



寒地土木研究所

# 軟岩侵食に対するネットによる侵食抑制工法

寒地河川チーム 主任研究員 井上卓也



# はじめに

- 岩盤侵食の時間スケールは非常に遅いため、工学的な時間スケールにおいて、岩盤河川において河床低下は殆ど生じないと考えられてきた。



グランドキャニオンはコロラド川が  
数百万年の時間をかけて削り出した

imaged by National Geographic



# 軟岩河川の急激な河床低下

- 軟らかい岩盤層（軟岩層）が多い日本では、砂礫層が流出し軟岩が露出すると、急激に河床低下が進行する場合がある。



渋山川（北海道）

# 軟岩侵食が引き起こす問題

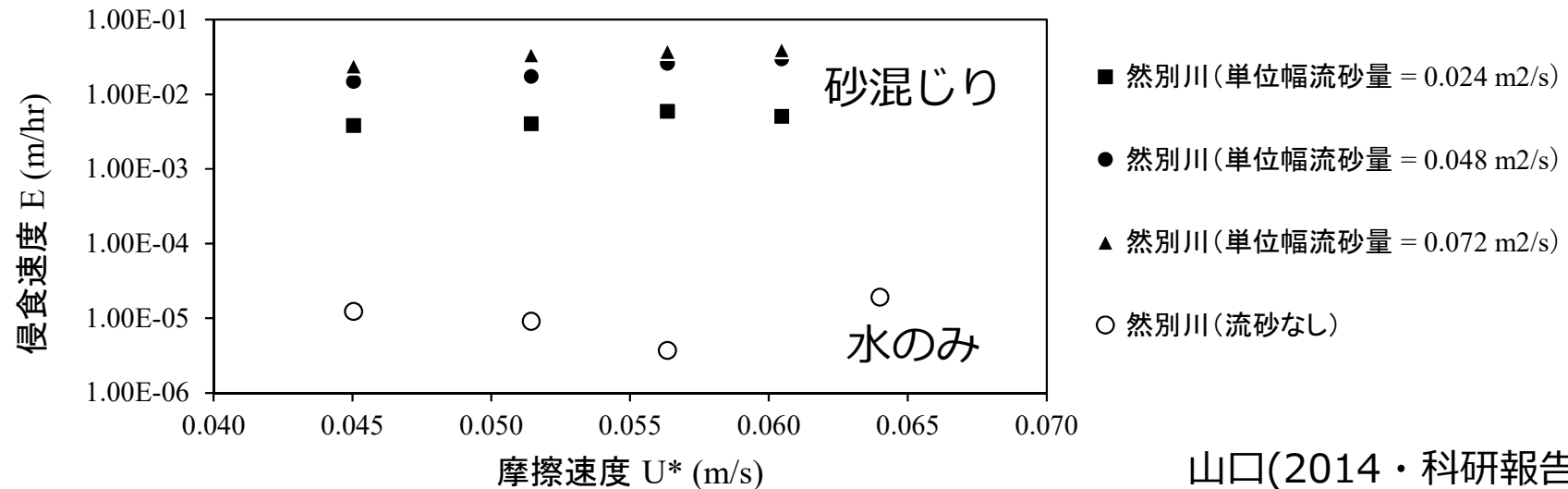


# 軟岩侵食のメカニズム

- なぜ軟岩は急激に侵食されるのか？

「**雨だれ岩をも穿つ**」という言葉があるように、水や流水の作用により岩盤が侵食すると長らく考えられてきた。

しかし最新の研究によって、「**流水に入っている砂**」が岩盤を削っていることがわかってきた。



