

細粒分を含む土砂流出に関する解析

実務上での一次元河床変動計算における
細粒土砂の取り扱いの現状との課題

(株)建設技術研究所 村上正人

本日の内容

1. 一次元河床変動計算の利用実態

2. 一次元河床変動計算での細粒土砂の取り扱い方と課題

- ・河床変動計算での細粒土砂の取り扱い方(式の説明)
- ・平衡か非平衡か？
- ・浮遊砂量式は？
- ・基準面濃度式は？
- ・ウォッシュロードの扱いは？
- ・計算に用いる粒径階の設定は？

3. モデル河川における計算例

- ・浮遊砂を平衡とするか非平衡として扱うか
- ・粒度分割の違いによる流砂量の変化の有無
- ・未満砂およびスリット砂防堰堤での細粒土砂の挙動

4. 最近取り組んでいる土石流～掃流まで連続して解析可能な河床変動計算モデルの紹介

1. 一次元河床変動計算の実務での利用実態

- ・砂防計画

- ・河床変動、流出土砂量の把握
- ・被害想定
- ・施設効果の検討

- ・総合土砂管理計画

- ・短期?、長期的な河床変動予測
- ・通過土砂量(海岸への供給土砂量)の把握
- ・対策工(除石等)の効果検討

- ・河道計画

- ・河道の安定性確認(中長期)

1. 一次元河床変動計算の実務での利用実態

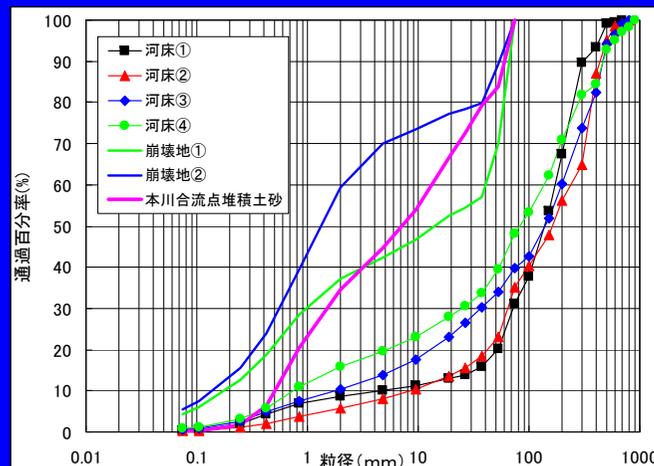
砂防(20~30年前)

細粒土砂(浮遊砂)は、河床変動に影響を及ぼさないので、掃流砂のみを対象とすればOK

近年

災害が発生した場合には、細かい土砂が河道内堆積している。

総合土砂管理計画等で土砂生産域から海岸までの区間を一連の計算で検討するには、細粒土砂を取り扱う必要がある。



2. 一次元河床変動計算での細粒土砂の取り扱い方と課題

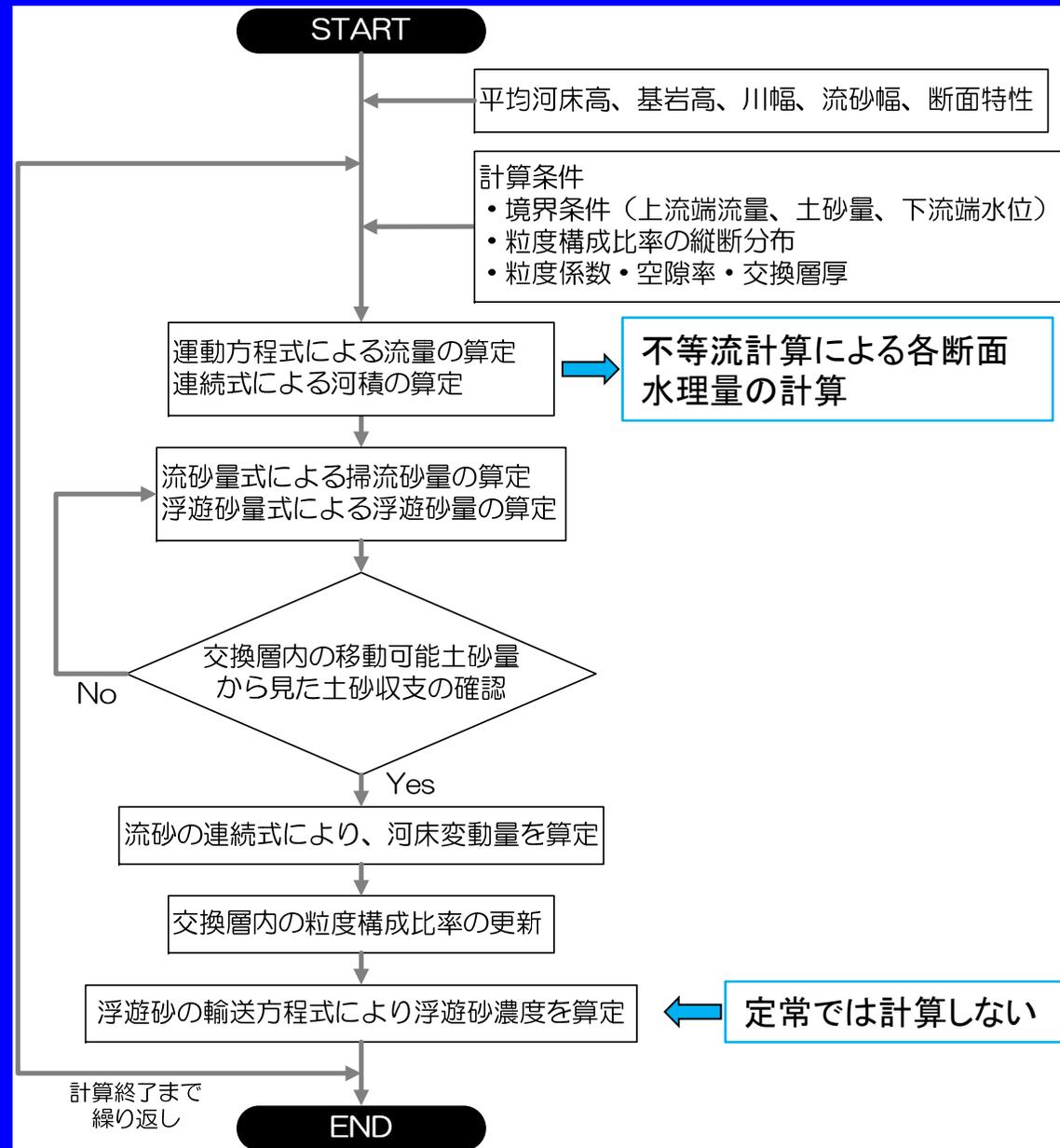
2.1 計算上の前提条件

- 流砂量は粒径別に掃流砂と浮遊砂を足して計算する。
- 掃流砂と浮遊砂は、それぞれ独立した式を用いて算出する。
- 粒径別の流砂量は、単一粒径として計算した値に河床等の粒度構成比を乗じて算出する。

2.2 現状の計算手法

項目	手法①	手法②	手法③	手法④
流れ	定常(不等流)	定常(不等流)	非定常	非定常
掃流砂	平衡	平衡	平衡	非平衡
浮遊砂	平衡	非平衡	非平衡	非平衡
粒径	混合粒径	混合粒径	混合粒径	混合粒径
利用頻度	◎	最近多い	△	現在検討中
備考	計算事例で使用			最後に説明

2.3 一次元河床変動計算の計算フロー



掃流砂

例えば、芦田・高橋・水山式 (A.T.M式)

$$q_{B^{**k}} = \frac{q_{Bk}}{\sqrt{sgd_k^3}} = 12\tau_{*k}^{3/2} \left(1 - 0.850 \frac{\tau_{*ck}}{\tau_{*k}}\right) \left(1 - 0.922 \sqrt{\frac{\tau_{*ck}}{\tau_{*k}}}\right)$$

$$\tau_{*k} > \tau_{*ck}: q_B = q_{B^{**k}} \sqrt{sgd_k^3} f(d_k)$$

$$\tau_{*k} \leq \tau_{*ck}: q_B = 0$$

$$q_B = \sum_k q_{Bk}$$

$$\tau_{*ck} = \frac{u_{*ck}^2}{(\sigma/\rho - 1)gd_k} \quad \tau_{*k} = \frac{u_*^2}{(\sigma/\rho - 1)gd_k}$$

修正Egiazaroff式

$$\frac{d_k}{d_m} \geq 0.4 \quad \frac{\tau_{*ck}}{\tau_{*cm}} = \left\{ \frac{\log_{10} 19}{\log_{10} (19d_k/d_m)} \right\}^2$$

$$\frac{d_k}{d_m} < 0.4 \quad \frac{\tau_{*ck}}{\tau_{*cm}} = 0.85 \left(\frac{d_m}{d_k} \right) \dots\dots\dots$$

沈降フラックスと浮上フラックス

(1)沈降フラックス

平均浮遊砂濃度の輸送方程式を各粒径について解く。
水深方向の濃度分布関数が与えられれば、平均濃度 c_k と底面濃度 c_{bk} の関係式を得ることができ、浮遊砂沈降フラックス q_{downk} を計算できる。
浮遊砂の三次元移流拡散方程式に仮定をおいて濃度分布関数を導く

浮遊砂濃度の三次元移流拡散方程式において定常状態を仮定
水平方向の移流成分を無視

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\varepsilon \frac{\partial C_k}{\partial z} \right) + w_{sk} \frac{\partial C_k}{\partial z} = 0$$

ε (鉛直方向の渦動拡散係数)を鉛直方向に一定

$$C_k = c_{bk} \exp\left(-\frac{w_{sk}}{\varepsilon} z\right)$$

z方向に積分して平均濃度を算出すると、 c_k と c_{bk} の関係は次式となる

$$c_k = \frac{1}{h} \int_0^h c_{bk} e^{-\beta \frac{z}{h}} dz = \frac{c_{bk}}{\beta} (1 - e^{-\beta})$$

$$\beta = \frac{w_{sk} \cdot h}{\varepsilon}, \quad \varepsilon = \frac{\kappa}{6} u_* h \quad w_{sk} = \left\{ \frac{2}{3} + \frac{36v^2}{(\sigma/\rho-1)gd_k^3} - \sqrt{\frac{36v^2}{(\sigma/\rho-1)gd_k^3}} \right\} \sqrt{(\sigma/\rho-1)gd_k}$$

沈降フラックス

$$q_{downk} = w_{sk} c_{bk}$$



流砂中の粒径別土砂濃度 C_k から C_{bk} を算出し、沈降速度を乗じて算出

沈降フラックスと浮上フラックス

(2) 浮上フラックス

浮上フラックス q_{upk} は、基準面濃度 c_{bek} から算出
基準面濃度は一般的な式(この説明では芦田・道上の濃度式)を用いる

芦田・道上式の場合

$$c_{bek} = K_0 [g(\xi_{0k}) / \xi_{0k} - G(\xi_{0k})] \cdot P_{sek}$$

$$G(\xi_{0j}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\xi_{0j}}^{\infty} \exp\left(-\frac{1}{2}\xi^2\right) d\xi \quad g(\xi_{0j}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\xi_{0j}^2\right)$$

$$\xi_{0j} = \frac{w_{sj}}{0.75u_*}$$

レイン・カリンスキ式の場合

$$c_{bek} = 5.55 P_{sek} \left[\frac{1}{2} \frac{u_*}{\omega_0} \exp\left\{-\left(\frac{\omega_0}{u_*}\right)\right\} \right]^{1.61}$$

浮上フラックス

$$q_{upk} = w_{sk} c_{bek}$$

← 既往の基準面濃度式を用いて C_{bk} を算出し、
沈降速度を乗じて算出

$$w_{sk} = \left\{ \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36\nu^2}{(\sigma/\rho-1)gd_k^3}} - \sqrt{\frac{36\nu^2}{(\sigma/\rho-1)gd_k^3}} \right\} \sqrt{(\sigma/\rho-1)gd_k}$$

浮遊砂平衡の場合

例えば、芦田・道上式

$$\frac{q_{Si}}{q \cdot \Delta F(Wo)} = c_B \left[\left(1 + \frac{1}{\kappa} \frac{n\sqrt{g}}{h^{1/6}} \right) \Lambda_1 + \frac{1}{\kappa} \frac{n\sqrt{g}}{h^{1/6}} \Lambda_2 \right]$$

基準面濃度 濃度分布に流速分布を乗じて水深方向に積分

$$c_B = 0.025 \cdot [g(\xi_0)/\xi_0 - G(\xi_0)]$$

$$\xi_0 = \omega_0 / (0.75 \cdot u_{*e})$$

$$g(\xi_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\xi_0^2\right)$$

$$G(\xi_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{\xi_0}^{\infty} \exp\left(-\frac{1}{2}\xi_0^2\right)$$

ω_0 : 沈降速度、 n : マニングの粗度係数、 h : 水深、 κ : カルマン定数

$$\Lambda_1 = \left(\frac{a}{h-a}\right)^z \int_{a/h}^1 \left(\frac{1}{\eta} - 1\right)^z d\eta$$

$$\Lambda_2 = \left(\frac{a}{h-a}\right)^z \int_{a/h}^1 \ln \eta \left(\frac{1}{\eta} - 1\right)^z d\eta$$

$$Z = \omega_0 / 1.2 \cdot \kappa \cdot u_* \quad)$$

また、浮遊砂量の計算に必要な沈降速度 ω_0 は、次の Rubey の式により計算する。

$$\omega_0 = \sqrt{s \cdot g \cdot d_i} \cdot \left[\sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36 \cdot v^2}{s \cdot g \cdot d_i^3}} - \sqrt{\frac{36 \cdot v^2}{s \cdot g \cdot d_i^3}} \right]$$

2.5 基準面濃度式

＜芦田・道上式＞

$$c_B = 0.025 \cdot [g(\xi_0)/\xi_0 - G(\xi_0)]$$

$$\xi_0 = \omega_0 / (0.75 \cdot u_{*e})$$

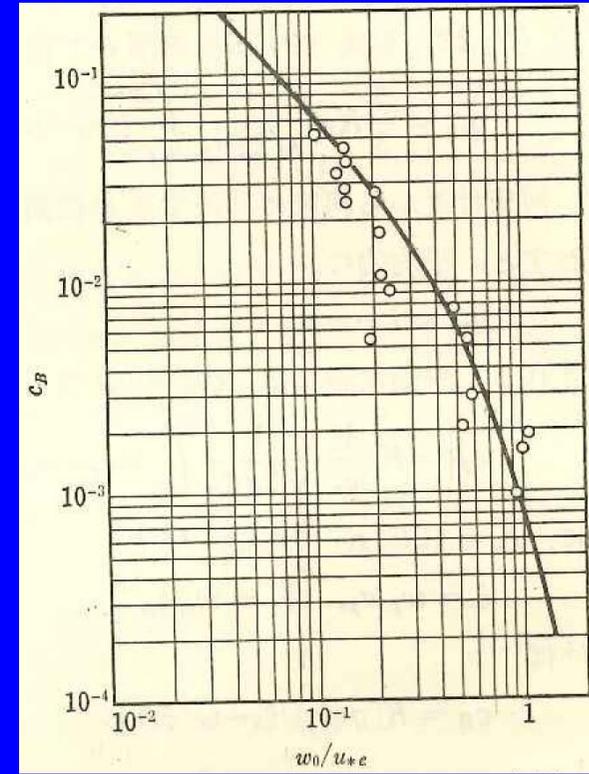
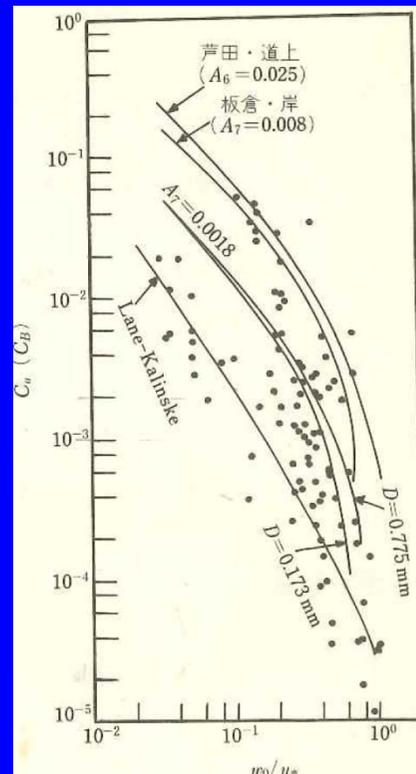
$$g(\xi_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\xi_0^2\right) \quad G(\xi_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{\xi_0}^{\infty} \exp\left(-\frac{1}{2}\xi_0^2\right)$$

＜レインカリスキ式＞

$$C_B = 5.55 \Delta F(\omega_0) \left[\frac{1}{2} \frac{u^*}{\omega_0} \exp\left\{-\left(\frac{\omega_0}{u^*}\right)\right\} \right]^{1.61} \quad (ppm)$$

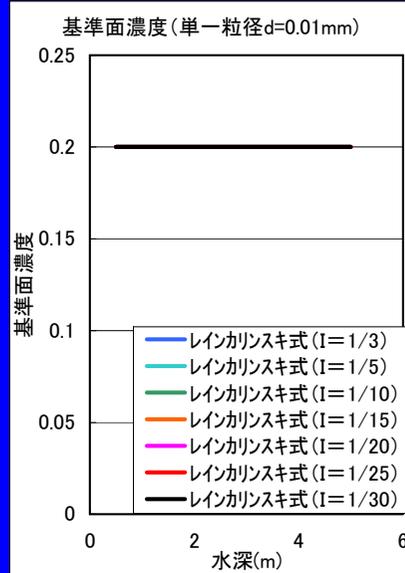
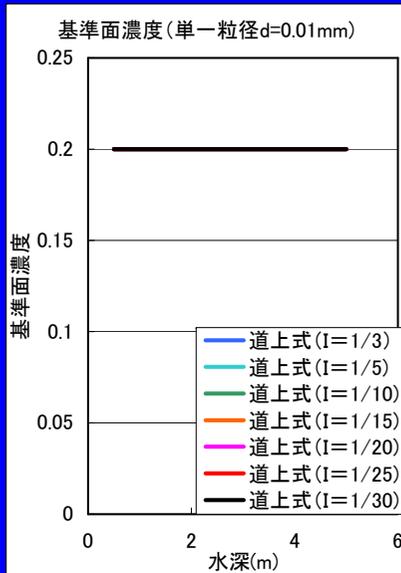
課題①： レインカリスキと道上式で1オーダー異なる

課題②： 基準面濃度の最大値（道上式の場合、計算上では C^* (河床の容積濃度)を越える場合あり:文献では0.2までしかグラフがない)

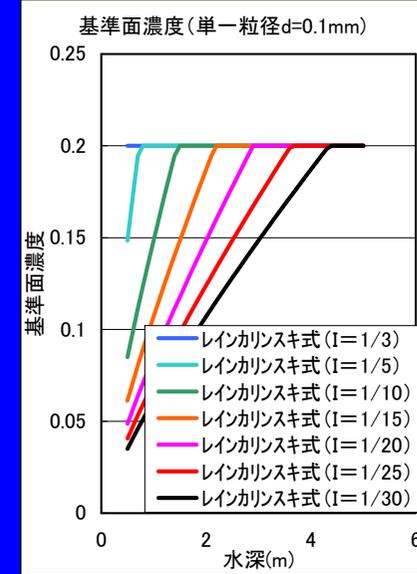
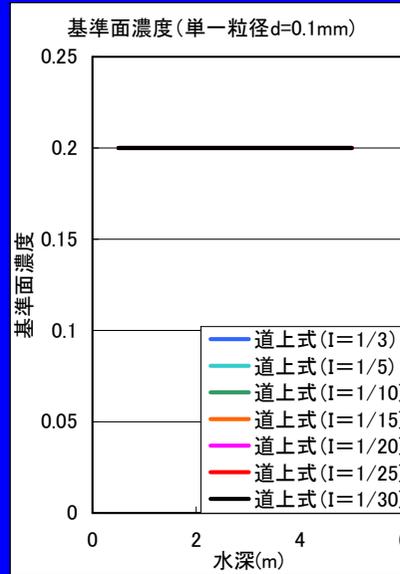


基準面濃度の比較

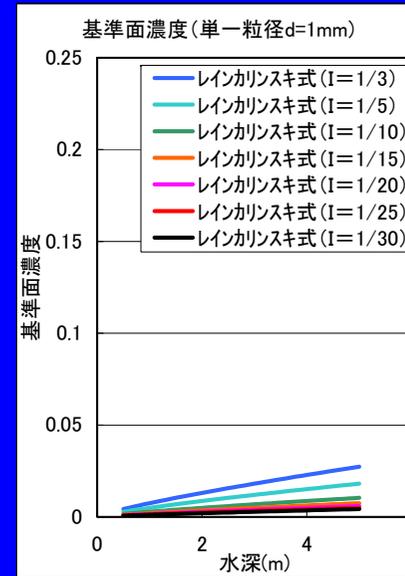
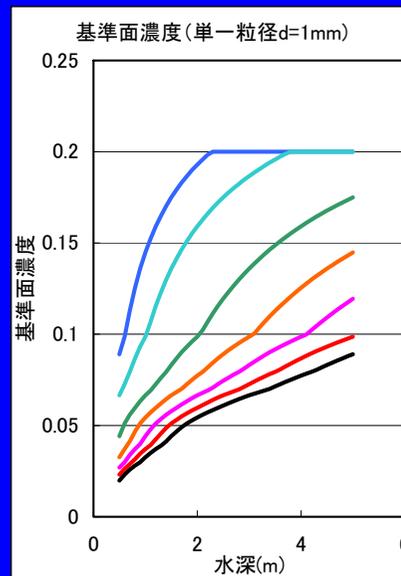
D=0.01mm



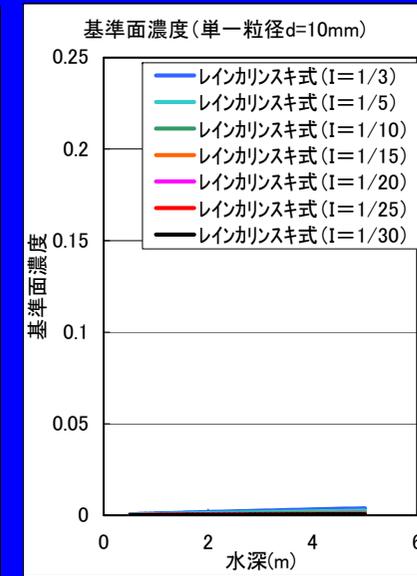
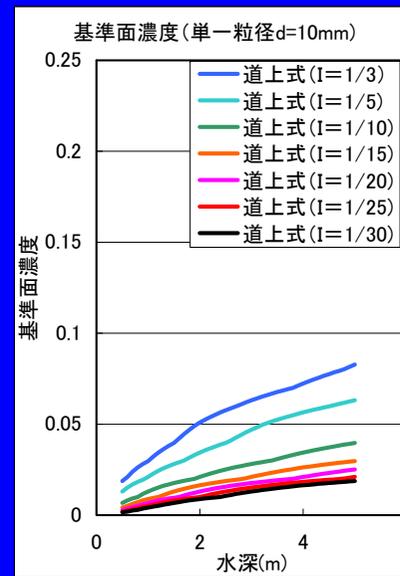
D=0.1mm



D=1.0mm



D=10mm



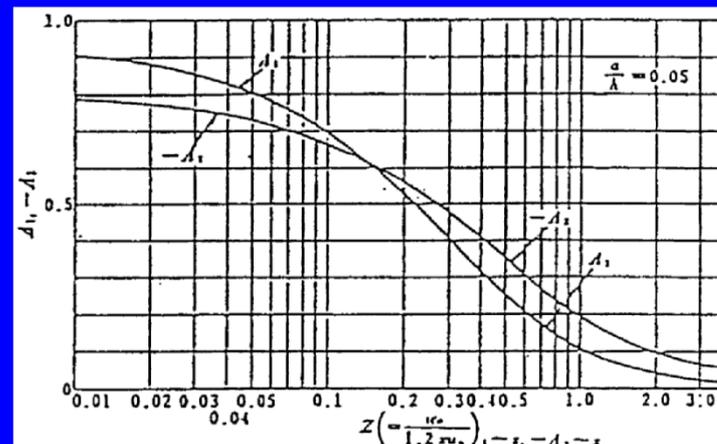
2.6 浮遊砂量(濃度)の比較

<芦田・道上式>

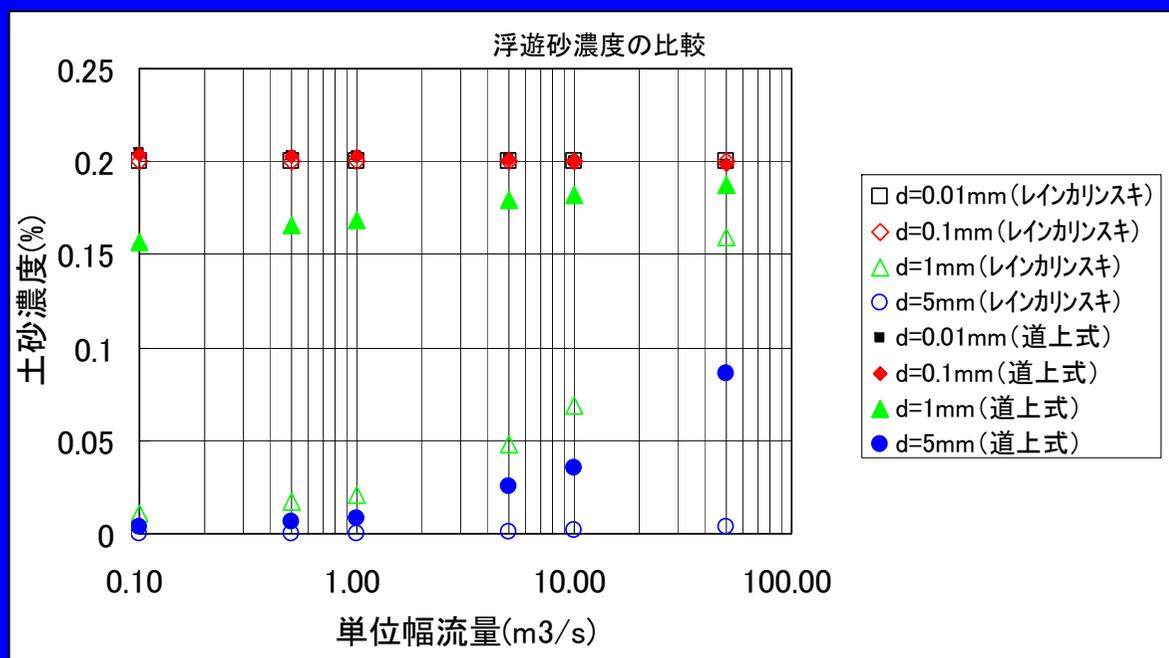
$$\frac{q_{sj}}{qf(d_j)} = C_{Bj} \left\{ \left(1 + \frac{1}{k} \cdot \frac{u_*}{u} \right) \cdot \Lambda_1 + \frac{1}{k} \cdot \frac{u_*}{u} \Lambda_2 \right\}$$

<レイン・カリンスキ式>

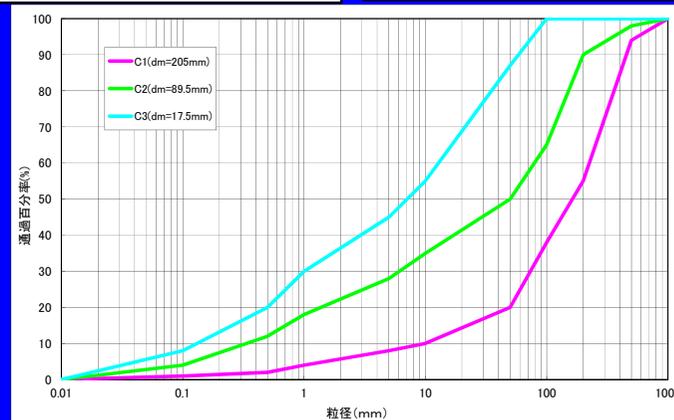
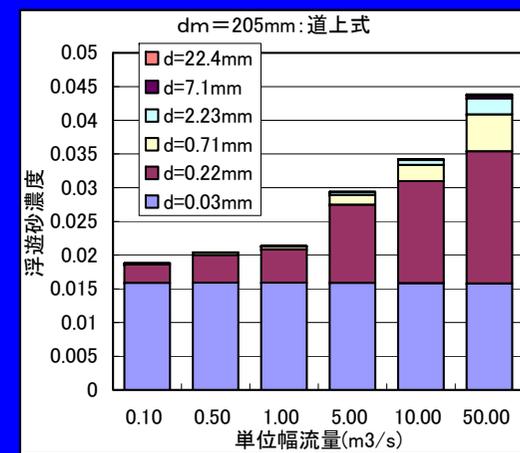
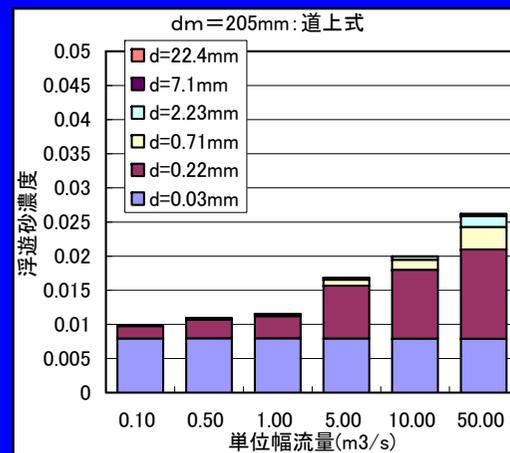
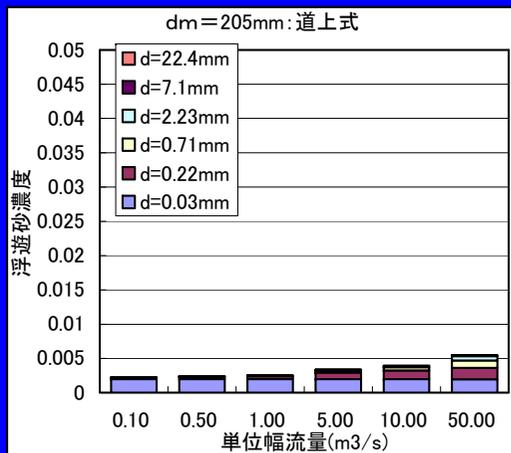
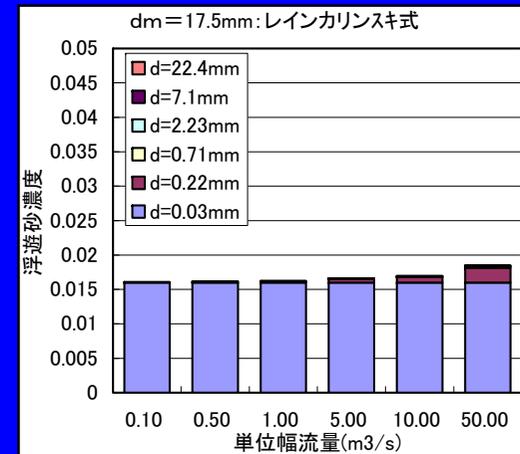
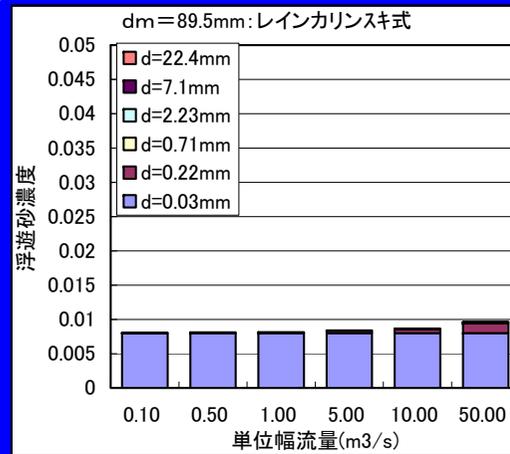
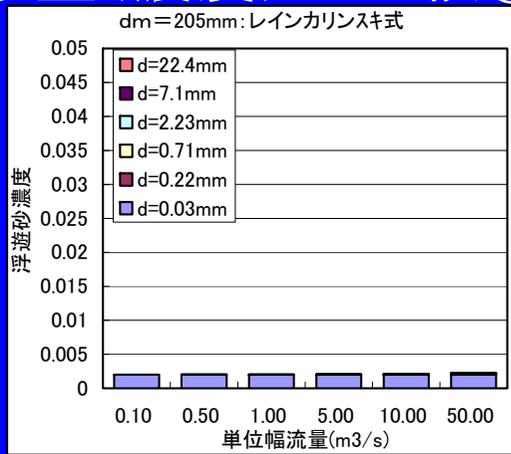
$$\frac{q_{sj}}{q \cdot f(d_j)} = c_{Bj} \int_0^1 \left[1 + \frac{1}{\kappa \phi} (1 + \ln \eta) \right] \exp \left(-\frac{15w_0}{u_*} \eta \right) d\eta$$



