

蜘蛛の巣状ブロック、グラベルマットによる堰直下の洗掘・河床低下対策

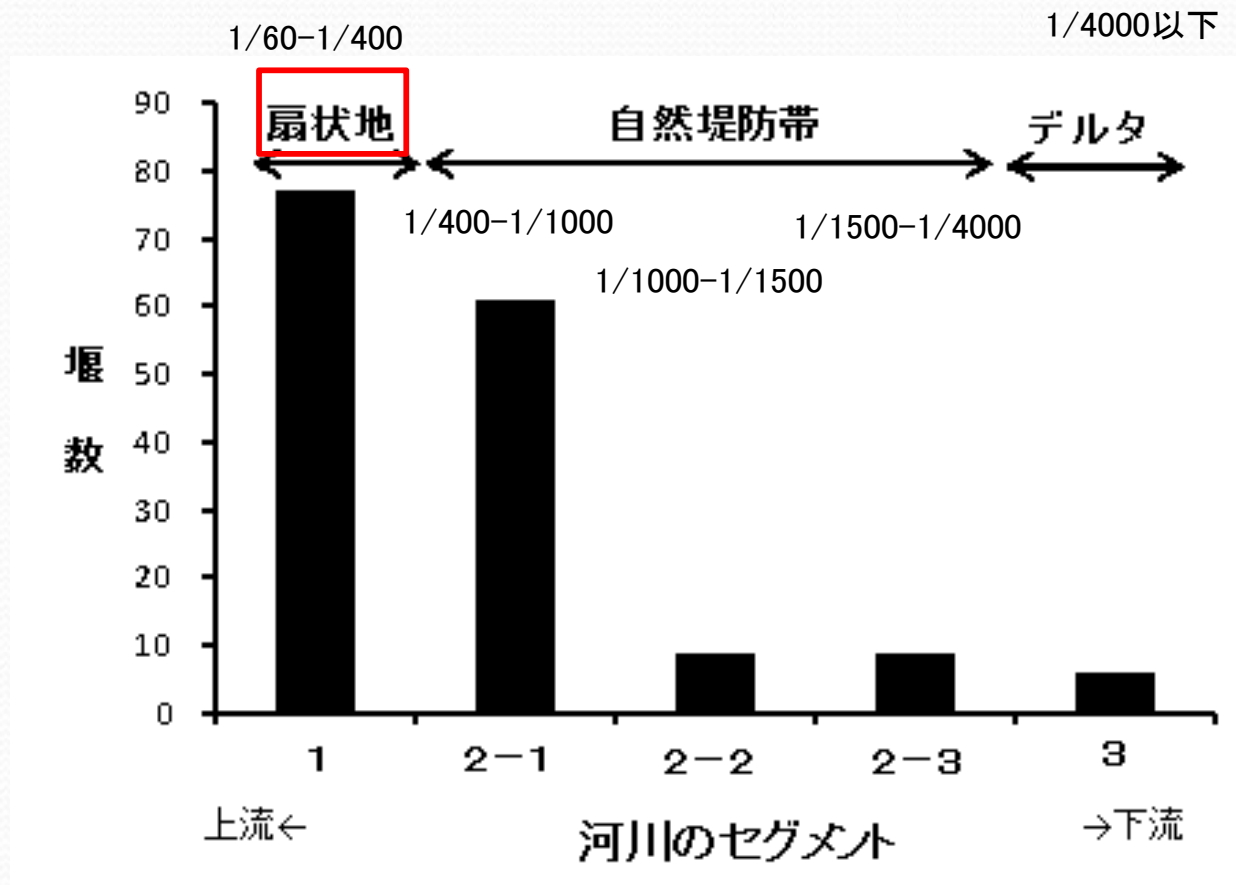
農研機構 農村工学研究部門

常住 直人



セキの河川分布

※国交省・河川整備基本方針(67河川、161カ所のセキ)



➡ セキは扇状地、自然堤防帯の上流部に多い

➡ セキ下流は治水掘削等で河床低下しやすい



堰下流の河床低下被害の事例



『護床の傾斜化』

- ブロックの流失。護床補修(ブロック補填)の頻繁化
- 浸透路長の短縮(ショートカット)によるパイピング

『エプロン直下流 洗掘』の発生と拡大



下流河床低下による**堰エプロンの陥没**被災事例



下流河床低下が進んだ**堰の大洪水時決壊**被災事例
(左:被災前、右:被災後)