砂が入ると水だけよりも**1000倍**も削れるスピードが速くなる。



# 軟岩河床上を移動する流砂（動画）

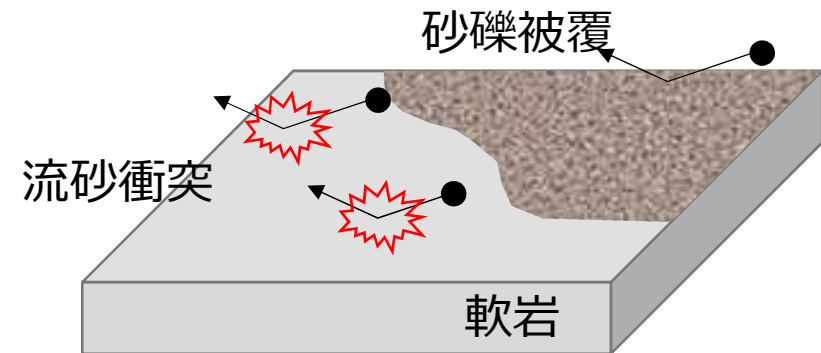
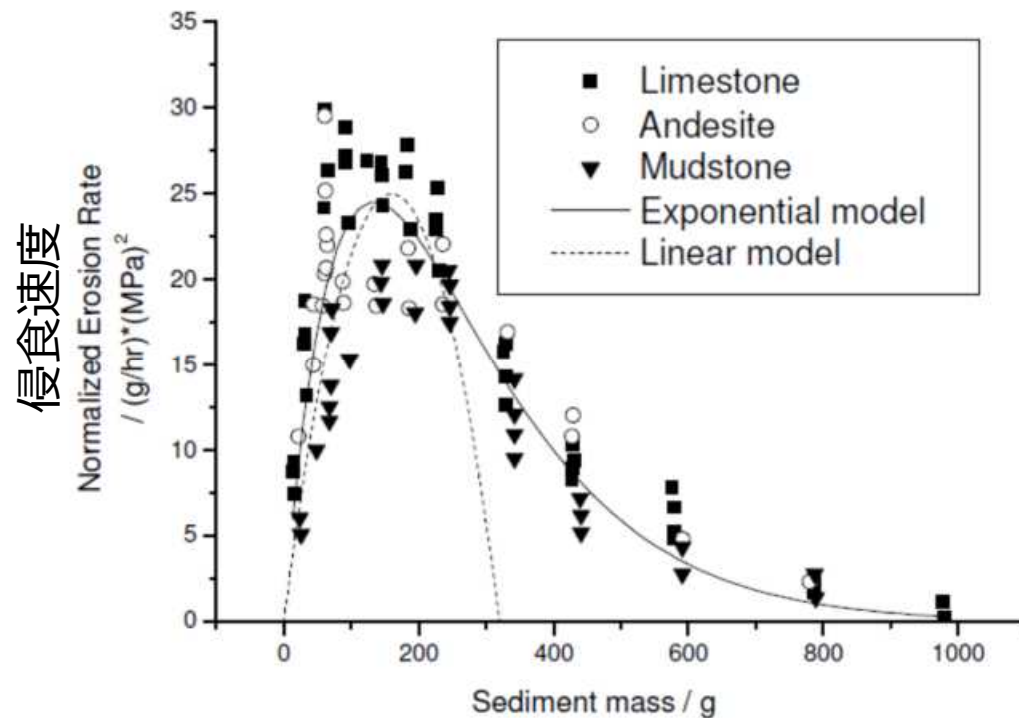
---



井上ら (2011・河川技術論文集)

# 侵食速度と流砂量の関係

- 軟岩の侵食に対し，流砂量の増加は相反する2つの作用を持つ。
- 一つは，流砂の衝突回数を増やし，軟岩侵食を促進する効果。
- もう一つは，軟岩を砂礫で覆い，軟岩侵食を抑制する効果。



軟岩侵食を抑制するには、  
砂礫で覆うのが一番良い。

流砂量 Sklar and Dietrich (2001 Geology)

# 砂礫被覆面積を増す方法の検討

- 岩盤に巨石やネットを貼り付けることで河床の粗度を増やし，砂礫被覆面積を増加させられるか，実験的に検討した．

**Table.1** 実験条件

$k_{sb}$  = 水理学的な粗度高

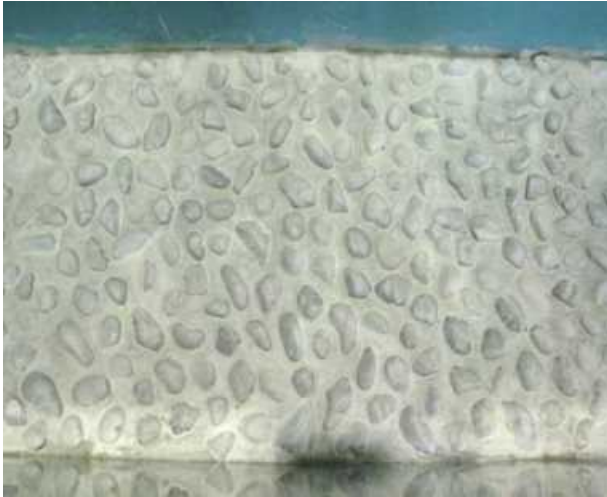
$d$  = 給砂砂礫の粒径 (5mm).

