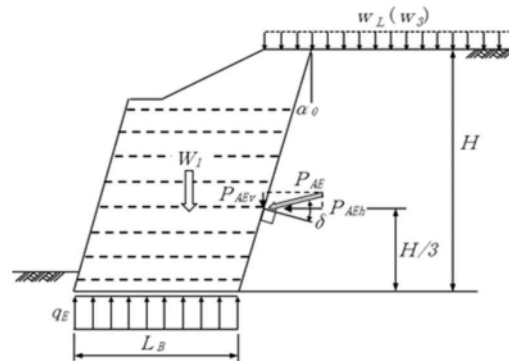


図 3-24 地震時の基礎地盤の支持力に対する検討 (a) 通常に設置する場合

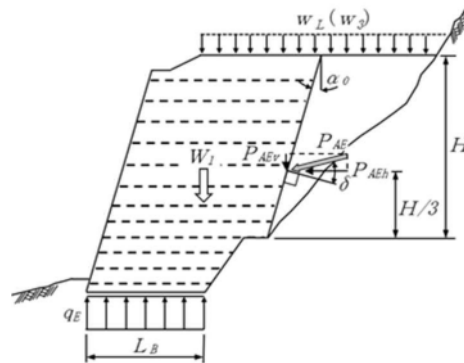


図 3-25 地震時の基礎地盤の支持力に対する検討 (b) 地山に近接して設置する場合

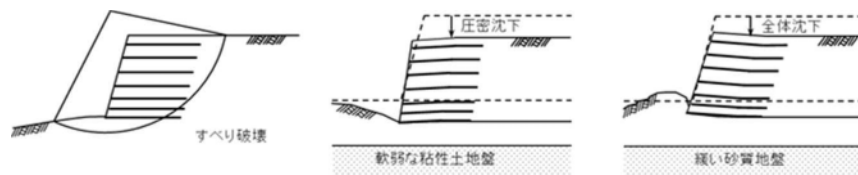
この地盤反力度 q_E は、式(3-34)を満足しなければならない。

$$q_E \leq q_{aE} = \frac{q_u}{F_{SE}} \quad (3-34)$$

ここに q_u : 基礎地盤の極限支持度 (kN/m²)
 q_{aE} : 地震時の基礎地盤の許容支持度 (kN/m²)
 F_{SE} : 地震時の基礎地盤の極限支持度に対する安全率 (=2)

3.3.3 全体安定検討

補強土壁及び基礎地盤を含む全体としての安定性については、図 3-26 に示すように、補強土壁の外側及び補強領域を横切るすべりや基礎地盤の沈下、液状化の影響等に対する検討を行う。特に沢地や集水地形に本工法を適用する場合には、軟弱地盤の対策工を検討する必要がある。



(a) すべり検討 (b) 基礎地盤の沈下検討 (c) 液状化検討

図 3-26 全体安定の検討

(1) 補強土壁の外側及び補強領域を横切るすべりに対する安定の照査

内的安定及び外的安定の検討を満足する補強材の設計配置に対して、図 3-27 に示すような補強土壁を含めた背面盛土及び基礎地盤を含め、想定される全てのすべりに対して安定であることを照査する。

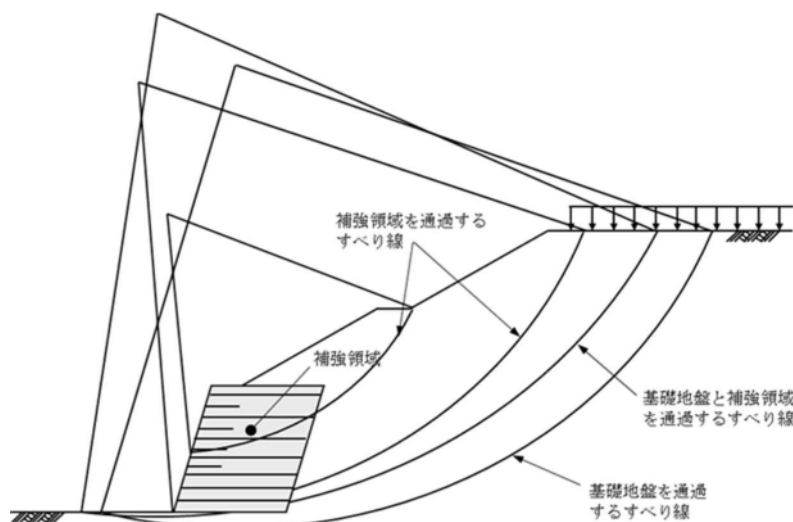


図 3-27 補強土壁の外側及び補強領域を横切るすべりに対する安定検討

常時及び地震時の全体安定の安全率は、式(3-34)、式(3-35)より求める。

$$\text{常時)} \quad F_s = \frac{R \sum \{c_l + (W \cos \alpha + T \sin \theta) \tan \phi + T \cos \theta\}}{R \sum W \sin \alpha} \quad (3-35)$$

$$\text{地震時)} \quad F_s = \frac{R \sum \{c_l + (W \cos \alpha - k_h W \sin \alpha) \tan \phi\} + R \sum (\cos \theta + \sin \theta \tan \phi)}{\sum (RW \sin \alpha + k_h W_y)} \quad (3-36)$$

(2) 基礎地盤の沈下に対する照査

軟弱な土層を含む地盤上に補強土壁を設置する場合は、圧密沈下や軟弱層厚の差や作用荷重の違いによる不同沈下を伴う場合があるため、発生する沈下量の程度を事前に把握しておく必要がある。この場合には、「道路土工－軟弱地盤対策工指針」等に従い、基礎地盤のすべりに対する安定とともに、圧密沈下についても検討を行い、変形・変状が懸念される場合には必要な対策を検討する。

(3) 液状化の影響に対する検討

基礎地盤の内部に液状化が懸念されるゆるい砂質土が存在する場合には、地盤の液状化に対する安定性を検討する。なお、地盤の液状化の判定については、「道路土工－軟弱地盤対策工指針」等を参考にするとよい。

3.3.4 設計安全率

補強土壁の設計における常時及び地震時の設計安全率の一覧表を、表 3-4 に示す。

表 3-5 補強土壁における設計安全率

安全率の種類		設計安全率	
		常時	地震時
内的安定	引抜きに対する安全率	$F_S=2.0$	$F_{SE}=1.2$
外的安定	滑動に対する安全率	$F_S \geq 1.5$	$F_{SE} \geq 1.2$
	転倒に対する安全率	$e \leq L/6$	$e \leq L/3$
	極限支持力に対する安全率	$F_S=3.0$	$F_{SE}=2.0$
全体安定	基礎地盤を含む円弧すべりに対する安全率	$F_S \geq 1.2$	$F_{SE} \geq 1.0$

参考文献

- 1) (一財) 土木研究センター：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル
(平成 25 年 12 月)

4. 施工法

4. 施工法

4.1 施工手順

TMHBの施工フローを図4-1に示す。

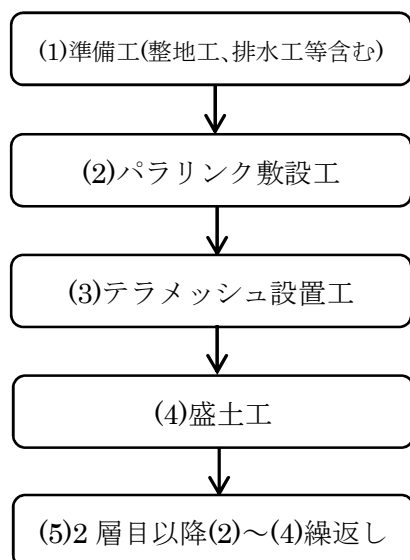


図4-1 施工フロー

(1) 準備工等

地山掘削や基礎排水処理等を行った後、パラリンク及びテラメッシュの設置にあたり、敷設面を締固め機械で出来る限り平坦にする。



図4-2 準備工

(2) パラリンク敷設工

整地した基礎地盤に第1層目のパラリンクを敷設する。敷設にあたっては、「パラリンク敷網工法技術資料 第13.3版」を参照されたい。

(3) テラメッシュ設置工、(3)盛土工

テラメッシュ設置工および盛土工の施工概念図を図 4-3 に示す。

テラメッシュユニットを設置し、ふとん籠を形成する。ふとん籠（壁面材）のはらみ出し防止対策として、写真 4-1 に示すように、単管パイプとコンパネを組み合わせる用い、壁面を固定した後、中詰め材(栗石等)を詰める。なお、付写真 4-2 に示すように背面側には吸出し防止のために、 $t = 10\text{mm}$ の不織布(TMS-N)を設置する。

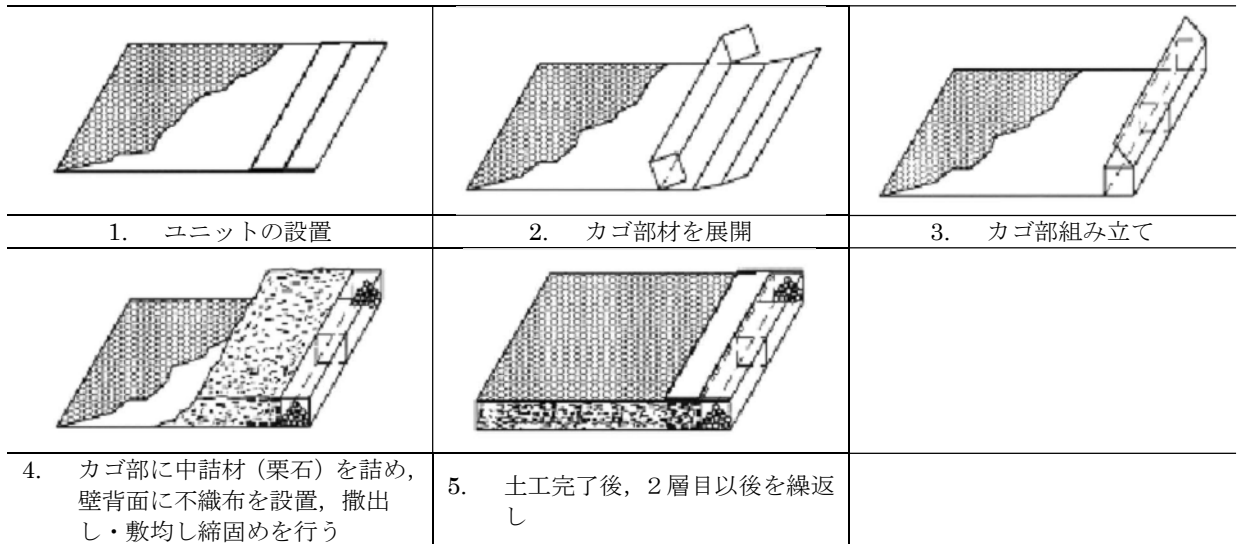


図 4-3 テラメッシュ設置工



単管パイプとコンパネを用いた例
(土木研究所施工例)



木材を用いた例
(トルコ施工事例)



鋼材を用いた例
(インド施工事例)

写真 4-1 はらみ出し防止枠

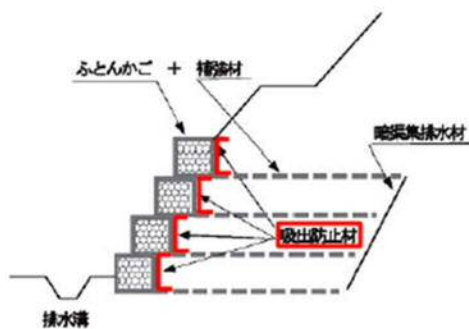


写真 4-2 吸出し防止材設置状況 (沖縄施工)

4.2 テラメッシュ設置工

【テラメッシュの組立・施工】

① ユニットの設置

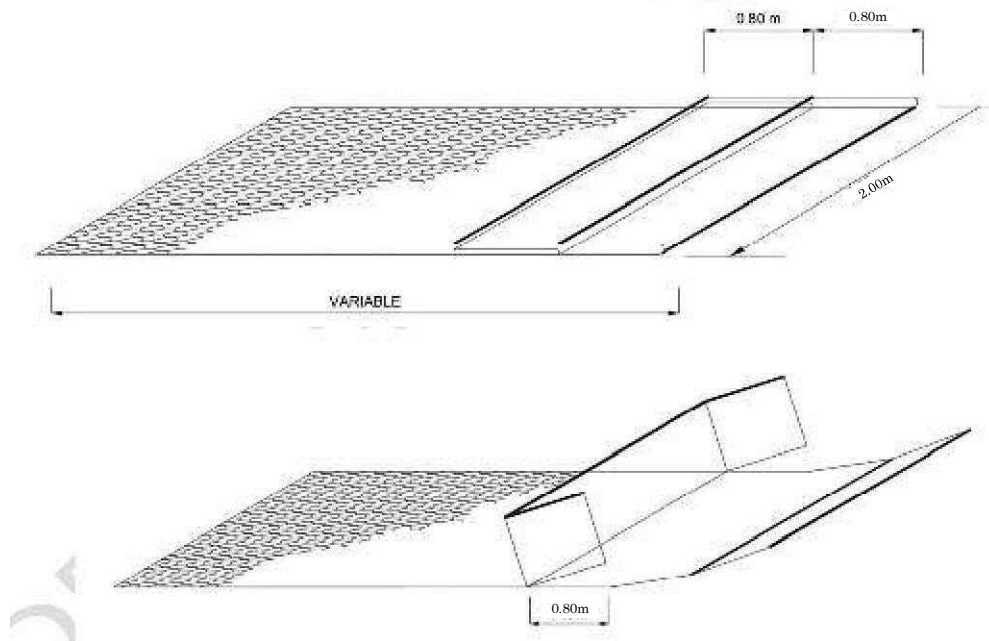
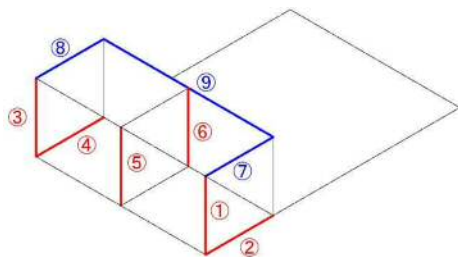


図 4-4 テラメッシュユニットの設置

② ふとん籠部の組立

ユニットで折りたたまれていたふとん籠部を図 4-5 に示すように、折り目に沿って展開し、組み立てる。前面と下面及び中仕切りの結合部は C リングを、蓋部分はレーシングワイヤーを用いて結束する。図 4-6 に C リングとレーシングワイヤーで結束する位置を示す。PVC コーティングされた 3.2mm のレーシングワイヤーを用いて結束する（標準結合方式）



【結束方法】

赤：C リング

青：レーシングワイヤー

（標準結合方式）

図 4-5 ふとん籠部の組み立て

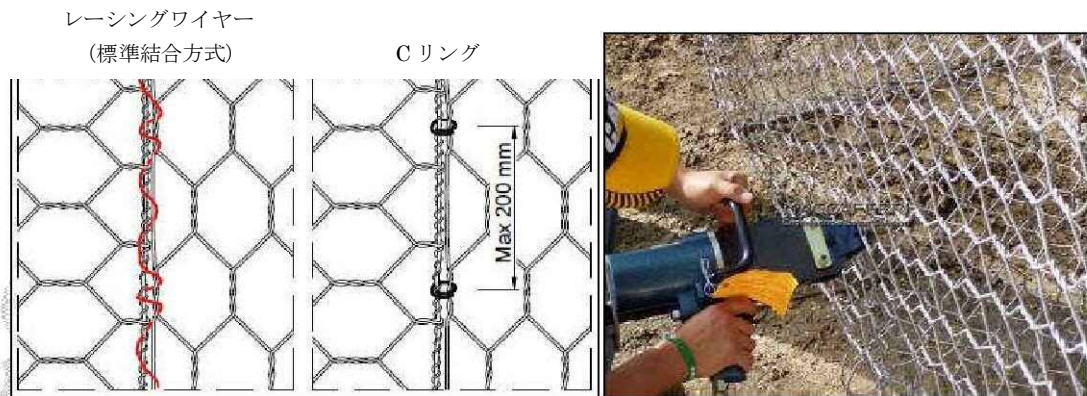


図 4-6 レーシングワイヤー及び C リング結束位置

③ テラメッシュの配置

テラメッシュの施工は、各々のテラメッシュを組立て積み重ねていく。各々のテラメッシュの施工時のズレを防止するため、組立てたテラメッシュをレーシングワイヤーで結合する。結合の要領を図 4-7 に示す。