『エプロン直下流洗掘』の発生と拡大



河床低下の波及は大洪水時に段階的に進行
大洪水の度に被災、復旧を繰り返す事になる。



大洪水の度に堰の長期供用コストが跳ね上がる。

下流河床低下による堰エプロンの陥没



下流河床低下が進んだ堰の大洪水時決壊被災事例
(左:被災前、右:被災後)

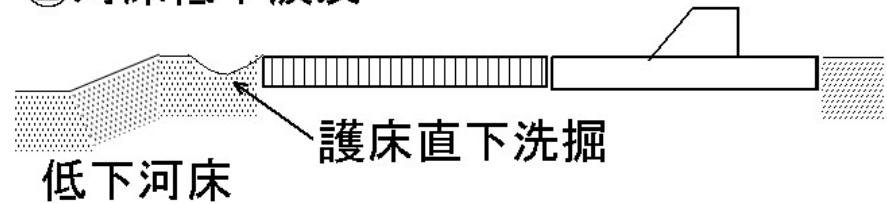


下流河床低下による堰の被災メカニズム（常住2012）

①堰築造当初



②河床低下波及



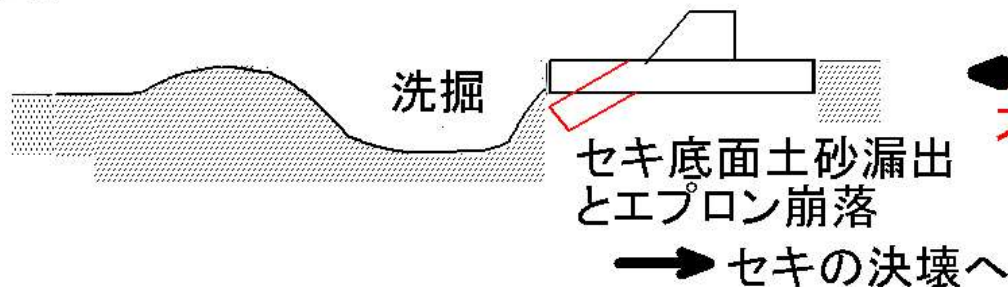
③洗掘発達と護床傾斜化



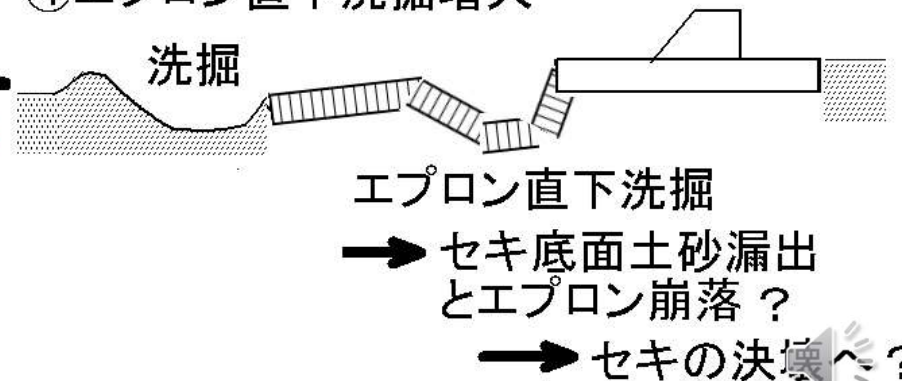
大洪水

護床の急傾斜化 & 中小洪水時

④護床流失・エプロン直下洗掘増大とセキの陥没崩落



④エプロン直下洗掘増大



河床低下被害の流れ：

河床低下

→護床の傾斜化

→ブロック流失・パイピング・

護床底面土砂の漏出

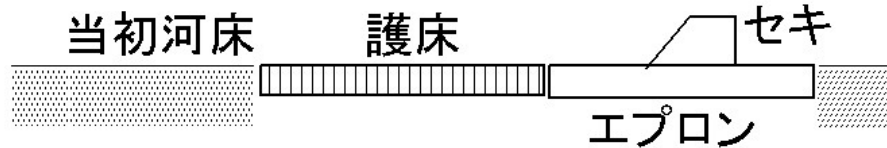
→エプロン直下洗掘

→堰本体被害

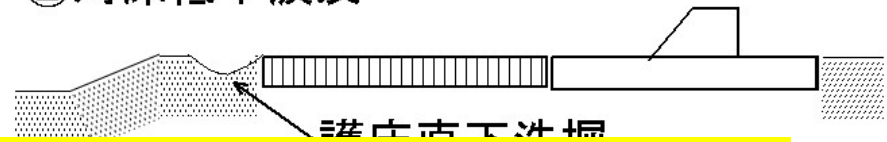
(エプロン陥没・決壊)