① 単一粒径の比較 $l=1/50$



浮遊砂量(濃度)の比較②



2.6 ウォッシュ・ロードの取り扱い

ウォッシュロード成分0.075mm以下を浮遊砂として取り扱っても、鉛直方向の土砂濃度はほとんど変化しない。したがって、基準面濃度を適切に評価できれば、浮遊砂計算でウォッシュロードは評価可能



浮遊砂として取り扱う

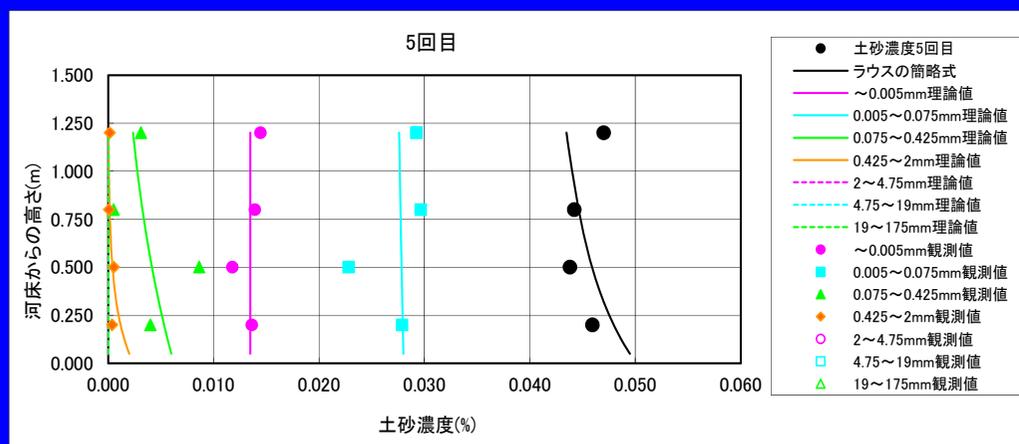


図 1-1 粒径別土砂濃度分布(安倍川手越での観測事例H13.8.23)

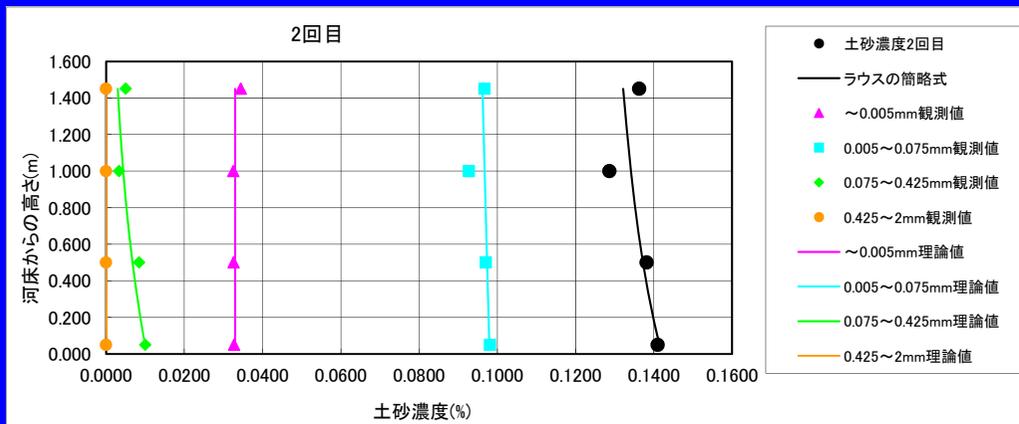


図 1-1 粒径別土砂濃度分布(姫川河口での観測事例H14.7.11)

2.6 ウォッシュ・ロードの取り扱い

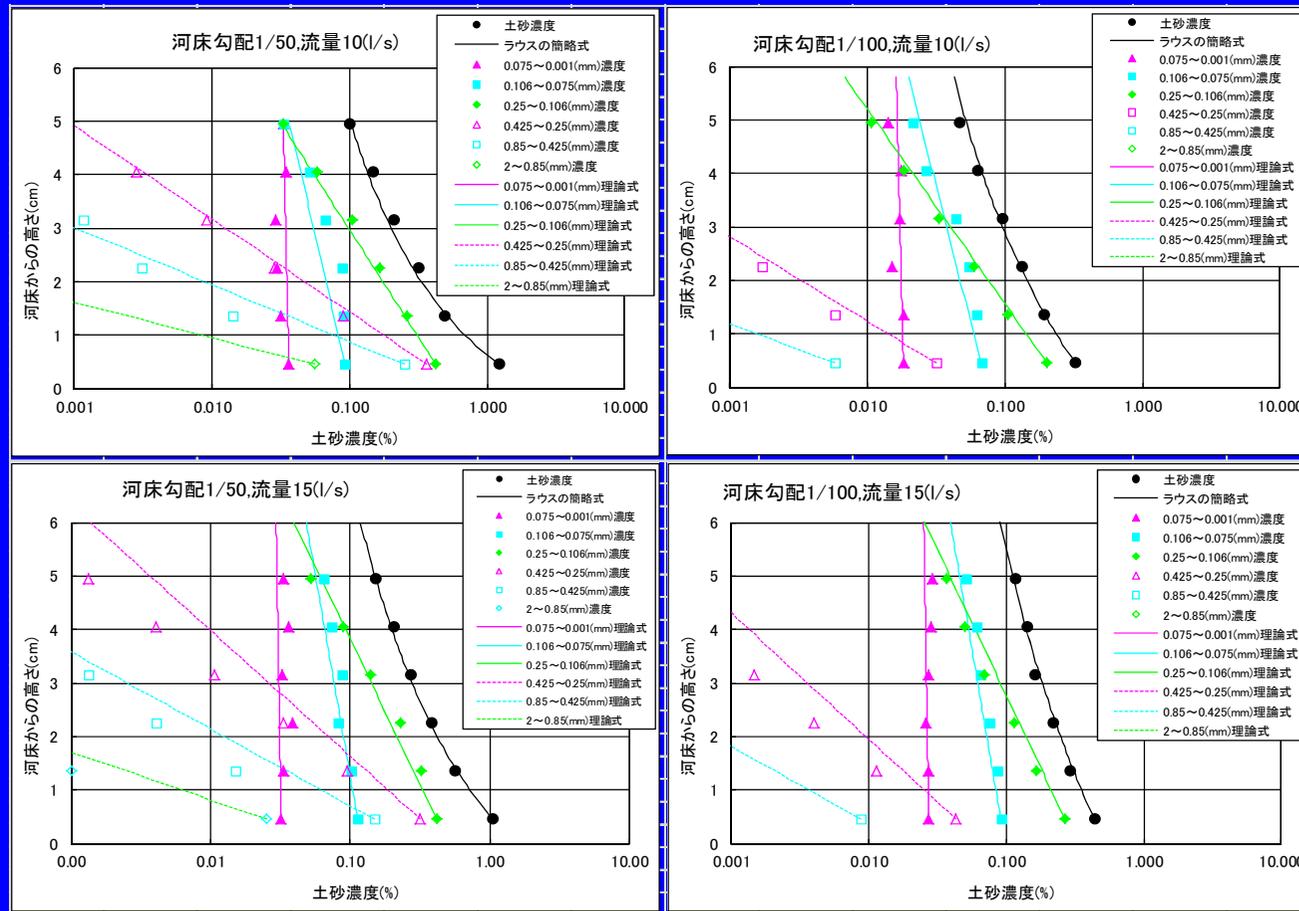


図 1-1 室内実験事例

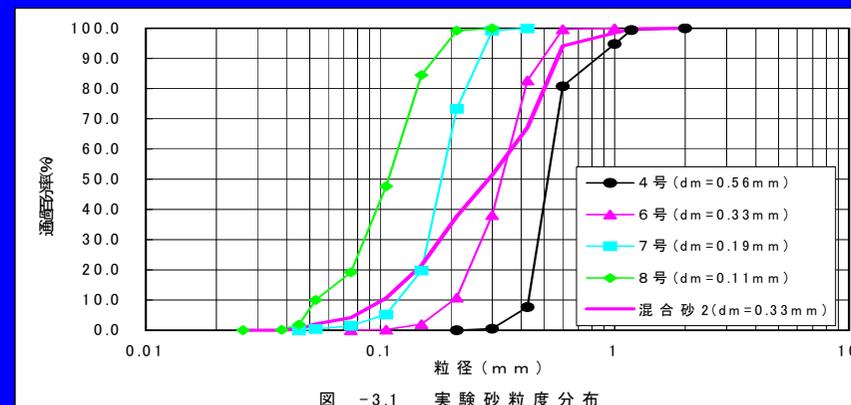
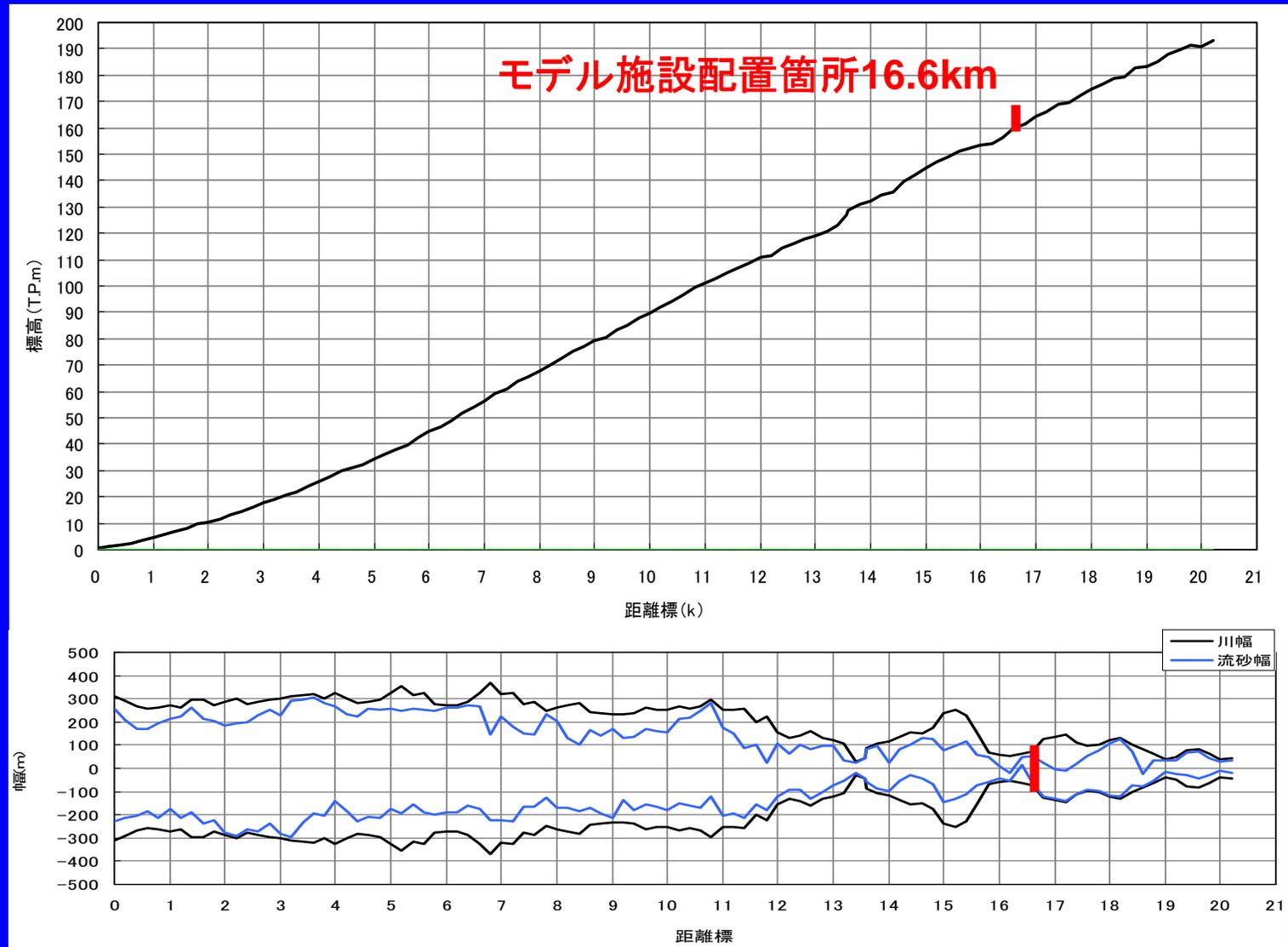


図 -3.1 実験砂粒度分布

3. モデル河川における計算例

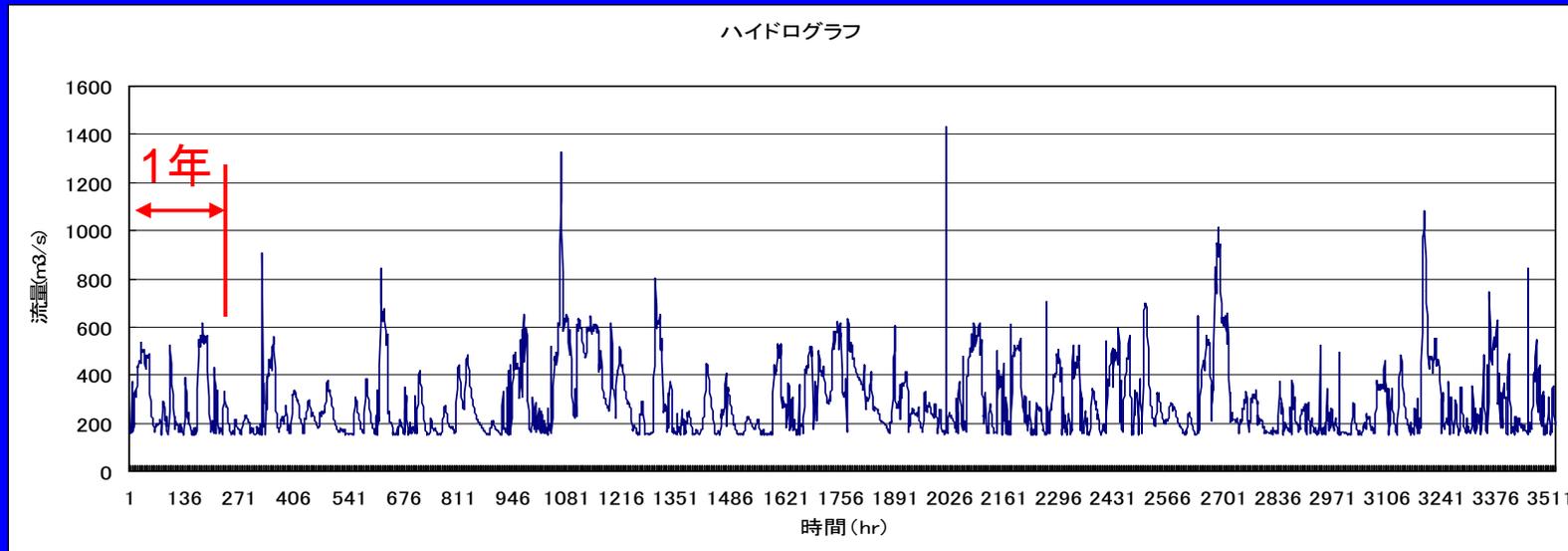
3.1 計算条件

① 縦断形状・川幅

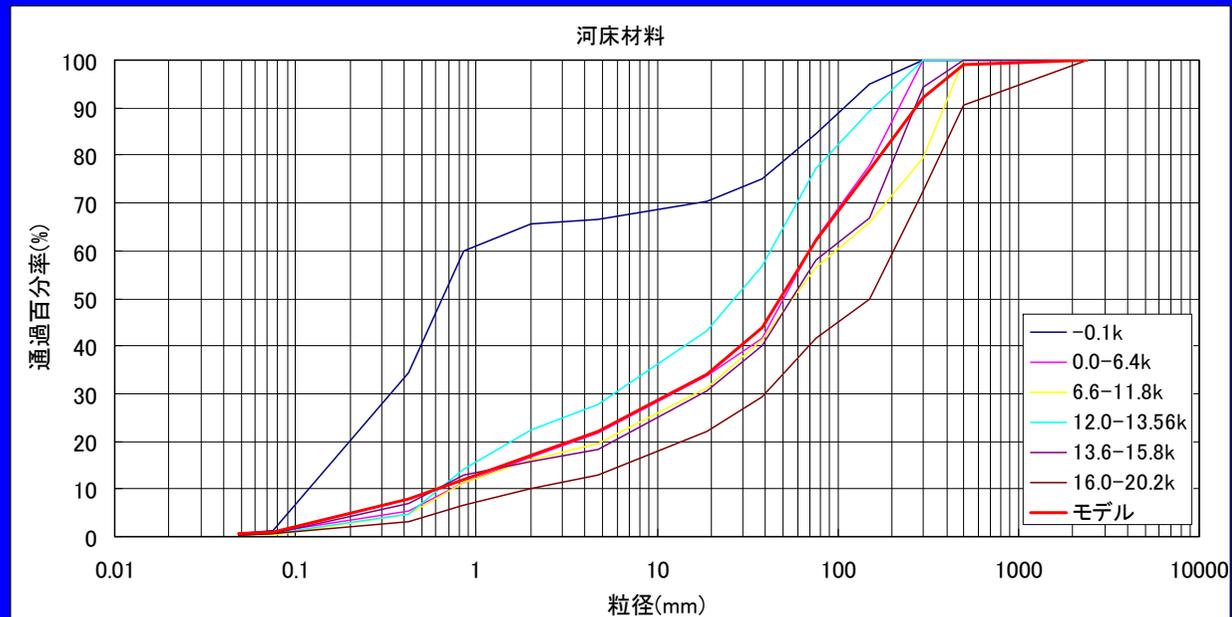


3.1 計算条件

②ハイドロ(14年間の流況:150m³/s以下はカット)

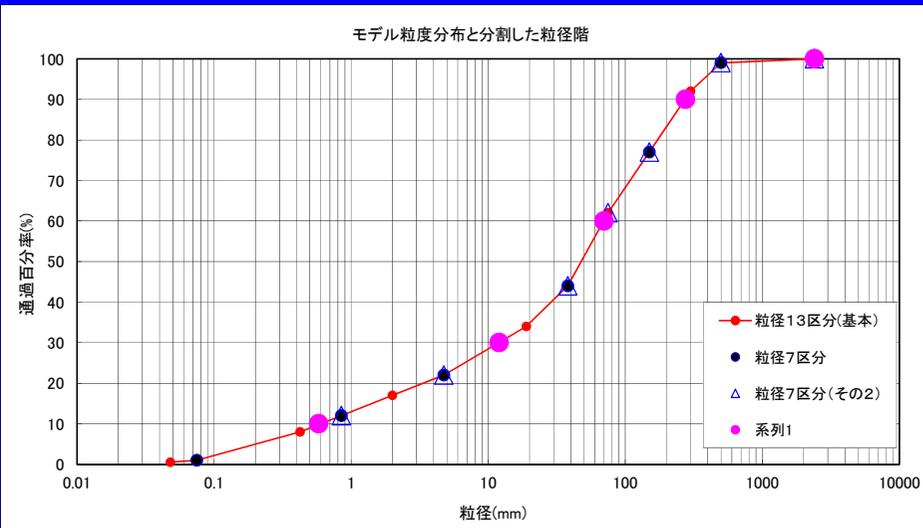
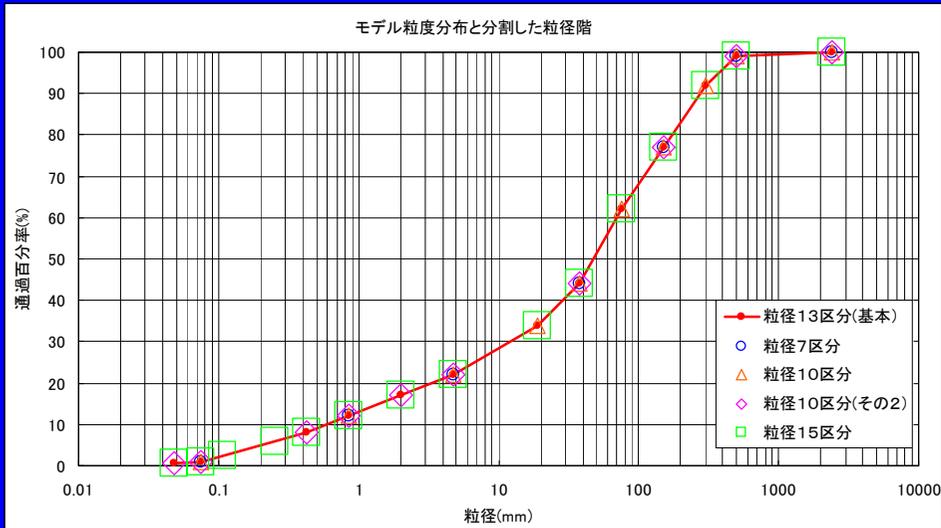


③河床材料



3.1 計算条件

④ 粒径のきり方

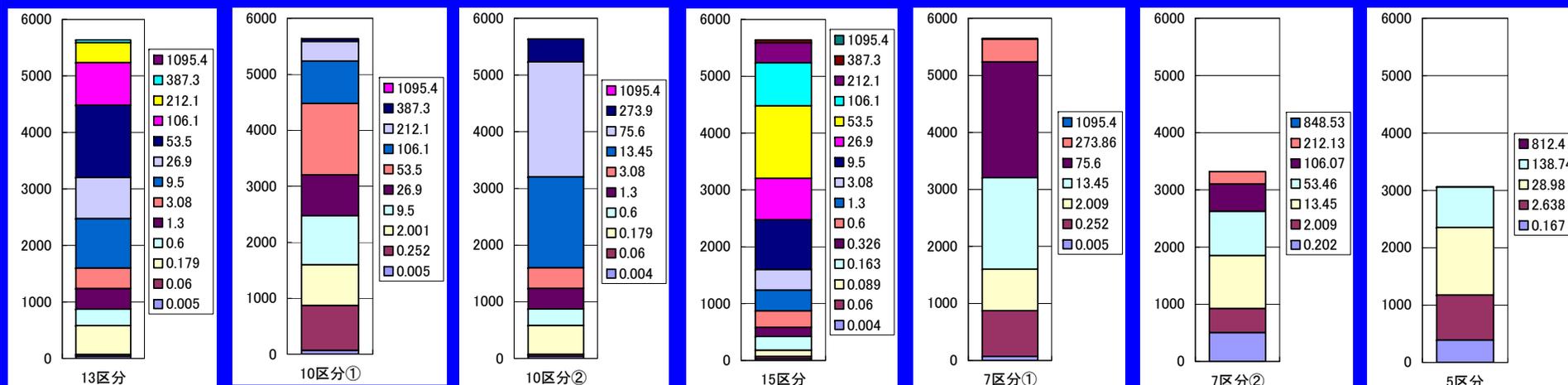


CASE	区分	平均粒径 (mm)	粒径階(mm)															
			0.00035	0.048	0.075	0.106	0.25	0.425	0.85	2	4.75	19	38.1	75	150	300	500	
			0.048	0.075	0.106	0.25	0.425	0.85	2	4.75	19 <td>38.1</td> <td>75</td> <td>150</td> <td>300</td> <td>500</td> <td>2400</td>	38.1	75	150	300	500	2400	
日本統一分類法	土質	粘土	シルト	細砂				中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	粗石		巨石			
				砂分				礫分				石分						
①	13	99.5	1	2	3			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
②	10	99.5	1		2			3			4	5	6	7	8	9	10	
③	10	99.4	1	2	3			4	5	6	7		8		9		10	
④	15	99.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
⑤	7	99.3	1		2			3			4		5		6		7	
⑥	7	128.4	1				2			3		4	5	6	7			
		平均粒径 (mm)	0.00035				0.58				12		70		275			
			0.58				12				70		275		2400			
⑦	5	132.1	1				2				3		4		5			

3.1 計算条件

⑤供給土砂量(14年分)

単位:千m³

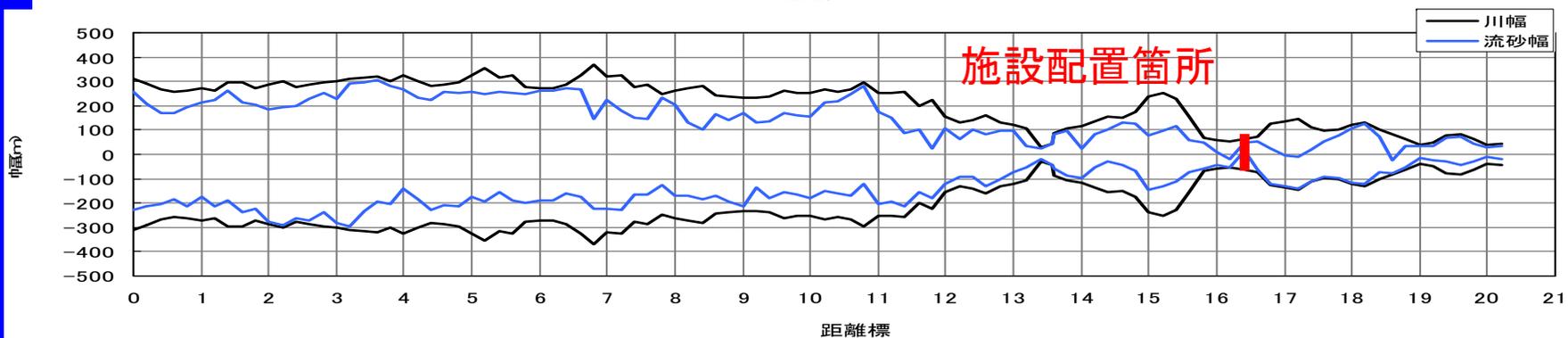
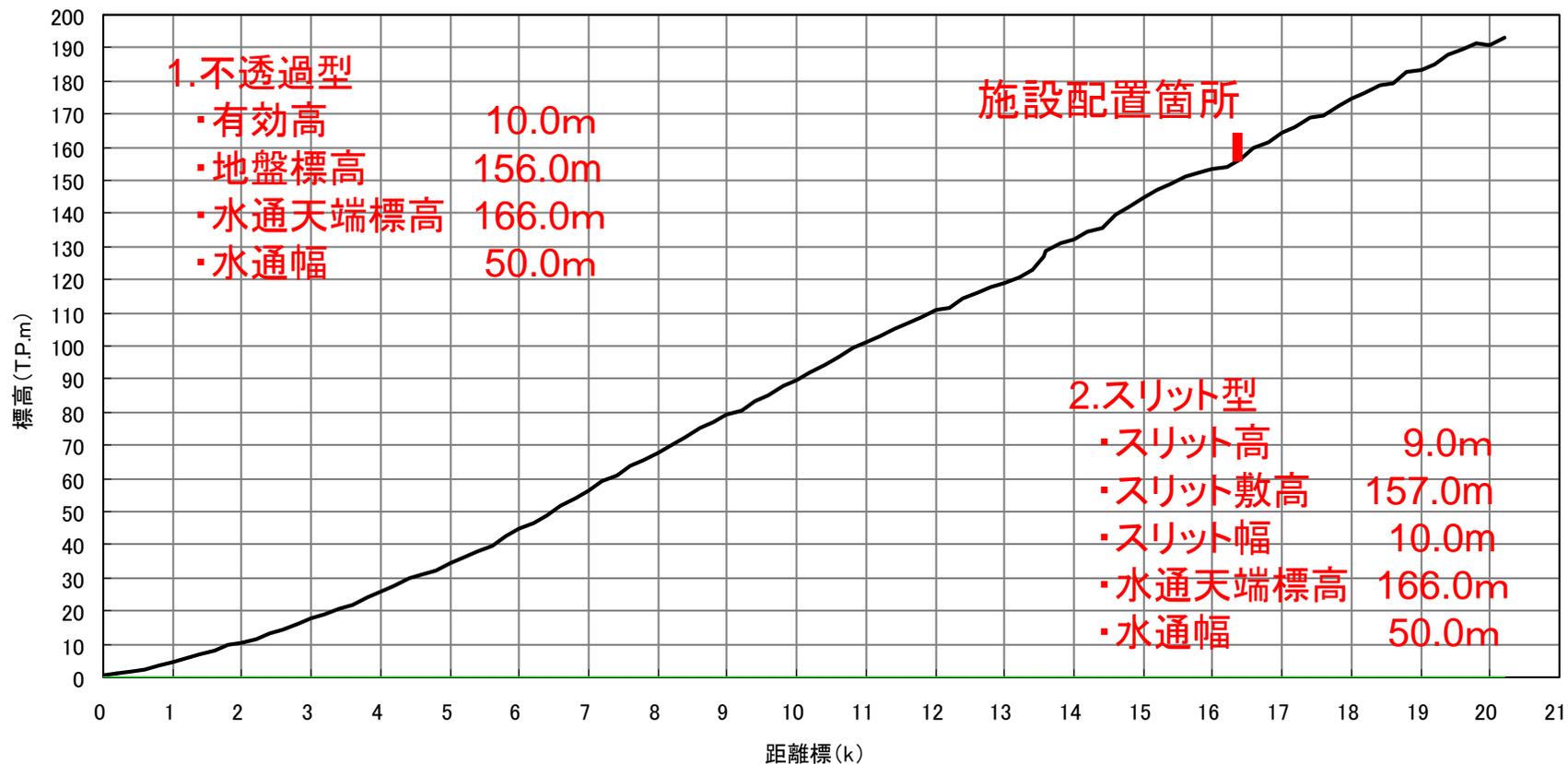


⑥その他の条件

項目	記号	値
砂礫の密度	σ	2.65
流水の密度	ρ	1
水の動粘性係数	ν	0.0101
レジーム数	α	4
河床の堆積土砂濃度	c^*	0.65
粗度係数	n	0.036~0.044

3.1 計算条件

⑦施設



定常の場合の施設の計算方法

Z_{S_i}	$Z_{S_{i-1}}$		Z_{S_i}	$Z_{S_{i-1}}$	
$A_i, b_i, V_i, Q_{B_i}, Q_{f_i}, f_i$	$A_{i-1}, b_{i-1}, V_{i-1}, Q_{B_{i-1}}, Q_{f_{i-1}}, f_{i-1}$		$A_i, b_i, V_i, Q_{B_i}, Q_{f_i}, f_i$	$A_{i-1}, b_{i-1}, V_{i-1}, Q_{B_{i-1}}, Q_{f_{i-1}}, f_{i-1}$	
非平衡の場合 Q_{up_i}, Q_{down_i}	非平衡の場合 $Q_{up_{i-1}}, Q_{down_{i-1}}$		非平衡の場合 Q_{up_i}, Q_{down_i}	非平衡の場合 $Q_{up_{i-1}}, Q_{down_{i-1}}$	
Z_i	Z_{i-1}		Z_i	Z_{i-1}	
交換層D $f_D(d_i)$			固定床上に堆積した場合のみ交換層	交換層D $f_D(d_i)$	

平衡の場合

$$z_{it} = z_{it-1} + \frac{\left(\left(\sum_k Q_{Bi-1k} + \sum_k Q_{fi-1k} \right) - \left(\sum_k Q_{Bik} + \sum_k Q_{fik} \right) \right)}{(b_i + b_{i-1})/2 \cdot dx_i} dt$$

