

資料-2

石狩川上流河床低下プロセスの整理

旭川開発建設部 治水課

目次

- 1. 露岩状況の経年変化**
- 2. 露岩・洗掘進行要因**
- 3. 河床低下プロセスの整理からの閾値検討**

1.露岩状況の経年変化

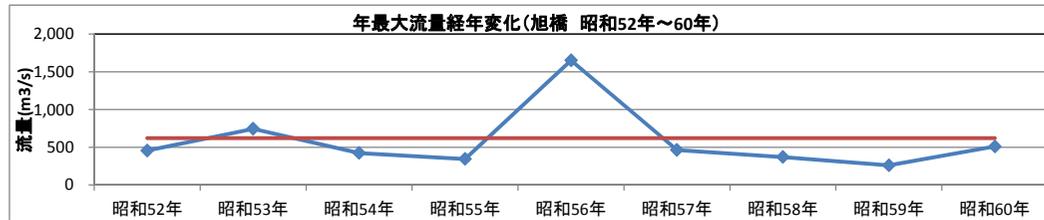
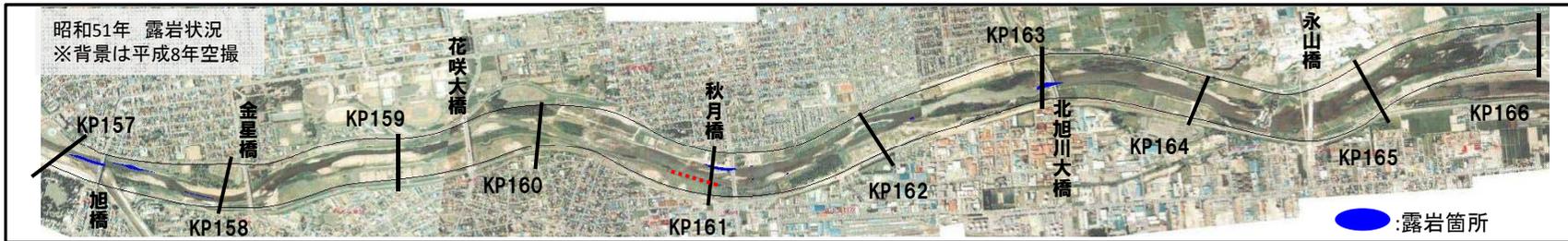
- ①露岩範囲の経年変化
- ②露岩面積の経年変化
- ③岩盤洗掘量の経年変化
- ④まとめ(露岩状況の経年変化)

1-① 露岩範囲の経年変化

- S51 : KP157、KP161、KP163付近に局所的な露岩箇所が存在している。
- S60 : 上記露岩箇所において露岩が進行するものの局所的にとどまっている。
- H7 : KP157、KP161付近の露岩が進行し、特にKP161付近の露岩拡大が大きい。
- H13 : さらに露岩が進行し、上下流の露岩箇所が連続する。H18: ほぼ全区間にわたり露岩が進行している。

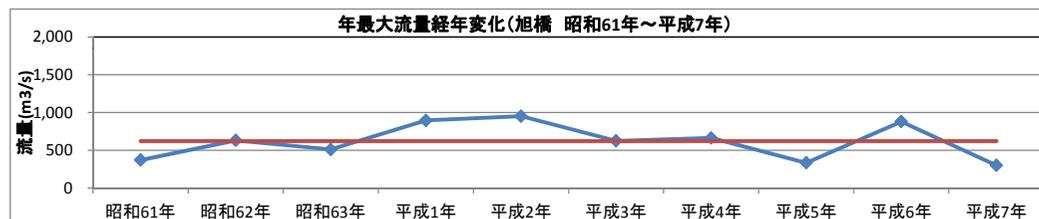
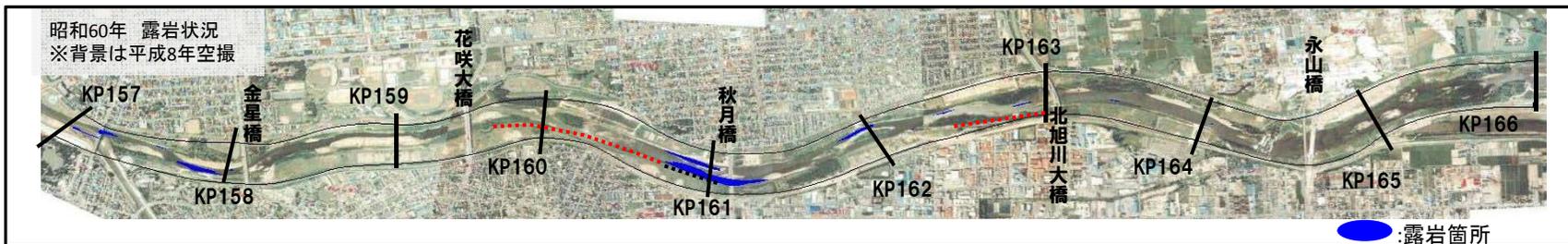
..... : 新設護岸(前測量年代以後に設置)
..... : 既設護岸(前測量年代以前に設置)

※露岩箇所は、横断測量時の河床高が推定岩盤高(H19・20ボーリング)より低い場合に「露岩」と判断した



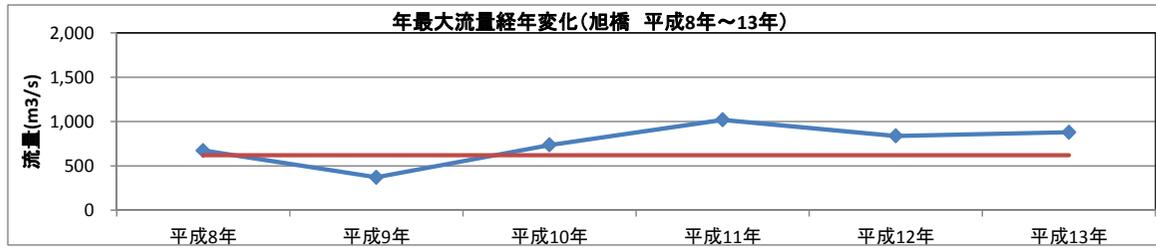
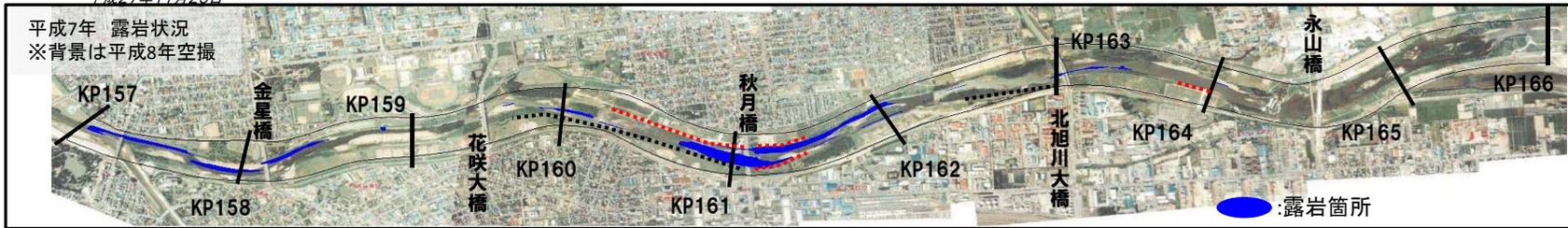
ピーク 流量
昭和56年 1653m³/s

— : 平均年最大流量
621.43m³/s (S51~H25)



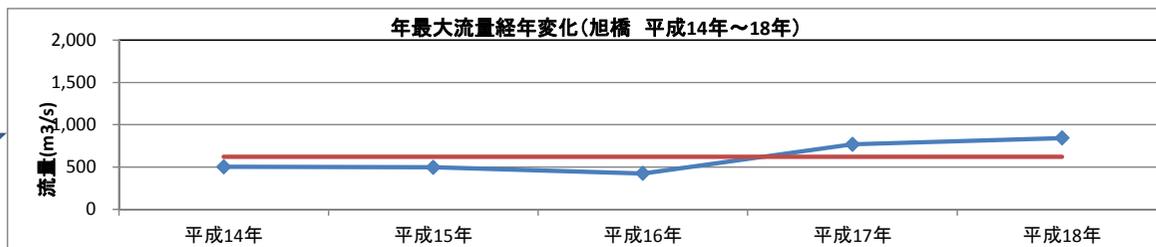
ピーク 流量
平成2年 951m³/s

— : 平均年最大流量
621.43m³/s (S51~H25)



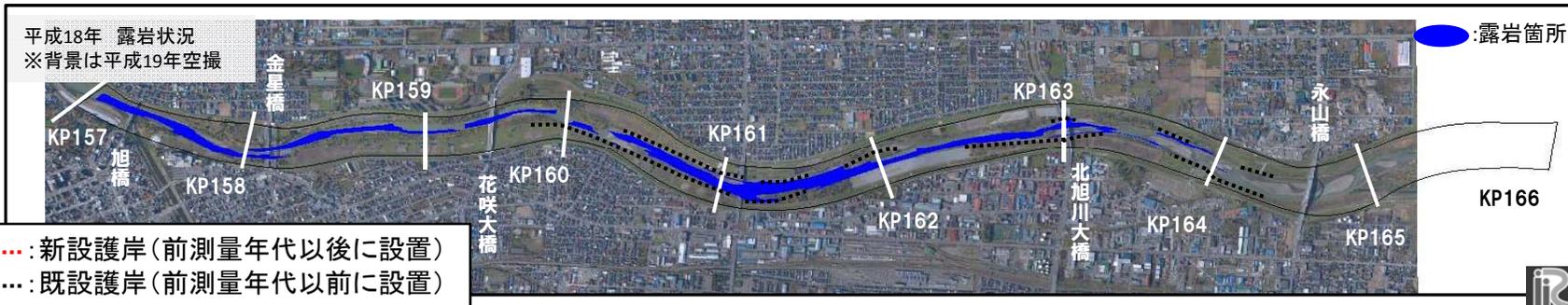
ピーク流量
平成11年 1019m³/s

— : 平均年最大流量
621.43m³/s (S51~H25)



ピーク流量
平成18年 843m³/s

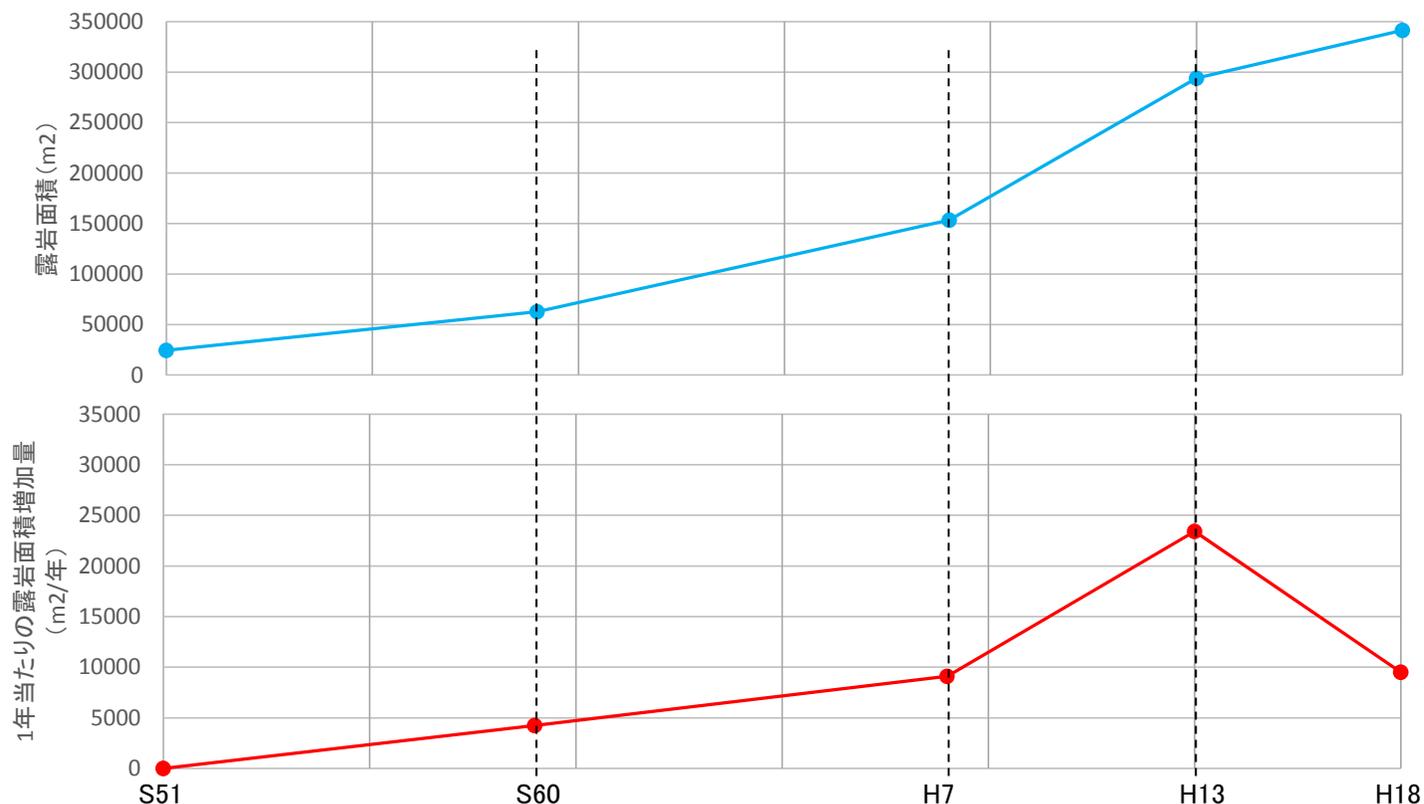
— : 平均年最大流量
621.43m³/s (S51~H25)