下流河床低下による堰の被災メカニズム（常住2012）

①堰築造当初



②河床低下波及

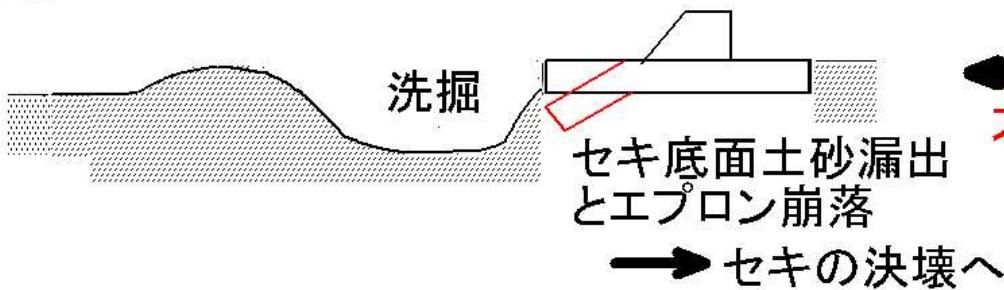


被害防止のためには、護床の傾斜化を抑えることが重要 = 護床勾配の安定化が重要

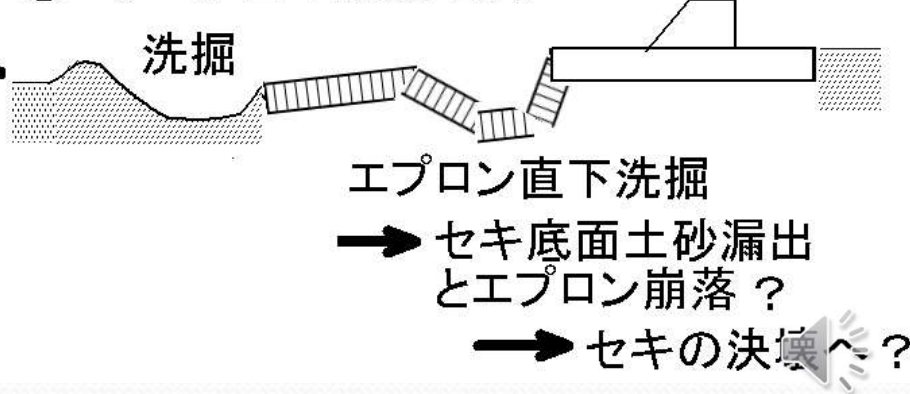
河床低下被害の流れ：
河床低下
→護床の傾斜化
→ブロック流失・パイピング・護床底面土砂の漏出
→エプロン直下洗掘
→堰本体被害
(エプロン陥没・決壊)



④護床流失・エプロン直下洗掘増大とセキの陥没崩落



④エプロン直下洗掘増大



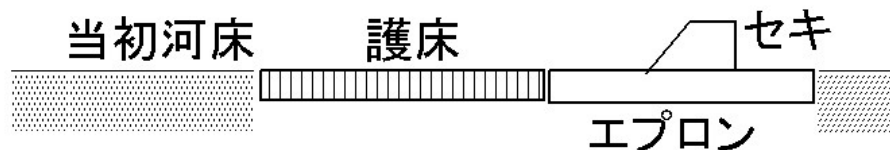
大洪水

大洪水

護床の急傾斜化 & 中小洪水時

下流河床低下による堰の被災メカニズム（常住2012）

①堰築造当初



②河床低下波及



河床低下被害の流れ:

