

テールアルメ工法による高盛土の情報化施工例

平 間 邦 興 鳥 井 原 誠
松 本 伸

Realtime Construction Control of High Embankment by Terre Armée Method

Kunioki Hirama Makoto Toriihara
Shin Matsumoto

Abstract

Recently, embankment reinforcing methods in which various reinforcing materials are installed in embankments have been rapidly becoming wide-spread. The “Terre Armée” method, one of these methods, was used in consideration of construction conditions and economy. As the embankment material contained much clay and was not suitable for this method, a part of materials was changed to good-quality one. However, concern about stability remained and so strict construction management was provided.

The items of measurement were stress of reinforcing material, displacement and settlement of wall, earth pressure, etc. Of these, stress of reinforcing material was slightly larger than the design value, but it was possible to keep this below the allowable limit and the construction was finished without mishap. The knowledge gained in these experiments concerning construction management is thought will contribute greatly in future design and construction.

概 要

盛土内に種々の補強材を設置する盛土補強工法が急速に普及してきており、この工事でも現場の施工条件と経済性を考慮して、盛土補強工法の一つであるテールアルメ工法が採用された。ところが、盛土材料に粘土分が非常に多く、この工法にあまり適していないと判断されたため、一部に良質土を使用することになった。しかしながら、安定性に若干の不安が残ったため、現場計測によって厳密な施工管理を行なった。

計測項目は、補強材の応力、盛土壁面の変位、沈下、土圧などである。この内、補強材の応力が設計値よりもやや大きかったものの、許容値内に納めることができ、無事に工事を完了することができた。ここで得られた施工管理の知見は、今後の設計・施工に大きく寄与するものと考えられる。

1. まえがき

函館空港では、大型ジェット機の就航に伴い、現在使用されている場周道路の一部が航空機の翼下に入ることや、路面の老朽化が目立ち始めたことに対処するため、場周道路を誘導路端より 39 m 以遠に付け替えることが計画されるに至った。その工事に伴い一部谷区間に盛土を施工する必要が生じたが、地形、用地などの制約から、従来の盛土工法では対応できず、いくつかの工法が比較・検討された結果、最終的にテールアルメ工法が採用されることになった。

テールアルメ工法は最も代表的な補強土工法のひとつであり、コンクリートスキン背面に取り付けたストリップ（帯状鋼板）を盛土中に多数敷設することによって、ストリップと盛土材との摩擦抵抗で盛土全体を安定化さ

せるものである。この工法は、近年その施工実績が着実に増加している工法ではあるが、その設計法には経験則に基づくものも数多く残されており、理論的な根拠については、いまだ充分には解明されていないのが現状である。従って、その設計・施工にあたっては、留意すべき点も多い。

当工事においても、①谷部であり集水しやすい、②旧盛土地帯である、③盛土材に細粒分が多い、④湧水がある、といった様々な問題をかかえていたため、事前の調査、検討に始まって、施工中の計測管理に至るまで、慎重な配慮の基に、情報化施工管理手法の考え方を導入して、その工事の遂行をはかった。この報告は、以上の経緯と各種動態観測結果をまとめたものである。

