

## 袖折れ堰堤の折れ位置と角度の設定方法

## 1. 袖折れの検討が必要になるケース？

砂防施設配置計画において砂防堰堤や床固工の施設位置を決定する際に、しばしば、河岸斜面の地盤高が袖の天端高より低く嵌入が困難な時がありますよね。こうした時にまず考えることは、位置を変更して必要な効果量を確保することが一般的です。しかし、不安定土砂の分布や土地利用などの制約により位置を変更できない場合、あるいは、経済性の面で袖を折ることにより堤長の短縮が望める場合、袖を上流側へ折り、必要な高さまで延伸して地山に嵌入することが考えられます。こうした袖折れ構造物の検討は、袖折れ位置から延長する横断面の修正や、袖の天端勾配を堆砂勾配に応じて修正する必要があるため、作業としては面倒なことが多いです。

作業面については、横断面作成アプリ（CrossSection）においてドッグレッグした横断面測線における標高計測を可能にしたこと、一般図作成アプリ（StructuralDrawing++）について袖折れ構造物の作図に対応したことで大幅に改善されました。しかし、そもそも、最適な袖折れ位置や袖折れ角度をどのように設定するのがよいかについては、自分自身、わかっているようでわかっていないような気がしたので、今一度、基本的な考え方の整理を試みようと思った次第です(^ ^)

「Programming Topics」では、プログラミングの基礎的な内容を説明するのではなく、土砂水理解析など実際のプログラミングの話題、役立つような考え方やプログラミングの技術情報を親しみやすい内容で紹介することを目的としています。今回は、袖折れ構造物の位置と角度の設定方法に関する私なりの考え方について情報提供するため、一般図作成アプリを用いた事例検討を含めてご紹介します。

## 2. 袖折れ構造物の諸元設定の約束事

袖折れ構造物の諸元設定については、基本的に「北海道砂防技術指針(案), 令和5年12月, 北海道建設部土木局河川砂防課」に基づくとします。ただし、図-1に示す通り、袖折れ角は横断方向に対する角度、袖勾配は分母値としてではなく実数として説

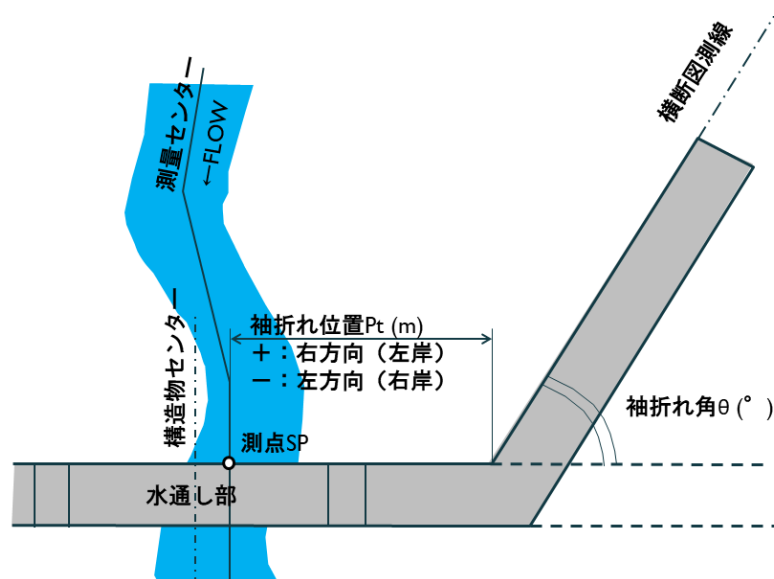


図-1 袖折れ位置と角度の定義

明を進めます。また、説明を単純化するために土石流対策の砂防堰堤を対象とします。掃流対応の砂防堰堤は、袖天端勾配、袖天端勾配が LEVEL になる位置、計画堆砂勾配の決め方が異なるだけで、今回ご紹介する考え方としては何ら変更がありません。