..... : 新設護岸(前測量年代以後に設置)
..... : 既設護岸(前測量年代以前に設置)

1-②露岩面積の経年変化

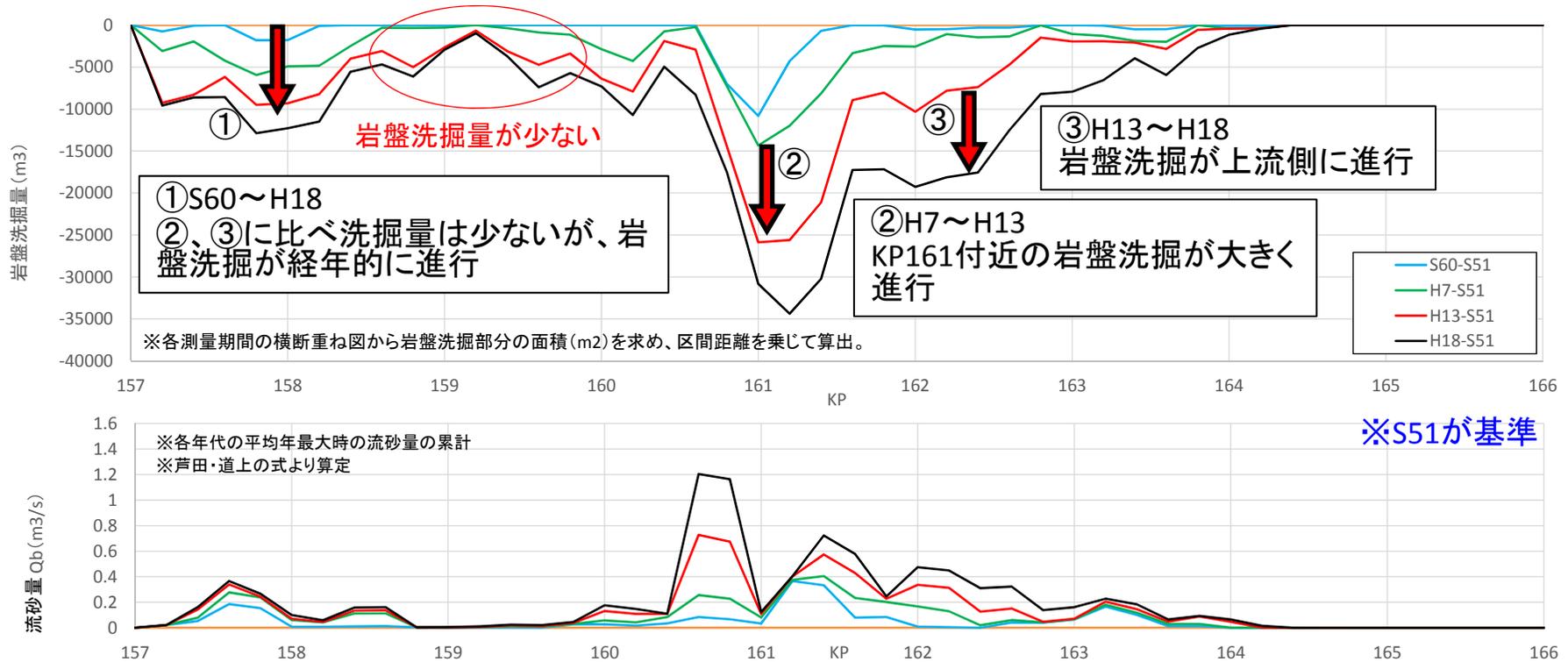
➤ H7～H13の期間において、露岩面積の拡大が顕著である。



期間	S61-S51	H7-S51	H13-S51	H18-S51
総露岩面積(m2)	62,622	153,538	293,957	341,522
露岩面積の増加量 (m2)	38,259(9年間)	90,915(10年間)	140,420(6年間)	47,565(5年間)
1年当たりの露岩面積増加量(m2/年)	4,251	9,092	23,403	9,513

1-③ 岩盤洗掘量の経年変化

- S51を基準に岩盤洗掘量の経年変化を整理。
- KP161付近において、H7～H13の岩盤洗掘の進行が顕著である。H13～H18にかけて上流側に進行している。
- 流砂量(平均年最大流量時の平衡流砂量)と岩盤洗掘進行箇所は概ね相関関係にある。



	S61-S51	H7-S51	H13-S51	H18-S51
総岩盤洗掘量 (m³)	-30,159	-99,861	-242,300	-383,510
岩盤洗掘量の変化 (m³)	-30,159 (9年間)	-69,702 (10年間)	-142,439 (6年間)	-141,210 (5年間)
1年当たりの岩盤洗掘量 (m³/年)	-3,351	-6,970	-23,740	-28,242

1-④まとめ（露岩状況の経年変化）

➤ 以上の検討結果を以下に整理した。

(1) 露岩範囲の経年変化

- ・ S51年には、KP157付近、KP161、KP163に局所的に露岩箇所が存在。
- ・ S60～H7年にかけて、KP157、KP161付近の露岩が進行した。特にKP161の露岩拡大が大きい。
- ・ その後、H13年にかけてさらに露岩範囲が拡大し、上下流の露岩箇所が連続。
- ・ H18年には、ほぼ全区間にわたり露岩範囲が進行、拡大した。

(2) 露岩面積の経年変化

- ・ H7年からH13年の露岩面積拡大が顕著である。

(3) 岩盤洗掘量の経年変化

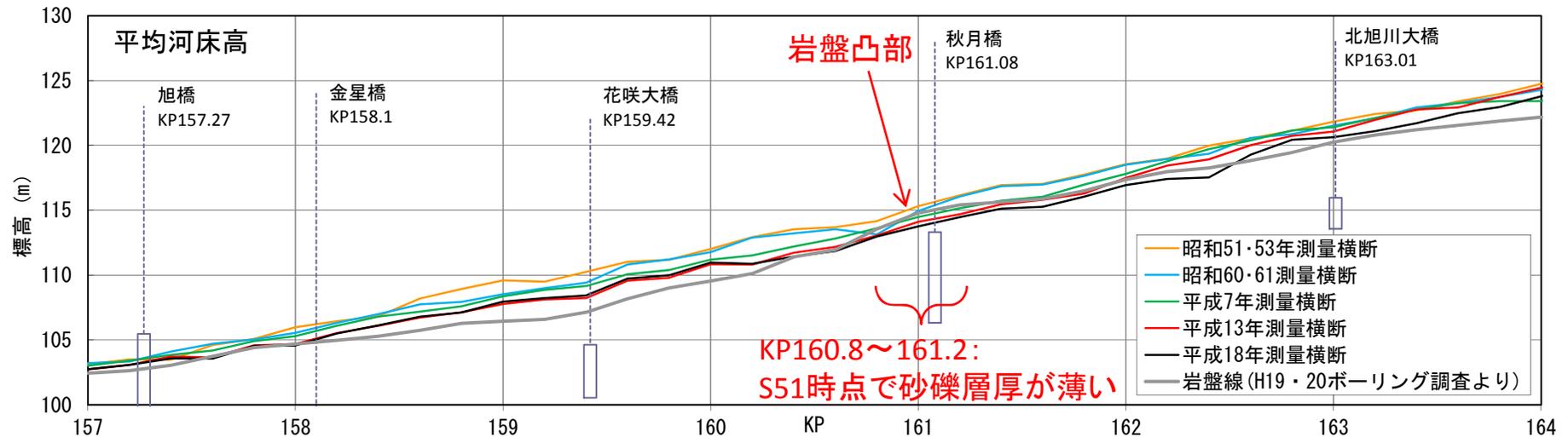
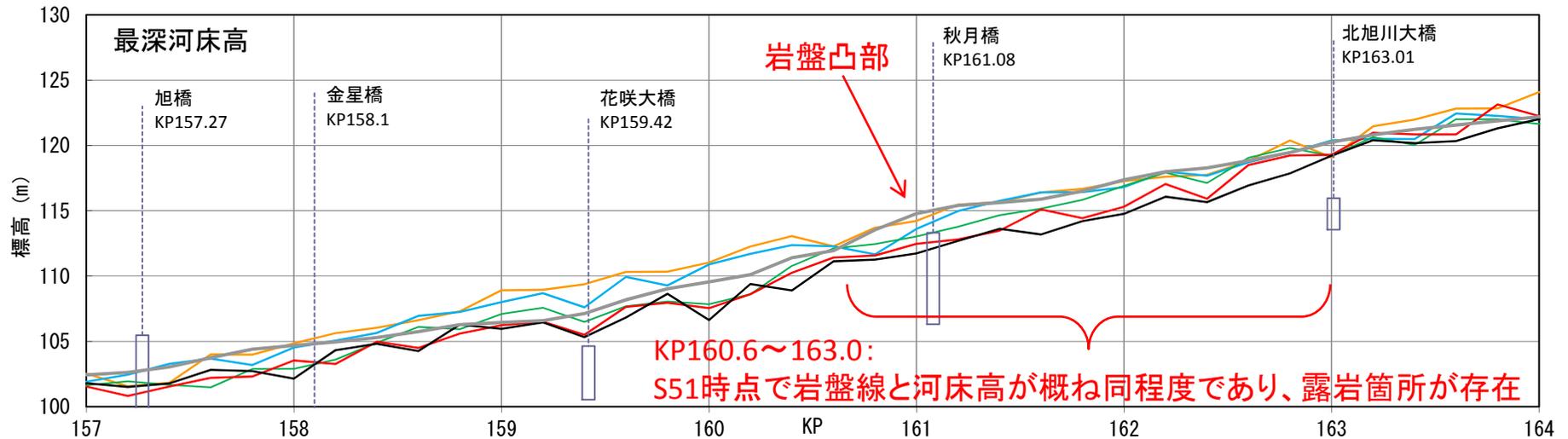
- ・ KP161付近のH7年からH13年の進行が顕著である。
- ・ その後、H18にかけて上流側にも進行した。

2.露岩・洗掘進行要因

- ①河床高(最深・平均)と岩盤線の関係
- ②水面幅・露岩幅の経年変化
- ③上流への河床低下(露岩)進行プロセス
- ④代表地点における露岩・洗掘プロセス
- ⑤代表地点における無次元掃流力の経年変化
- ⑥まとめ(露岩・洗掘進行要因)

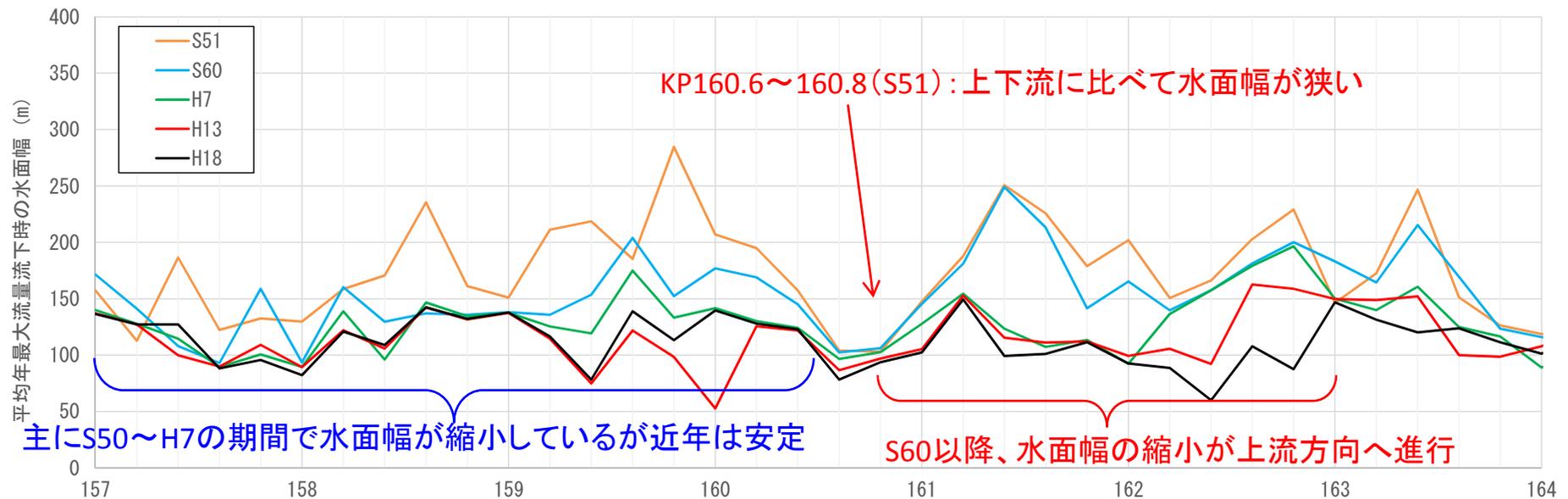
2-①河床高（最深・平均）と岩盤線の関係

- KP161付近の岩盤線が凸になっている。
- 最深河床高をみると、S51時点でKP160.6～163.0区間は岩盤線と河床高が概ね同程度であり、露岩箇所が存在する。
- 平均河床高をみると、S51時点でKP160.8～161.0区間の砂礫層厚が薄くなっている。
- 最深河床高、平均河床高ともにS60～H7にかけて河床低下が進行している。



