



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）

# 澁山川

---



# 然別川

---



by Yasuyuki Shimizu

# 軟岩侵食が引き起こす問題

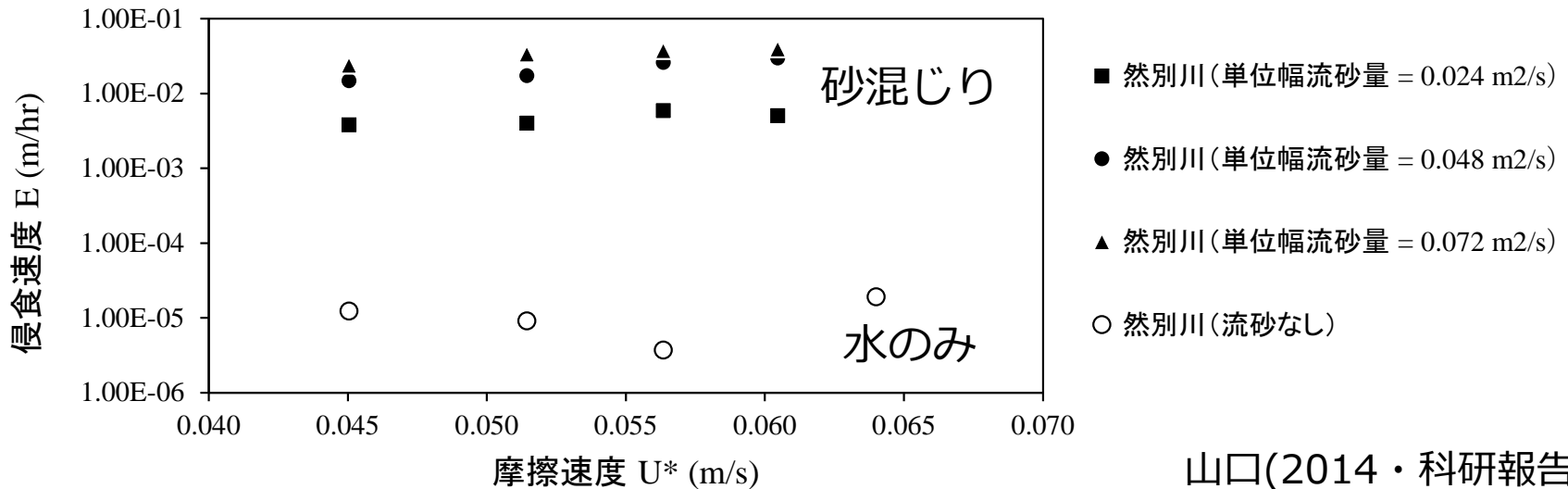


# 軟岩侵食のメカニズム

- 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）

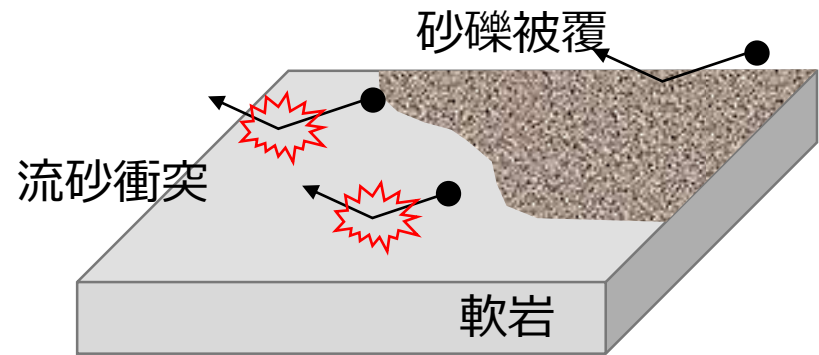
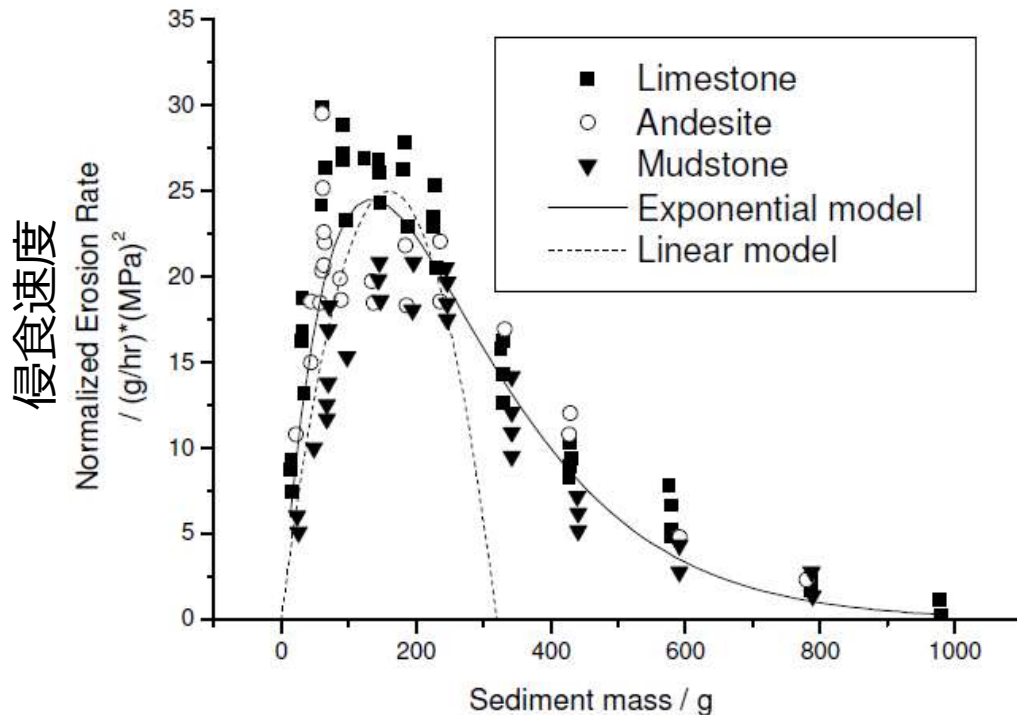
---





# 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。

# 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

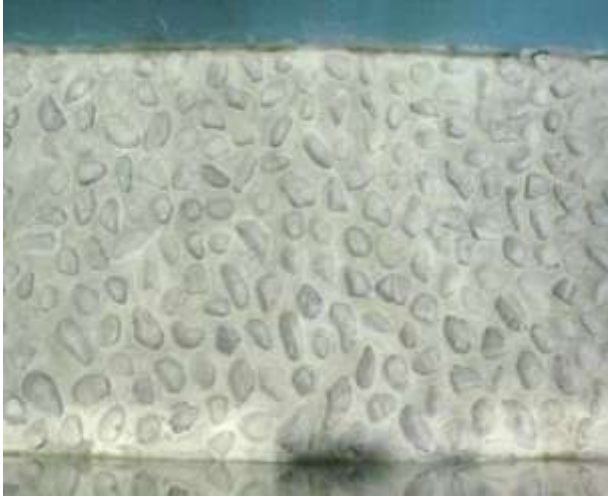
$k_{sb}$  = 水理学的な粗度高

$d$  = 給砂砂礫の粒径 (5mm).

