

テールアルメ工法における盛土材と壁面変位の関係

小川憲保*

テールアルメ工法の壁面は変形しやすい特性を持っている。盛土材と壁面変位の関係を調査した結果、盛土材が壁面変位に与える影響は大きく、壁面変位は盛土材の細粒分含有量、自然含水比などの影響を受けることがわかった。以上の結果より、現状の盛土材適用範囲とは異なる、壁面変位を考慮したテールアルメ盛土材の適用範囲を提案する。

Key Words : reinforced earth, filling material, wall deformation, fine fraction, natural water content

1. はじめに

テールアルメ工法とは、ストリップ（帯状鋼板）を補強材とする補強土で、盛土の中にストリップを敷設し、これと盛土材との摩擦力により垂直なり面をもつ盛土を形成する工法である。

本工法は、フレキシブルな構造体であるので、壁面が変形しやすい特性を持っている。壁面の変位は、使用する盛土材の種類、施工精度および施工環境などにより影響を受けると考えられるが、定量的に把握されていないのが現状である。本工法に使用する盛土材は、マニュアル¹⁾により細粒分（土粒子の粒径が75 μ m以下のもの）の含有量が25%以下のものを用いている。しかし、これらの盛土材を使用したテールアルメ壁面の変位は千差万別である。

本文では完成後のテールアルメ壁面において、盛土材別に壁面変位の計測を行い、盛土材が壁面変位に与える影響を明らかにしている。すなわち、壁面変位は、盛土材の細粒分含有量、自然含水比などの影響を受ける。また、盛土材別に壁面勾配の頻度分布をみると、正規分布している。さらにこれらの結果をもとに、現状の盛土材適用範囲とは異なる、壁面変位を考慮したテールアルメ盛土材の適用範囲を提案するものである。

2. 現状の盛土材適用範囲と使用した盛土材の種類

(1) 現状のテールアルメ盛土材適用範囲

テールアルメに使用する盛土材は、工法の特性上、土とストリップとの摩擦を基本原理としているところから

* 正会員 技術士 川鉄商事(株) テールアルメ工法技術部 西部技術グループ長 (信州大学大学院工学系研究科博士後期課程在学中)
(〒530 大阪市北区小松原町2-4)

表一 地区別使用盛土材の分布状況

地区名	試料数	盛土材の割合分布(%)					
		(G)	(G-F)	(GF)	(S)	(S-F)	(SF)
中部	203	9.9	39.4	20.2	2.5	9.9	18.2
北陸	56	7.1	33.9	28.6	7.1	14.3	8.9
近畿	91	15.4	26.4	26.4	1.1	7.7	23.1
四国	137	12.4	62.0	24.8	0	0	0.7
中国	60	16.7	31.7	26.7	0	16.7	8.3
九州	129	7.8	51.1	26.4	0.8	5.4	8.5
合計	676	11.1	43.3	24.4	1.6	7.7	11.8

十分な摩擦特性をもち、圧縮の少ない盛土材が望ましい。現状では一般に以下に示す盛土材を使用している。

①細粒分の含有量が25%以下の土質材料。

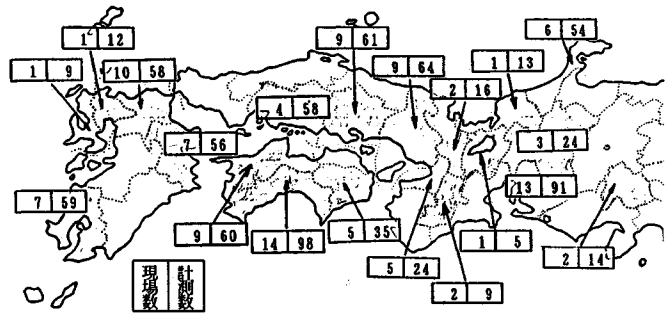
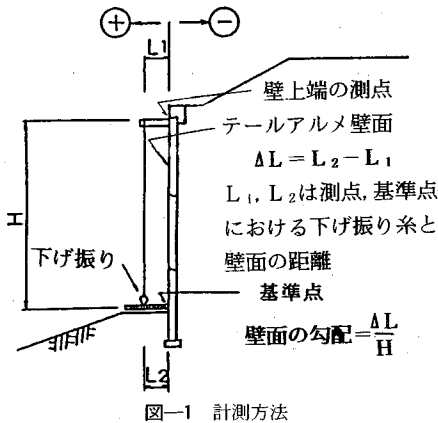
②最大粒径が250 mm以下の硬岩ずり、75 mmふるい通過分中の細粒分の含有量が25%以下、かつ、大小粒が適当に混合して締固めのしやすいもの。