|        | 幅<br>(m) | 勾配   | 長さ<br>(m) | 流量<br>(ℓ/s) | 流砂量<br>$q_{bs}$<br>(ℓ/5min) | 相対的な<br>粗度<br>$k_{sb}/d$ |
|--------|----------|------|-----------|-------------|-----------------------------|--------------------------|
| Run A1 | 0.5m     | 0.01 | 22        | 30          | 2,4,6,8                     | 9.5                      |
| Run A2 |          |      |           |             | 2,4,6,8                     | 5.0                      |
| Run A3 |          |      |           |             | 8,12,16                     | 0.8                      |
| Run A4 |          |      |           |             | 2,4,6,8                     | 7.3                      |
| Run A5 |          |      |           |             | 8,10,12                     | 1.9                      |



# 水路床の状況

a) Run A1



b) Run A2



c) Run A3



d) Run A4



e) Run A5



## 水路床の状態

- a) 礫埋め込み(30mm)
- b) 礫埋め込み(50mm)
- c) 礫埋め込み(5mm)
- d) ネット(厚さ=4mm)
- e) ネット(厚さ=2mm)

# 実験結果 (Run A3, $k_{sb}/d=0.8$ )

- 粗度が低い場合, ある流砂量を超えるまで被覆はほとんどおきず, ある流砂量を超えると急激に砂礫床へ至る.

流砂は堆積せず流れていく.