	幅 (m)	勾配	長さ (m)	流量 (ℓ/s)	流砂量 $q_{bs}$ (ℓ/5min)	相対的な 粗度 $k_{sb}/d$
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



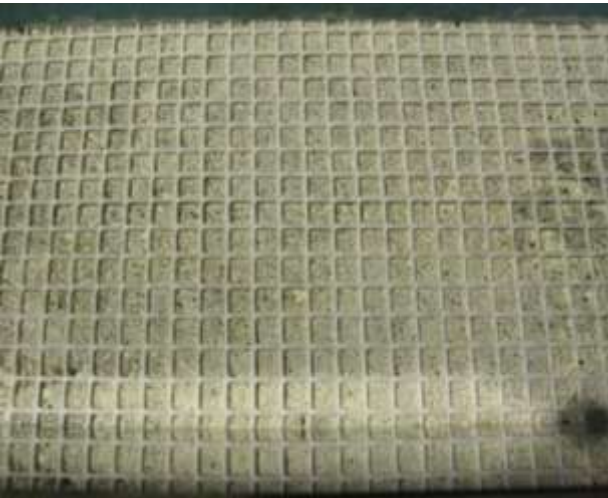
b) Run A2



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.

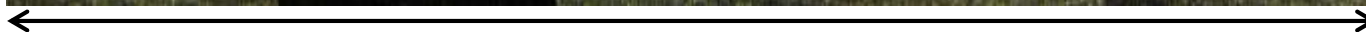
Run A3-1,  $q_s=8\ell/5\text{min}$ , Time = 2hour



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



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



5m

0.5m

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



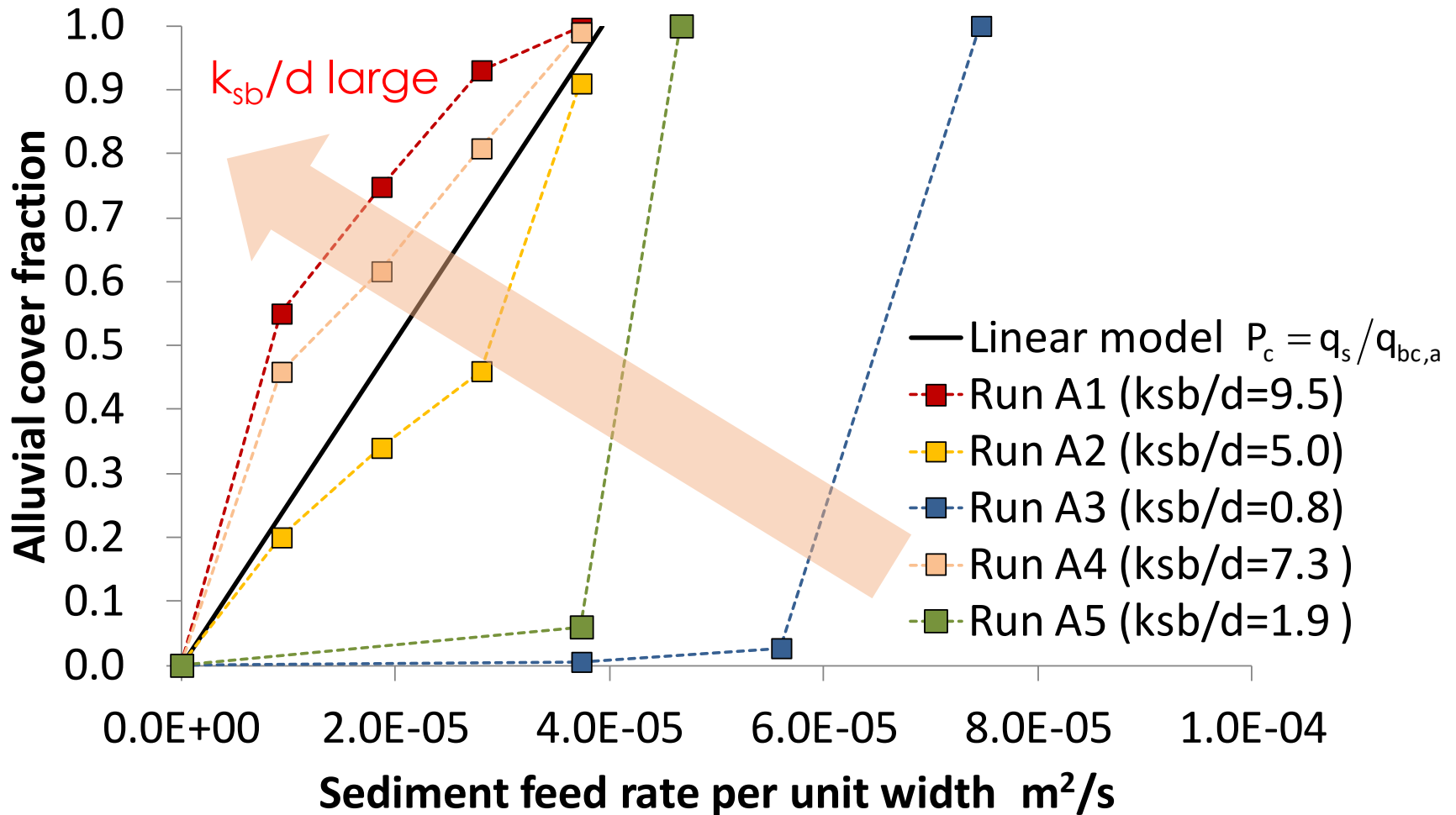
Run A1-4 ,  $q_s=8\ell/5\text{min}$ , Time = 4hour



