

## 6. 現況堤防の安全性に関する検討方法および条件

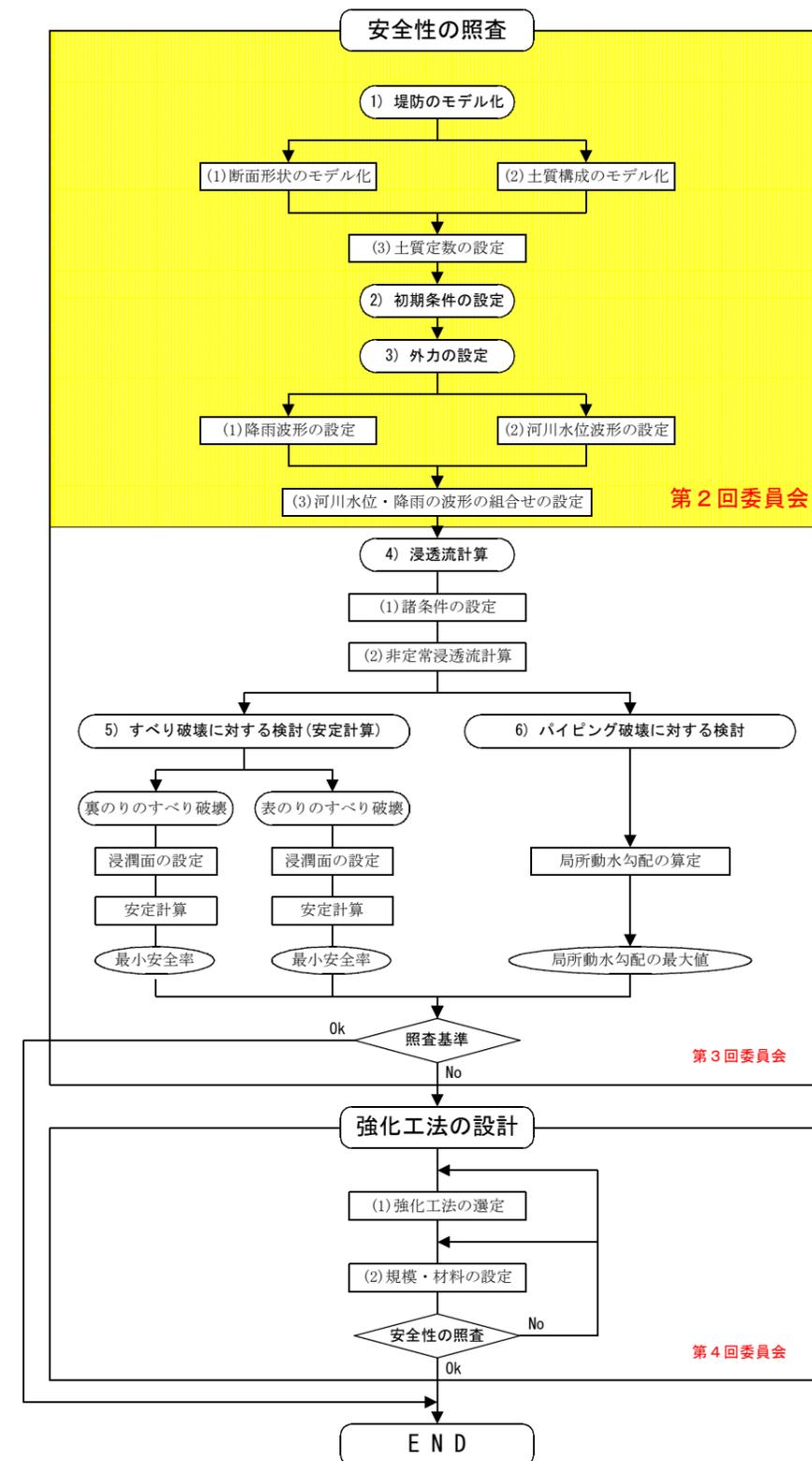
### 6.1 浸透問題に関する検討方法および条件

#### 6.1.1 検討方法

- 現況堤防の安全性に関する検討は、「河川堤防の構造検討の手引き(平成14年7月)：財団法人国土技術研究センター」に準拠して実施する。

#### ■ 検討条件

検討項目	検討内容	必要な検討条件
浸透	非定常浸透流計算および円弧すべり法による安定計算により、下記の検討を行う。 ●すべり破壊に対する検討 ●パイピング破壊に対する検討	●堤防のモデル化 ①断面形状のモデル化 ②地層構成のモデル化 ③土質定数の設定 (透水係数, 単位体積重量, 内部摩擦角, 粘着力)
		●洪水外力 ①降雨量(事前, 洪水時) ②河川水位(平常時, 洪水時)



浸透に対する堤防の構造検討の手順

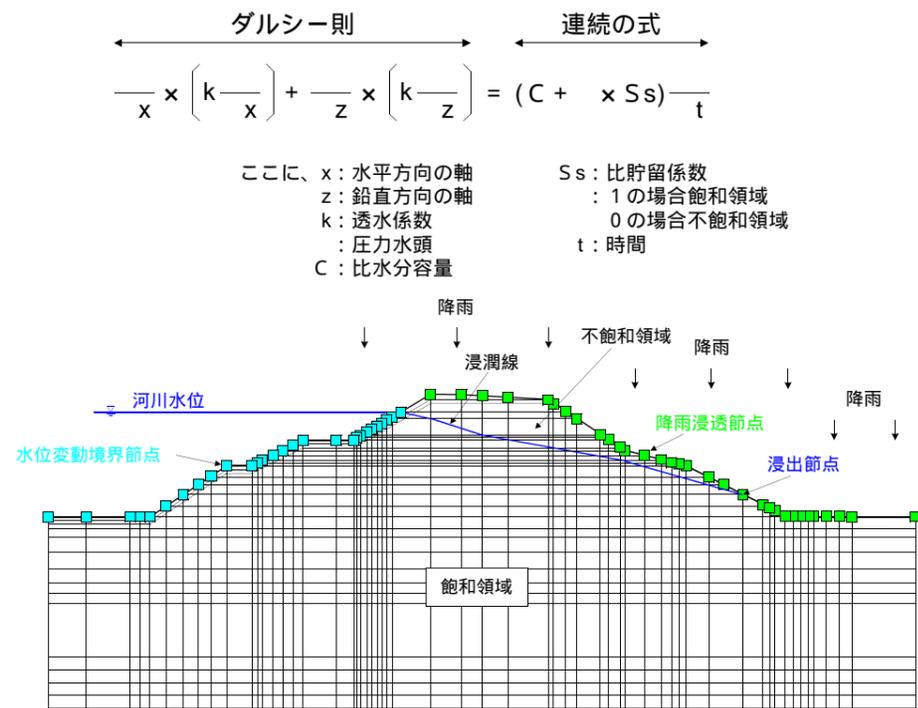
## 非定常浸透流解析

堤防をモデル化し、河川水および降雨が時間の経過とともにどのように堤体に浸透していくかを解析する。

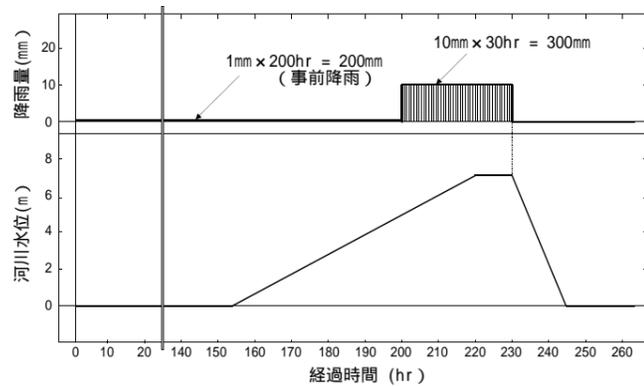
### 解説

河川水および降雨が時間とともにどのように堤体に浸透していくかを求めるため、河川水位の時間的変化として洪水の波形で表し、降雨は大きさを時間分布でそれぞれ表し、これらを堤防に与える外的要因とする。さらに内的要因として堤体、基礎地盤の土質を透水係数や貯留係数、不飽和水分特性などの水理定数ごとに分類し、解析条件として与える。

飽和と不飽和領域を対象とした解析手法として有効な有限要素法による浸透流解析の基本式は、以下のとおりである。



浸透流解析モデル説明図



降雨と河川水位波形の組合せ例

## 安定解析(円弧すべり法)

浸透流解析で得られた堤防に対して最も危険な浸潤線を用いて、堤防のすべり破壊に対する安全度を求める。

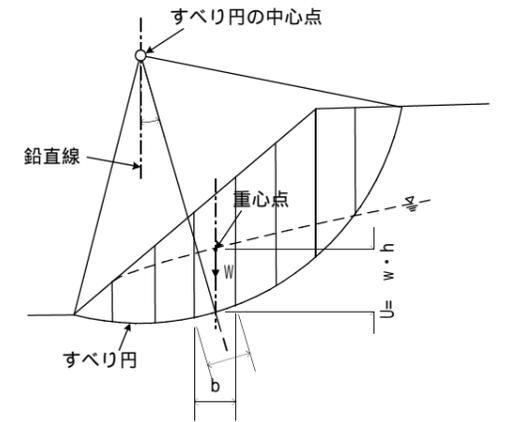
### 解説

安定性の検討は、非定常浸透流解析により求めた各時刻の堤体および基礎地盤の浸透状態(浸潤線)をもとにして、堤防の安定計算により判定する。ここでは、外的要因として非定常浸透流解析により求めた堤体浸潤線を、内的要因として力学定数(内部摩擦角  $\phi$ , 粘着力c)をそれぞれ解析条件として与える。

安定計算の基本式は以下のとおりである。

$$F_s = \frac{(c \times l + (W - U \times b) \times \cos \alpha \times \tan \phi)}{W \times \sin \alpha}$$