2. 工事概要

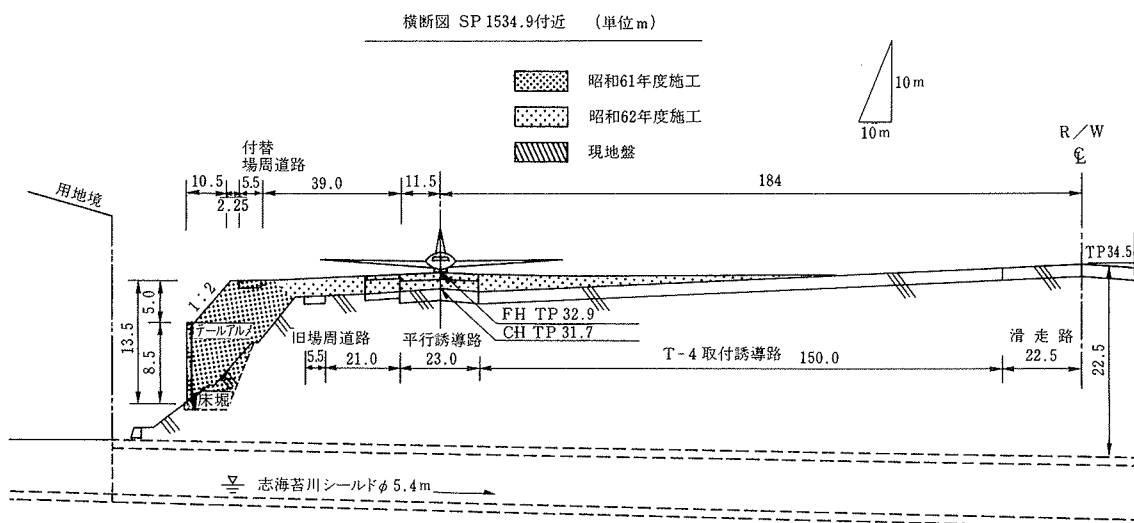


図-1 工事概要横断面図

今回の工事は、図-1に示すように、志海苔川を暗渠として沢部を埋め立てて造成した既存の場周道路を、航空機運航の支障にならない位置に移設するものである。

工事概要を以下に示すが、主な工事内容としては、図-2に示すテールアルメ工法による高盛土の施工である。同工法では裏込土として摩擦抵抗の大きな良質砂を用いることが原則であるが、当該工事区域内から発生する土は細粒分が多く、同工法にはあまり適さない材料であったため、今回の工事では図-2に示すようにストリップの上下面を良質の購入砂でサンドイッチ状に挟みながら盛土を立ち上げていくことにした。

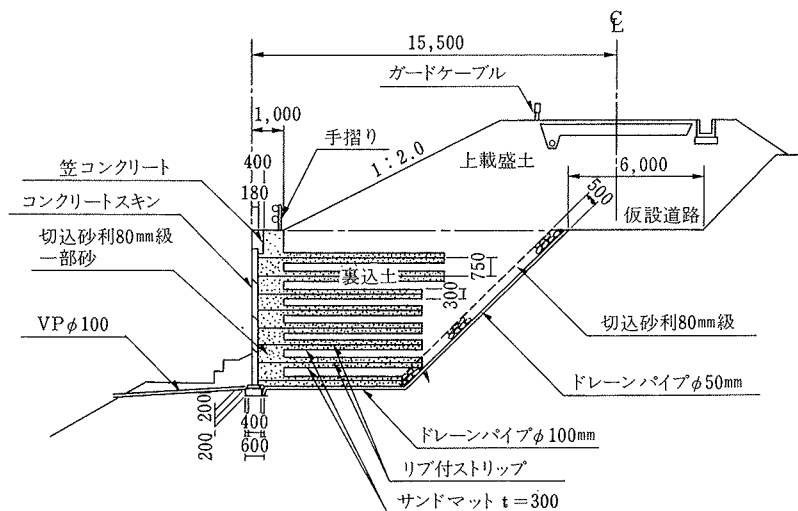


図-2 工事標準断面図

工事名：函館空港場周道路改良工事

発注者：北海道開発局函館開発建設部

工事数量：テールアルメ工 H=3~8.5 m 302 m

- コンクリートスキン 1,669.4 m²
- ストリップ 25,928 m
- 裏込砂 4,500 m³
- 裏込土 9,800 m³
- 上載盛土 21,300 m³
- 排水対策 1式

3. テールアルメ工法の基本的考え方¹⁾

テールアルメ工法は図-3に示すように、壁面を構成しているコンクリートスキンと層状に布設したストリップを含む盛土部分からなっており、このストリップと土との間に作用する摩擦力によって、土の前面への膨み出しを阻止し安定な壁面を構築しようとする工法である。そのため土中に埋設するストリップは適切な引張強度を有し、土との摩擦抵抗が大きく、しかも、土とのなじみが