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

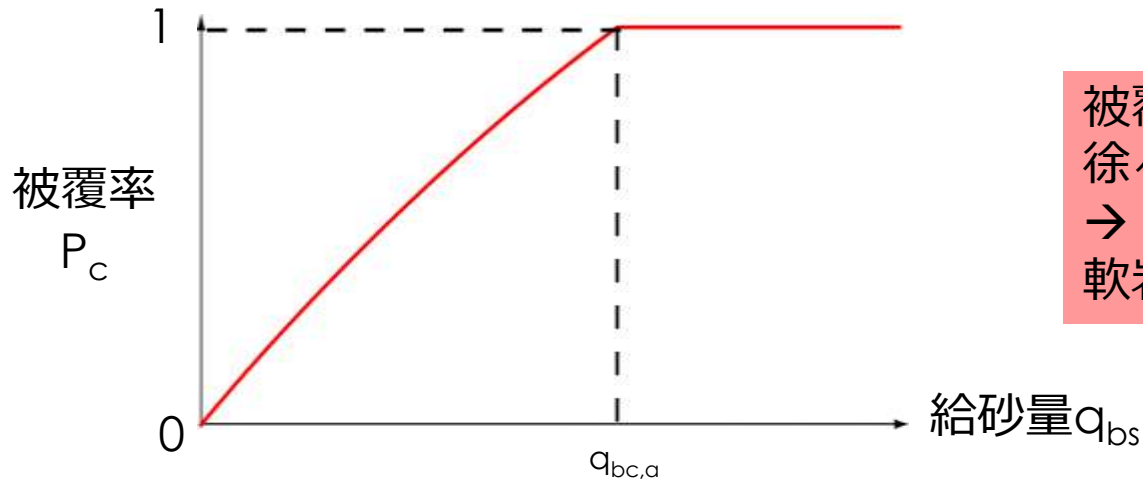
- 被覆率は、粗度が高いほど増加する。



# 粗い岩床と滑らかな岩床の違い

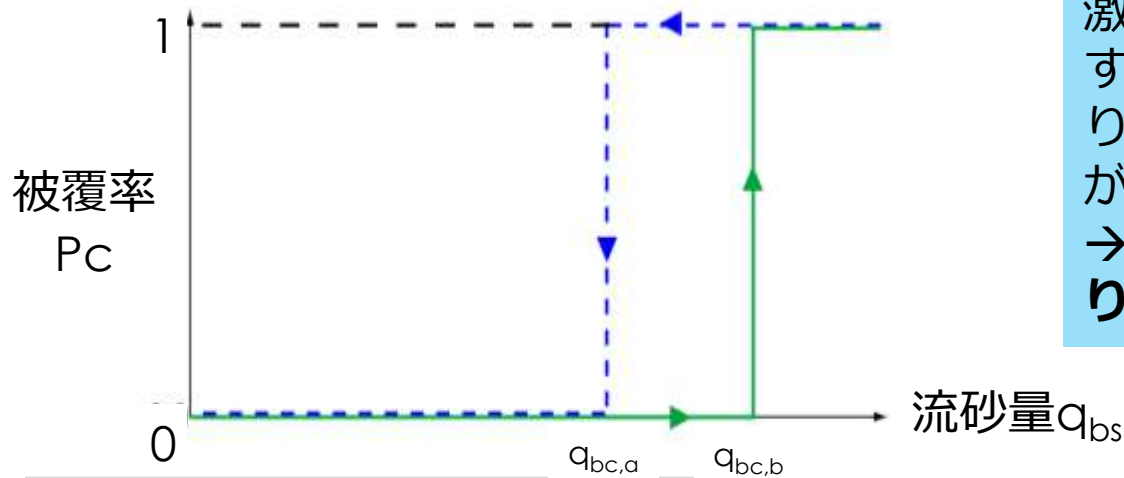
## a) 粗い岩床 (砂礫床より粗い)

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





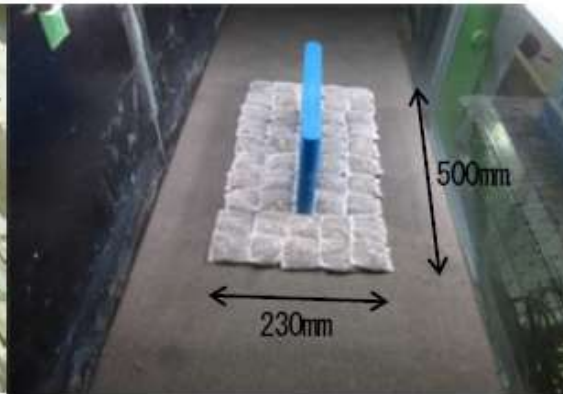
# 橋脚保護効果の実験

- 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。

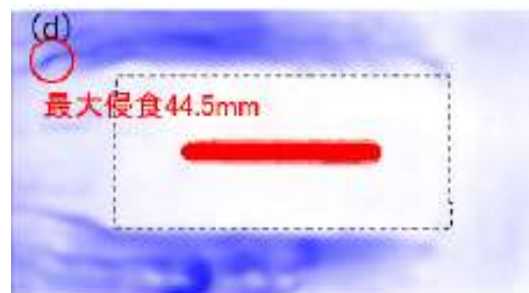
ケース1 (根固めブロック)