ここに、F<sub>s</sub>: 安全率  
c: 粘着力(kN/m<sup>2</sup>)  
l: 分割片で切られたすべり面の弧長(m)  
W: 分割片の全重量(kN/m)  
U: 間隙水圧(kN/m<sup>2</sup>)  
b: 分割片の幅(m)  
 $\alpha$ : 各分割片で切られたすべり面の中点とすべり面の中心を結ぶ直線と鉛直線のなす角(度)  
 $\phi$ : 内部摩擦角(度)



## パイピング破壊に対する検討

浸透流解析で得られた堤防裏のり尻における圧力水頭を用いて、堤防のパイピング破壊に対する安全度を求める。

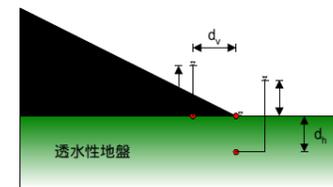
### 解説

・透水性地盤で被覆土層がない場合

$$i_v = \frac{d_h}{d_v} = \frac{-d_v \cdot w}{d_v} \quad (\text{鉛直方向})$$

$$i_h = \frac{d_v}{d_h} = \frac{w}{d_h} \quad (\text{水平方向})$$

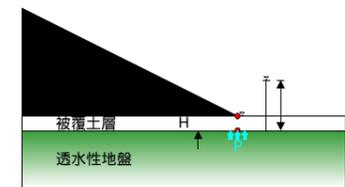
ここに、i<sub>v</sub>: 鉛直方向の局所動水勾配  
i<sub>h</sub>: 水平方向の局所動水勾配  
d<sub>v</sub>: 節点間の全水頭差(m)  
d<sub>h</sub>: 節点間の圧力水頭差(m)  
d<sub>v</sub>: 節点間の鉛直距離(m)  
d<sub>h</sub>: 節点間の水平距離(m)  
w: 水の密度(10kN/m<sup>3</sup>)



・透水性地盤で被覆土層がある場合

$$G / W = ( \rho_t \cdot H ) / ( \rho_w \cdot P )$$

ここに、G: 被覆土層の重量(kN/m<sup>2</sup>)  
W: 被覆土層底面に作用する揚圧力(kN/m<sup>2</sup>)  
 $\rho_t$ : 被覆土層の密度(kN/m<sup>3</sup>)  
H: 被覆土層の厚さ(m)  
 $\rho_w$ : 水の密度(10kN/m<sup>3</sup>)  
P: 被覆土層底面の圧力水頭(全水頭と位置水頭の差)(m)