よいたわみ性と、十分な耐久性を持った材料でなければならない。このように、基本的に盛土自体の安定性は、ストリップと盛土材との相互作用によって確保されるため、表面に見えるコンクリートスキンは、その背面の土のこぼれ出しを防ぐための単なる押えとみなされる。

次に、ストリップが盛土の安定にどのような作用をしているか、図-4を用いて説明する。

同図は実際のストリップに作用している引張力の状況を模式的に示したものである。引張力の極大値は、壁面からやや離れた盛土内部で生じており、その値は土被り圧の大きな盛土の深い部分ほど大きくなっている。これらの極大値を生ずるストリップの位置を連ねた線は、図中に示すように壁面の下端付近を通る曲線を描いている。

このように、引張力に極大値が存在するという事は、ストリップに働く土の摩擦力の方向が、その点で逆転していることを示している。すなわち、極大値より盛土背

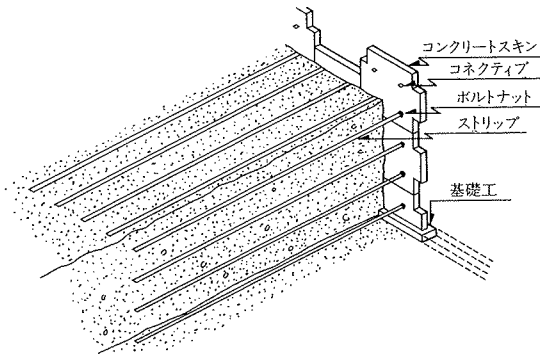


図-3 テールアルメ壁の構造¹⁾

面側の土はストリップの引き抜きに対して抵抗しようとしており、一方、壁面側では、その部分の土が押し出ようとして、ストリップに壁面に向けた引張力を作用させていることになる。

以上の様子を極大値が明確な場合を例にとって示せばその位置より壁面側の土は主働領域にあって、ずり落ちようとする傾向にあるのが、コンクリートスキンによってこぼれ出しを防ぐ一方、極大値を生ずる位置より奥の部分のストリップの引抜き抵抗によって、それ以上の変形が拘束されている状況にあることを意味している。

このようにテールアルメ工法では、ストリップを含む盛土体が一体構造となって、あたかも重力式の擬似擁壁の如く作用し、盛土全体を安定に保つ働きをするものである。

4. 土質特性

テールアルメ工法の場合、盛土材料としては経済性を考慮して現地発生土を用いるのが原則である。ところが現場内の土取場より採取した土試料が、図-5に示すように細粒分(74 μm 以下)が24~30%と非常に多く、テールアルメ用盛土材料としては不適当なため、一部良質土(購入砂)を使用することになった。購入砂の粒度分布も図-5に併せて示している。

土取場採取試料の自然含水比は14~18%、液性限界は32.5%、塑性限界は20.5%であり、三軸試験による粘着力は0.36 kgf/cm²、内部摩擦角は15.6°である。