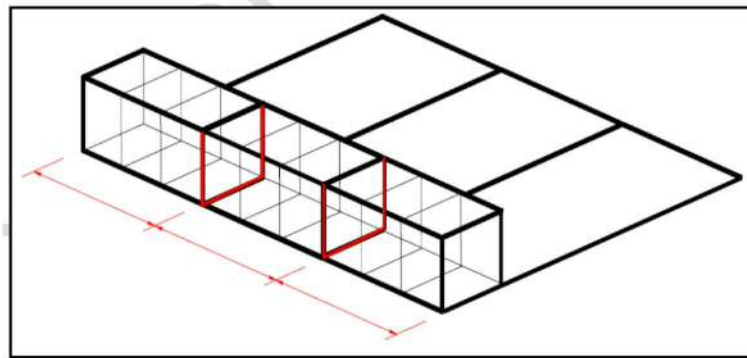


図 4-7 各テラメッシュの結合

④ ふとん籠内ブレス材配置と栗石投入

[ブレス材設置]

ふとん籠を組立後、ふとん籠内部にはらみ出し防止用のブレス材を図 4-8 に示すように配置する。ブレス材はふとん籠組立時に使用したレーシングワイヤーで、前面と背面のメッシュに図示するように通し、中間部でワイヤーを絞って、ブレス材とする。ブレス材の配置は、高さ 0.8m の場合、約 1/3 の位置で 1 箇所ずつ、高さ 0.5m の場合、約 1/2 の位置で 1 箇所とする。

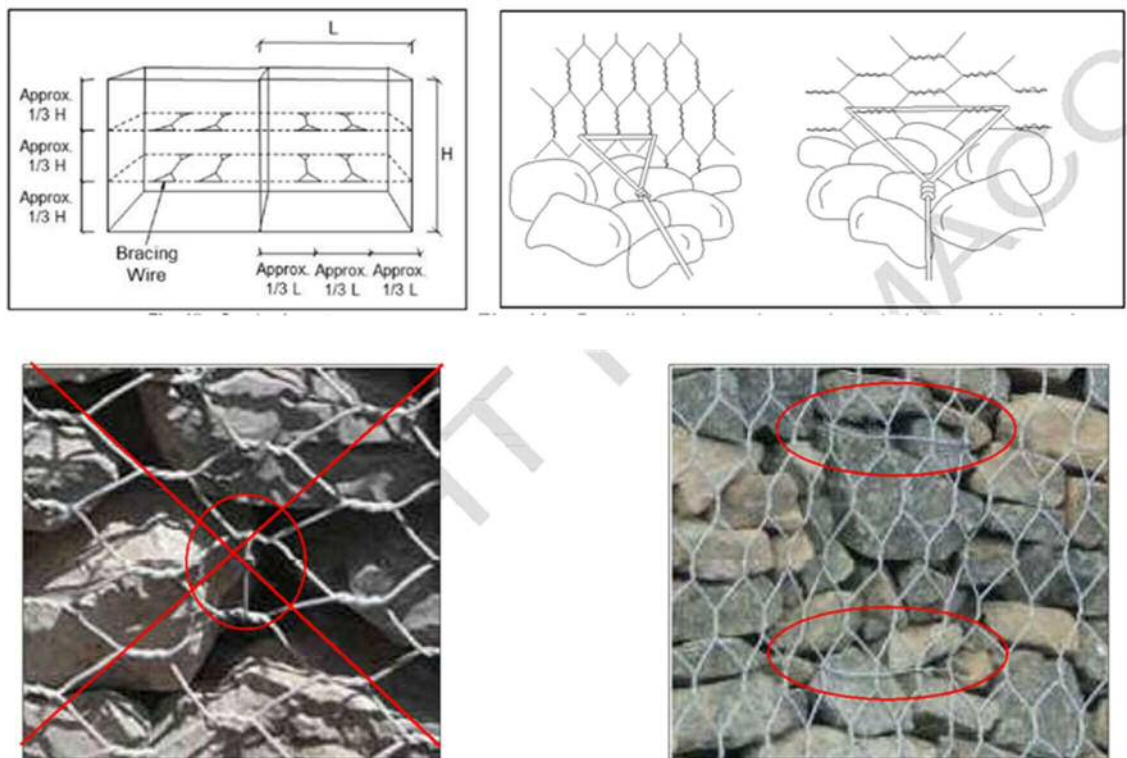


図 4-8 ブレス材配置状況

[栗石充填作業手順]

栗石充填作業手順を付図 4-9 に示す。

- ① ふとん籠高さの 1/3 程度まで栗石を充填する。
- ② 1/3 の高さで、ブレス材を設置し、高さ 2/3 まで栗石を充填する。
- ③ 2/3 の高さで、ブレス材を設置し、ふとん籠の高さまで栗石を充填する。
- ④ 栗石が自然に沈下する可能性があるため、栗石を 30～50mm 程度余裕で充填する。蓋占め作業を行う。
- ⑤ かご内の隣り合う栗石の充填高さの差が 30cm を超えないようにする。

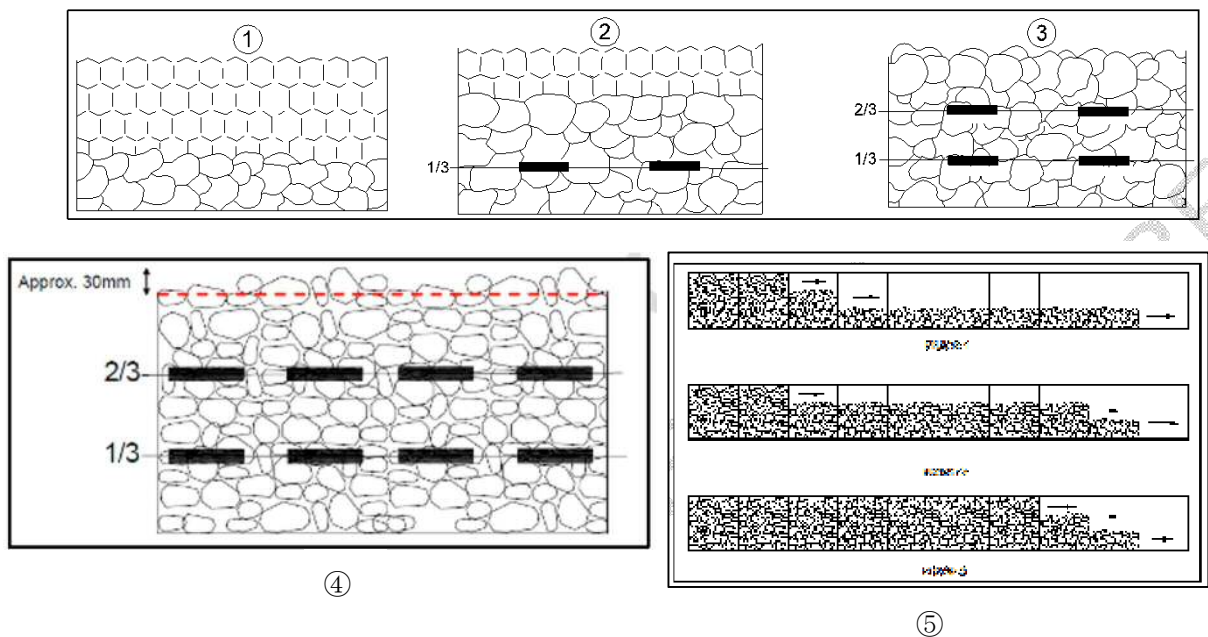


図 4-9 栗石充填作業手順

⑤ 吸出し防止材の設置

テラメッシュは、壁面材がふとん籠構造で排水性が高いことが特徴である。背面盛土部から雨水が流入し、盛土材の細粒分がふとん籠部に流れ出し、排水性を損なう可能性がある。そこで、排水効果を維持するために、ふとん籠背面の盛土材との境界に、吸出し防止材を配置する必要がある。

付図 4-7 に吸出し防止材配置状況図を示す。吸出し防止材は、厚さ 10mm の不織布 (TMS-N) を使用する。

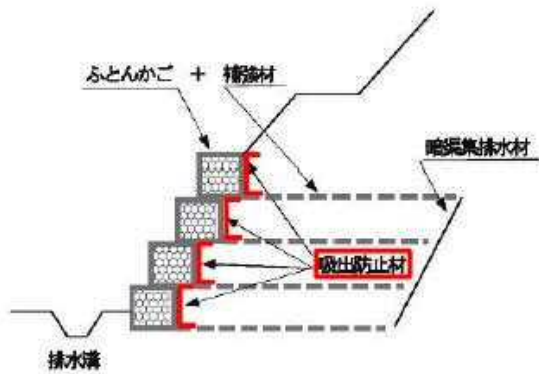


図 4-10 吸出し防止材配置状況図

4.3 施工管理

(1) 中詰材

ふとん籠(壁面材)の排水性を確保するため、中詰材は 100～250mm の栗石等を使用する。

中詰材の施工は、人力施工を原則とし、乾燥単位体積重量を 17.5kN/m³ 以上とする。壁面の変位や見栄え等を考慮して、栗石等のできるだけ大き目のもの且つ平らな面を外側に配置するような配慮が望まれる。

(2) 壁面工の出来形管理

各指針の「補強土壁工」に準拠する。

- ・土木工事施工管理基準（国土交通省）

単位：mm

測定項目	規格値	測定基準	測定箇所	摘要	
基準高 ▽	±50	施工延長40m（測点間隔25mの場合は50m）につき1ヶ所、延長40m（又は50m）以下のものは1施工箇所につき2ヶ所。		3-2-15-3	
高さ h	h < 3m				-50
	h ≥ 3m				-100
鉛直度 △	±0.03 h かつ ±300以内				
控え長さ	設計値以上				
延長 L	-200	1 施工箇所毎			

- ・土工施工管理要領（東・中・西日本高速道路株式会社）

高さ (H _i)	±75mm かつ 設計値の±3%	・施工延長 10m につき 1 箇所 (10m 未満の場合は 1 箇所とする。)		様式-21
鉛直度 (L _p , L _v /H _i)	±300 かつ 設計値の±3%			
計画高 (PH)	±50			

(3) 盛土工

盛土材の敷均し及び締固めは、「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル」を参考にして施工する。

- ・盛土材の配置及び締固めは図 4-10 に示す手順通り行う。
- ・締固め作業は、ふとん籠背面から 1m 以内の領域では小型振動ローラを使用する。その他の領域では重機を使用する。
- ・敷均し：締固め後の 1 層の仕上り厚さは 0.30m 以内（標準 0.25m）とする。
- ・締固め：乾燥密度によって規定する場合は、JIS1210 の A,B 法で 95% 以上、C,D,E 法で 90% 以上に締固める。

- ・盛土材の最大含水が最適含水量の $\pm 1.5\%$ 以内を標準とする。

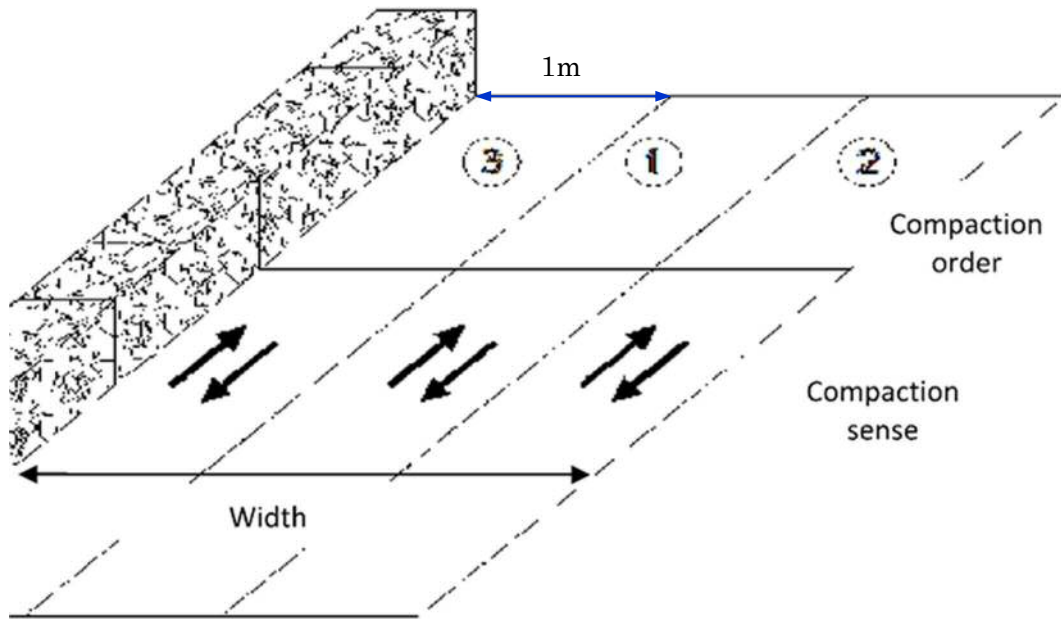


図 4-11 盛土材配置及び締固め手順

(4) 安全管理

安全管理については、「土木工事安全施工安全施工技術指針」や「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル」等に準拠して施工する。

なお、高さ $H > 2\text{m}$ の場合は、前面側から壁面はらみ出し防止の作業及び転落防止柵設置のため足場工を設置する。

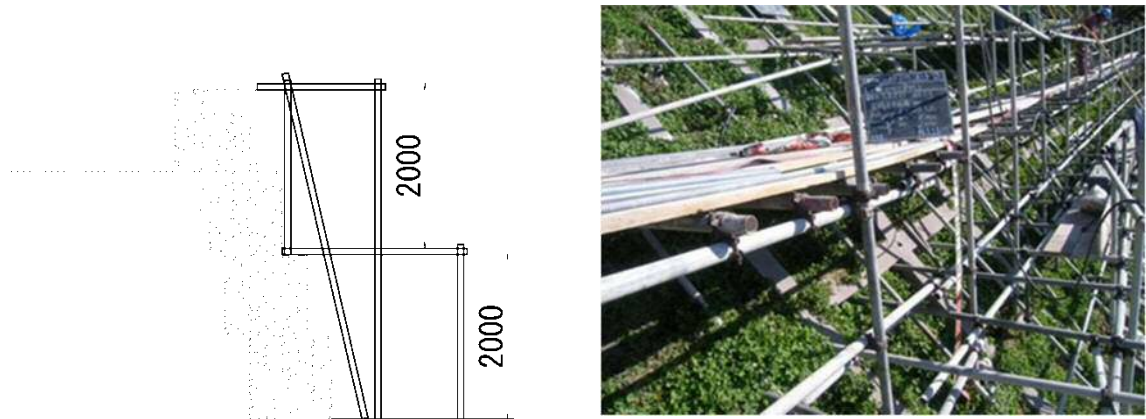


図 4-12 足場の例

5. 維持管理

本工法の維持管理は、「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル 第二回改訂版」（土木研究センター、平成 25 年 12 月）に準拠して行う。