袖折れ堰堤の天端勾配について簡単に整理しておきます。A. 袖折れしない堰堤の場合、袖勾配は現況溪床勾配  $I_0$  で 2m 上がると LEVEL になりますね。よって、勾配のある袖の延長は、 $L=2.0/I_0$  (勾配の分母値の 2 倍) となります。袖折れ堰堤の場合、水通しの法肩から袖折れ位置までの長さが  $L$  を超える場合 (B-1.) と超えない場合 (B-2.) で、袖勾配に違いが出ます。袖折れ後の袖勾配は、図形上、A. に対して計画堆砂勾配  $I_1$  による高さの増分を考慮して勾配を修正することを意味しています。これは、土石流が袖を乗り越えないようにするための安全策と言えます。勾配  $I'$ 、勾配  $I''$  は、それぞれ、 $I_0$ 、LEVEL に対する修正勾配で、以下の通り示されます。さらに詳しい内容については、「北海道砂防技術指針(案)」を参照をお願いします。

$$I' = (\sin \theta)I_1 + (\cos \theta)I_0 \dots\dots\dots (1)$$

$$I'' = (\sin \theta)I_1 \dots\dots\dots (2)$$

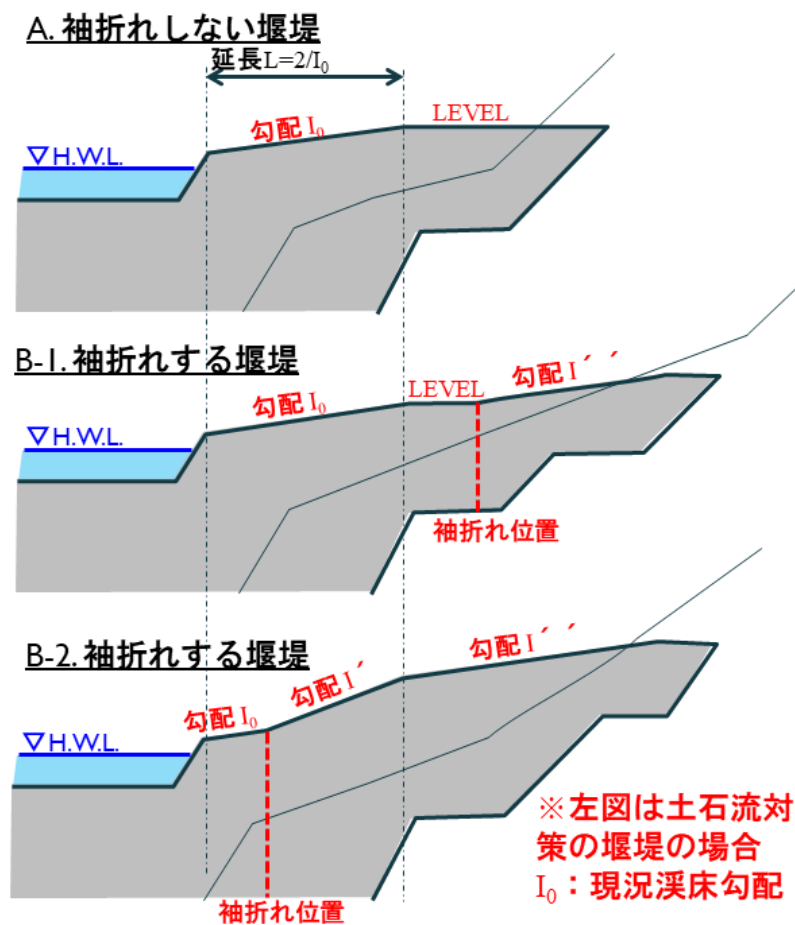


図-2 袖折れ堰堤の天端勾配

ここで、着目しておきたいことは、袖折れ後の天端高さは袖折れしない堰堤の天端高さに対して、計画堆砂勾配に応じた高さ分を嵩上げた高さであり、袖の嵌入位置の高さは、横断方向と縦断方向の位置が決まるとおのずと決まるという点です。厳密には、袖勾配を分数表示したときの分母値を整数値に切り下げる約束となっているので違いが表れますが基本的にはいま述べた通りです。