なお、細粒分の含有量が25%以上の盛土材については、セメント系固化材を添加して改良土として使用する場合もある。

(2) 現在までに使用した盛土材の種類

上記の盛土材適用範囲に従って、西日本近辺で使用した盛土材を、日本統一土質分類のG（礫粒土）とS（砂粒土）に分け、さらに細粒分含有量により分類すると表一のようなになる。その結果、地区により使用盛土材の分布状況は少々異なるが、全体的にみると礫粒土が全体の約80%を占め、砂粒土は全体の約20%にすぎないことがわかる。

また、細粒分の含有量が25%以上の盛土材を使用する場合は、施工前にセメント系固化材を添加した盛土材の三軸圧縮試験を行い、現場において設計条件以上のせん断強度を持つ改良土として使用している。過去の例では、盛土材1 m³当たり50~100 kgの固化材を添加し、



バックホウ等で混合している場合が多い。

3. 壁面の計測概要

(1) 計測方法

壁面の変位は、下げ振りを使用して図-1に示す方法で計測した。埋め戻し線より少し上の壁面に基準点を設け、壁面上端の相対的な水平変位量 ΔL を求めた。壁面変位量は、壁面下端の基準点からの鉛直線を基準とし、壁面上端が前面側に出て、オーバーハングの状態を+、壁面上端が鉛直線より背面側に引っ込んでいる状態を-とした。また壁面の勾配は $\frac{\Delta L}{H}$ (ここで H は基準点から測点までの高さ) で求めた。

なお、計測時点は、いずれも施工完了後であり、1ヶ月~143ヶ月後とさまざまである。

(2) 計測現場と計測数

使用した盛土材を一般土である礫粒土・砂粒土と、特殊土であるまさ土・しらす・軽量盛土材(水さいスラグとクリンカーアッシュ)・改良土・岩ずりの7種に分類し、各々の盛土材ごとに土質試験データのある現場を無作為に選んで壁面の計測を行った。計測場所の分布を図-2に示す。また計測は、1つの壁面において壁延長方向に5~10mごとの等間隔に行い、112現場で826ヶ所計測した。

4. 計測結果

(1) 壁高と壁面変位量の関係

盛土材ごとの壁高と壁面変位量の関係を図-3に示す。盛土材が礫粒土、砂粒土、まさ土、岩ずりの場合、壁面の変位は前面側に傾いているのがほとんどで、その割合は82%、72%、84%、77%である。盛土材がしらす、改良土の場合は前面側に傾いている割合は減少し、44%、57%である。また、軽量盛土材の場合は逆にほとんどが背面側に傾いており、その割合は84%である。

