

ジオテキスタイルを用いた補強土工法

2. ジオテキスタイルによる補強メカニズム その3

龍岡 文夫 (たつおか ふみお)

東京大学教授 生産技術研究所

本報告は、前報²⁵⁾に引き続くものであり、建設目的の相違によりジオテキスタイル補強土壁のレベルは異なるべきであり、またそのレベルによって補強土壁を分類して議論しないと無用な混乱が生じること、および補強土壁工法の安定解析法の諸問題について触れる。

2.4.3 ジオテキスタイル補強土壁の分類

一般に、構造物の重要度により各種のレベルの補強土構造物を使い分けるべきである。例えば、以下の分類が有り得ると思う⁶⁾。

一級補強土壁：従来の重力式やL型 RC 擁壁に匹敵するものであり、鉄道盛土・高速道路の盛土のような重要な永久構造物に用いる。

二級補強土壁：永久構造物ではあるが、例えばゴルフ場・山間部道路など、荷重が小さく、またやや大きな変形は許容できたり、破壊した場合の影響が相対的に小さい構造物に用いる。

三級補強土壁：工事用の取付け道路など小規模仮設構造物に用いる。工費が低いこと、施工が簡単なのが決定的な要因になる。ただし、仮設構造物でも、破壊した場合の影響度が大きい場合は、二級以上と考えるべきである。

以上の一級～三級のジオテキスタイル補強土構造物では、構造・設計・施工等が異なるべきである。

一級補強土壁としては、従来はテールアルメ工法の実績が圧倒的であることは既に述べた。これに対して、フランスのジオテキスタイル補強土壁の歴史は、ジオテキスタイル補強土壁をいかに一級化するかと言う歴史である²⁴⁾。すなわち、初期に建設されたジオテキスタイル補強土壁の壁面は、ジオテキスタイルシートの巻き込み式であり、主に小規模仮設構造物や駐車場など、あまり重要でない構造物として建設されたようである。しかしこの壁面処理法は、耐

久性・美観・変形性で問題があることがはっきりしてきて、これをどう処理するかを種々工夫をしてきた。結局、永久構造物として用いるために、コンクリートパネル等で巻き込み式の壁面を被ったり隠したりする方法を採用している。この歴史は、ジオテキスタイル補強土壁でも、良い壁面工を用いれば一級になりうることを示している。

更に、補強土壁そのものを橋桁を支える橋台として用いる工法は、**超一級**とすることができる。これは、従来は橋台は通常 RC 構造物で建設されているからであり、それを置き換えているからである。ジオテキスタイル補強土壁を橋台として用いた事例は、第8、9章で詳しく紹介される。ジオテキスタイル補強土壁が今後広く普及するためには、一級構造物・超一級構造物として使用されることが必要であろう。このことは、研究を推進する上でも重要な要因である。

2.5 設計法での諸問題

2.5.1 極限つりあい法の限界

ジオテキスタイル補強土壁の現在の実用設計法は第7、9章で紹介されるが、すべて極限つりあい法による安定計算法に基づいている。しかし、引張り補強土工法では、土が変形して初めて引張り補強材が働き出すのにもかかわらず、極限つりあい法では土の変形を計算できない。したがって、実際に発揮されるであろう補強材引張り力の推定と必要な補強材剛性の評価が合理的にできない。これらの目的には、有限要素法が優れている。しかし、実務では、発生されるであろう補強材のひずみ、あるいは補強材引張り力を想定した上で極限つりあい法を用いているのが現状である。この際、安全側の設計をすることで変形が大きくなることを防いでいる。これは、あたかも極限支持力に対して高い安全率を確保する

講座

ことで、基礎の沈下が許容沈下量以下に押さえられることを保証している状況に似ている。しかし、重要な構造物としてジオテキスタイル補強土を使用する場合は、有限要素法等で直接変形を推定することが必要になる場合がある。

2.5.2 安定計算方法の相違点の評価

1) 安全率の各種の定義法

図—2.15と表—2.1は、補強斜面の円弧のすべり面に対する極限つりあい法による安定計算法における安全率の各種の定義法のまとめである。これまで、このように非常に多くの方法が提案されてきたが、「建設省土木研究所が用いている $Fr\ 4$ (4式)²⁵⁾」と「JR が用いている $Fr\ 33$ 」の二つの方法に収斂してきたようである。

図—2.15 と表—2.1 に示してある方法の中で、下
つきのCの記号で示されている方法は、無補強斜面
で安全率が最小になるすべり面に対してだけ補強斜
面の安定計算をする方法である。この方法は、補強
斜面での最小安全率以上の安全率を与えるので、危