2-②水面幅・露岩幅の経年変化

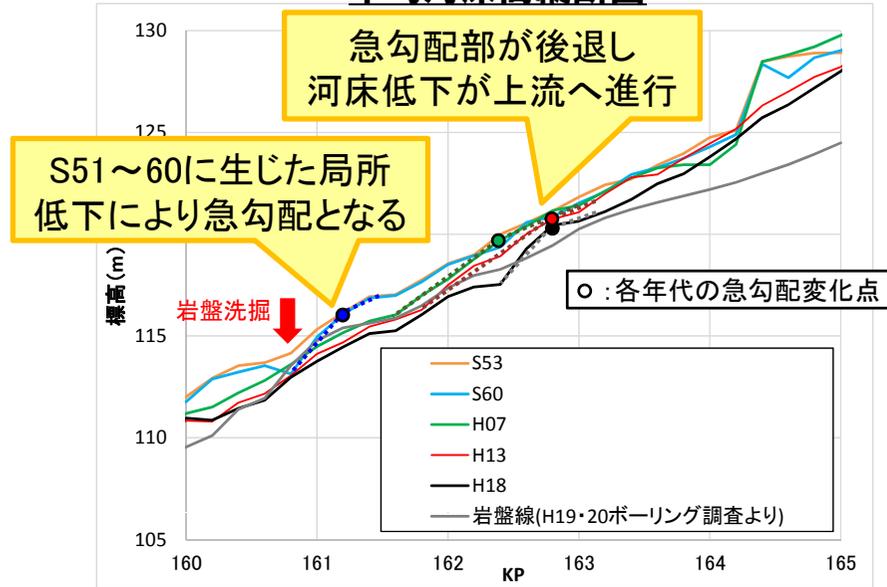
- 水面幅縦断図をみると、S51横断におけるKP160.6～160.8付近(岩盤凸部)の水面幅は上下流に比べて狭く、概ね半分以下である。
- 露岩幅縦断図をみると、S60においてKP160.8付近の露岩幅の拡大が顕著である。
- KP160.8下流側は、主にS50～H7の期間で水面幅縮小・露岩幅拡大が生じているが、近年は水面幅・露岩幅ともに安定傾向にある。一方、KP160.8上流側は、S60以降水面幅の縮小及び露岩幅の拡大が上流方向へ進行している。



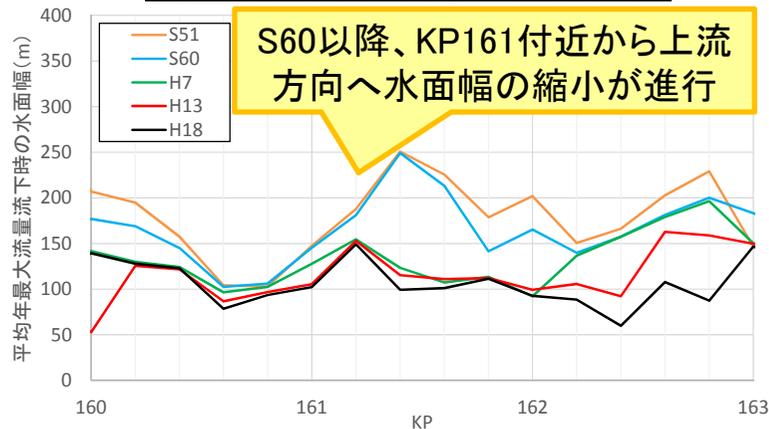
2-③上流への河床低下(露岩)進行プロセス

- 河床高縦断面図より、S51～60にKP161付近で局所低下が生じ、上流が急勾配となる。以後、急勾配部が後退し上流方向へ低下が進行。
- 水面幅縦断面図より、S60以降KP161付近から上流方向へ縮小が進行。高水敷造成や河床低下によるものと考えられる。
- 露岩範囲の変遷より、S51～60にKP161付近で大きく露岩。以後、河床低下の進行に伴い、上流方向へ経年的に拡大。

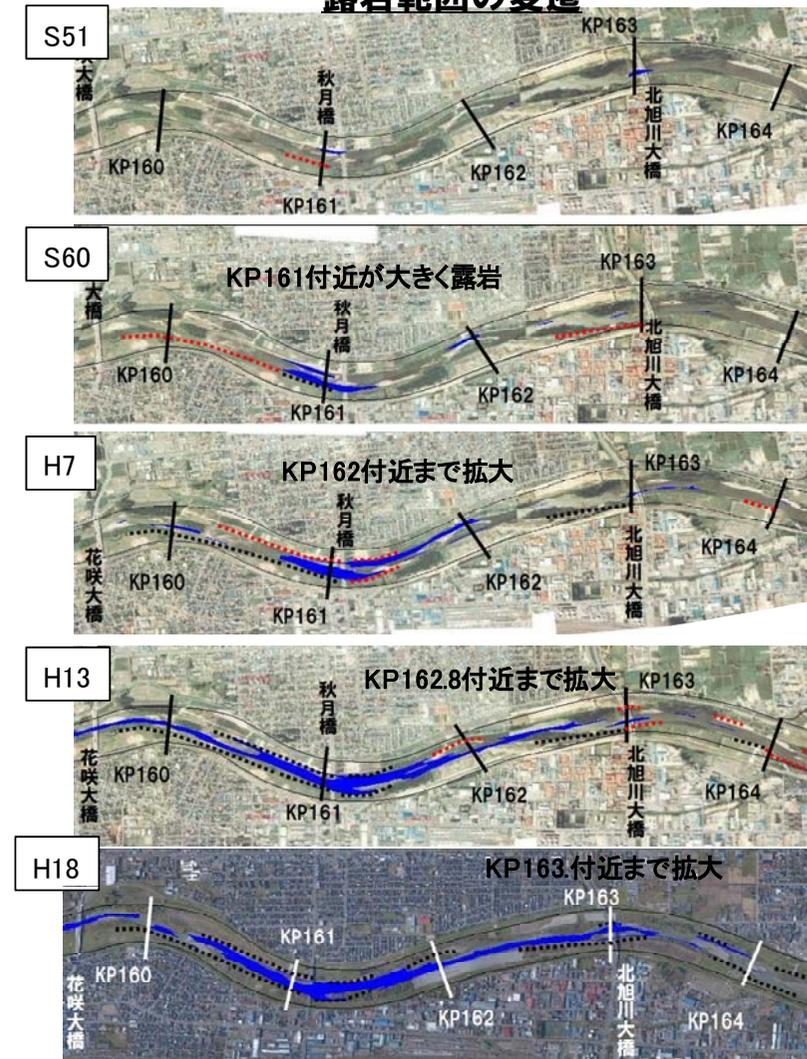
平均河床高縦断面図



水面幅縦断面図(平均年最大流量流下時)



露岩範囲の変遷

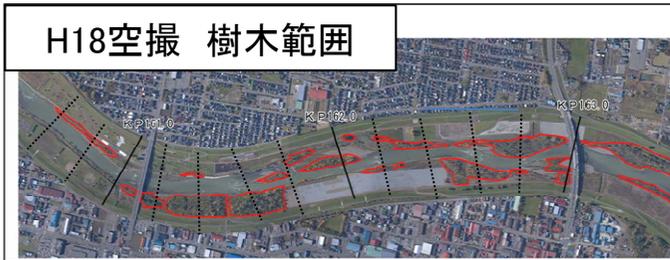
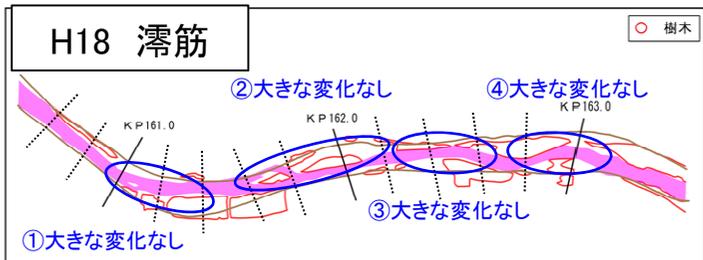
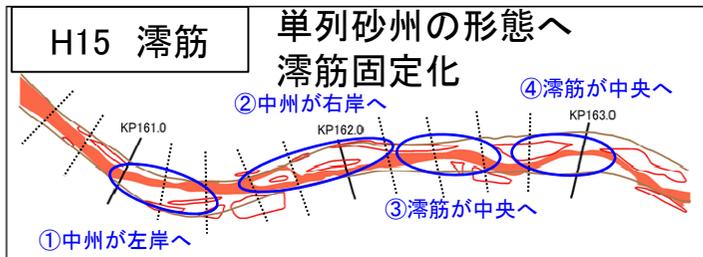
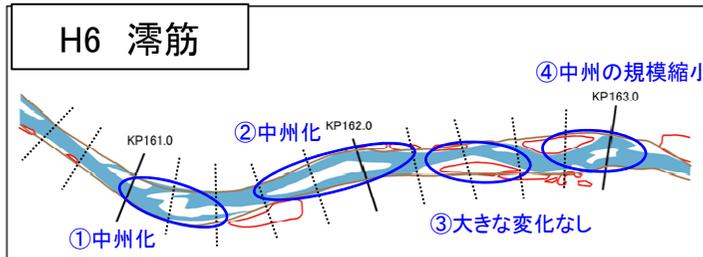
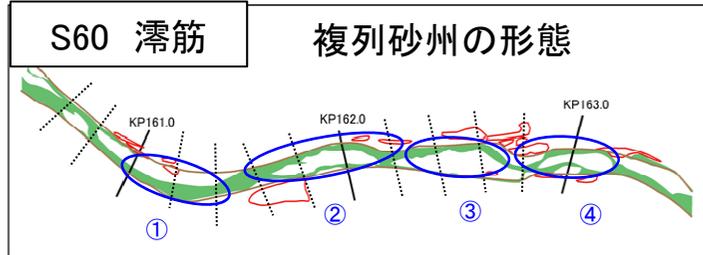


- 滞筋の変遷より、砂州の形態が複列砂州(昭和年代)から単列砂州(平成年代)に変化している。H6~H15の期間で滞筋が固定化が進行。
- 樹木範囲の変遷より、S60以降樹林化が進行。滞筋の固定化により樹林化が進行したものと考えられる。
- 以上より、露岩部の上流進行プロセスを整理した。

河床低下(露岩)の上流進行プロセス

滞筋の変遷

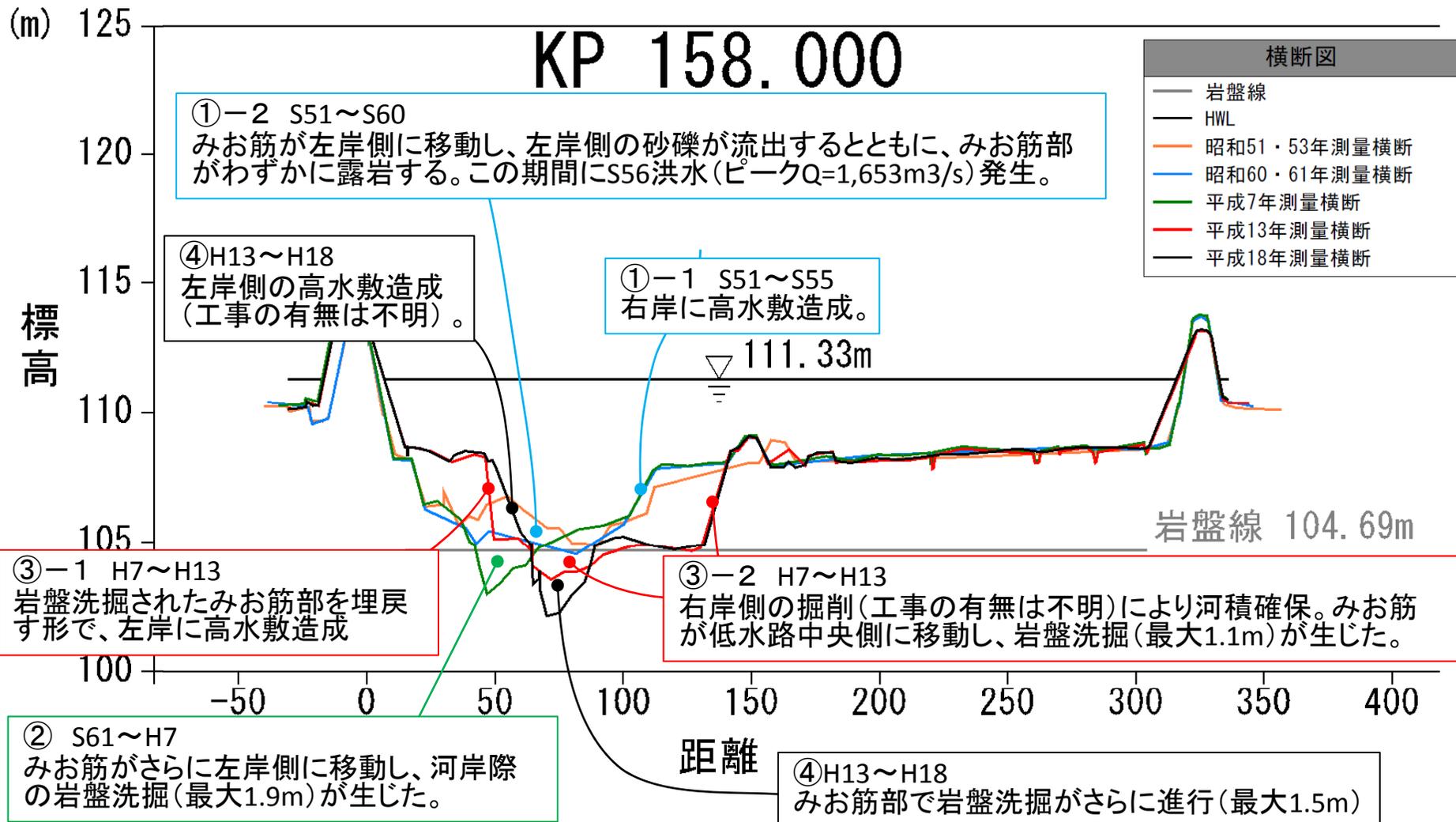
樹木範囲の変遷



- ① S51~60にKP161付近で局所低下が生じ、大きく露岩するとともに上流側が急勾配となる
 - ② 急勾配化した区間では、砂礫層が流出して河床が低下し、滞筋部が露岩。
 - ③ 急勾配区間の下流側の露岩部が、砂礫が流出する際に洗掘され河床が低下。
 - ④ 急勾配区間全体が河床低下し、水面幅の減少により掃流力が増大。また砂州冠水頻度が減少して樹林化し、滞筋が固定化。
 - ⑤ さらなる低下を助長し、急勾配部が上流へ後退。
- 以降、②~⑤を繰り返す。
- 以上の結果、上流方向へ滞筋化・二極化が進み、露岩部が連続するものと考えられる。