補強土の維持管理は、一般に盛土や切土、擁壁等の一連の土工構造物の維持管理作業の一環として実施され、補強土のみが個別に行われることはない。ここでは、上記のマニュアルにおける維持管理について、その概要を以下に紹介する。

5.1 基本方針

補強土の維持管理は、供用期間中における補強土としての機能を常時良好な状態に保ち、災害を未然に防止することを目的として行う。

5.2 補強土の変状と対策

- (1) 補強土の維持管理に当っては、災害に結びつく要因とその影響を把握し、異常な変状の早期発見に努める。
- (2) 補強土の維持管理により確認された異常や変状に対しては、それらが原因となって生じる可能性のある事象を想定し、効果的な補修・補修対策を実施する。

補強土壁において想定される変状とその要因、さらに調査、計画、設計、施工過程における主な検討事項との関係について、マニュアルでは図 5-1 を例示している。

5.3 維持管理の方法

維持管理は、維持管理計画の立案から、点検・保守、応急対策・本復旧、さらにそれらの点検記録や補修履歴の記録の保存まで、状況に応じて計画的に実施することが必要である。

維持管理業務の一般的な流れとして、マニュアルでは図 5-2 を示している。

5.4 点検・保守

補強土の機能を維持するために、点検・保守は適切に行うものとする。

補強土壁の主な点検項目や点検個所として、マニュアルでは表 5-1 及び図 5-3 を示している。

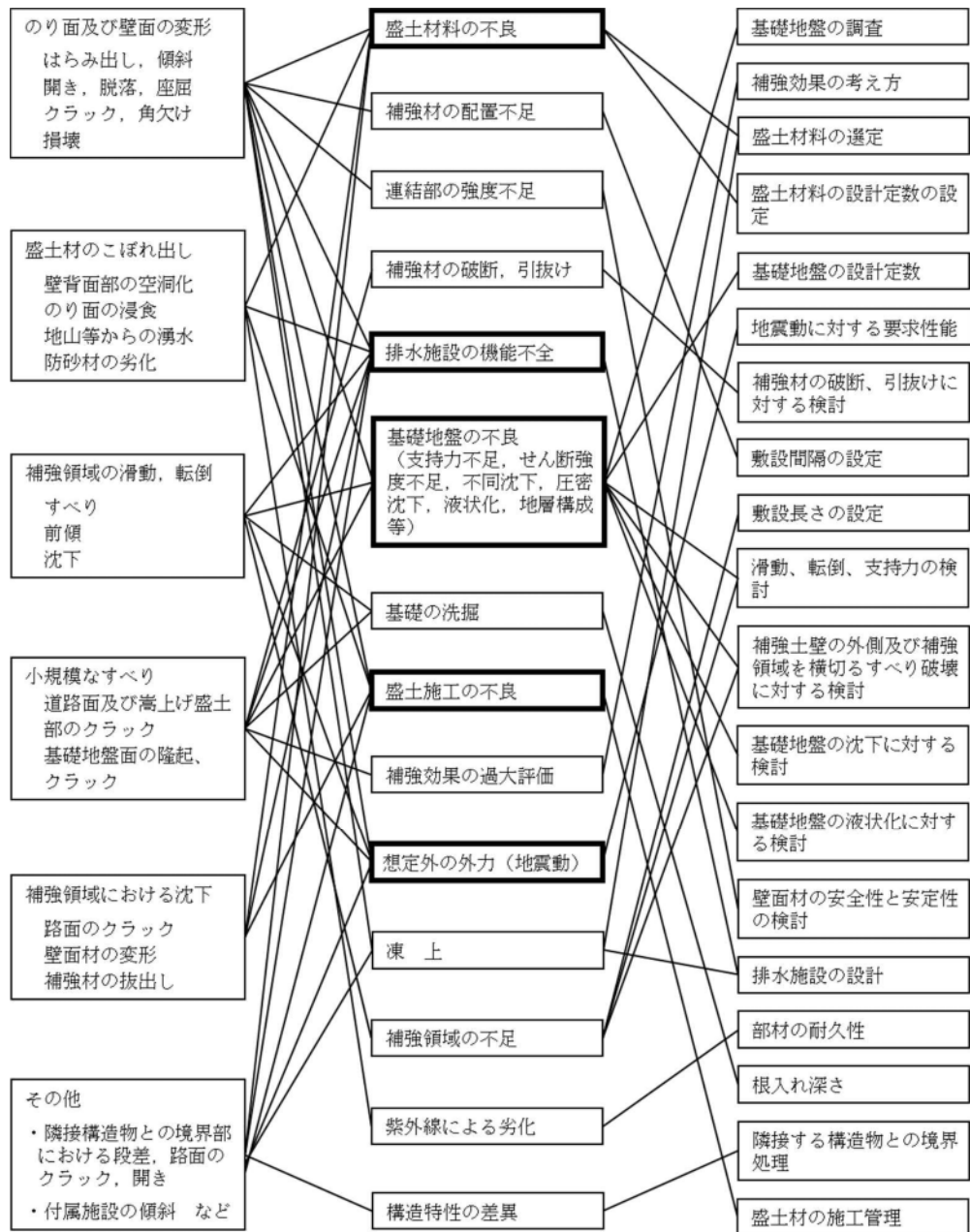


図 5-1 補強土の変状と要因及び検討項目との関係例

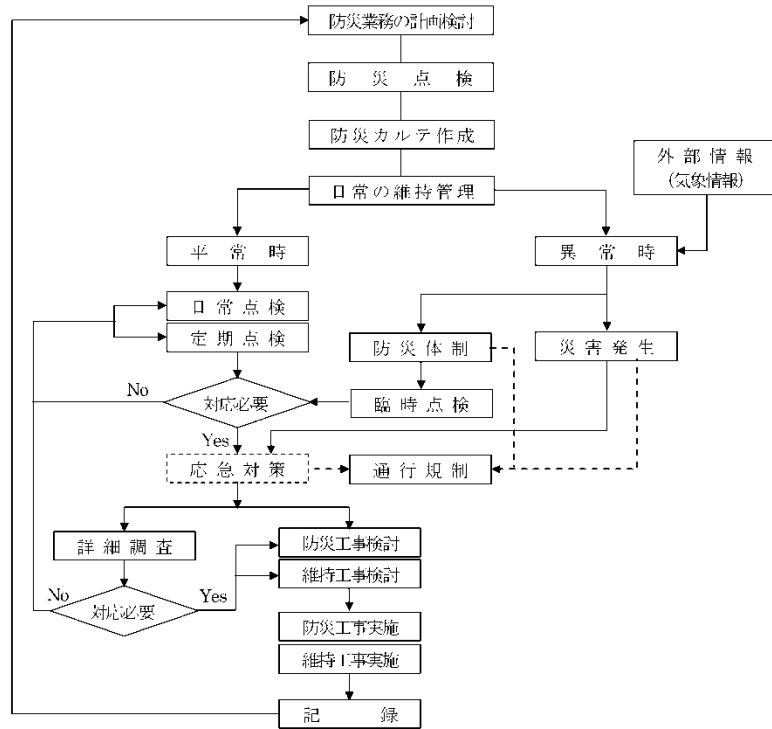


図 5-2 維持管理全体の流れ

表 5-1 テラメッシュの点検項目と着眼点

点 検 項 目		着 眼 点
ふとん籠	ふとん籠の損傷	ふとん籠の線材の欠損，座屈等はないか 著しい壁面材の変状
	はらみ出し沈下・段差・前倒れ等	はらみ出し，沈下，前倒れはないか 隣合うふとん籠が開いていないか，また，その程度はどうか
基礎部分		基礎または本体の周辺が著しく洗掘されていないか 根入れ部分が傾斜・沈下していないか
排水施設		ふとん籠部からの水のしみだしはないか，排水工からの排水のにごり，水量の変化，または排水施設の詰まりはないか
嵩上げ盛土		嵩上げ盛土部に水のしみ出しはないか 構造物が構築されたり，廃材などが投棄されたりしていないか クラックや崩落個所がないか
構造物周辺の変状		基礎地盤面にクラックや隆起，道路舗装面に段差やクラック，嵩上げ盛土部に 変状はないか

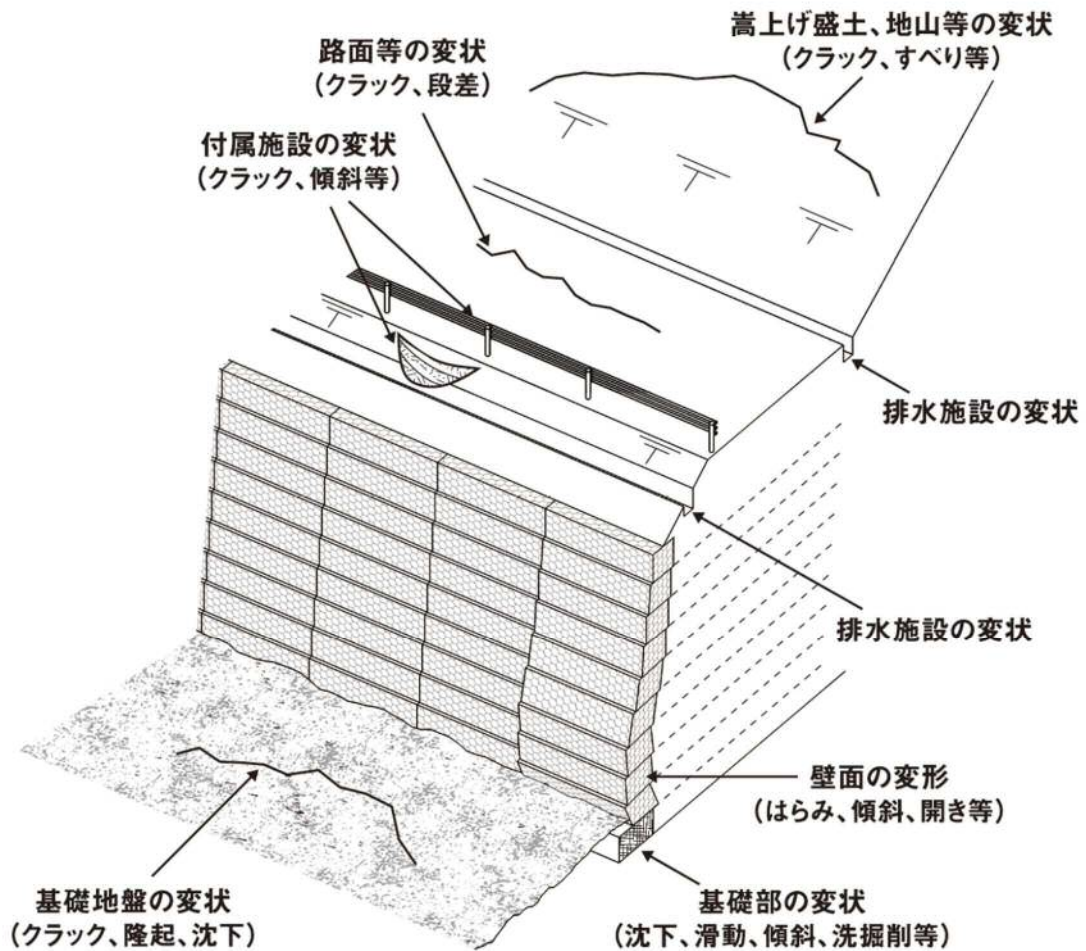


図 5-3 テラメッシュの点検箇所

5.5 補修・補強対策

- (1) 補強土の点検により変状・損傷が認められ、補強土の機能の低下や防災上の課題が確認された場合には、必要な機能の回復並びに安全の確保のために補修・補強対策等を行う。
- (2) 補強土の点検により変状・損傷などによって、その機能に支障が認められる場合には、第三者や隣接する施設の安全確保を第一に考え応急的な対策を講じるものとする。
- (3) 補強土の補修・補修に当っては、変状・損傷の原因、変状・損傷の位置やその程度等について十分な調査・検討を行い、適切な対策を施すものとする。

設計計算例 TMHB (テラメッシュ・ハイブリッド工法)

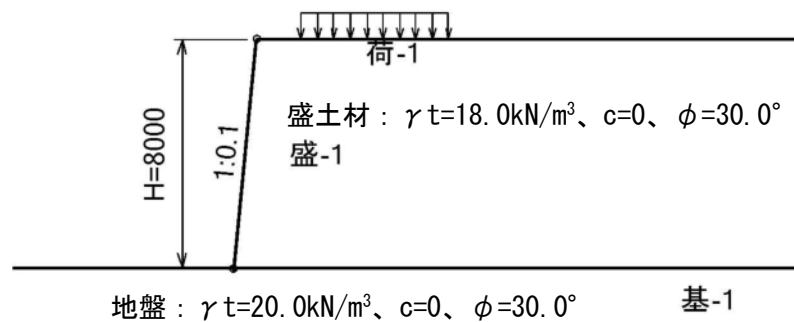
ここでは、TMHB の設計計算例 (常時及び地震時) を示すが、「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル 第二回改訂版」(土木研究センター、平成 25 年 12 月) に準拠して行う。

1. 設計条件

1.1 検討断面

検討断面を例図 2-1 に示す。

盛土高さは 8.0m、法面勾配は 1 : 0.1、上載荷重は 10.0kN/m²(荷重幅 : 5m)である。



例図 2-1 検討断面

1.2 土質定数

盛土材及び地盤の土質定数は、例表 2-1 のとおりである。

例表 2-1 土質定数

土質の区分	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	せん断抵抗角 ϕ (°)
盛土材	19.0	0	30.0
地盤	20.0	0	30.0

1.3 設計水平震度

(1) 内的安定及び外的安定の検討に用いる設計水平震度

$$k_h = c_z \cdot k_{ho} = 0.20$$

ここに、 k_h : 設計水平震度

k_{ho} : 標準設計水平震度 = 0.20 [地盤種別 : レベル 2 地震動 II 種]

c_z : 地域別補正係数 = 1.00 [地域区分 : A]

(2) 全体安定の検討に用いる設計水平震度

$$k_h = c_z \cdot k_{ho} = 0.20$$

ここに、 k_h : 設計水平震度

k_{ho} : 標準設計水平震度 = 0.20 [地盤種別 : レベル 2 地震動 II 種]

c_z : 地域別補正係数 = 1.00 [地域区分 : A]

1.4 設計安全率

設計安全率を例表 2-2 に示す。

例表 2-2 設計安全率

安全率の種類	設計安全率	
	常時	地震時
引抜きに対する安全率	$F_s \geq 2.00$	$F_{sE} \geq 1.20$
滑動に対する安全率	$F_s \geq 1.50$	$F_{sE} \geq 1.20$
転倒に対する許容値	$e \leq L/6$	$e \leq L/3$
支持力に対する安全率	$F_s \geq 3.00$	$F_{sE} \geq 2.00$
全体安定・円弧すべりに対する安全率	$F_s \geq 1.20$	$F_{sE} \geq 1.00$