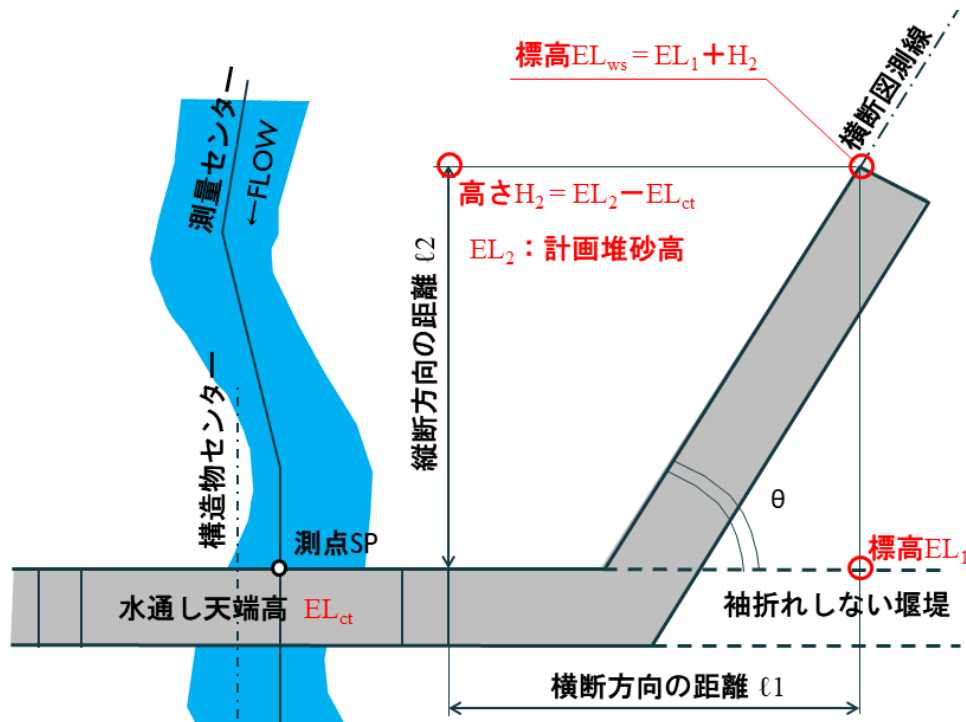


図-3 袖折れ堰堤の天端高

### 3. 袖折れの堰堤の事例検討

#### 3-1 「嵌入ライン」の設定

ここで、具体的な事例の下で、袖折れの検討を行います。検討を行う前に、図-3の考えをもとに、袖折れ堰堤の嵌入位置の標高を縦断方向に求め、その高さが地盤と交わる位置を平面図上にプロットします。この点をむすんだラインを「嵌入ライン」と呼ぶことにします。標高  $EL_1$  は  $l_1 \geq L$  の時一定 (LEVEL) なので、この領域であれば、簡単に嵌入ラインを決定することができます。

図-4に検討対象の地形図を示します。堰堤計画位置の左岸側10~20mは斜面となっており、20mより背後は段丘状の地形で横断方向の高低差が小さくなっています。計画の水通し天端高は  $EL=221.5\text{m}$  であり、袖勾配が LEVEL になる標高は、水通し高1.3mと2.0mを加えて  $EL=224.80\text{m}$  です。この付近の地盤高は約  $EL=223.00\text{m}$  ですので、明らかに袖嵌入が不可能な地形となっています。図中に示す堰堤(赤線)は、袖折れ位置20m、袖折れ角  $60^\circ$  の場合の例を示します。嵌入ラインは、SP400~SP410まで2mおきに嵌入標高  $EL_{ws}$  を求め、地形図上の交点を判読することにより決定します。図中の青線が嵌入ラインを示します。嵌入ラインは