5. テールアルメ壁の実設計

図-6に示した断面における実施設計の計算例(常時のみ)を表-1に示す。この計算法の詳細は他の成書に譲るが、具体的な計算フローは同表の上欄に示した通りである。

まず、主働領域の決定が最も重要であるが、現在のテールアルメ工法の設計では、図-4に示した主働領域を便宜的に図-7に示す折れ線で規定している。この主働領域

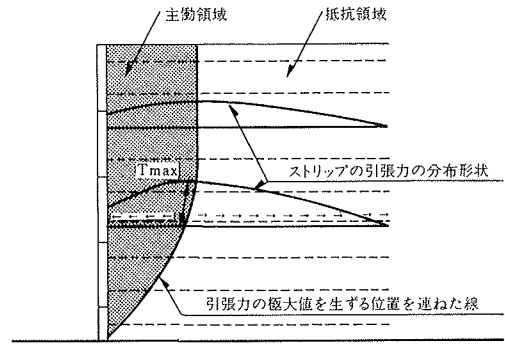


図-4 ストリップに作用する引張力¹⁾

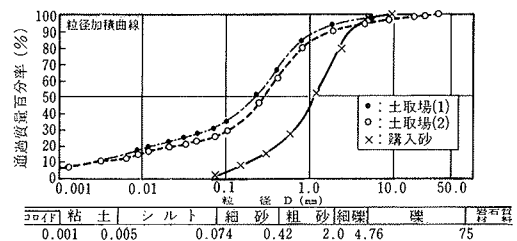


図-5 盛土材料の粒度特性

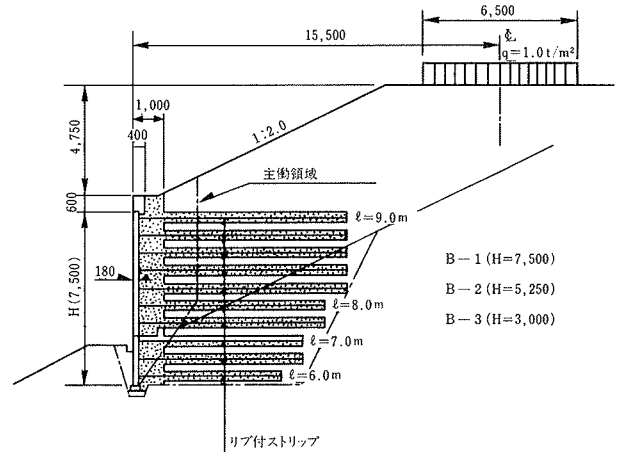


図-6 テールアルメ壁設計計算断面

を決定した後、ストリップに作用する引張力に対して、ストリップの引抜きに対する安全率と、部材の許容応力度を基にストリップの長さを計算し、最終的には施工効率を考慮してその長さを決定する。

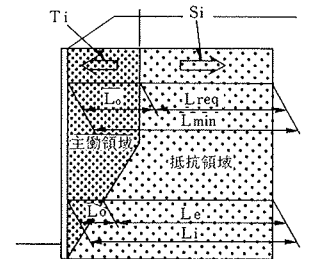


図-7 ストリップ長と T_i, S_i

6. 動態観測

6.1. 計測計画

計測項目は次に示す通りである。

- コンクリートスキンの垂直度

(主働領域の算出) → (土圧係数・摩擦係数の算出) → (土圧力の算出) → (ストリップの水平間隔の決定) → (ストリップに作用する水平力の算出) → (ストリップ長の算出)

| i | Loi (m) | Ki | fi* | Pi(tf/m) | 計算ΔBi(m) | 決定ΔBi(m) | Ti (tf) | Lei (m) | 計算Li(m) |
|----|---|---|--|--|-----------|--|---------|---------|---------|
| 1 | 2.502 | 0.542 | 0.934 | 1.509 | 2.084 | 0.75 | 1.132 | 5.443 | 7.945 |
| 2 | " | 0.521 | 0.893 | 2.007 | 1.525 | " | 1.505 | 5.469 | 7.971 |
| 3 | " | 0.500 | 0.852 | 2.460 | 1.244 | " | 1.845 | 5.503 | 8.003 |
| 4 | " | 0.479 | 0.812 | 2.869 | 1.067 | " | 2.152 | 5.531 | 8.033 |
| 5 | 2.457 | 0.457 | 0.771 | 3.226 | 0.949 | " | 2.420 | 5.559 | 8.034 |
| 6 | 2.025 | 0.435 | 0.730 | 3.535 | 0.866 | " | 2.651 | 5.586 | 7.611 |
| 7 | 1.575 | 0.411 | 0.690 | 3.779 | 0.810 | " | 2.834 | 5.583 | 7.158 |
| 8 | 1.125 | 0.406 | 0.675 | 4.167 | 0.735 | 0.50 | 2.084 | 3.760 | 4.885 |
| 9 | 0.675 | " | " | 4.609 | 0.665 | " | 2.301 | " | 4.435 |
| 10 | 0.225 | " | " | 5.035 | 0.608 | " | 2.518 | " | 3.985 |
| 備考 | Loi=0.3Ha ...(Zi ≤ Ha/2) Loi=0.6(Ha-Zi) ...(Zi > Ha/2) | Ki=Ko(1-Zi/Zo)+Ka·Zi/Zo fi*=fo*(1-Zi/Zo)+tanφi·Zi/Zo(Zi ≤ Zo=6m) Ki=Ka, fi*=tanφi(Zi > Zo=6m) | Pi=Ki·ΔH· {r·ΔH(i-1/2) +qa+qi-i} | Pi·ΔBi < σT·Ag , < σT·An·1/0.75 < n·ZaT·Ae·1/0.75 決定ΔBi < 計算ΔBi | Ti=Pi·ΔBi | Lei = Fs·Ti 2·fi*·σvi·b Fs=2.0 Li=Loi+Lei 決定 Li > 計算Li | | | |