2. 無補強時の円弧すべり安定計算

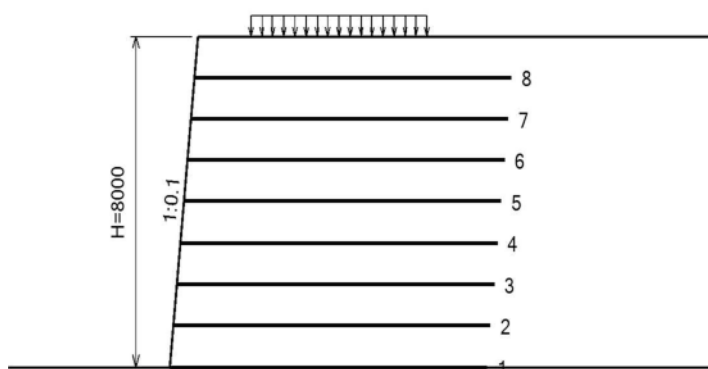
無補強時における円弧すべり安定計算を行い、その結果を例表 2-3 に示す。常時及び地震時の最小安全率が $F_s=0.628$ と $F_{sE}=0.517$ であることから、対策工の検討が必要である。

例表 2-3 無補強時の安定計算結果

項目	記号	単位	常時		地震時	
			計算結果	判定	計算結果	判定
安全率	F_s	—	0.628	補強必要	0.517	補強必要
	F_{sa}		(1.200)		(1.000)	
円中心X座標 Y座標	X_o	m	-3.200			
	Y_o		3.300		4.800	
半径	R	m	4.597		7.077	

3. TMHB の安定照査

盛土高さが 8.0m であることから、高さ 1.0m のテラメッシュを 8 段設置及び敷設間隔 1.0m の補強材（パラリンク）を 8 層敷設した場合について検討する。TMHB の検討断面を例図 2-2 に示す。

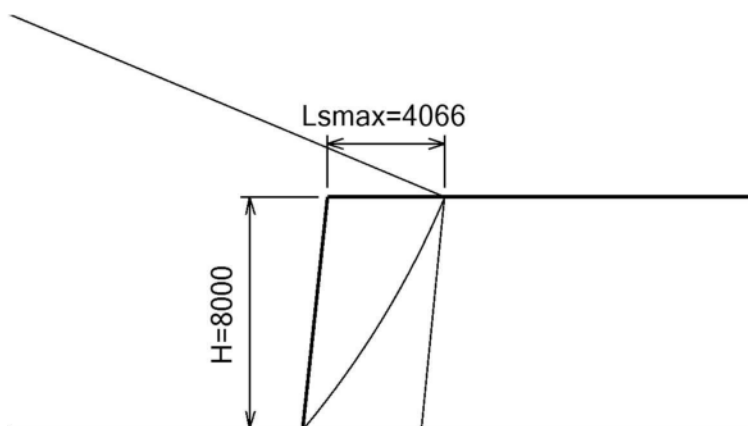


例図 2-2 TMHB 検討断面

3.1 内の安定の検討【常時】

3.1.1 常時における必要引張力の合計が最大となるすべり円弧の算定

最下層盛土の法尻を通る円弧として、式(3-4)により必要引張力の合計が最大となるすべり円弧を抽出する。算定結果を例図 2-3 及び例表 2-4 に示す。



例図 2-3 常時におけるすべり円弧形状

例表 2-4 常時における必要引張力の合計が最大となるすべり円弧の抽出

項目	記号	単位	常時
引張力の最大値	ΣT_{req}	kN/m	172.963
抵抗モーメント	MRC	kN・m/m	0.000
	MRF		3533.690
	MR		3533.690
起動モーメント	MD	kN・m/m	9172.645
円中心 X座標 Y座標	Xo	m	-24.200
	Yo		20.200
半径	R	m	31.523

3.1.2 常時におけるパラリンクの引張強さの照査

パラリンクの設計引張強さ T_A を例表 2-5 に示す。

例表 2-5 パラリンクの常時における設計引張強さ T_A

材料 No	名称	規格	T_{max} (kN/m)	材料安全率				T_A (kN/m)
				Fcr	FD	FC	FB	
3	パラリンク 50L	50L	50.0	1.39	1.05	1.03	1.00	33.00
4	パラリンク 100L	100L	100.0	1.39	1.05	1.03	1.00	66.00

*Fcr は、クリープ低減係数 $\mu = 0.72$ (耐久年 120 年) の逆数である。

パラリンクの必要引張力の合計に対する増加係数(K_G)は、0.2845 である。

$$K_G = \frac{2 \sum T_{req}}{\gamma H^2} = 0.2845$$

- ここに、 K_G : ジオテキスタイルの必要引張力の合計に対する増加係数
 $\sum T_{req}$: 常時のジオテキスタイルの必要引張力の合計の最大値 = 172.963 (kN/m)
 γ : 土の単位体積重量 = 19.0 (kN/m³)
H : 補強土壁の高さ = 8.000 (m)

なお、上載荷重の分布を例図 2-4 に示す。活荷重 (w₂) は、式(3-16)により求める。

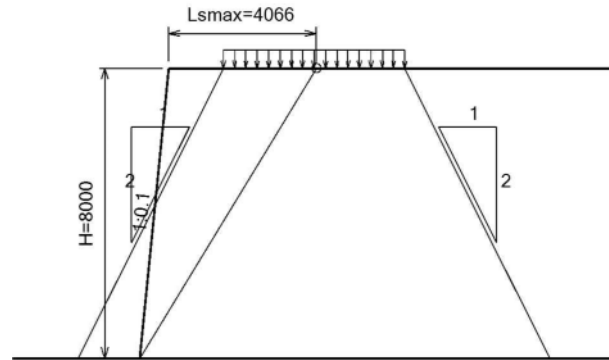


図 2-4 上載荷重の分布

常時におけるパラリンクの引張強さについて、各段に作用する引張力が式 (3-12) に基づいて設計強度以下であることを確認する。照査した結果を例表 2-6 に示す。

$$T = v K_G (\gamma h + w_1 + w_2) \leq T_A$$

- ここに、 T : 深さ h におけるジオテキスタイルに発生する引張力 (kN/m)
T_A : ジオテキスタイルの常時設計引張強さ (kN/m)
h : ジオテキスタイルの盛土天端からの敷設深さ (m)
v : 深さ h におけるジオテキスタイルの分担範囲 (m)
K_G : 常時のジオテキスタイルの必要引張力の合計に対する増加係数 = 0.2845
 γ : 土の単位体積重量 = 19.000 (kN/m³)
L_{Smax} : のり肩部から着目点までの水平距離 = 4.066 (m)
H₁ : 着目点における嵩上げ盛土高さ = 0.000 (m)
w₁ : 嵩上げ盛土荷重 (kN/m²)
 $w_1 = \gamma H_1 = 0.000$ (kN/m²)
w₂ : 深さ h における活荷重またはその他の載荷重による鉛直荷重 (kN/m²)
V : ジオテキスタイルの敷設間隔 (m)

例表 2-6 パラリンク引張強さの照査結果

位置 番号	h (m)	V (m)	v (m)	w2 (kN/m ²)	T (kN/m)	TA (kN/m)	材料 No	判 定
8	1.000	1.000	1.000	8.333	7.776	33.000	3	○
7	2.000	1.000	1.000	7.143	12.842	33.000	3	○
6	3.000	1.000	1.000	6.250	17.993	33.000	3	○
5	4.000	1.000	1.000	5.618	23.219	33.000	3	○
4	5.000	1.000	1.000	5.263	28.523	33.000	3	○
3	6.000	1.000	1.000	4.950	33.839	66.000	4	○
2	7.000	1.000	1.000	4.673	39.165	66.000	4	○
1	8.000	1.000	1.000	4.425	44.500	66.000	4	○

3.1.3 常時におけるパラリンクの敷設長の算定

パラリンクと土との摩擦については、砂又は砂質土（φ材）の摩擦係数 $\alpha 1=0$ 、 $\alpha 2=0.5$ を使用して得られる、土とパラリンクの見かけの粘着力（ c^* ） $=0$ （kN/m²）、見かけのせん断抵抗角（ ϕ^* ） $=16.1$ （°）の値を用い、式(3-20)より敷設長を算定する。算定結果を例表 2-7 に示す。

例表 2-7 パラリンクの敷設長

位置 番号	h (m)	σv (kN/m ²)	T (kN/m)	Ls (m)	Le (m)	L (m)	敷設長 L (m)
8	1.000	19.000	7.776	3.726	1.418	5.144	9.000
7	2.000	38.000	12.842	3.343	1.171	4.514	9.000
6	3.000	57.000	17.993	2.916	1.094	4.010	9.000
5	4.000	76.000	23.219	2.441	1.058	3.500	9.000
4	5.000	95.000	28.523	1.917	1.040	2.957	9.000
3	6.000	114.000	33.839	1.338	1.028	2.366	9.000
2	7.000	133.000	39.165	0.701	1.020	1.721	9.000
1	8.000	152.000	44.500	0.000	1.014	1.014	9.000

初期敷設長 = 5.200 (m) 注；敷設長は外的安定の検討および全体安定の検討を考慮した長さを表示

3.2 内的安定の検討【地震時】

3.2.1 地震時における必要引張力の合計が最大となるすべり円弧の算定

最下層盛土の法尻を通る円弧として、式(3-10)により必要引張力の合計が最大となるすべり円弧を抽出する。算定結果を例表 2-8 に示す。

例表 2-8 地震時における必要引張力の合計が最大となるすべり円弧の抽出

項 目	記号	単 位	地震時
引張力の最大値	ΣT_{reqE}	kN/m	256.137
常時の引張力の合計	ΣT_{req}	kN/m	150.877
地震力に起因する 引張力	Δt	—	13.157
設計水平震度	kh	—	0.200
抵抗モーメント	MRC	kN・m/m	0.000
	MRF		61530.446
	MRE		61530.446
起動モーメント	MDE	kN・m/m	165283.260
円中心 X 座標 Y 座標	Xo	m	-259.200
	Yo		256.700
半径	R	m	364.801
増加係数	KG	—	0.248

3.2.2 地震時におけるパラリンクの引張強さの照査

地震時におけるパラリンクの設計引張強さ T_{AE} を例表 2-9 に示す。 $T_{AE} = \lambda T_A$ (λ : 地震時割増係数=1.25) である。

例表 2-9 パラリンクの地震時における設計引張強さ T_{AE}

材料 No	名称	規格	T_{max} (kN/m)	材料安全率				T_A (kN/m)	T_{AE} (kN/m)
				F_{cr}	F_D	F_C	F_B		
3	パラリンク 50L	50L	50.0	1.39	1.05	1.03	1.003	33.0	41.250
4	パラリンク 100L	100L	100.0	1.39	1.05	1.03	1.00	66.0	82.500

地震時におけるパラリンクの引張強さについて、各段に作用する引張力が式 (3-13) に基づいて設計強度以下であることを確認する。照査した結果を例表 2-10 に示す。

$$T_E = v \{ KG(\gamma h + w_1' + w_2) + \Delta t \} \leq T_{AE}$$

ここに、 T_E : 深さ h におけるジオテキスタイルに発生する引張力 (kN/m)

T_{AE} : ジオテキスタイルの地震時設計引張強さ (kN/m)

h : ジオテキスタイルの盛土天端からの敷設深さ (m)

v : 深さ h におけるジオテキスタイルの分担範囲 (m)

KG : 地震時の円弧すべり形状における常時のジオテキスタイルの必要引張力の合計に対する増加係数 = 0.2482

γ : 土の単位体積重量 = 19.000 (kN/m³)

L_{SEmax} : のり肩部から着目点までの水平距離 = 6.885 (m)

H_1' : 着目点における嵩上げ盛土高さ = 0.000 (m)

w_1' : 嵩上げ盛土荷重 (kN/m²)

$$w_1' = \gamma H_1' = 0.000 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

w_2 : 深さ h における活荷重またはその他の載荷重による鉛直荷重 (kN/m²)

Δt : 地震力に起因する単位層厚当りの必要補強材張力 = 13.157 (kN/m²)

V : ジオテキスタイルの敷設間隔 (m)

例表 2-10 パラリンク引張強さの照査結果

	h (m)	V (m)	v (m)	w_2 (kN/m ²)	T_E (kN/m)	T_{AE} (kN/m)	材料 No	判定
8	1.000	1.000	1.000	0.000	17.872	41.250	3	○
7	2.000	1.000	1.000	0.000	22.587	41.250	3	○
6	3.000	1.000	1.000	0.000	27.302	41.250	3	○
5	4.000	1.000	1.000	0.000	32.017	41.250	3	○
4	5.000	1.000	1.000	0.000	36.732	41.250	3	○
3	6.000	1.000	1.000	0.000	41.447	82.500	4	○
2	7.000	1.000	1.000	0.000	46.162	82.500	4	○
1	8.000	1.000	1.000	0.000	50.877	82.500	4	○

3.2.3 地震時におけるパラリンクの敷設長の算定

常時と同様に、土とパラリンクの見かけの粘着力 (c^*) = 0 (kN/m²)、見かけのせん断抵抗角 (ϕ^*) = 16.1 (°) の値を用い、式(3-21)より敷設長を算定する。算定結果を例表 2-11 に示す。

例表 2-11 パラリンクの敷設長

位置 番号	h (m)	σ_v (kN/m ²)	TE (kN/m)	Ls (m)	Le (m)	L (m)	敷設長 L (m)
8	1.000	19.000	17.872	6.050	1.955	8.005	9.000
7	2.000	38.000	22.587	5.208	1.236	6.443	9.000
6	3.000	57.000	27.302	4.358	1.000	5.358	9.000
5	4.000	76.000	32.017	3.501	1.000	4.501	9.000
4	5.000	95.000	36.732	2.637	1.000	3.637	9.000
3	6.000	114.000	41.447	1.766	1.000	2.766	9.000
2	7.000	133.000	46.162	0.887	1.000	1.887	9.000
1	8.000	152.000	50.877	0.000	1.000	1.000	9.000

初期敷設長 = 8.100 (m)

3.3 外的安定の検討【常時の場合】

補強土壁の仮想背面に作用する常時土圧(試行くさび法)は、式(3-22)により求める。

$$P_A = \frac{W_2 \cdot \sin(\omega - \phi_s) - c_s \cdot L_s \cdot \cos \phi_s}{\cos(\omega - \phi_s + \alpha_0 - \delta)} = 155.343 \text{ (kN/m)}$$

仮想的な擁壁の底面に作用する荷重計算の結果を例表 2-12 に示す。

例表 2-12 仮想的な擁壁の底面に作用する荷重計算結果 (常時の場合)

作用荷重	鉛直荷重 V (kN/m)	作用位置 X (m)	モーメント Mx (kN・m/m)	水平荷重 H (kN/m)	作用位置 Y (m)	モーメント My (kN・m/m)
仮想擁壁の自重	1368.000	4.900	6703.200	0.000	0.000	0.000
土圧	63.900	9.267	592.138	141.592	2.667	377.579
合計	1431.900	—	7295.338	141.592	—	377.579
仮想擁壁上の活荷重	50.000	—	—	—	—	—

3.3.1 滑動に対する安定の検討 (常時の場合)

式(3-24)により算定した結果を例表 2-13 に示す。

例表 2-13 滑動に対する検討結果 (常時の場合)

項目	c	μ	Fs	判定
盛土材料	$c_1 = 0.00$	$\tan \phi_1 = 0.577$	5.839	○
基礎地盤	$c_2 = 0.00$	$\tan \phi_2 = 0.577$	5.839	○
盛土材料とジオテキスタイル	$c_{1*} = 0.00$	$\tan \phi_{1*} = 0.577$	5.839	○
基礎地盤とジオテキスタイル	$\alpha_1 c_2 = 0.00$	$\alpha_2 \tan \phi_2 = 0.577$	5.839	○