等高線の流れに対して下流側に凸な形状となっています。このような形状となった理由は、等高線自体が下流方向に若干凸で、尾根のような形状となっているためです。嵌入ラインより上流側は、袖の嵌入が可能範囲であり、それとは逆に下流側は嵌入が不可能範囲であることを示します。袖折れの検討では、嵌入ラインに向かって袖折れ位置と角度を決定することになります。

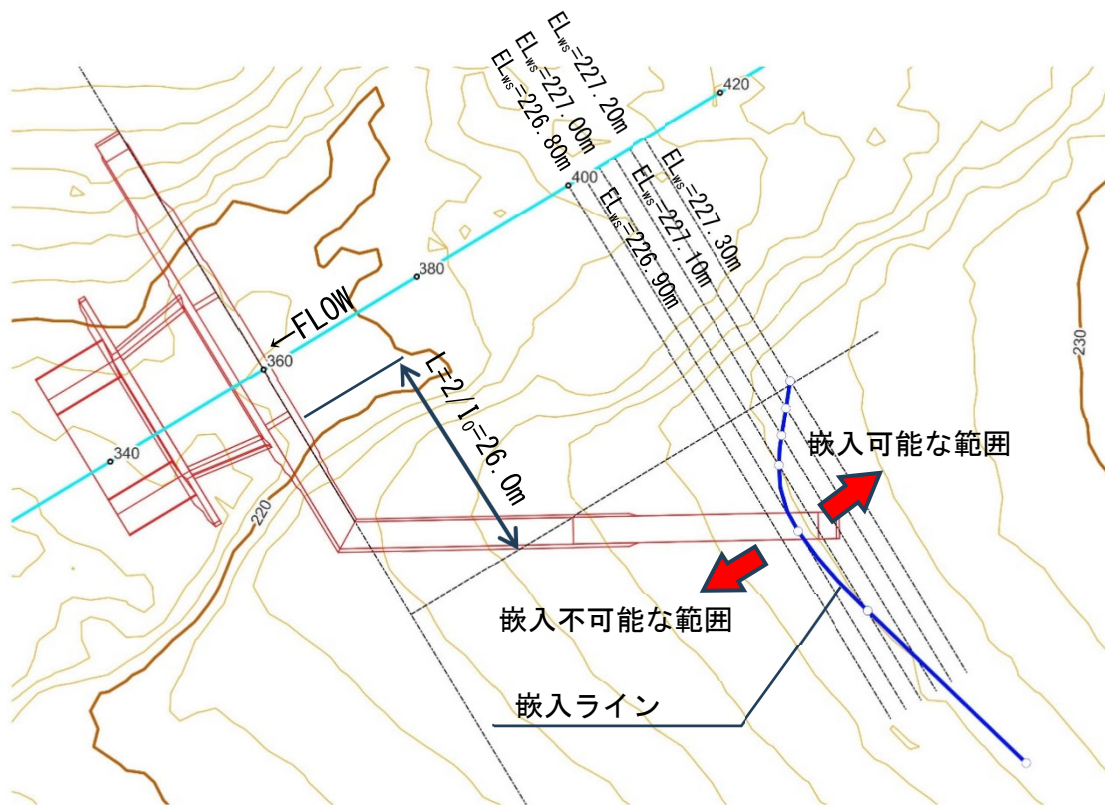


図-4 嵌入ラインの設定

### 3-2 比較検討

それでは、袖折れの検討に入ります。袖折れ堰堤の作図は、一般図作成アプリ (StructuralDrawing++) を用いて行いました。袖折れ位置は、センターから 30m 以上となると地盤高が下がり始めていることから、段丘面上の 20m 及び 30m を選定します。袖折れ角度は、最大傾斜方向を 75° とし、75° ~ 45° を対象に比較しました。