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。

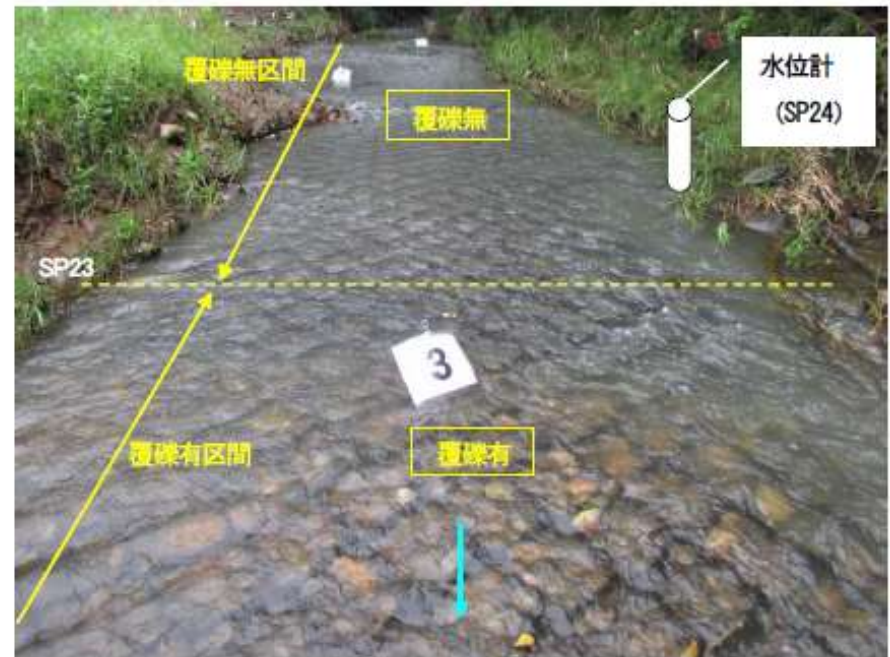


# ネット

- 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。

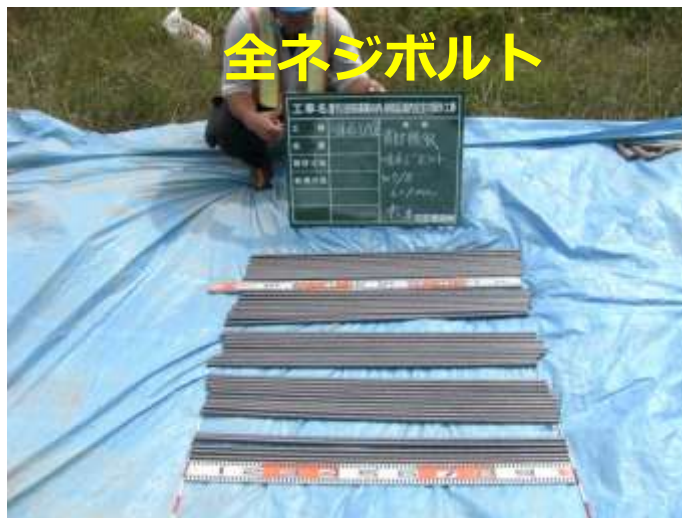


セルデム（前田工織）



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

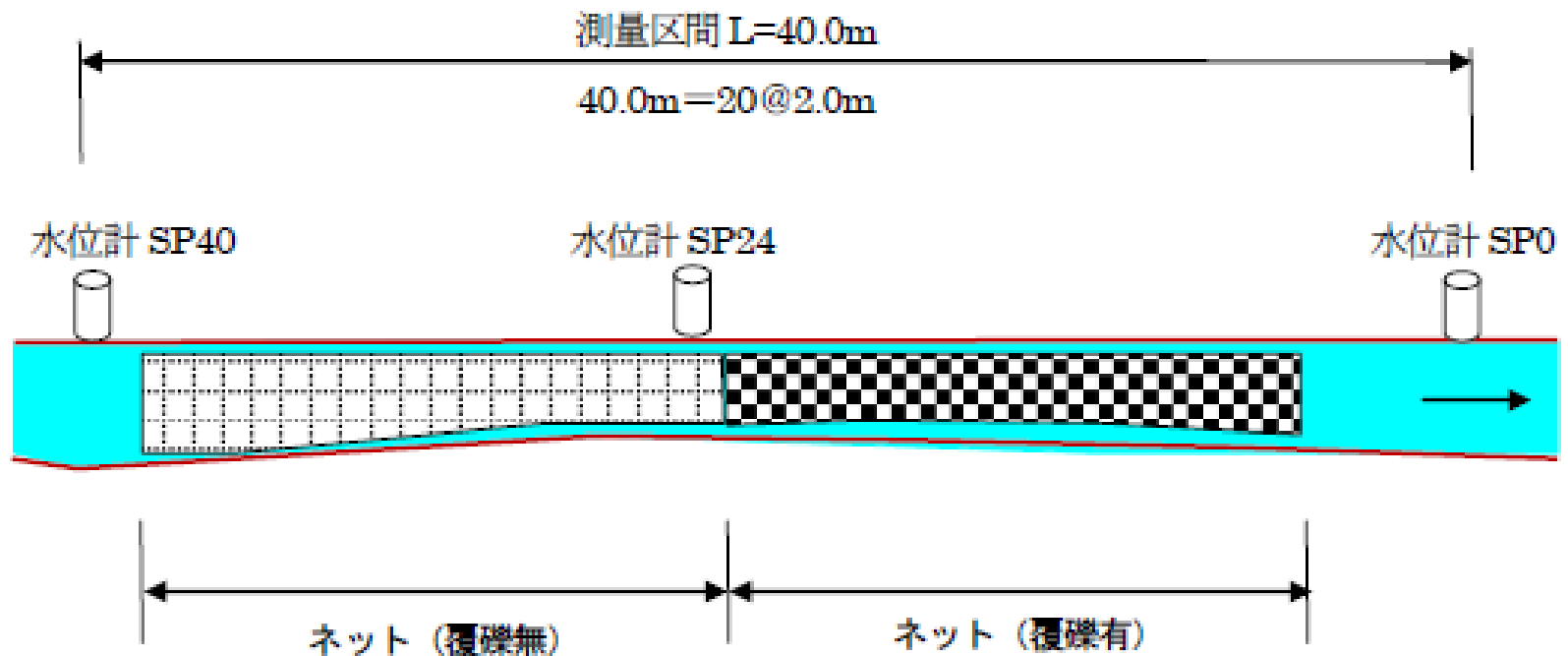


## 4. 設置完了



# 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





# 調査結果③

- 今回の出水において、流速は推定5~8m/sまで上昇したが、ネットやアンカーに大きな破損は無く、下流へ流されることもなかった。
- ただし、覆礫土が流出した箇所、2~3箇所の破損がみられた。



【SP20m付近】



【SP6m付近】



# 特許登録番号とこれまでの使用実績

登録番号：特許 第6020946号

出願番号：特願2016-095728号

出願日：2016年5月12日

公開番号：特開2016-211366号

公開日：2016年10月14日

発明/考案の名称：河床侵食抑制部材および河床侵食抑制工法

特許権者：国立研究開発法人土木研究所、国立大学法人北海道大学

## 使用実績

- 南の沢川（北海道）
- 志幌加別川（北海道）
- 浦幌川（北海道）
- 石狩川（北海道）
- 碓氷川（群馬県）



# 岩盤河床における河床低下危険度評価の手引き(案)

国立研究開発法人 土木研究所 基盤土木研究所

研究室の紹介

研究内容

ツール

災害調査速報

研究アーカイブ



## ツール

ホーム > ツール > 岩盤河床における河床低下危険度評価の手引き(案)

## 岩盤河床における河床低下危険度評価の手引き(案)

軟岩河床の侵食プロセスは、砂礫河床の河床低下（河床変動）プロセスと大きく異なります。砂礫河床の河床変動は、流入する流砂と流出する流砂のバランスにより算定されますが、軟岩河床の侵食は、流水や流砂による摩耗により生じます。

このため、これまで砂礫河床において築きあげられた流砂量式や河床変動モデルでは、軟岩河床の侵食を予測することは困難なのが現状です。

本手引き(案)では、岩盤河床の侵食特性と河床低下危険度を評価する手法を紹介しています。

## ツール

- ツール
- 新 現場のための水理学
- 実用的な洪水流出計算法
- 現場のための水理学
- 3Dで見る斜面崩壊
- GMTで作る等雨量線図、地図、水温分布、雷源マップ