3.3.2 転倒に対する安定の検討（常時の場合）

仮想的な擁壁のつま先から合力 R の作用点までの距離は式(3-26)により、合力 R の作用点の底面中央からの偏心距離 e は式(3-27)により求める。

$$d = \frac{\sum MR - \sum Mo}{\sum V} = 4.831 \text{ (m)}$$

$$e = \frac{LB}{2} - d = -0.331$$

$$e \leq \frac{LB}{6} = 1.500 \dots \text{満足している}$$

3.3.3 支持に対する安定性の検討（常時の場合）

仮想的な擁壁の基礎地盤に作用する鉛直地盤反力度は、式(3-32)より求める。

$$q = \frac{\sum V}{LB} = 164.66 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここに、 q : 仮想的な擁壁の基礎地盤面に作用する鉛直地盤反力度 (kN/m²)
 $\sum V$: 仮想的な擁壁の底面における全鉛直荷重 = 1481.900 (kN/m)
 ただし、活荷重による影響も考慮する
 LB : 仮想的な擁壁の底面幅 = 9.000 (m)

この地盤反力度 q は、式(3-33)を満足しなければならない。

$$q \leq qa = 500.00 \dots \text{満足している}$$

ここに、 q : 仮想的な擁壁の基礎地盤面に作用する鉛直地盤反力度 = 164.66 (kN/m²)
 qa : 基礎地盤の許容支持力度 (kN/m²)

3.4 外的安定の検討【地震時の場合】

補強土壁の仮想背面に作用する地震時土圧(試行くさび法) P_{AE} は、式(3-23)により求める。

$$P_{AE} = \frac{W2E \cdot \sec \theta \cdot \sin(\omega E - \phi s + \theta) - c s \cdot LSE \cdot \cos \phi s}{\cos(\omega E - \phi s + \alpha 0 - \delta E)} = 218.501 \text{ (kN/m)}$$

仮想的な擁壁の底面に作用する荷重計算の結果を例表 2-14 に示す。

例表 2-14 仮想的な擁壁の底面に作用する荷重計算結果（地震時の場合）

作用荷重	鉛直荷重 V (kN/m)	作用位置 X (m)	モーメント Mx (kN・m/m)	水平荷重 H (kN/m)	作用位置 Y (m)	モーメント My (kN・m/m)
仮想擁壁の自重	1368.000	4.900	6703.200	191.520	4.000	766.080
土圧	89.879	9.267	832.882	199.159	2.667	531.090
合計	1457.879	—	7536.082	390.679	—	1297.170
仮想擁壁上の活荷重	0.000	—	—	—	—	—

3.4.1 滑動に対する安定の検討（地震時の場合）

式(3-25)により算定した結果を例表 2-15 に示す。

例表 2-15 滑動に対する検討結果（地震時の場合）

項目	c	μ	Fs	判定
盛土材料	$c_1 = 0.00$	$\tan \phi_1 = 0.577$	2.154	○
基礎地盤	$c_2 = 0.00$	$\tan \phi_2 = 0.577$	2.154	○
盛土材料とジオテキスタイル	$c_{1*} = 0.00$	$\tan \phi_{1*} = 0.577$	2.154	○
基礎地盤とジオテキスタイル	$\alpha_1 c_2 = 0.00$	$\alpha_2 \tan \phi_2 = 0.577$	2.154	○

3.4.2 転倒に対する安定の検討（地震時の場合）

仮想的な擁壁のつま先から合力 R の作用点までの距離 d は式(3-29)により、合力 R の作用点の底面中央からの偏心距離 e は式(3-30)により求める。

$$d = \frac{\sum MR - \sum Mo}{\sum VE} = 4.279 \text{ (m)}$$

$$e = \frac{LB}{2} - d = 0.221$$

$$e \leq \frac{LB}{3} = 3.000 \dots \text{ 満足している}$$

3.4.3 支持に対する安定性の検討（地震時の場合）

仮想的な擁壁の基礎地盤に作用する鉛直地盤反力度 q_E は、式(3-34)より求める。

$$q_E = \frac{\sum VE}{LB} = 161.99 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ここに、 q_E : 仮想的な擁壁の基礎地盤面に作用する鉛直地盤反力度 (kN/m²)

$\sum VE$: 仮想的な擁壁の底面における全鉛直荷重 = 1457.879 (kN/m)

ただし、活荷重による影響を考慮しない

LB : 仮想的な擁壁の底面幅 = 9.000 (m)

上記地盤反力度 q_E は、式(3-35)を満足しなければならない。

$$q_E \leq q_{aE} = 666.67 \dots \text{ 満足している}$$

ここに、 q_E : 仮想的な擁壁の基礎地盤面に作用する鉛直地盤反力度 = 161.99 (kN/m²)

q_{aE} : 基礎地盤の許容支持力度 (kN/m²)

3.5 全体安定の検討

ここでは、すべりに対する常時及び地震時安定の照査を行う。

式(3-36)と式(3-37)により算出した結果を例表 2-16 と例表 2-17 に示す。

例表 2-16 すべりに対する安定検討結果（常時）

項目	記号	単位	常時
最小安全率	F _{smin} F _{sa}	—	1.545 (1.200)
引張力の合力	Σ T _{avail}	kN/m	283.593
抵抗モーメント	MRC MRF MR MT	kN・m/m	2912.419 6052.205 8964.624 8562.604
起動モーメント	MD	kN・m/m	11341.458
円中心 X 座標 Y 座標	X _o Y _o	m	-17.500 21.500
通過点 X 座標 Y 座標	X _P Y _P	m	0.000 0.000
半径	R	m	27.722

例表 2-17 すべりに対する安定検討結果（地震時）

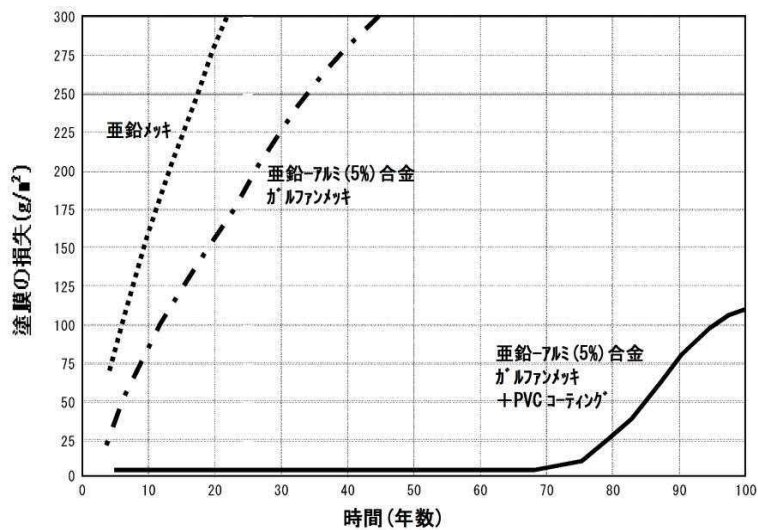
項目	記号	単位	地震時
最小安全率	F _{smin} F _{da}	—	1.355 (1.000)
設計水平震度	k _h	—	0.200
引張力の合力	Σ T _{avail}	kN/m	247.577
抵抗モーメント	MRC MRF MR MT	kN・m/m	13866.636 42336.364 56203.001 24407.642
起動モーメント	MD	kN・m/m	59497.804
円中心 X 座標 Y 座標	X _o Y _o	m	-35.000 78.000
通過点 X 座標 Y 座標	X _P Y _P	m	0.000 0.000
半径	R	m	85.493

付録1. 耐久性

TMHBの耐久性能は、120年である：BBA (Approval Inspection Testing Certification ; Technical approvals for construction)

材料：鋼線+ガルファンメッキ(溶融亜鉛-5%アルミニウム合金メッキ)+PVCコーティング
線材内径 2.7mm+ガルファンメッキ付着量 245g/m²+PVC 1mm

通常の「亜鉛メッキ」、「ガルファンメッキ」及び「ガルファンメッキ+PVCコーティング」の腐食環境下での塗膜の損失量の相違を付図1-1に示す。



付図1-1 腐食環境下での耐久性 (Maccaferri社実験データ)

耐久性の評価は、耐熱性、耐候性、耐腐食性、耐薬品性についてテラメッシュを被覆しているPVC樹脂で主に行った。

試験はISO (国際標準化機構) およびASTM (米国試験材料協会) が規定する方法に準拠して実施した。

テラメッシュを被覆しているPVC樹脂の劣化促進試験により評価すると、使用温度19°Cの時、耐用年数120年である。

また耐久性を考慮した材料安全率は1.05とする。

また、高強度帯状ジオシンセティックスの耐久性に関しては、別途パラリンク技術資料を参照されたい。

テラメッシュの耐久性に関する詳細は、以下のとおりである。

1.1 耐熱性

耐熱性は、テラメッシュを被覆している PVC 樹脂の熱安定性により評価した。

試験条件：PVC 樹脂を 105℃で 240 時間暴露した後、物理特性を測定。

試験方法：

- ①引張試験 ASTM D 638 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics
- ②硬度試験 ASTM D 2240 Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness
- ③密度試験 ASTM D 794 Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement

付表 1-1 に示すように、熱環境下での暴露後の物理特性(破断強度, 破断伸度)の低下は 10%以下であり, 耐熱性に問題はない。

付表 1-1 耐熱性試験結果

<試験結果> 105℃で 240 時間暴露後の重量減少率および破断伸度

PVC サンプル	熱安定剤	暴露時間 105℃	重量減 少率(%)	引張耐久性(ASTM D 638)			
				降伏強度 (Mpa)	破断強度 (Mpa)	破断伸度	
						(%)	低下率(%)
1	カルシウム亜鉛 系化合物	0	—	21.8	22.5	206.7	—
		240hr 後	0.8	22.5	23.3	197.9	-9.1

<試験結果> 105℃で 240 時間暴露後の硬度変化および密度変化

サンプル	暴露条件	硬度(ショアD) ASTM D 2240		密度 ASTM D 792	
			変化率(%)	(g/cc)	変化率(%)
1	0	49.6	2	1.3398	-0.7
	105℃×240h	50.7		1.3305	

1.2 耐候性

耐候性は、テラメッシュを被覆している PVC 樹脂の促進耐候性試験により評価した。

試験方法 : ISO 4892 Method A: Plastics-Method of exposure to laboratory light source –
Part1:General guidance

試験条件を付表 1-2 に示す。ここでは、比較のため JIS A 1415 高分子系建設材料の実験室光源による暴露試験方法の試験条件も記載した。

付表 1-2 試験条件と方法

項目	ISO 4892	JIS A 1415
光源	タイプ 1 A (UVA-340)	タイプ 1A(UVA-340)
温度	50±3℃	63±3℃
UV 照射	8 時間	1.8 時間
水噴霧	0.25 時間	0.3 時間
凝縮	3.75 時間	—
1 サイクル	12 時間	2 時間
試験合計時間	4000 時間	3000 時間
試料	PVC 樹脂 (サンプル 1,2)	

強度保持率と変形保持率は、付表 1-3 のとおりであり、4000 時間後の物理特性(破断強度・破断伸度)の低下は 20%以下であり、耐候性に問題はない。

付表 1-3 耐候性試験結果 (強度・変形保持率の経時変化)

照射時間	サンプル 1				サンプル 2			
	破断強度		破断伸度		破断強度		破断伸度	
	Mpa	変化率 (%)	%	変化率 (%)	Mpa	変化率 (%)	%	変化率 (%)
0	17.8	—	221.3	—	21.5	—	182.4	—
240	21	18	223.2	0.9	21.6	0.5	169.7	-7
	20.5	15.2	209.2	-5.4	21.4	-0.5	176.9	-3
1000	20.7	16.3	210	-5.1	23.6	9.8	175.6	-3.7
2000	20.7	16.3	205.1	-7.3	23.1	7.4	172.7	-5.3
3000	20.8	16.9	189.5	-14.3	23.3	8.4	172.6	-5.3
4000	21	18	181.3	-18.1	23.5	9.3	171.9	-5.5

1.3 耐腐食性

耐腐食性は、塩水噴霧による耐腐食性試験により評価した。

試験方法：ISO 9227 Corrosion tests in artificial atmospheres-Salt spray tests

試験条件を付表 1-4 に示す。ここでは、比較のため JIS Z 2371 塩水噴霧試験方法の試験条件も記載した。

付表 1-4 試験条件と方法

	ISO 9227	JIA Z 2371
試験温度	35℃	35℃
試験液	5%塩化ナトリウム(NaCl)	5%塩化ナトリウム(NaCl)
試験時間	試験する材料、製品規格等での規定されたもの。ない場合は受渡当事者間での協定による。なお、推奨時間は 2、6、24、48、96、168、240、480、720、1000 時間	試験する材料、製品規格等での規定されたもの。ない場合は受渡当事者間での協定による。なお、推奨時間は 2、6、24、48、96、168、240、480、720、1000 時間

試験結果を付表 1-5 に示す。ISO 規格では試験時間を 1000 時間としているが、テラメッシュの耐腐食性試験では、6,000 時間後まで行っている。6000 時間後の重量減少はなく、赤錆、ダークブラウン錆の発生もなく、耐腐食性に問題はない。

付表 1-5 耐腐食性の試験結果

	目視評価
2500 時間後	重量減少およびダークブラウン錆は認められない
3500 時間後	重量減少およびダークブラウン錆は認められない
4500 時間後	重量減少およびダークブラウン錆は認められない
6000 時間後	重量減少およびダークブラウン錆は認められない

1.4 耐酸性雨腐食性

耐酸性雨腐食性は、酸性雨腐食試験により評価した。

試験方法：ISO 6988 Metallic and other non-organic coatings – Sulfur dioxide test with General condensation of moisture

試験条件を付表 1-6 に示す。ここでは、比較のため JIS H 8502 めっきの耐腐食性試験方法の試験条件も記載した。

付表 1-6 試験条件と方法

	ISO 6988	JIS H 8502
二酸化硫黄 (亜硫酸ガス) 濃度(ppm)	0.20/300dm ³ (=667ppm)	条件 A1 : 0.5±0.1ppm 条件 A2 : 10±2ppm 条件 A3 : 25±5ppm
槽内温度(°C)	40±3	40±1
相対湿度(%)	—	80±5
試験時間(hr)	二酸化硫黄雰囲気中で 8hr、取出し後 16hr 放置、合計 24hr を 1 サイクルとする。(放置条件：槽内温度 23±5°C、相対湿度 75%以下)	4、8、16、24、48、96、240
判定方法	a)外観、b)表面腐食除去後の外観、 c)腐食部の数と分布(標準図表でレイティング)、d)腐食開始時間	標準図表によるレイティング または、重量減少率

28 サイクル後の外観検査から、テラメッシュを被覆している PVC および内部のスチールワイヤーにも腐食損傷はなく、耐酸性雨腐食性に問題はない。

1.5 耐薬品性

耐薬品性は、テラメッシュを被覆している PVC 樹脂の薬品浸漬試験により評価した。

試験方法：PVC 樹脂を pH=1~13 の溶剤に浸漬して、物理特性の変化を試験した。

試験条件を付表 1-7 に示す。ここでは比較として JIS K 7114:2001 プラスチック液体薬品への浸漬効果を求める方法も示す。

付表 1-7 試験条件と方法

	実施	JIS K 7114
試験液	pH 1~13 緩衝液	附属書 A 48種
試験温度	(常温)	a) 23±2°C b) 70±2°C
浸漬時間	250、500、1000、 1500、2000、4000hr	a) 短時間：24hr b) 標準：1週間(168hr) c) 長期間：16週間(2688hr)