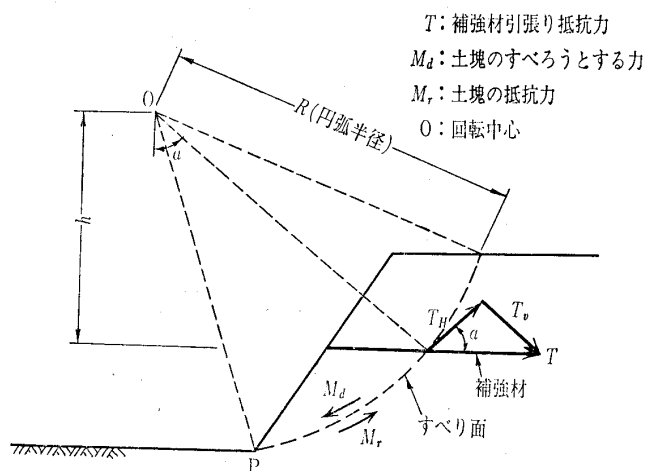
險側の結果を与える方法と言える。また、現在は繰返し計算はパソコンですぐに行えるから、すべり面を変えて最小の安全率を求める方法（min 記号で示されている方法）が特に面倒と言うことではなくなった。したがって、実際の設計でもすべり面を固定する方法を用いている例はほとんどないようである。以下、すべり面を変えて最小の安全率を求める方法だけを検討する。

補強材引張り力の作用方向の設定方法には、図—2.1(**b**), 2.1(**c**)³⁵⁾に即して説明したように、すべり面方向と配置方向の二つがある。図—2.15と表—2.1で、補強材引張り力による抵抗モーメントを $T \cdot R$ で表現している方法 (Fr 1 R, Fr 4) が、補強材引張り力がすべり面方向に沿って発揮されるとする前者の方法である。後者の方法は、補強材引張り力のすべり面方向成分 $T_H \cdot R$ の貢献しか考慮しない方法 (Fr 1 H, Fr 3, Fr 7) と、それに加えて補強材引張り力のすべり面鉛直成分による土のせん断強度の増加分 $T_v \cdot \tan \phi \cdot R$ も考慮している方法 (Fr 33,

Fr 9) に分けられる。成分 $T_H \cdot R$ の貢献しか考慮しない方法は、明らかに引張り補強効果を過小評価する。

更に、安全率の式の形式に關して、分母・分子の形の違ひにより、次の四つの方法がある。

① 安全率を「補強により増加した抵抗モーメント」/「無補強斜面の安全率を1.0にするために必要な追加的抵抗モーメント」の比とする方法である (Fr1H, Fr1R)。これは、無補強では安全率が必ず1.0以下になる鉛直（あるいはそれに近い）壁面を持つ補強土壁に対して良く用いられる方法である^{36), 37)}。しかし、この方法は無補強斜面の安全率が1.0以上であると、補強斜面の安全率が定義できない、と言う欠点がある。更に、補強斜面で安全率が1.0以上に大きくなるほど、例えば「補強材力の変化に対する安全率の変



$$\text{Fr 1 H} = \left\{ \frac{T \cdot h}{M_d - M_r} \right\}_{\min} = \left\{ \frac{T_H \cdot R}{M_d - M_r} \right\}_{\min}$$

$$\text{Fr } 2 \text{ H} = \left\{ \frac{T_H \cdot R}{M_d - M_r} \right\}_C$$

$$\text{Fr 1 R} = \left\{ \frac{T \cdot R}{M_d - M_r} \right\}_{\min}$$

$$\text{Fr } 2 \text{ R} = \left\{ \frac{T \cdot R}{M_d - M_r} \right\}_C$$

$$\text{Fr 3} = \left\{ \frac{M_r + T \cdot h}{M_d} \right\}_{\min} = \left\{ \frac{M_r + T_H \cdot R}{M_d} \right\}_{\min}$$

$$\text{Fr } 6 = \left\{ \frac{M_r + T_H \cdot R}{M_d} \right\}_C$$

$$\text{Fr 4} = \left\{ \frac{M_r + T \cdot R}{M_d} \right\}_{\min}$$

$$\text{Fr } 5 = \left\{ \frac{M_r + T \cdot R}{M_d} \right\}_C$$

$$\text{Fr } 33 = \left\{ \frac{M_r + T_H \cdot R + T_V \cdot \tan \phi \cdot R}{M_d} \right\}_{\min}$$

$$\text{Fr } 9 = \left\{ \frac{M_r + T_v \cdot \tan \phi \cdot R}{M_d - T_H \cdot R} \right\}_{\min}$$

$$\text{Fr7} = \left\{ \frac{M_r}{M_d - T \cdot h} \right\}_{\min} = \left\{ \frac{M_r}{M_d - T_H \cdot R} \right\}_{\min}$$