検討の結果として、袖折れ後の堰堤軸 (---) 及び袖嵌入位置 (○) を図示しました (図-5)。いずれの袖嵌入位置も嵌入ラインに沿って、上流側に分布しており、設定した袖折れラインが妥当であることが示されます。袖嵌入位置が袖折れラインより上流に 2~5m ずれている原因は、①嵌入位置自体が地山と交差して 1m 程度嵌入した位置を読み取っていること、②袖の天端勾配は分数表示したときその分母値に対して整数に切り下げている (勾配を急にすること)、③実際の地盤の細かい不陸の存在などがあげられます。



次に、一般図作成アプリ（StructuralDrawing++）によって得られる情報を表-1にケース別に整理しました。検討のねらいとしては、堤長を短くすることやコンクリート量を縮減することがあげられます。表-1の左岸側堤長とは、構造物センターから左岸側の堤長を指し、最も短いのは、ケース2（位置20m, 角度70°）となっています。最大傾斜方向のケース1（位置20m, 角度75°）は、左岸側堤長が78.0mであり、袖折れ角60°～70°（ケース2～4）はそれより短くなっています。

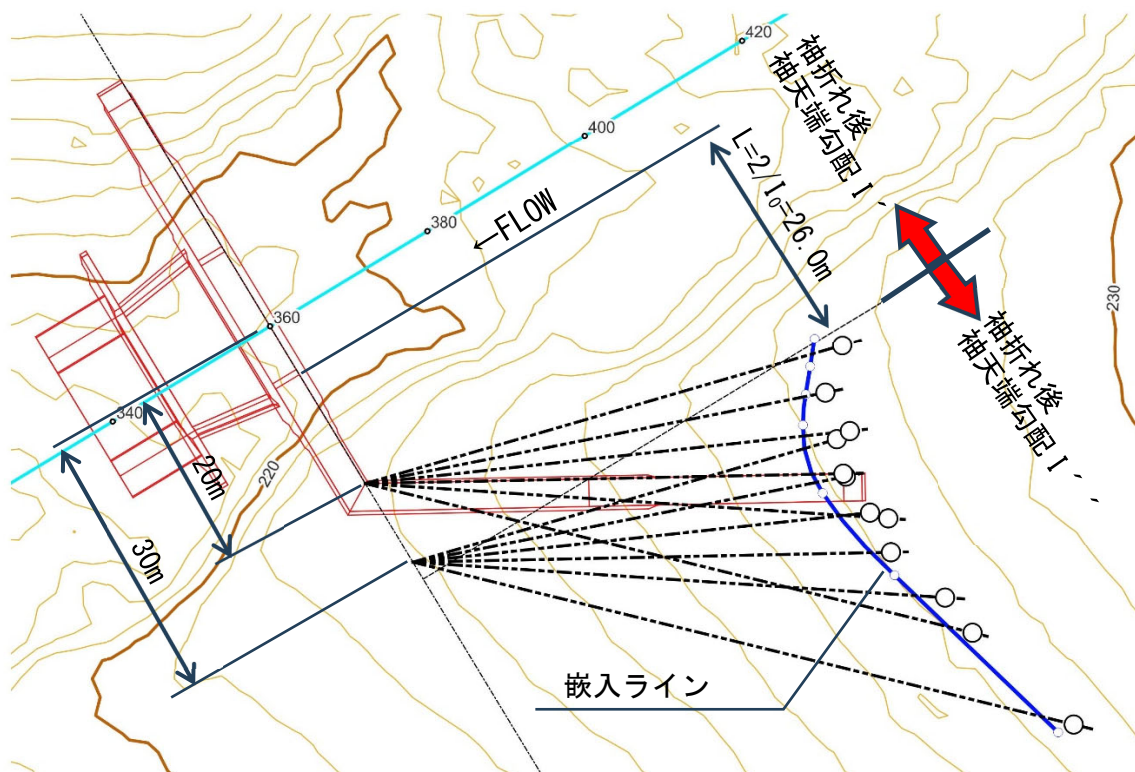


図-5 ケース別の袖嵌入位置

表-1 ケース別の検討結果

ケース	袖折れデータ		左岸側 堤長 (m)	袖折れ後 堤長 (m)	袖天端勾配			袖嵌入位 置天端高 (m)	左岸袖部コ ンクリート (m <sup>3</sup> )
	位置 (m)	角度 (°)			$l_0$	$l'$	$l''$		
1	20.0	75.0	78.0	56.0	1/13	1/14	1/20	227.57	845.8
2	〃	70.0	75.0	53.0	〃	1/13	1/21	227.33	874.8
3	〃	65.0	77.0	55.0	〃	1/12	1/22	227.36	910.8
4	〃	60.0	76.0	54.0	〃	1/12	1/23	227.09	894.5
