

## テールアルメ設計例(水辺テールアルメ)

### 1. 概説

水辺テールアルメとは、河川、湖沼、池や海岸等の水辺に直接接して構築されるテールアルメをいう。国内での水辺テールアルメの実績は、池や河川に接するものが十数件あるが、海外では海洋構造物やダム本体に使用されているのも含めて非常に多くの実績がある。最近はダムの付替え道路などで水辺テールアルメの計画が多くなっている。

ここでは水辺テールアルメの設計法、施工法を実例をあげて紹介することにする。

### 2. 設計上のポイント

水辺テールアルメの設計は基本的には通常のテールアルメと同様であるが、次の項目については特別の検討が必要である。

- ①盛土材料:盛土材料の透水性と残留水圧の関係、盛土材料の飽和・不飽和状態での摩擦係数および内部摩擦角
- ②テールアルメ部材:スキン、ストリップ
- ③盛土材料の吸い出し防止
- ④基礎部の洗掘防止
- ⑤その他:テールアルメ壁面の透水性、盛土材料の分離

ここでは、各々について詳しく述べる。

#### (1)盛土材料

水辺テールアルメの設計法には、盛土部分に水を侵入させない方法と、水が侵入する方法が考えられる。前者は施工的に困難なため、現在は後者の盛土部分に水が侵入する方法で設計している。したがって水辺テールアルメに使用する盛土材料の透水性、盛土材料の飽和・不飽和状態での摩擦係数および内部摩擦角を確認しておく必要がある。

#### (i)盛土材料の透水性

干潮区域や貯水ダムなどでは水辺テールアルメ前面の水位低下により、壁内外に $\Delta h$ の水位差が生じることがある。この $\Delta h$ は盛土材料の透水性が良いほど小さくなる。農林水産省構造改善局の土地改良事業計画設計基準によれば、フィルダムにおいて貯水位急低下時における堤体材料の透水係数 $k$ と堤内水位の関係は表1のようになる。

表1 堤体材料の透水係数 $k$ と堤内水位の関係(貯水位急低下時)

透水係数 $k$ (cm/s)	堤内水位
$1 \times 10^{-3}$ 以上	貯水位の降下に伴い堤内水位も降下する
$1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-4}$	貯水位の降下に伴いある程度堤内水位も降下する
$1 \times 10^{-4}$ 未満	貯水位の降下に伴い堤内水位はほとんど低下しない

また盛土材料における $75 \mu\text{m}$ 以下の細粒分含有量と透水係数 $k$ との関係は図2のようになる。以上の図表およびその他の資料より、盛土材料における細粒分の含有量、透水係数、残留水圧 $C$