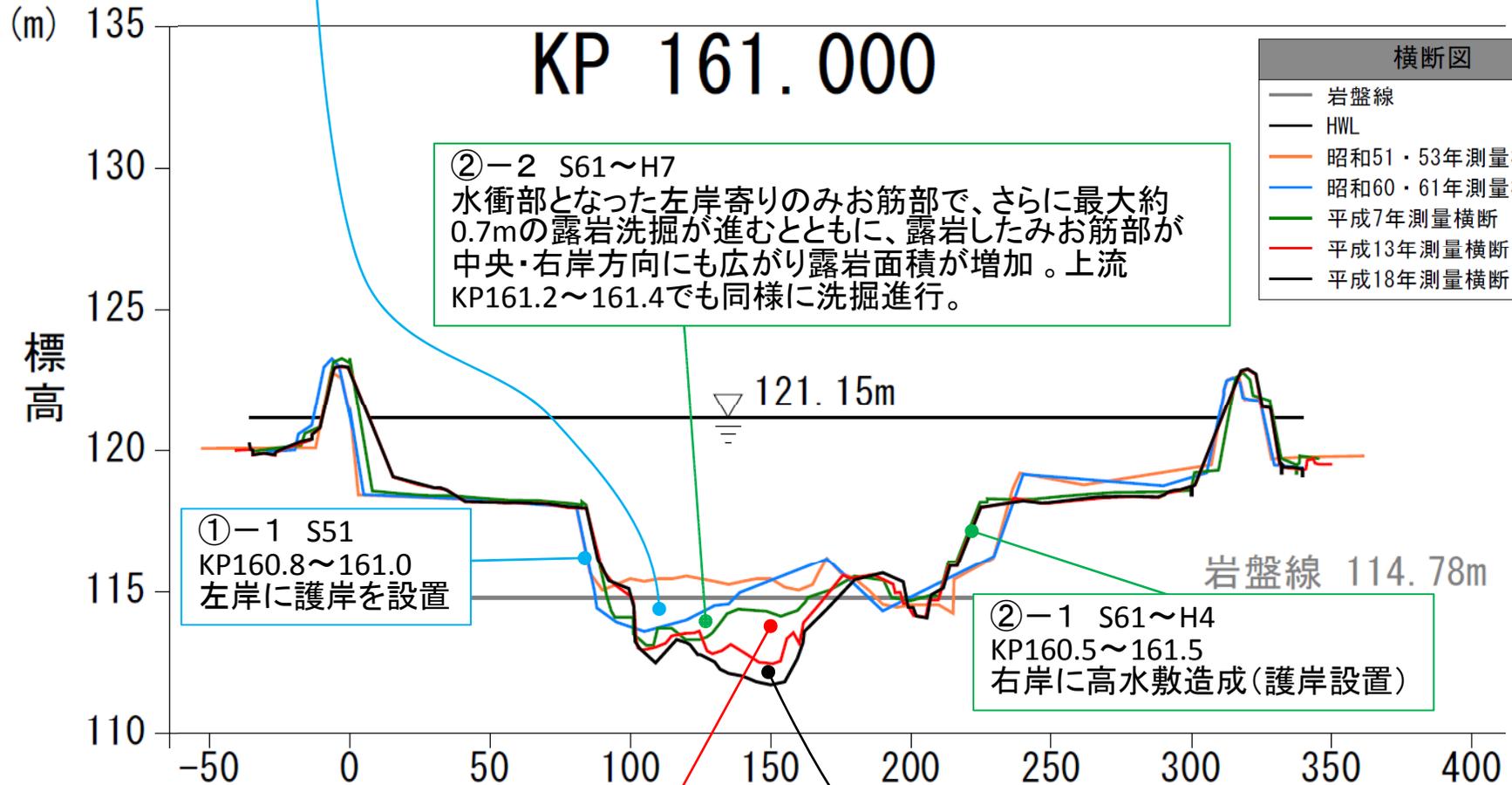
2-④ 代表地点における露岩・洗掘進行プロセス

- 以下の3地点を代表地点として露岩・洗掘プロセスを考察
- KP161、KP162.4付近に比べ、岩盤洗掘量は少ないが、経年的に洗掘が進行している**KP158.0付近**(KP157.6~158.4)
- 最初に岩盤洗掘が始まり、高水敷造成・上流の砂州形成後に岩盤洗掘が大きくなった**KP161付近**(KP160.6~161.4)
- その上流でKP161付近に続いて岩盤洗掘が発生し、同じく高水敷造成により近年洗掘量の多い**KP162.4付近**(KP162.0~162.8)



①-2 S51~S60

護岸前面の左岸側に、みお筋が移動し、岩盤上の砂礫が流出し、みお筋部で最大1mの岩盤洗掘が発生。上流KP161.2~161.4では大きな変化は発生していない。この期間にS56洪水(ピークQ=1,653m³/s)発生。



横断面図	
—	岩盤線
—	HWL
—	昭和51・53年測量横断
—	昭和60・61年測量横断
—	平成7年測量横断
—	平成13年測量横断
—	平成18年測量横断

②-2 S61~H7

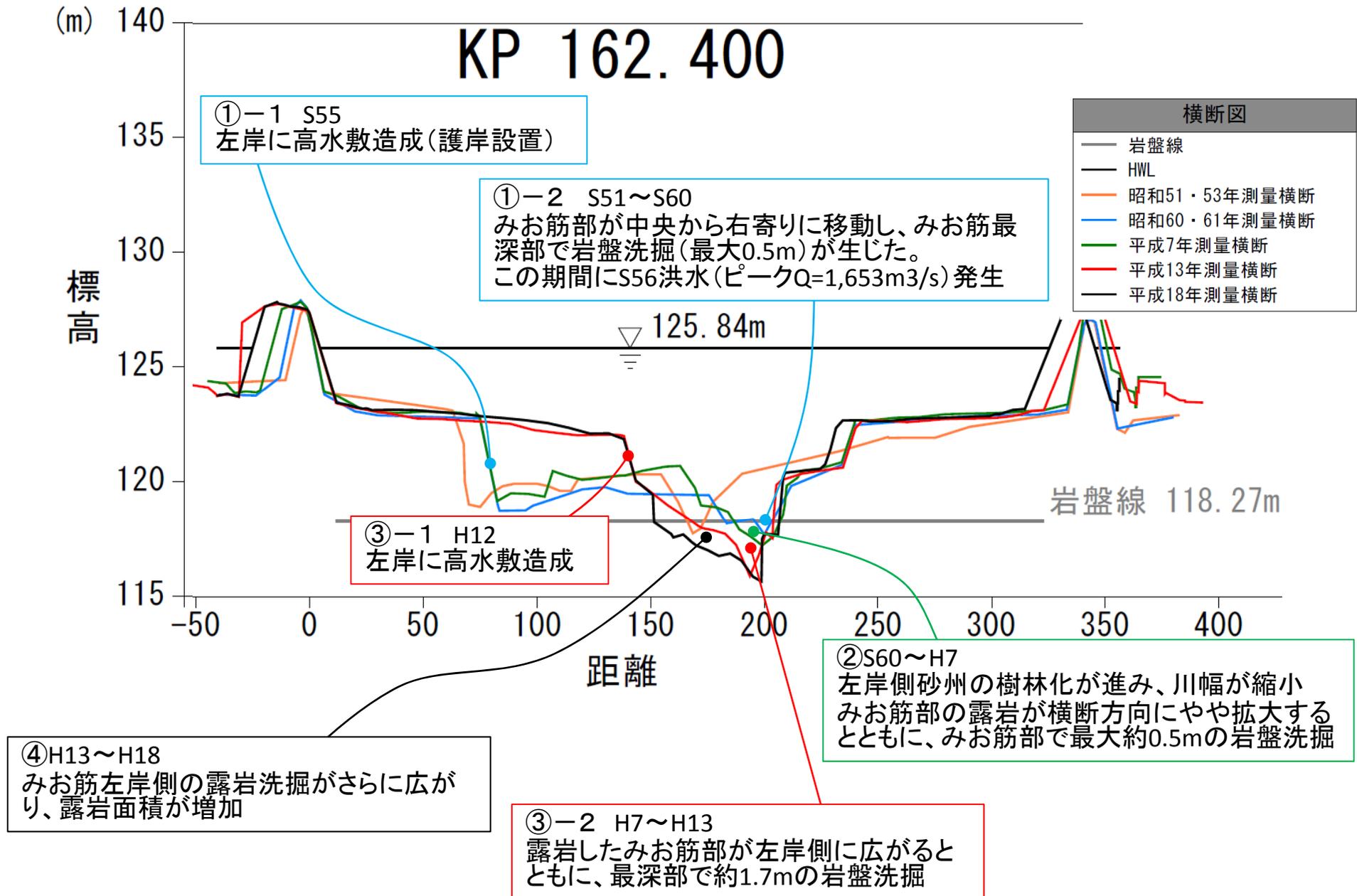
水衝部となった左岸寄りのみお筋部で、さらに最大約0.7mの露岩洗掘が進むとともに、露岩したみお筋部が中央・右岸方向にも広がり露岩面積が増加。上流KP161.2~161.4でも同様に洗掘進行。

①-1 S51
KP160.8~161.0
左岸に護岸を設置

②-1 S61~H4
KP160.5~161.5
右岸に高水敷造成(護岸設置)

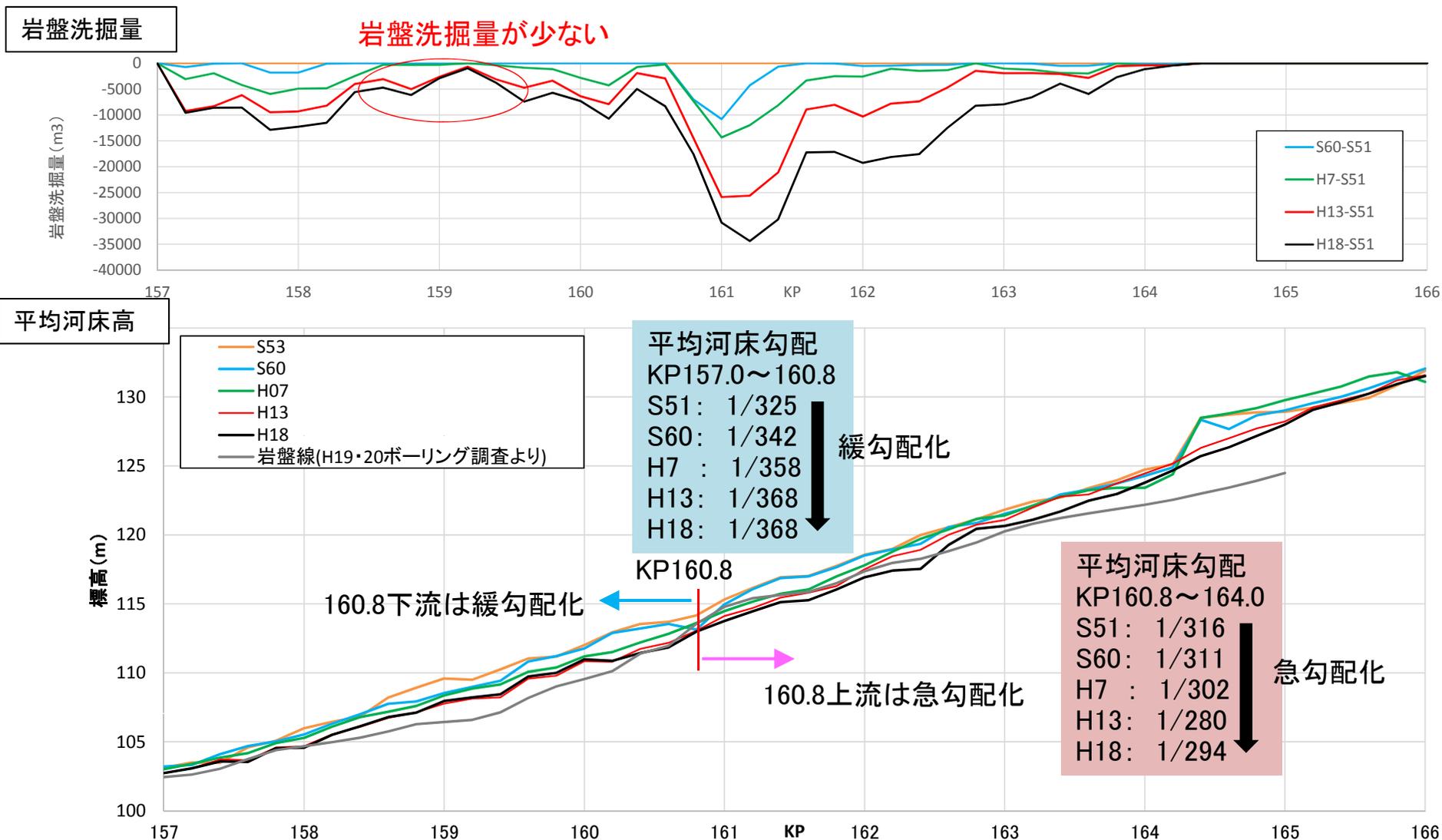
③ H7~H13
みお筋右岸側の露岩部で、さらに最大約1.8mの岩盤洗掘が進行。上流左岸の砂州の発達・樹林化により、みお筋が左岸寄りから中央寄りに移動した。