Run A3-1 ,  $q_s=8\ell/5\text{min}$ , Time = 2hour



Run A3-2 ,  $q_s=12\ell/5\text{min}$ , Time = 2hour



Run A3-3 ,  $q_s=16\ell/5\text{min}$ , Time = 4hour



実験結果：平衡状態の被覆状況, 茶色が礫, 白が水路床

# 実験結果 (Run A1, $k_{sb}/d=9.5$ )

- 水路床の粗度が粗い場合，給砂量の増加に伴い被覆率も徐々に増加する．

Run A1-1 ,  $q_s=2\ell/5\text{min}$ , Time = 4hour



Run A1-2 ,  $q_s=4\ell/5\text{min}$ , Time = 4hour



Run A1-3 ,  $q_s=6\ell/5\text{min}$ , Time = 4hour



Run A1-4 ,  $q_s=8\ell/5\text{min}$ , Time = 4hour

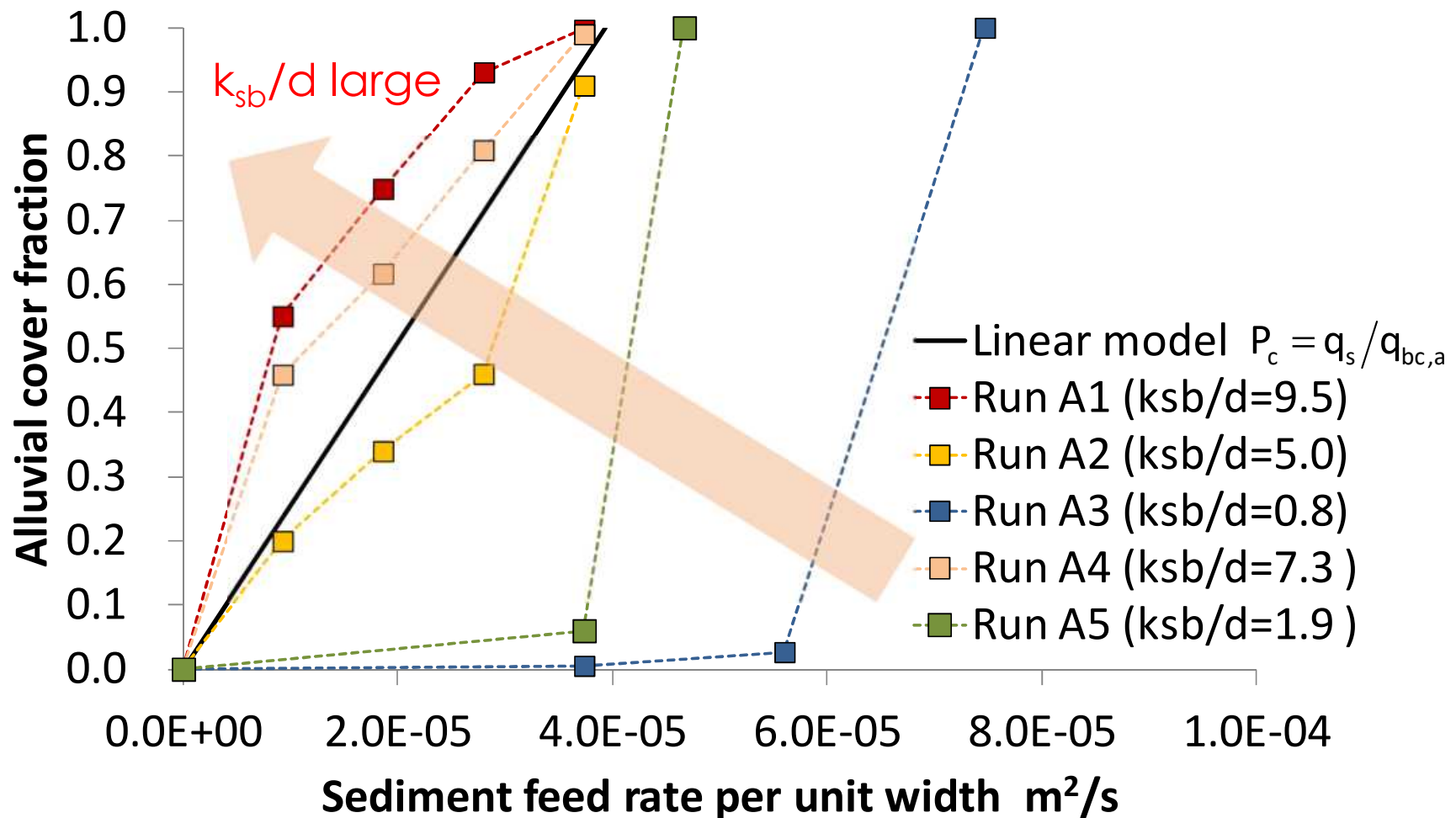


実験結果：平衡状態の被覆状況，茶色が礫，白が水路床