ただし、 $Q_{Bik} + Q_{fik} > Q_{Bi-1k} + Q_{fi-1k} + \frac{dx \cdot D \cdot c_* \cdot f_D(d_i)}{dt}$ の場合は、

$$Q_{Bik} + Q_{fik} = Q_{Bi-1k} + Q_{fi-1k} + \frac{dx \cdot D \cdot c_* \cdot f_D(d_i)}{dt} \text{ とする}$$

非平衡の場合

$$z_{it} = z_{it-1} + \frac{\left(\sum_k Q_{Bi-1k} - \sum_k Q_{Bik} \right) + \left(\sum_k Q_{up_{i-1k}} - \sum_k Q_{down_{i-1k}} \right) - \left(\sum_k Q_{up_{ik}} - \sum_k Q_{down_{ik}} \right)}{(b_i + b_{i-1})/2 \cdot dx_i} dt$$

ただし、 $Q_{Bik} + \sum_k Q_{up_{ik}} - \sum_k Q_{down_{ik}} > Q_{Bi-1k} + \sum_k Q_{up_{i-1k}} - \sum_k Q_{down_{i-1k}} + \frac{dx \cdot D \cdot c_* \cdot f_D(d_i)}{dt}$ の場合は、

$$Q_{Bik} + \sum_k Q_{up_{ik}} - \sum_k Q_{down_{ik}} = Q_{Bi-1k} + \sum_k Q_{up_{i-1k}} - \sum_k Q_{down_{i-1k}} + \frac{dx \cdot D \cdot c_* \cdot f_D(d_i)}{dt} \text{ とする}$$

水面形の計算---不等流計算

堰堤地点の水位---限界水深

スリット水位 ---計算式

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad Q_1 = \frac{2}{3} c_1 \cdot b \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

$$Q_2 = \frac{2}{15} c_2 \cdot \sqrt{2g} \cdot \{3(B_1 - b) + 2(B_2 - b)\} (h - H)^{3/2}$$

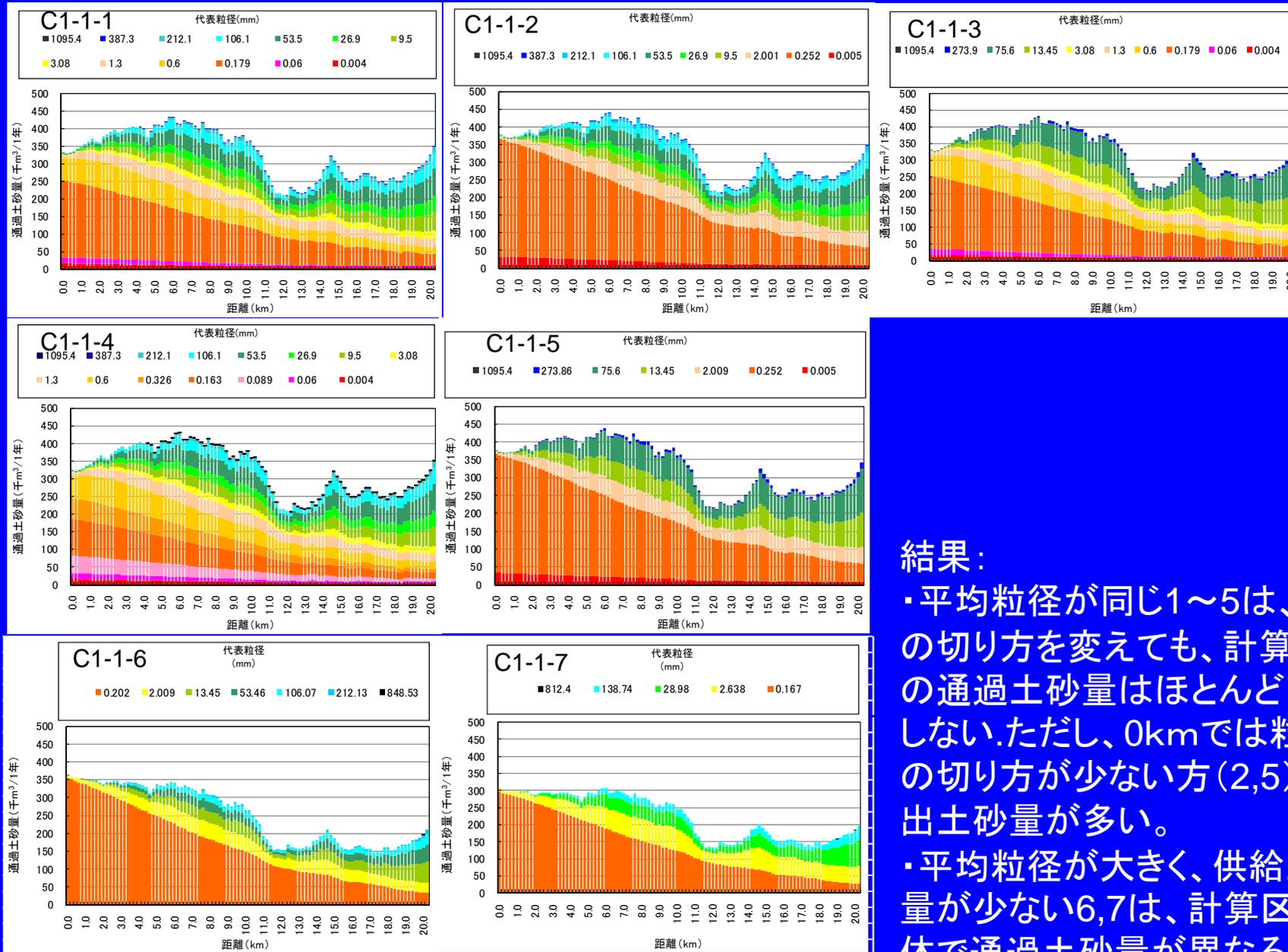
3.1 計算条件

⑧ 計算ケース

CASE	浮遊砂モデル	施設	粒径区分	平均粒径(mm)	供給土砂量(14年)
C1-1-1	平衡	無し	13	99.5	564.3万m ³
C1-1-2			10	99.5	564.3万m ³
C1-1-3			10	99.4	564.3万m ³
C1-1-4			15	99.5	564.3万m ³
C1-1-5			7	99.3	564.3万m ³
C1-1-6			7	128.4	332.0万m ³
C1-1-7			5	132.1	306.1万m ³
C2-1-1	非平衡		13	99.5	564.3万m ³
C2-1-2			10	99.5	564.3万m ³
C2-1-3			10	99.4	564.3万m ³
C2-1-4			15	99.5	564.3万m ³
C2-1-5			7	99.3	564.3万m ³
C2-1-6			7	128.4	332.0万m ³
C2-1-7			5	132.1	306.1万m ³
C1-2-1	平衡	不透過型未満砂	13	99.5	564.3万m ³
C1-2-2			10	99.5	564.3万m ³
C1-2-3			10	99.4	564.3万m ³
C1-2-4			15	99.5	564.3万m ³
C1-2-5			7	99.3	564.3万m ³
C1-2-6			7	128.4	332.0万m ³
C1-2-7			5	132.1	306.1万m ³
C2-2-1	非平衡		13	99.5	564.3万m ³
C2-2-2			10	99.5	564.3万m ³
C2-2-3			10	99.4	564.3万m ³
C2-2-4			15	99.5	564.3万m ³
C2-2-5			7	99.3	564.3万m ³
C2-2-6			7	128.4	332.0万m ³
C2-2-7			5	132.1	306.1万m ³
C1-3-1	平衡	スリット	13	99.5	564.3万m ³
C1-3-5			7	99.3	564.3万m ³
C1-3-7	非平衡		5	132.1	306.1万m ³
C2-3-1			13	99.5	564.3万m ³
C2-3-5			7	99.3	564.3万m ³
C2-3-7			5	132.1	306.1万m ³

3.2 計算結果 (1) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化

浮遊砂: 平衡、流量: 1年間、通過土砂量: 掃流砂 + 浮遊砂

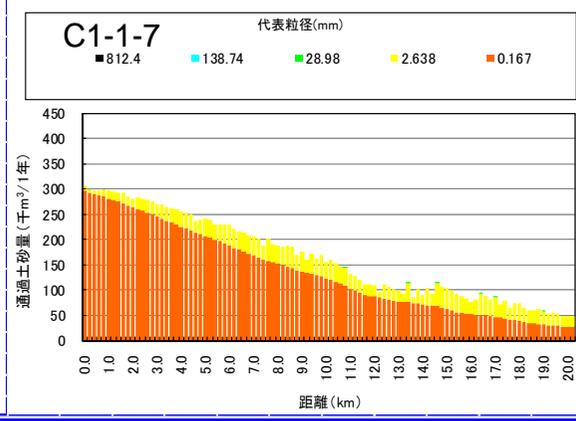
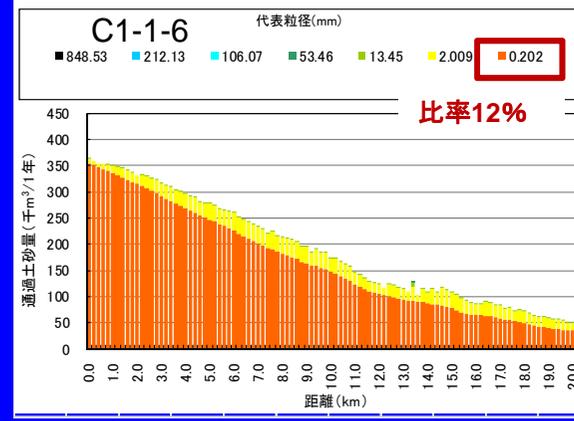
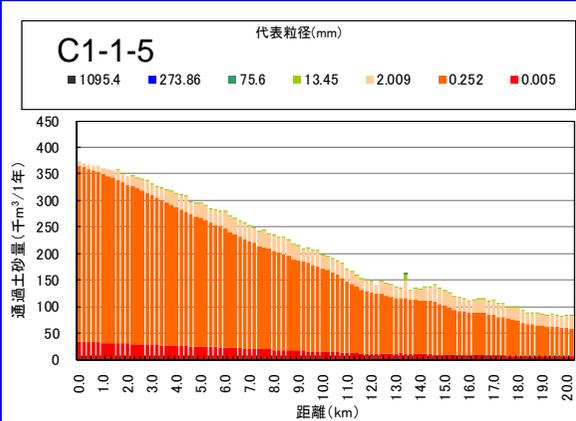
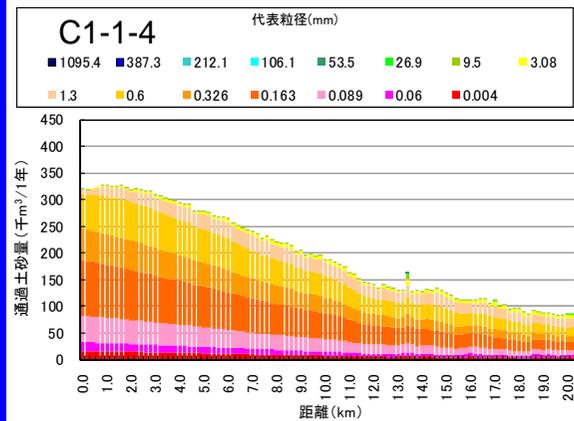
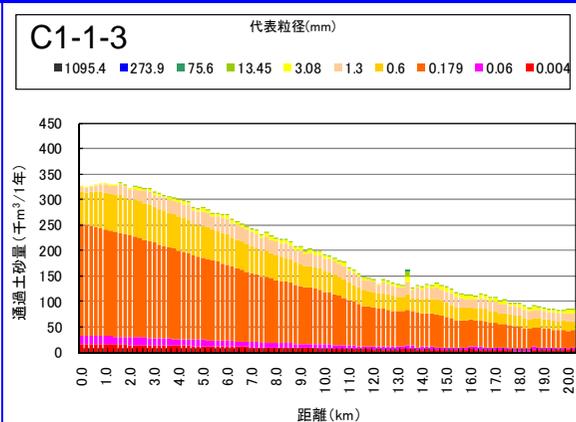
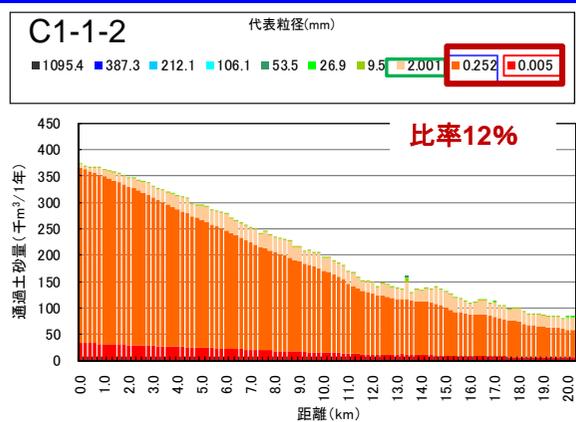
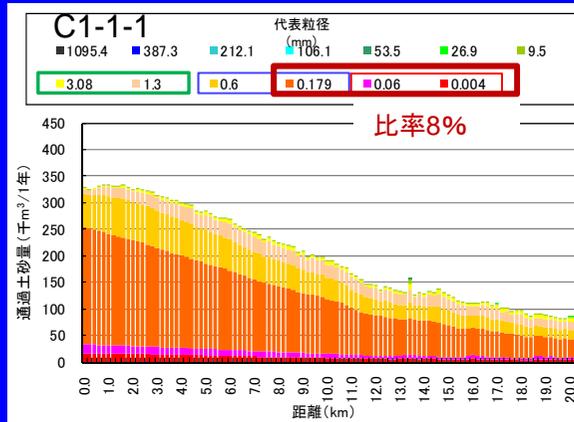


結果:

- ・平均粒径が同じ1~5は、粒径の切り方を変えても、計算区間の通過土砂量はほとんど変化しない。ただし、0kmでは粒径の切り方が少ない方(2,5)が流出土砂量が多い。
- ・平均粒径が大きく、供給土砂量が少ない6,7は、計算区間全体で通過土砂量が異なる

(1) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化

浮遊砂: 平衡、流量: 1年間、通過土砂量: 浮遊砂

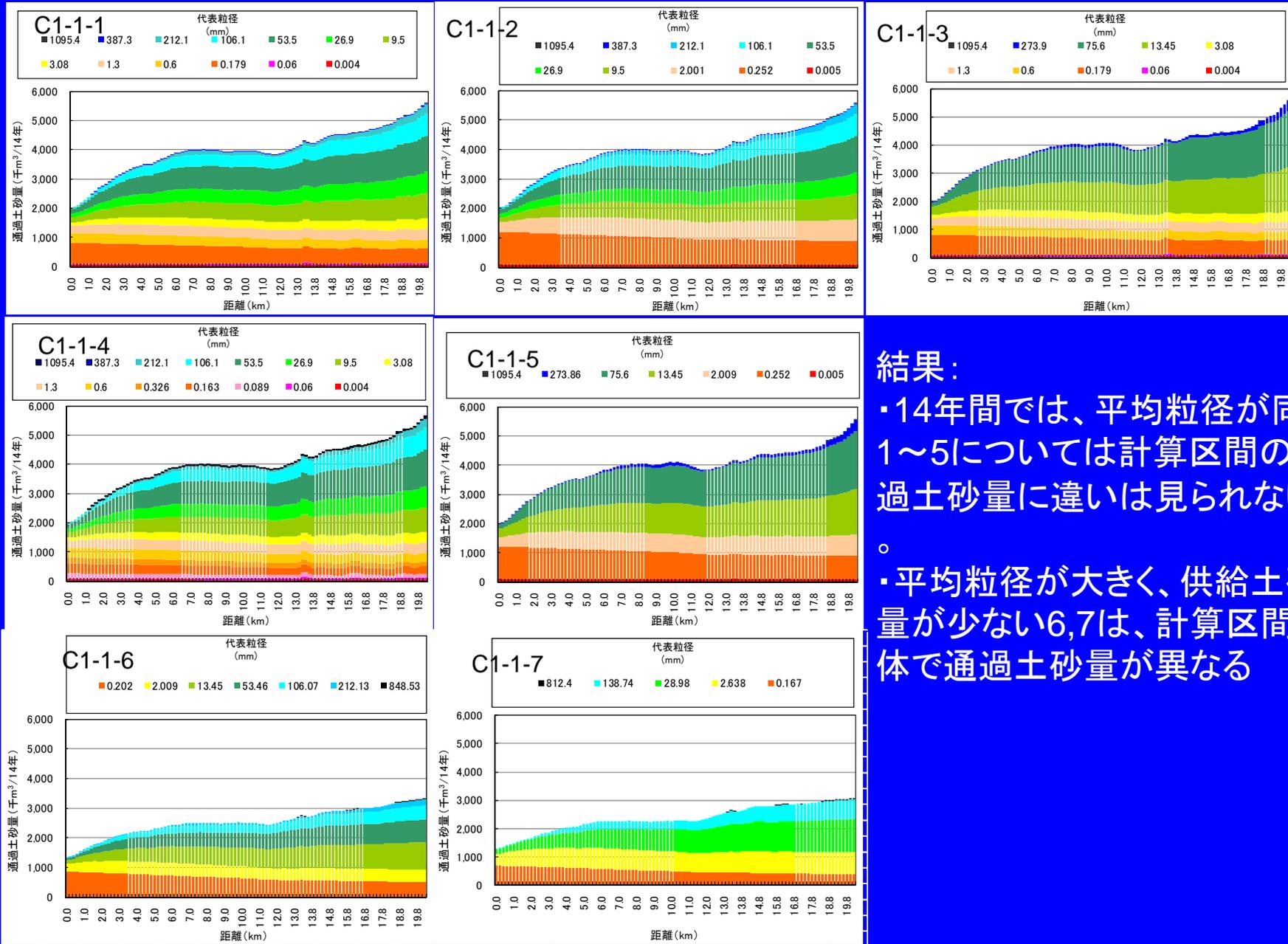


結果:

- ・平均粒径が同じ1~5では、粒径の切り方が少ない方(2,5)が、浮遊する粒径の存在比率が高くなるため0kmでの流出土砂量が多い。
- ・平均粒径が大きく、供給土砂量が少ない6においても、浮遊する粒径の存在比率が高くなるため0kmでの流出土砂量が多い。

(1) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化

浮遊砂：平衡、流量：14年間、通過土砂量：掃流砂＋浮遊砂



結果：

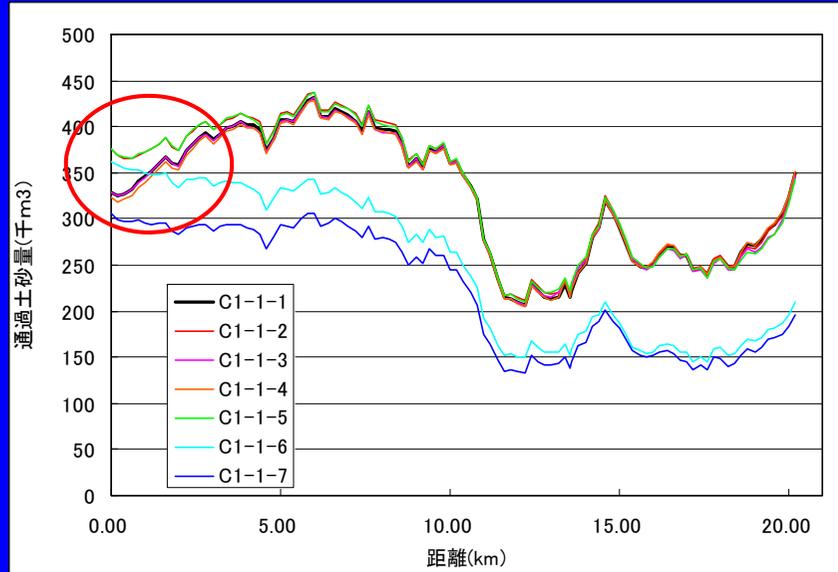
- ・14年間では、平均粒径が同じ1～5については計算区間の通過土砂量に違いは見られない

- 平均粒径が大きく、供給土砂量が少ない6,7は、計算区間全体で通過土砂量が異なる

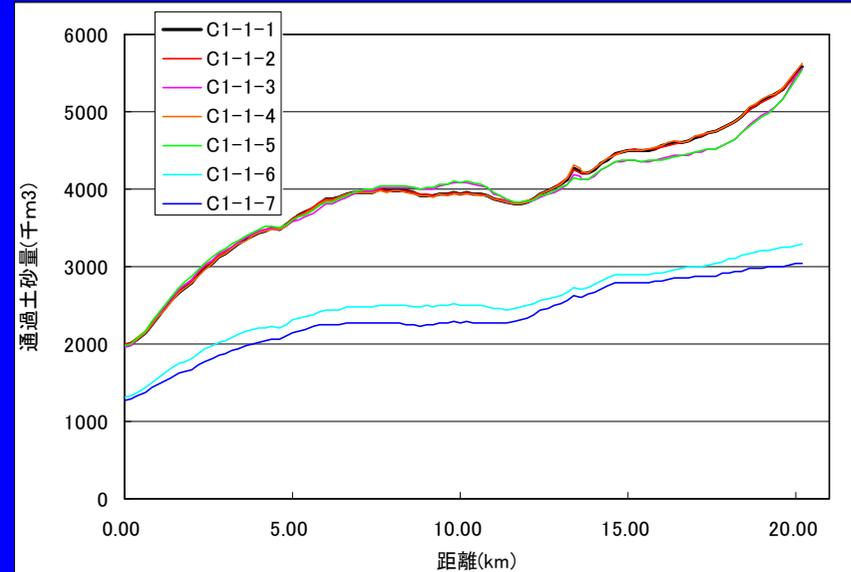
(1) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化

浮遊砂: 平衡、通過土砂量の比較

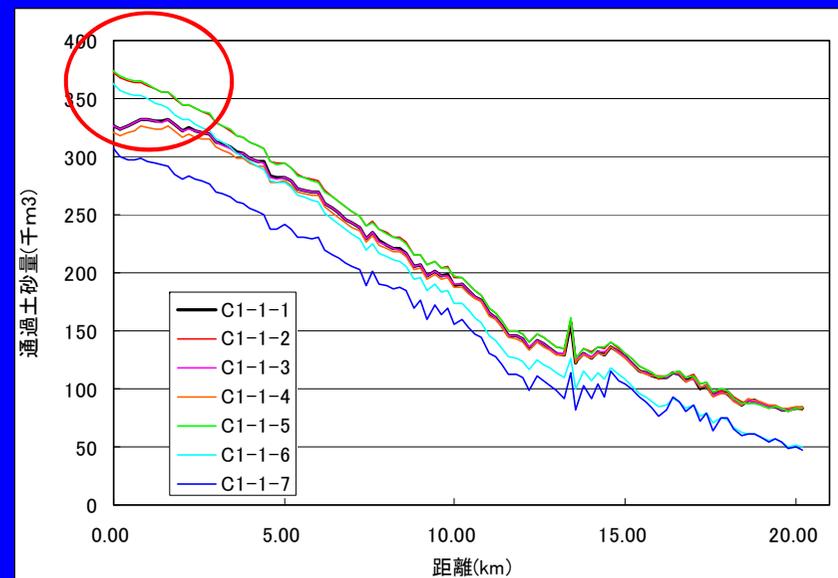
全流砂、1年間



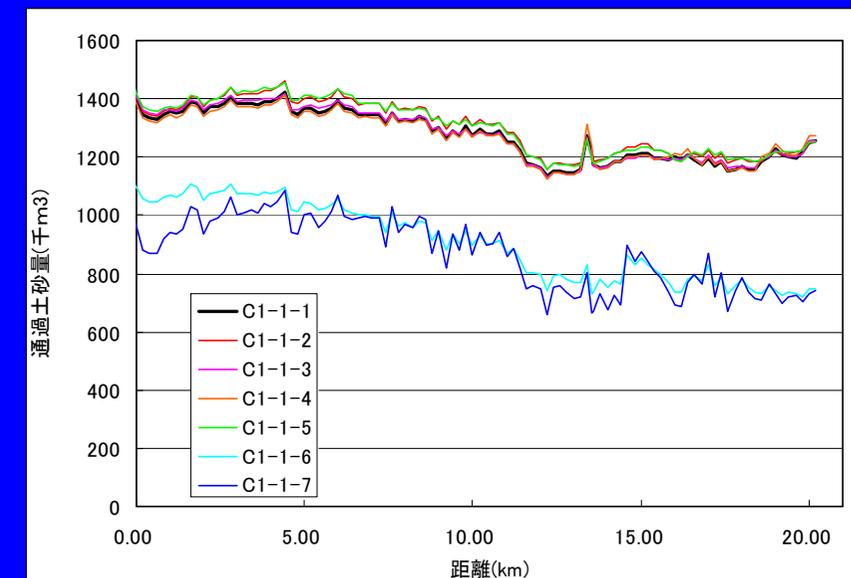
全流砂、14年間



浮遊砂、1年間

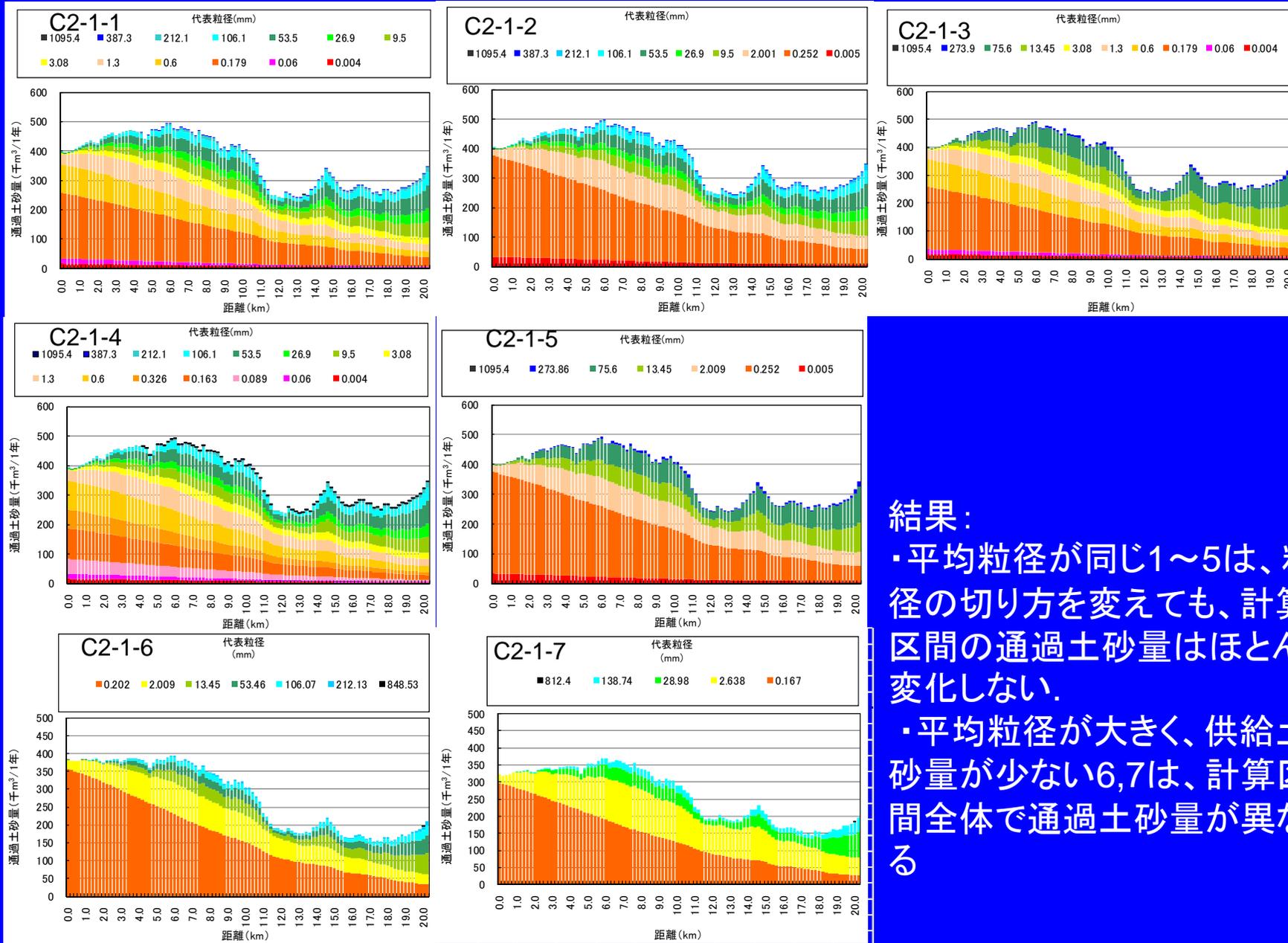


浮遊砂、14年間



(1) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化

浮遊砂：非平衡、流量：1年間、通過土砂量：掃流砂＋浮遊砂

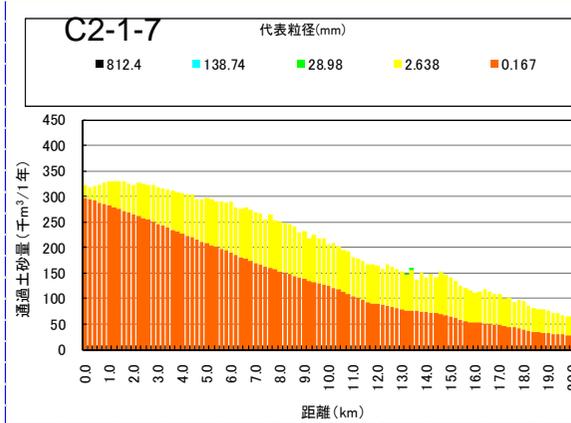
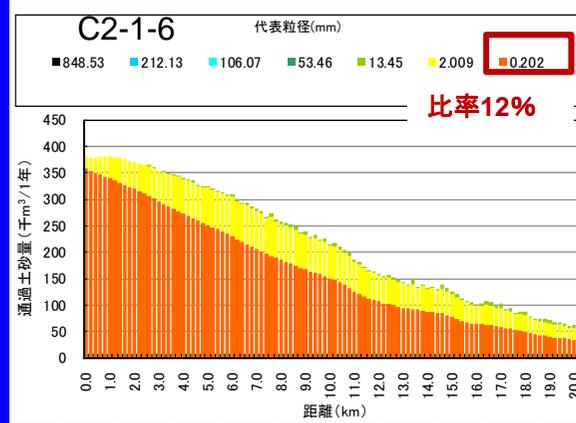
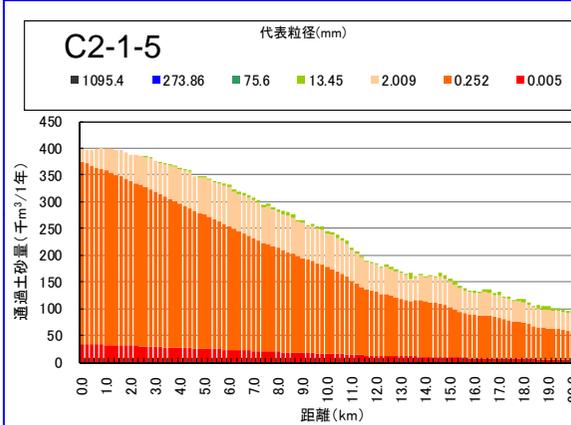
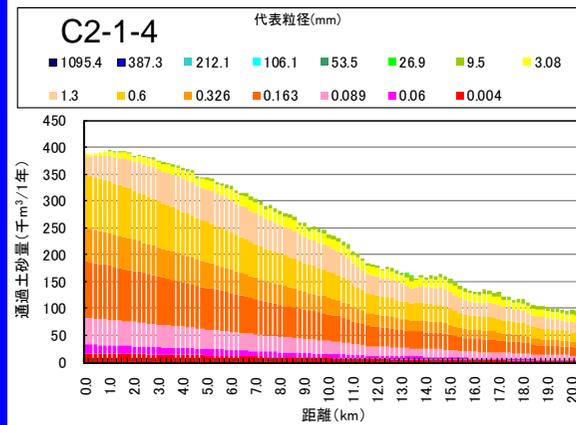
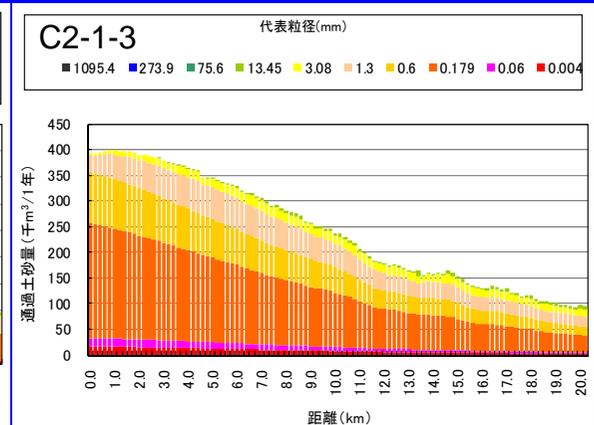
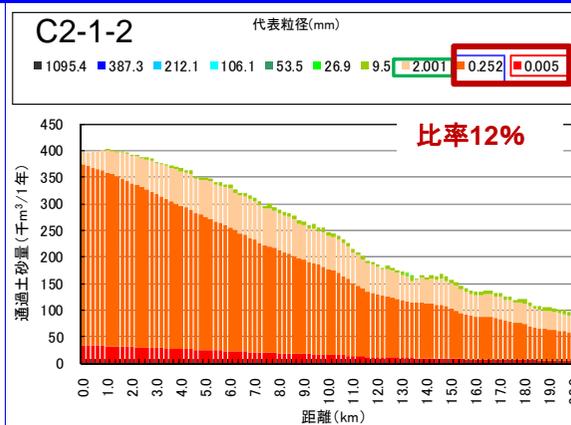
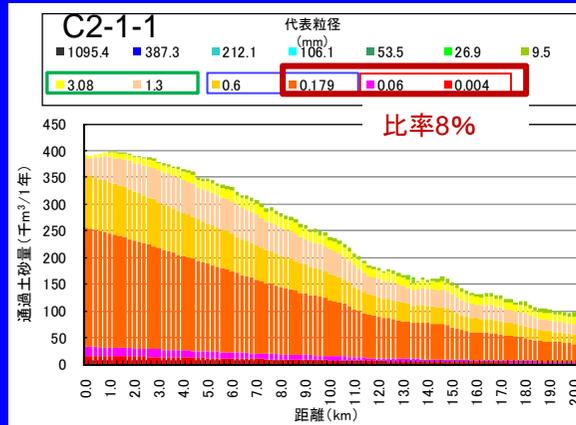