$$\text{Fr } 8 = \left\{ \frac{M_r}{M_d - T_H \cdot R} \right\}_c$$

min: 最小安全率を与えるすべり面を試行的に求める方法

C: 無補強に対して求めたすべり面に対してだけ計算する方法

図一.2.15 補強斜面の各種の円弧すべり安定計算法での安全率の定義のまとめ

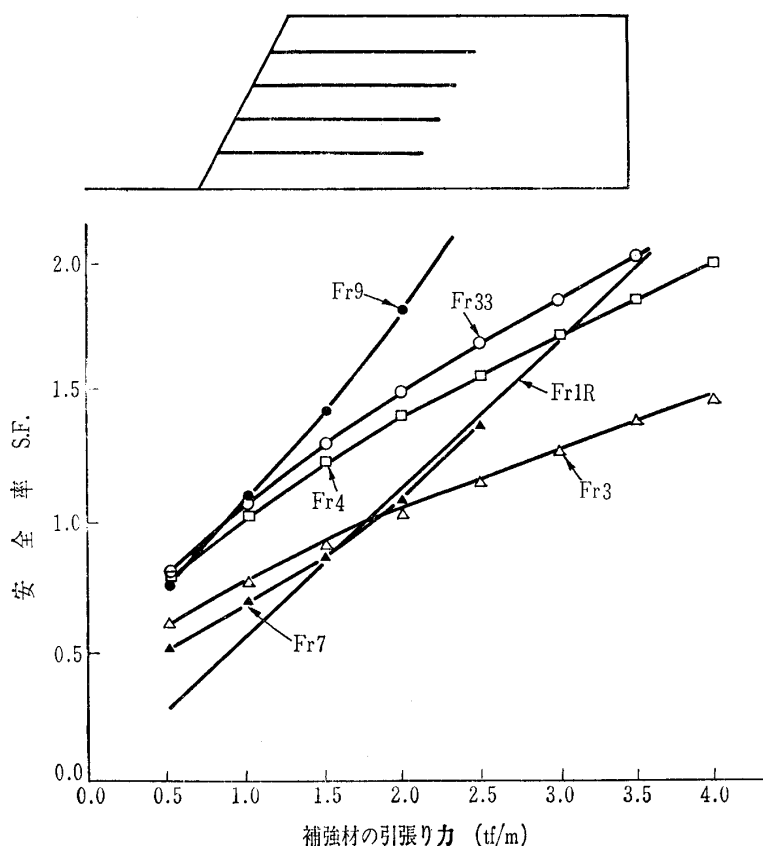
表—2.1 補強斜面の円弧すべり安定計算法における安全率の各種の定義方法の一覧表（著者原表，村田修正²⁶⁾）

	安全率の定義式	最小安全率を求め るか？	補強材力 の腕の長 さ	補強材力に よる土の強 度増加？	安全率の特 徴	文 献
Fr 1 R	$\{M_{RT1}/\Delta M_{req}\}_{\min}$ $=\{\sum T_{avail,i} \times R_i$ $/ (M_{DW} + M_{DP} - M_{RW}$ $- M_{RP})\}_{\min}$	求める	R_i (半径)	増加しない	・補強材力に対する安全率 ・無補強斜面で安定している場合 ($\Delta M_{req} < 0$) では定義できない。 ・補強材を横切らない円弧に対しては定義できない。	
Fr 1 H	$\{M_{RT1}/\Delta M_{req}\}_{\min}$ $=\{\sum T_{avail,i} \times h_i$ $/ (M_{DW} + M_{DP} - M_{RW} -$ $M_{RP})\}_{\min}$	求める	h_i (垂直距離)	増加しない	・Fr 1 Rに同じ ・腕の長さの差により $Fr 1 H \leq Fr 1 R$	
Fr 2 R Fr 2 H	$M_{RT1,c}/\Delta M_{req,c}$ $= \sum T_{avail,i} \times h_{i,c} / (M_{DW}$ $+ M_{DP} - M_{RW} - M_{RP})_c$ または, $= \sum T_{avail,i} \times R_{i,c} / (M_{DW}$ $+ M_{DP} - M_{RW} - M_{RP})_c$	求めない	$R_{i,c}$ また は $h_{i,c}$	増加しない	・Fr 1 R, Fr 1 Hに同じ ・無補強斜面の臨界すべり面のみで検討 $Fr 1 R \leq Fr 2 R$ $Fr 1 H \leq Fr 2 H$	
Fr 3	$\{(M_{RW} + M_{RP} + M_{RT1})$ $/ (M_{DW} + M_{DP})\}_{\min}$ $M_{RT1} = \sum T_{avail,i} \times h_i$	求める	h_i	増加しない	・土のせん断強度と補強材力の両方に対する安全率 ・補強材力による土のせん断強度の増加を 考えない点が不合理	27)
Fr 4	$\{(M_{RW} + M_{RP} + M_{RT1})$ $/ (M_{DW} + M_{DP})\}_{\min}$ $M_{RT1} = \sum T_{avail,i} \times R_i$	求める	R_i	増加しない	・Fr 3に同じ ・腕の長さの差により $Fr 3 \leq Fr 4$	28)
Fr 5	$\{(M_{RW} + M_{RP} + M_{RT1})$ $/ (M_{DW} + M_{DP})\}_c$ $M_{RT1} = \sum T_{avail,i} \times R_{i,c}$	求めない	$R_{i,c}$	増加しない	・Fr 3, Fr 4に同じ ・無補強斜面の臨界すべり面のみで検討 $Fr 4 \leq Fr 5$	
Fr 6	$\{(M_{RW} + M_{RP} + M_{RT1})$ $/ (M_{DW} + M_{DP})\}_c$ $M_{RT1} = \sum T_{avail,i} \times h_{i,c}$	求めない	$h_{i,c}$	増加しない	・土のせん断強度と補強材力の両方に対する安全率 ・補強材力による土のせん断強度の増加を 考えず不合理 ・無補強斜面の臨界すべり面のみで検討 $Fr 3 \leq Fr 6$	
Fr 33	$\{(M_{RW} + M_{RP} + M_{RT1} + M_{RT2})$ $/ (M_{DW} + M_{DP})\}_{\min}$ $M_{RT1} = \sum T_{avail,i} \times h_i$ $M_{RT2} = \sum T_{avail,i} \times \sin \alpha_i \times \tan \phi$	求める	h_i	増加する	・土のせん断強度と補強材力の両方に対する安全率 ・補強材力による土のせん断強度の増加を 考える $Fr 3 \leq Fr 33$	26), 29), 30)~32)
Fr 7	$\{(M_{RW} + M_{RP})$ $/ (M_{DW} + M_{DP} - M_{RT1})\}_{\min}$ $M_{RT1} = \sum T_{avail,i} \times h_i$	求める	h_i	増加しない	・土のせん断強度に対する安全率 ・補強材力による土のせん断強度の増加を 考えず不合理 ・安全率の感度が大きい	30), 31)
Fr 8	$\{(M_{RW} + M_{RP})$ $/ (M_{DW} + M_{DP} - M_{RT1})\}_c$ $M_{RT1} = \sum T_{avail,i} \times h_{i,c}$	求める	h_i	増加しない	・土のせん断強度に対する安全率 ・補強材力による土のせん断強度の増加を 考えず不合理, 安全率の感度が大きい ・無補強斜面の臨界すべり面のみで検討 $Fr 7 \leq Fr 8$	
Fr 9	$\{(M_{RW} + M_{RP} + M_{RT2})$ $/ (M_{DW} + M_{DP} - M_{RT1})\}_{\min}$ $M_{RT1} = \sum T_{avail,i} \times h_i$ $M_{RT2} = \sum T_{avail,i} \times \sin \alpha_i \times \tan \phi$	求める	h_i	増加する	・土のせん断強度に対する安全率 ・補強材力による土のせん断強度の増加を 考える ・安全率の感度が大きい	28), 30), 31), 33), 34)