# 岩盤河床における河床低下危険度評価の手引き(案)

		岩盤層の侵食されやすさの評価			
		a	b	c	d
岩盤の露出しやすさの評価	I	S	A	B	C
	II	A	B	C	D
	III	B	C	D	E

S : 早急な対策が必要

A : 対策が必要

B : 定期的な観察が必要

C : 大きなインパクトの後、観察が必要

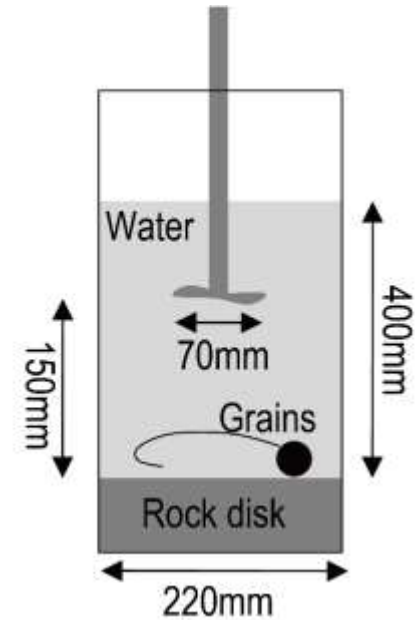
D : 河床低下の危険性は低い

E : 河床低下の危険性は低い

# 岩盤層の侵食されやすさの 評価 (岩質の話)

# 侵食速度の試験方法

ケース	河川名	岩種
Top	徳富川	砂岩
Mk	無加川	シルト岩
So	空知川	砂岩
Sh	後志利別川	泥岩
Sr	砂蘭辺川	砂岩
Or	居辺川	シルト岩
Rk	歴船川	シルト岩
Is	石狩川	砂質シルト岩
Bi II	美瑛川	凝灰岩 (弱)
Bi III	美瑛川	凝灰岩 (中)
Ma	真駒内川	凝灰岩 (中)
Yu	夕張川	礫岩
Nd	野田追川	砂岩
Kc	久著呂川	凝灰岩 (弱)
Ab	網走川	砂岩
Kf	古丹別川	砂岩



Sklar and Dietrich (2001 Geology)

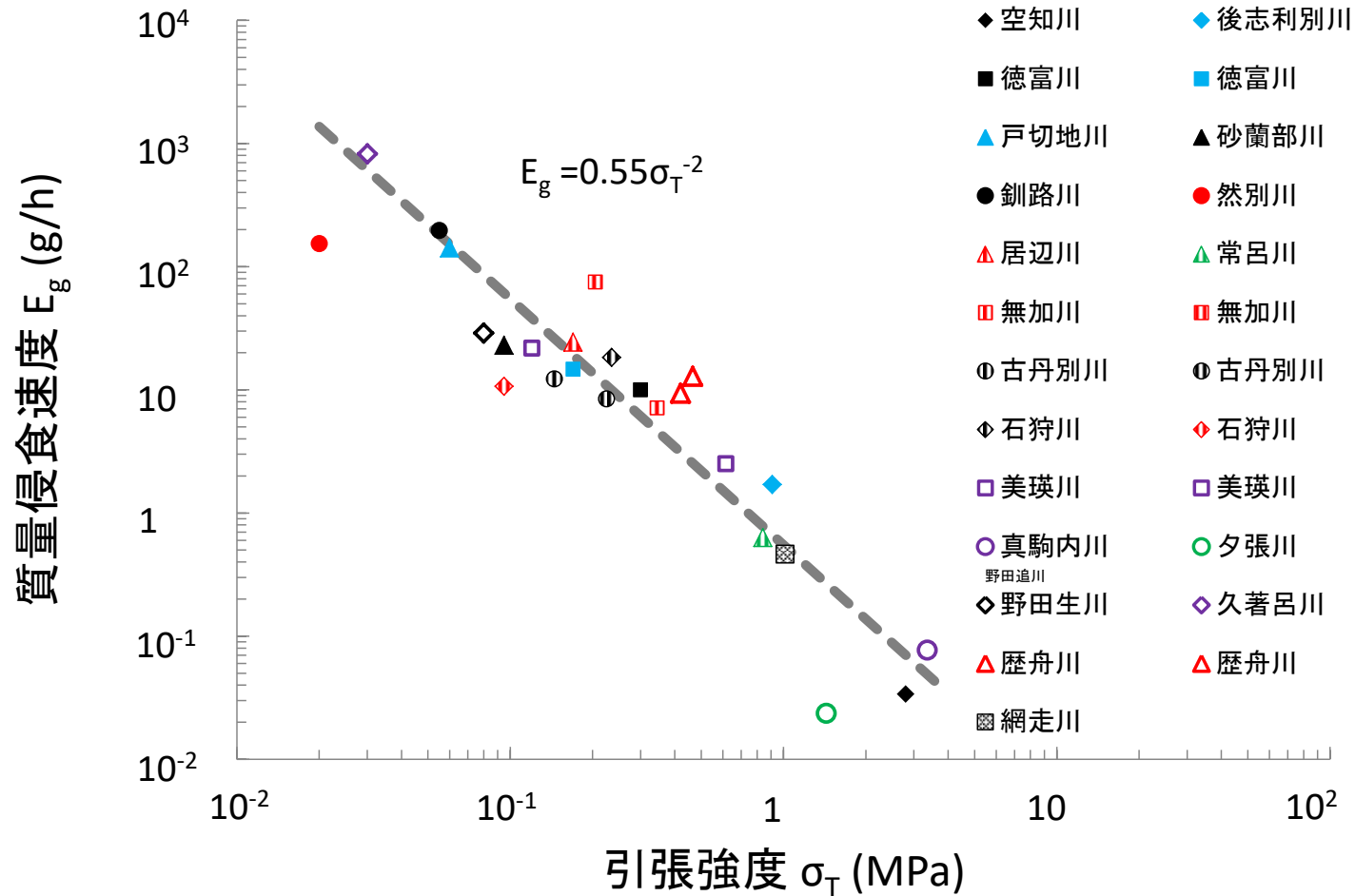
砂礫の投入量一定 (粒径6mmの砂礫150g)  
プロペラ回転速度一定 (1,000rpm)