壁内外における $\Delta$ の水位差)の関係を表2のように決定した。

(ii)盛土材料の飽和・不飽和状態での摩擦係数および内部摩擦角

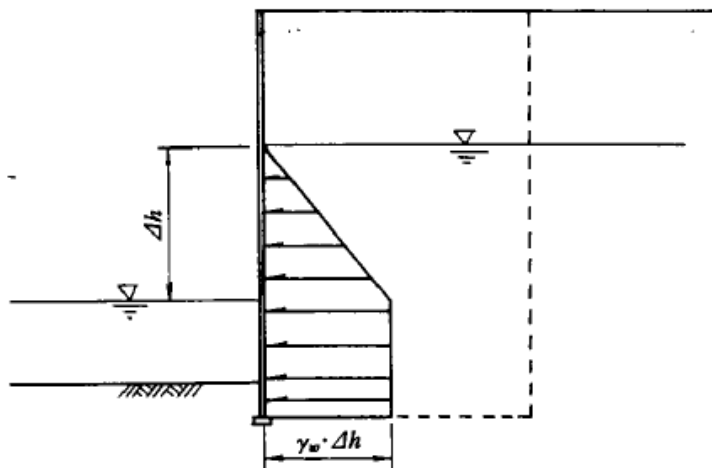


図1 水辺テールアルメの残留水圧

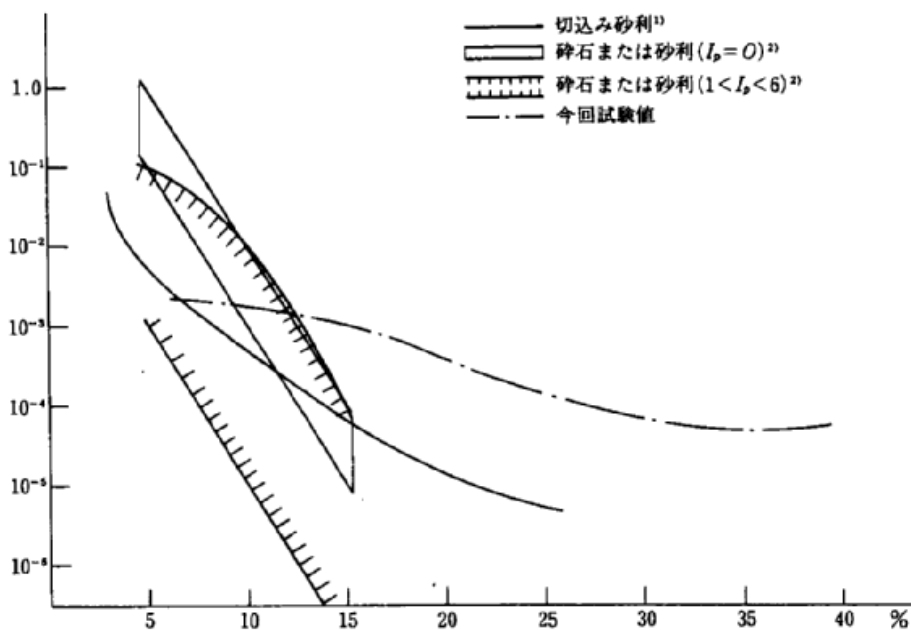


図2 盛土材料における細粒分含有量と透水係数

表2 盛土材料における細粒分の含有量,透水係数,残留水圧の関係

細粒分含有量 $p$ (%)	透水係数 $k$ (cm/s)	残留水圧( $\Delta h$ )の大きさ
$p \leq 5$	$1 \times 10^{-3}$ 以上	残留水圧は考慮しない。すなわち $\Delta h = 0$ とする。
$p > 5$	$1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-4}$	残留水圧は考慮する。前面水位の降下に伴い盛土内水位はある程度降下する
	$1 \times 10^{-4}$ 未満	残留水圧は考慮する。ただし前面水位の降下に伴い盛土内水位は降下しない

表3 配合試料の特性

試料		試料 A	試料 B	試料 C	試料 D	試料 E
粒度特性	礫分(2000 $\mu$ m 以上)%	53	45	46	37	30
	砂分(74~2000 $\mu$ m)%	40	40	35	38	32
	シルト分(5~75 $\mu$ m)%	2	6	3	4	9
	粘土分(5 $\mu$ m 以下)	5	9	17	22	30
	最大粒径 mm	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4
	均等係数 $U_c$	36.1	740	—	—	—
	曲率係数 $U_c'$	0.15	3.94	—	—	—
分類	日本統一土質分類	(G-C)	(GC)	(GC)	(SC)	(SC)
締固め特性	試験方法	1.6.b	1.6.b	1.6.b	1.6.b	1.6.b
	最大乾燥密度 g/cm <sup>3</sup>	2.14	2.18	2.16	2.15	2.00
	最適含水比 %	7.0	6.8	7.0	8.4	11.0
透水係数	試験方法 透水係数 cm/s	定水位 $2.18 \times 10^{-3}$	定水位 $1.02 \times 10^{-3}$	定水位 $4.31 \times 10^{-4}$	変水位 $3.44 \times 10^{-4}$	変水位 $5.18 \times 10^{-5}$

筆者らはテールアルメ盛土材料の飽和・不飽和状態でのせん断特性試験を行った。盛土材料には細粒土と粗粒土の混合により表3に示す 5 つの試料を使用した。また試験は、有効応力で解析することを前提に、飽和土に対しては間隙水圧を測定する圧密非排水三軸圧縮試験(CU)により  $\phi$ ,  $c$  を求め、不飽和土に対しては非圧密排水三軸圧縮試験(D)により  $\phi$ ,  $c_d$  を求めた。表4にその試験結果を示す。