河床低下

→護床の傾斜化

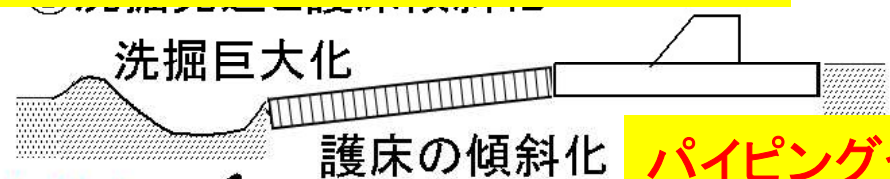
→ブロック流失・パイピング・
護床底面土砂の漏出

→エプロン直下洗掘

→堰本体被害

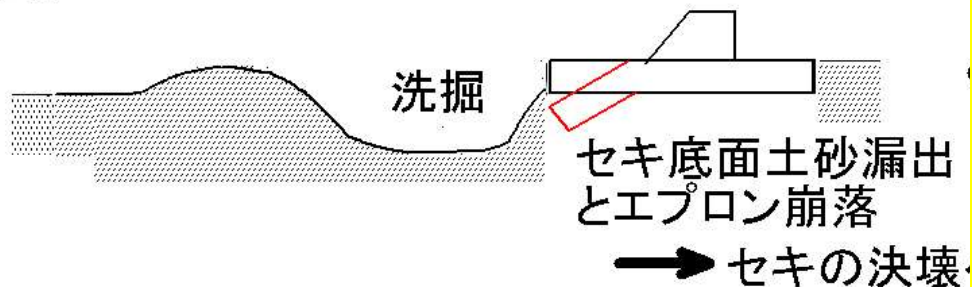
(エプロン陥没・決壊)

被害防止のためには、護床の傾斜化を抑えることが重要 = 護床勾配の安定化が重要



大洪水

④護床流失・エプロン直下洗掘増大とセキの陥没



パイピング発生勾配:

概ね護床勾配1/12



『勾配1/12まで護床が傾斜化しても、護床勾配を安定化出来る護床工法 = ブロック流失、底面土砂の漏出を防げる護床工法』

、、を開発できれば、既に護床が傾斜化している多くの堰で、河床低下被害を防げる

→セキの決壊? ←

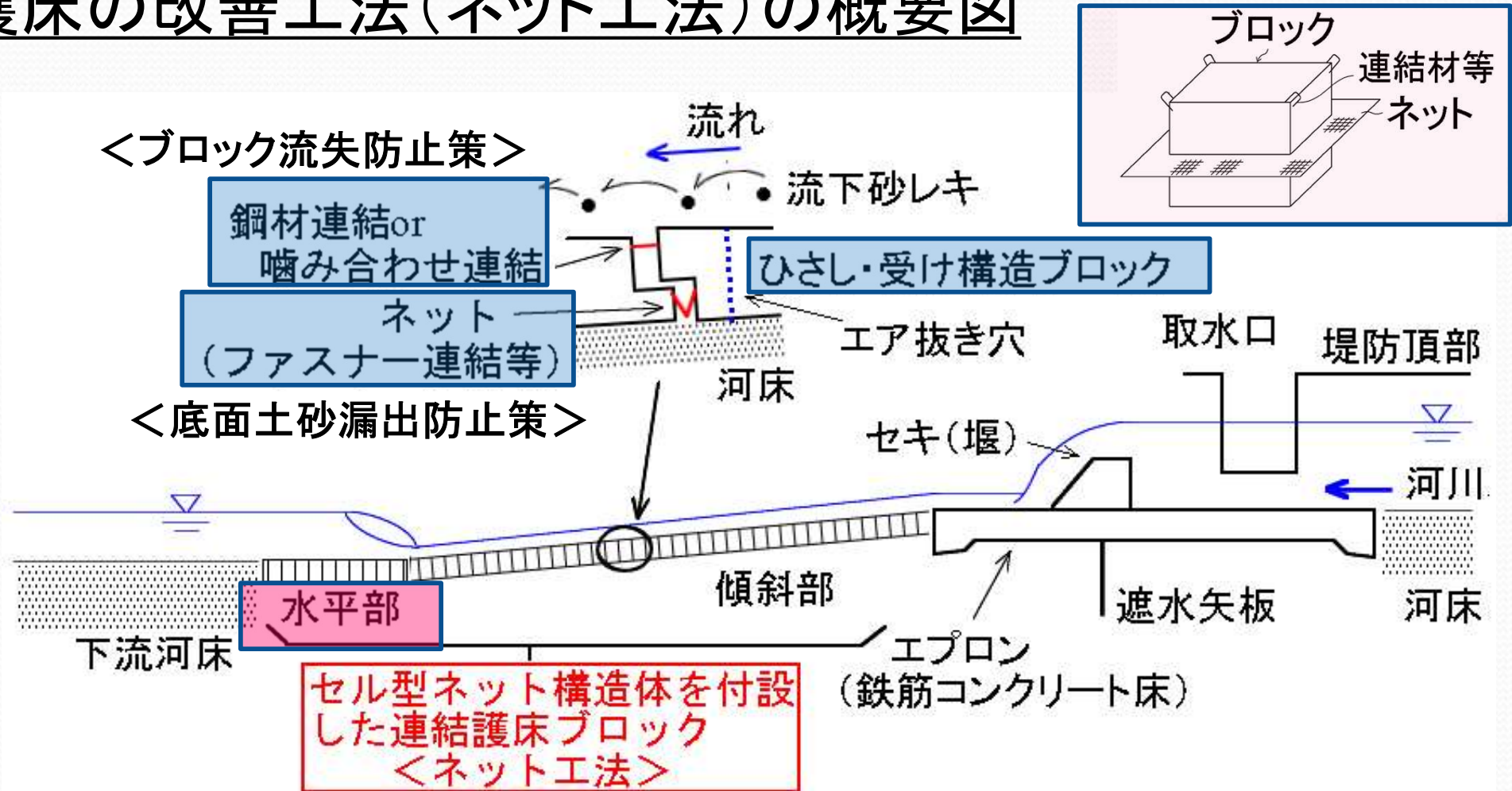
護床勾配の安定化策

1) 護床ブロックの流失防止 → **ブロック連結化**

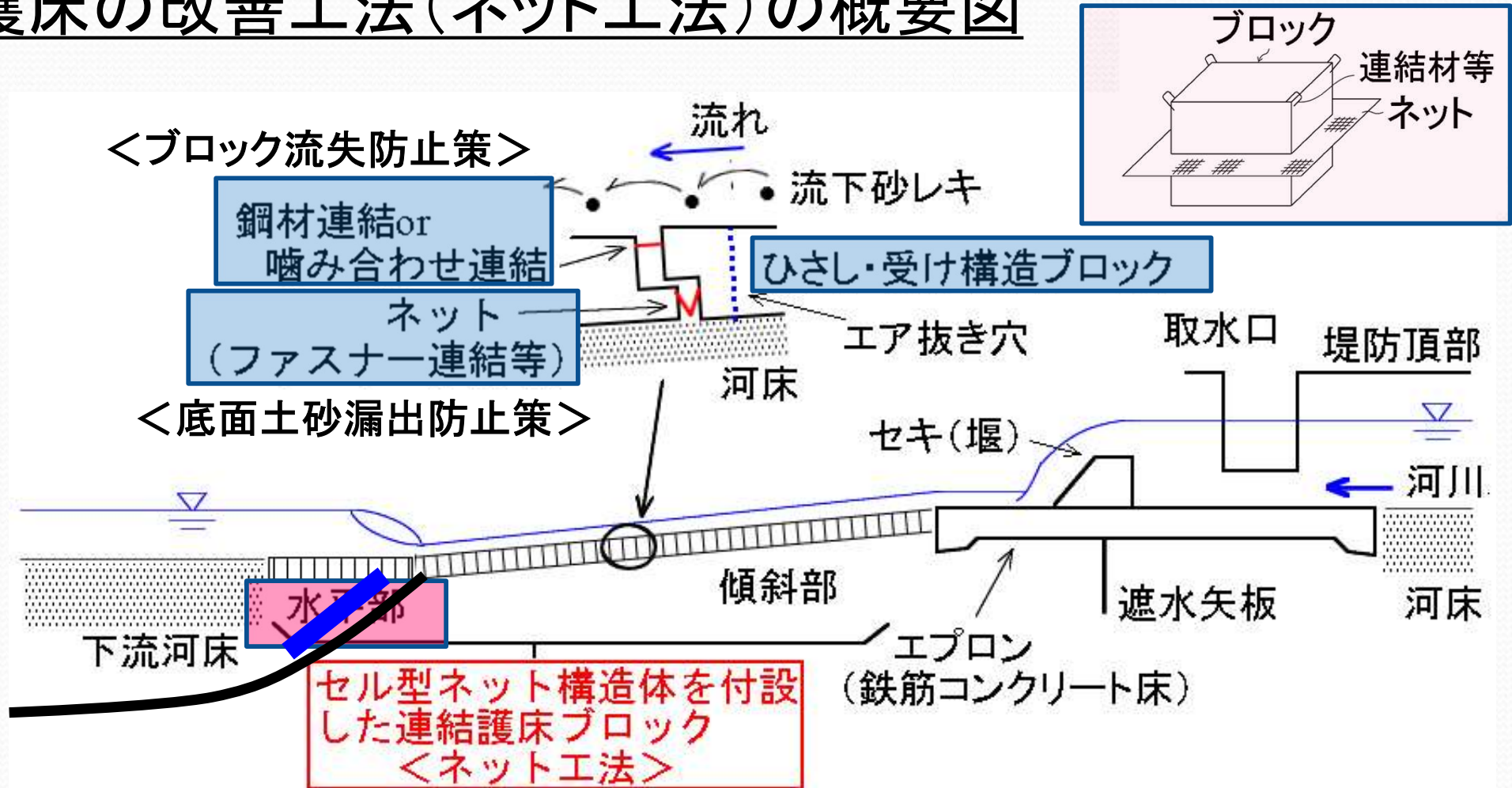
2) 底面土砂の漏出防止 → **吸い出し防止ネットの設置**



護床の改善工法(ネット工法)の概要図



護床の改善工法(ネット工法)の概要図



水平護床部は護床直下洗掘発生で急傾斜化(急傾斜部)