外力が一定

侵食量の差は岩盤の違いによる

# 侵食速度の試験結果

- 岩種の違いは侵食速度に大きな影響を与えない。
- 質量侵食速度 $E_g$ は岩盤の引張強度 $\sigma_T$ の-2乗に比例する。

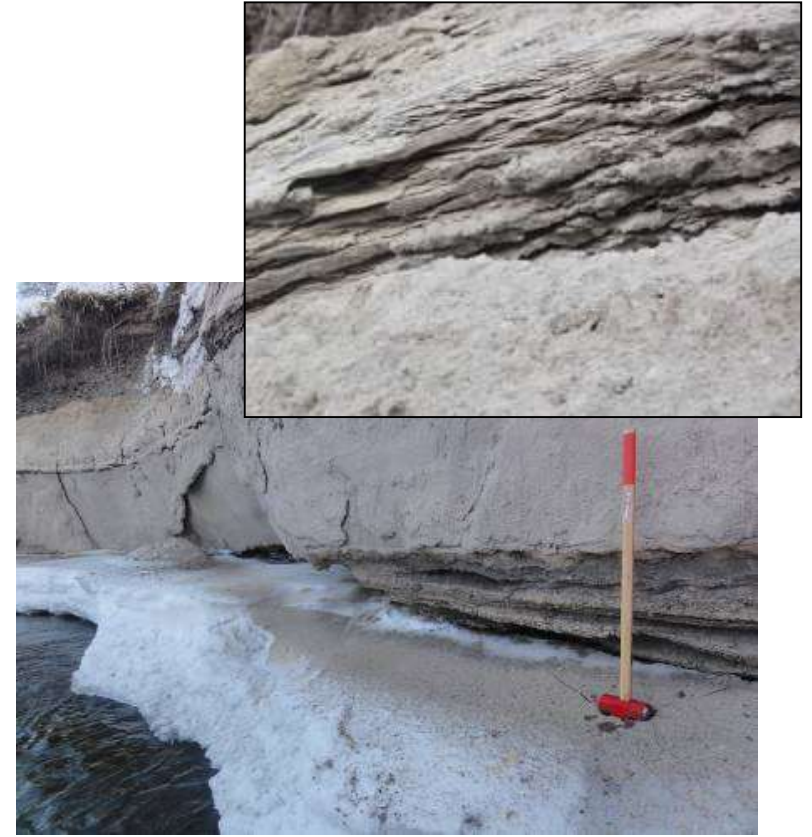


# 風化

- 岩床は乾湿や凍結融解の繰り返しによって風化し，ヒビや間隙の多い状態に変化する。 → **強度が低下する。**



乾湿繰り返しにより表層が劣化した岩  
(石狩川)



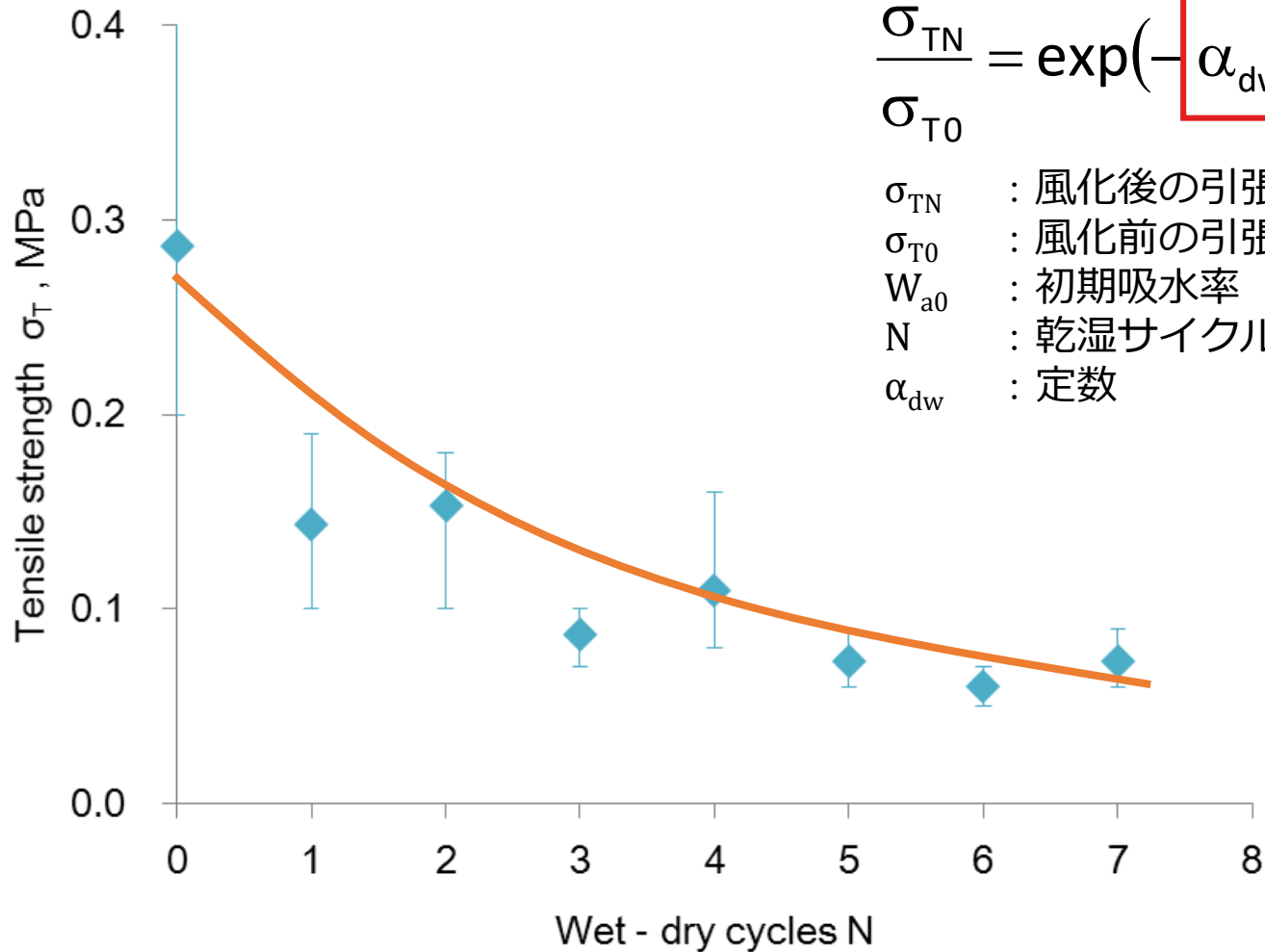
凍結融解による表層が劣化した岩  
(久著呂川)