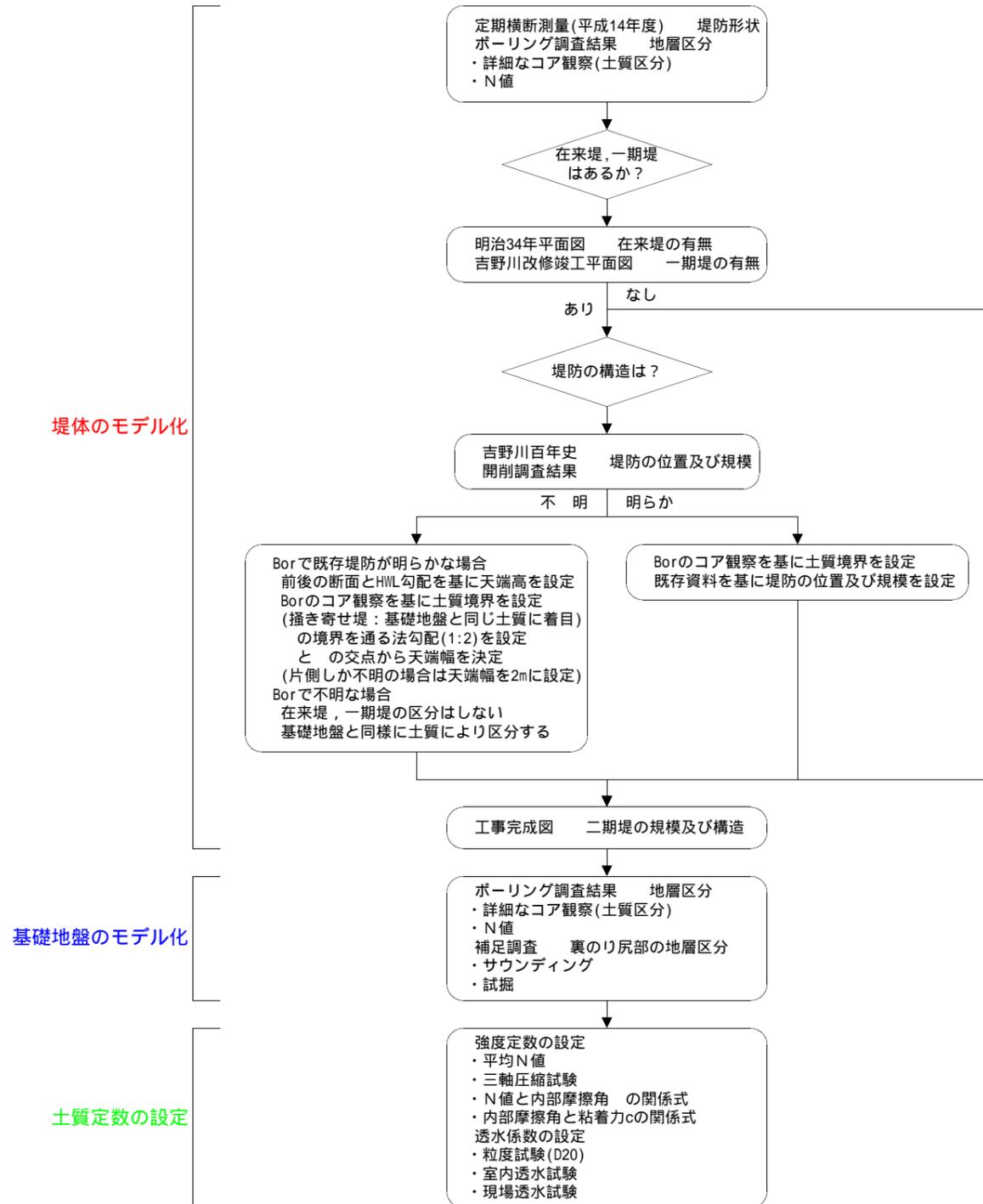


### 6.1.2 堤防のモデル化

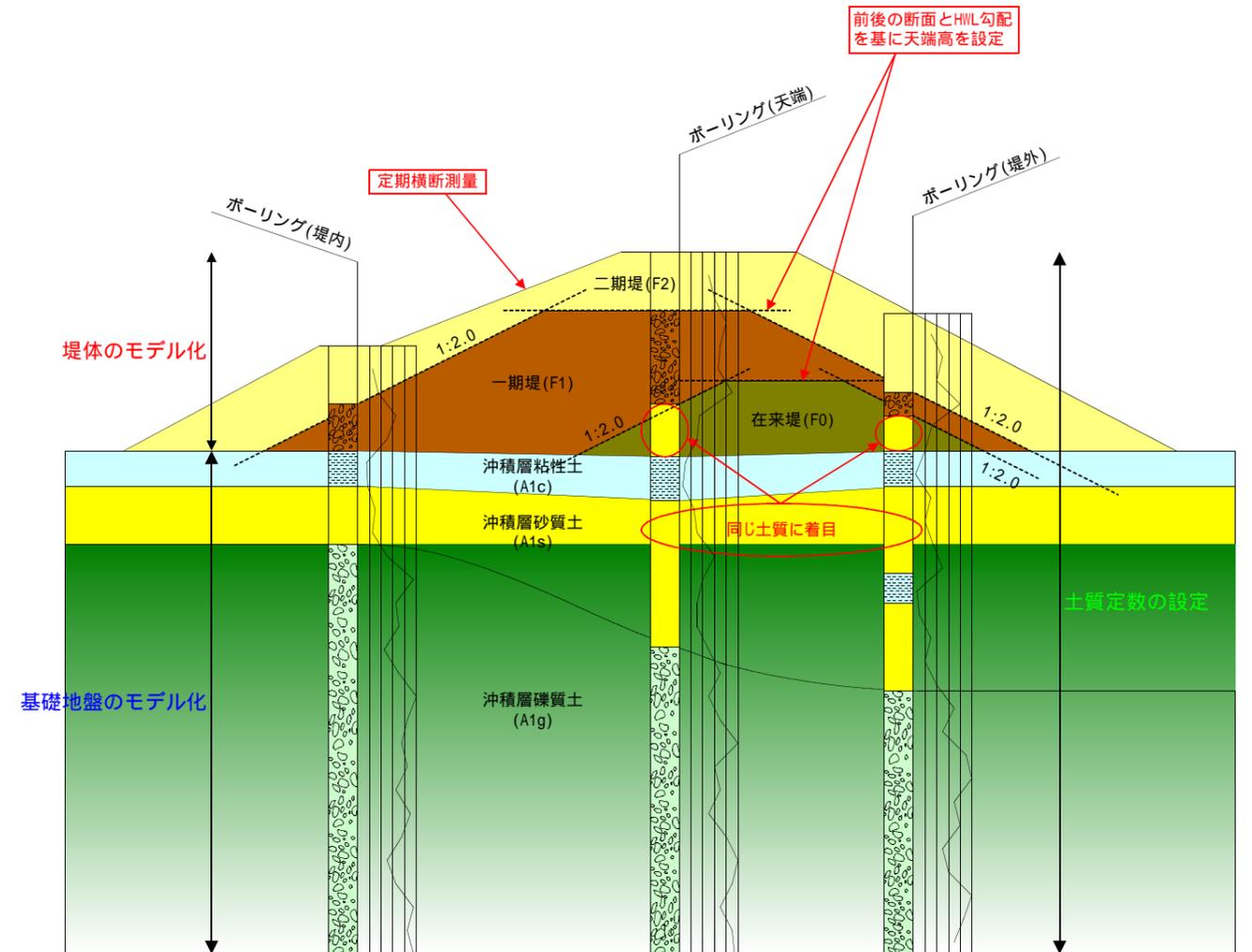
#### 断面形状および地層構成のモデル化

堤防の浸透に対する検討を行うにあたっては、堤体を含めた地盤を数値モデル化する必要がある。

以下にモデル化のフローを示す。



堤防モデル化のフロー図



堤防モデル化の概要図

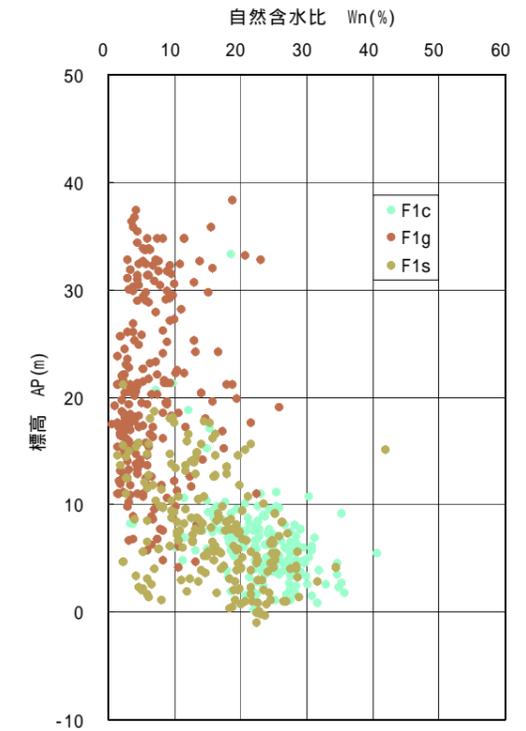
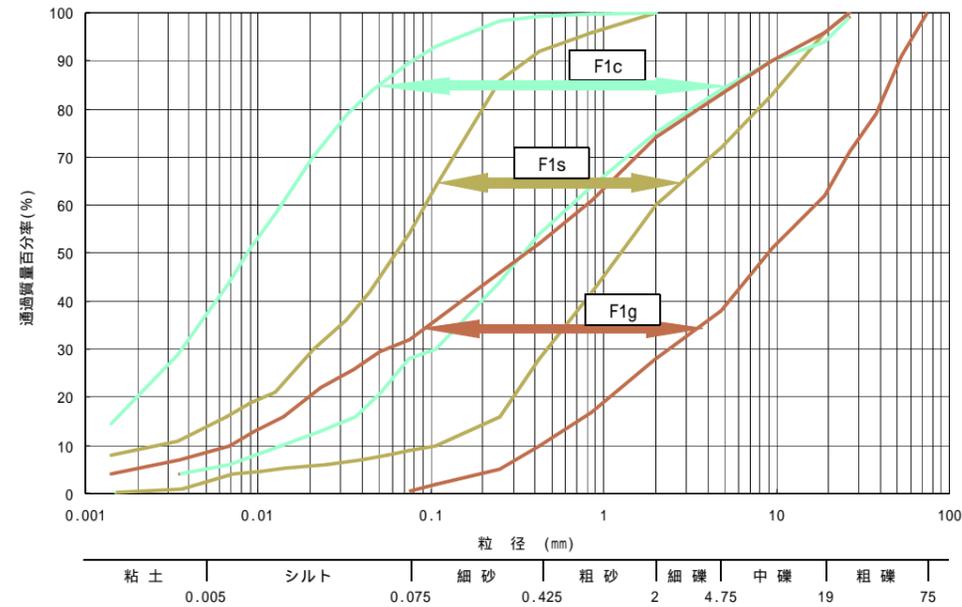
各地層の特徴

堤防を構成する地質は、大きく 堤体部分の土質、 基礎地盤部分の土質に区分される。

ここでは、堤体部分の土質のうち大部分を占める一期堤(F1)と、基礎地盤部分の土質のうち表層付近に分布する粘性土および砂質土(A1c, A1s)の物理特性について示す。

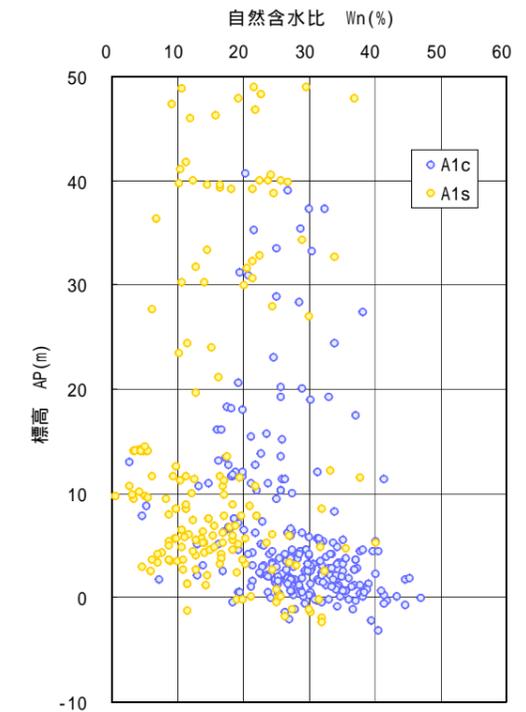
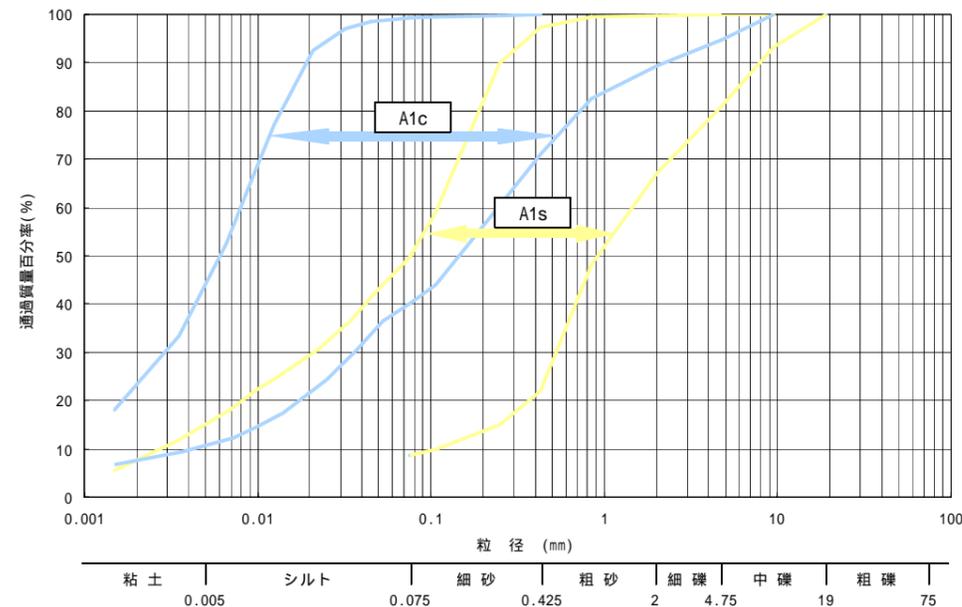
堤体土質(F1)の物理特性

- ・ 粒度分布図からは、細粒分(粘土 + シルト)の多いF1c層、礫分の多いF1g層、さらにこの中間的な粒度分布であるF1s層に区分される。
- ・ 含水比分布図からは、F1c層で15~35%程度、F1s層で5~30%程度、F1g層で5~15%程度となることがわかる。



基礎地盤(A1c, A1s)の物理特性

- ・ 粒度分布図からは、A1c層とA1s層で分布が明瞭に分かれる。
- ・ 含水比分布からは、粘性土(A1c)で15~40%程度、砂質土(A1s)で5~25%程度を示し、A1cの含水比は粘性土としてはやや小さい値となっている。



浸透流計算に必要な土質定数

赤字：委員会への提案事項  
 青字：「河川堤防の構造検討の手引き」の設定値  
 緑字：「道路土工」の設定値

飽和透水係数 ( $k_s$ )  
 堤体(在来堤, 一期堤, 二期堤)

・室内透水試験および粒度試験 ( $D_{20}$ を基に推定) から求めた**透水係数の最大値を設定**する。  
 同定解析および感度分布結果によれば、堤体の透水係数は室内透水試験および粒度試験 ( $D_{20}$ を基に推定) から求めた透水係数の最大値を採用すると、現場観測結果と良く整合している (第7章、第8章参照)。

基礎地盤

・砂質土及び礫質土は、現場透水試験および粒度試験 ( $D_{20}$ を基に推定) から求めた**透水係数の平均値(対数平均)を設定**する。  
 対数平均： $(a \times b \times c \times \dots)^{1/n}$   
 ・粘性土は、以下の値を設定する。<sup>1)</sup>  
 シルト： $k_s=1 \times 10^{-5}$  (cm/sec), 粘土： $k_s=1 \times 10^{-6}$  (cm/sec)

人工材料(既設対策箇所)<sup>1)</sup>

対策工種	実験等から求められた見かけの透水係数 $k_v$ (cm/sec)	モデルに設定する透水係数 $k_s$ (cm/sec)					比貯留係数 $S_s$ (1/m)
		モデルの厚さ $t_s$					
		10cm	20cm	30cm	40cm	50cm	
遮水シート	厚さ1mmに対し $k_v=1 \times 10^{-8}$	$k_s=1 \times 10^{-6}$	$k_s=2 \times 10^{-6}$	$k_s=3 \times 10^{-6}$	$k_s=4 \times 10^{-6}$	$k_s=5 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-3}$
止水矢板	厚さ1cmに対し $k_v=1 \times 10^{-7}$	$k_s=1 \times 10^{-6}$	$k_s=2 \times 10^{-6}$	$k_s=3 \times 10^{-6}$	$k_s=4 \times 10^{-6}$	$k_s=5 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-3}$
ブランケット	-	$1 \times 10^{-5}$					$1 \times 10^{-3}$
舗装	-	$1 \times 10^{-5}$					$1 \times 10^{-3}$
護岸	-	透水性はないものとしてモデルには含めない					
空石積	-	$t=70\text{cm}, k_s=1 \times 10^{-1}$					$1 \times 10^{-4}$