→ この急傾斜部が護床底面土砂の洗掘域への漏出を抑えるフタになって
護床勾配を安定化させる。

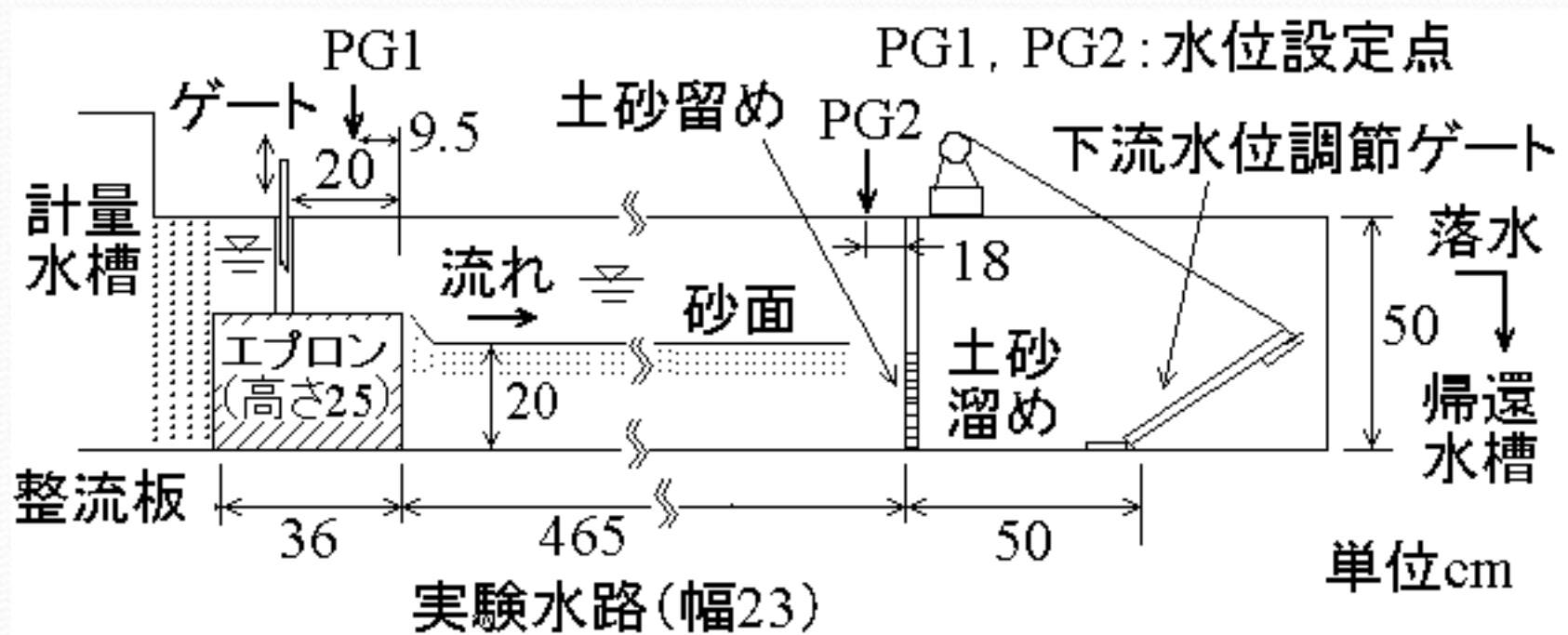


『ネット工法による護床勾配安定化』の検証実験

●縮尺1/70.5

●フルード相似、二次元移動床、給砂無し

※幅23cm水路



実験の初期形状

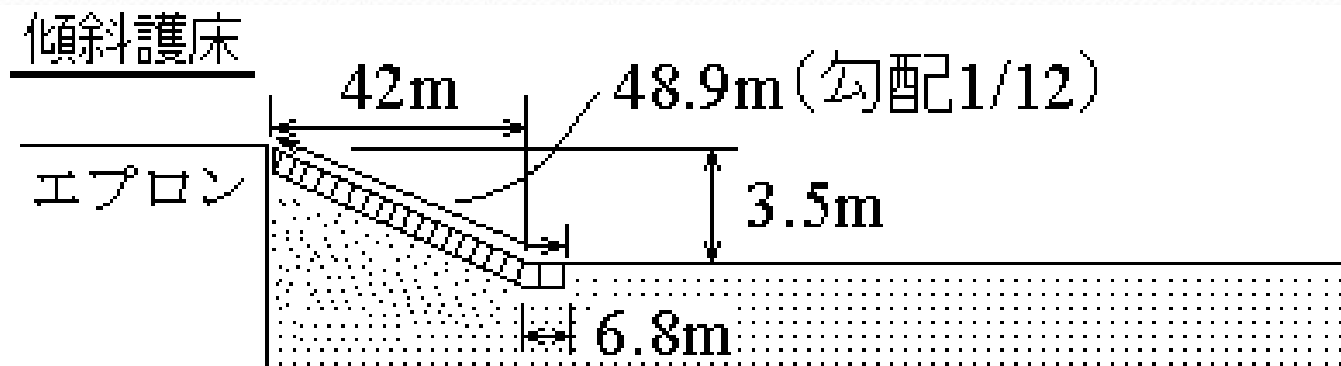
- 護床ブロック： 3.6ton 方形ブロック

※ 現地最小規模に近い(W/L 1.5m, H 0.7m, 2350kg/m³)

- 護床延長： 約 49 m

※ 設計の単位幅当たり流量 20m³/s/m (堰での中間値に近い) での最小相当

- 護床勾配： 1/12 (現地最大相当かつパイピング発生勾配相当)



実験条件

①単位幅当たり流量 q ： 約 $3.3\sim 30\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$

(堰の現場条件を概ね網羅)

②堰放流 Fr ： 堰高 3m 自由越流相当、堰上げ 10m 自由流出相当、敷高 0.5m 自由越流相当

(堰の現場条件を概ね網羅)

③通水時間： q 、 Fr の組み合わせ毎に各6時間で1.5波形、計7日

(護床直下洗掘地形が概ね安定するまでの時間)

④河床勾配 (下流水位に関連)： $1/150$

(堰での最大河床勾配相当 \equiv 堰での下流水位の最低相当)

⑤堰エプロン面～下流河床の落差： 3.5m

(堰で生じている平均的な落差)