壁面の勾配は、鉛直線に対して $0.03H$ (H はテールアルメの壁高)、あるいは変位量 30 cm 以内が一般的な

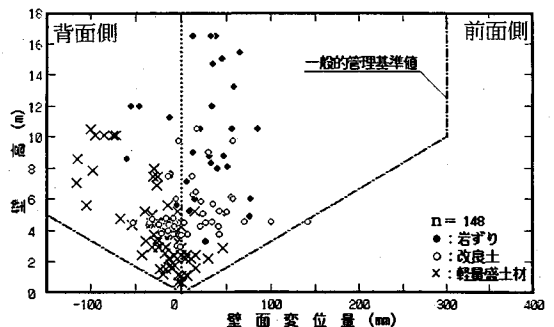
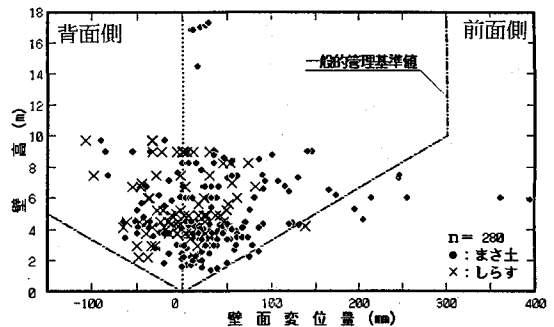
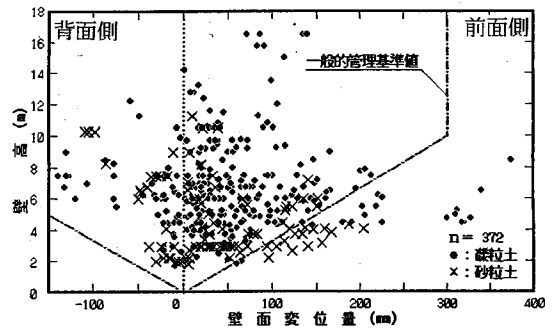
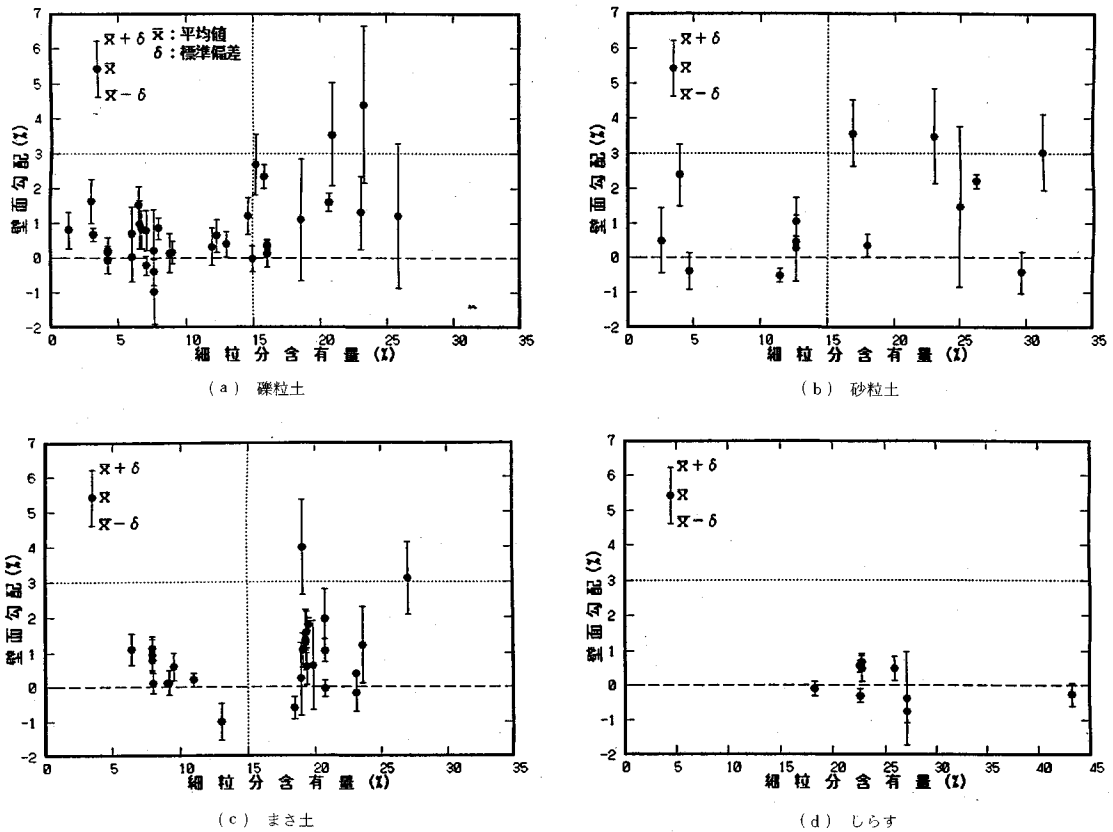