M_{DW} : 土の自重に基づく滑動モーメント
 M_{DP} : 外力に基づく滑動モーメント
 M_{RW} : 土の自重に基づく土のせん断強度による抵抗モーメント
 M_{RP} : 外力に基づく土のせん断強度による抵抗モーメント

M_{RT1} : 補強材力による抵抗モーメント
 M_{RT2} : 補強材力に基づく土のせん断強度の増加による抵抗モーメント
 $T_{avail,i}$: 発揮できる補強材力

講 座

図—2.16 図—2.15, 表—2.1による計算例 (村田²⁶⁾)

化が激しすぎる」などの欠点もある。

② 通常の無補強斜面に対する安全率の式(=「土のせん断強度による抵抗モーメント」/「盛土の自重と外力による滑動モーメント」)の形式を基本にしている方法である。これは、更に次の三つに分かれる。

- (1) 2種類の補強効果をすべて分子に持ってくる方法 (Fr 4, Fr 33)。
- (2) 補強効果をすべて分母に持ってくる方法 (Fr 7)。
- (3) もともと無補強斜面の場合と同様に、分子は土のせん断強度だけにする一方、分母は土塊に作用する外力(地球の重力も含まれる)による滑動せん断応力だけにする方法 (Fr 9)。

図—2.16に、「盛土高さ5 m, 斜面勾配5分(水平距離/鉛直距離の比=0.5), 盛土単位体積重量 $\gamma = 2 \text{ tf/m}^3$, 内部摩擦角 $\phi = 35$ 度, 粘着力 $c = 0$, 基礎地盤は岩盤, 地下水位は地表に位置している, 補強材層数=4, 長さ=6m」の条件のもとで, 補強材引張り力をパラメーターとした安全率の計算結果を示す²⁶⁾。この結果から, 次のことが分かる。

(1) 補強材引張り力のすべり面鉛直成分による土のせん断強度の増加分 $T_v \cdot \tan \phi \cdot R$ を考慮しない安全率 (Fr 1 R, Fr 3, Fr 7)は, それを考慮している安全率 (Fr 33, Fr 9) よりも一貫して小さい。

(2) 補強材引張り力の作用方向以外は類似である「土木研究所が用いている Fr 4 (4式)」と「JR が用いている Fr 33」の差は大変小さい。その理由は, 図—2.1(d)に即して説明した³⁵⁾。

(3) 安全率 Fr 9は力学的にはすっきりしているが, 安全率が1.0以上では上記の2種の安全率 (Fr 4, Fr 33) よりも必ず大きくなる(安全率が1.0の時は3者の安全率は一致する)。補強材力の推定精度が高くない以上は, Fr 4あるいはFr 33を用いるのが安全側であり合理的であろう。

鉛直(あるいは, それに近い)壁面を有するジオテキスタイル補強土壁の滑動に対する安全率を Two-wedge 法で求める場合に対しても, 同様な比較ができる(表—2.2)。