不飽和浸透特性

・透水性の土質(礫質土及び砂質土)、難透水性の土質(粘性土)、及びその中間的な透水性を有する土質(細粒分含有量の多い砂質土)に大別し、設定する<sup>1)</sup>。

1) 河川堤防の構造検討の手引き(平成14年7月)：財団法人国土技術研究センター

安定計算に必要な土質定数

単位体積重量

・単位体積重量は、試験値の**平均値(小数点以下四捨五入)を設定**する。  
 ・礫質土(Ag)については、試験値(サンプル数)が少ないため、下記のような一般的な値<sup>2)</sup>を採用する。  
 堤体土： $19(\text{kN/m}^3)$   
 基礎地盤(粘性土)： $19(\text{kN/m}^3)$   
 基礎地盤(砂質土)： $19(\text{kN/m}^3)$   
 基礎地盤(礫質土)： $20(\text{kN/m}^3)$

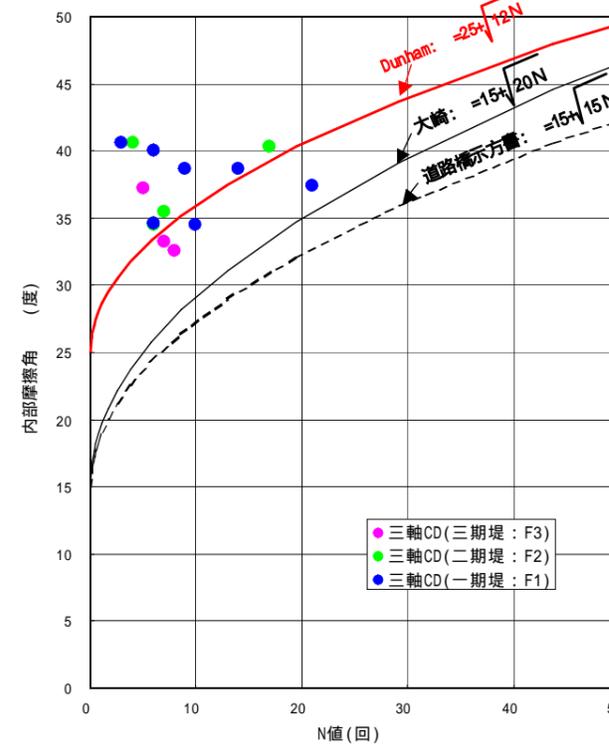
2) 「道路土工 軟弱地盤対策工指針：社団法人 日本道路協会」

強度定数

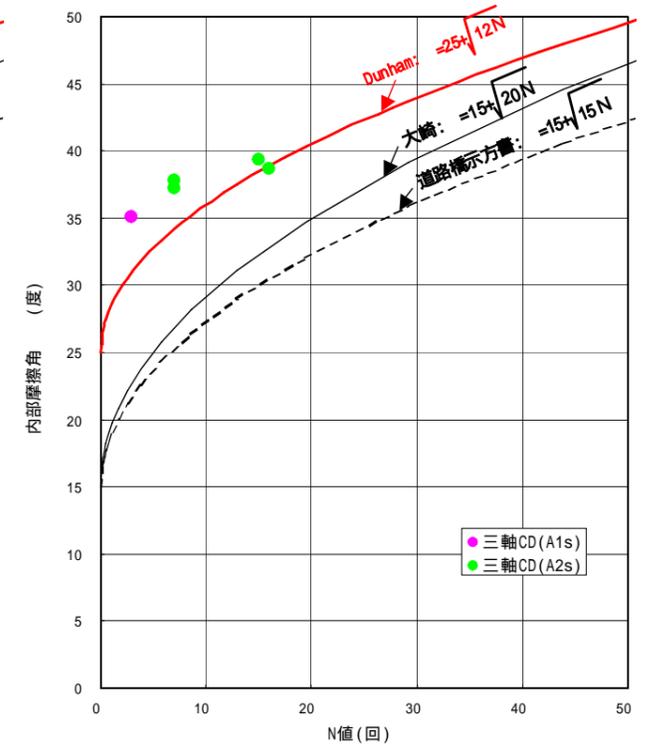
砂質土および礫質土

・各検討断面ごとに設定する。  
 ・内部摩擦角は「N値との関係式： $\phi = 25 + \sqrt{12N}$ (Dunhamの式 角張った粒子で粒度配合が良い)」より設定する。  
 ・粘着力  $c$  は基本的に  $0\text{kN/m}^2$  とするが、堤体土については  $1\text{kN/m}^2$  を設定する<sup>1)</sup>。

堤体土 ( $F_s, F_g$ )



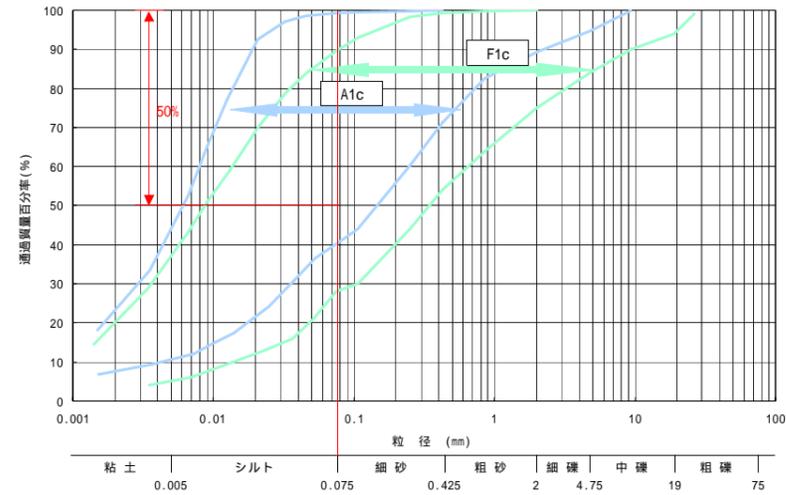
基礎地盤砂質土 (A1s, A2s)



N値と内部摩擦角の相関図

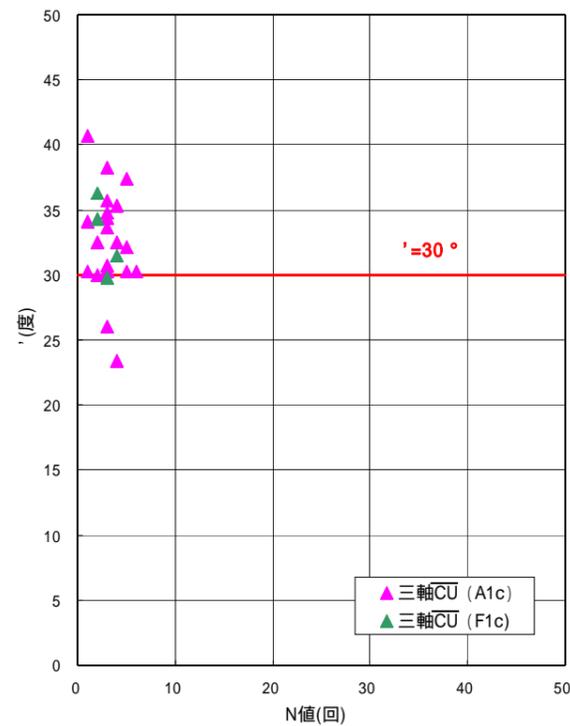
粘性土（中間土）

吉野川流域に分布する粘性土(F1c, A1c)は、基本的にシルトが主体を成し、砂分を最大50%程度混入する中間土の性質を有する。



中間土(F1c, A1c)ではあるが、粘性土として取り扱うものとし、三軸圧縮試験(CU条件)結果を基に設定する。

- ・ 各検討断面ごとに設定する。
- ・ 内部摩擦角は「N値に関係なく  $\phi = 30^\circ$ 」とする。
- ・ 粘着力cは基本的に「 $c = 0 \text{ kN/m}^2$ 」とする。



三軸圧縮試験(CU)より求めた  $\phi$  とN値の関係

6.1.3 洪水外力条件

降雨波形の設定

事前降雨量

- ・ 吉野川流域の降雨特性に応じ、総降雨量として多雨時期の30年平均月降雨量(162mm)を設定する。
- ・ 降雨強度としては、事前降雨量が全て堤体に浸透するよう1mm/hrを設定する。<sup>1)</sup>

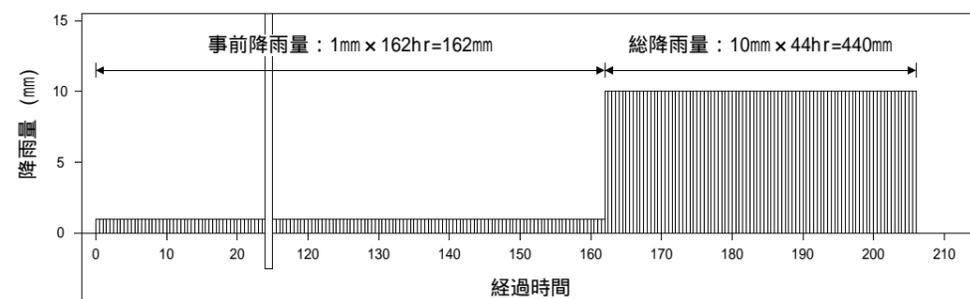
月	岩津観測所
1	37.5
2	38.0
3	62.7
4	67.4
5	96.4
6	161.6
7	132.2
8	157.6
9	232.2
10	103.4
11	66.6
12	27.2
計	1,173.0

1975～2004(30年平均値)

総降雨量

- ・ 吉野川の総降雨量は、440mm/2dayを設定する。
- ・ 降雨強度としては、10mm/hrを設定する。<sup>1)</sup>
- ・ 総降雨量と降雨強度をもとに長方形の降雨波形を設定する。<sup>1)</sup>