ストリップと盛土材料との摩擦係数は、ストリップに作用する鉛直応力  $\delta$  とストリップに作用する最大せん断応力  $\tau_{max}$  との比( $f^* = \tau_{max} / \delta$ )で定義される。締固められた盛土材料で引抜き試験を行うと、 $\tau_{max}$  は次式で与えられ、一般に粘着力の項を含むことが多い。

$$\tau_{max} = c + \delta \tan \phi$$

ここで、 $c$ ,  $\phi$  は平滑ストリップの場合はストリップと盛土材料との間で生じる粘着力と内部摩擦角であるが、リブ付ストリップの場合は、盛土材料の粘着力と内部摩擦角である(図3参照)。

表4に示した試料の飽和・不飽和状態での摩擦係数を整理すると、図4のようになる。この図より明らかになったことを以下に述べる。

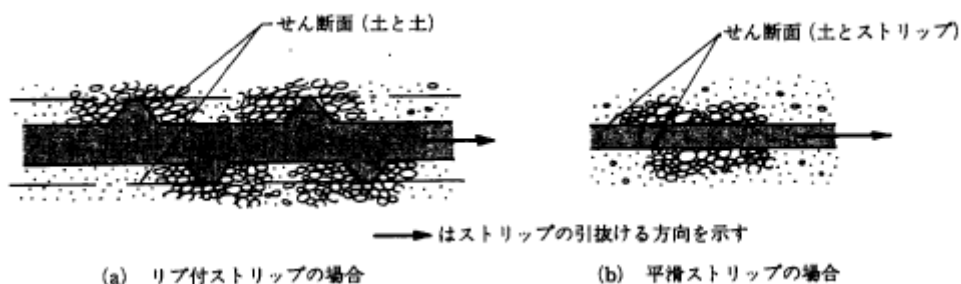


図3 ストリップ引抜け時のせん断面

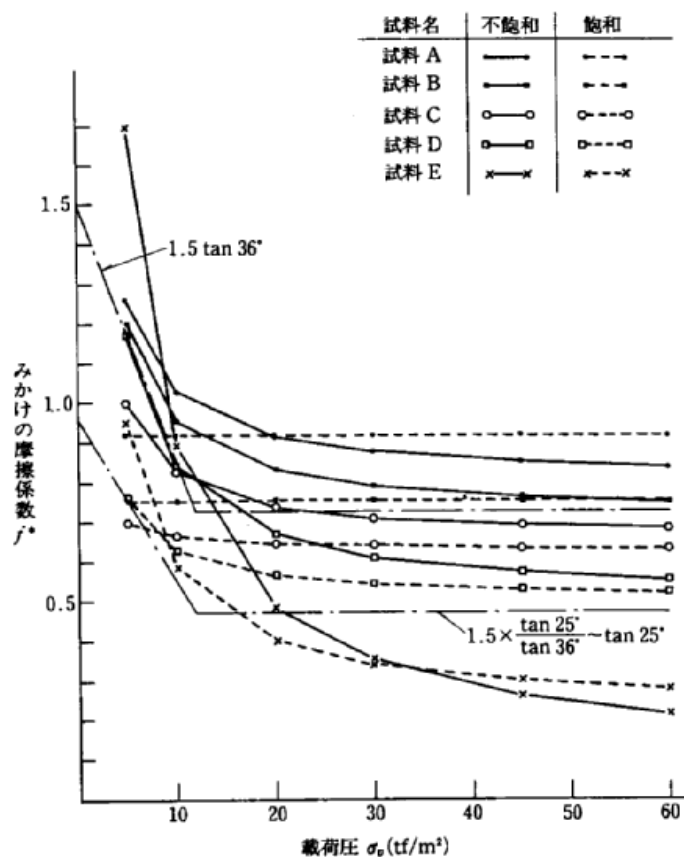


図4 みかけの摩擦係数(飽和と不飽和)