④ H13~H18
露岩面積(横断方向幅)には大きな変化はないが、露岩幅全体で深さ方向の洗掘が進み、中央部のみお筋部で最大約0.8mの岩盤洗掘がさらに増加。



【参考】KP159付近の岩盤洗掘量が少ない要因

- KP160.8で生じた河床低下が上流側へ進行。下流側は河床勾配が緩勾配化(上流は急勾配化)し、近年は安定傾向。
- KP159付近は平均河床高に比べて、岩盤線が低くなっている。
- KP159付近の岩盤洗掘量が少ない要因として、河床勾配が緩勾配化したこと、岩盤線が低いことが考えられる。



2-⑤代表地点における無次元掃流力の経年変化（2）

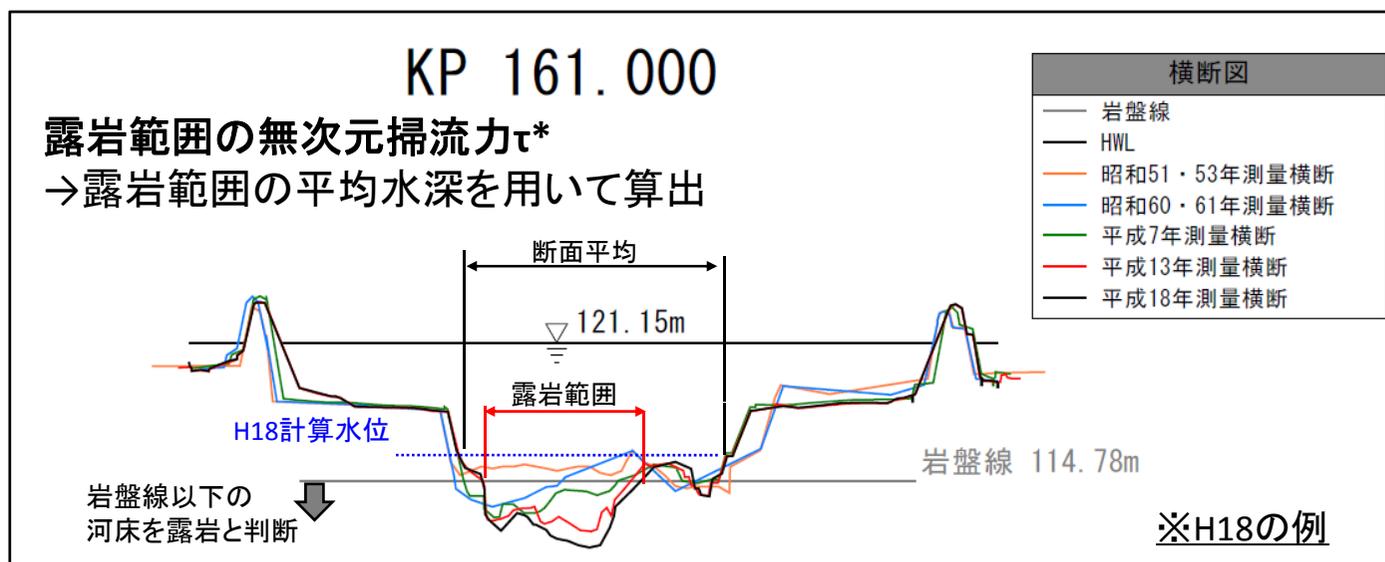
➤ 以下に、無次元掃流力一覧表（代表地点付近平均值）、露岩範囲の無次元掃流力の算定方法を示す。

無次元掃流力一覧表

（KP158.0: KP157.6～158.4平均値、KP161: KP160.6～161.4平均値、KP162.4: KP162.0～162.8平均値）

		S51	S60	H7	H13	H18	対策後
KP158.0	断面平均	0.093	0.062	0.073	0.056	0.060	0.058
	露岩範囲		0.086	0.129	0.079	0.088	
KP161.0	断面平均	0.066	0.064	0.069	0.081	0.082	0.063
	露岩範囲		0.063	0.089	0.110	0.108	
KP162.4	断面平均	0.047	0.047	0.064	0.073	0.086	0.057
	露岩範囲		0.087	0.101	0.125	0.122	

露岩範囲の無次元掃流力 τ^* の算定方法



2-⑥まとめ（露岩・洗掘進行要因）

➤ 以上の検討結果を以下に整理した。

①KP158.0付近

- ・ S51～S55の高水敷造成により川幅が縮小。みお筋が左岸側に移動し、左岸側の砂礫が流出するとともに、みお筋部がわずかに露岩。
- ・ その後、みお筋がさらに左岸側に移動し、S60～H7に河岸際で1.9m程度の岩盤洗掘が生じる。
- ・ 上記で生じた岩盤洗掘を埋め戻す形で左岸に高水敷造成、右岸側は掘削により河積を確保。H7～H13にかけて上流側の河床低下進行が著しく、**当区間の河床勾配が緩勾配化**。断面平均掃流力は0.073から0.056、露岩範囲掃流力は0.129から0.079に減少した。しかし、みお筋が低水路中央側に移動し、H7～H13に1.1m程度の岩盤洗掘が生じた。
- ・ H13～H18には、みお筋部の洗掘がさらに進行し、断面平均掃流力が**0.056**から**0.060**、露岩範囲掃流力が**0.079**から**0.088**に増加した。

②KP161付近

- ・ KP161付近の岩盤線が凸になっており、S51時点で局所的な露岩および砂礫層の薄い区間が存在し、露岩しやすい状況下にあった。
- ・ S51横断におけるKP160.6～160.8付近の水面幅は上下流に比べて狭く、概ね半分以下である。
- ・ S51、S60では、護岸施工に伴う流水集中、S56年洪水のインパクトがあったものの露岩は局所洗掘にとどまっていた。局所洗掘により上流が急勾配となる。
- ・ S61～H4の高水敷造成による川幅縮小によって、流水が集中し掃流力が増加。この掃流力の増加で、河床砂礫は流出しやすい状態となり、砂礫層の薄い箇所露岩部が拡大。一度露岩した箇所は土砂が堆積しづらく※1、H7にかけて特にKP161において、流砂による岩盤洗掘が進行。経年的に河床低下が上流方向へ進行。

（※1：H20～21年の現地実験では、岩盤上の無次元限界掃流力は河床砂礫上の0.6倍程度）

- ・ H13には断面平均掃流力がそれまでの**0.064～0.069**から**0.081**に増加し、**露岩範囲が連続化**するとともに岩盤洗掘が大きく進行。みお筋部の岩盤洗掘が進行した結果、水深の増加に伴い、露岩範囲掃流力は**0.089**から**0.110**と増加し、H18にかけてさらなる岩盤洗掘が進行した。

③KP162.4付近

- ・ S55の高水敷造成により川幅が若干縮小したものの、露岩範囲は大きくはなく、砂礫層も確保されていた。S51, S60の断面平均掃流力は0.047。
- ・ 左岸側に発生した砂州が固定されて徐々に樹林化が進み、H7には川幅がさらに縮小し、みお筋が右岸側に固定されて流水の集中が進んだ。みお筋部で0.5m程度の岩盤洗掘が進行。H7の断面平均掃流力は0.064。
- ・ H12年の高水敷造成により川幅が縮小し、流水が集中し断面平均掃流力が0.073に増加。
- ・ 掃流力が高まった結果、河床砂礫は流出しやすい状態となり、砂礫層の薄い箇所では露岩部が拡大し、樹林化区間を除いてほとんどが露岩した。また、露岩したみお筋部では流砂による岩盤洗掘が進んだ。
- ・ みお筋部の岩盤洗掘が進行した結果、水深の増加に伴い掃流力がさらに増加し、露岩範囲掃流力は、H7年0.101、H13年0.125、H18年0.122と大きくなり、岩盤洗掘がより一層進行した。

3.河床低下プロセスの整理からの閾値検討

①平均洗掘深と最深洗掘深の関係

内容：局所的な岩盤洗掘が断面全体(横断方向)へと広がる変化点の把握

横軸に最深洗掘深、縦軸に平均洗掘深とし、露岩部の最深洗掘深がどの程度まで発達したら、露岩部の平均洗掘深が増加するのかを確認

結果：全断面のプロットより、露岩部の平均洗掘深と最深洗掘深にはある程度の相関がみられ、最深洗掘深の増加に伴い、平均洗掘深の変化量が増加する変化点がみられた

②露岩幅と岩盤洗掘量の関係

内容：露岩幅の拡大に伴い、岩盤洗掘量が大きく増加する変化点の把握

横軸に露岩幅、縦軸に岩盤洗掘量とし、露岩幅がどの程度まで拡大したら、岩盤洗掘量が大きく増加するのかを確認

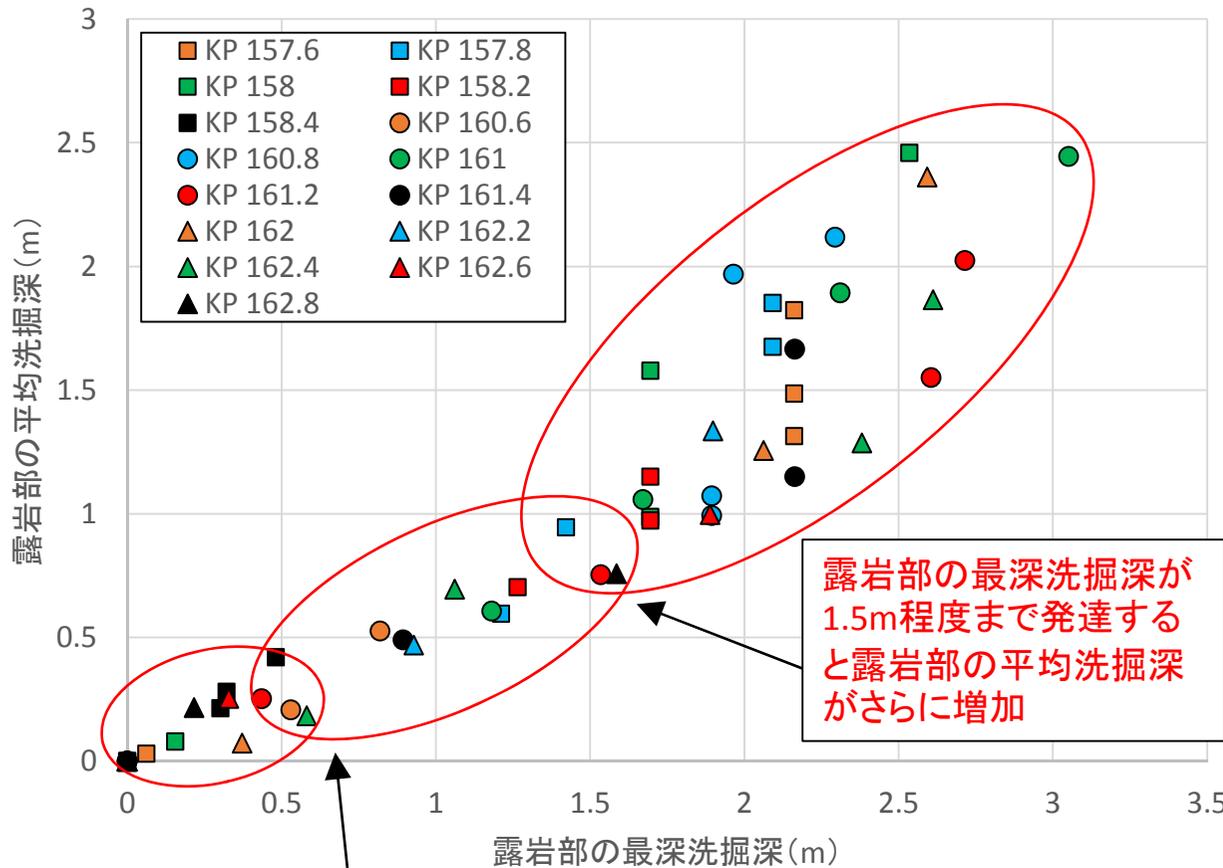
結果：全断面のプロットより、露岩幅と岩盤洗掘量にはある程度の相関がみられ、露岩幅の増加に伴い、岩盤洗掘量の変化量が増加する変化点がみられた