解析に用いる降雨波形は、以下のとおりとする。

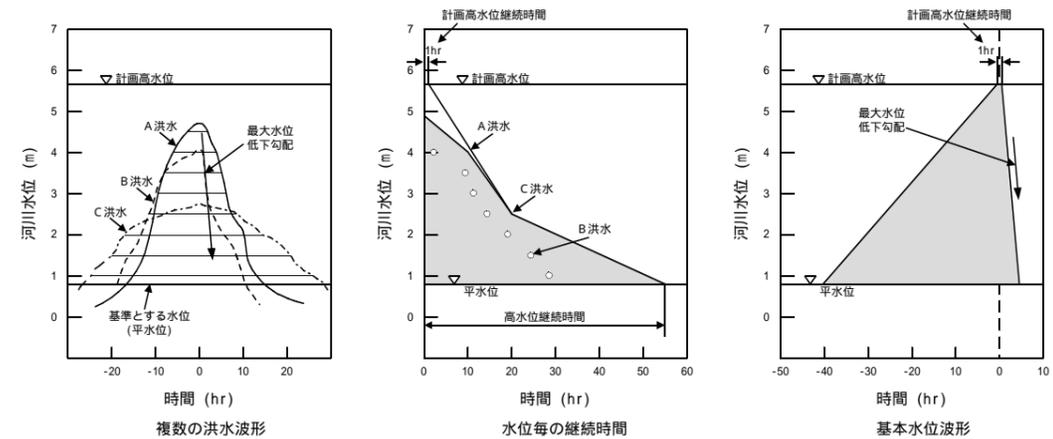


1) 河川堤防の構造検討の手引き(平成14年7月)：財団法人国土技術研究センター

河川水位波形の設定

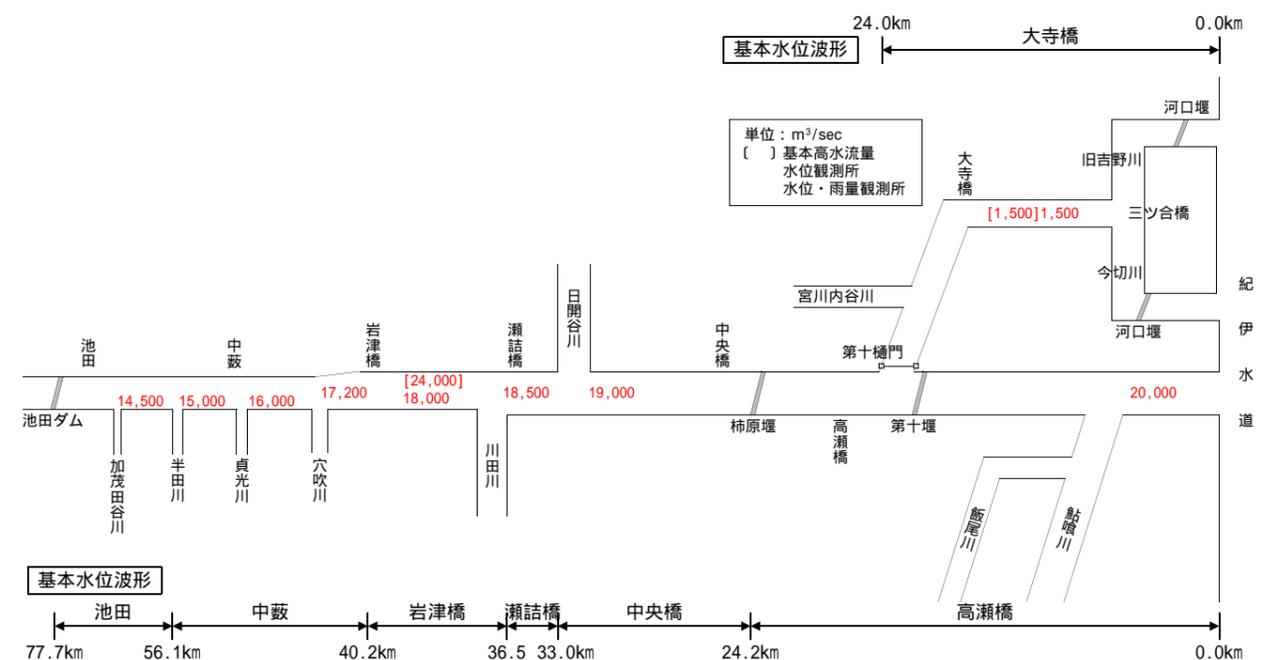
基本水位波形<sup>1)</sup>

- ・ の複数の波形それぞれについて基準とする水位毎の継続時間を求め、を作成する。
- ・ の継続時間を包絡するような直線を描き、この包絡線で囲まれる部分の面積を求める。ここで、包絡線が計画高水位に達しない場合には、同水位の継続時間を1時間に設定する。
- ・ の複数の水位波形の中で、洪水末期の水位低下勾配の最大のものを抽出し、勾配を求める。

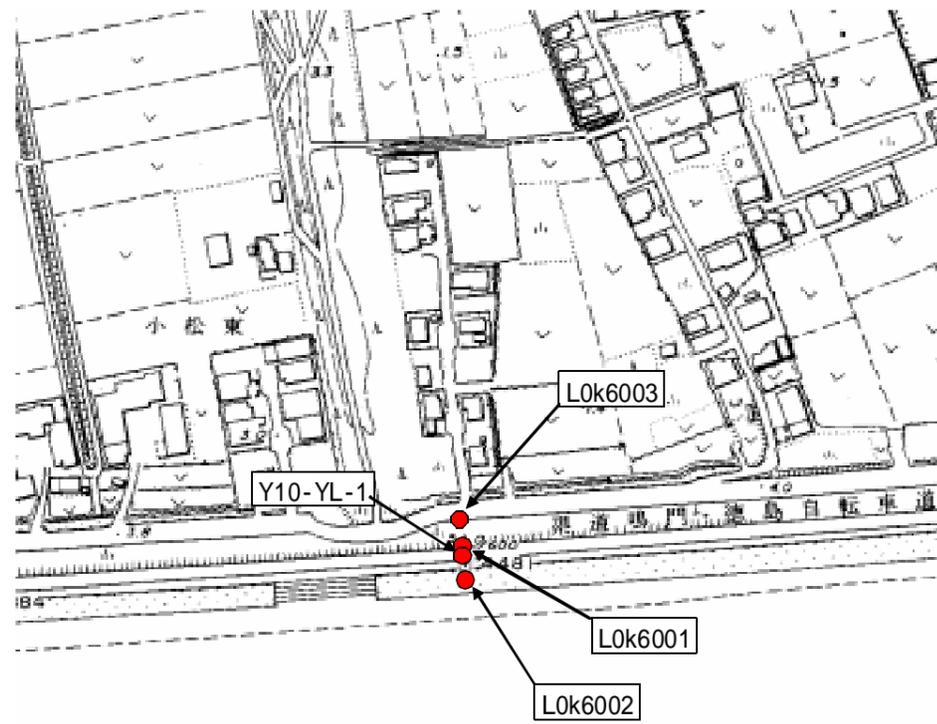


代表断面の水位波形

- ・ 計画高水流量が同一の区間については、その区間下流の基準地点において作成した基本水位波形を適用する。



6.1.4 検討モデル断面(吉野川左岸0k600)の一例

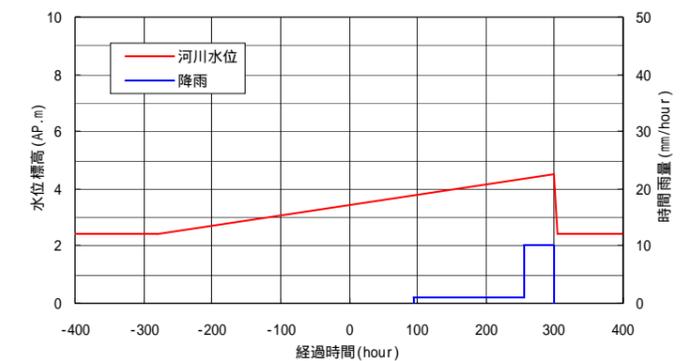


【水理・力学定数一覧表】

地層名	地質記号	土質名	平均N値	浸透流解析		安定計算		
				透水係数 k(cm/sec)	不飽和 特性区分	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	粘着力 c(kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 (°)
アスファルト	-	アスファルト	-	1E-05	粘性土	23	-	-
構造物(石・ブロック系)	-	構造物(石・ブロック系)	-	1E-01	砂質土	21	1	40
構造物(コンクリート系)	-	構造物(コンクリート系)	-	1E-06	粘性土	25	-	-
三期堤(礫質土)	F3g	シルト混り礫	28	6E-02	砂質土	19	0	43
一期堤(砂質土)	F1s	シルト混り砂	5	7E-03	砂質土	19	0	33
沖積層第一砂質土	A1s	シルト質砂	2	8E-06	粘性土	19	0	30
沖積層第一粘性土	A1c	砂質シルト	3	4E-05	粘性土	19	0	30
沖積層第二砂質土	A2s	シルト混り砂	8	8E-04	砂質土	19	0	35
沖積層第三粘性土	A3c	砂質シルト	4	5E-06	粘性土	19	0	30