薬品浸漬後の物理特性は、ASTM D 638 に準拠した引張り試験により評価した。

付表 1-8 に示すように、4000 時間で浸漬した PVC スリーブの強度保持率は平均値 95%以上であり、実用上問題はない。

付表 1-8 PVC スリーブの強度保持率 (%) の経時変化

pH	浸漬時間 (hr)							R 平均値
	0	250	500	1000	1500	2000	4000	
1	100	96.6	98.5	95.6	94.6	94.6	97.5	96.2
2	100	96.6	97.5	95.6	93.1	94.1	97.5	95.7
3	100	95.6	97.5	95.1	93.1	93.6	96.1	95.2
4	100	93.1	97.1	96.1	94.1	94.6	96.6	95.3
5	100	93.1	96.1	95.6	95.1	94.6	96.1	95.1
6	100	94.6	98.0	96.1	93.6	94.1	96.1	95.4
7	100	92.6	98.0	97.1	95.6	94.1	97.5	95.8
8	100	96.6	96.6	94.6	96.1	93.6	97.1	95.8
9	100	97.5	97.5	94.1	96.6	93.1	96.1	95.8
10	100	97.1	97.5	96.1	96.1	93.1	98.0	96.3
11	100	97.5	97.5	97.5	95.6	94.1	96.6	96.5
12	100	97.5	97.5	95.6	96.1	93.6	97.5	96.3
13	100	96.6	96.6	96.1	95.1	93.6	97.1	95.9

1.6 耐久性

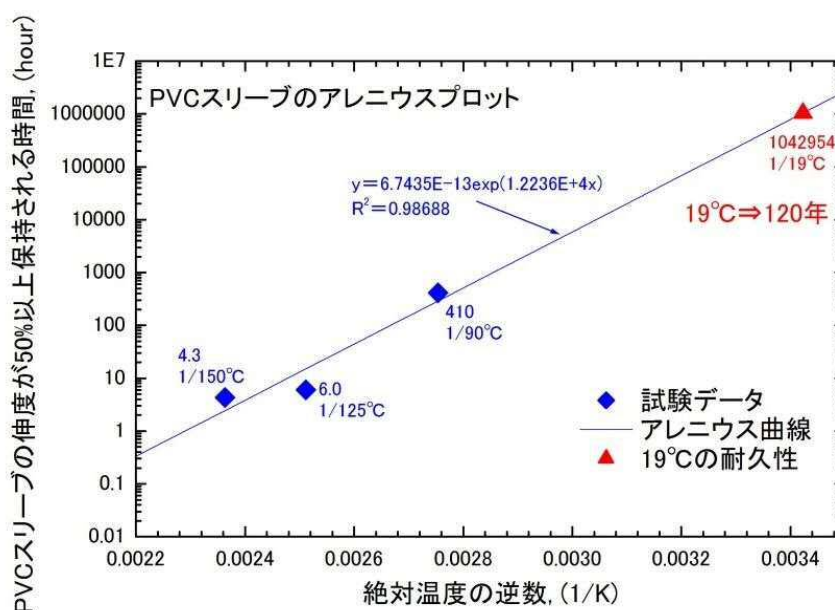
耐久性は、テラメッシュを被覆している PVC 樹脂の劣化促進試験により評価した。

試験方法：UL 746B Standard for Polymeric Material-Long Term Property Evaluations

試験は、PVC 樹脂試験体を温度下で暴露し、初期物理物性（破断伸度）が 50%に低下する暴露時間を求めて評価した。試験温度は、20、90、125、150℃で、試験時間は 1~4000 時間である。

物理特性は、ASTM D 638 の引張試験により評価した。

得られた結果をアレニウスプロットにより外挿することにより PVC 樹脂の耐久性を評価した。付図 1-4 に結果を示す。テラメッシュ使用温度が 19℃で耐久性は 120 年である。



付図 1-2 テラメッシュの耐用年数の予測図

参考文献

*マカフェリー技術資料 TN_DT_004 Rev. 03, Feb. 2014

付録 2. 施工中の損傷

「テラメッシュ」の施工時の損傷の影響を確認するために耐衝撃性試験を実施した。

(一財)土木研究センター：実施期間 2014 年 9～10 月

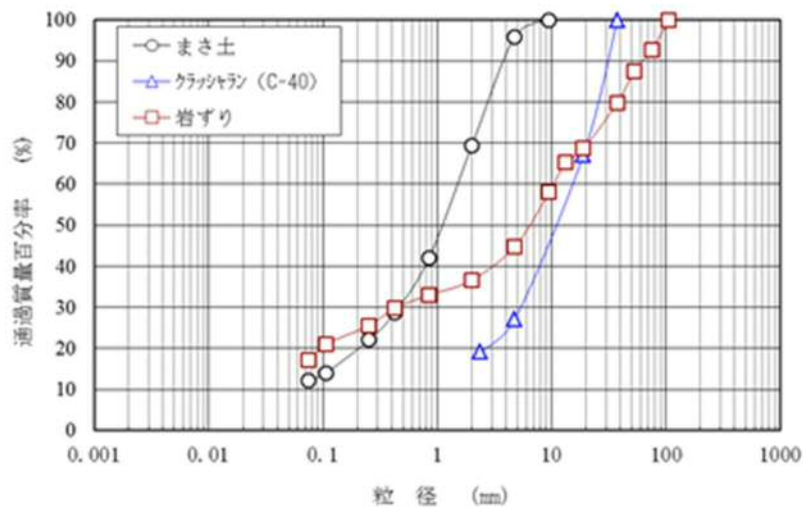
2.1 試験条件

耐衝撃性試験の試験条件を付表 2-1 に示す。盛土材は 3 種類で、まさ土・砕石(C0-40)・岩ずりである。付図 2-1 に盛土材の粒径加積曲線を示す。

試験は、30cm の撒き出し厚で、振動ローラ(自重：100kN、起振力 100N)で 7 回転圧を行った。

付表 2-1 耐衝撃性試験 試験条件

撒き出し厚		30cm		
使用重機	撒き出し用	バックホウ 0.7m ³ 級 ブルドーザ 21t 級		
	転圧用	振動ローラ(自重 100kN, 起振力 100kN)		
盛土材	まさ土	C-40 (クラッシュラン)	岩ずり	
土質分類	細粒分質礫質砂	(砂質) 礫	石分混じり細粒分質砂質礫	
最大粒径(mm)	9.5	37.5	106	
転圧回数	7 回			
締固め度(%)	95.9	99.1	—	



付図 2-1 盛土材粒径加積曲線

2.2 耐衝撃性試験後の試験体の観察

盛土材内に設置し転圧を加えた試験体を取り出して、試験体の損傷度を目視で確認した。

損傷の判定は、PVC コーティングが破れ、鋼線があわらになったものを損傷(NICKS)として判定した。

なお、試験体取り出し時にバックホウやスコップ等で損傷した箇所は、擦過傷として損傷(NICKS)からは除外した。判定は、付写真 2-1 に示すように、盛土材により PVC コーティングが押しつぶされた状況を損傷(NICKS)とした。



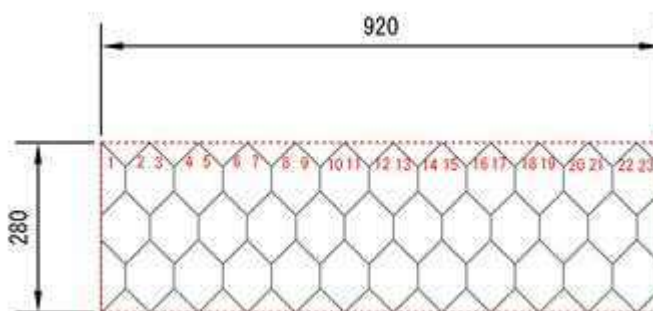
損傷(NICKS)



擦過傷

付写真 2-1 損傷(NICKS)の判定

損傷(NICKS)のまとめとして、付図 2-2 に示す範囲を設定し、その中のワイヤー数における損傷(NICKS)数を整理した。付表 2-2 に盛土材料による損傷(NICKS)の調査結果を示す。



付図 2-2 損傷測定範囲

付表 2-2 損傷調査結果

種類	No.	幅 (m)	長さ (m)	ワイヤ数	NICKS数	損傷を受けたワイヤの割合	平均値
まさ土	1	0.92	0.28	23	0	0.00%	1.19%
	2				0	0.00%	
	3				0	0.00%	
	4				1	4.35%	
	5				0	0.00%	
	6				1	4.35%	
	7				1	4.35%	
	8				0	0.00%	
	9				0	0.00%	
	10				0	0.00%	
	11				0	0.00%	
クラッシュラン	1	0.92	0.28	23	1	4.35%	4.35%
	2				1	4.35%	
	3				1	4.35%	
	4				1	4.35%	
	5				1	4.35%	
岩ズリ	1	0.92	0.28	23	3	13.04%	7.83%
	2				2	8.70%	
	3				1	4.35%	
	4				2	8.70%	
	5				1	4.35%	

海外で実施された「テラメッシュ」耐衝撃性試験から得られた損傷(NICKS)の結果を付表 2-3 に示す。

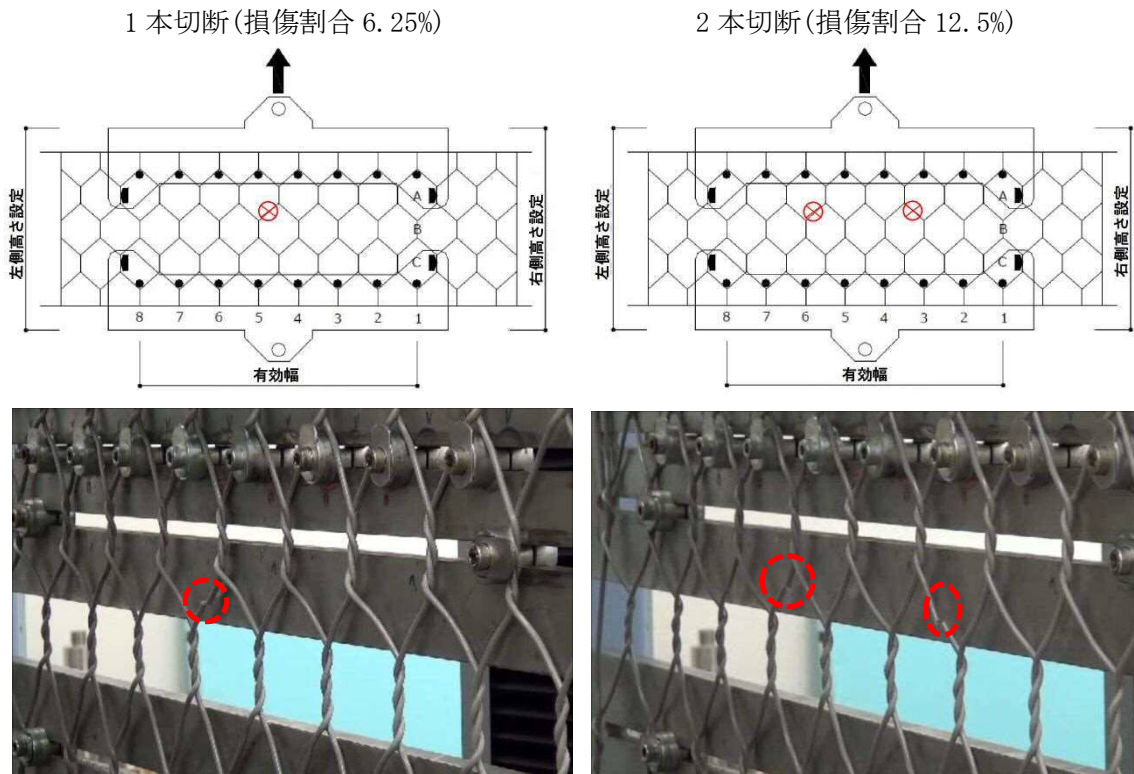
付表 2-3 損傷調査結果 (海外)

盛土材	粒径 (mm)	損傷 (個/m ²)
Silts and clays	<0.06	0
Sands	0.06~2	0
Gravel	2~60	4

2.3 損傷を受けた「テラメッシュ」の強度確認と安全率の設定

損傷後の強度を確認するために、引張試験を実施した。

損傷を表すために、試験体のワイヤーを付図 2-3 に示すように、1本・2本切断し、損傷(NICKS)とした。試験体内のワイヤー数に対する損傷(NICKS)の割合を評価すると、付表 2-4 に示すようになり、1本切断で 6.25%、2本切断で 12.5%となる。



付図 2-3 損傷後試験条件

引張り試験は、BS EN 10223-3 の試験方法に準拠して行った。試験状況を付写真 2-2 に示す。



付写真 2-2 引張試験状況

損傷を与えた「テラメッシュ」の引張試験結果を付表 2-4 に示す。

付表 2-4 損傷を受けた試験体の引張強度試験結果

損傷(Nicks) /16 本幅 265mm		破断力	伸度	破断強度	破断強度 /製品強度
Nicks	%	kN	%	kN/m	%
1	6.25	25.4	26	43.9	87.8
		23.8	26	41.2	82.4
2	12.5	26.3	32	45.5	90.9

損傷率 6.25%の最小破断強度 41.2kN/m を用いて算定した引張強度保持率(破断強度/製品強度)82.4%と各盛土材での衝撃試験後の損傷率 (付表 2-2) から比例計算して求めた材料安全率を付表 2-5 に示す。

付表 2-5 各盛土材の材料安全率 (計算値)

盛土材	衝撃試験後の損傷率 (%)	引張強度 kN/m	材料安全率
まさ土	1.19	49.3	1.04
クラッシュラン	4.35	44.2	1.16
岩ズリ	7.83	38.7	1.32

海外で行われた引張試験結果を付表 2-6 に示す。

付表 2-6 海外で実施した引張試験結果

損傷 (Nicks)		破断強度	破断強度 /製品強度
Nicks	%	kN/m	%
1	6.25	47.8	95.6
2	12.5	43.4	86.8
3	18.75	40.9	81.8

*MACCAFERRI の TECHNICAL NOTE August 2014

海外では、付表 2-7 に示す材料安全率を採用している。。

付表 2-7 海外で実施した各盛土材の材料安全率

盛土材	衝撃試験後の損傷 (個/m ²)	材料安全率
Silts and clays	0	1.05
Sands	0	1.05
Gravel	4	1.165

*MACCAFERRI の TECHNICAL NOTE October 2014

国内試験結果(付表 2-5)と海外の材料安全率(付表 2-7)より、安全サイドにて「テラメッシュ」の材料安全率は付表 2-8 のように定めた。

付表 2-8 施工中の損傷を考慮した材料安全率

	粘性土	砂質土	礫質土
材料安全率	1.05	1.05	1.165

付録 3. 摩擦特性

3.1 テラメッシュと土の摩擦特性

テラメッシュと土の摩擦係数を確認するため、砂質土と礫質土に対して引抜き試験を行った結果を付表 3-1、付表 3-2 に示す。

テラメッシュを引抜く力は式(3-1)で与えられる (1966 年に Jewell R.A.が提案)。

$$F_{po} = 2 \cdot \sigma_v \cdot \mu \cdot \tan \phi \cdot L \cdot W \quad (3-1)$$

$$\mu = \frac{F_{po}}{2 \cdot \sigma_v \cdot \tan \phi \cdot L \cdot W} \quad (3-2)$$

ここに、 F_{po} : 引抜き力(kN)

σ_v : トータル垂直力 (トータル拘束力) (kPa)

ϕ : 地盤材料の内部摩擦角 (°)

μ : 地盤材料特性に依存する摩擦係数

L : 試験片の長さ(m)

W : 試験片の幅(m)