図-3 壁高と壁面変位量



図—4 細粒分含有量と壁面勾配

管理基準値とされている²⁾。この管理基準値を越えた計測数の割合は、礫粒土で8%、砂粒土で14%、まさ土で5%であるが、その他の盛土材においてはほとんど計測されていない。また、軽量盛土材においては、壁高と変位量には高い(正の)相関があるが、その他の盛土材においてはほとんど相関はない。さらに、管理基準値を越える大きな変位は壁高が4~8mの範囲に集中している。これは壁高が高い場合には、盛土材の管理や、施工管理が厳しくなる傾向があるためと考えられる。

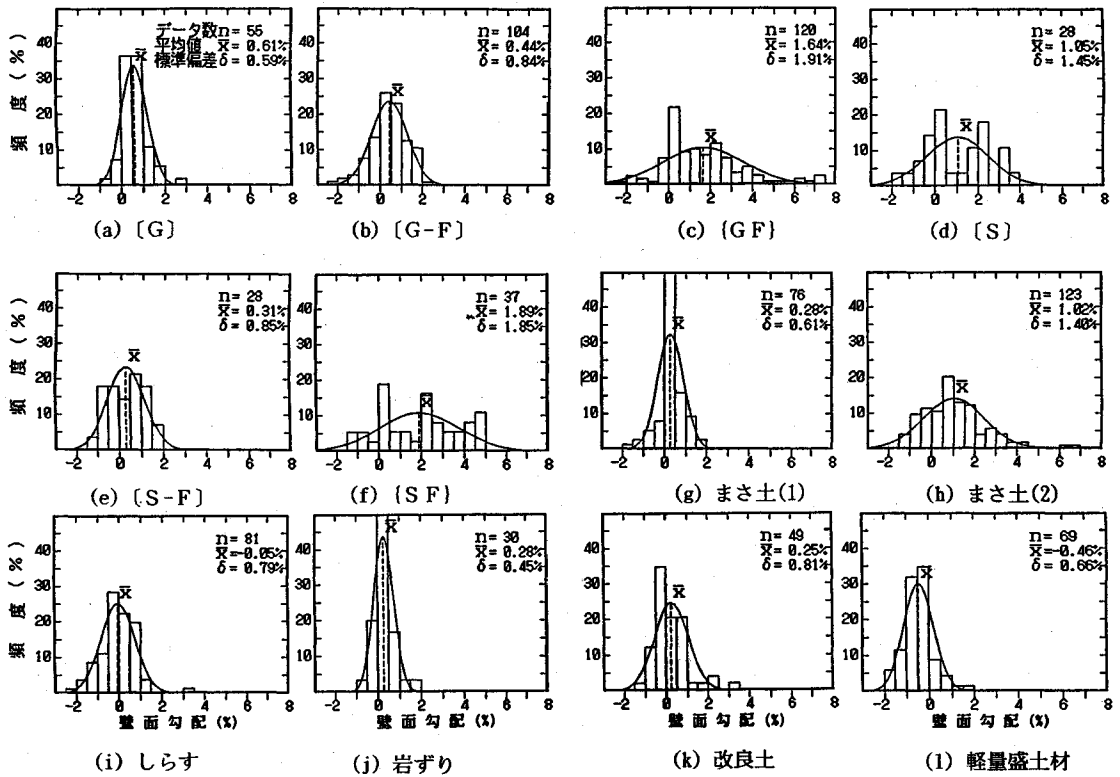
(2) 細粒分含有量と壁面勾配の関係

盛土材の細粒分含有量と壁面勾配の関係を図—4に示す。ここで軽量盛土材と改良土および岩ずりは除いている。これは軽量盛土材は細粒分含有量がほぼ一定であるため、改良土はセメント系固化材を添加して改良するので、細粒分含有量だけでは土性を評価できないため、また岩ずりは粒径が大きいため、室内での粒度試験では原土の土性を評価できないためである。図—4では、各施工现场ごとに使用した盛土材における細粒分含有量を横軸に、壁面勾配(平均値±標準偏差)を縦軸に示す。盛土材が礫粒土、砂粒土、まさ土の場合には、細粒分含有量の増加に伴い壁面勾配も大きくなっている。これらの盛土材は細粒分含有量が15~19%を越えると壁面勾配は