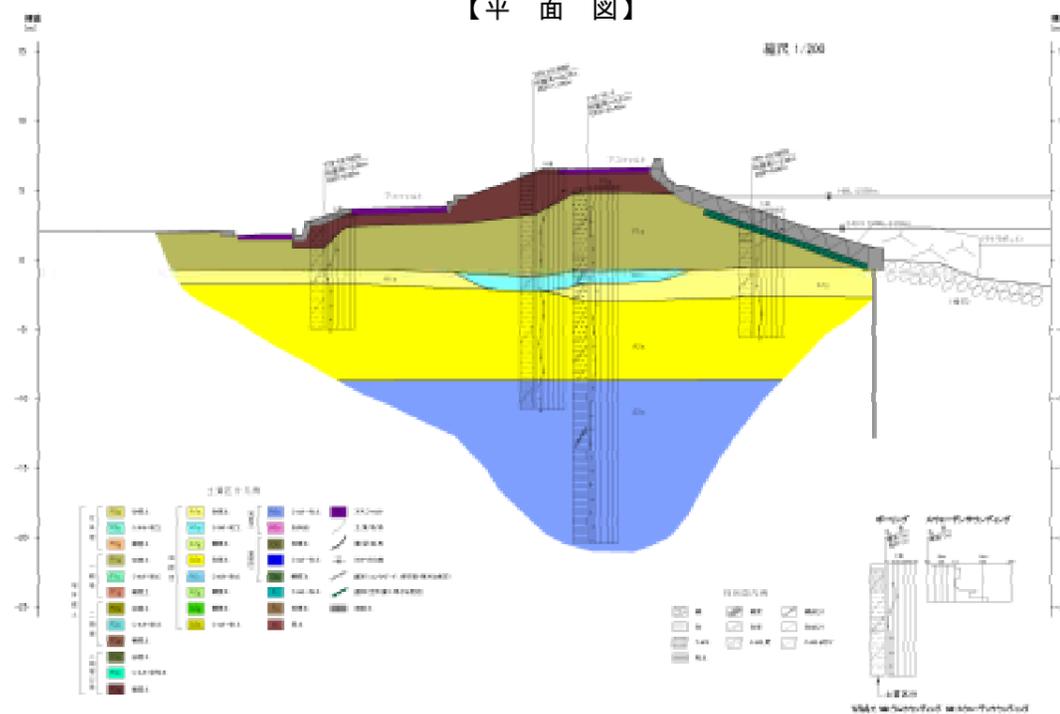
河川水位波形(HWL)		降雨波形(岩津)	
経過時間 (hour)	河川水位 (AP.m)	経過時間 (hour)	時間雨量 (mm/hour)
-400	2.4	94	0
-281	2.4	94	1
299	4.5	256	1
300	4.5	256	10
304	2.4	300	10
400	2.4	300	0

【洪水外力】



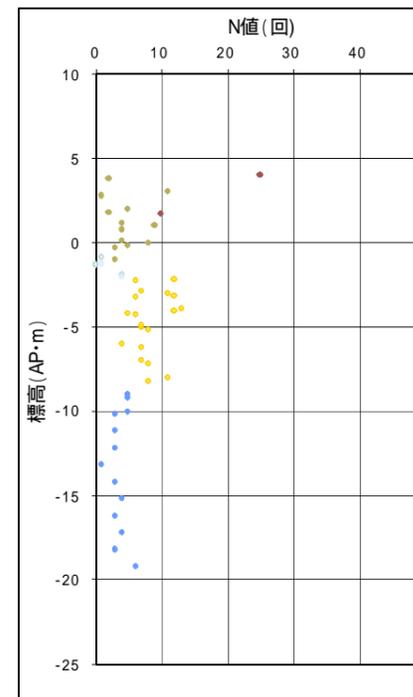
【平面図】

ボ・リング

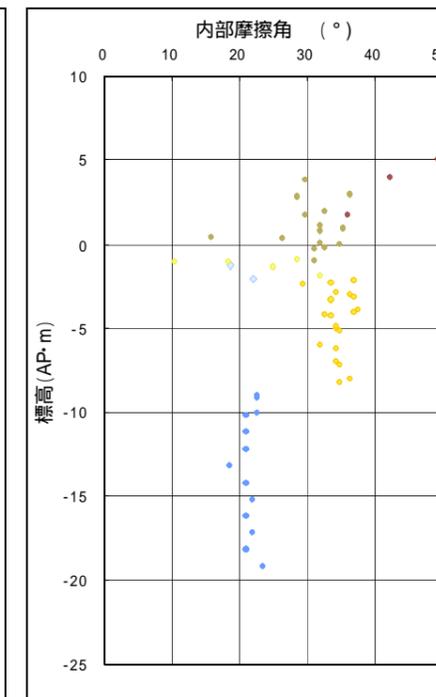


【地質断面図】

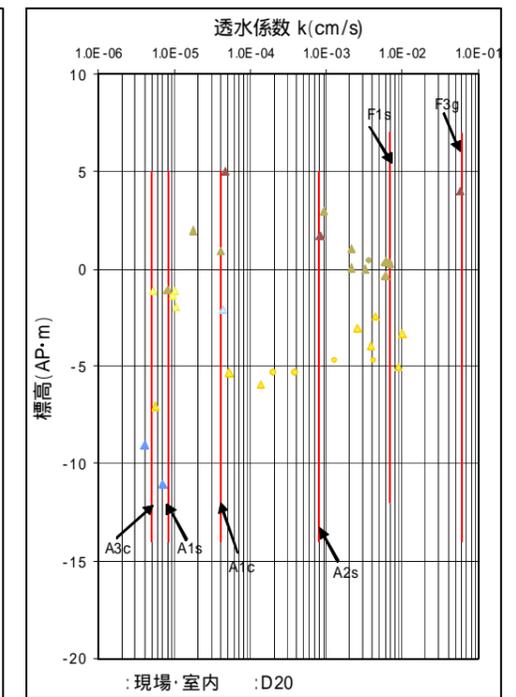
【平均N値】



【内部摩擦角】



【透水係数】



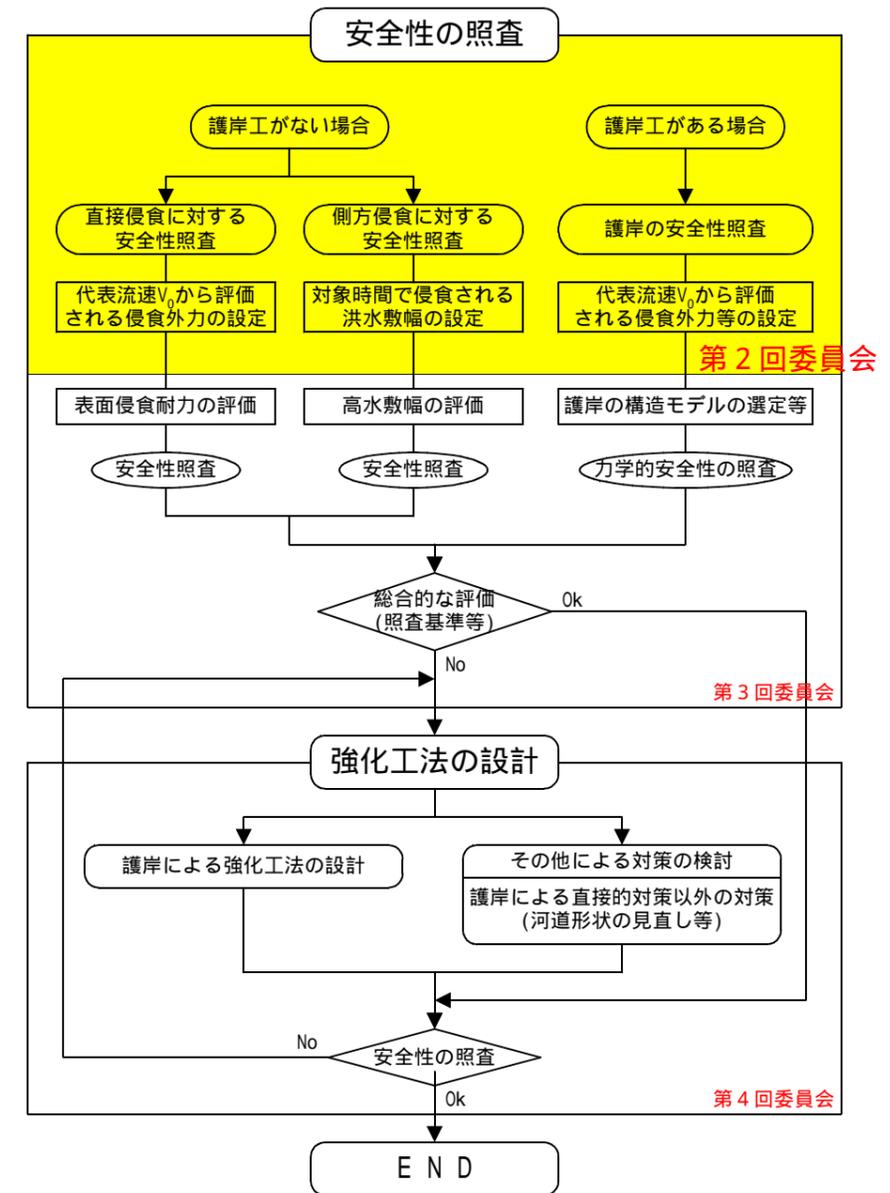
## 6.2 侵食問題に関する検討方法および条件

### 6.2.1 検討方法

現況堤防の安全性に関する検討は、「河川堤防の構造検討の手引き(平成14年7月)：財団法人国土技術研究センター」に準拠して実施する。

#### 検討条件

検討項目	検討内容	必要な検討条件
侵食	1) 護岸なしの場合 直接侵食に対する検討 側方侵食, 洗掘に対する検討  2) 護岸ありの場合 護岸の安全性の検討	平均河床高さ 平均流速 洗掘深 侵食外力継続時間 高水敷の高さ、幅 粗度係数 平均根毛量 根固工の構造のモデル化

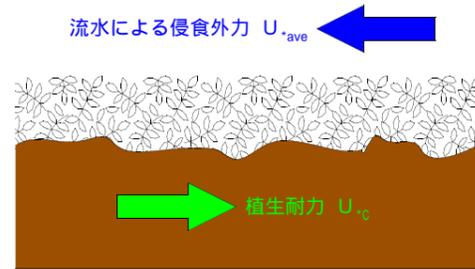


侵食に対する堤防の構造検討の手順

護岸工がない場合

直接侵食(植生)の照査(高水護岸部の評価項目)