③対策実施後における順応的管理の閾値の目安(案)

上記の結果を踏まえ、①、②を基に閾値の目安(案)を設定

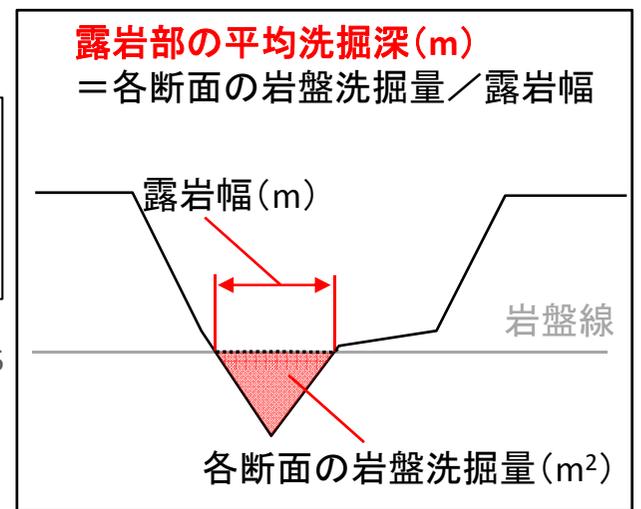
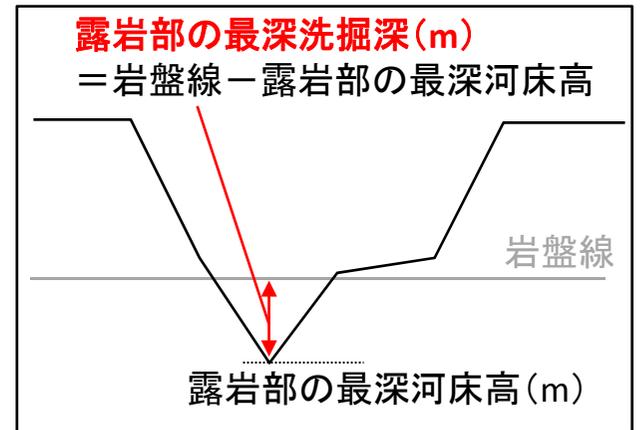
3-①代表地点における平均洗掘深と最深洗掘深の関係（1）

- 局所的な岩盤洗掘が断面全体（横断方向）へと広がる変化点を把握するため、露岩部の最深洗掘深（推定岩盤高を基準とした、最深岩盤高との比高）がどの程度まで発達したら、露岩部の平均洗掘深が増加するのかを確認した。
- 下記グラフより、露岩部の平均洗掘深と最深洗掘深にはある程度の相関があり、露岩部の最深洗掘深(m)が0.5m程度まで発達すると、露岩部の平均洗掘深が若干増加し、露岩部の最深洗掘深が1.5m程度まで発達すると、露岩部の平均洗掘深がさらに増加する傾向がみられた。
- 次ページでは各断面毎に変化点や傾向の確認を行う。



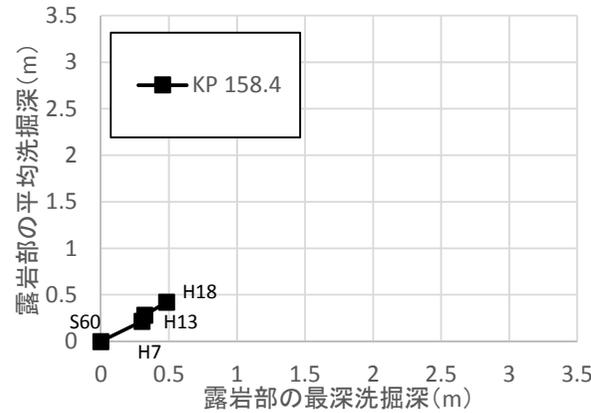
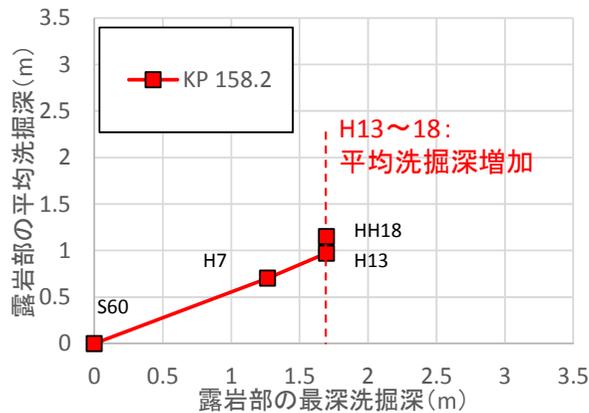
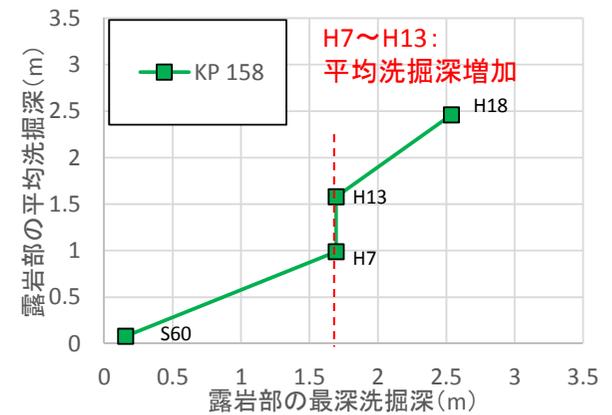
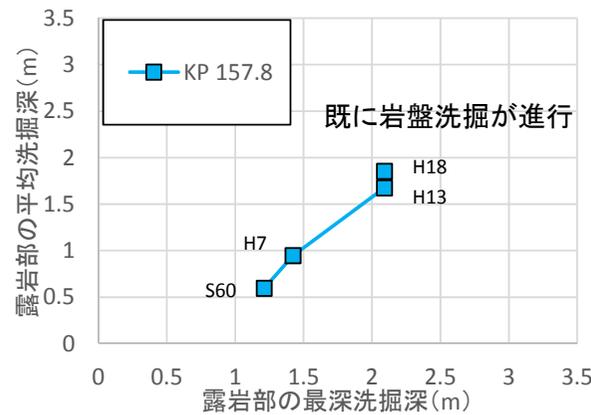
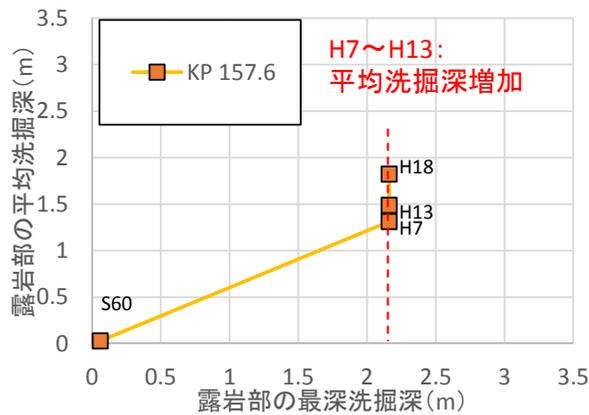
露岩部の最深洗掘深が0.5m程度まで発達すると露岩部の平均洗掘深が若干増加

露岩部の最深洗掘深が1.5m程度まで発達すると露岩部の平均洗掘深がさらに増加



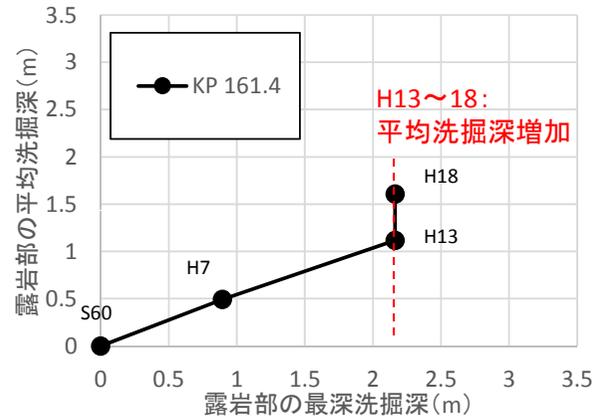
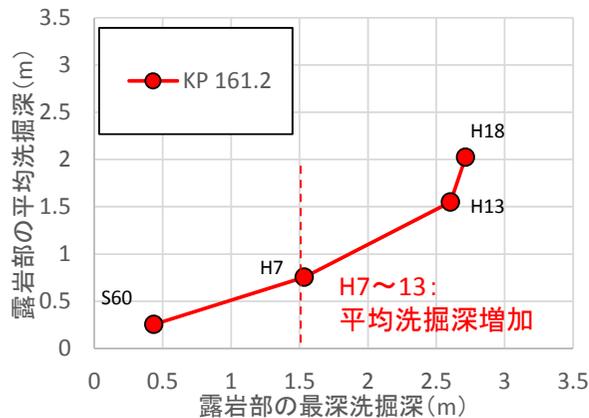
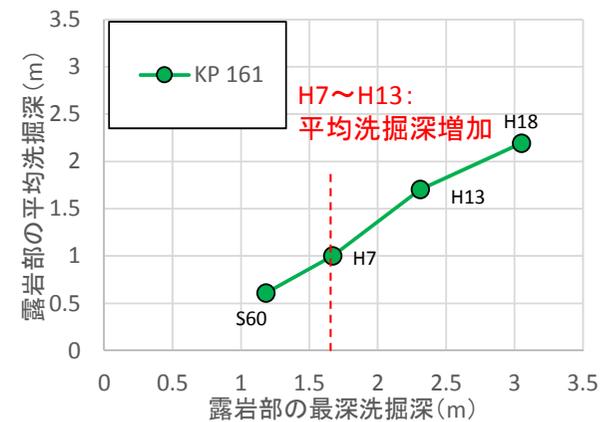
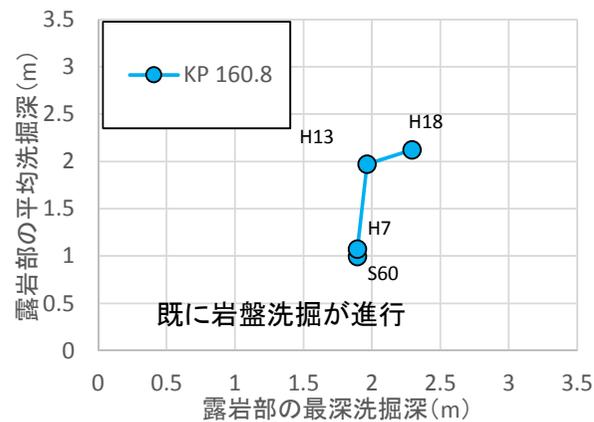
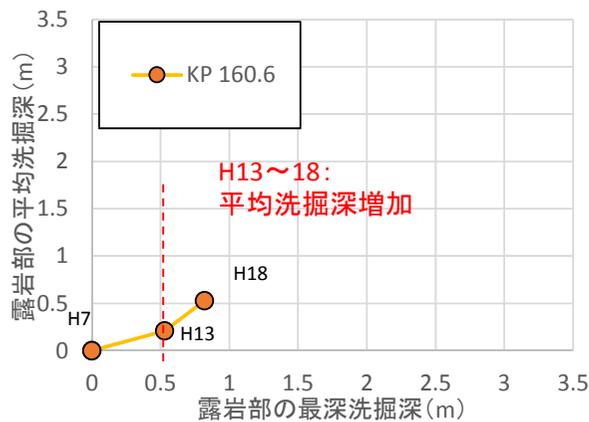
3-①代表地点における岩盤洗掘深と最深洗掘深の関係（2）

- 以下に各断面毎（ KP157.6～158. 4）の露岩部の平均洗掘深と最深洗掘深のグラフを示した。
- 傾向にばらつきはあるが、露岩部の最深洗掘深が最低1.7m、最大2.2m程度まで発達すると、露岩部の平均洗掘深が増加する傾向となる断面もみられた。