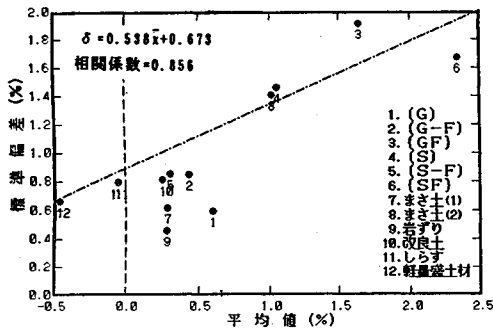
急に大きくなり、管理基準値の3%を越えるものも見られる。一方、しらすの場合は、細粒分含有量に関係なく、壁面勾配は1%以下である。さらに細粒分含有量が規定の25%を越えて40%になっても壁面勾配にほとんど変化は見られない。

(3) 盛土材別壁面勾配の頻度分布

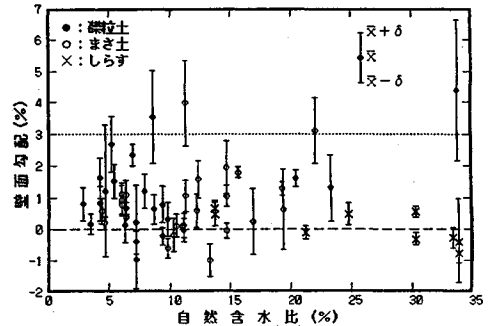
盛土材が礫粒土、砂粒土、まさ土の場合には、細粒分含有量により壁面勾配が変化する。そこで礫粒土を日本統一土質分類の[G], [G-F], {GF}に、砂粒土を[S], [S-F], {SF}に、また、まさ土を細粒分含有量が15%未満のまさ土(1)と15%以上のまさ土(2)に分類する。これらにしらす、岩ずり、改良土、軽量盛土材を加えた12種の盛土材ごとに壁面勾配の頻度分布を図—5に示し、盛土材ごとの壁面勾配の平均値と標準偏差の関係を図—6に示す。図—5より、盛土材ごとの壁面勾配の頻度分布は、ほぼ正規分布しており、壁面勾配の平均値、標準偏差は盛土材ごとに大きく異なることがわかる。壁面勾配の盛土材別平均値は、軽量盛土材、しらす、改良土、岩ずり、まさ土(1), [S-F], [G-F], [G], まさ土(2), [S], {GF}, {SF}の順で大きくなっている。また、標準偏差は岩ずり, [G], まさ土(1), 軽量盛土材, しらす, 改良土, [G-F], [S-F], まさ土(2),



図—5 壁面勾配の頻度分布



図—6 壁面勾配—平均値と標準偏差



図—7 自然含水比と壁面勾配

{S}, {SF}, {GF} の順で大きくなっている。また図—6より、壁面勾配の平均値と標準偏差には高い(正の)相関がある。これは壁面勾配の平均値が小さいとばらつきも小さく、平均値が大きいとばらつきも大きくなることを示している。

(4) 自然含水比と壁面勾配の関係

盛土材が礫粒土、まさ土、しらすの場合における自然含水比と壁面勾配の関係を図—7に示す。図では、各施工現場ごとに使用した盛土材における自然含水比を横軸に、壁面勾配(平均値±標準偏差)を縦軸に示す。盛土材が礫粒土、まさ土の場合は自然含水比の増加に伴い壁面勾配は大きくなる傾向にある。まさ土の場合は自然含

水比が11%を越えると壁面勾配は急に大きくなり、3%を越えるものも見られる。また、礫粒土の場合は壁面勾配が3%を越えるものは広い範囲の自然含水比に分布している。一方、しらすの場合は自然含水比34%付近で壁面勾配は負の値となっているが、その他では自然含水比に関係なく全体的に小さな値となっている。

(5) 施工完了後の経過年月と壁面勾配の関係

前述したように、壁面の計測は施工完了後1ヶ月～143ヶ月経過した時点で行った。施工完了後の経過年月と壁面勾配(現場毎の平均値)の関係を図—8に示す。図より、全盛土材において施工完了後の経過年月とともに、壁面勾配が増加していく傾向は見られない。ここで