結果：

- ・平均粒径が同じ1～5は、粒径の切り方を変えても、計算区間の通過土砂量はほとんど変化しない。
- ・平均粒径が大きく、供給土砂量が少ない6,7は、計算区間全体で通過土砂量が異なる

(1) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化

浮遊砂:非平衡、流量:1年間、通過土砂量:浮遊砂

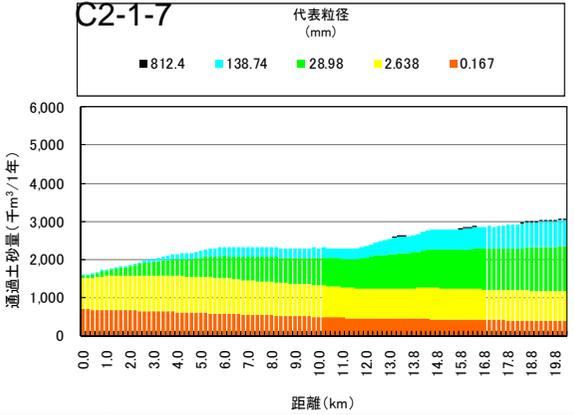
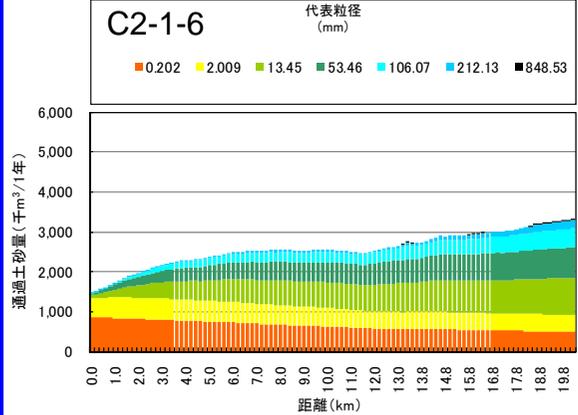
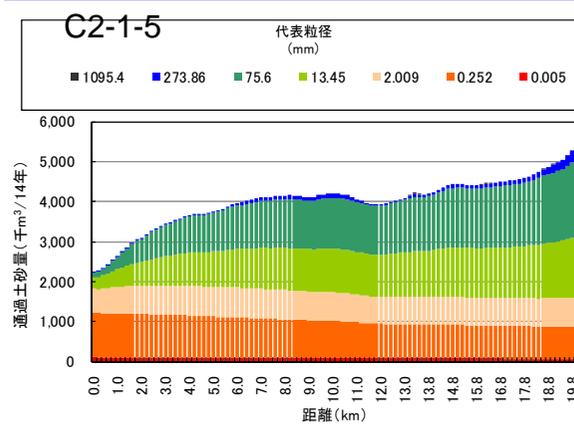
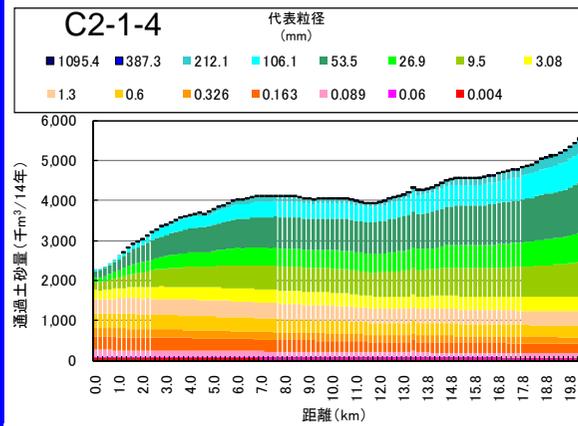
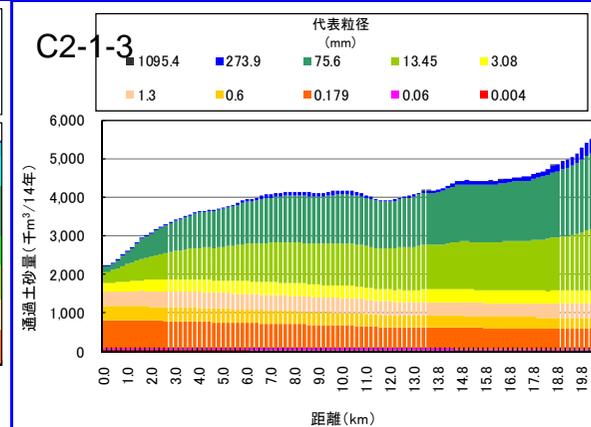
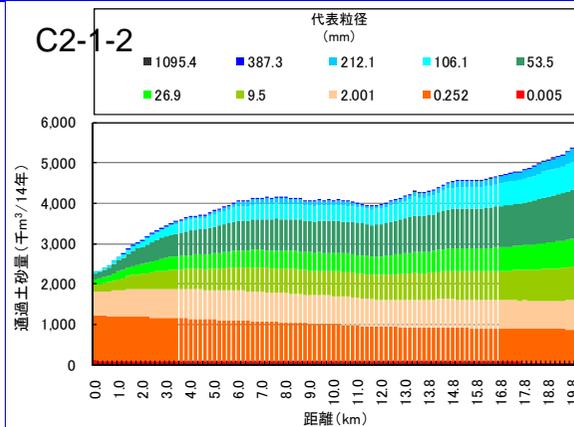
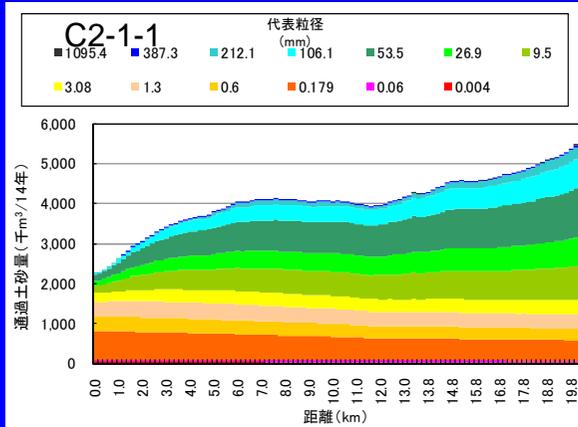


結果:

- ・平均粒径が同じ1~5では、粒径の切り方に関わらず、通過土砂量はほぼ同じ。
- ・平均粒径が大きく、供給土砂量が少ない6においても、浮遊する粒径の存在比率が高くなるため0kmでの流出土砂量が多い。

(1) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化

浮遊砂：非平衡、流量：14年間、通過土砂量：掃流砂＋浮遊砂



結果：

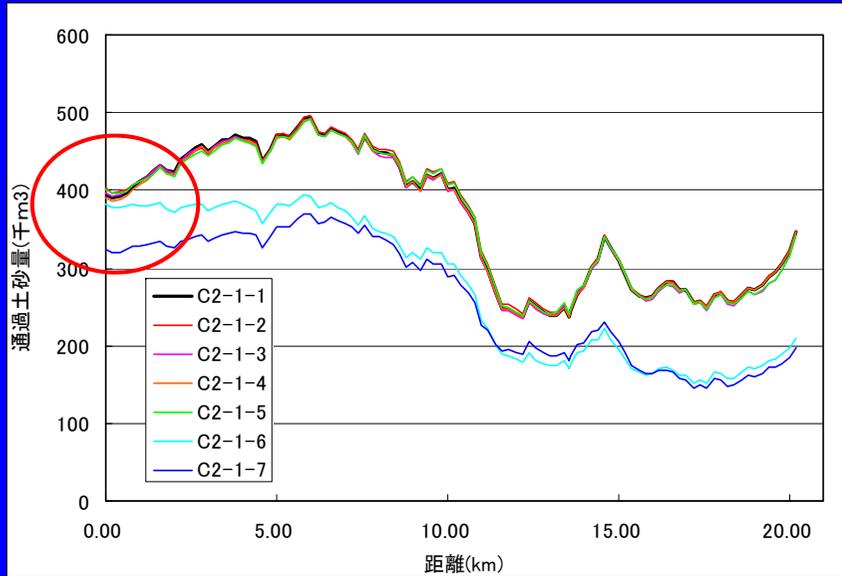
- ・14年間では、平均粒径が同じ1～5については計算区間の通過土砂量に違いは見られない

- 平均粒径が大きく、供給土砂量が少ない6,7は、計算区間全体で通過土砂量が異なる

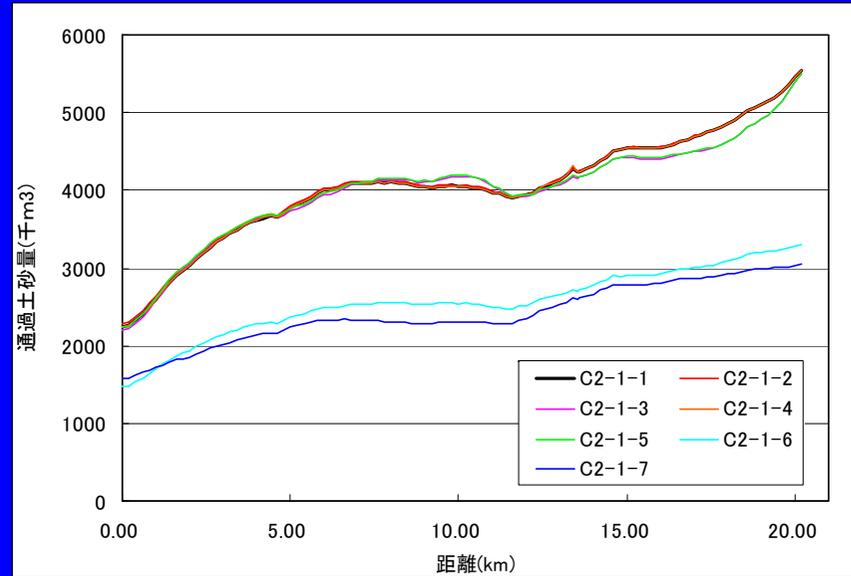
(1) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化

浮遊砂: 非平衡、通過土砂量の比較

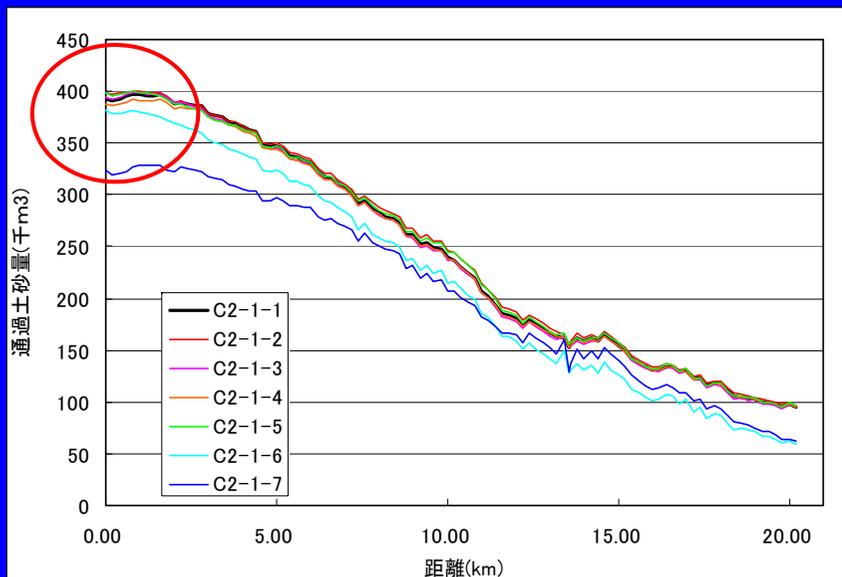
全流砂、1年間



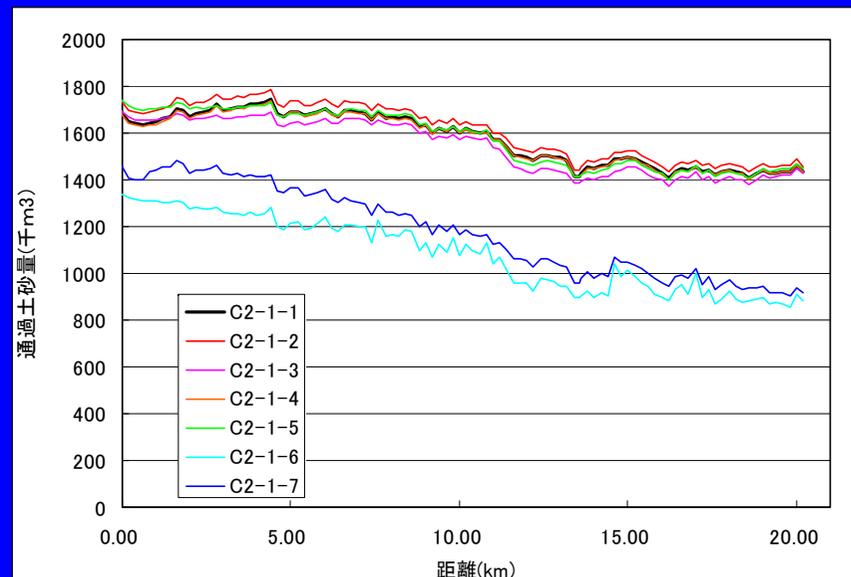
全流砂、14年間



浮遊砂、1年間

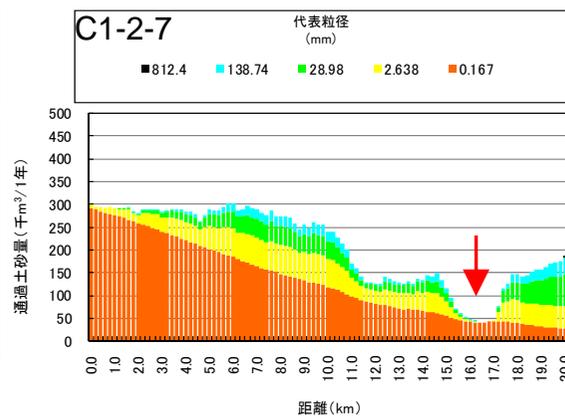
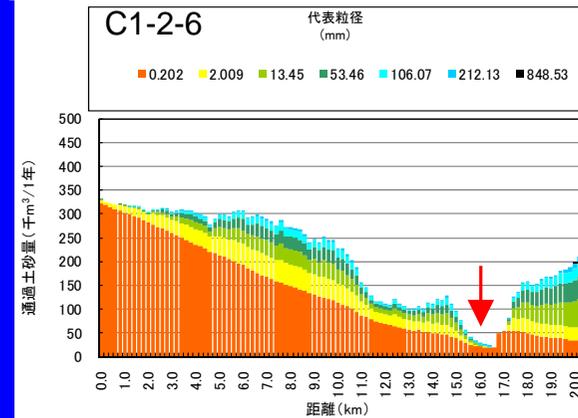
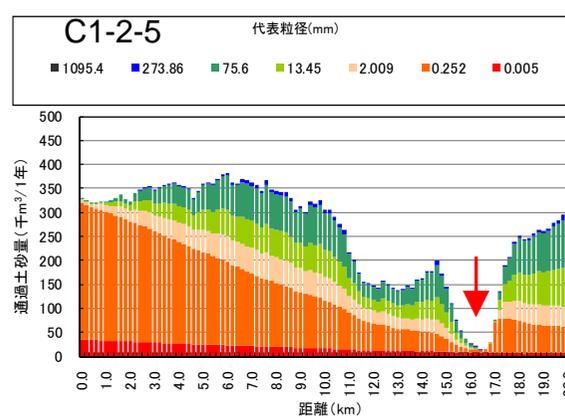
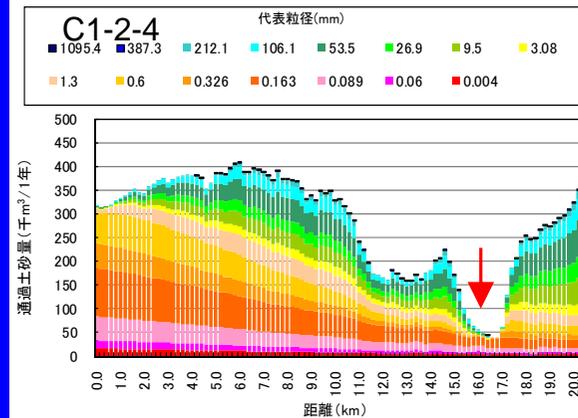
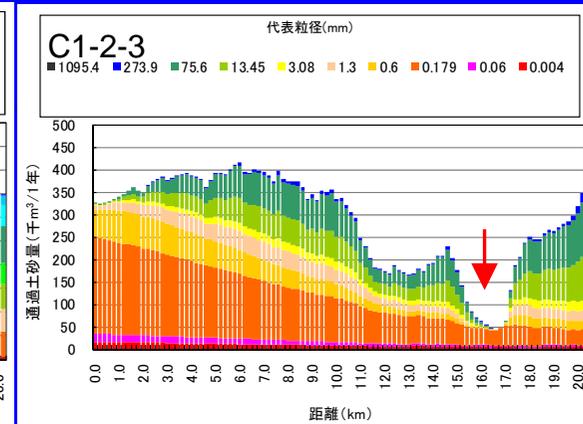
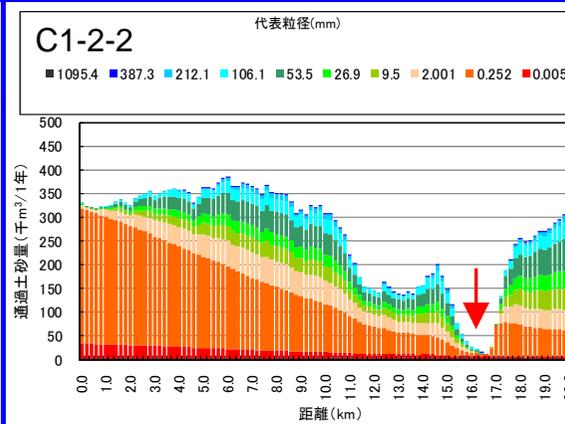
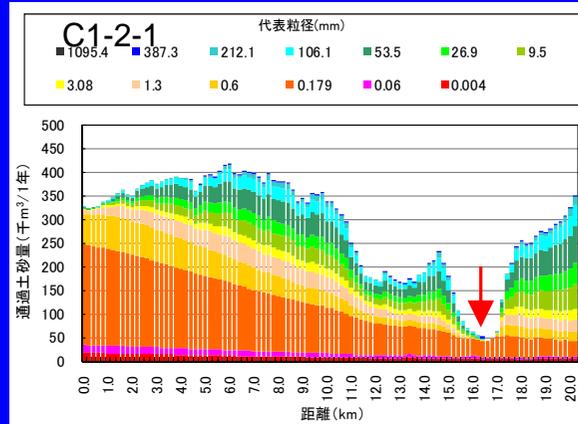


浮遊砂、14年間



(2) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化(未満砂)

浮遊砂: 平衡、流量: 1年間、通過土砂量: 掃流砂 + 浮遊砂



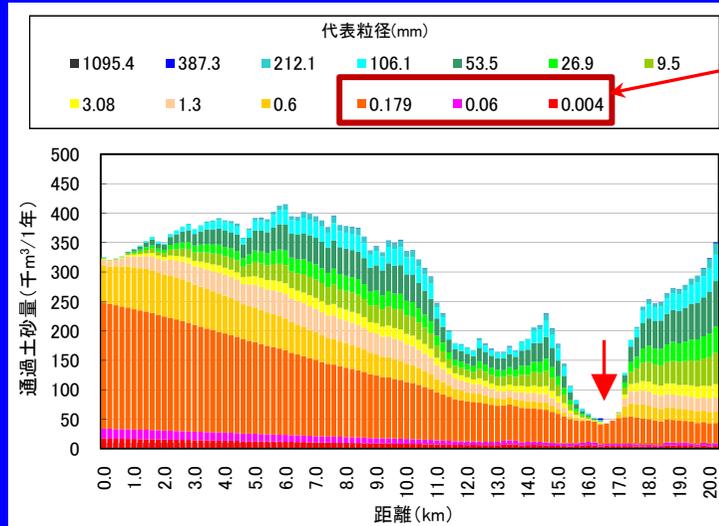
結果:

- ・細粒土砂の粒径分割が多いと、未満砂の堰堤からの流出土砂量が増加

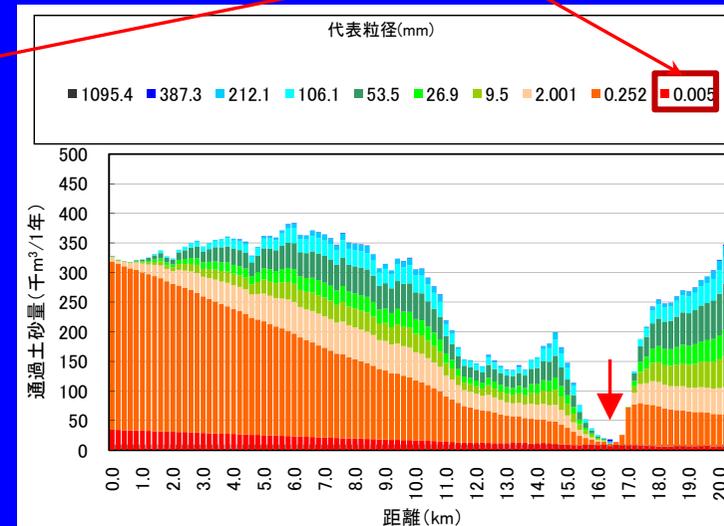
(2) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化(未満砂)

浮遊砂: 平衡、流量: 1年間、通過土砂量: 掃流砂 + 浮遊砂

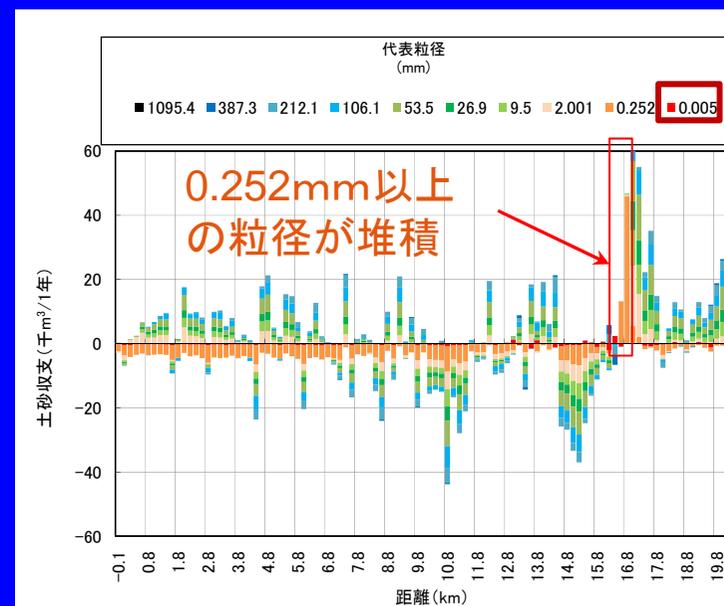
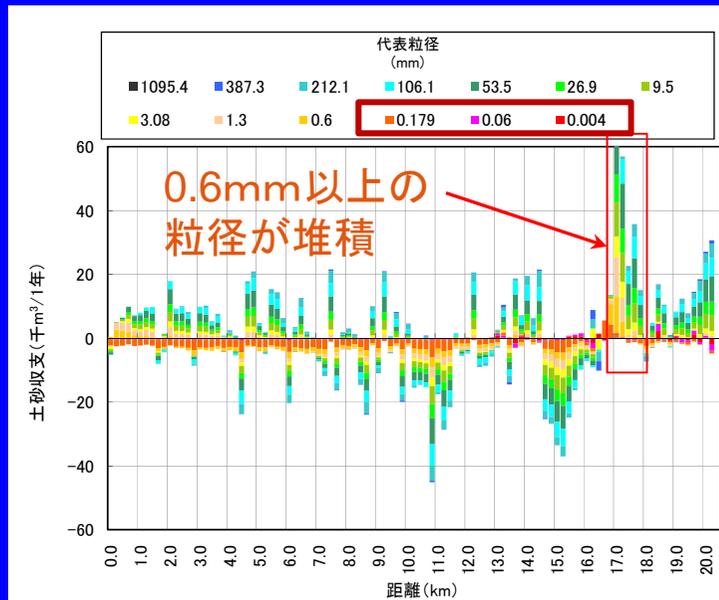
C1-2-1