表-1 テールアルメ壁実施設計計算例

- 盛土体及び基礎地盤の沈下
 - ストリップに生じる引張応力
 - コンクリートスキン背面の壁面圧
 - コンクリートスキン直下の荷重
- 計測位置を図-8に、計器設置位置の断面図の一例を図-9に示す。

6.2. 計測結果及び考察

6.2.1. コンクリートスキンの垂直度

コンクリートスキン組立て途中及び完了後、スキン前面に下げ振りを下げて垂直度の測定を行なった。測定結果の一例を図-10に示す。施工初期には、裏込土によるスキン前面への押し出しを予測して若干盛土背面側に倒して施工していた壁が、施工が進む（盛土が高くなる）につれて徐々に前面へと移動している様子が明らかである。ただし、それらの量は微々たるものであり、高さ7.5mのスキンの天端で約2cmであった。この値は、「施工指針」²⁾に定める管理基準値±0.03H(H:壁高)と比較しても非常に小さなものであった。

6.2.2. 盛土体及び基礎地盤の沈下

テールアルメ壁の裏込め施工途中、沈下板を設置し盛土体自身及び基礎地盤の沈下状態を図-9に示す3箇所にて測定した。測定結果の一例を図-11に示すが、上載盛土完了後1~2箇月で沈下はほとんど終了している。また、上載盛土完了後の基礎地盤の残留沈下量も非常に小さく、管理目標値