直接侵食(植生)の照査は、侵食外力と植生耐力の釣り合いで評価する



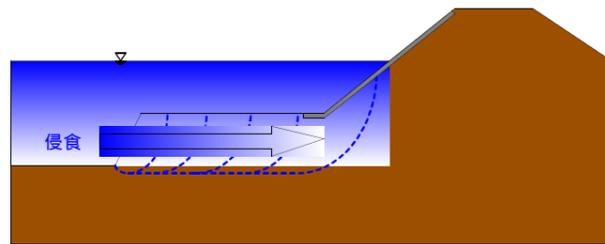
力の釣り合いのイメージ

直接侵食(植生)が侵食に対して安全となる条件

植生耐力 $U_c$	侵食外力 $U_{ave}$
<b>主要パラメータ</b> ・許容侵食深 ・外力が作用する継続時間 ・平均根毛量	<b>主要パラメータ</b> ・代表流速 ・マンニングの粗度係数 ・設計水深

側方侵食の照査(高水敷幅の評価項目)

側方侵食の照査は、高水敷幅と低水河岸高の比およびセグメントで評価する



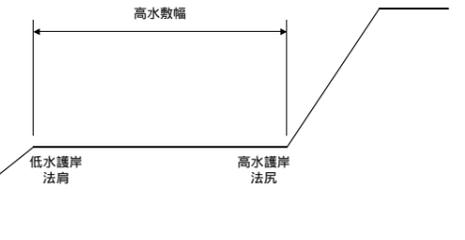
側方侵食のイメージ

側方侵食に対する安全性の基準

セグメント	照査基準
1	40m程度
2 - 1	高水敷幅 > 低水河岸高の 5 倍
2 - 2 および 3	高水敷幅 > 低水河岸高の 3 倍

高水敷幅および低水河岸高の測定方法について

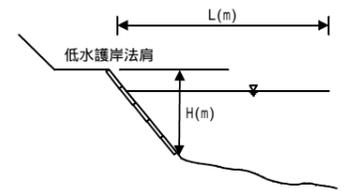
・高水敷幅：高水敷幅は、高水護岸法尻から低水護岸法肩までの長さを高水敷幅として測定する



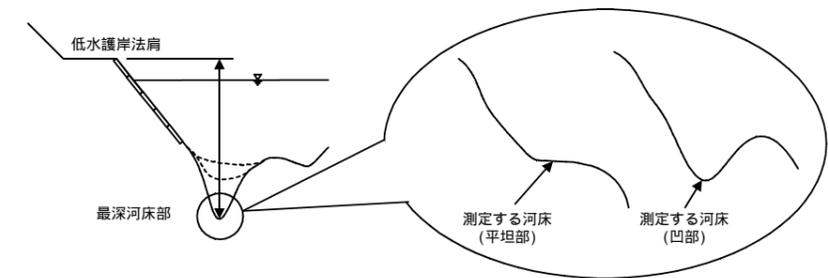
・低水河岸高：

低水河岸高の測定範囲は、セグメントに応じて以下のとおりとする。

セグメント	最深河床高測定範囲 L(m)
1	40m
2-1	H(低水護岸法肩～胴木までの鉛直距離)の5倍
2-2および3	H(低水護岸法肩～胴木までの鉛直距離)の3倍

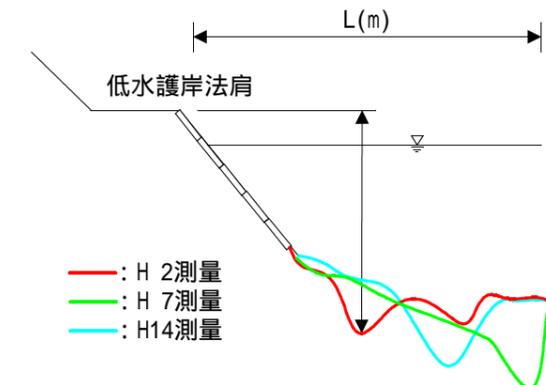


低水河岸高の測定方法は、以下のとおりとする。



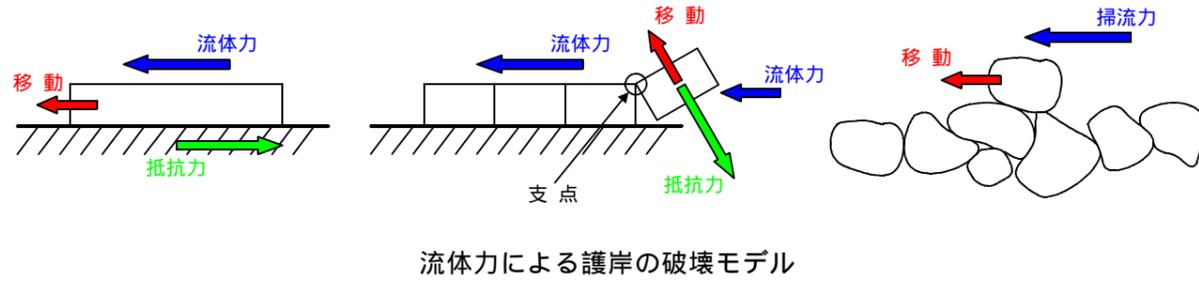
定期横断面図の重ね合わせ図を作成し、護岸に最も近接する位置での最深河床部から低水護岸法肩までの高さを測定して、低水河岸高とする。

なお、で設定した測定範囲において、近年の最深河床高が護岸から離れた位置にある場合でも、護岸に対する影響を重視して、護岸に近接する過去の最深河床部を測定位置とした。

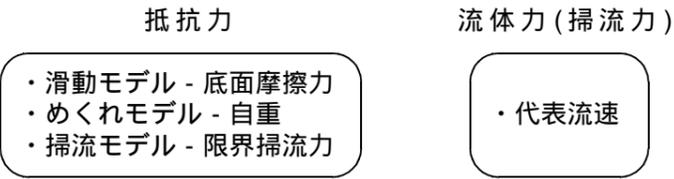


護岸工がある場合  
法履工の照査

法履工の照査は、構造モデルごとに分類し、流体力と護岸の抗力を比較して評価する



護岸が流体力に対して安全となる条件



代表流速（設計流速）と護岸タイプの対応表（例）

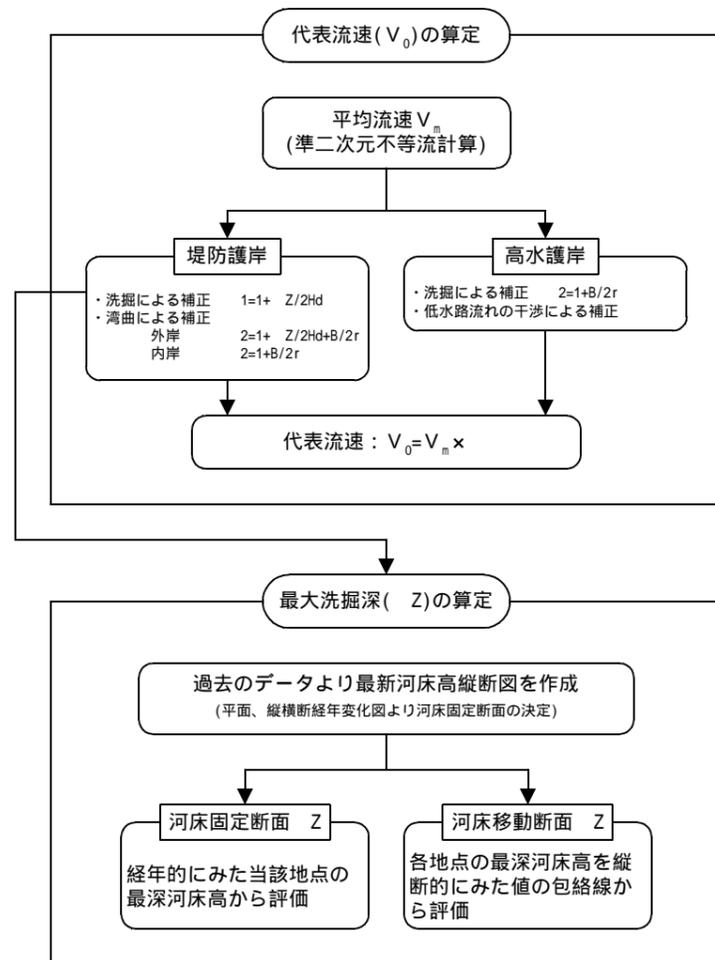
復旧工法例	設計流速(m/sec)	適用条件等							
		2	3	4	5	6	7		
植生系	張 芝	—							<ul style="list-style-type: none"> <li>・平水位では浸水せず、確実に活着するまで流水にさらされない部分に適用。</li> <li>・平水位以下では寄せ石、木柵、かご系根固工と組合せて使用。</li> <li>・背後に住宅や重要施設がない場合に適用。</li> </ul>
シート系	ジオテキスタイル	—	—						<ul style="list-style-type: none"> <li>・転石が少ない河川や水衝部以外の場所に適用。</li> <li>・背後に住宅や重要施設がない場合に適用。</li> </ul>
	ブロックマット	—	—	—					<ul style="list-style-type: none"> <li>・転石が少ない河川や水衝部以外の場所に適用。</li> <li>・背後に住宅や重要施設がない場合に適用。</li> </ul>
木 系	丸太格子	—	—	—					<ul style="list-style-type: none"> <li>・堀込河道に適用。</li> <li>・転石の少ない河川に適用。</li> <li>・高水敷の広い低水河岸に適用。</li> <li>・背後に住宅や重要施設がない場合に適用。</li> </ul>
	粗朶法枠	—	—	—					<ul style="list-style-type: none"> <li>・堀込河道に適用。</li> <li>・転石の少ない河川に適用。</li> <li>・高水敷の広い低水河岸に適用。</li> <li>・背後に住宅や重要施設がない場合に適用。</li> </ul>
	杭 柵	—	—	—					<ul style="list-style-type: none"> <li>・堀込河道に適用。</li> <li>・転石の少ない河川に適用。</li> <li>・高水敷の広い低水河岸に適用。</li> <li>・背後に住宅や重要施設がない場合に適用。</li> </ul>
石 系	自然石(空張)	—	—	—	—				<ul style="list-style-type: none"> <li>・現地周辺で材料の入手が容易な場合に適用(石系共通)。</li> <li>・堀込河道に適用。</li> </ul>
	自然石(練張)	—	—	—	—	—			<ul style="list-style-type: none"> <li>・胴込めコンクリートは表面に出ないように深目地とする。</li> </ul>
かご系	植生蛇籠	—	—	—					<ul style="list-style-type: none"> <li>・堀込河道に適用。</li> <li>・転石の少ない河川に適用。</li> <li>・背後に住宅や重要施設がない場合に適用。</li> </ul>
	かごマット(平張)	—	—	—					<ul style="list-style-type: none"> <li>・堀込河道に適用。</li> <li>・転石の少ない河川に適用。</li> <li>・強い酸性又は塩分濃度の高い場所では適用しない。(鉄線が腐食対策されている場合は除く。)</li> </ul>
コンクリート系	ポーラスコンクリート	—	—	—	—	—			<ul style="list-style-type: none"> <li>・現場打ちタイプは、設計流速5m/s程度以下で適用。</li> <li>・設計流速5m/s程度以上では、強度重視型のブロックタイプを適用。</li> </ul>
	接続ブロック	—	—	—					<ul style="list-style-type: none"> <li>・連結材に鋼線を使用する場合、強い酸性又は、塩分濃度の高い場所では適用しない。(鉄線が腐食対策されている場合は除く。)</li> </ul>
	環境保全型ブロック	—	—	—	—	—			<ul style="list-style-type: none"> <li>・様々なタイプのものであるため、現地の環境にふさわしいものを選定。</li> <li>・設計流速5m/s未満の箇所については、適用可能な他の工法についても充分比較検討すること。</li> </ul>
	コンクリートブロック張	—	—	—	—	—	—		<ul style="list-style-type: none"> <li>・原則として使用しないこととし、他の護岸工法が使用できない場合のみ適用。</li> </ul>