表4 飽和土と不飽和土のせん断試験結果

試料	飽和土		不飽和土	
	内部摩擦角 $\phi$	粘着力 $c'$	内部摩擦角 $\phi_d$	粘着力 $c_d$
A	42.5°	0.0 tf/m <sup>2</sup>	38.6°	2.28 tf/m <sup>2</sup>
B	36.9	0.0	35.2	2.45
C	32.1	0.35	32.9	1.79
D	26.4	1.3	26.4	3.35
E	12.1	3.68	4.5	8.10

- ①飽和・不飽和状態とも細粒分の含有量の増加に伴い,摩擦係数は低下する。
- ②細粒分の含有量が 15%以下(試料 A,B)の場合,飽和・不飽和状態とも摩擦係数は  $1.5 \sim \tan 36^\circ$  吃ほぼ満足する。
- ③細粒分の含有量が 20%以上(試料 C,D)の場合,飽和状態での摩擦係数は不飽和状態のものより小さくなる。
- ④細粒分の含有量が 26%以下に限ると,飽和状態でも摩擦係数は  $1.5 \times \frac{\tan 25^\circ}{\tan 36^\circ} \sim \tan 25^\circ$  を満足する。

今回の試験では,試料 C,D の不飽和状態での摩擦係数は  $1.5 \sim \tan 36^\circ$  以下となっているが,過去現場で行われた実際のストリップ引抜き試験では,細粒分の含有量が 25%以下であれば,摩擦係数は  $1.5 \sim \tan 36^\circ$  を満足している。これは現場では時間効果,ストリップの不陸およびダイレイタンシーなどにより,室内試験結果より大きくなると考えられるからである。

以上より水辺テールアルメにおける盛土材料と土質定数の関係を表5のように決定した。

表5 水辺テールアルメにおける盛土材料と飽和状態での土質定数

細粒分含有量 P(%)	残留水圧の有無	摩擦係数		土圧係数		摘要
		水位より上	水位より下	水位より上	水位より下	
$P \geq 5$	残留水圧は考慮しない	$1.5 \sim \tan 36^\circ$		$K_0 = 1 - \sin \phi'$ $KA = \tan^2(\pi/4 - \phi'/2)$ ここで $\phi' \geq 35^\circ$		摩擦力 $= \sigma' \cdot \sigma'$ 土圧力(水圧) $= K \cdot \sigma' + u$ ここで $\sigma'$ :有効鉛直応力 $u$ :間隙水圧
$5 < p \leq 15$	残留水位を考慮する			$1.5 \sim \tan 36^\circ$	$1.5 \times \tan 25^\circ / \tan 36^\circ \sim \tan 25^\circ$	
$15 < p \leq 25$						

(2)テールアルメ部材

(i)スキン

水辺テールアルメに使用するスキンは,メタルスキンではなく,コンクリートスキンを使用するのが基本としている。

ただし,河川や海岸に接する場合には,コンクリートスキンに浮遊物が衝突して外部から直接力が加わることがある。そのときにはスキン前面に防護壁を設けたり,スキン自体の強度計算を行い,スキンを厚くしたり,鉄筋量を増やすなどの対策を施す場合もある。

(ii)ストリップ

水辺テールアルメに使用するストリップも通常のものを使用するのが基本としている。しかし水に接するストリップは,水に接しないものより腐食が速いと考えられる。

通常の陸上テールアルメの場合,ストリップの腐食代(Cm)は 1.0mm であるが,水辺テールアルメの場合,同程度の耐用年数を期待するためには,腐食代を多く取る必要がある。現在はフランスの資

料(表6)より,淡水にさらされる場合,6m=1.5~2.0mm(耐用年数は70~100年を期待)として設計している。

表6 ストリップの腐食代 Cm 単位(mm)

工事の分類 (腐食に対する環境条件)	耐用期待年数			
	70年		100年	
	A	AZ	A	AZ
水の影響がない場合	3.0	1.0	4.0	1.5
淡水にさらされる場合	4.0	1.5	5.0	2.0
海水にさらされる場合	5.0	-	7.0	-