# 風化による強度低下

- 風化によって岩盤の強度は指数的に低下する。

岩質に依存する。

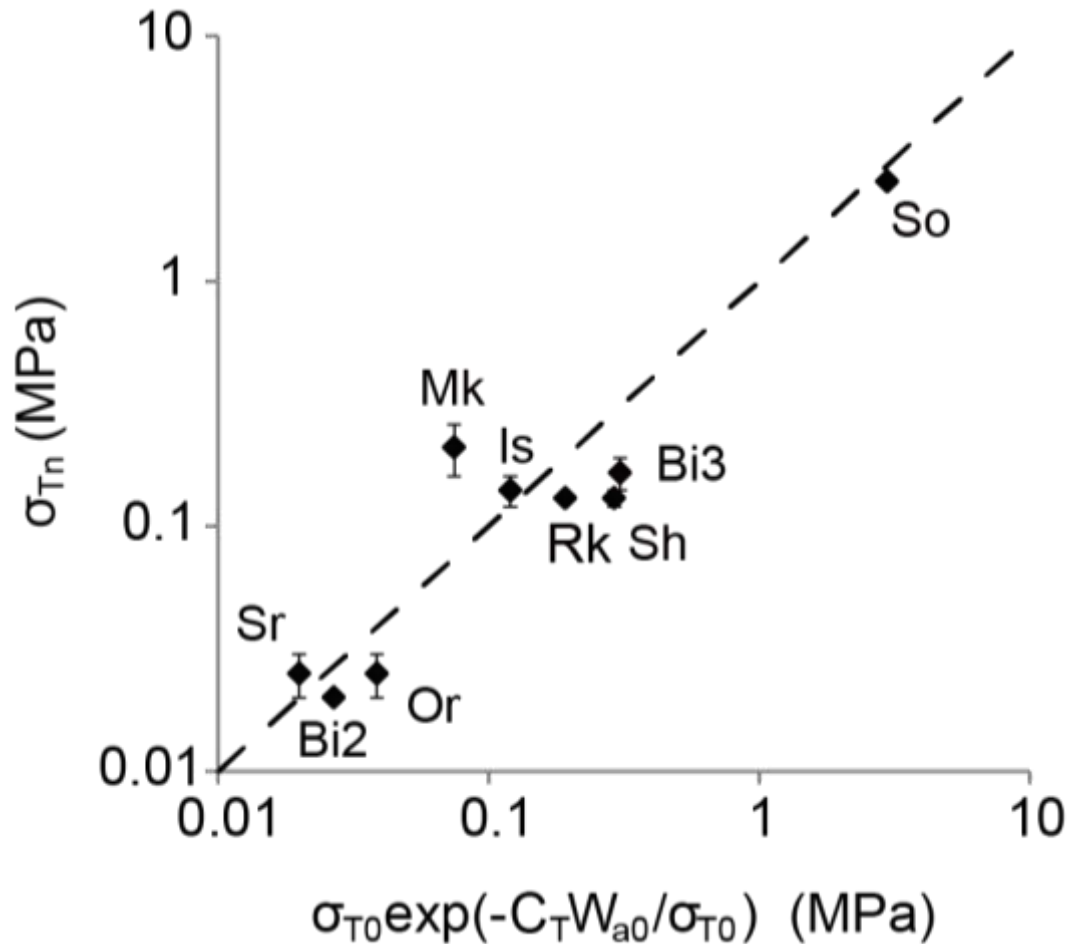


$$\frac{\sigma_{TN}}{\sigma_{T0}} = \exp(-\alpha_{dw} N)$$

- $\sigma_{TN}$  : 風化後の引張強度
- $\sigma_{T0}$  : 風化前の引張強度
- $W_{a0}$  : 初期吸水率
- $N$  : 乾湿サイクル数
- $\alpha_{dw}$  : 定数

# 岩質の違いによる風化速度

- 吸水率 $W_{a0}$ と初期強度 $\sigma_{T0}$ の比が大きいほど風化しやすい。  
→ **水をよく吸う脆い岩ほど、風化しやすい。**



# 岩盤層の侵食されやすさの評価

風化しやすい岩はワンランクダウン

侵食しやすさ (強度)

$\sigma_T$ \ $W_a / \sigma_T$	2以下	2以上
$\sim 0.25\text{MPa}$	<b>a</b>	<b>b</b>
$0.25 \sim 1.0\text{MPa}$	<b>b</b>	<b>c</b>
$1.0\text{MPa} \sim$	<b>c</b>	<b>d</b>

# 岩盤の引張強度の計測

- 換算式を用いて、ペネトロ計の計測値(針貫入勾配)を引張強度へ換算する。



軟岩ペネトロ計 (丸東製作所)



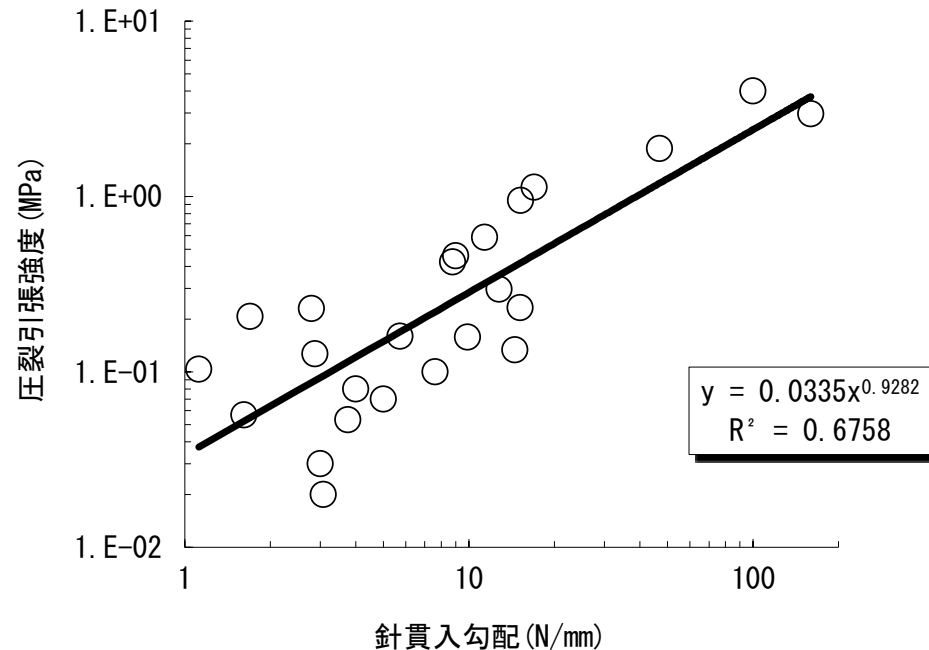
試験箇所は、可能な限りゆるみや風化の影響が少なく湿潤状態である水際、もしくは水中を選択する事が望ましい

換算式

$$\sigma_T = 0.0335 \times N_P^{0.9282}$$

$\sigma_T$  : 換算圧裂引張強度 (MPa)