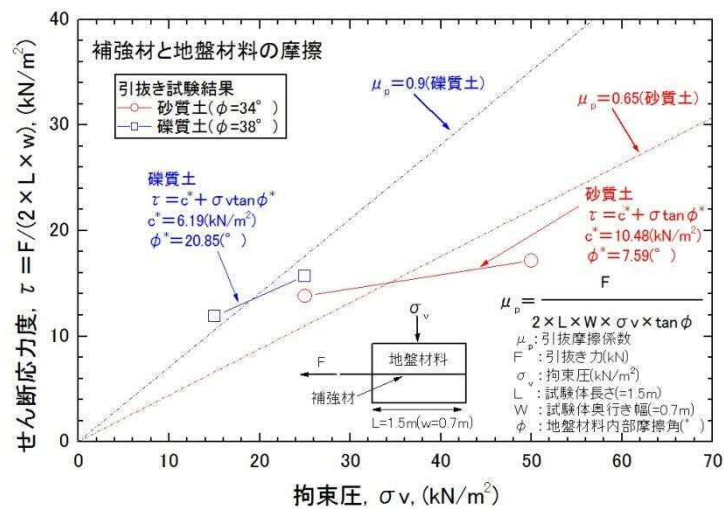
付表 3-1 テラメッシュと砂質土の引抜き試験結果

	ϕ [°]	F_{po} [kN]	σ_v [kPa]	L [m]	W [m]	μ	テスト状況
テイチノ砂	34	36	50	1.5	0.7	0.51	引抜き
テイチノ砂	34	29	25	1.5	0.7	0.82	引抜き

付表 3-2 テラメッシュと礫質土の引抜き試験結果

	ϕ [°]	F_{po} [kN]	σ_v [kPa]	L [m]	W [m]	μ	テスト状況
礫質土	38	33	25	1.5	0.7	0.80	引抜き
礫質土	38	25	15	1.5	0.7	1.02	引抜き

他方、テラメッシュと土の見かけ粘着力 c^* 、見かけ摩擦角 ϕ^* は、図 3-1 のとおりである。



付図 3-1 テラメッシュと土の摩擦特性

これらの実験結果を踏まえ、テラメッシュと地盤材料とのせん断強さ（摩擦特性）は、附表 3-3 の通りである。

附表 3-3 テラメッシュと砂質土、礫質土のせん断強さ

土の区分	見かけ粘着力 c' (kN/m ²)	見かけ摩擦角 ϕ' (°)
砂質土	10.0	7.5
礫質土	6.0	20.8

参考文献

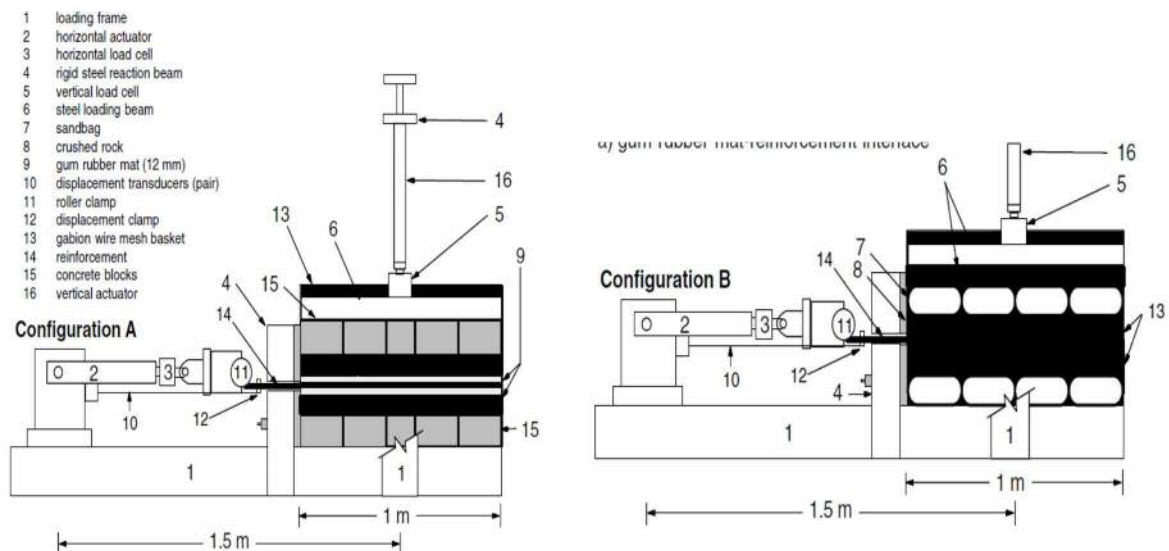
*マカフェリー技術資料 TN_DT_021 Rev. 01, Oct. 2013

3.2 ギャビオンとパラリンクの摩擦特性

テラメッシュ・ハイブリッドの場合、補強材である「パラリンク」は、壁面のギャビオンに挟まれた状態で固定される。

そこで、テラメッシュと補強材「パラリンク」の摩擦特性を確認するために、引抜き試験を実施した。試験概要図を付図 3-2 に示す。

試験は、配置 A と配置 B の 2 通り実施した。配置 A は、テラメッシュ上下にゴムマットを配置し、中詰め材の影響が無い状態で、テラメッシュとパラリンク（補強材）の引抜きを行った。配置 B は、テラメッシュ上下面に碎石を配置し、中詰め材の影響を考慮したテラメッシュとパラリンクの引抜き試験である。

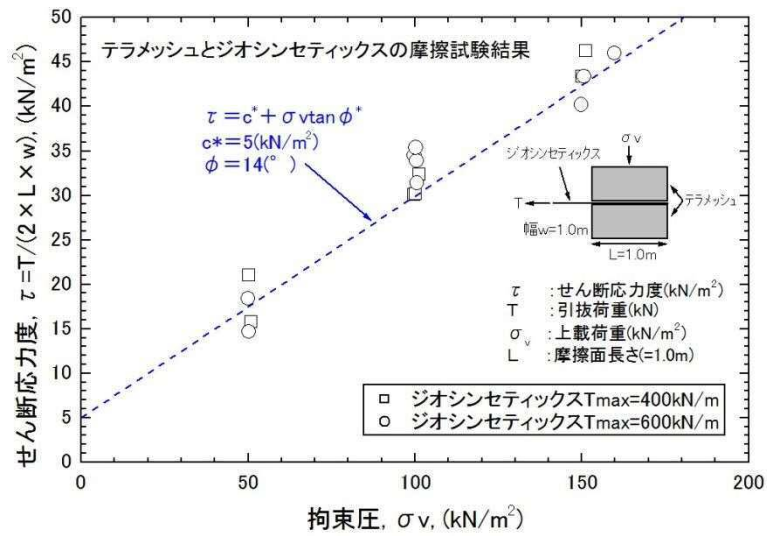


配置 A：テラメッシュとパラリンクの引抜き試験

配置 B：中詰め材を考慮したテラメッシュとパラリンクの引抜き試験

付図 3-2 引抜き試験概要図

付図 3-3 に引抜き時に得られたせん断応力度と拘束圧の関係を示す。試験の結果、配置 A と配置 B で大きな差はなかったことから両方の試験結果を統合して整理している。



付図 3-3 テラメッシュとパラリンクの摩擦特性

試験結果から、テラメッシュとパラリンクの摩擦特性は、付表 3-4 に示すとおりである。

表 3-4 テラメッシュとパラリンクのせん断強さ

見かけ上の粘着力 c^* (kN/m^2)	見かけ上の内部摩擦角 ϕ^* ($^\circ$)
5	14

参考文献

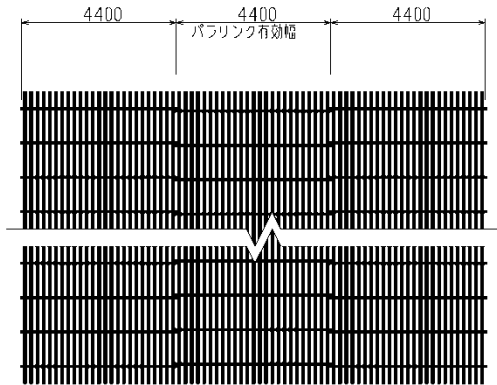
*マカフェリー技術資料

付録4. 施工方法

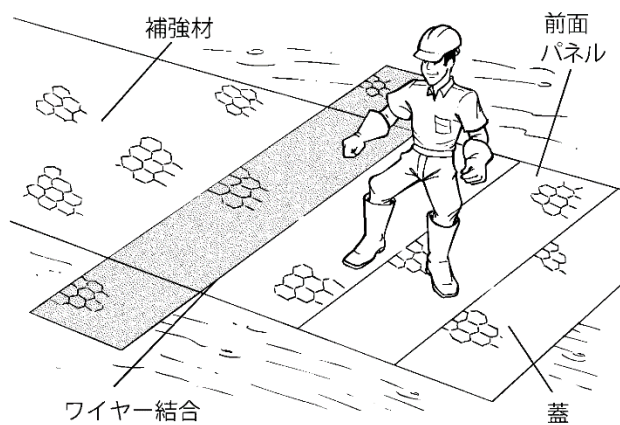
4.1 施工手順

準備工→パラリンク設置→テラメッシュ組み立て→中詰材投入、盛土工→2 段目以降繰り返し
(→足場工) →完了

① 整地された面にパラリンクを設置する。



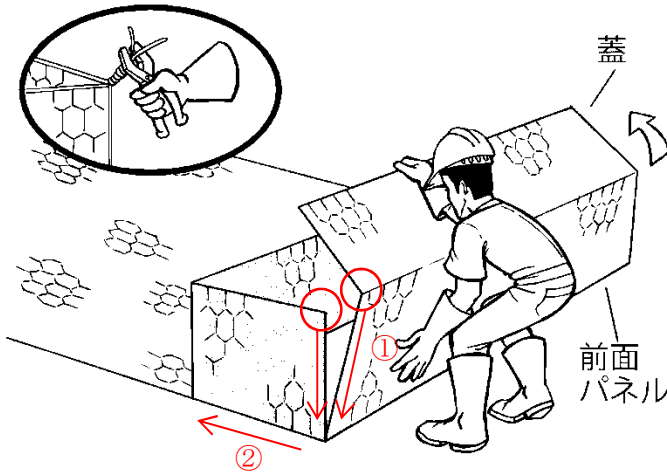
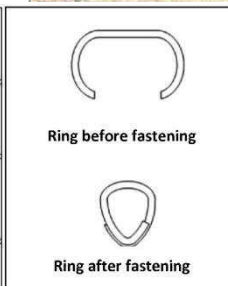
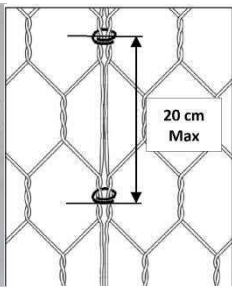
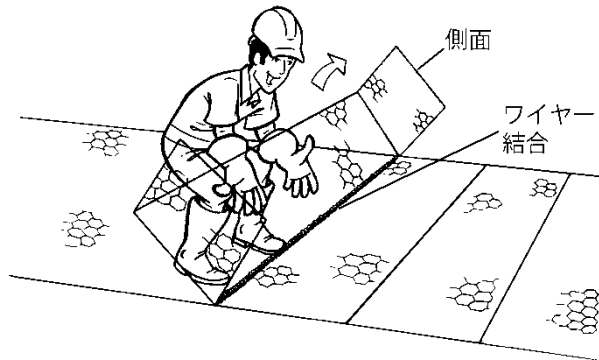
② ユニットで折りたたまれていたテラメッシュを展開する。



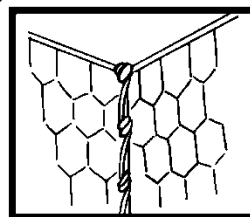
③ テラメッシュのふとん籠部を組み立てる。各部材の接合部は C リンガーを用い、C リングにて結束する。C リングの最大間隔は 20cm 以内とする。C リンガーを使用するにあたり、コンプレッサーが必要である。

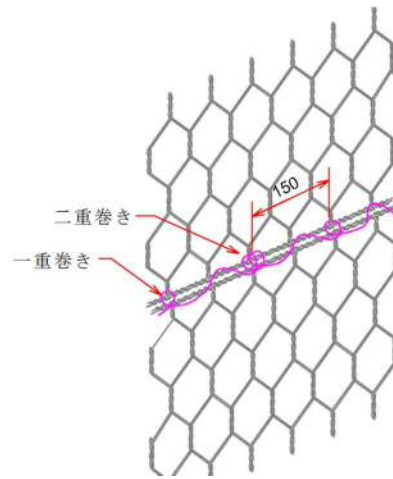
なお、蓋部分は、レーシングワイヤーを用いて結束する。蓋を結合するワイヤーは PVC コーティングされた 3.2mm のレーシングワイヤーを用いる。結束は、図示するように一重巻きと二重巻きを 10~15cm 間隔で交互に配置して行う（標準結合方式）。

作業中は、ワイヤーが目に入らないよう、ゴーグルを着用すると良い。

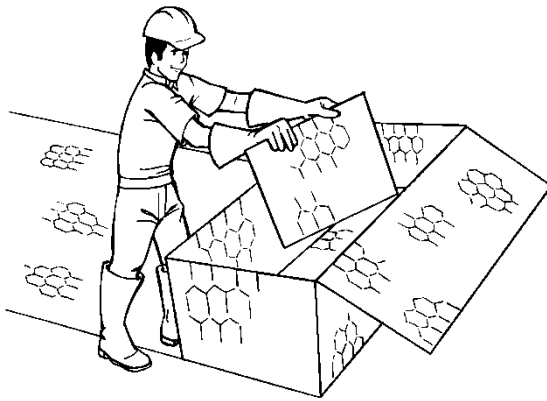


※左図の通り①→②の順（前面パネルの角から）に結合すると良い。

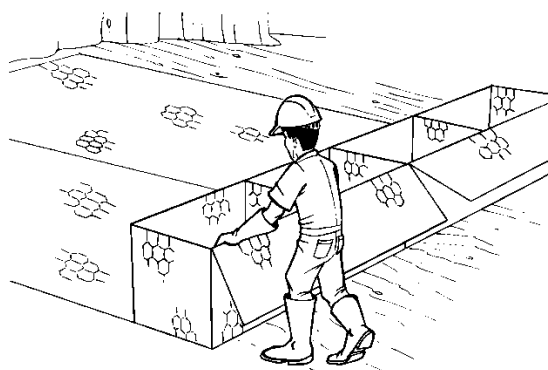




④ 仕切りパネルを中央部に設置する。



- ⑤ 仕切りパネルとふとん籠を C リングで接合する。
- ⑥ 隣り合うテラメッシュのふとん籠部同士をレーシングワイヤーにて、補強材同士を C リングにて結合する。



- ⑦ はらみを防止するため、ふとん籠外部にはらみ出し防止枠を設置する。はらみ出し防止枠の材料は、単管パイプとコンパネとの組み合わせである。他には木材、鋼材を用いるケースもある。



単管パイプとコンパネを用いた例
(土木研究所施工例)

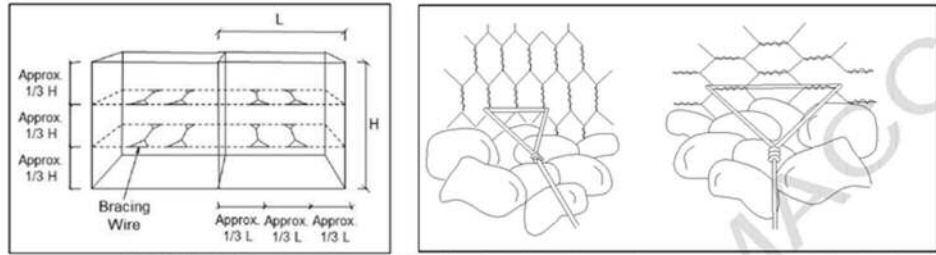


木材を用いた例
(トルコ施工事例)