参考資料：「美しい山河を守る災害復旧基本方針」平成14年6月 (社)全国防災協会

## 6.2.2 侵食外力条件

### 代表流速

堤防の直接侵食に対する安全性の照査に必要な外力は、平均流速  $V_m$  (今回の検討では、準二次元不等流計算結果) に洗掘・湾曲・低水路流れの干渉による補正(割増)を行い、算定する代表流速  $V_0$  を用いる。代表流速  $V_0$  は、以下のフローより算定した結果の計画流量時の流速を用いる。



代表流速の設定フロー

代表流速の算定に用いる補正係数 は、湾曲・洗掘・低水路流れの干渉による補正を行う。

代表流速  $V_0$  は、以下の基本式をより、基本的に200mごとに算定する。

$$V_0 = V_m \times$$

ここに、 $V_0$  : 代表流速(m/sec)

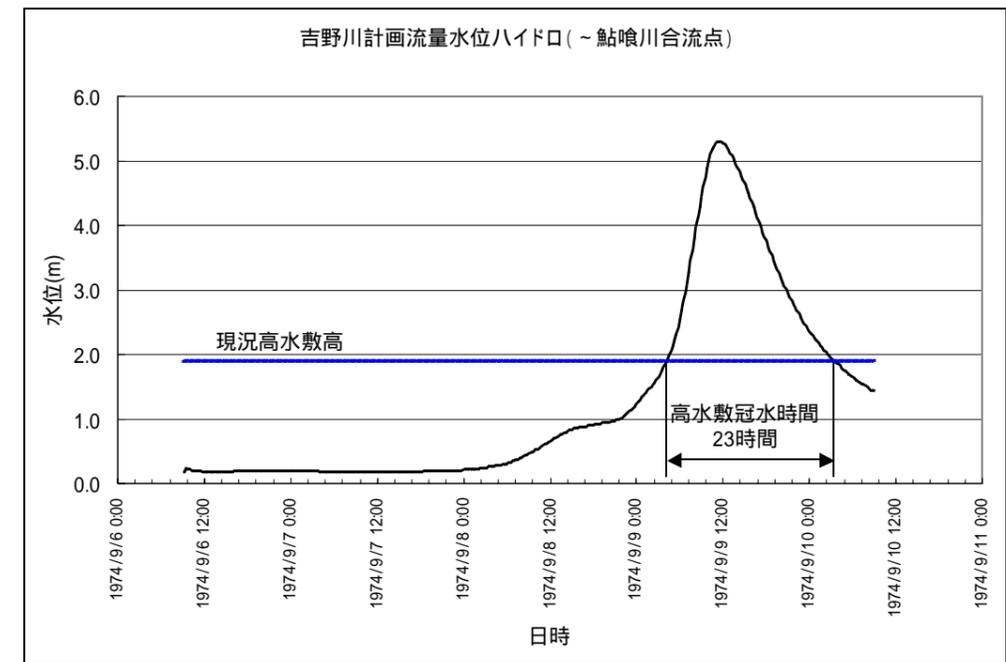
$V_m$  : 平均流速(m/sec)

: 補正係数

### 侵食外力継続時間 t の設定

等流計算を行って H - Q 曲線を作成し、計画高水ハイドロを用いて水位が各断面の高水敷高以上となる時間を算出し、洪水継続時間(高水敷冠水時間)を設定する。

各断面において流量ハイドロデータを基に下図に示すような整理を行い、植生の侵食に対する安全性照査に用いる高水敷冠水時間を算定する。



高水敷冠水時間の整理図

植生による表面侵食耐力の算定

外力

「代表流速  $V_0$  の設定」結果から得られた代表流速  $V_0$  より、以下のとおり平均摩擦速度  $U_{*ave}$  を算定し、植生の評価に用いる外力とする。

第1段階：代表流速  $V_0$  を流速係数 で除して、最大摩擦速度  $U_{*max}$  を算定する。

$$U_{*max} = V_0 /$$

ここに、  $n$  : 流速係数 ( $= 1 / n \times H^{1/6} \times g^{1/2}$ )

$n$  : 現況河道の粗度係数

$H$  : 設計水深 (= H.W.L - 平成14年度平均河床高) (m)

$g$  : 重力加速度 ( $m/sec^2$ )

第2段階：洪水継続時間内の平均摩擦速度  $U_{*ave}$  は、以下の式より求める。

$$U_{*ave} = U_{*max} \times 0.82$$

耐力

植生による表面侵食耐力  $U_{*c}$  は、許容侵食深、平均根毛量、洪水継続時間をパラメータとした以下の式より求める。

$$U_{*c} = \frac{Z_{brk}}{\log t} \times \frac{1}{\rho}$$

ここに、  $U_{*c}$  : 表面侵食耐力 ( $m/sec$ )

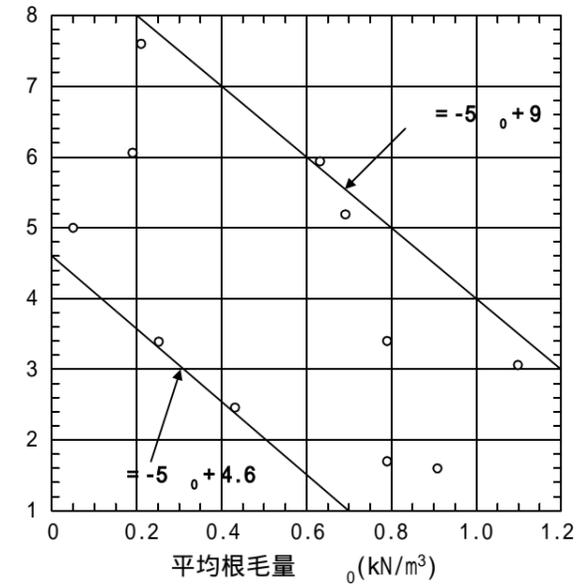
$Z_{brk}$  : 許容侵食深 (= 2cm と設定<sup>(1)</sup>)

$\rho$  : 侵食されやすいパラメータ<sup>(2)</sup>

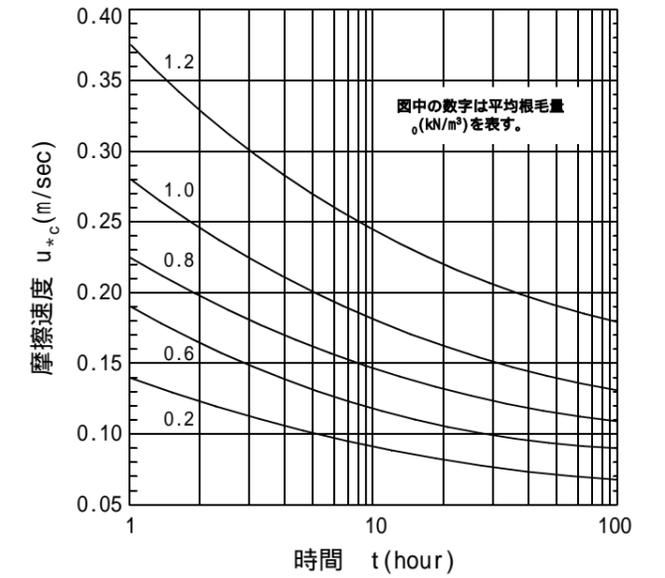
$t$  : 洪水継続時間 (min)

$\rho$  : 平均根毛量 ( $kN/m^3$ )

- 1) 許容侵食深については、土研資料3489号「洪水を受けた時の多自然型河岸防御工・粘性土・植生の挙動」の中で2~2.5cmとする旨の記述がある。許容侵食深2.5cmは、植生の根の繁茂状況が(ふさふさの状態)5cm以上ある場合に適用可能とされている。今回の検討では安全側を考え2cmと設定する。
- 2) 侵食されやすいパラメータ  $\rho$  は安全側で  $\rho = -5 \rho + 9$  と提案されているが、右図に示した「 $\rho$  と平均根毛量  $\rho$  の関係」を見るとデータがかなりばらついていて、そのため、今回は安全側と危険側の両面から検討を行うものとする。



と平均根毛量  $\rho$  の関係



根毛量をパラメータとした耐摩擦速度の評価図