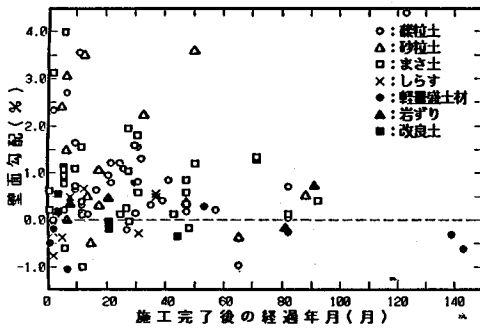


図-8 施工完了後の経過年月と壁面勾配

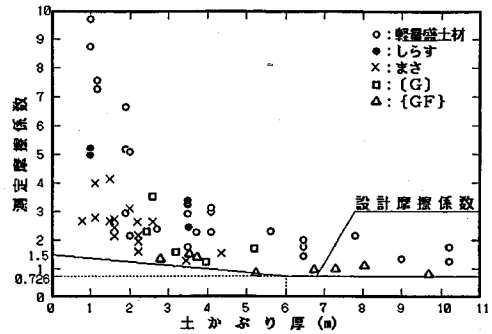


図-10 測定摩擦係数と土かぶり厚さ

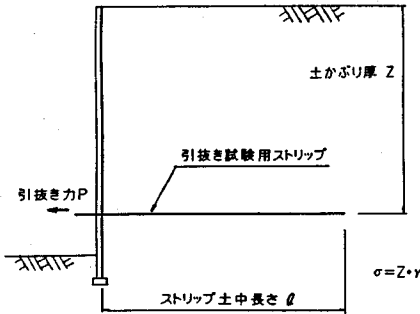


図-9 ストリップの引抜き試験

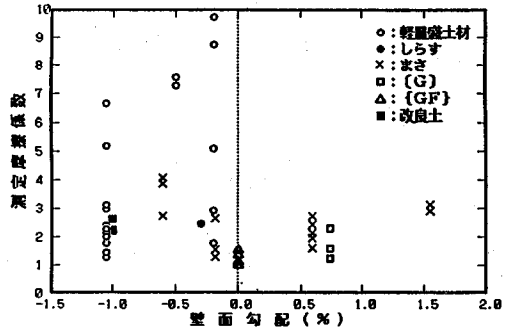


図-11 測定摩擦係数と壁面勾配

は測定時期の違いよりも、現場ごとのばらつきの方が大きい結果となっている。施工完了後の経過年月の影響は、それぞれの現場で経年的計測をしないと把握できないものと推察される。

(6) ストリップの摩擦係数と壁面変位の関係

現地でストリップの引抜き試験を行い、盛土材とストリップの摩擦係数と変位量を確認した。引抜き試験は、施工時に試験用のストリップを壁面から露出させて敷設し、これに油圧ジャッキを連結してストリップの引抜きを実施した。引抜き試験では、引抜き力とストリップの変位量を測定し、測定摩擦係数 (f) は次式を用いて算出した(図-9)。また、ストリップは実際の現場で通常使われているリブ付ストリップを使用した。

$$f = \frac{P}{2 \cdot b \cdot \sigma \cdot l} \dots \dots \dots (1)$$

- P: ストリップの最大引抜き力 (tf)
- b: ストリップの幅 (0.06 m)
- σ : ストリップの上方にある土の重量 (tf/m²)
- l: ストリップの土中長さ (m)

測定摩擦係数とストリップの土かぶり厚さの関係を盛土材別に示したのが図-10である。測定摩擦係数は、マニュアル¹⁾で定められた設計摩擦係数 (1.5~0.726) を上回っている。また、測定摩擦係数は盛土材により異なるとともに、土かぶり厚さが小さいほど大きくなって

いる。土かぶり厚さが小さい時摩擦係数が大きくなるのは、盛土材の持つ見かけの粘着力が影響していると考えられる。

また、測定摩擦係数と壁面勾配(平均値)の関係を図-11に示す。図より、両者の間には明瞭な関係は見いだせない。これは図-10に示すように、測定摩擦係数は盛土材だけでなく、土かぶり厚さに影響を受けるためと考えられる。