注)A:被覆のない黒皮の鋼 AZ:亜鉛メッキ鋼板

### (iii)その他の部材

水辺テールアルメのその他の部材すなわちボルト・ナット,透水防砂材,水平目地材も通常のものを使用している。

### (3)盛土材料の吸い出し防止,

水辺テールアルメ前面の水位低下による盛土材料の吸い出し防止のため,スキンの鉛直,水平両方向の目地部に,盛土側から透水防砂材(透水性ジオテキスタイル)をあてがう。鉛直方向には,通常のテールアルメにおいても使用しているが,これに加えて水平方向の目地部においても使用する。

### (4)基礎部の洗掘防止

水辺テールアルメの根入れ深さは,スキン前面の水位やその変動状況により一概にはいえないが,基礎部が洗掘されるおそれがないように十分な根入れ深さとする。河川においてテールアルメが水衝部に設置される場合には,とくに注意が必要である。一般には通常のテールアルメよりも深く根入れしている。

また,洗掘防止の方法としては,スキン前面と地盤面とが接する部分に捨石,蛇籠,ふとん籠もしくはコンクリートブロックなどによる根固め工を施す。

### (5)その他

#### (i)テールアルメ壁面の透水性

水辺テールアルメに使用する盛土材料は,透水性の良い材料を使用するのが基本であり,また透水係数についてもある程度推測できる。しかし,テールアルメ壁面の透水性については知られていない。そこで,テールアルメ全体の透水性を高める方法として,次に示すような対策工が考えられる。

①図5に示すように,コンクリートスキンの基礎部のまわりに排水層を設け,スキン以外からもテールアルメ盛土材料からの水を流出できるようにする。

②図6に示すように,最下段のコンクリートスキンに排水孔を設け,壁面自体の透水性を高める。排水孔はスキんに均等に配置し,背面からは盛土材料が流出しないように透水防砂材をあてる。

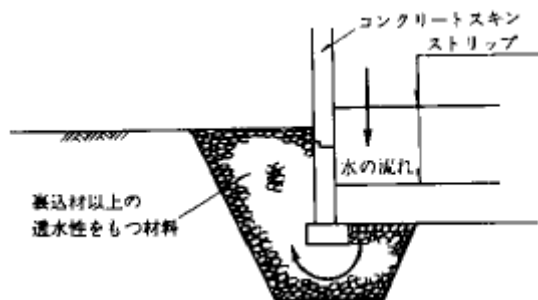


図 5 基礎部の排水工

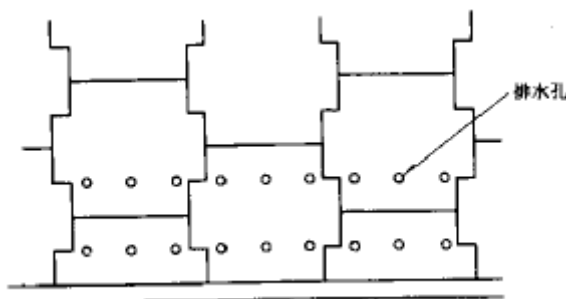


図 6 コンクリートスキンの排水工

(ii)盛土材料の分離

水辺テールアルメの盛土材料は、通常スキン前面の水位により 2 種類のものを使用される。すなわち水位以下になる盛土材料には透水性の良いものを使用されるが、水位より上には、透水性に関係なく細粒分 25%以内のものを使用される。この両者の盛土材料が接するところでは、長期間に細粒分が移動し、透水性の良い盛土材料の間隙を埋めて透水性を低下させることが考えられる。よって盛土材料が次のような状態にある場合には、透水防砂材を敷設して『盛土材料の分離』をはかり、水位以下になる盛土材料の透水性を長期間確保する。

- ①水位以下の盛土材料と比較して、水位より上の盛土材料が細粒分を多く含む場合には、その境界に透水防砂材を敷設する。
- ②水辺テールアルメの盛土材料と比較して、その背後の盛土材料や地山が細粒分を多く含む場合には、その境界に透水防砂材を敷設する。