# 被覆率の実験結果

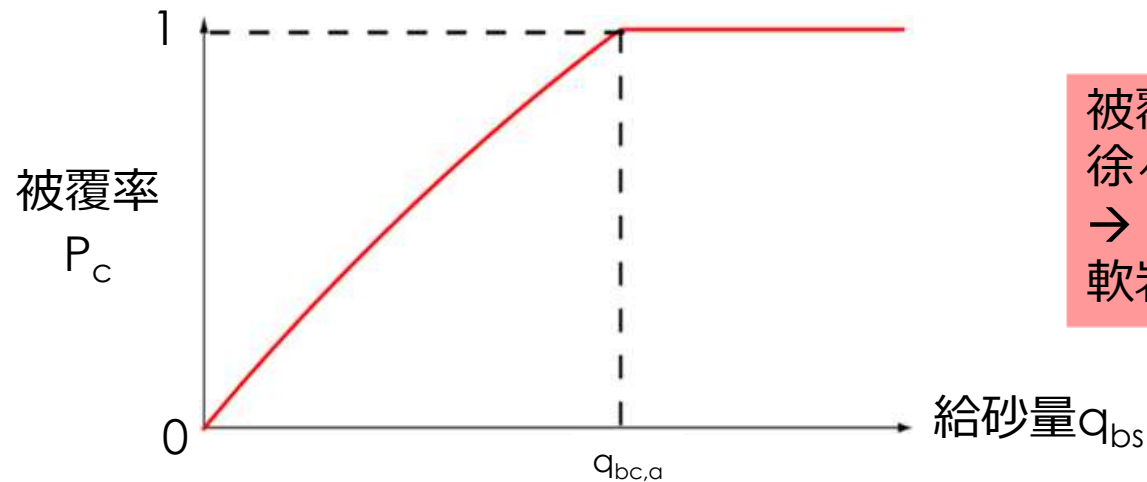
- 被覆率は、粗度が高いほど増加する。



# 粗い岩床と滑らかな岩床の違い

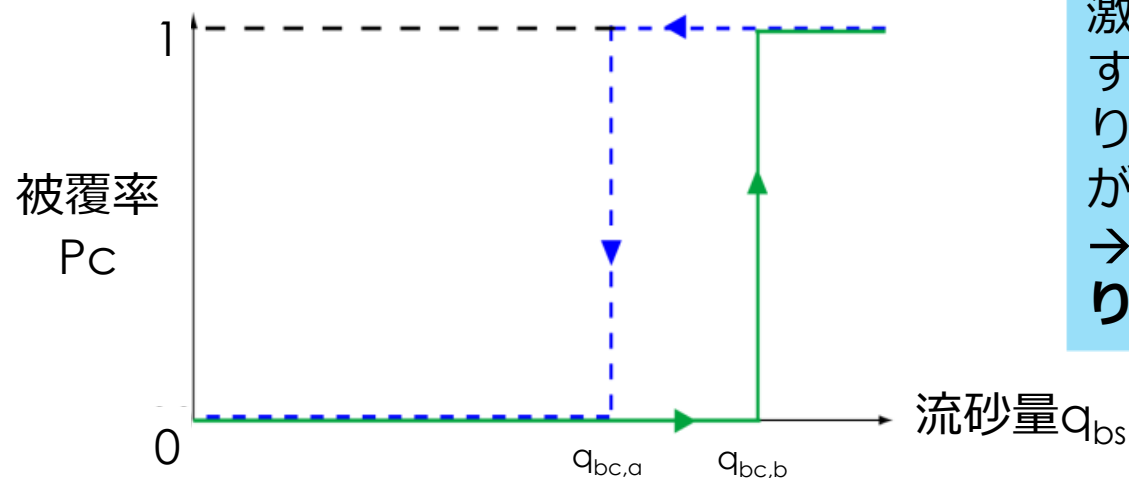
## a) 粗い岩床 (砂礫床より粗い)

Inoue et al. (2014JGR)



被覆率は流砂量 $q_{bs}$ に応じて徐々に上昇する。  
→ 砂礫を堆積させやすいため、軟岩侵食も抑制しやすい。

## b) 滑らかな岩床 (砂礫床より滑らか)



岩床から砂礫床への変遷は急激に起きる。さらに、再被覆するときは、露出したときより多い流砂量を供給する必要がある。  
→ 一度露出すると砂礫床に戻りづらく、侵食も防ぎにくい。

$q_{bc,a}$  : 砂礫床の流しうる流砂量  
 $q_{bc,b}$  : 岩盤床の流しうる流砂量

# ネットによる砂礫捕捉効果

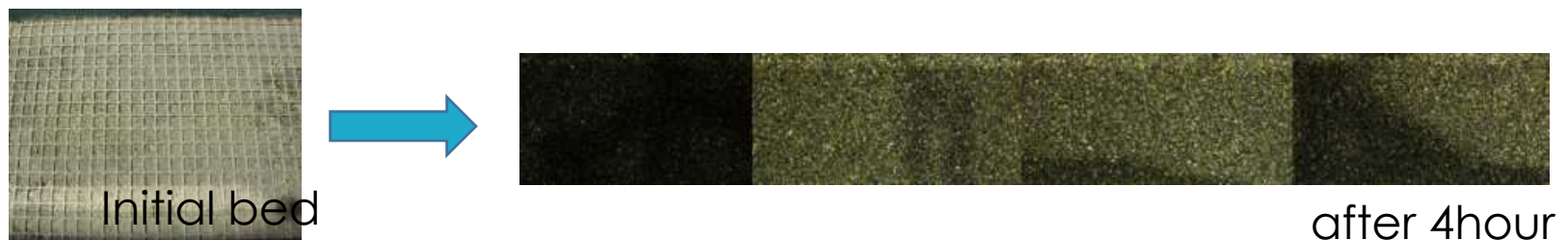
- ネットを設置することで、滑らかな岩盤の粗度を増し、被覆率を増加させることができる。
- また、巨石設置の場合、流下する粒径の10倍近い大きさの巨石を設置する必要があるが、ネットの場合、流下する粒径程度の厚さで良い。