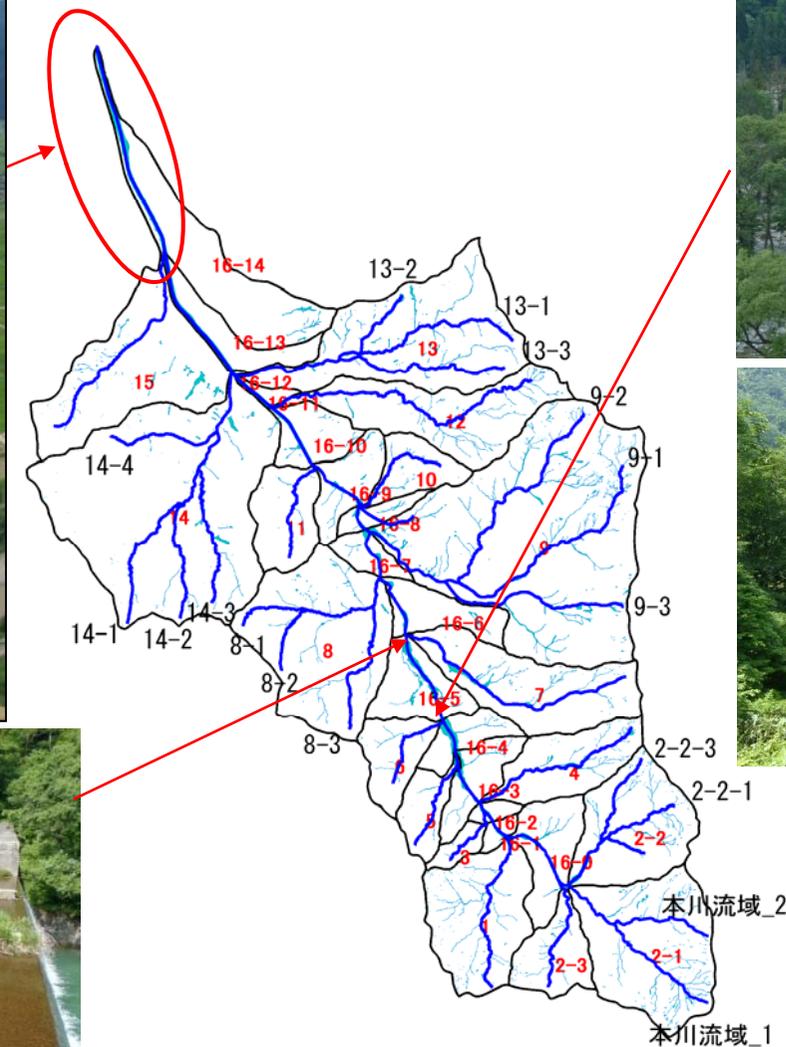
C1-2-2



通過する粒径



平成23年新潟福島豪雨前後の河道状況



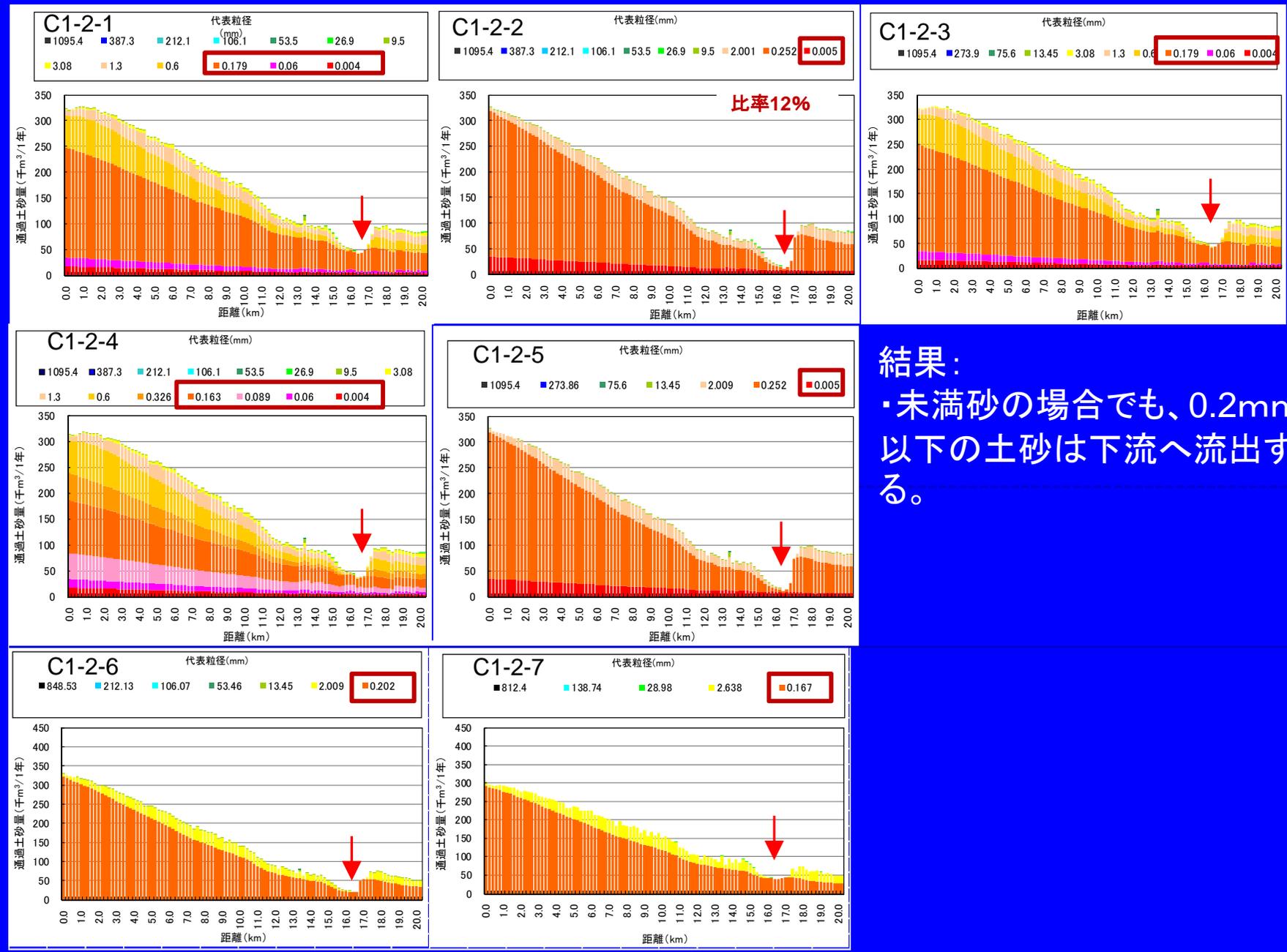
登川上流砂防堰堤



威守松砂防堰堤

・未満砂の場合でも、
大規模出水時には土砂は下流へ流出する

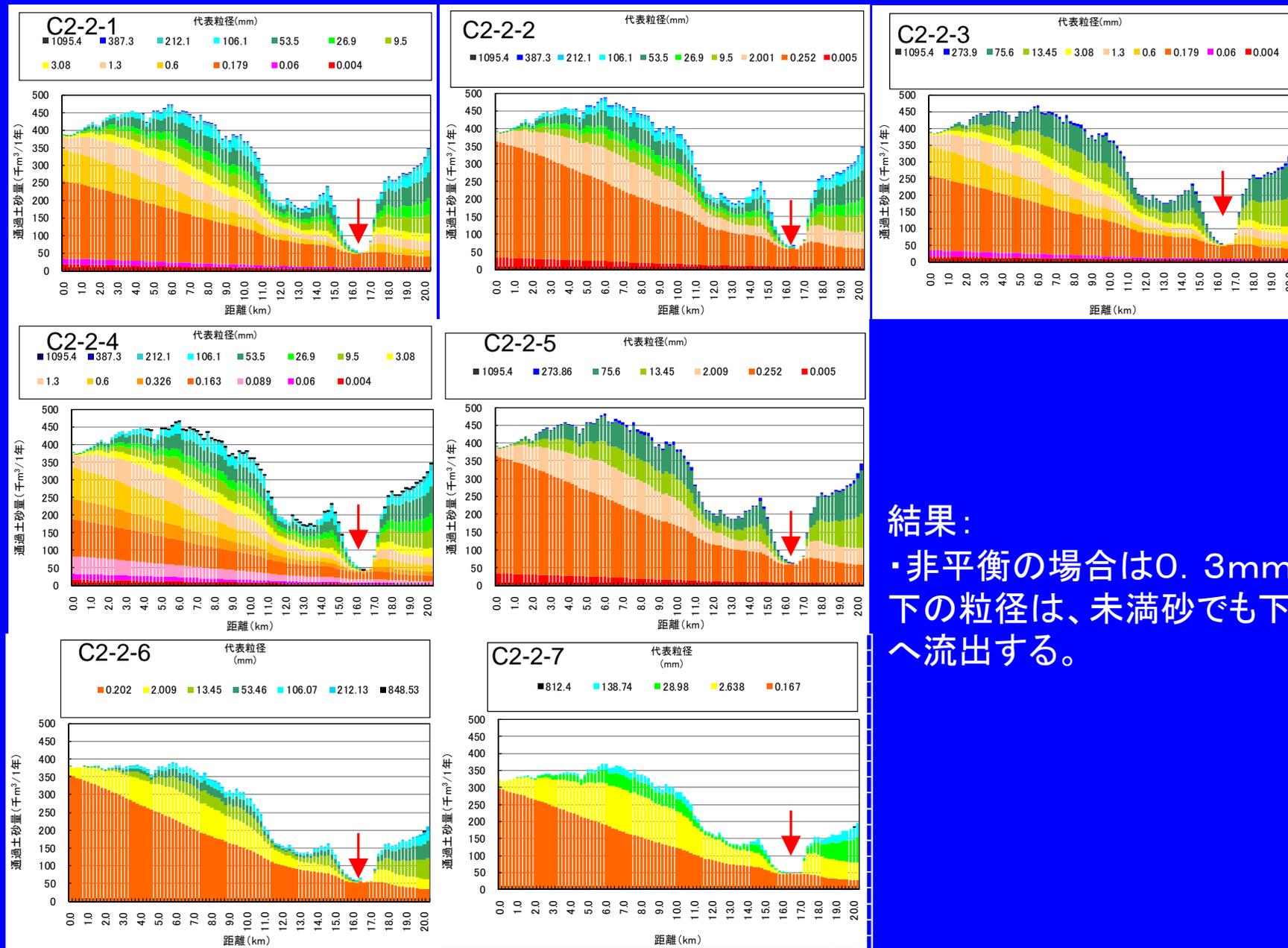
(2) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化(未満砂) 浮遊砂: 平衡、流量: 1年間、通過土砂量: 浮遊砂



結果:
 ・未満砂の場合でも、0.2mm以下の土砂は下流へ流出する。

(2) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化(未満砂)

浮遊砂: 非平衡、流量: 1年間、通過土砂量: 掃流砂 + 浮遊砂

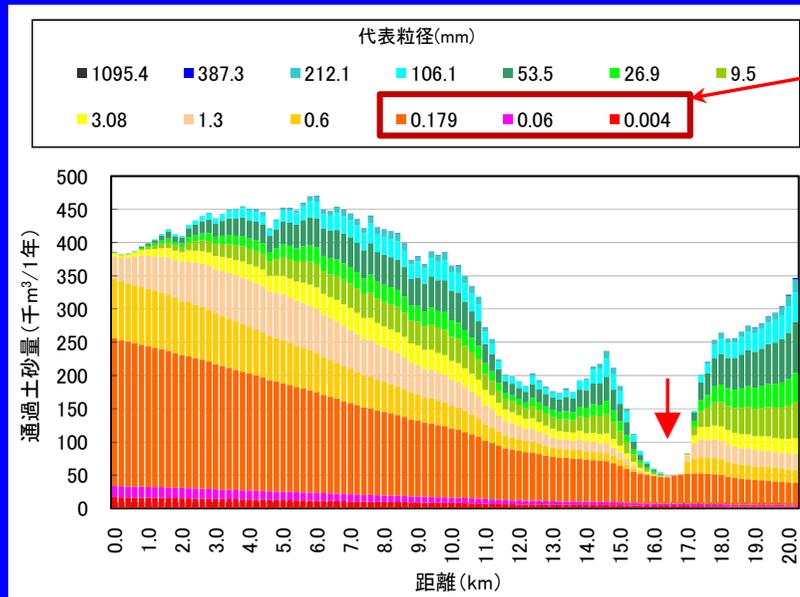


結果:
 ・非平衡の場合は0.3mm以下の粒径は、未満砂でも下流へ流出する。

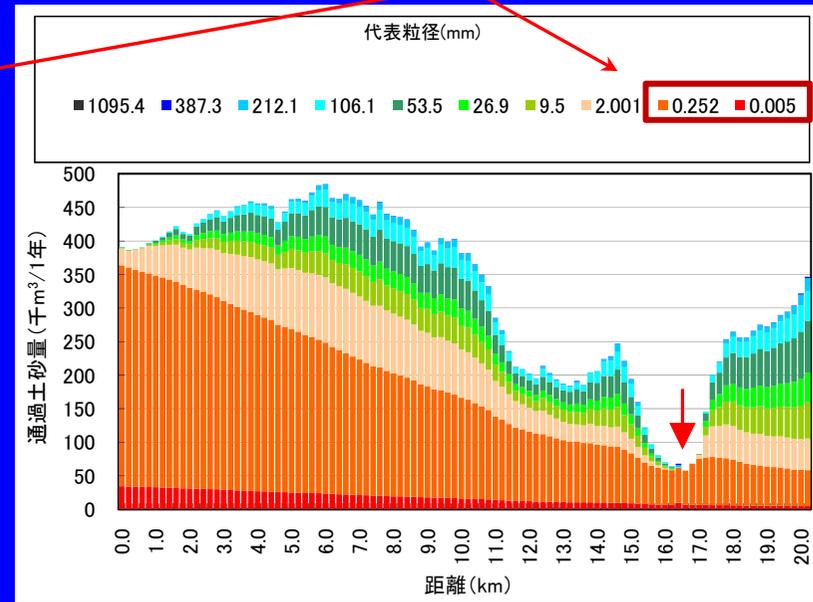
(2) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化(未満砂)

浮遊砂: 非平衡、流量: 1年間、通過土砂量: 掃流砂 + 浮遊砂

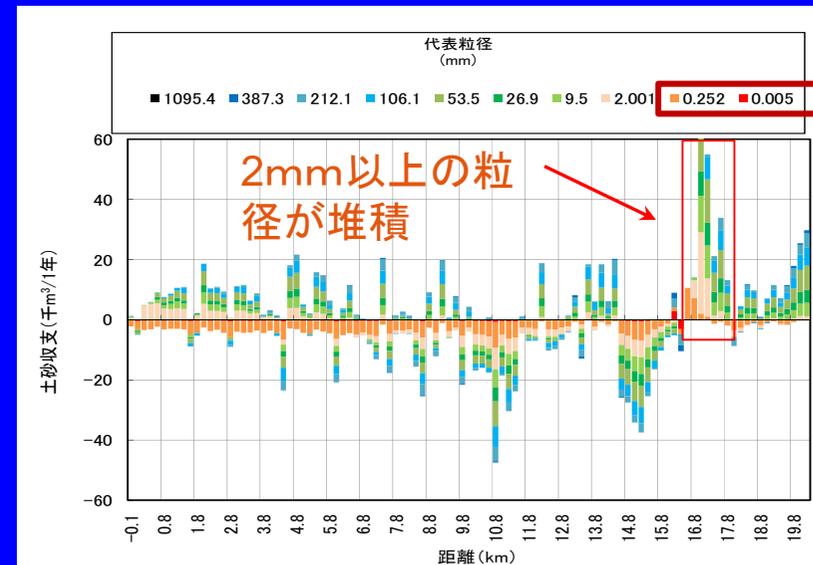
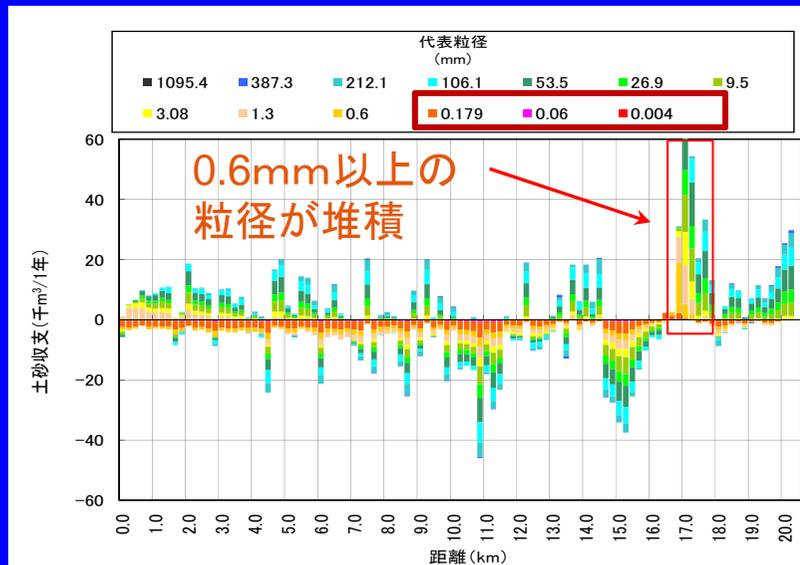
C2-2-1



C2-2-2

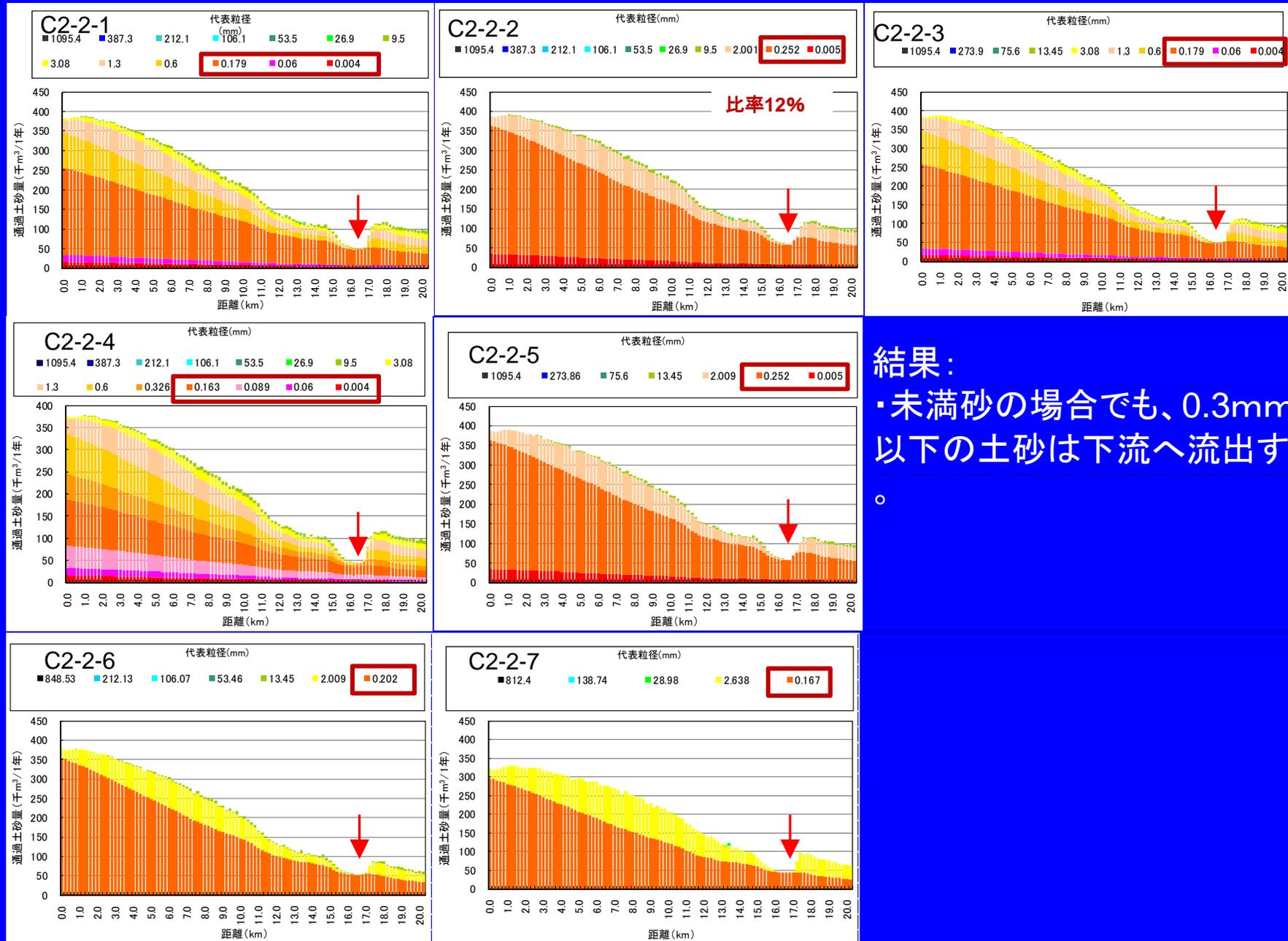


通過する粒径



(2) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化(未満砂)

浮遊砂:非平衡、流量:1年間、通過土砂量:浮遊砂



結果:

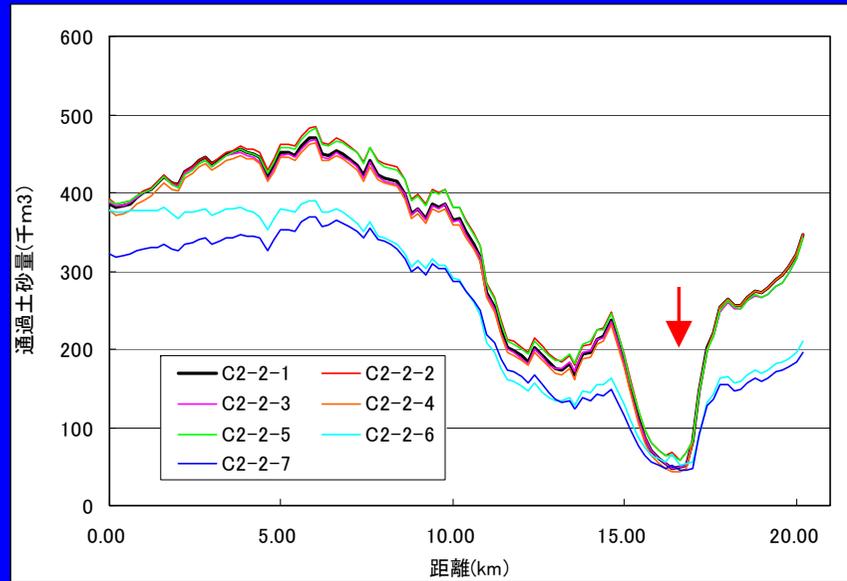
・未満砂の場合でも、0.3mm以下の土砂は下流へ流出する

○

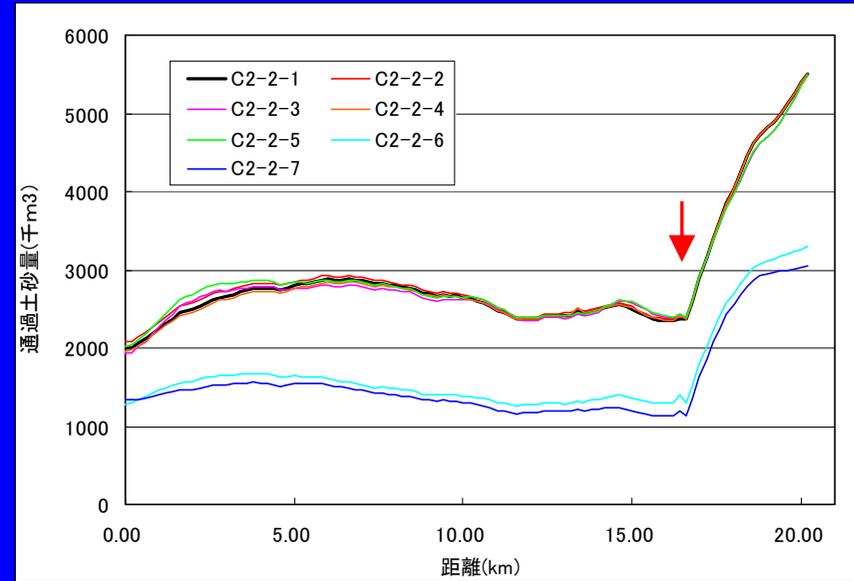
(2) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化(未満砂)

浮遊砂: 非平衡、通過土砂量の比較

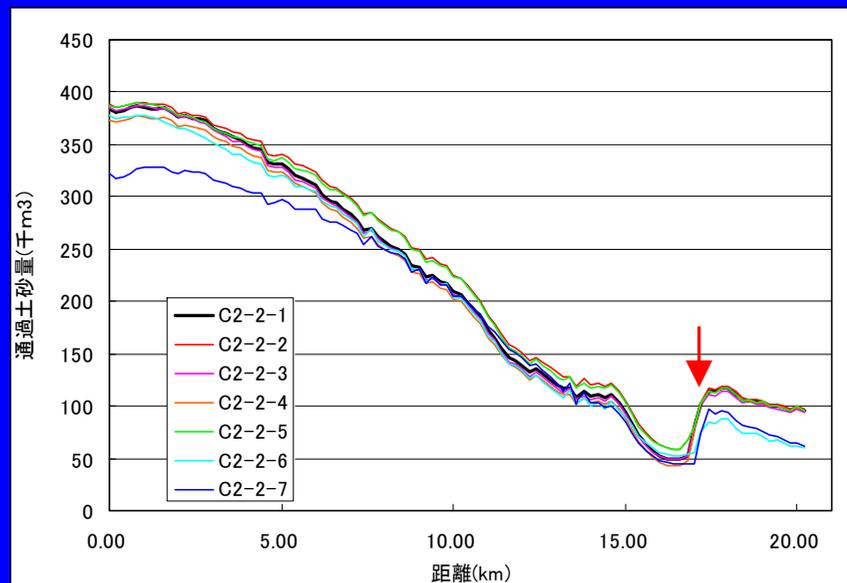
全流砂、1年間



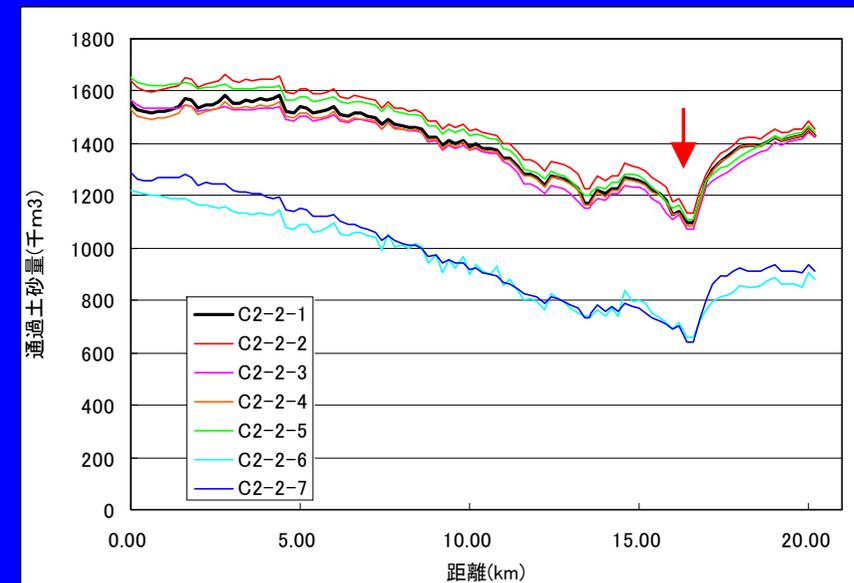
全流砂、14年間



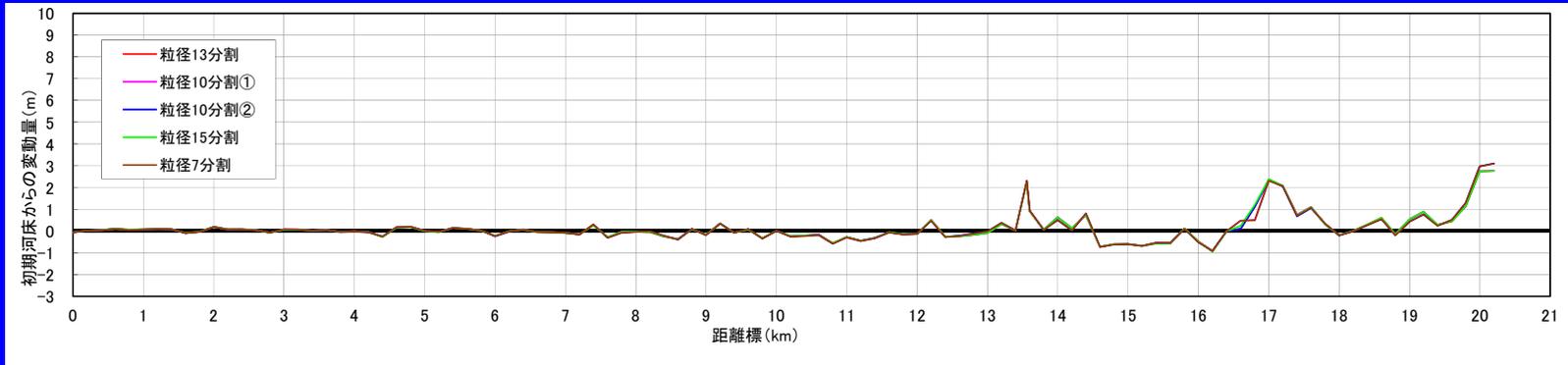
浮遊砂、1年間



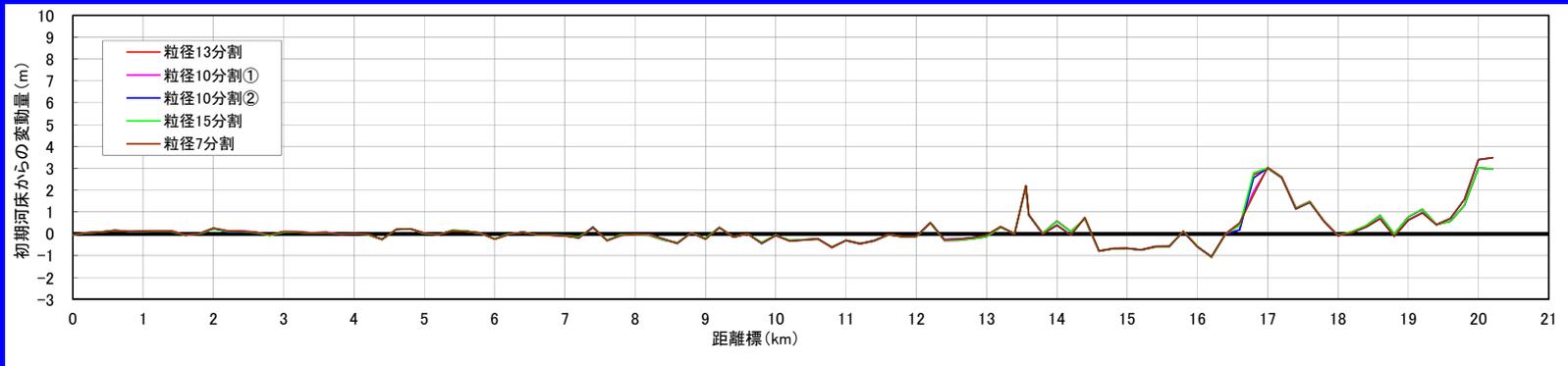
浮遊砂、14年間



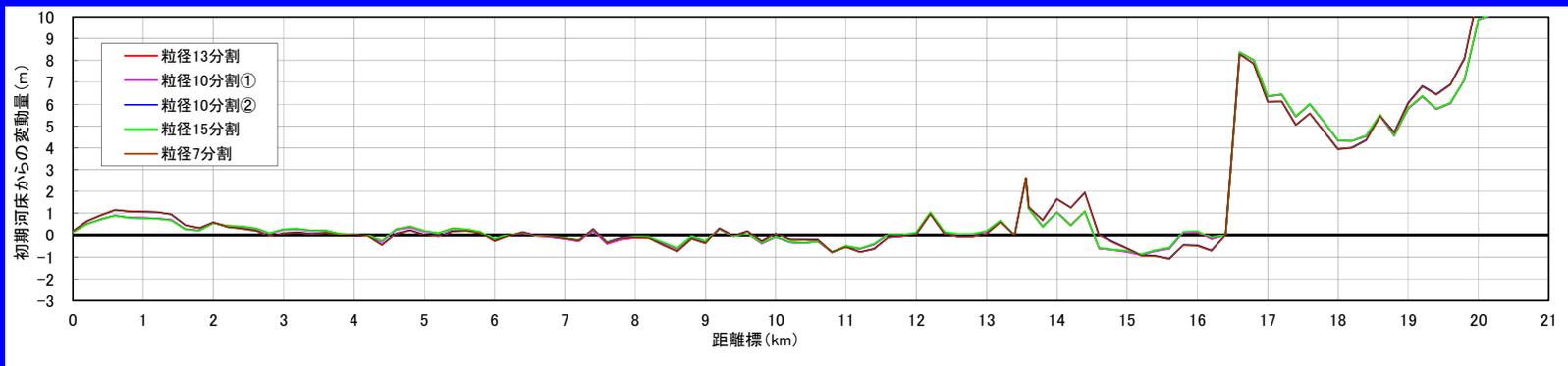
浮遊砂:非平衡、流量:1年間、通過土砂量:浮遊砂
浮遊砂:非平衡、流量:1年間



浮遊砂:非平衡、流量:2年間

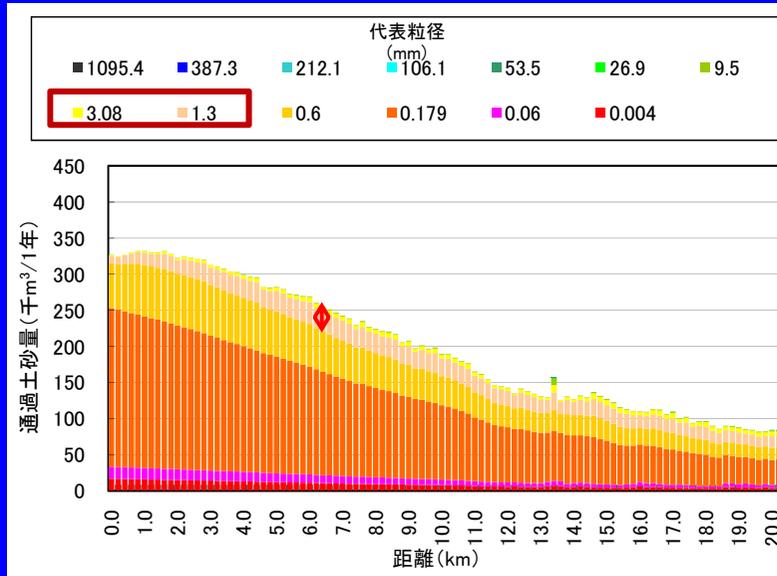


浮遊砂:非平衡、流量:14年間



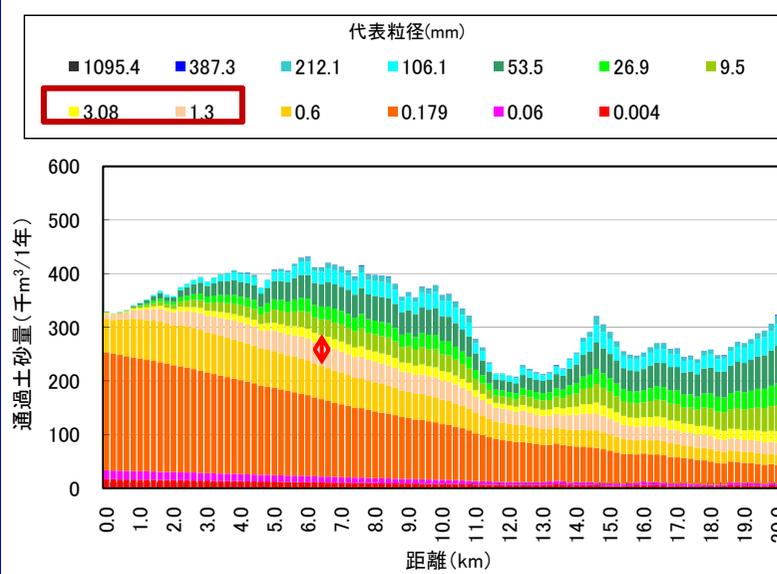
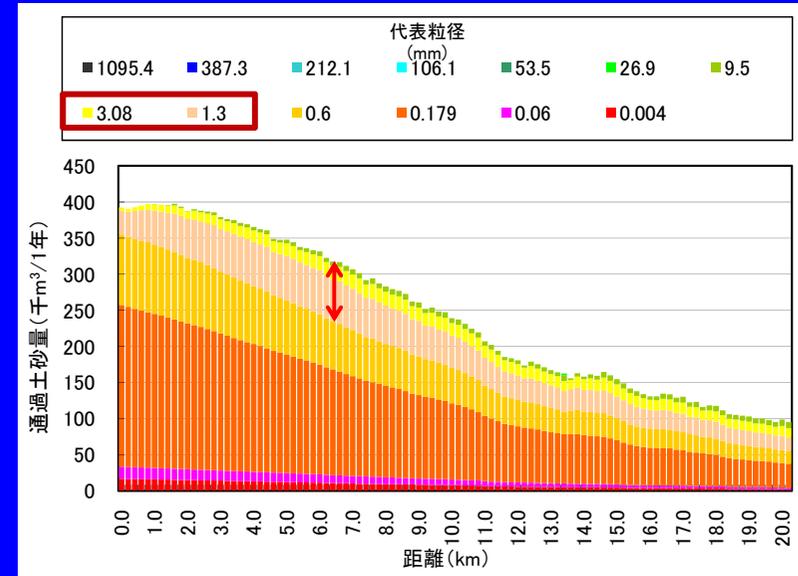
(3) 平衡・非平衡の違いによる通過土砂量の変化