この表に示す各種の安全率の中で, Fws 1~Fws 9は表—2.1に示す同一下付き数字の安全率 (Fr) と対応している。これに対して, 安全率 Fws P 1 と Fws P 2 はすべり面位置での作用土圧と発揮できる補強材引張り力の比で定義されている。Fws P 1 は, 「無補強擁壁で2直線のすべり面を試行させて得られる最大土圧(すなわち主動土圧) P_{Amax} 」を求め, P_{Amax} と「無補強擁壁での臨界すべり面」の位置で発揮できる補強材引張り力」との比である。これに対して Fws P 2 は, 補強土壁で2直線のすべり面を試行させて, 「その試行すべり面位置での土圧に対するその試行すべり面で発揮できる補強材引張り力の比の最小値」を安全率としている。補強材が十分に長い場合は, Fws P 1 と Fws P 2 は同一になる傾向があるが, 補強材が短いと Fws P 1 は Fws P 2 よりも大きくなる。また, 安全率 Fws P 2 は, Fr 1 H, Fr 1 R と同様な性質を持っている(上記①の記述を参照されたい)。

図—2.17は, 「盛土高さ5 m, 斜面勾配0.5分(水平距離/鉛直距離の比=0.05), 盛土単位体積重量 $\gamma = 2 \text{ tf/m}^3$, 内部摩擦角 $\phi = 35$ 度, 粘着力 $c = 0$, 基

表—2.2 鉛直あるいはそれに近い壁面を持つ補強壁面の Two-wedge 法による滑動に対する各種の定義方法の一覧表
(著者原表, 村田修正²⁶⁾)

	安全率の定義式	最小安全率を求めるか?	補強材力による土の強度増加?	安全率の特徴	文献
Fws 1	$\{S_{RT1} / (F_{DW} + F_{DP} - S_{RW} - S_{RP})\}_{\min}$	求める	増加しない	- 円弧すべり法の Fr 1 R, Fr 1 H に対応 - 補強材力に対する安全率 - 無補強斜面で安定している場合 ($T_{\text{req}} < 0$) では定義できない - 補強材を横切らないすべり面に対しては定義できない	28)
Fws 3	$\{(S_{RW} + S_{RP} + S_{RT1}) / (F_{DW} + F_{DP})\}_{\min}$	求める	増加しない	- 円弧すべり法の Fr 3 に対応 - 土のせん断強度と補強材力の両方に対する安全率 - 補強材力による土のせん断強度の増加を考えず不合理	
Fws 33	$\{(S_{RW} + S_{RP} + S_{RT1} + S_{RT2}) / (F_{DW} + F_{DP})\}_{\min}$	求める	増加する	- 円弧すべり法の Fr 33 に対応 - 土のせん断強度と補強材力の両方に対する安全率 - 補強材力による土のせん断強度の増加を考える	
Fws 7	$\{(S_{RW} + S_{RP}) / (F_{DW} + F_{DP} - S_{RT1})\}_{\min}$ $M_{RT1} = \sum T_{\text{avail},i} \times h_i$	求める	増加しない	- 円弧すべり法の Fr 7 に対応 - 土のせん断強度に対する安全率 - 補強材力による土のせん断強度の増加を考えず不合理 - 安全率の感度が大きい	
Fws 9	$\{(S_{RW} + S_{RP} + S_{RT2}) / (F_{DW} + F_{DP} - S_{RT1})\}_{\min}$ $M_{RT1} = \sum T_{\text{avail},i} \times R_i$	求める	増加する	- 円弧すべり法の Fr 9 に対応 - 土のせん断強度に対する安全率 - 補強材力による土のせん断強度の増加を考える - 安全率の感度が大きい	28)
FwsP 1	$\{\sum T_{\text{avail},i} / \sum P_{A\max}\}$ $= \{S_{RT1} / ((F_{DW} + F_{DP} - S_{RW} - S_{RP})_{\max} - S_{RT2})\}$	求めない	増加する	- 無補強における土圧の最大値 $\sum P_{A\max}$ を求め, それと補強材力 $\sum T_{\text{avail},i}$ を比較 - 補強材力に対する安全率 - 無補強斜面で安定している場合 ($T_{\text{req}} < 0$) では定義できない - 補強材を横切らないすべり面に対しては定義できない	
FwsP 2	$\{\sum T_{\text{avail},i} / T_{\text{req}}\}_{\min}$ $= \{S_{RT1} / (F_{DW} + F_{DP} - S_{RW} - S_{RP} - S_{RT2})\}_{\min}$	求める	増加する	- 無補強における土圧と, 補強材力を比較して最小安全率を求める - 補強材力に対する安全率 - 無補強斜面で安定している場合 ($T_{\text{req}} < 0$) では定義できない - 補強材を横切らないすべり面に対しては定義できない	32)