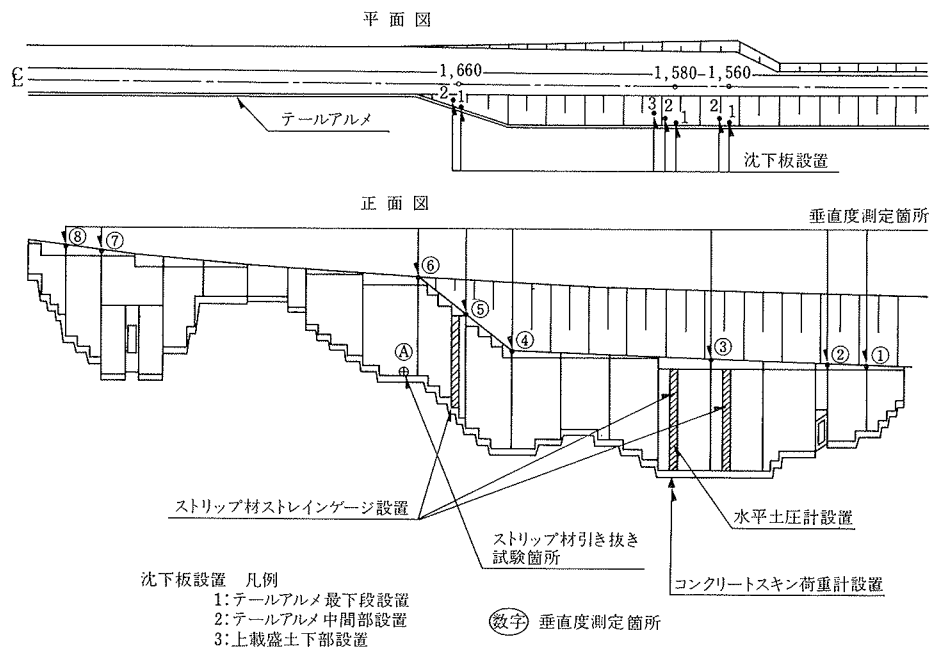


図-8 計測位置図

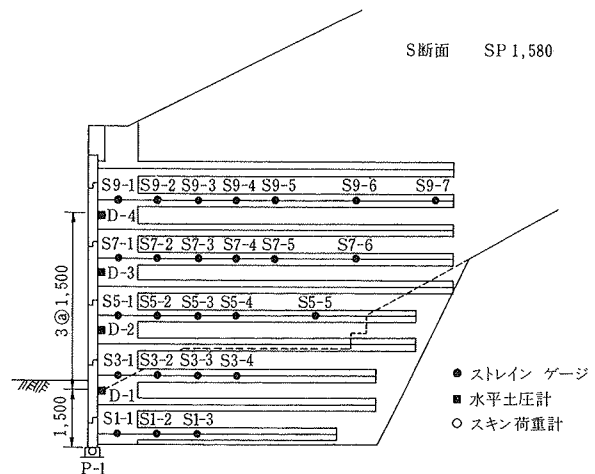


図-9 計器設置位置断面図

15~30 cm¹以下を充分満足するものであった。

6.2.3. ストリップに生じる引張応力

ストリップに生ずる応力の把握及び主働領域の位置の確認を目的として、ストリップの引張力を測定した。測定結果の経時変化の一

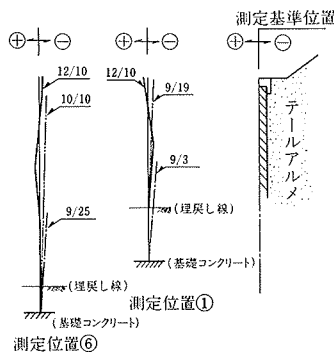


図-10 コンクリートスキンの垂直度

例を図-12に示す。いずれの値も施工の進捗とともに増大しているものの、上載盛土完成後1~2箇月ではほぼ一定値に落ちついている。

図-13はストリップの張力分布を断面的に示したものであるが、どのストリップもほぼ山形の形状を示している。この張力の最大値となる位置を結んだ線(最大張力線)が、主働領域と抵抗領域の境界線になると考えられる。ここで、比較のために設計における主働領域の境界線を一点鎖線で示したが、測定結果の方が盛土背面側に入り込んでおり、抵抗領域が減少しやや危険側の傾向となっている。この点について以下に若干の考察を加える。

設計・施工指針などで示される主働領域は、盛土材料が良質の砂質土における実験結果に基づいて決定されているものであり、今回のように、やや粘土、シルト分を多く含む砂質土を盛土材とする場合には、多少主働領域が盛土背面側に移動するものと考えられる。一般の斜面安定問題でも粘性土斜面では深いすべりが発生しやすいといわれている。

なお、参考のために、有限要素法(FEM)によるゆるみ領域の解析と、ストリップが無い場合の円弧すべり計算を行なった。その結果を、図-15に示すが、FEMによるゆるみ領域、円弧すべり法によるすべり線の両者とも、現場計測で得られた最大張力線に比較的好く似た形状を示している。