5. 考 察

テールアルメ工法の施工時には、壁面が前面側に変位しやすいので通常、壁面材を盛土側に約1%傾けて設置する。これを考慮にいと、大部分の盛土材において施工中および完成後に壁面は前面側に変位したことになる。また盛土材によりその変位量が異なるため、結果として盛土材別の壁面勾配も大きく異なっている。ところで、補強材であるストリップは鋼板(弾性係数 $E=2.1 \times 10^6 \text{kgf/cm}^2$)であるため、それ自体の伸びは1m当たり最大0.67mmと壁面の変位量に比較して無視できるほど小さい。したがって、壁面変位はストリップに必要な摩擦抵抗力を発揮させるために、ストリップと盛土材との間に生じたものと考えられる。

盛土材が礫粒土、砂粒土、まさ土の場合には、細粒含有量が15~19%を越えると壁面の変位は大きくなり、

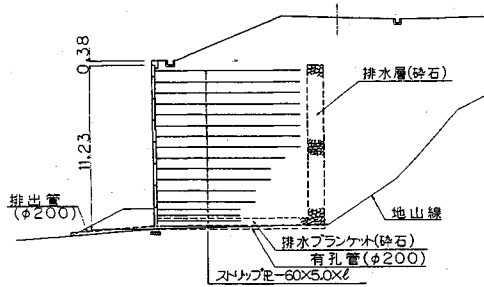


図-12 地下排水工の例

表-2 十分な地下排水工を設けた壁面勾配

土質名	細粒分含有量	壁面勾配 (測点数)	同一盛土材の平均壁面勾配 (図-5より)
まさ土(2)	23.1%	0.40% (n=4)	1.02% (n=123)
{SF}	29.7%	-0.49% (n=6)	1.89% (n=37)

管理基準値を越える場合もある。これは、これらの盛土材は細粒分含有量が15~19%付近を境界にその土性が変化するためであると考えられる。倉田ら³⁾は細粒分含有量が約20%を越えると、また、落合ら⁴⁾は細粒分含有量が約17~18%を越えると、砂の性質から砂と粘土の中間的な性質を有する中間土になると報告している。また、日本道路公団のデータ⁵⁾によると、細粒分含有量が20%以下では締固め度90%を満足するが、20%を越えると満足しない場合がある。これらの値は今回の調査結果とほぼ一致している。

これら管理基準値を越えた現場を調査すると、テールアルメ完成後、降雨などによる水の侵入が原因で変位したものが多くと推察される。逆に細粒分含有量が20%を越える盛土材(細粒分が23.1%のまさ土および29.7%の砂粒土)を使用しても、図-12に示すように、ストリップが敷設されている範囲に水が浸透しないような地下排水工を設置している現場の壁面勾配は、図-5に示す同一盛土材の平均壁面勾配より小さい(表-2参照)。以上より、細粒分含有量が15%以上の礫粒土、砂粒土、まさ土においては、水の浸透が壁面変位に大きな影響を与えるので、盛土内に地下排水工を設置することが変位を少なくするための対策工の一つと考えられる。また、細粒分含有量が25%を越える盛土材に適用される改良土の壁面変位は非常に小さいことを考えると、細粒分含有量が15~25%の礫粒土、砂粒土、まさ土においても、少量のセメント系固化材を添加して改良するという対策が考えられる。

以上より、壁面変位を考慮したテールアルメ盛土材の適用範囲を提案すると表-3のようになる。

表-3 壁面変位を考慮したテールアルメ盛土材の適用範囲

土質名	適用範囲	壁面変位の傾向・対策
礫粒土 砂粒土 まさ土 岩ずり	細粒分含有量が15%以下の材料	壁面変位は小さく、管理基準値を越える変位は計測されなかった。
しらす	細粒分含有量が40%以下の材料	壁面勾配の平均値は-0.46~0.61%
軽量盛土材	水さいスラグ、クリンカーアッシュ	
改良土	細粒分含有量が25%以上の材料	セメント系固化材で改良すると壁面変位は小さい
礫粒土 砂粒土 まさ土	細粒分含有量が15~25%の材料	そのままでは管理基準値を越える変位もある。地下排水工、軽微な改良が対策として有効。