F_{DW} : 土の自重に基づく滑動力

F_{DP} : 土圧に基づく滑動力

S_{RW} : 土の自重に基づく土のせん断強度による oa 面方向の滑動抵抗力

S_{RP} : 土圧に基づく土のせん断強度による滑動抵抗力

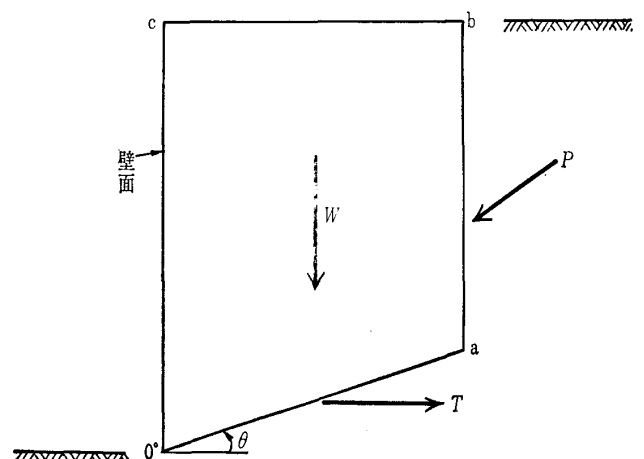
$P_{A\max}$: 無補強斜面における法面に作用する最大土圧 (2 直線すべり面により求める)

S_{RT1} : 補強材力による oa 面方向の滑動抵抗力 $= T \cdot \cos \theta$

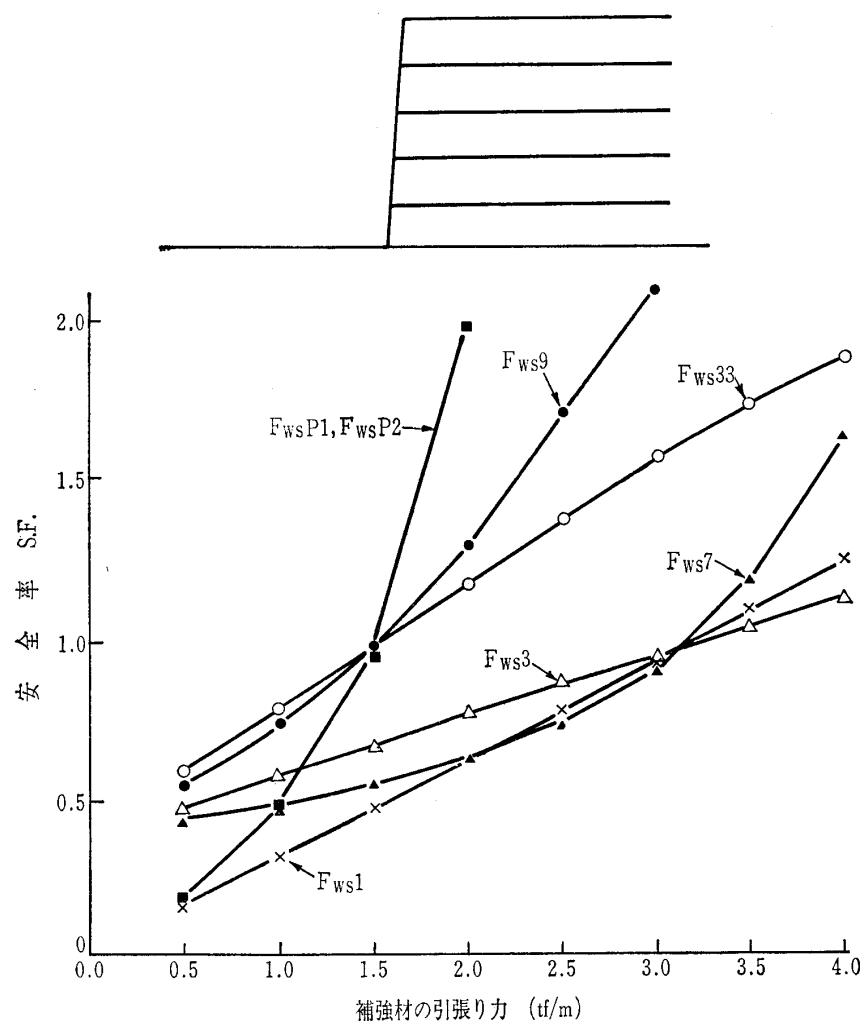
S_{RT2} : 補強材力に基づく土のせん断強度による滑動抵抗力 $= T \cdot \sin \theta \cdot \tan \phi$

$T_{\text{avail},i}$: 補強材 i により発揮される補強材力

T_{req} : 補強材に必要なとされる力



講 座

図—2.17 表—2.2による計算例(村田²⁶⁾)

礎地盤は岩盤、地下水位は地表に位置している、補強材層数=4、長さ=6m」の条件のもとで、補強材引張り力をパラメーターとした安全率の計算結果を示す²⁶⁾。図から、鉛直に近い壁面を持つ擁壁に対しての各種の安全率は、斜面に対してのそれぞれに対応する安全率と同様な特徴を有していることが分かる。

2) その他の要因

以上の様に、様々な安全率の定義の仕方がありうるが、それ以上に大きな影響を与え得る要因がある。まず、実際には壁面工に剛性があっても、通常的设计ではそれを無視している点である。Wu (ウー)³⁸⁾は、コロラド大学で作成した「裏込めの砂を織布で補強して、木のブロックを積み上げた壁面工を持つジオテキスタイル補強土壁(図—2.18, Denver Wall)」の破壊実験の結果を報告している。Claybourn (クレイボーン) and Wu³⁹⁾は、この破壊を生じさせるのに必要な天端での上載圧を、現在米国