Run A3, ネット無し



同じ流量・同じ給砂量

Run A4, ネット有り





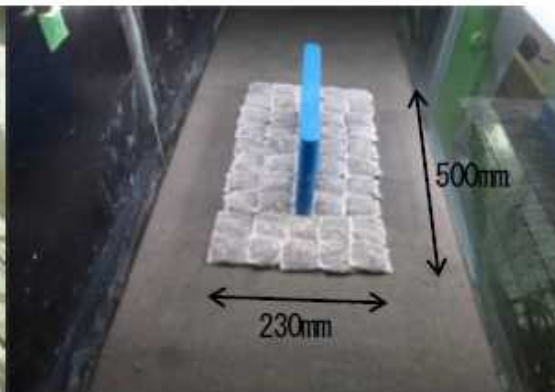
# 橋脚保護効果の実験

- 橋脚周りの保護対策として、ブロック、袋詰め根固め、ネットを比較。
- ネットがもっとも橋脚周りの侵食を抑えられる結果になった。
- ネットの厚さは他の対策に比べ小さいため、対策箇所以外に与えるマイナスの影響が小さい。

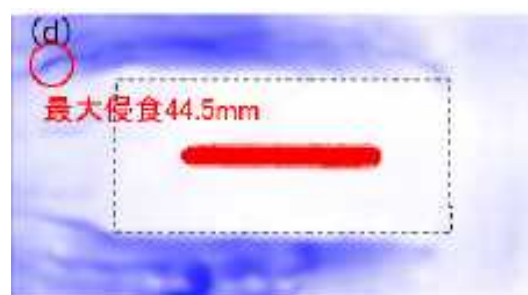
ケース1（根固めブロック）



ケース2（袋型根固め）



ケース3（ネット）



# 現地試験

## 南の沢川（豊平川の支川）

- ・ 豊平川合流点付近で、滑らかな岩盤が露出している。



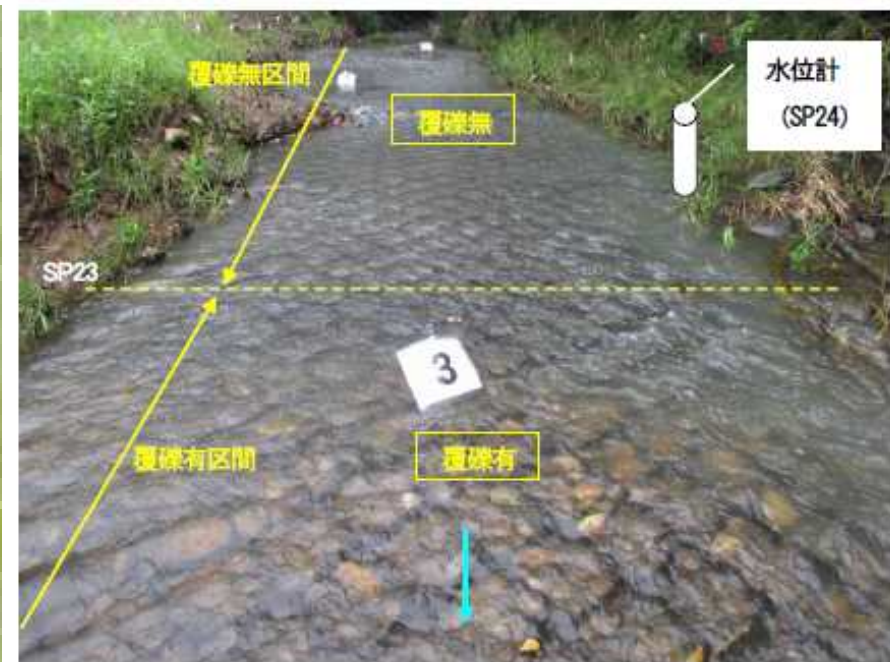
六浦ら（2015河川技術論文集） 協力：札幌河川事務所，北海道

# ネット

- ネット厚さは、現地平均粒径の1倍以上とする.
- メッシュサイズは、ネットの高さの5～10倍程度.
- 南の沢川では、現地の粒径に併せ、厚さ10cm、メッシュサイズ30cm×30cmのセルデム（前田工織）を選択した.
- 強度とサイズが確保できるならばセルデム以外でも可.