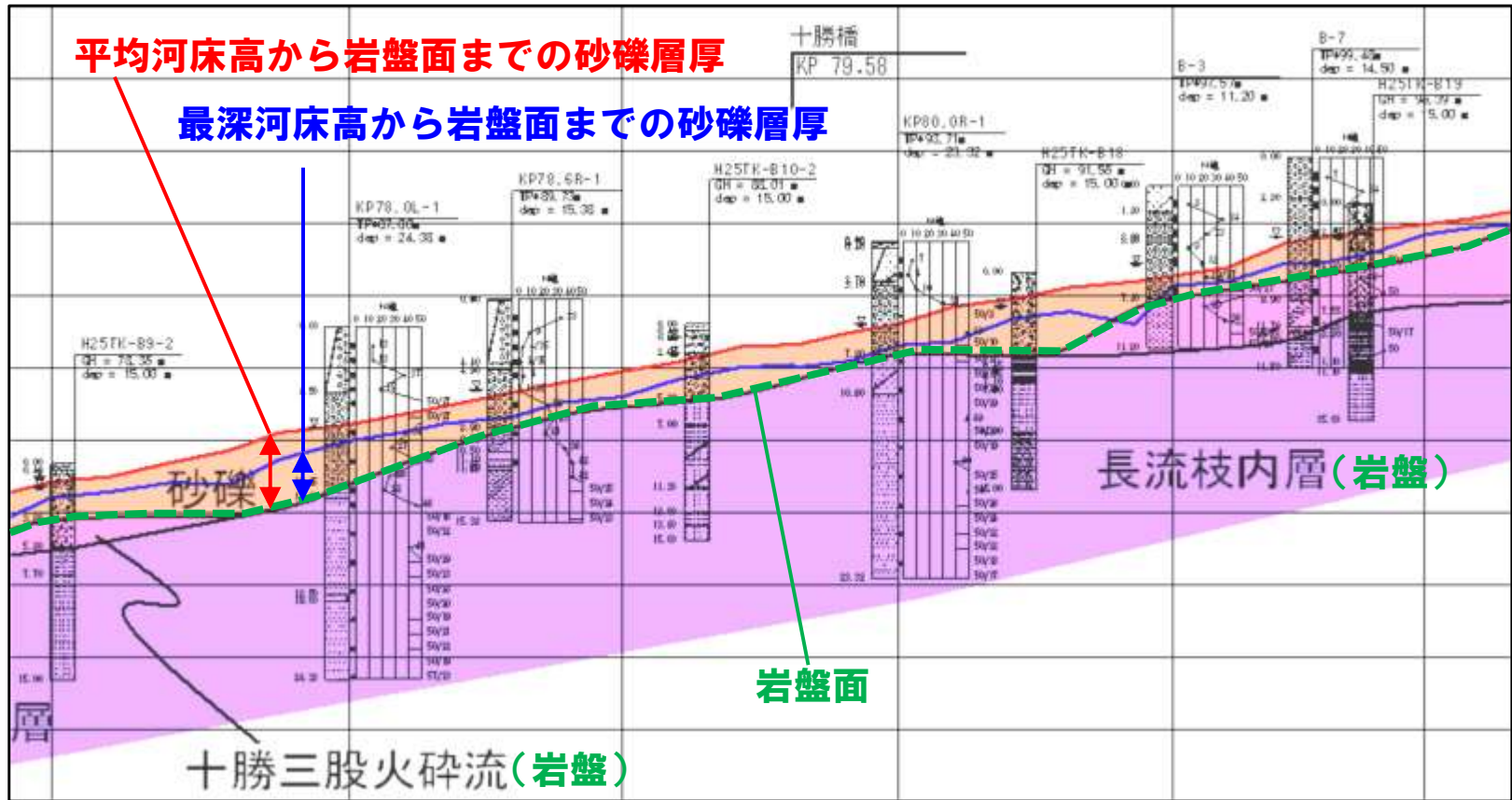
$N_P$  : 針貫入勾配 (N/mm)



# 岩盤の露出しやすさの評価

# 砂礫層厚の評価

## ■ 地質縦断面図



# 最大洗掘深の評価

■  $L_{min} = \text{『河床砂礫の交換層厚』} + \text{『1洪水での最大洗掘深』}$

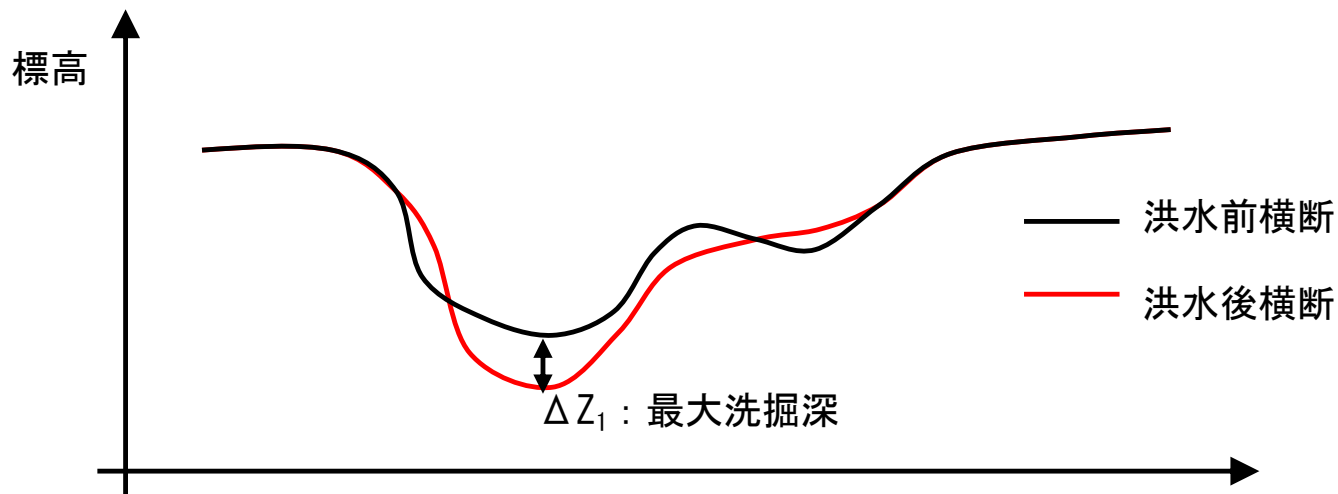
- 砂礫床の交換層厚は、河床材料の90%粒径程度
- 1洪水での最大洗掘深は、「[改訂護岸の力学設計法](#)」を参考に以下のいずれかの手法により推定する。

方法1：経年的な縦横断測量の経年変化からの評価

方法2：既往研究成果から砂州波高を目安として評価

方法3：数値計算による評価

方法4：移動床水理模型実験による評価



# 岩盤の露出しやすさの評価

砂礫層厚	河床低下傾向あり	河床低下傾向なし
すでに露岩している	I	I
$\eta_a < L_{\min}$	I	II
$\eta_a > L_{\min}$	II	III



# 岩盤河床における河床低下危険度評価の手引き(案)

		岩盤層の侵食されやすさの評価			
		a	b	c	d
岩盤の露出しやすさの評価	I	S	A	B	C
	II	A	B	C	D
	III	B	C	D	E

S : 早急な対策が必要

A : 対策が必要

B : 定期的な観察が必要

C : 大きなインパクトの後、観察が必要

D : 河床低下の危険性は低い

E : 河床低下の危険性は低い