で使用されている「極限つりあい法に基づく六つの設計方法」で予測している。その結果、「計算崩壊圧力」は、「実測崩壊圧力」の4~40倍であることを示している。すなわち、これら実用安定計算法は、安全側であることを示している。またこの計算では、砂の内部摩擦角として残留内部摩擦角 $\phi_{or}=35$ 度を用いている。この値は、破壊領域内で実際に動員されていた摩擦角 ϕ_{mob} の平均値よりも小さいと考えられる。したがって、上記のすべての極限つりあい安定解析法に「破壊領域内で実際に動員されていた摩擦角 ϕ_{mob} 」を用いれば、崩壊圧力を実測値の4~40倍よりも更に大きく過大評価することになる。

このような実測と実用安定解析法の間の大きな差の原因として、Denver Wallの壁面工には「局所剛性と不完全な縦剛性」(第8章参照)があり、この要因がこの補

強土壁の安定に大きく貢献していたが、これらの設計方法ではこれを考慮していないためであることが考えられる。この点は、第8、9章で詳しく論じる。

更に、上述の計算では材料安全率・全体安全率をすべて1.0としているが、実際の設計では各種の安全率を1.0以上にすることに注意しなくてはならない。したがって、実際の設計にこれらの安定計算法を適用した場合は、相当安全側の結果を与える可能性が高い。ただし、この議論は極限安定に関してであり、許容変形量に対して実際の変形量がどの程度になるか予想する場合については、別途の議論が必要である。

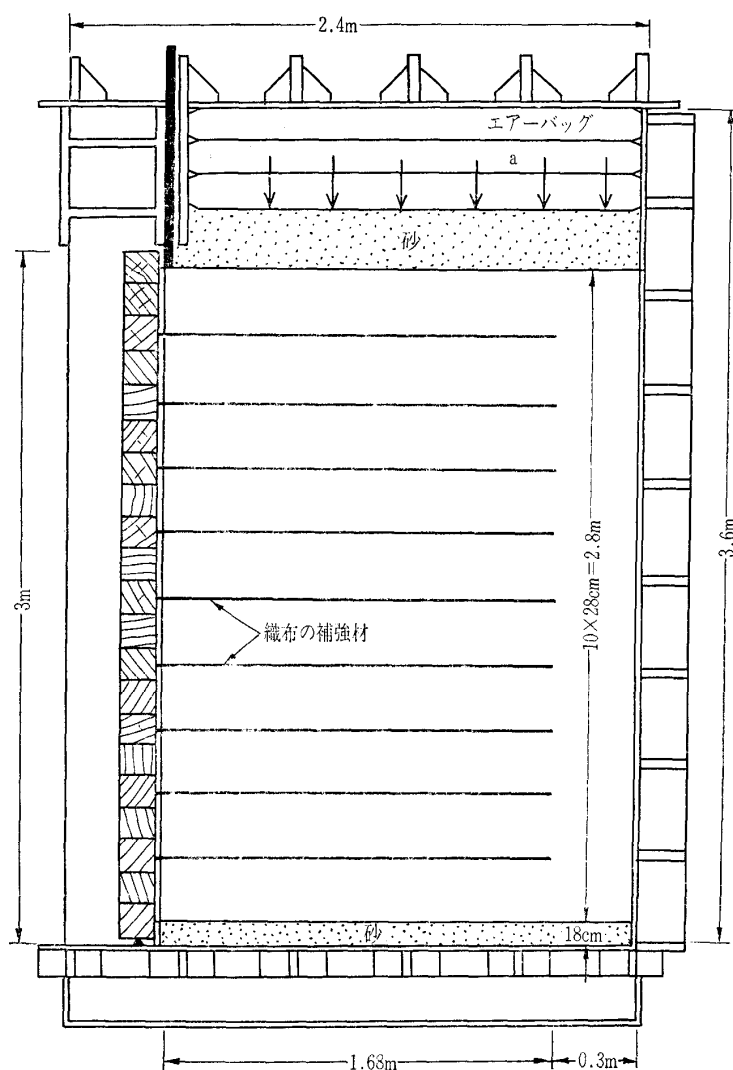
加えて、Claybourn and Wu³⁹⁾によるとこれらの設計方法の間では、付随して用いられている材料・全体安全率の値が大きく異なる。したがって、最終的に設計された構造(特に必要な補強材量)の差は、計算法そのものによる約10倍と言う大きな差以上に著しく大きくなる。

以上議論したように、実用極限つりあい安定解析法にも各種の問題があるのにもかかわらず、低品質の現場発生土を裏込め土として使用するかどうかによるジオテキスタイル補強土壁の全体建設コストの差異の方が、異なる設計方法によるジオテキスタイルの使用量の差（即ち補強材費の差異）よりも遥かに大きくなり得る。更に、図—2.14(b), (c)²⁵⁾に示すようなシートパイルやアンカー等の補助工法の採用の有無、掘削量の多少による建設費の差異も、設計計算法の差による補強材費の差異よりも遥かに大きくなり得る。