C1-1-1 平衡

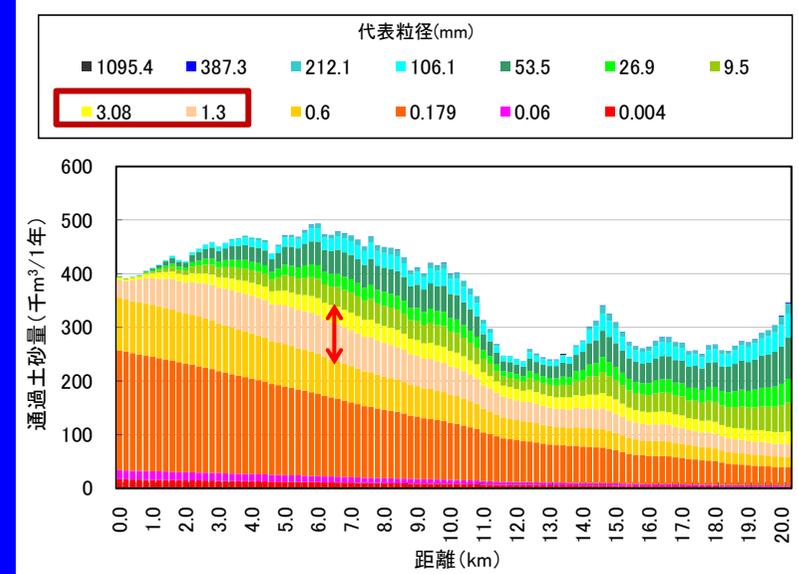


浮遊砂

C2-1-1 非平衡



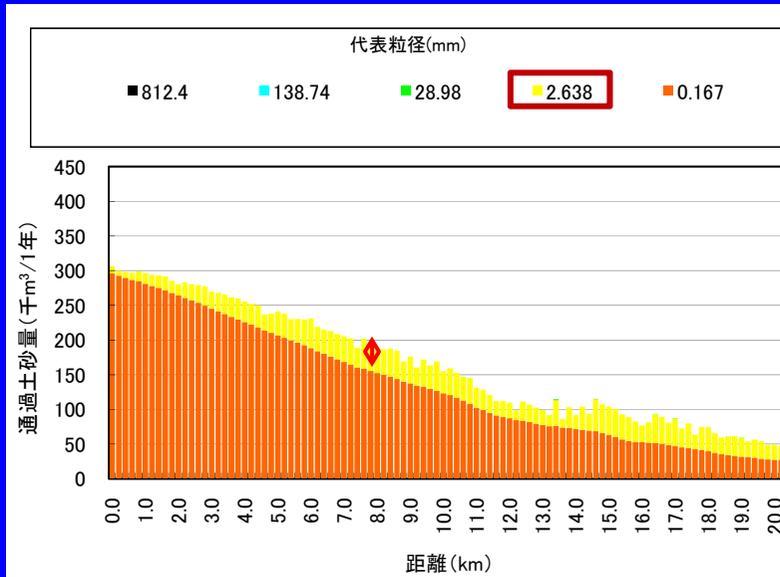
全流砂



結果: 1.5~2割程度、非平衡の方が流砂量が多くなる
1.3~9.5mmの通過土砂量が多くなる

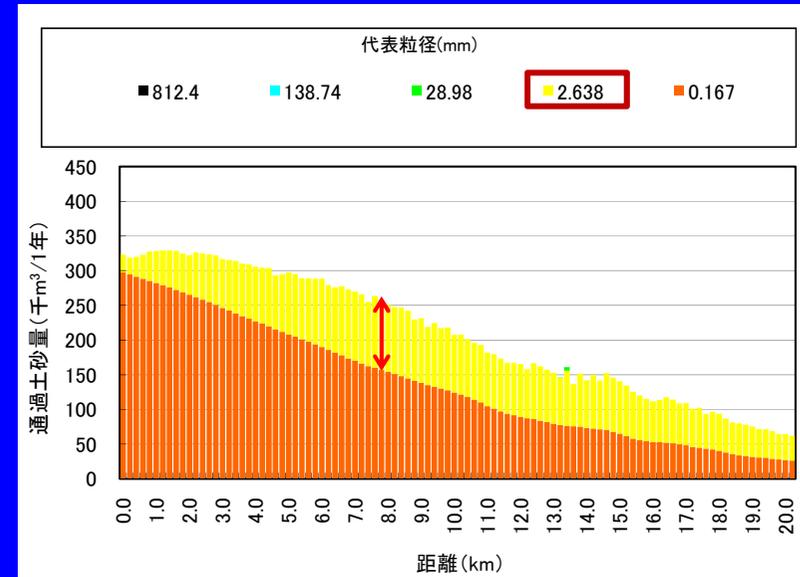
(3) 平衡・非平衡の違いによる通過土砂量の変化

C1-1-7 平衡

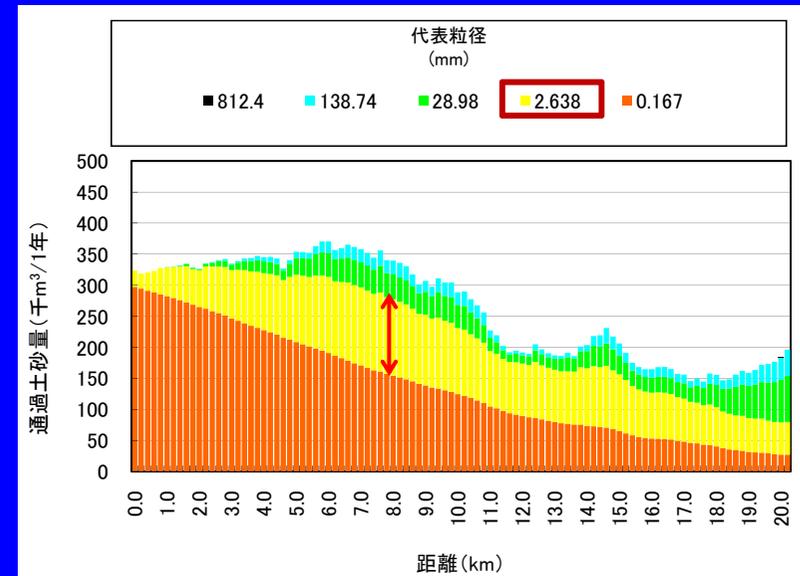
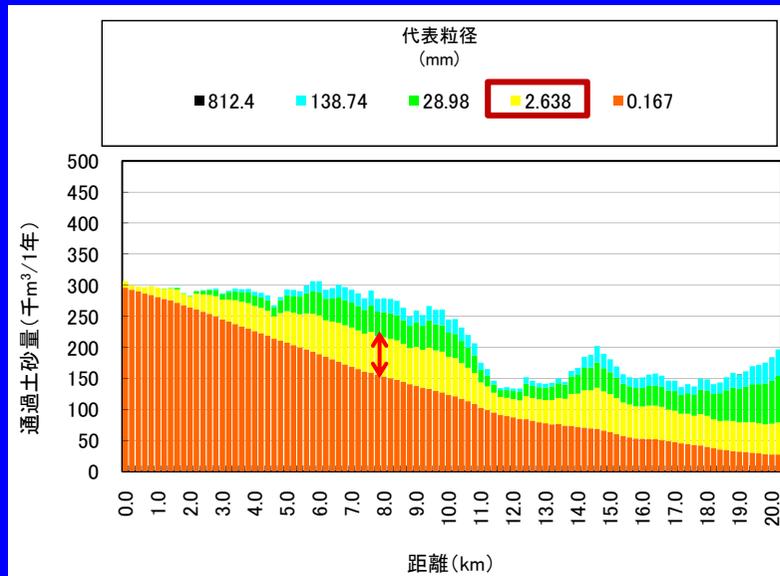


浮遊砂

C2-1-7 非平衡



全流砂

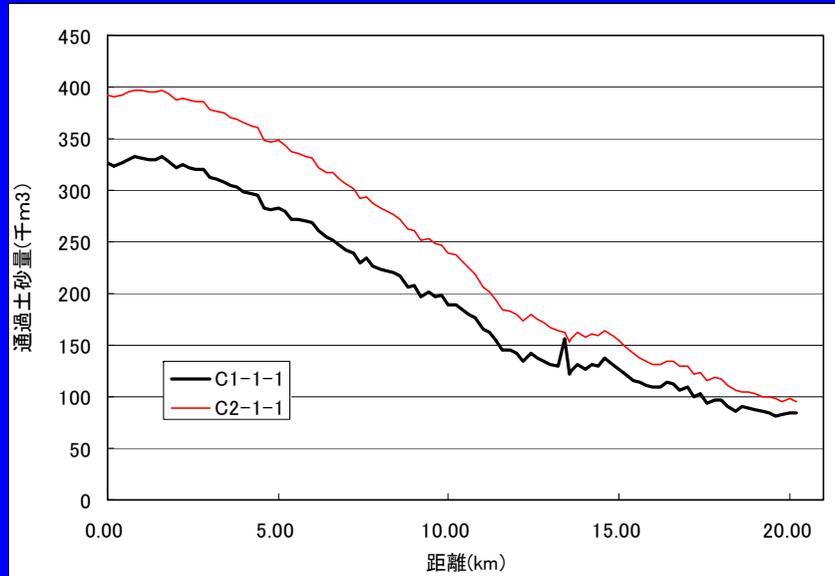


結果: 1.5~2割程度、非平衡の方が流砂量が多くなる
2.6mmの通過土砂量が多くなる

(3) 平衡・非平衡の違いによる通過土砂量の比較(粒径13区分)

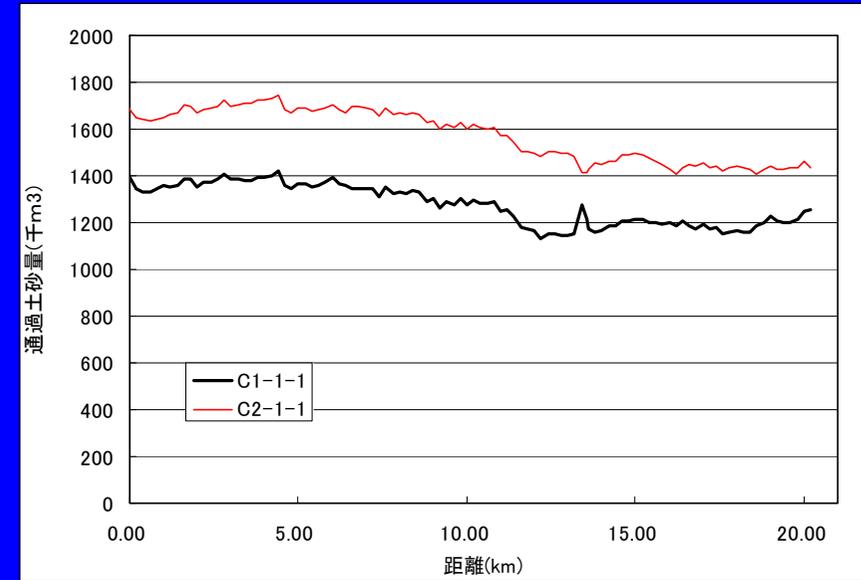
1年間

浮遊砂

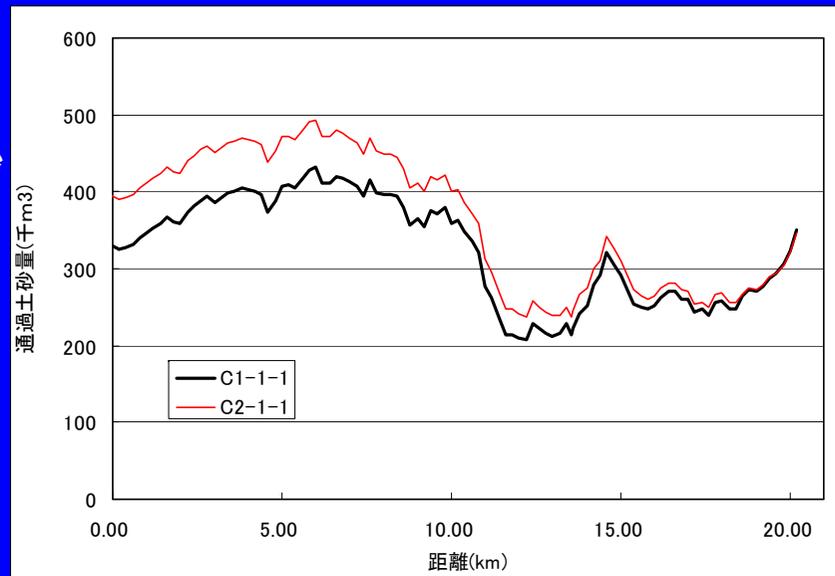


14年間

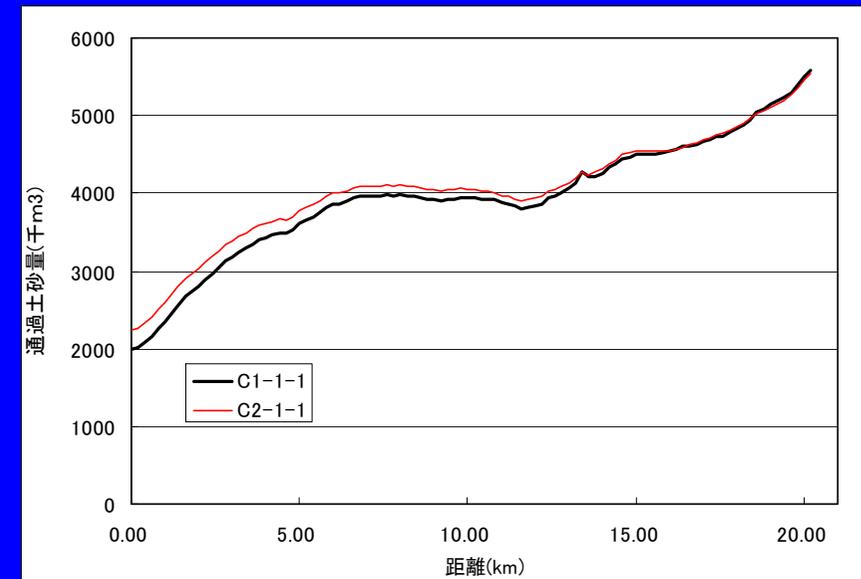
通過土砂量(千m3)



全流砂

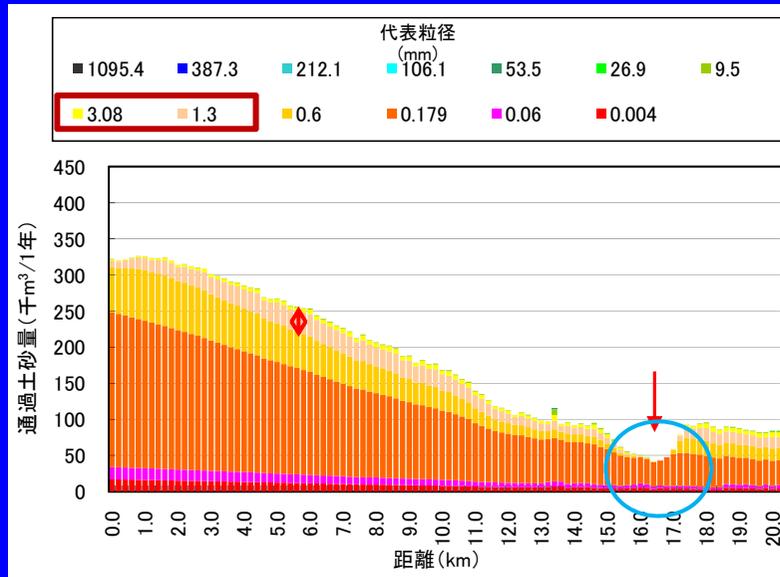


通過土砂量(千m3)



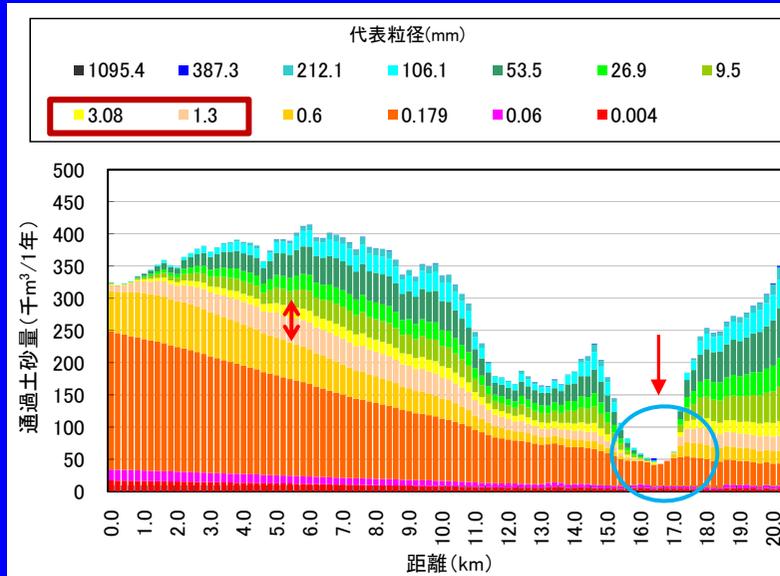
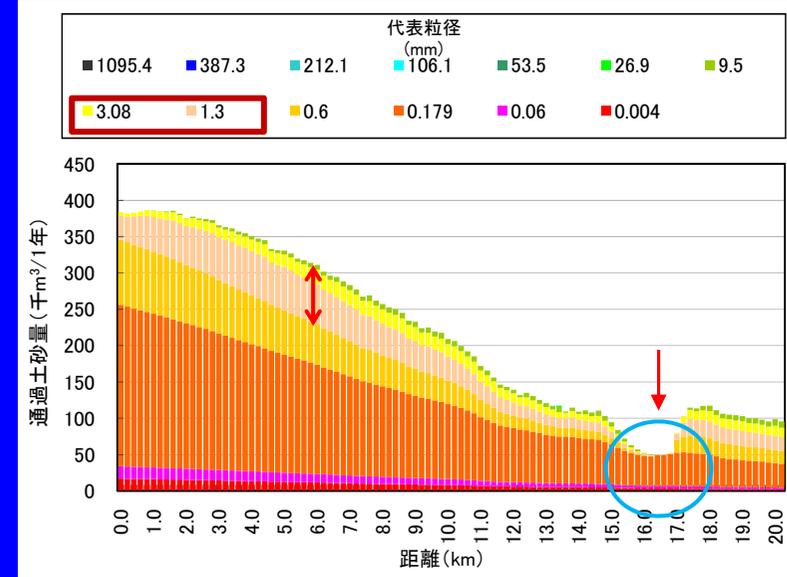
(3) 平衡・非平衡の違いによる通過土砂量の変化(未満砂)

C1-2-1 平衡

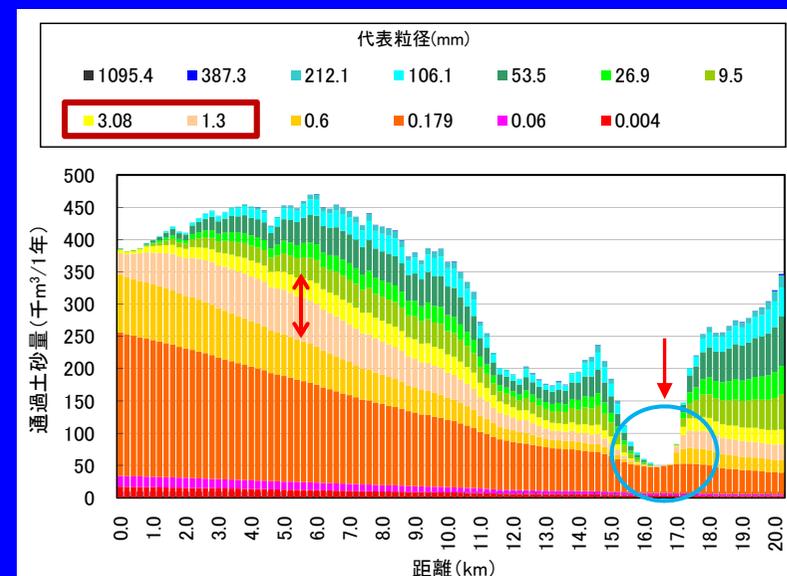


浮遊砂

C2-2-1 非平衡



全流砂



結果: 1.5~2割程度、非平衡の方が流砂量が多くなる

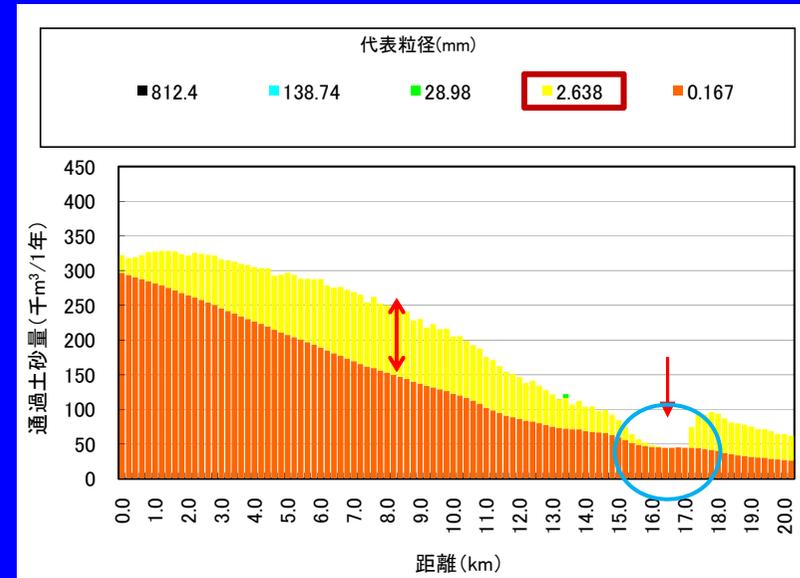
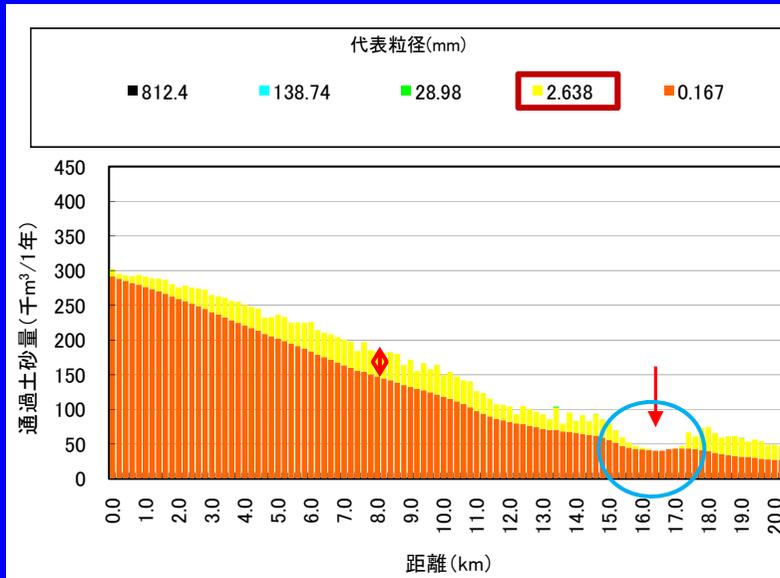
1.3~9.5mmの通過土砂量が多くなる、堰堤からの通過土砂量は変わらない

(3) 平衡・非平衡の違いによる通過土砂量の変化(未満砂)

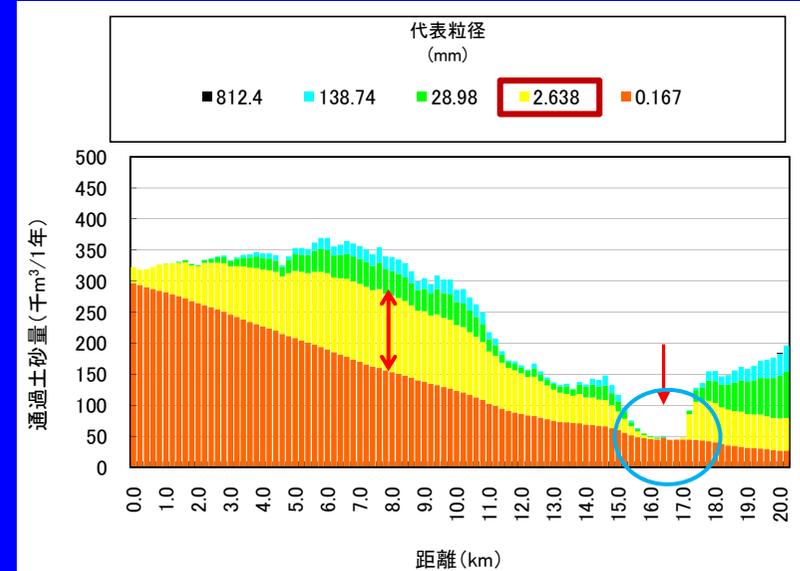
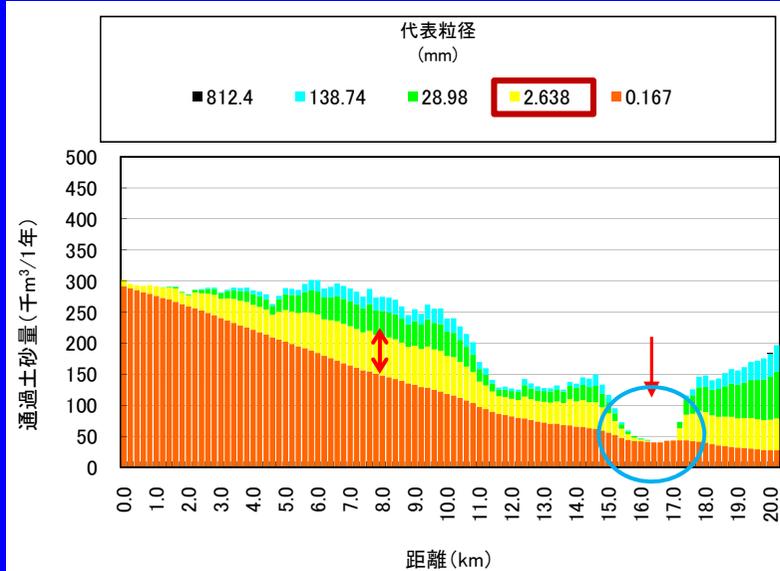
C1-2-7 平衡

C2-2-7 非平衡

浮遊砂



全流砂

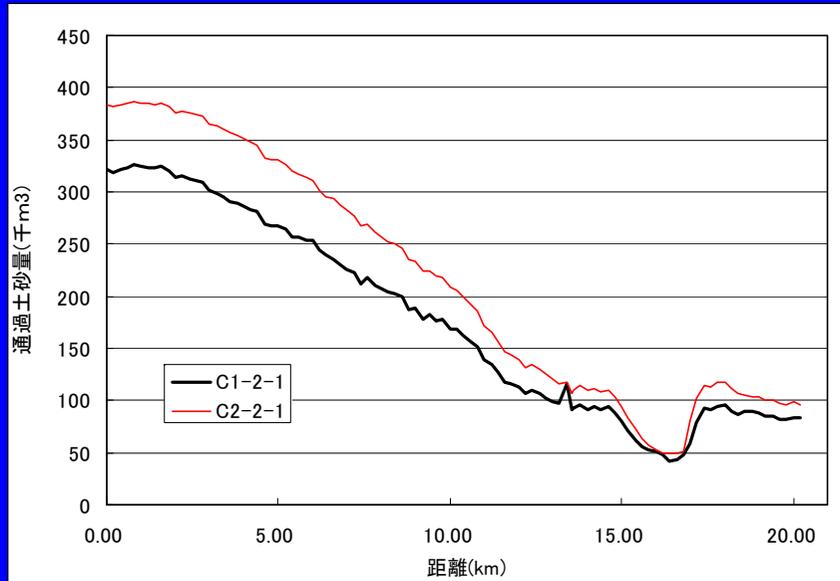


結果: 1.5~2割程度、非平衡の方が流砂量が多くなる
2.6mmの通過土砂量が多くなる

(3) 平衡・非平衡の違いによる通過土砂量の比較(未満砂:粒径13区分)