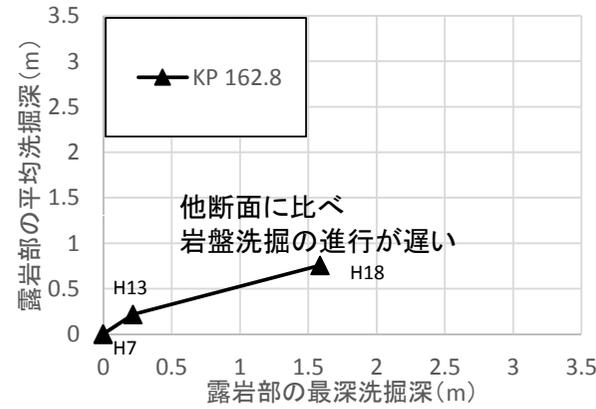
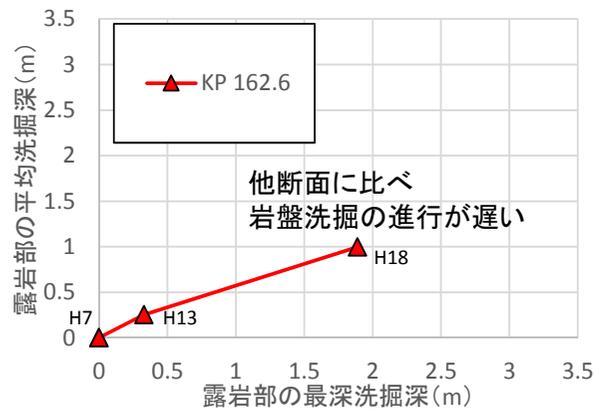
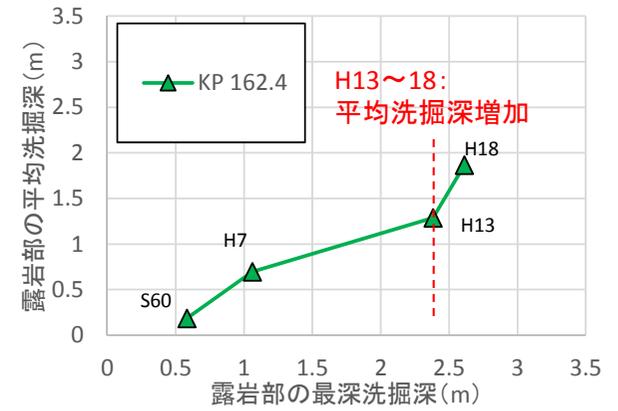
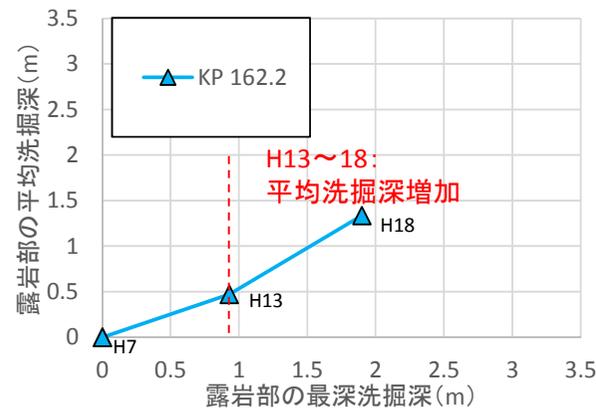
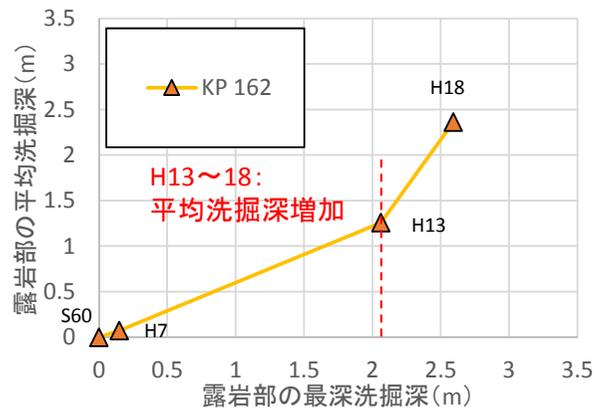
3-①代表地点における岩盤洗掘深と最深洗掘深の関係（3）

- 以下に各断面毎（ KP160.6～161.4 ）の露岩部の平均洗掘深と最深洗掘深のグラフを示した。
- 傾向にばらつきはあるが、露岩部の最深洗掘深が最低0.5m、最大2.2m程度まで発達すると、露岩部の平均洗掘深が増加する傾向となる断面もみられた。



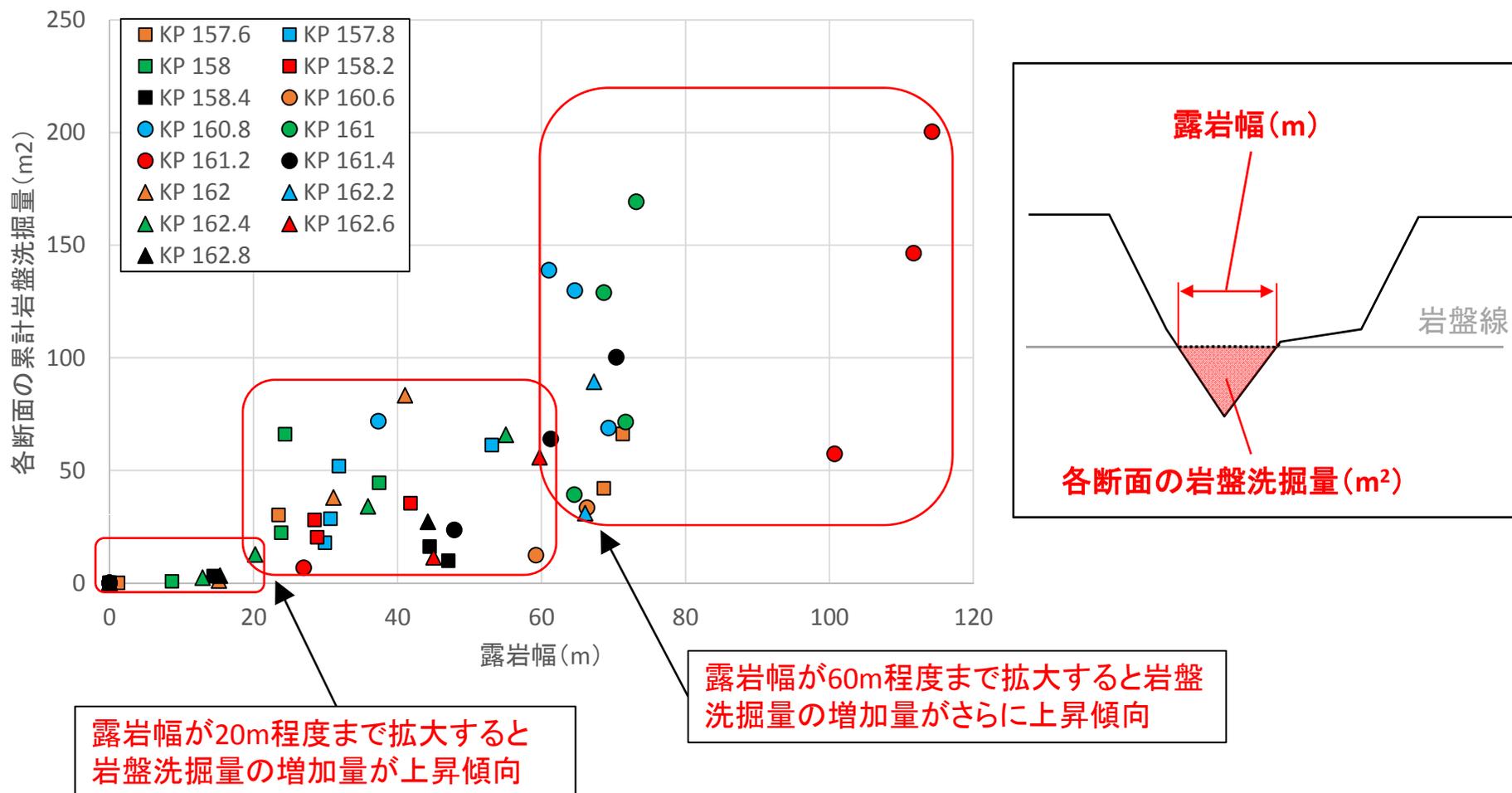
3-①代表地点における岩盤洗掘深と最深洗掘深の関係（4）

- 以下に各断面毎（ KP162.0～162.8 ）の露岩部の平均洗掘深と最深洗掘深のグラフを示した。
- 傾向にばらつきはあるが、露岩部の最深洗掘深が最低0.9m、最大2.4m程度まで発達すると、露岩部の平均洗掘深が増加する傾向となる断面もみられた。



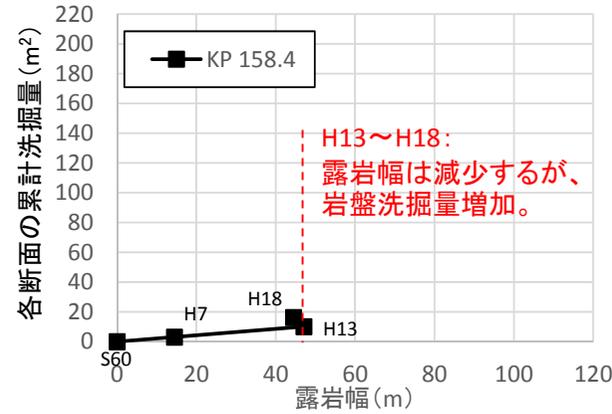
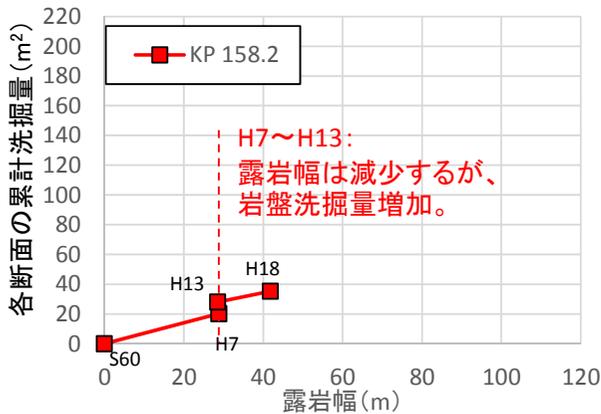
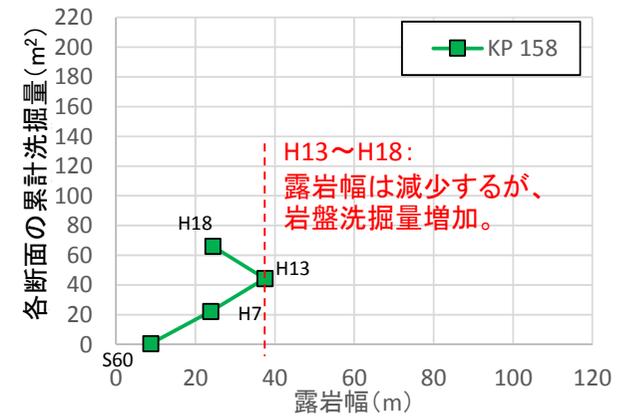
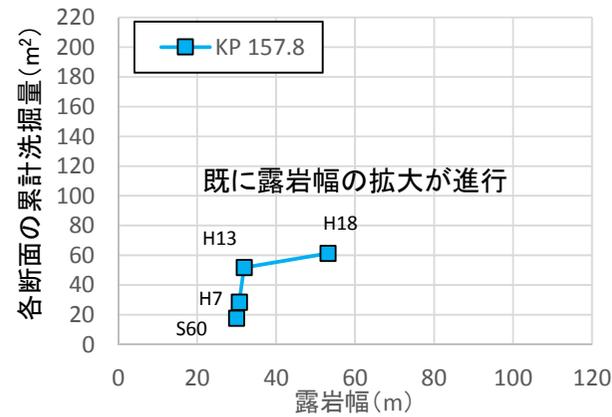
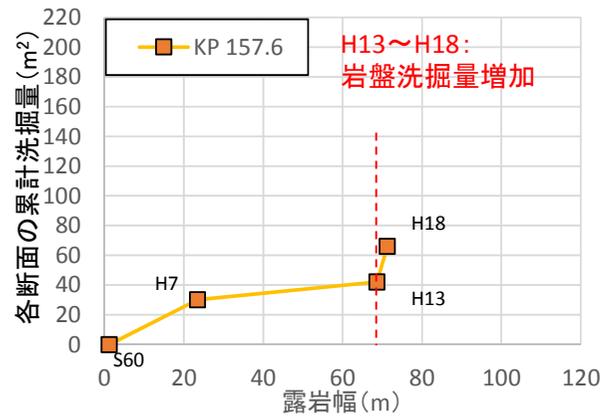
3-②代表地点における露岩幅と岩盤洗掘量の関係（1）

- 露岩幅の拡大に伴い、岩盤洗掘量が大きく増加する変化点を把握するため、横軸を露岩幅とし、岩盤洗掘量（縦軸）の増加量が上昇するポイントを確認した。
- 下記グラフより、露岩幅と岩盤洗掘量にはある程度の相関がみられ、露岩幅(m)が20m程度まで拡大すると、岩盤洗掘量の増加量が上昇する傾向となり、露岩幅(m)が60m程度まで拡大すると、岩盤洗掘量の増加量がさらに上昇する傾向となった。
- 次ページでは各断面毎に変化点や傾向の確認を行う。