セルデム（前田工織）



ネット設置状況



# ネット設置用材料



# 設置方法

## 1. 削孔



## 2. 本体打込み式アンカー設置



## 3. ボルト締め付け

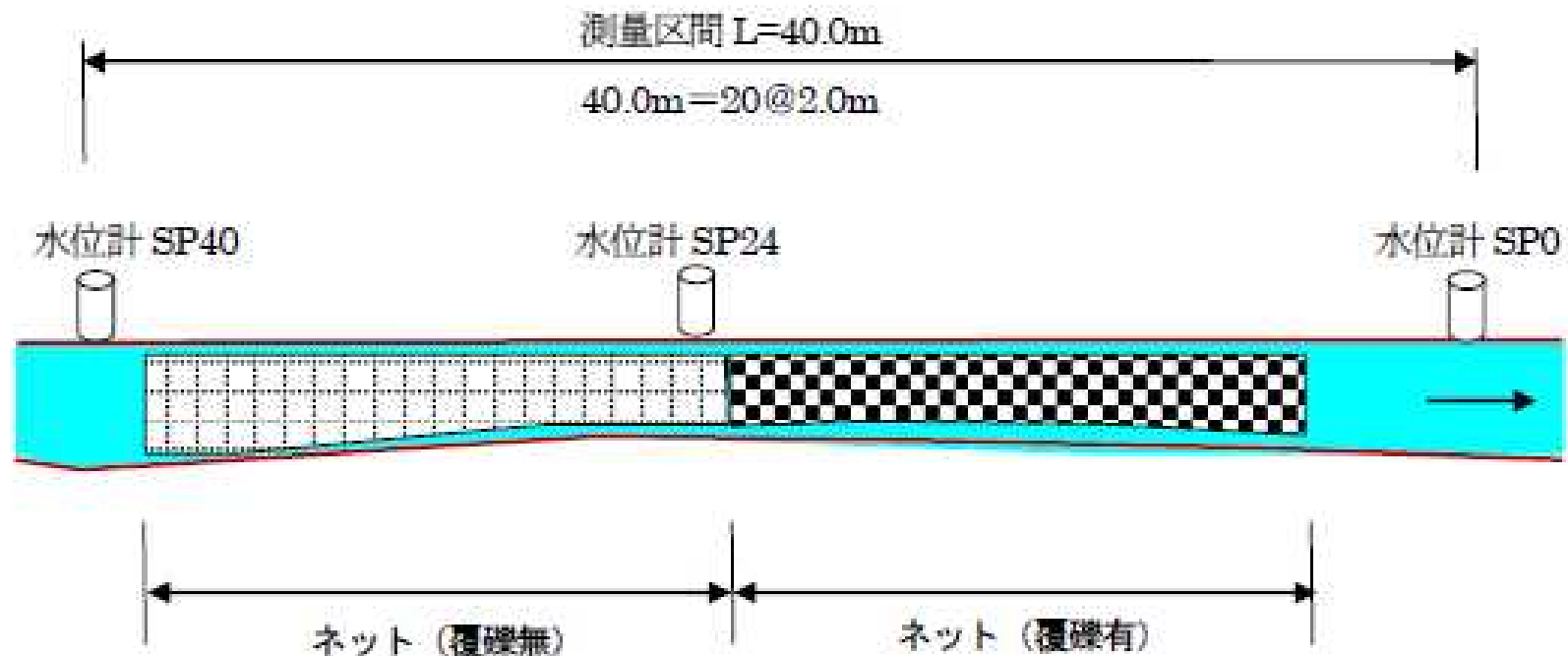


## 4. 設置完了



# 設置範囲

- 調査区間の延長は約40m, 幅は約5m.
- 上流側は覆礫なし, 下流側は覆礫あり



覆礫無の区間は上流からの土砂を捕捉できるかを確認することが目的

覆礫有りの区間は、捕捉した土砂が流出しないかを確認することが目的



# 調査結果①

- ネット設置後の8月に豊平川観測史上3番目の出水が発生
- 上流側の空のネットは、流れてきた砂礫をトラップし、軟岩を砂礫で被覆した。ネット設置部では軟岩侵食は観測されなかった。
- 下流側の砂礫をあらかじめ詰めていたネットでは、下流端付近の一部を除き土砂は殆ど流出しなかった。

出水前（ネット設置直後）



出水後



## 調査結果②

### 出水前

SP40m付近 (ネットのみ)



SP20m付近 (ネット+覆礫)



SP0mより下流 (ネット無)



### 出水後