5	〃	55.0	81.0	59.0	〃	1/11	1/24	227.28	962.0
6	〃	45.0	92.0	70.0	〃	1/11	1/28	227.24	1086.8
7	30.0	75.0	82.0	50.0	〃	1/14	1/20	227.21	996.7
8	〃	70.0	82.0	50.0	〃	1/13	1/21	227.10	997.9
9	〃	65.0	84.0	52.0	〃	1/12	1/22	227.10	1018.2
10	〃	60.0	86.0	54.0	〃	1/12	1/23	227.07	1049.9
11	〃	55.0	92.0	60.0	〃	1/11	1/24	227.24	1121.6
12	〃	45.0	108.0	76.0	〃	1/11	1/28	227.45	1293.0

これは、嵌入ラインが下流側に凸になっていることが影響していると考えられます。袖折れ位置 30m のケース（ケース 7～10）は、袖折れ後の延長が短くなるものの①袖折れ前の延長が 10m 長いこと、②嵌入ラインが袖折れ角度を小さくするほど離れていくため結果的に左岸側堤長は長くなってしまいます。

コンクリート量は、左岸側堤長とは異なり、最大傾斜方向のケース 1 が最も少なくなりました。これは、基礎部の段切りの違いも含まれていますが、今回の比較検討は図-2 の B-2 のタイプを対象としており、主な原因としては①袖天端勾配が緩いこと、②天端勾配の緩い区間が長いことが原因しています。袖天端勾配は、(1)、(2)式によれば図-6 の通りとなり、勾配  $I'$  は袖折れ角  $26^\circ \sim 40^\circ$  のとき最も急になるという特性があります。また、この勾配  $I'$  の区間は L より溪流側の範囲の勾配であり、ケース 1 はその区間が長いことがわかります。よって、この勾配  $I'$  の区間の長さがそれほど変わらないケース 6 とケース 7 のコンクリート量にはそれほど差異がありません。