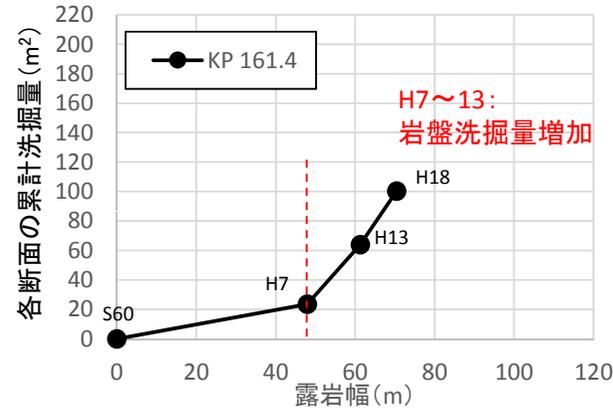
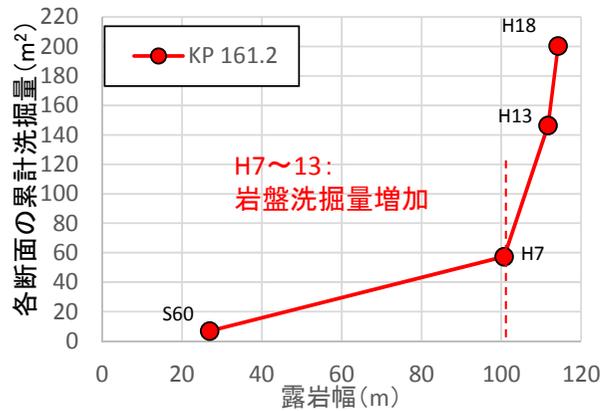
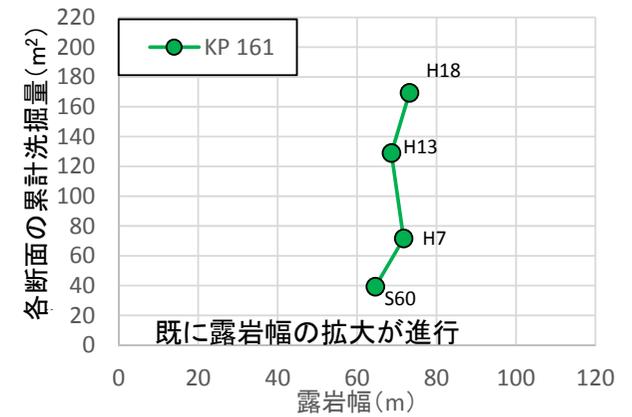
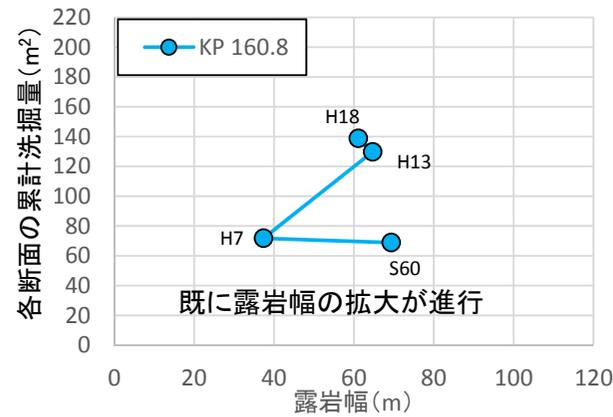
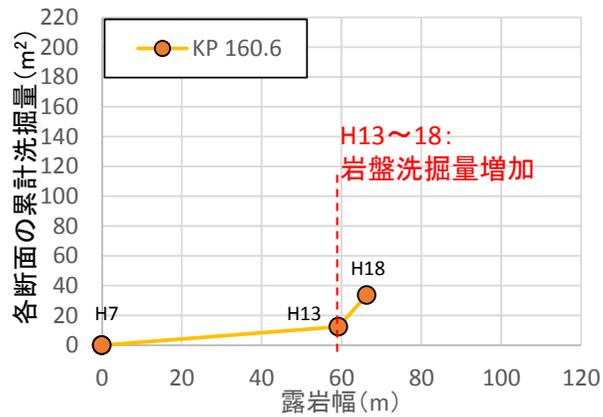
3-②代表地点における露岩幅と岩盤洗掘量の関係（2）

- 以下に各断面毎（ KP157.6～158. 4）の露岩幅と岩盤洗掘量のグラフを示した。
- 傾向にばらつきはあるが、露岩幅が最低28.8m、最大68.7m程度まで拡大すると、岩盤洗掘量が増加する傾向となる断面もみられた。



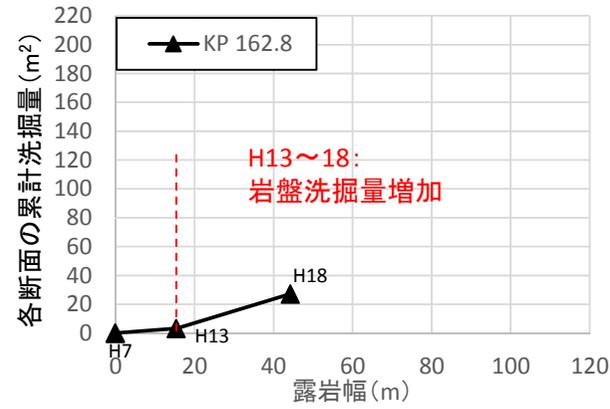
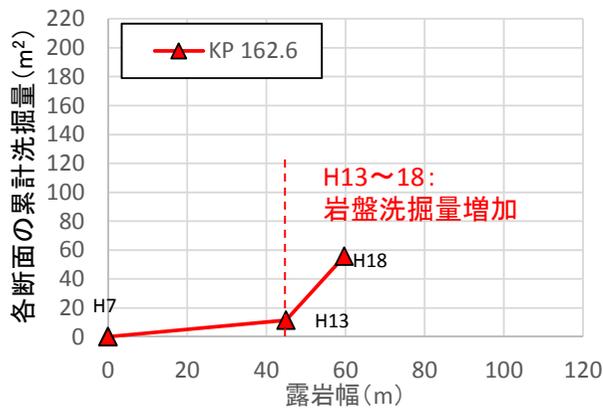
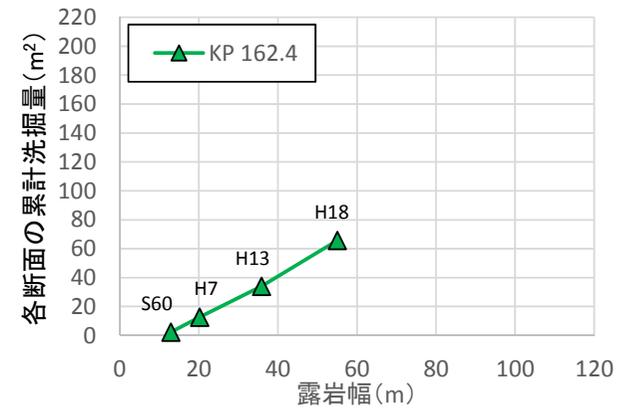
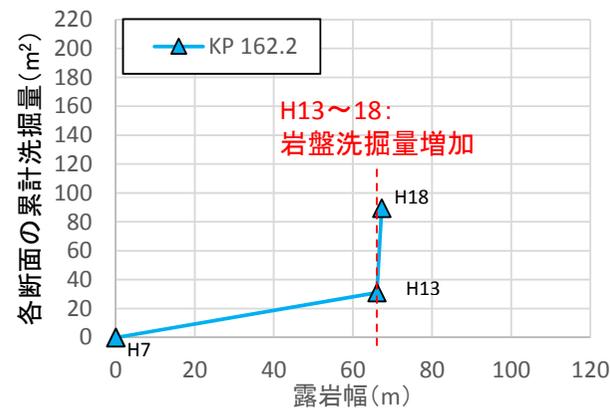
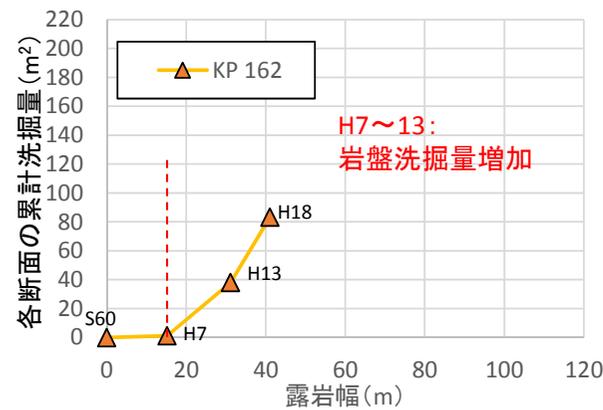
3-②代表地点における露岩幅と岩盤洗掘量の関係（3）

- 以下に各断面毎（ KP160.6～161.4 ）の露岩幅と岩盤洗掘量のグラフを示した。
- 傾向にばらつきはあるが、露岩幅が最低47.9m、最大100.7m程度まで拡大すると、岩盤洗掘量が増加する傾向となる断面もみられた。



3-②代表地点における露岩幅と岩盤洗掘量の関係（4）

- 以下に各断面毎（ KP162.0～162.8 ）の露岩幅と岩盤洗掘量のグラフを示した。
- 傾向にばらつきはあるが、露岩幅が最低15.2m、最大66.1m程度まで拡大すると、岩盤洗掘量が増加する傾向となる断面もみられた。



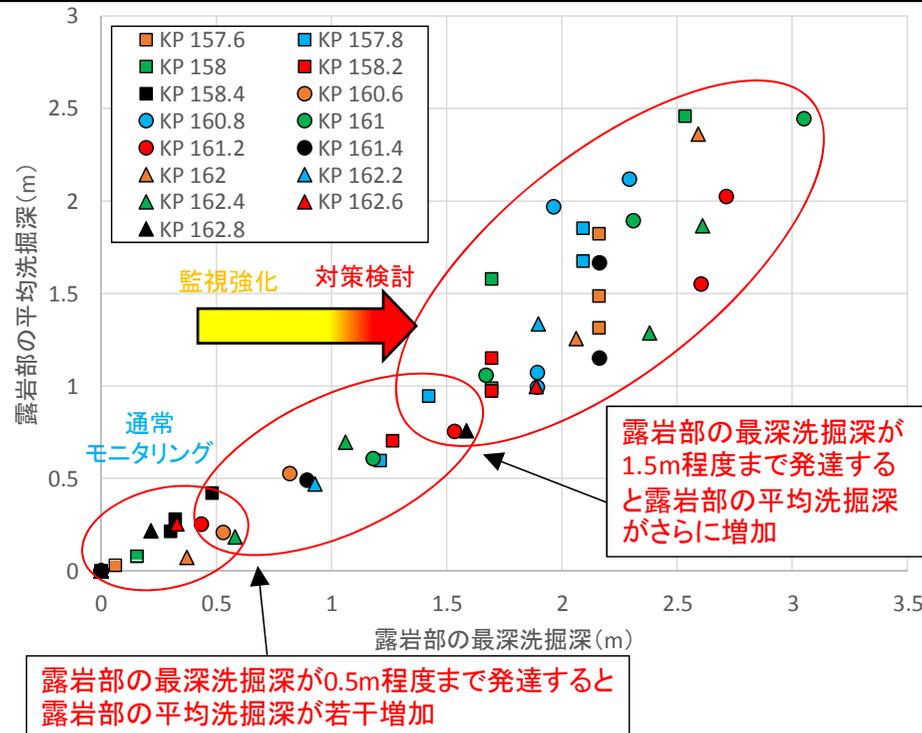
3-③河床低下対策実施後における順応的管理の閾値の目安(案)

- 前述の検討結果を踏まえ、ある程度の相関性や変化点を把握することができた代表地点における①露岩部の平均洗掘深と最深洗掘深の関係、②露岩幅と岩盤洗掘量の関係を基に、対策実施後における管理基準の目安(案)について以下に整理した。

①代表地点における露岩部の平均洗掘深と最深洗掘深の関係より

- 全体(KP158付近、KP161付近、KP162.4付近): 露岩部の最深洗掘深が0.5m程度まで発達すると、露岩部の平均洗掘深が若干増加し、露岩部の最深洗掘深が1.6m程度まで発達すると、露岩部の平均洗掘深がさらに増加する傾向。
- KP158.0付近: 露岩部の最深洗掘深が最低1.7m、最大2.2m程度まで発達すると、露岩部の平均洗掘深が増加傾向。
- KP161.0付近: 露岩部の最深洗掘深が最低0.5m、最大2.2m程度まで発達すると、露岩部の平均洗掘深が増加傾向。
- KP162.4付近: 露岩部の最深洗掘深が最低0.9m、最大2.4m程度まで発達すると、露岩部の平均洗掘深が増加傾向。

露岩部の最深洗掘深が0.5m程度を越えるような場合、岩盤洗掘が断面全体(横断方向)へと広がる可能性があるため、監視を強化し、必要に応じて別途対策の検討を行う。



②代表地点における露岩幅と岩盤洗掘量の関係より

- 全体(KP158付近、KP161付近、KP162.4付近): 露岩幅が20m程度まで拡大すると、岩盤洗掘量の増加量が上昇する傾向がみられた。
- KP158.0付近: 露岩幅が最低28.8m、最大68.7m程度まで発達すると、岩盤洗掘量の増加量が上昇する傾向がみられた。
- KP161.0付近: 露岩幅が最低47.9m、最大100.7m程度まで発達すると、岩盤洗掘量の増加量が上昇する傾向がみられた。
- KP162.4付近: 露岩幅が最低15.2m、最大66.1m程度まで発達すると、岩盤洗掘量の増加量が上昇する傾向がみられた。



露岩幅が20m程度を越えるような場合、岩盤洗掘量の増加量が上昇する可能性があるため、監視を強化し、必要に応じて別途対策の検討を行う。