図-16は、ストリップの最大引張力から求めた土圧の深度分布を示したものである。同図には設計値も示しているが、比較的好く合っているといえよう。ここで、ストリップの最大張力 T_{max} から土圧 P_i を求めるための式は次の通りである。

$$P_i = \frac{T_{max}}{AB \times \Delta H}$$

AB : ストリップの水平間隔

ΔH : 鉛直間隔

以上述べてきたように、発生する土圧はほぼ設計通り

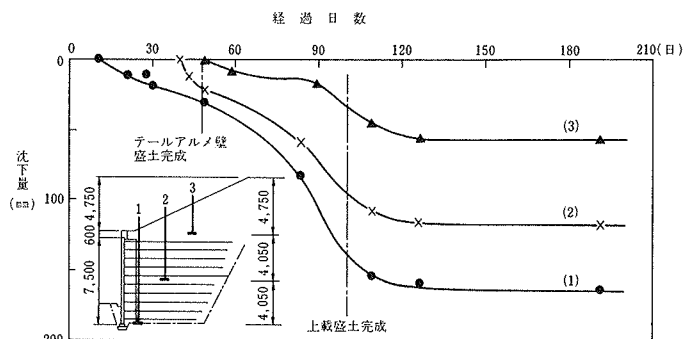


図-11 盛土体及び基礎地盤の沈下曲線

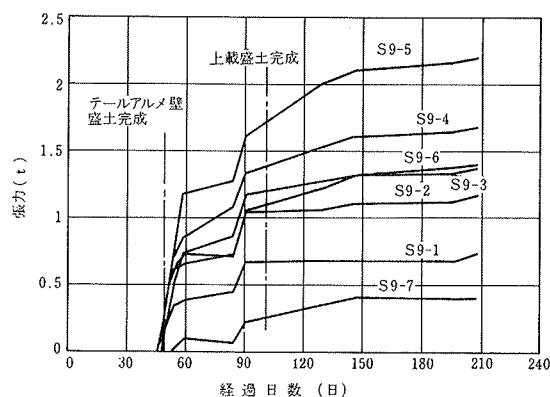


図-12 ストリップの張力経時変化

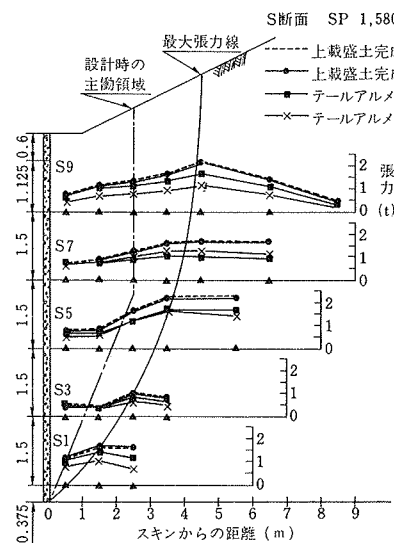


図-13 ストリップの張力分布

であったが、ストリップの引き抜けに対する抵抗領域がやや減少したので、その安定性に疑問が生じ、天端から6mの深さに設置したストリップの引き抜き試験を実施し摩擦抵抗力の確認を行なった。