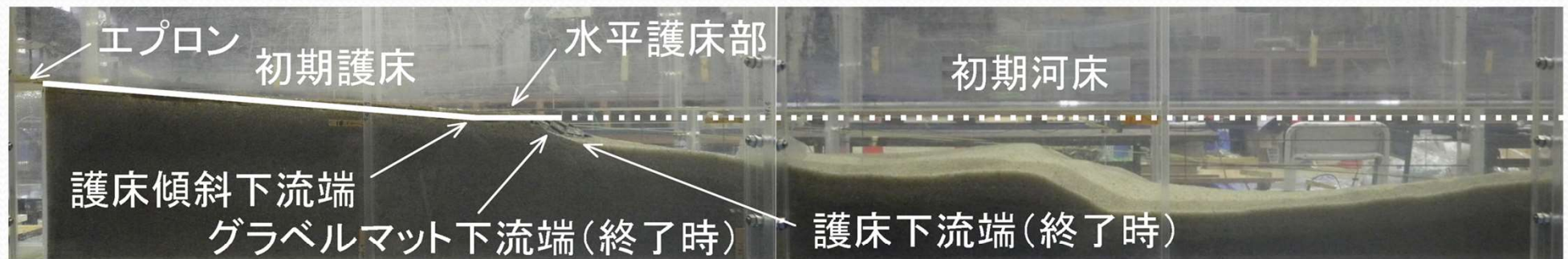
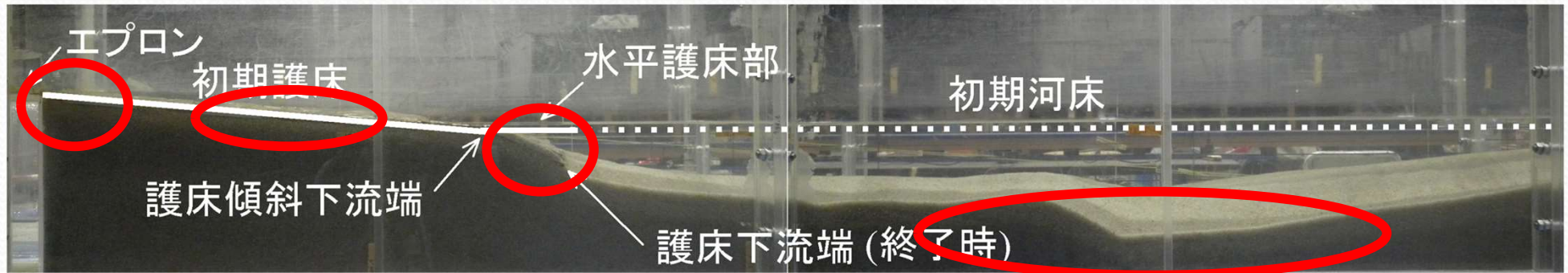
⑥河床粒径 (均一)： 約 6cm

(下流河床低下が問題となる中上流域の堰地点での平均粒径よりやや小さい)



実験結果

(蜘蛛の巣状ブロック工法 (上) / グラベルマット工法 (下) の実験終了時の状況)



※1 蜘蛛の巣状ブロックはブロック上面へのネット貼り付けで再現 ※2 護床延長 49m (設計流量 20m³/s/m 相当)

↑↑ 新開発の護床工法(ネット工法2種)では、堰エプロン直下の洗掘は起きず、かつ護床直下の洗掘も従来より抑えられる (想定最大洪水を7日通水)



実験結果

●エプロン直下洗掘無し（エプロン陥没防止、堰決壊防止）

●護床勾配は安定（ブロック流出防止、パイピング防止）

（蜘蛛の巣状ブロック工法（上）／グラベルマット工法（下）の実験終了時の状況）



護床直下洗掘により水平護床部は急傾斜化
→ 護床底面土砂は漏出せず
→ 護床底面にパイピング孔も発生せず

●ネット各所に穴を空けて、同様の実験を行った場合も、護床底面にパイピング孔は発生せず、亀裂箇所は局所洗掘に留まる
→ 万一、ネット亀裂が生じて、局所的に護床面が窪むだけで、亀裂箇所の発見と補修も容易

再現 ※2 護床延長 49m (設計流量 20m³/s/m 相当)

●護床下流は波状流流況で安定
→護床直下洗掘抑制
(堰下流の護岸・堤防への安全確保)

パイピング孔が出来ないので、明治頭首工のような止水壁破損事故でも、被害が抑制される



、実験結果からネット工法の水理設計法は次のようにまとめられる

- ① パイピング抑制のため、**護床勾配は1/12以下**とすること
- ② 護床直下を波状流流況で安定させるため(落下流化を抑えるため)、**傾斜護床は、下流の低下河床標高まで延伸**させること
- ③ 護床底面土砂の漏出防止のため、**傾斜護床下流に十分な長さ、屈撓性の水平護床部**を設置すること

$$L = [(\text{護床無しでのエプロン直下洗掘深}) - (\text{下流河床落差})] / \sin(\text{水中安息角})$$

- ④ 土砂吸出し防止のため、**ネット目幅は、河床の平均粒径・粒度分布に対し、アーマーコートが速やかに形成される程度の小ささ**とすること

下流河床低下が問題になる取水堰地点の河床平均粒径8～10cm程度なので、ネット目幅1～数cm程度で十分と思われる(現地実証が必要)

- 更なる河床低下波及への備えとして、**ネット工法下流に同構造の静水池or落差工を接続**することが望ましい (水理模型実験で効果検証済み)