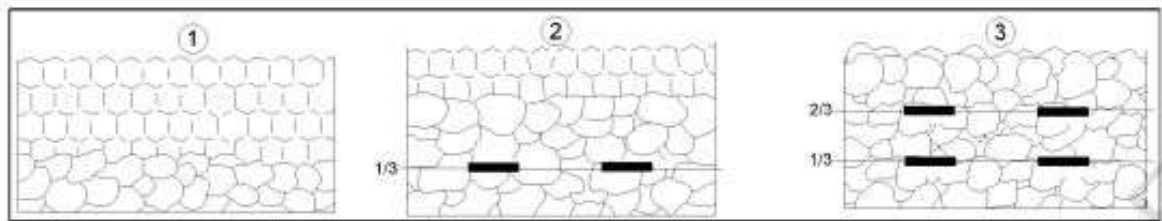


鋼材を用いた例
(インド施工事例)

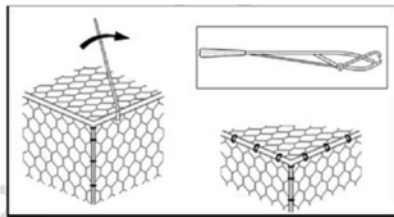
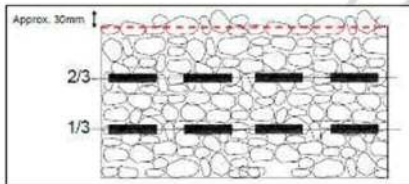
- ⑧ ふとん籠内部にはらみ出し防止用のプレス材を下図に示すように配置する。プレス材はふとん籠組立時に使用したレーシングワイヤーで、前面と背面のメッシュに図示するように通し、中間部でワイヤーを絞って、プレス材とする。プレス材の配置は、高さ 0.8m の場合、約 1/3 の位置で 1 箇所ずつ、高さ 0.5m の場合、約 1/2 の位置で 1 箇所とする。次に、中詰材（栗石）を隙間ができないよう人力で下図の手順にて投入する。テラメッシュの高さが 0.8m の場合、3 段回分けて投入する。余裕代充填厚を 30～50mm とする。はらまないよう、栗石 1 段回投入してからプレス材を設置する順番で行う。最後に蓋をしてレーシングワイヤーで接合し、閉じる。



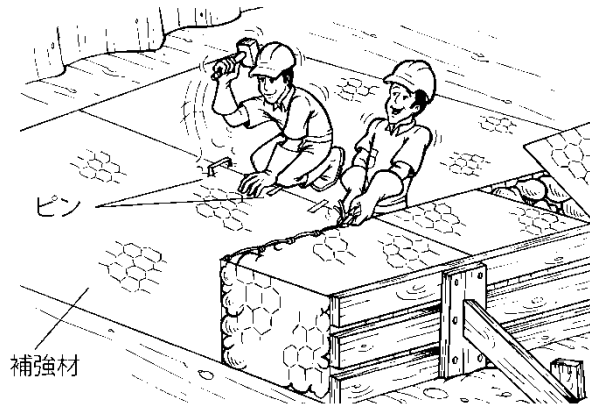
ブレス材設置状況



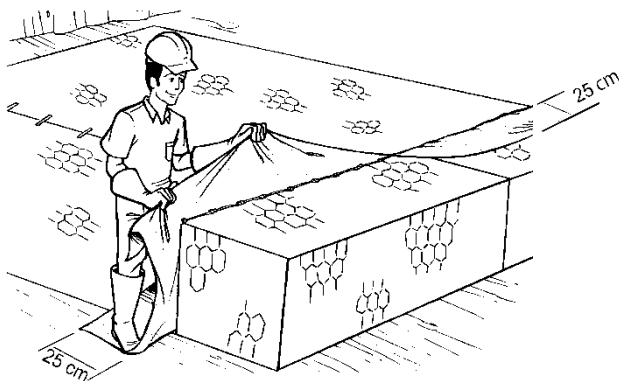
栗石充填手順 (高さ 0.8m⇒3 段, 高さ 0.5m⇒2 段)



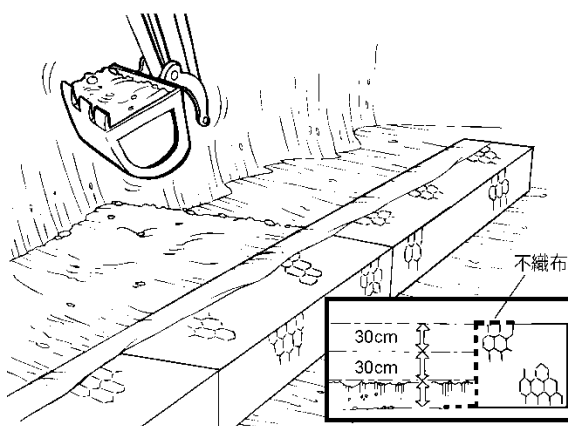
⑨ 補強材部をピン（パラピン等）で固定する。



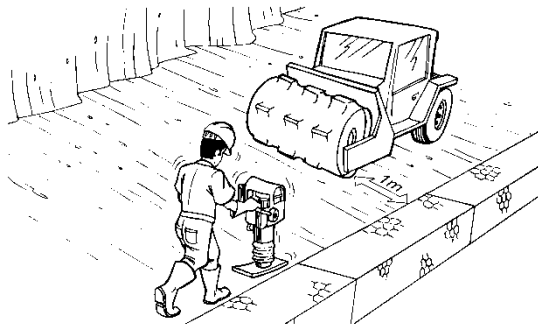
⑩ ふとん籠背面の盛土材との境界に、吸出し防止材を配置する。吸出し防止材は、厚さ 10mm の不織布（TMS-N）を使用する。余裕長 25cm 程度確保する。



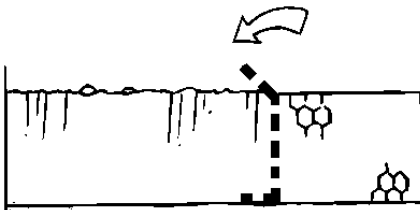
⑪ 背面の盛土の撒き出す。転圧仕上げ厚さ 30cm 以内に対し、撒き出し厚は 30~35cm 程度とする。



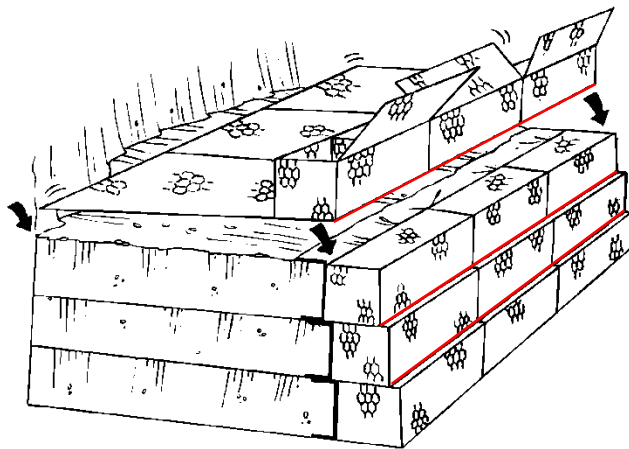
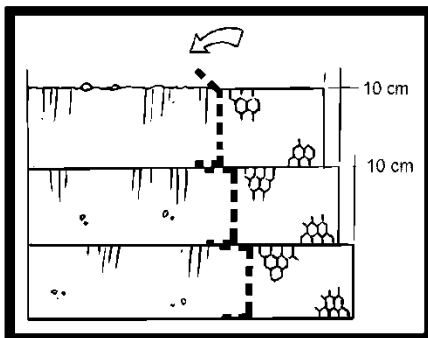
- ⑫ 転圧を行う。仕上がり厚さは 30cm 以内とする（標準 0.25m）。ふとん籠背面側から 1m はタンパで締固めを行う。他の領域では重機で締固めを行う。



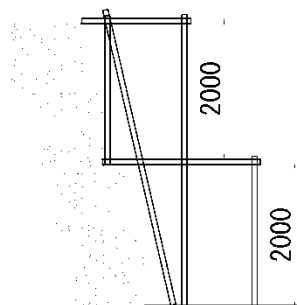
- ⑬ 背面盛土をふとん籠高さまで仕上げ、吸出し防止材を手前側に折り返す。



- ⑭ 次段は所定のセットバックを行い、積み上げる。各段毎のテラメッシュ同士(端部)も接合する。



- ⑮ 2m を超える場合は、足場工を要する。



- ⑯ 以降、繰り返す。

付録5. 国内・海外施工実績・事例

5.1 国内施工実績

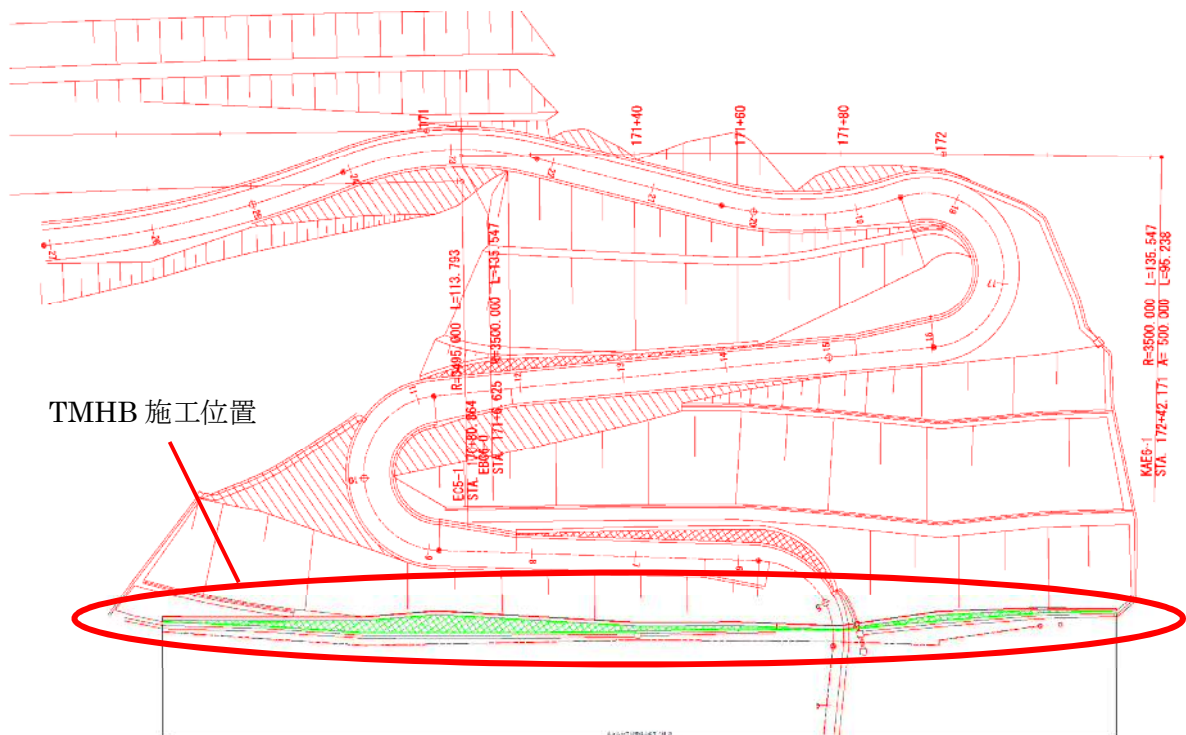
工事名：中国横断自動車道時重トンネル他一工事

発注者：NEXCO 西日本福崎高速道路事務所

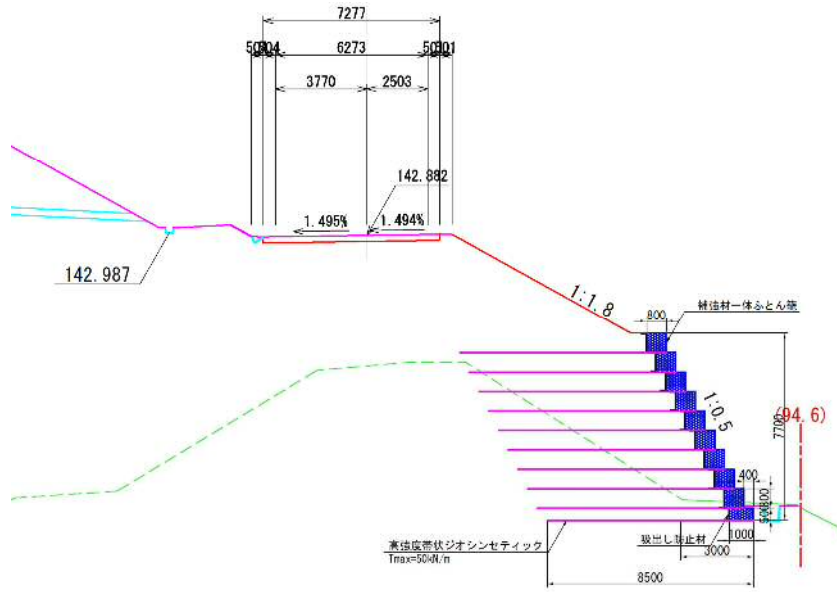
施工時期：2017年5月～2017年12月



位置図



平面図



標準断面図



現場写真

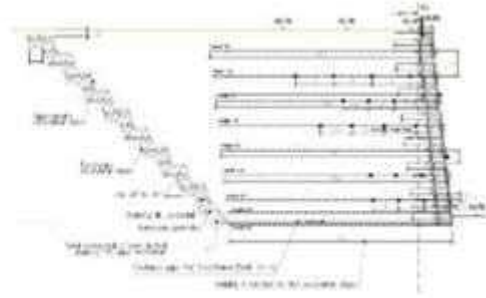
5.2 海外施工事例

トルコ施工事例

高さ $H=16\text{m}$ 、勾配 $1:0.05\sim 0.1$ の盛土築造工事に適用したテラメッシュ・ハイブリッドの設計・施工例を以下に紹介する。この建設地では地面最大加速度 $\text{PGA}=0.75\text{g}$ と予想されているため、地震上下動を考慮した震度法耐震設計を行った。パラリンクの最長敷設長 $L=17.5\text{m}$ となっている。



トルコ:イズミル県 Aliaga



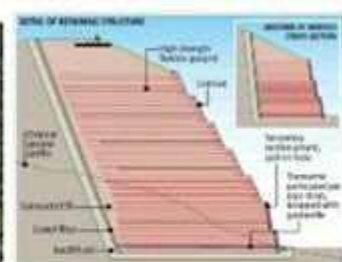
出典： H.DH. Ozcelik, D. Gamberini, P.Pezzano, & P. Rimoldi “Geogrid and double twist steel mesh reinforced soil walls subjected to high loads in a seismic area” 10th ICG, 21-25 September 2014.

インド施工事例

インドシッキム空港の新設工事において、最大高さが約 80m の盛土を保持・安定させるために、壁高 20m 、 30m の「テラメッシュ・ハイブリッド工法」を適用した事例である。豪雨、地滑り、地震が発生するため、排水性、耐震性及び周辺環境への調和を重視し、特に雨水・地下水対策工を含めた計画・設計・施工を行った。



インド シッキム空港



出典:Proceedings of 5th European Geosynthetic Congress, Valencia 2012
Composite Soil reinforcement system for retention of very high and steep fill-A case study
A.D. Gharpure, S.Kumar, M.Scotto

出典： A.D.Gharpure, S. Kumar and M. Scotto, “Composite soil reinforcement system for retention of very high and steep fills - A case study” 5th European Geosynt