こうして見ると、安定計算法は「ジオテキスタイル補強土壁の設計」の中の一部であることが認識される。現在の段階では、全体的なバランスを考えると、設計計算法は結果がやや安全側になるように簡便化した方法で良いような気がする。

2.6 ま と め

ジオテキスタイルを引張り補強材として用いて土を補強する工法のメカニズムを論じた。その要は、補強しない場合に土塊中にひずみが最も生じている領域に、最大の引張りひずみ（最小主ひずみ）の方向に引張り補強材を配置することである。補強材としてのジオテキスタイルの特質は、面状であることから長さを金属ストリップよりも短くできること、土粒子のかみ合わせの良さと排水機能を持つことにより、低品質の現場発生土にも適用できる可能性が高くなること、があげられる。またジオテキスタイルは、一般に金属性の帯状補強材よりも同一断面での（すなわち、応力換算した）引張り剛性が小さいが、面状でありまた上下間隔を30cm程度と小さくするなどすれば、全体としての剛性は十分大きな値になりうる。しかし、ジオテキスタイル補強土壁を重要な永久構造物として使用する場合は、ジオテキスタイルを露出する巻込み式壁面は、耐久性・美観・変形抵抗性・施工性に問題があり、剛なコンクリートパネル・ブロックや一体のコンクリート壁面工など、きちんとした壁面工を用いる必要がある。



図—2.18 コロラド大学で行った「裏込めの砂を織布で補強して木のブロックを積み上げた壁面工を持つジオテキスタイル補強土壁の破壊実験」(Wu³⁸⁾)

参 考 文 献

- 25) 龍岡文夫：講座「ジオテキスタイルを用いた補強土工法」第2章 ジオテキスタイルによる補強メカニズム（その2）、土と基礎、Vol.41, No.4, pp. 65～72, 1993.
- 26) 村田 修：短い面状補強材と剛な壁面工を有する補強盛土工に関する研究、東京大学博士論文、1992.
- 27) 久楽勝行・青山憲明・関口定雄・永野 豊・山田知正・加藤瑛一・高砂武彦・高橋修三・志藤日出夫：スパンボンド不織布を用いた盛土補強工法の開発—盛土材の違いによる補強効果とその解析—、第2回ジオテキスタイルシンポジウム、国際ジオテキスタイル学会日本支部、pp.121～127, 1987.
- 28) 山内裕元・龍岡文夫：盛土補強工法における極限つりあい安定解析について、第23回土質工学研究発表会、pp.2219～2222, 1988.
- 29) 嶋田 功・見波 潔・上原清治・丸尾茂樹・中根 淳：補強土擁壁の崩壊実験と安定解析、第23回土質工学研究発表会、pp.2185～2186, 1988.
- 30) 中根 淳・丸尾茂樹・小野寺誠一・嶋田 功：ジオ

講座

- テキスタイルを用いた土留め擁壁の安定解析 (その2), 第24回土質工学研究発表会, pp.1875~1876, 1989.
- 31) 福田直三・久楽勝行・中村和之・岩崎高明: ポリマ
ーグリッドを用いた補強盛土の効果と安定解析, 土
木学会第43回年次学術講演会, pp.24~25, 1988.
 - 32) 土構造物設計標準に関する委員会報告書 (平成2
年度): 財鉄道総合技術研究所, 1991.
 - 33) 谷口栄一・鷺田修三・古賀康之: 不織布による補強
盛土の遠心力載荷実験, 第22回土質工学研究発表会,
pp.1779~1782, 1987.
 - 34) 古賀康之・伊藤良弘・鷺田修三・島津多賀夫: 傾斜
地盤上の補強盛土の振動台実験および安定計算法,
第2回ジオテキスタイルシンポジウム, 国際ジオテ
キスタイル学会日本支部, pp.1~8, 1987.
 - 35) 龍岡文夫: 講座「ジオテキスタイルを用いた補強土
工法」, 第2章 ジオテキスタイルによる補強メカ
ニズム(その1), 土と基礎, Vol.41, No.3, pp.76
~82, 1993.
 - 36) Jewell, R.A., Paine, N. and Woods, R.I.: Design
methods for steep reinforced embankments, Poly-
mer Grid Reinforcement, Thomas Telford, pp.
70~81, 1984.
 - 37) Jewell, R.A.: Application of revised design charts
for steep reinforced slope, Geotextiles and Geo-
membranes 10, pp.203~233, 1991.
 - 38) Wu, J.T.H.: Measured behaviour of the Denver
walls, Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining
Walls, Wu. (ed.), Balkema, pp.31~41, 1992.
 - 39) Claybourn, A.F. and Wu, J.T.H.: Failure loads
of the Denver walls by current design methods,
Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Walls,
Wu. (ed.) Balkema, pp.61~77, 1992.
 - 40) 龍岡文夫: 土質基礎工学ライブラリー29, 補強土工
法, 2.2 模型実験の結果による説明, 土質工学会,
1986.