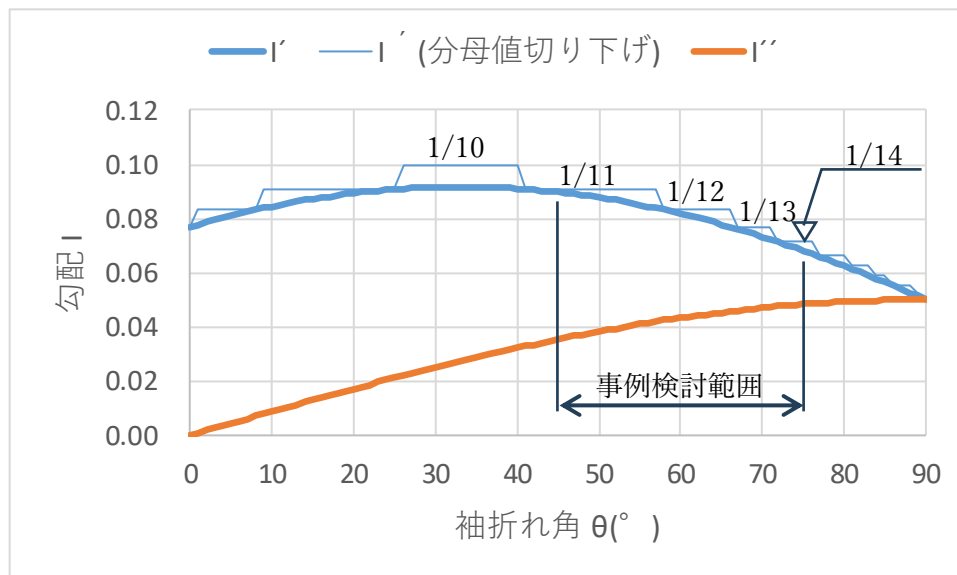


図-6 袖折れ角と袖天端勾配との関係（現況溪床勾配  $I_0=1/13$  のとき）  
 ※上図の関係は現況溪床勾配を変更しても同様な傾向となります。

#### 4. まとめ

以上より、地形条件から判断できる袖折れ位置と袖折れ角の設定方法について整理しておきます。今回の事例検討では、図-2 の B-2 のタイプの設定条件であったため、かならずしも堤長が短いケースがコンクリート量最小とはなりません。しかし、図-6 より仮に最大傾斜方向が  $40^\circ$  未満の地形条件や図-2 の B-1 のタイプの設定条件では、最大傾斜方向より袖折れ角が緩い場合に袖天端勾配が緩くなる傾向にあるため、堤長とコンクリートボリュームの増減は相関が高くなっていくと考えられます。

最適な袖折れ位置と角度を決定するためには、次の条件により影響を受けます。

I. 実際の地形条件における嵌入ラインの形状

II. 図-2 に示す袖折れ位置の設定条件

ただし、今回の検討を行ったことにより、判断のヒントが得られたものと考えます。有益と思われる事項について以下に箇条書きします。

**袖折れ位置と角度の設定における判断の目安**

1. 袖折れ位置と角度は、地形条件よりあらかじめ「嵌入ライン」を設定することにより判断しやすくなります。
2. 嵌入ラインへの最短経路として袖折れ位置と角度を設定する時、堤長は最も短くなる可能性が高くなります。
3. 袖折れ位置は、土石流の本体が直接ぶつからないような位置であれば、極力、溪流に近い位置がよいです。  
※事例検討では、袖折れ前の延長を長くすることで、袖折れ後の延長を短くできますが、結果的にトータルの堤長は長くなってしまいました。
4. 袖折れ角は、袖折れ位置から最大傾斜方向ではなく、それより若干緩い嵌入ラインへ最短となる角度とします。  
※事例検討では、最大傾斜方向に対して $5^{\circ}$ ～ $15^{\circ}$  緩い袖折れ角が堤長を最も短くできました。
5. コンクリート量は、袖折れ位置が $L(=2/I_0)$ を取った位置より河岸方向であれば(図-2 の B-1)、堤長が短くなる角度の設定により最小となることが推定できますが、袖折れ位置が $L$ より溪流方向の場合(図-2 の B-2)は、袖天端勾配などの影響を受けるので、比較検討による確認が必要になることが考えられます。

---

今回の投稿も資料作成に4日を要してしまいました(>\_<)

事例検討に対して、堆砂幅を広くとる観点から、袖折れ位置20m、袖折れ角度 $65^{\circ}$ ないし $60^{\circ}$ にケース(ケース3,4)あたりが適切なのではないかと思いますが、コンクリート量が最大傾斜方向のケース1が最小となることは意外でした。その原因の説明も少しわかりづらいですが理解できるように整理したつもりです。もう少し一般的にまとめられると思ったのですが、少し難しかったです。

袖折れ構造物の目的は、経済性だけではなく導流堤などと一体的に機能を発揮する事例もあり、検討はより複雑になっていく可能性があります。今回の投稿が少しでも袖折れ構造物の設計や検討に役立つのなら整理した甲斐があったと思われれます。みなさんも、実際の業務等で新たな発見があればコメントいただければ嬉しいです(^\_^)

それでは、また、機会を見つけて情報発信していきたいと思います。今後ともよろしくお願いたします m( )m