6. まとめ

テールアルメ工法における盛土材と壁面変位の関係をまとめると次のようになる。

(1) 盛土材がテールアルメの壁面変位に与える影響は大きい。すなわち、盛土材により壁面変位量、壁面勾配は大きく異なる。

(2) 礫粒土、砂粒土、まさ土においては細粒分含有量が壁面変位に大きな影響を与え、15~19%を越えると変位は急に大きくなる。この変位が急に大きくなる盛土材の境界は、砂と中間土の境界にほぼ一致する。一方、しらすにおいては細粒分含有量が40%以内であれば、壁面変位には影響を与えない。

(3) 盛土材ごとの壁面勾配の頻度分布は、ほぼ正規分布している。

(4) 盛土材別に壁面勾配の平均値と標準偏差の関係をみると、正の相関が見られる。これは壁面勾配の平均値が小さいときはばらつきも小さく、壁面勾配の平均値が大きいとばらつきも大きいことを示す。

(5) 礫粒土、まさ土においては盛土材の自然含水比の増加に伴い壁面勾配は大きくなる傾向にあるが、しらすにおいては自然含水比に関係なく、壁面勾配は小さい値となっている。

(6) 施工完了後の経過年月とともに、壁面勾配が増加していく傾向は見られない。今回の調査結果では、測定時期の違いよりも、現場ごとのばらつきの方が大きい結果となっている。壁面勾配に与える施工完了後の経過年月の影響は、それぞれの現場で経年的計測を実施しな

いと把握できないものと推察される。

(7) ストリップの摩擦係数と壁面変位には明瞭な関係はない。これは摩擦係数が盛土材だけでなく、土かぶり厚さの影響を受けるためであると考えられる。

(8) 細粒分含有量が15~25%の礫粒土、砂粒土、まさ土においては、水の浸透が壁面変位に与える影響が大きく、ストリップが敷設されている範囲に、水を浸透させない地下排水工の設置が対策工として有効と考える。また、これらの盛土材にセメント系固化材を添加して改良する方法も壁面変位を小さくするために有効と考える。

(9) 以上より、壁面変位を考慮した盛土材の適用範囲を提案すると次のようになる。

細粒分含有量が15%以下の礫粒土、砂粒土、まさ土、細粒分含有量が25%以下の岩ずり、細粒分含有量が40%以下のしらす、および水さいスラグやクリンカーアッシュなどの軽量盛土材については、壁面変位は小さく、管理基準値を越えることはない。また、細粒分含有量が25%を越える盛土材についても、セメント系固化材を添加することにより、壁面変位は小さくなる。細粒

分含有量が15~25%の礫粒土、砂粒土、まさ土の場合は、壁面変位は大きくなり、管理基準値を越える場合もある。この対策としては、地下排水工の設置およびセメント系固化材を添加する軽微な改良が有効な方法と考える。

謝辞：本研究では、信州大学の川上浩教授に有益なご助言を戴いた。ここに、感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 土木研究センター：補強土(テールアルメ)壁工法設計・施工マニュアル 改訂版, p.57, 1988.
- 2) 建設省土木研究所施工研究室：補強土設計施工指針(案), p.37, 1981.
- 3) 倉田 進・藤下利夫：砂と粘土の工学的性質に関する研究, 運輸省港湾技術研究所報告, 第11巻, 第9号, pp.389~424, 1960.
- 4) 落合英俊・大嶺聖：砂と粘土の混合土の圧縮および強度特性, 土と基礎, Vol.41, No.7, pp.11~16, 1993.
- 5) 若槻良行・瓦川善三・奥田和浩：RI計器による盛土の品質管理データの解析と使用実態, 日本道路公団試験所報告, p.15, 1988.

(1993.7.20 受付)

RELATIONSHIP BETWEEN FILLING MATERIAL AND WALL DEFORMATION IN TERRE ARMEE METHOD

Noriyasu OGAWA

Terre Armeé method has a feature that walls are easily deformed. The investigation on relationship between filling materials and wall deformation indicates that wall deformation is greatly influenced by a filling material, namely, it is affected by fine fraction content, natural water content. From these results, a proposal is given with regard to an applicable range of the Terre Armeé filling material considering wall deformation, which is different from that of conventional filling materials.