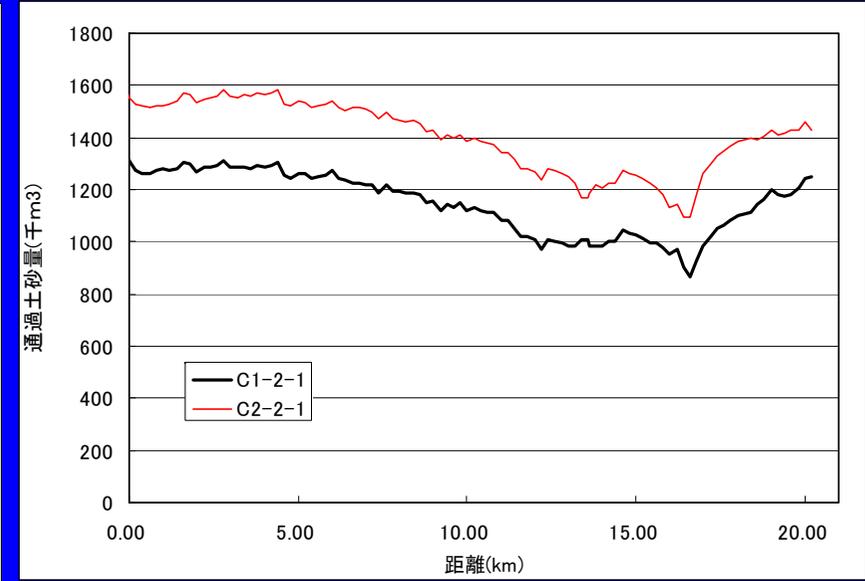
1年間

浮遊砂

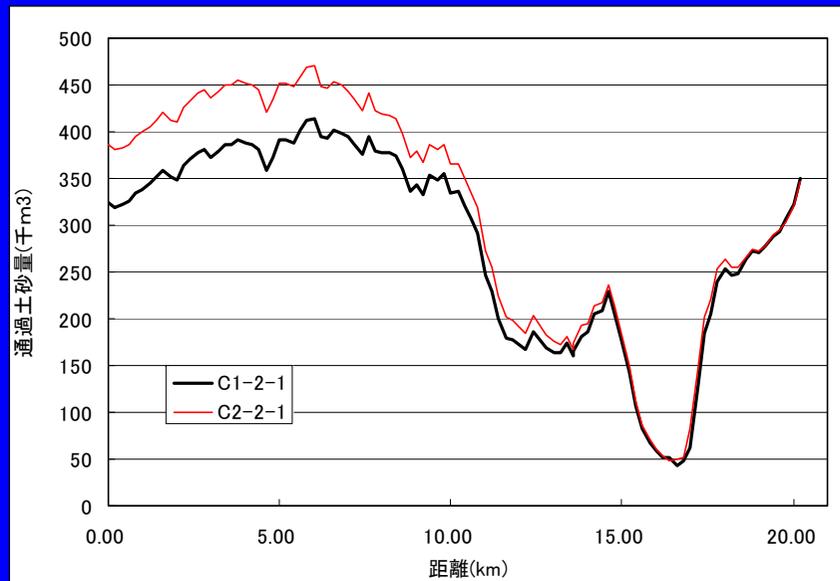


14年間

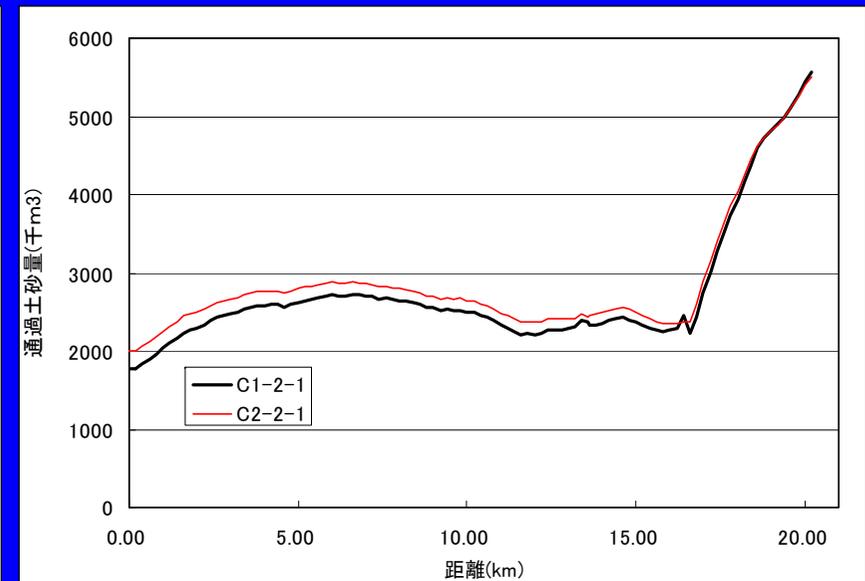
浮遊砂



全流砂

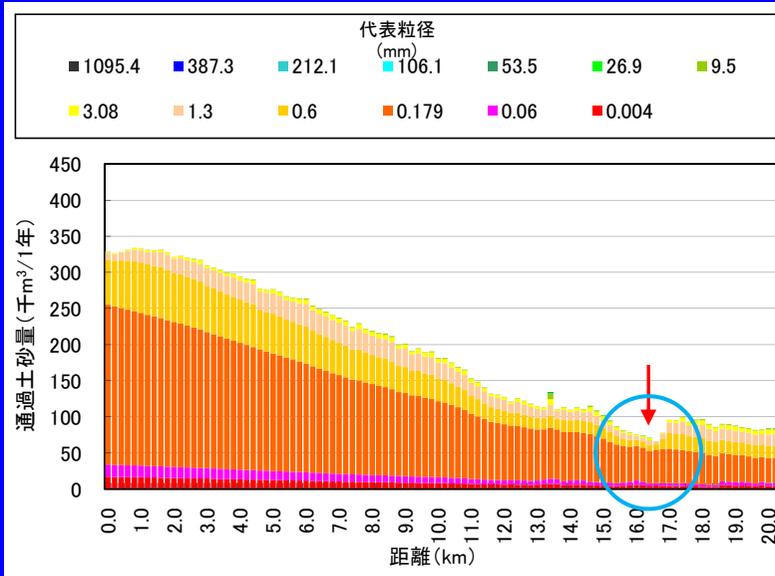


全流砂



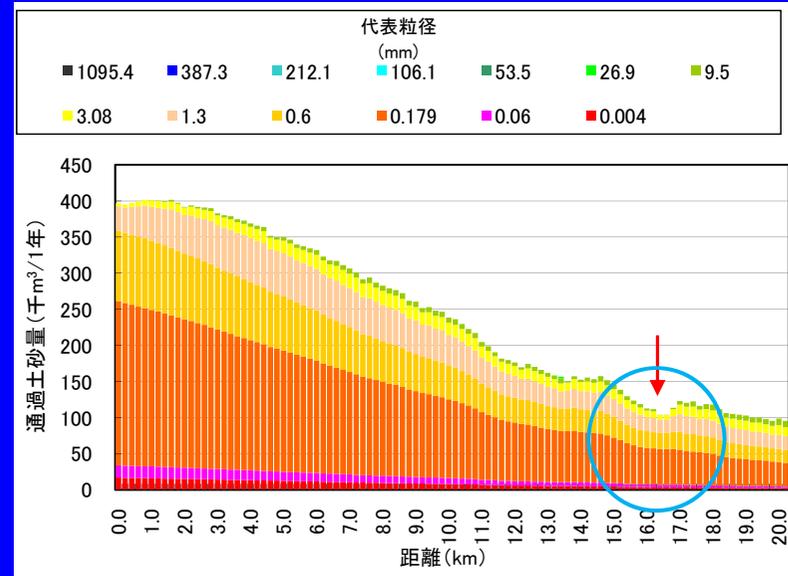
(3) 平衡・非平衡の違いによる通過土砂量の変化(スリット)

C1-3-1 平衡

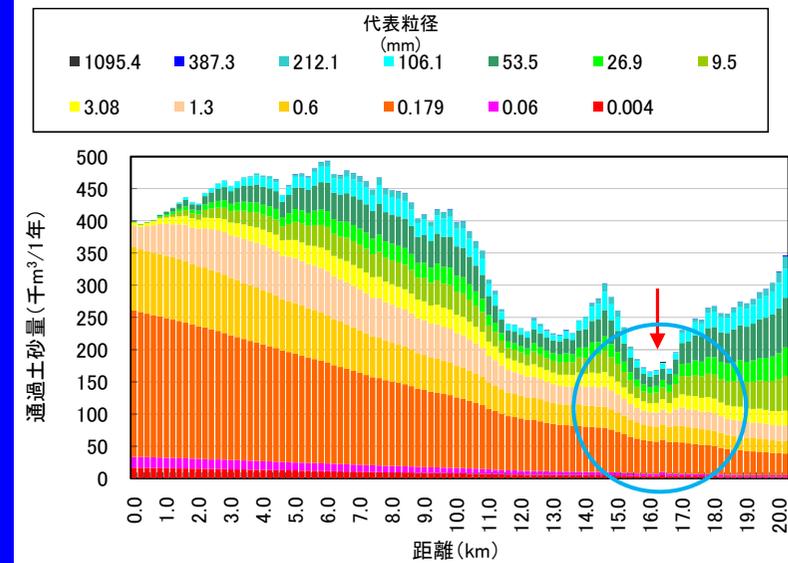
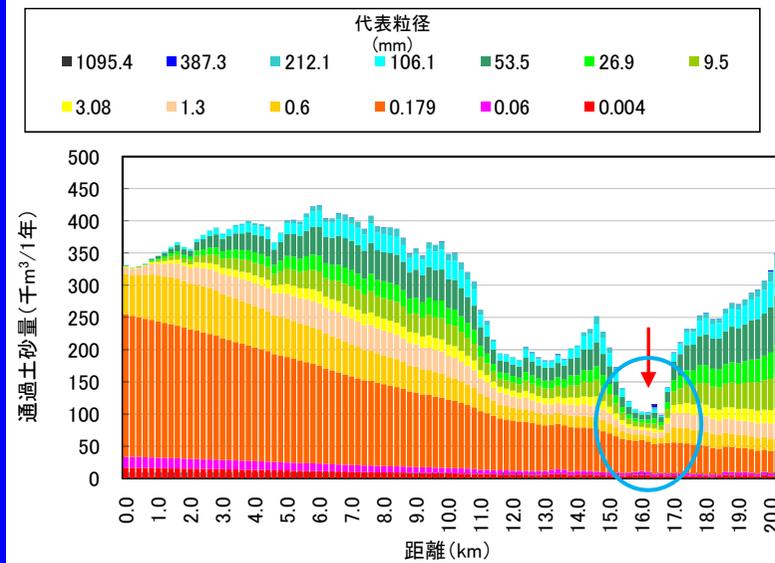


浮遊砂

C2-3-1 非平衡



全流砂



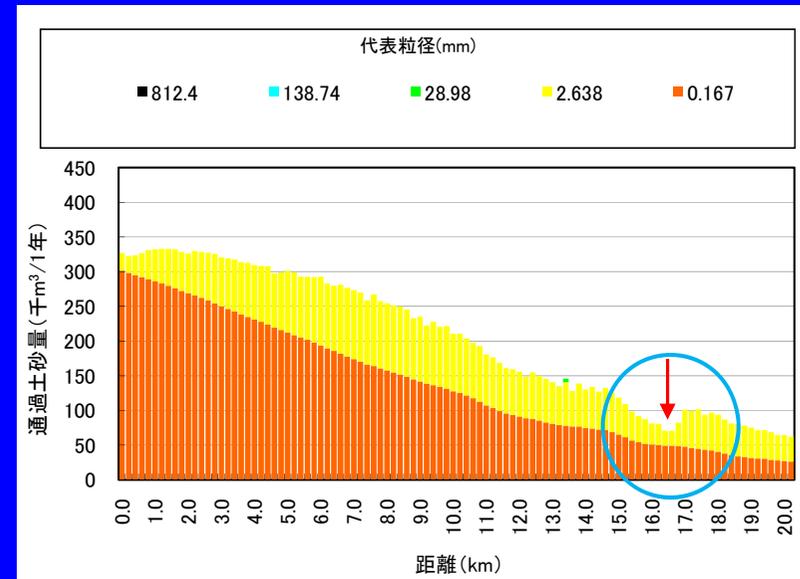
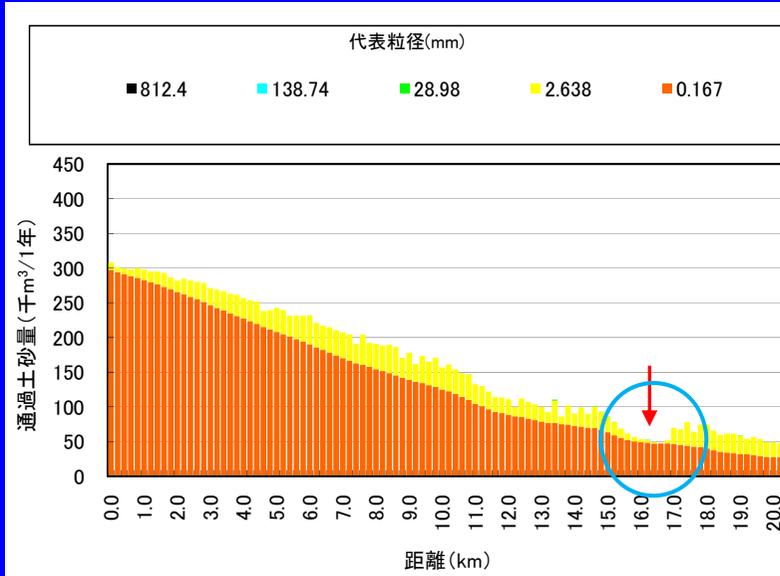
結果: 1.5~2割程度、非平衡の方が流砂量が多くなる
スリット部を含め、1.3~9.5mmの通過土砂量が多くなる

(3) 平衡・非平衡の違いによる通過土砂量の変化(スリット)

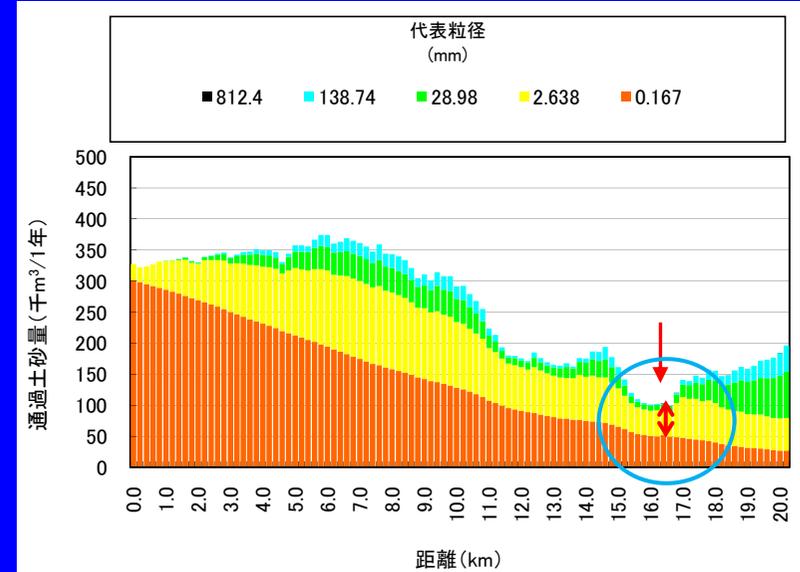
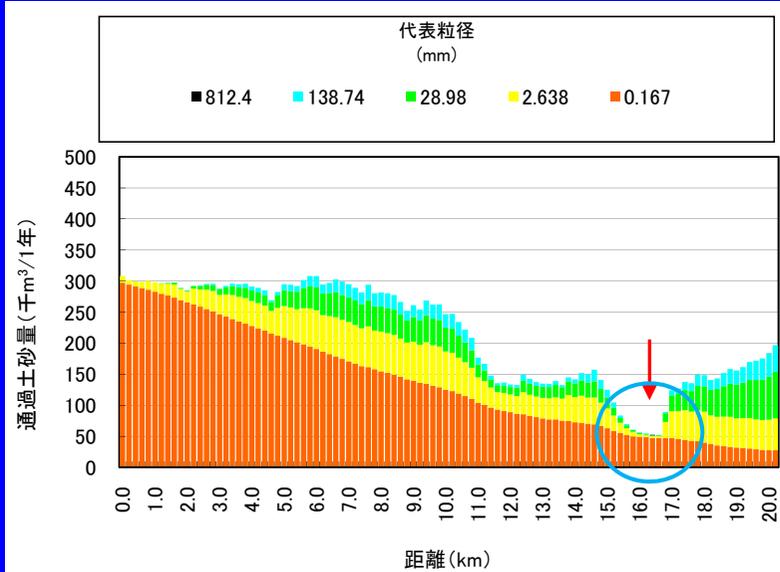
C1-3-7 平衡

C2-3-7 非平衡

浮遊砂



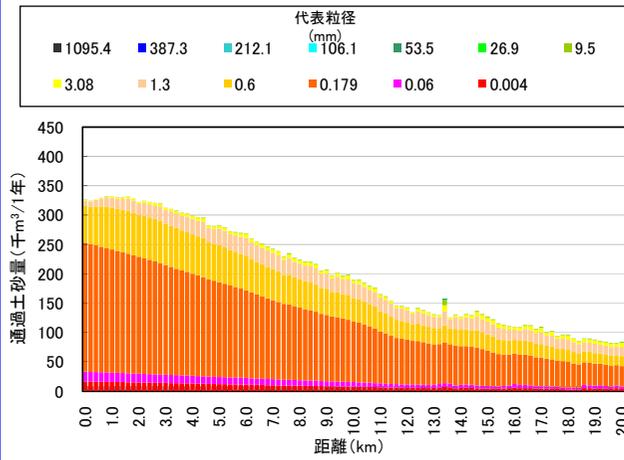
全流砂



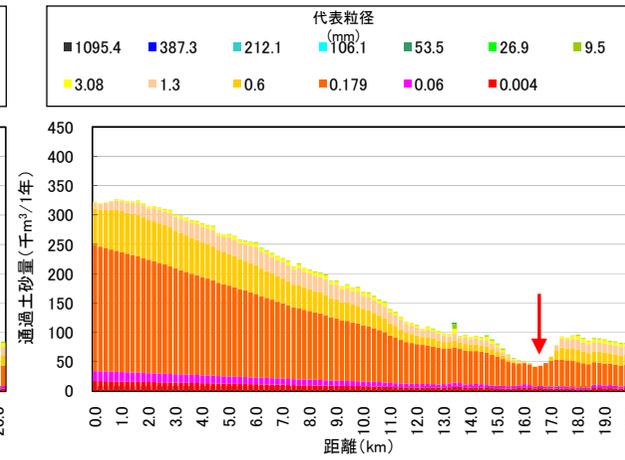
結果: 1.5~2割程度、非平衡の方が流砂量が多くなる
スリット部を含め、2.6mmの通過土砂量が多くなる

(4) 通過土砂量の変化(施設効果:1年)

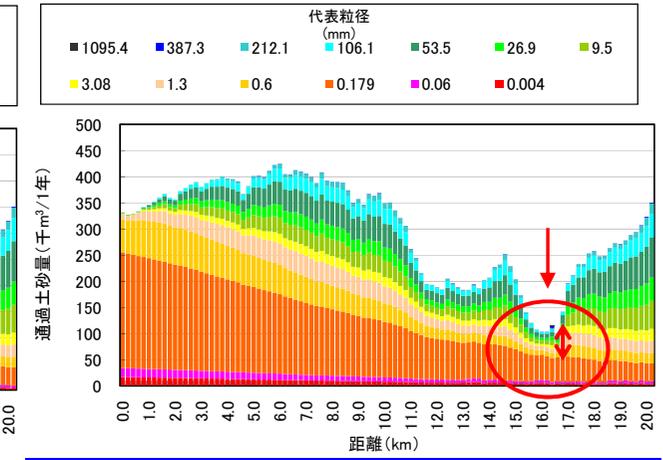
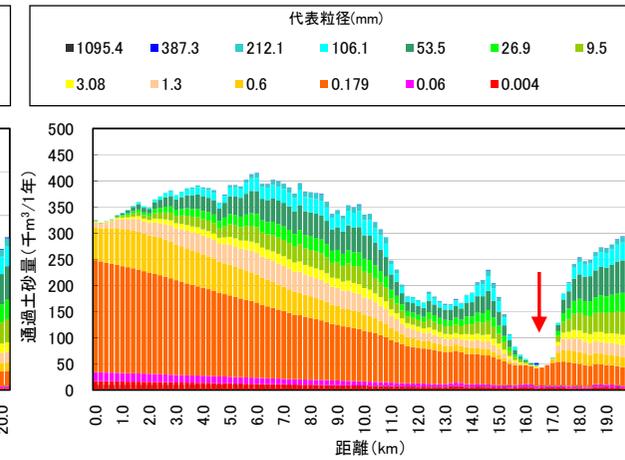
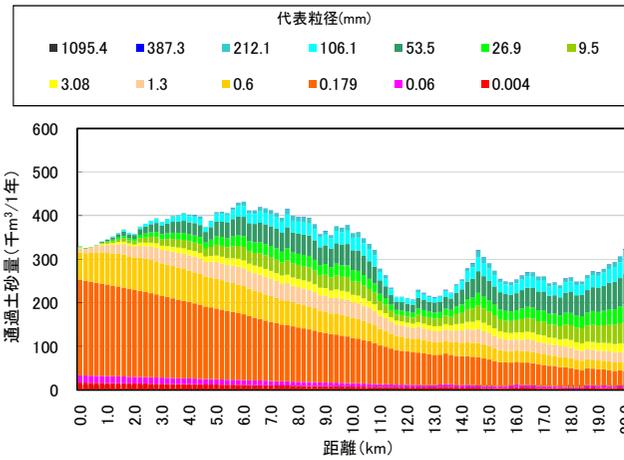
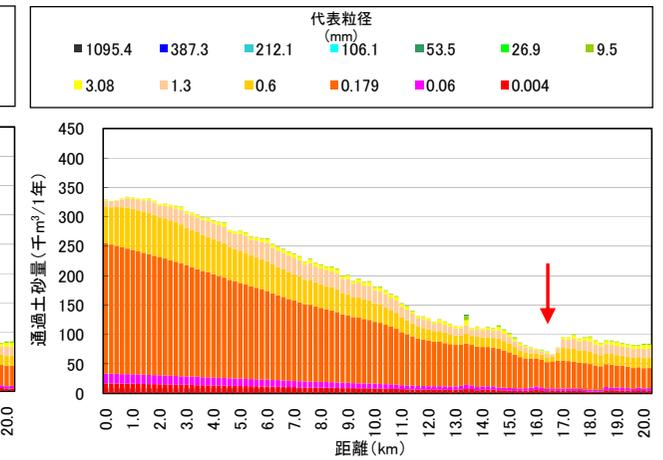
C1-1-1 平衡



C1-2-1 平衡(不透過未満砂)



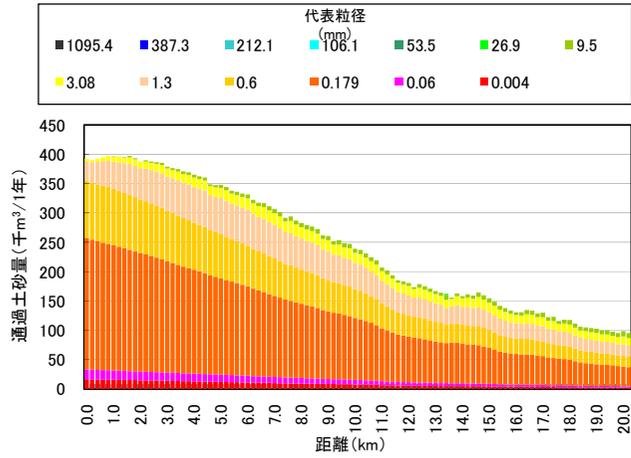
C1-3-1 平衡(スリット)



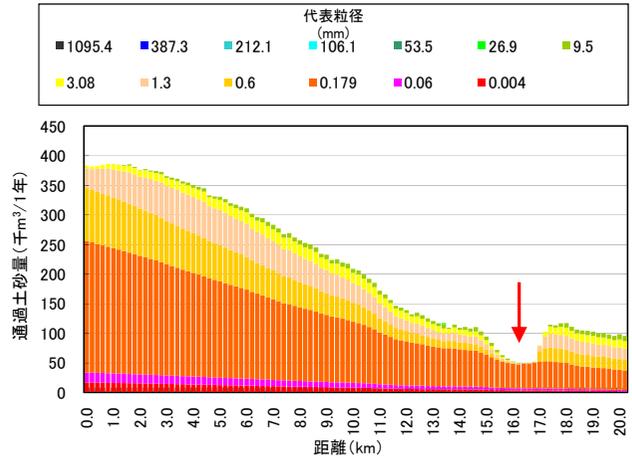
スリットから212mm以下の土砂が流出する

(4) 通過土砂量の変化(施設効果: 1年)

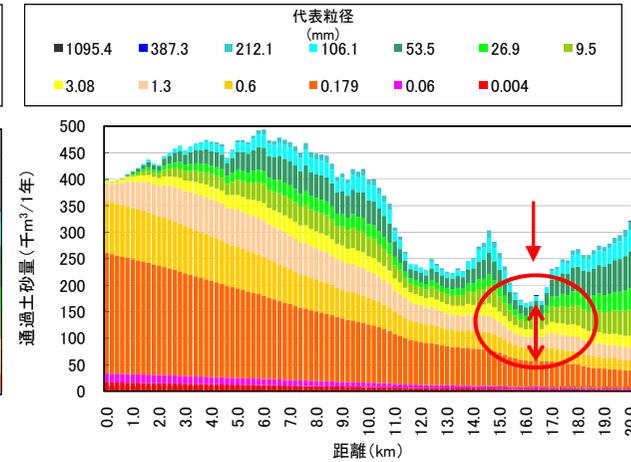
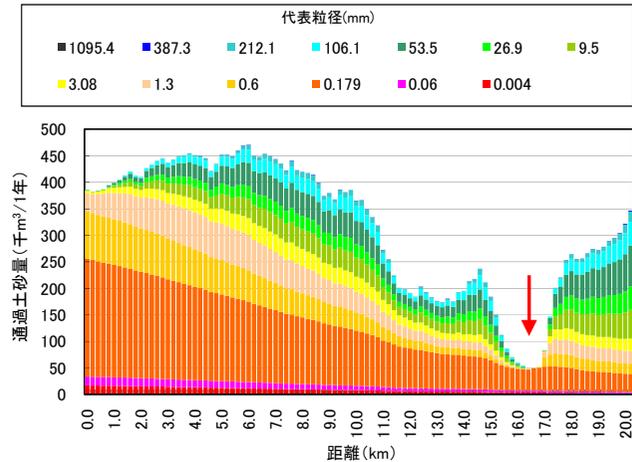
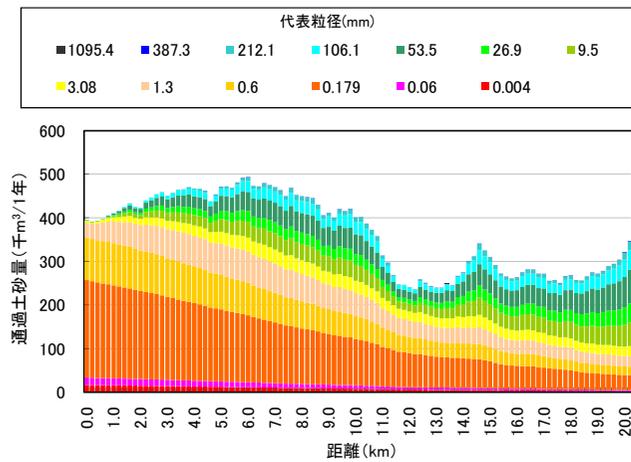
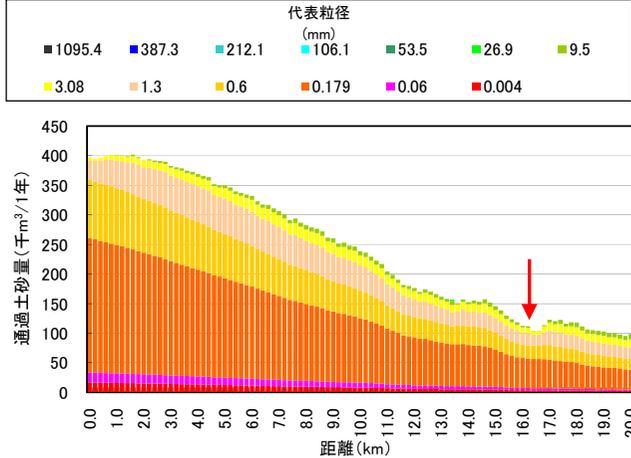
C2-1-1 非平衡



C2-2-1 非平衡(不透過未満砂)



C2-3-1 非平衡(スリット)

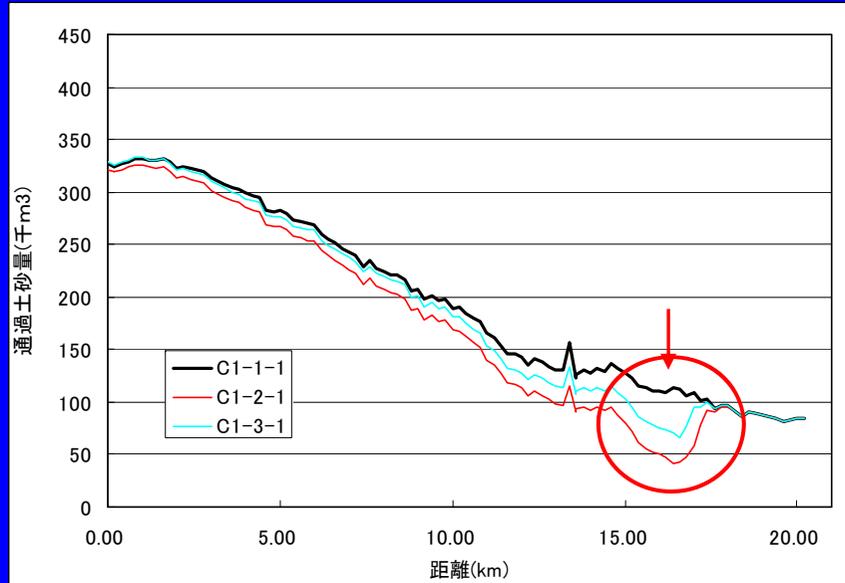


スリットから212mm以下の土砂が流出する

(4) 施設の違いによる通過土砂量の比較(未満砂: 粒径13区分: 1年間)

平衡

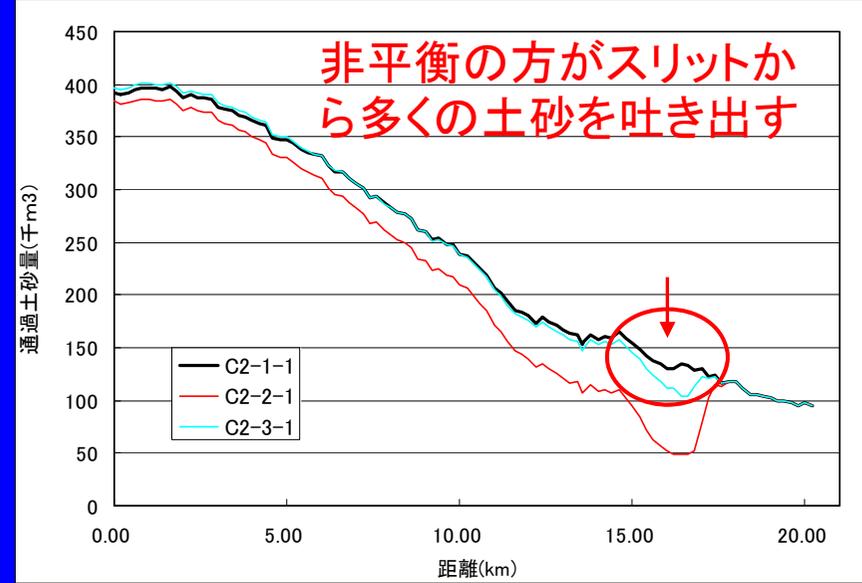
浮遊砂



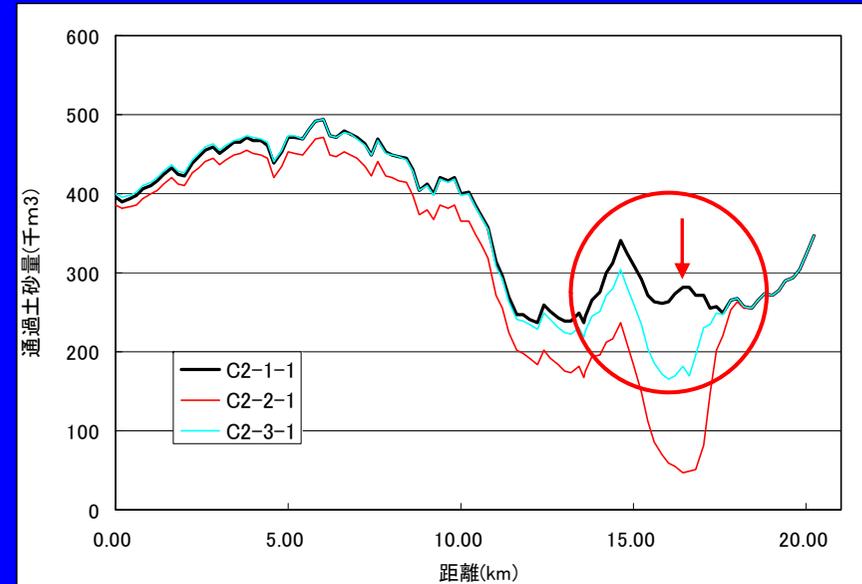
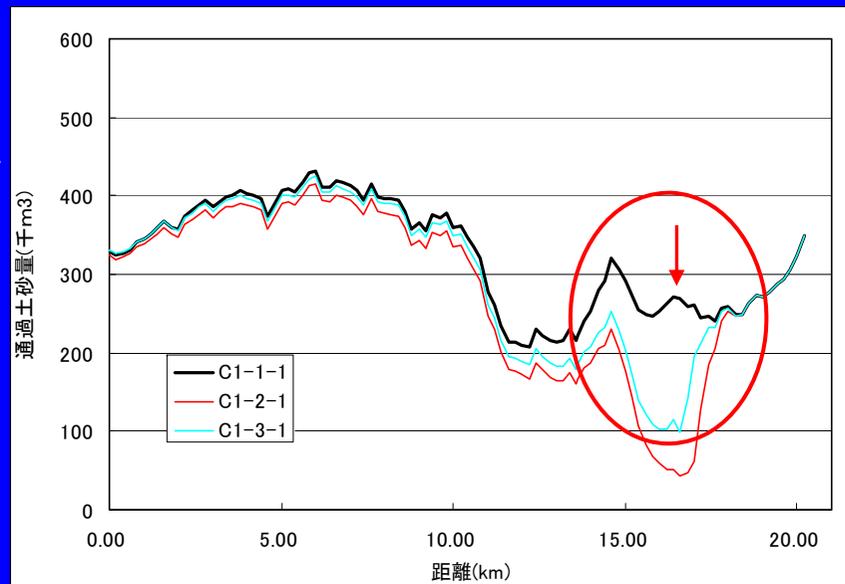
非平衡

非平衡の方がスリットから多くの土砂を吐き出す

通過土砂量(千m³)