引き抜き試験は、コンクリートスキン表面にセンターホール油圧ジャッキを設置して行なったが、コンクリートスキンの限界強度となる引き抜き力10tでもピーク

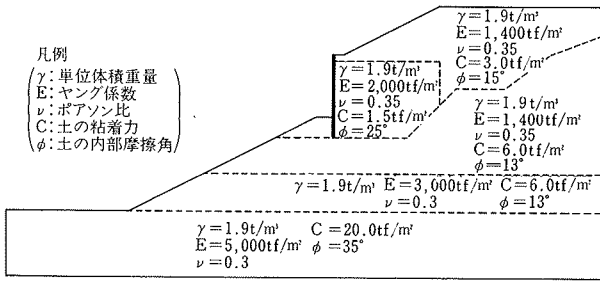


図-14 FEM 解析土質条件

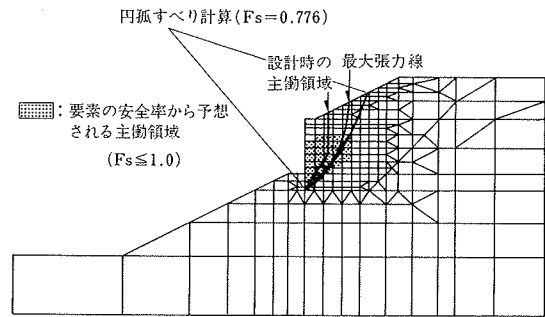


図-15 FEM 及び円弧すべり法解析結果

には至らなかった。仮に、最大引き抜き力を 10t とすると、見かけの摩擦係数 f_i^* は次のようになる。

$$f_i^* = \frac{S_i}{2b \cdot \sigma_{vi} \cdot L_{ei}}$$

$$= \frac{10}{2 \times 0.06 \times (1.9 \times 6) \times 8}$$

$$= 0.914$$

この値は、設計時に設定した $f_i^* = 0.675$ (表-1参照) よりもかなり大きく、

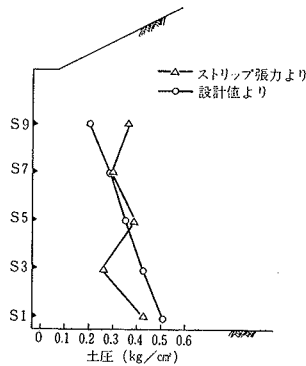


図-16 土圧の深度分布

抵抗領域が減少しても引き抜き抵抗そのものは充分確保されていることが確認できた。

6.2.4. コンクリートスキン背面の壁面圧 テールアルメ工法は、ストリップと土との摩擦によって盛土自体が安定化するという原理からすれば、コンクリートスキンには力が及ばないことになるが、図-17, 18の測定結果からも明らかなように、実際には多少の力が加わる。これは壁面付近の補強土としての効果が及ばない範囲の土の押し出し等によって発生したものと考えられるが³⁾、設計上無視している割には比較的大きな値となっているようである。ただし、最下段の壁面圧が特に大きな値を示しているのは、前面の埋め戻しにより若干の受働土圧を受けたためと考えられる。

現在の設計法では、コンクリートスキンは単なる土のこぼれ出し防止の役目を与えられているだけであるが、実際には今回の計測結果からも明らかなように、ある程度の土圧に抵抗して、テールアルメ壁の安定性にかなり寄与しているようである。

謝 辞

この報告をまとめるに際し、多大の御配慮を賜った北海道開発局・函館港湾建設事務所の方々に深く感謝の意を表す次第です。

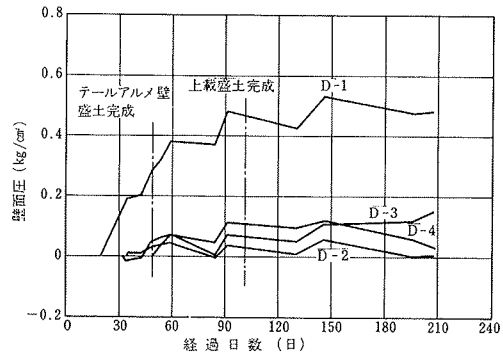


図-17 壁面圧の経時変化

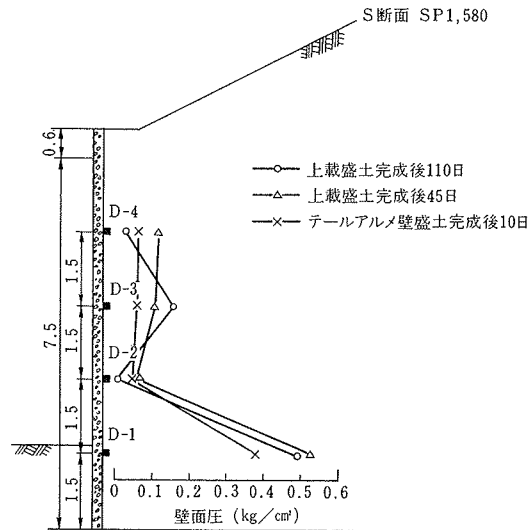


図-18 壁面圧の深度分布

参考文献

- 1) 土木研究センター：補強土壁工法設計施工マニュアル
- 2) 建設省土木研究所：補強土壁設計施工指針(案)
- 3) 安井：テールアルメ擁壁を考える，土木技術，vol. 39, No. 2, (1984), pp. 66~70