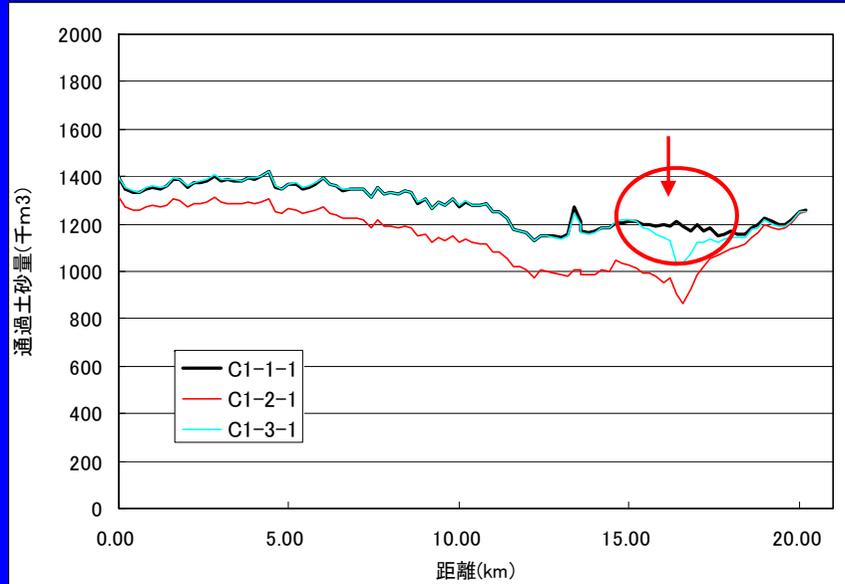
全流砂



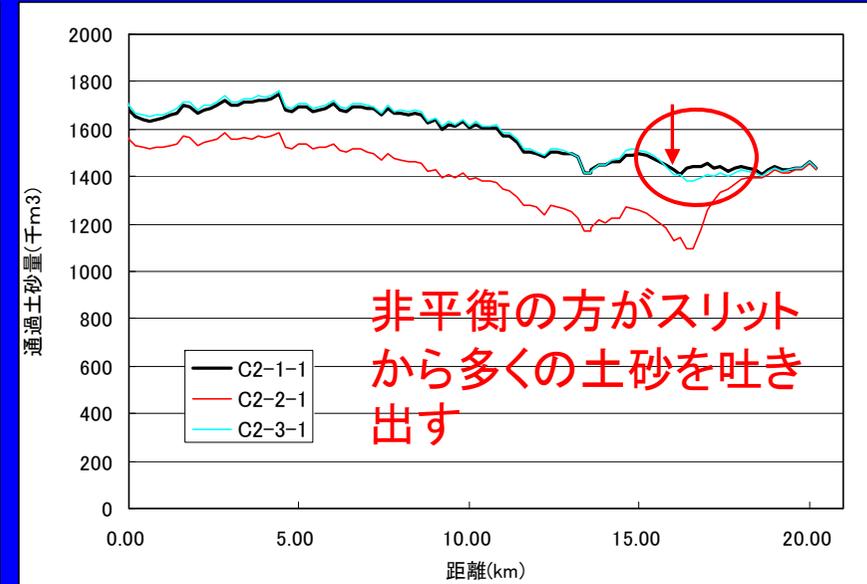
(4) 施設の違いによる通過土砂量の比較(未満砂: 粒径13区分:14年間)

浮遊砂

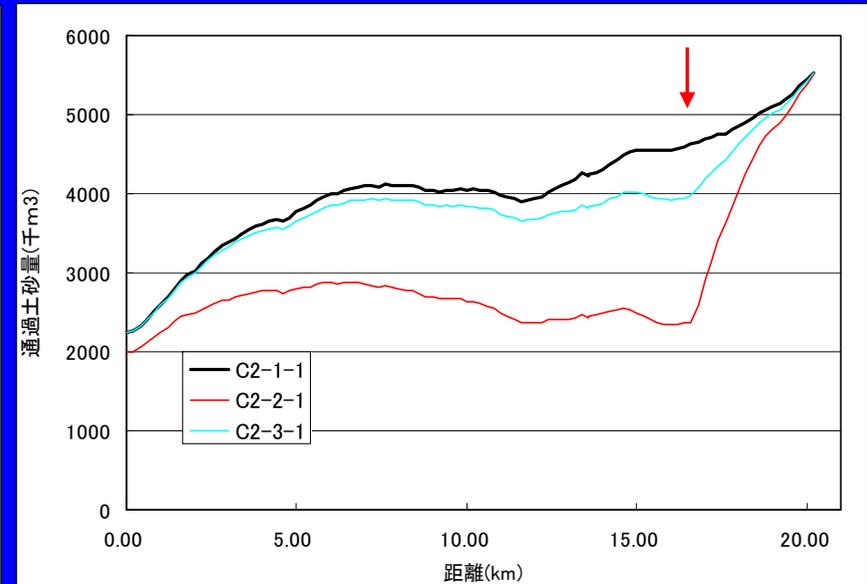
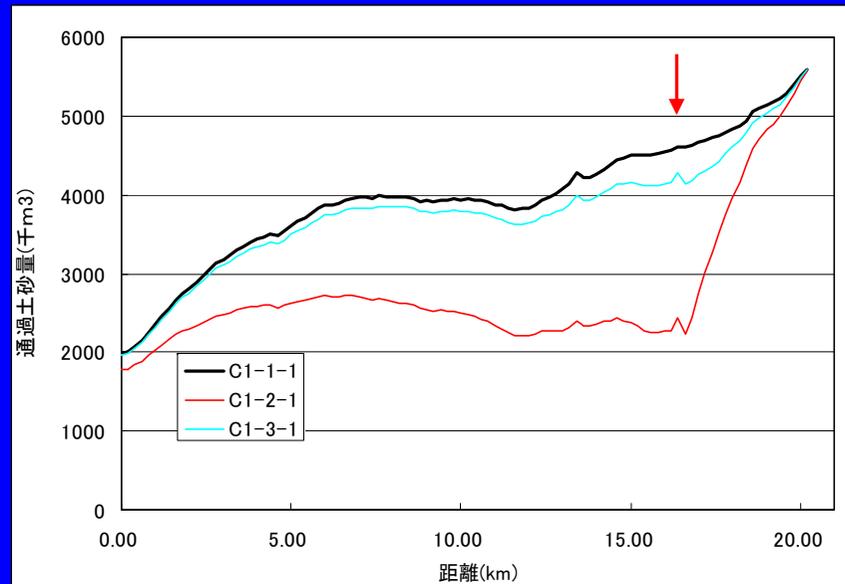
平衡



非平衡

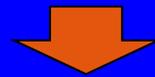


全流砂



現状の計算手法での細粒土砂の挙動

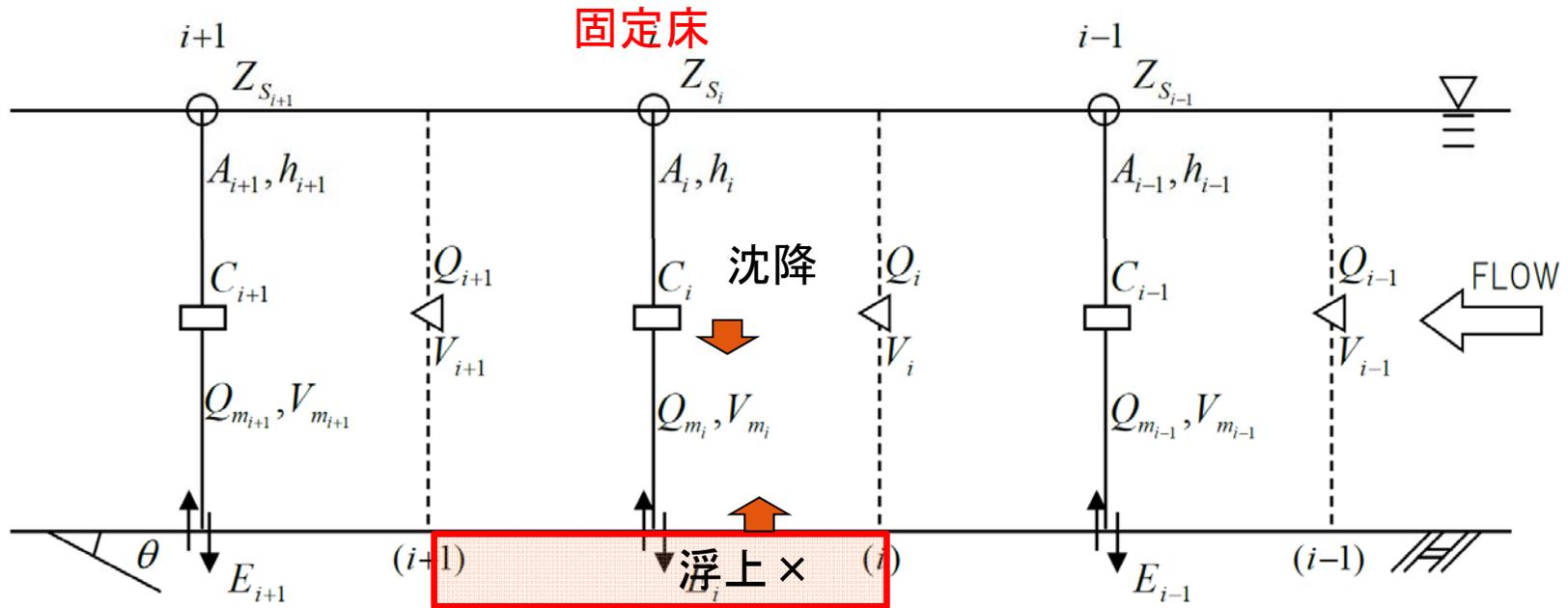
- ・施設が無い場合、平均粒径が同じであれば粒径の切り方を変えても、計算区間の通過土砂量は浮遊砂平衡計算、非平衡計算ともにほとんど変化しない。
- ・未満砂の施設を配置した場合は、砂分(0.075mm~2mm)の粒径の切り方で未満砂の施設からの通過土砂量が変わる。浮遊砂平衡計算では概ね0.2mm、浮遊砂非平衡計算では概ね0.3mmが流出の境界となる。
- ・浮遊砂平衡と非平衡の計算を比較すると、施設部分以外は、概ね1.5~2割非平衡計算の通過土砂量のほうが多くなる。粒径別では、0.85~19mm(粗砂~中礫)の増分が大きい。
- ・施設の有無、形式の違いでは、未満砂の施設を配置した場合には、0.2mm程度以上の土砂は下流へ流出しない。スリットの場合には、下流へ流出する粒径は無施設時と同じとなるものの、通過土砂量は減少する。



- ・施設の有無、形式に関わらず、0.2mm程度以下の粒径は下流へ流出する。
- ・今回の地形条件(勾配1/100~1/180)では、0.2~0.85mmの粒径の通過土砂量は、施設上流を除くと浮遊砂平衡計算と非平衡計算であまり変化しない。
- ・0.85~19mm(粗砂~中礫)の通過土砂量は、非平衡の計算のほうが概ね1.5~2割多くなる。

非定常の場合

$$\tan \theta_w = \frac{(Z_{S_{i-1}} - Z_{S_i}) / 2 - (Z_{S_i} - Z_{S_{i+1}}) / 2}{dx(i)}$$



流れ全体の連続式

$$\frac{A_i^{n+1} - A_i^n}{\Delta t} + \frac{Q_{i+1}^n - Q_i^n}{\Delta x_i} = E_i^n B_i^n$$

$$A_i^{n+1} = A_i^n + (E_i^n B_i^n - \frac{Q_{i+1}^n - Q_i^n}{\Delta x_i}) \Delta t$$

土砂濃度の輸送方程式

$$\frac{c_i^{n+1} A_i^{n+1} - c_i^n A_i^n}{\Delta t} + \frac{c_i^n Q_{i+1}^n - c_{i-1}^n Q_i^n}{\Delta x} = E_i^n B_i^n c_*$$

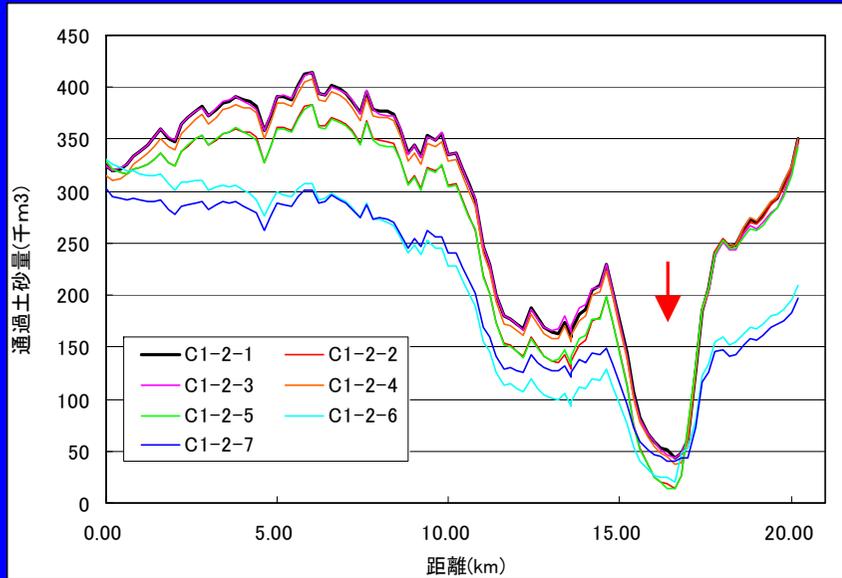
$$c_i^{n+1} A_i^{n+1} = c_i^n A_i^n + (-\frac{c_i^n Q_{i+1}^n - c_{i-1}^n Q_i^n}{\Delta x} + E_i^n B_i^n c_*) \Delta t$$

$$c_i^{n+1} = \frac{c_i^n A_i^n + (-\frac{c_i^n Q_{i+1}^n - c_{i-1}^n Q_i^n}{\Delta x} + E_i^n B_i^n c_*) \Delta t}{A_i^{n+1}}$$

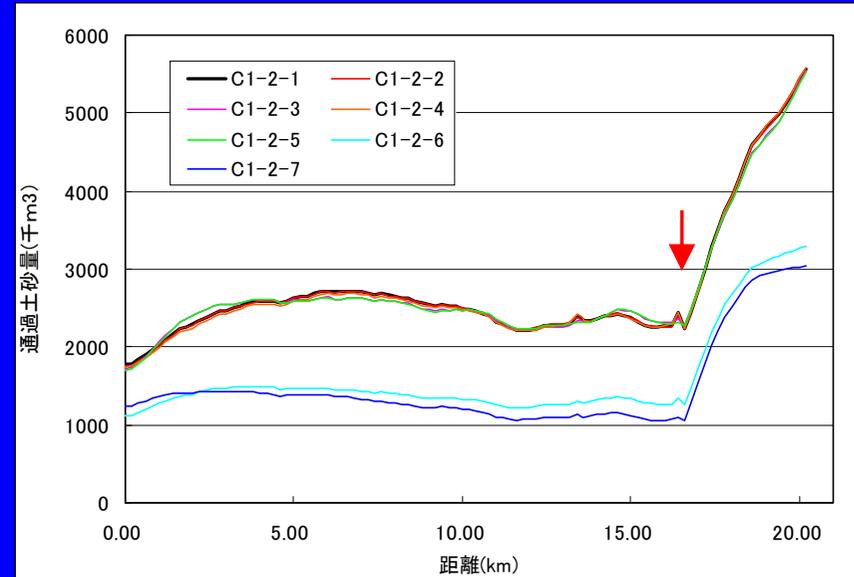
(2) 粒径の分割の違いによる通過土砂量の変化(未満砂)

浮遊砂: 平衡、通過土砂量の比較

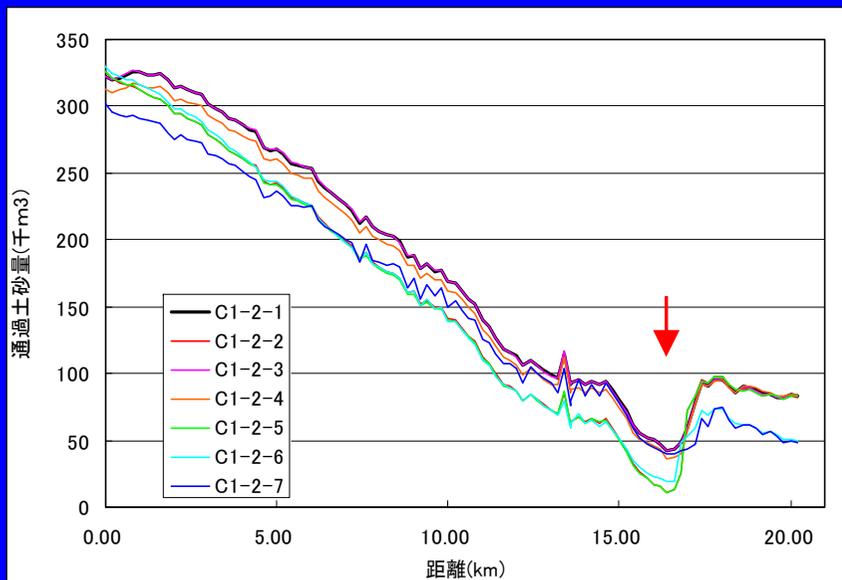
全流砂、1年間



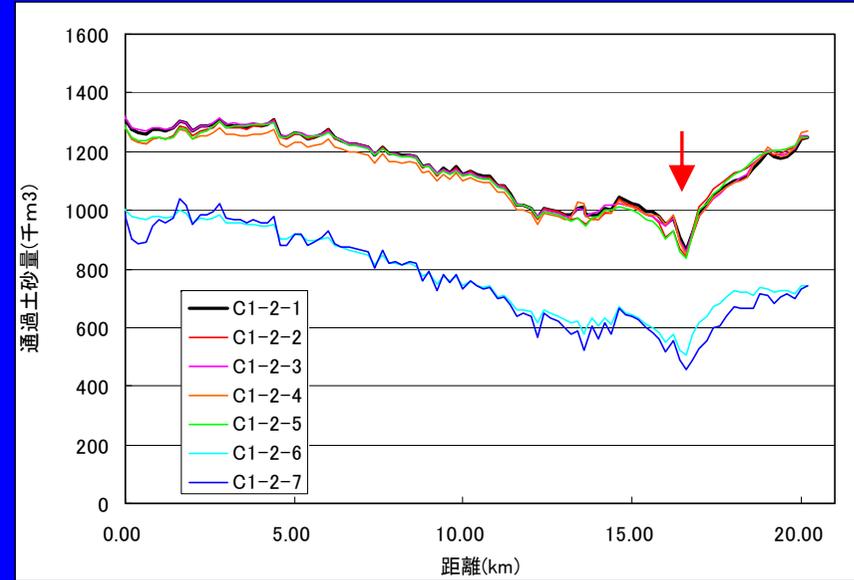
全流砂、14年間



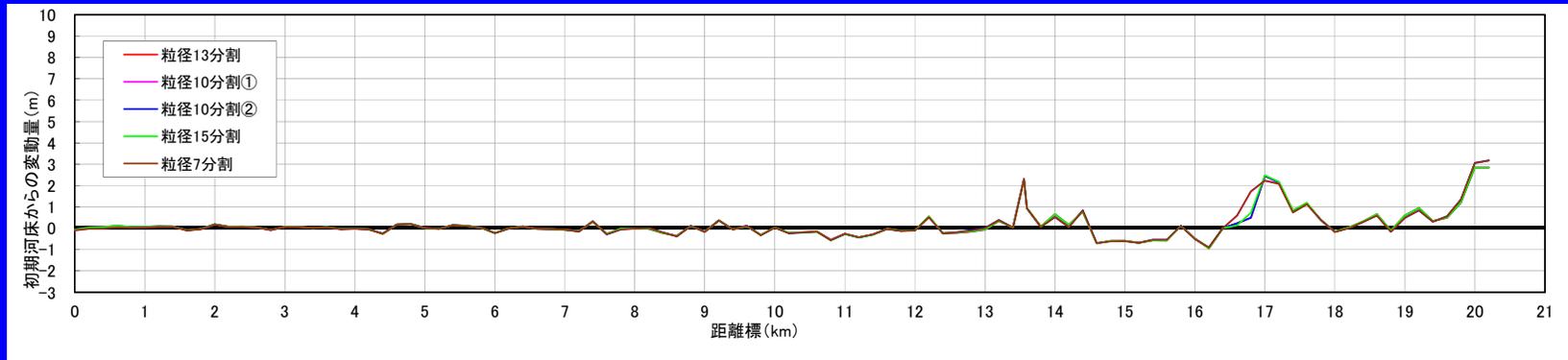
浮遊砂、1年間



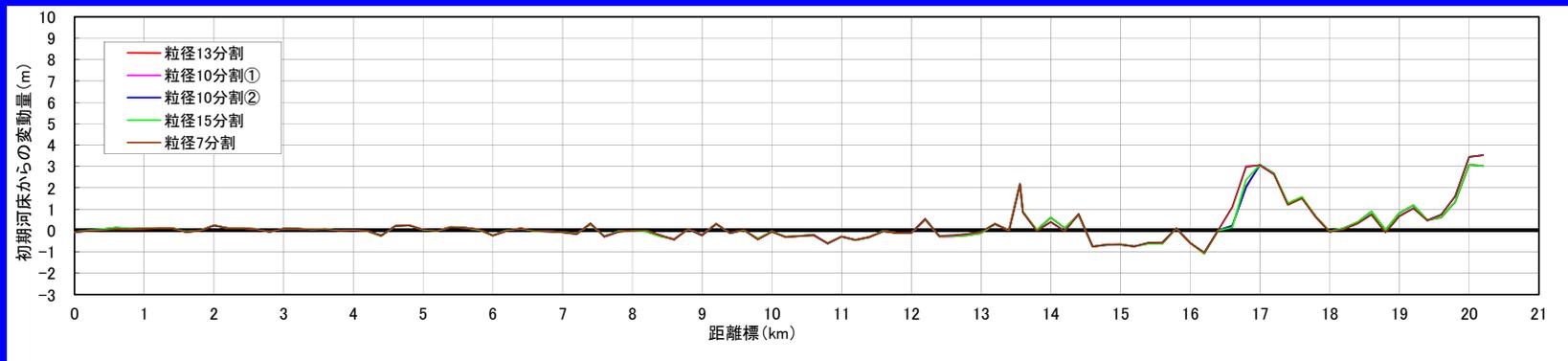
浮遊砂、14年間



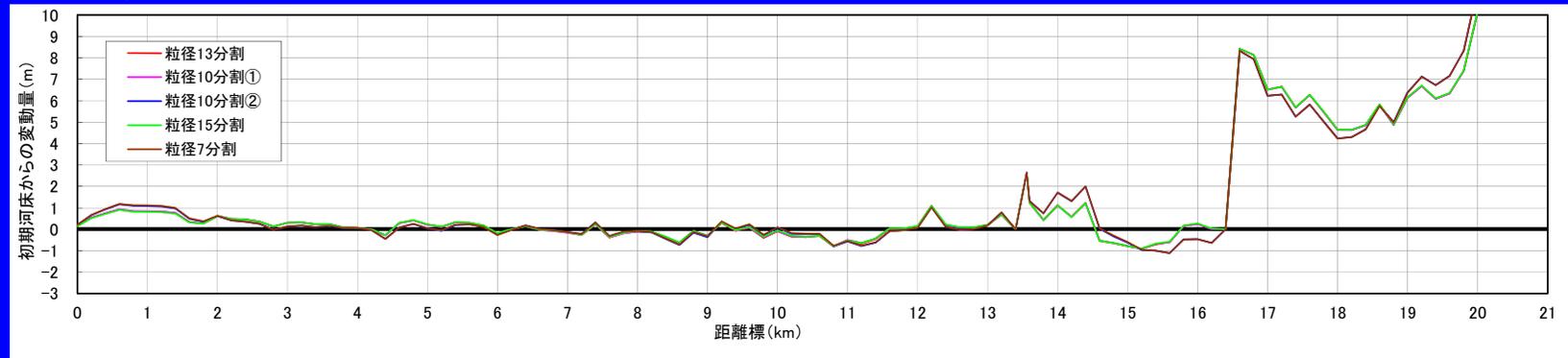
浮遊砂: 平衡、流量: 1年間



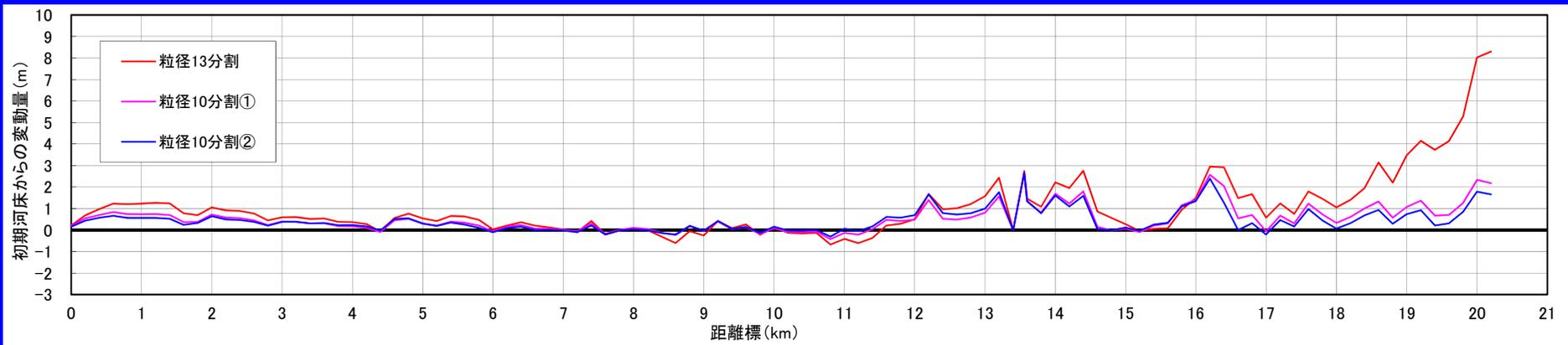
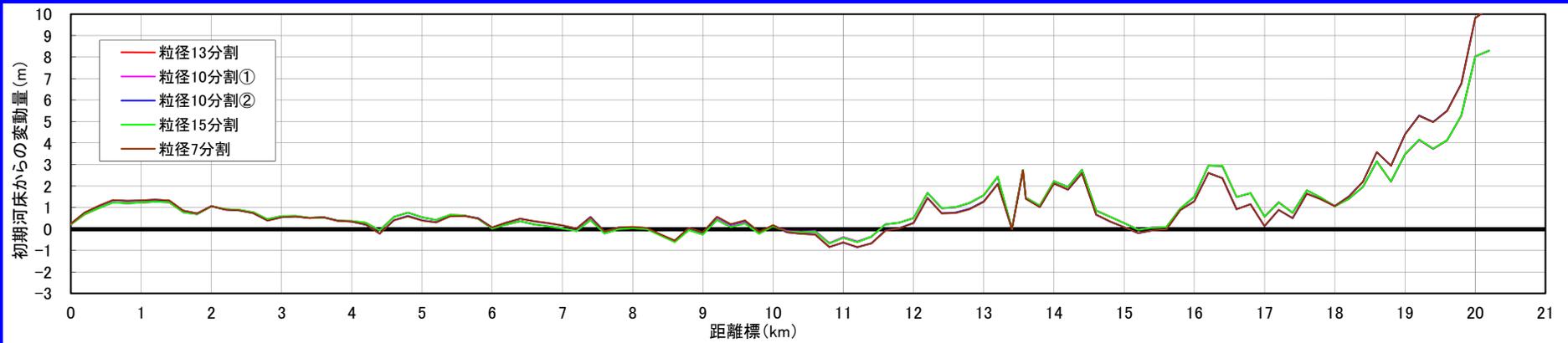
浮遊砂: 平衡、流量: 2年間



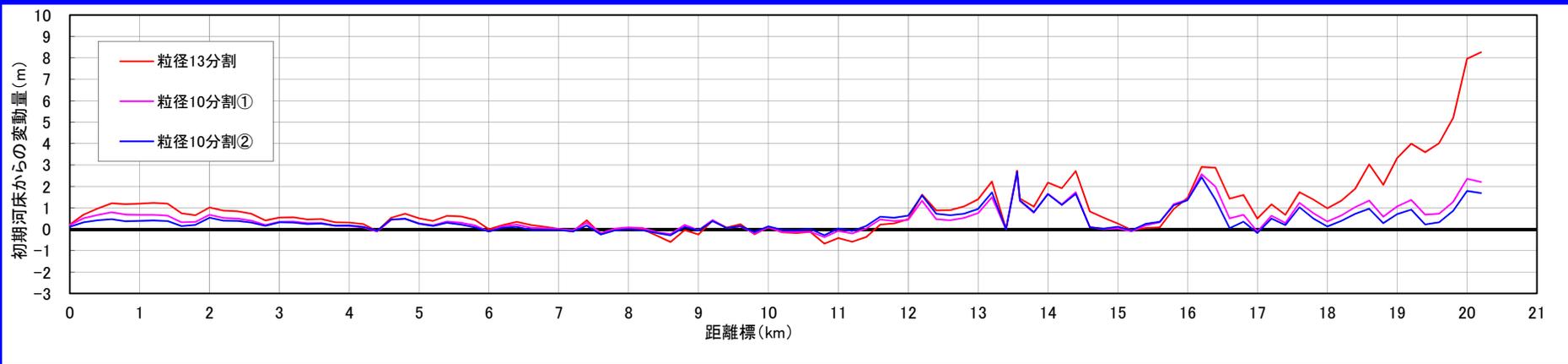
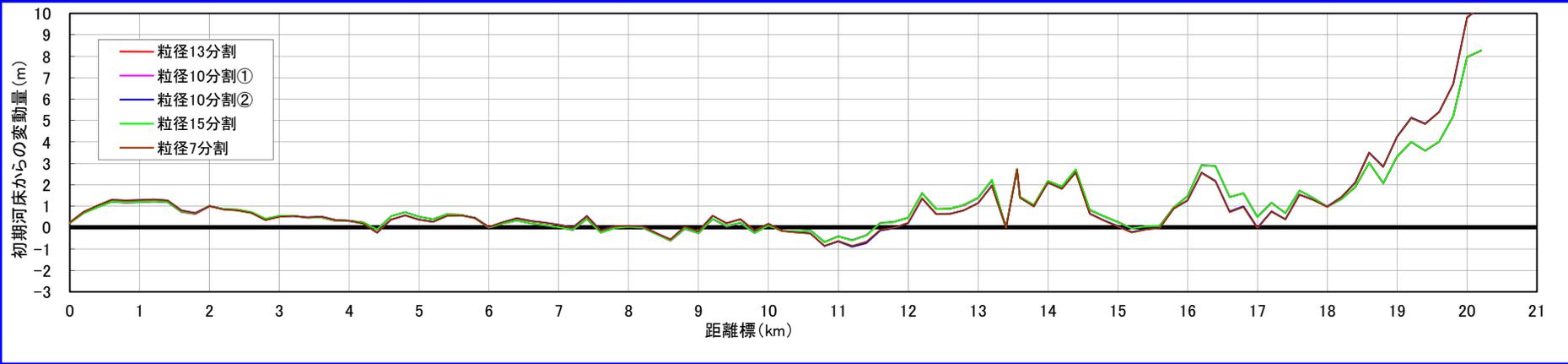
浮遊砂: 平衡、流量: 14年間



浮遊砂：平衡、流量：14年間

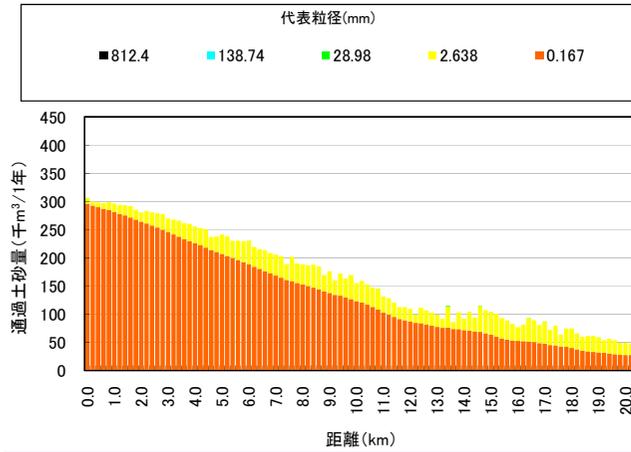


浮遊砂：平衡、流量：14年間

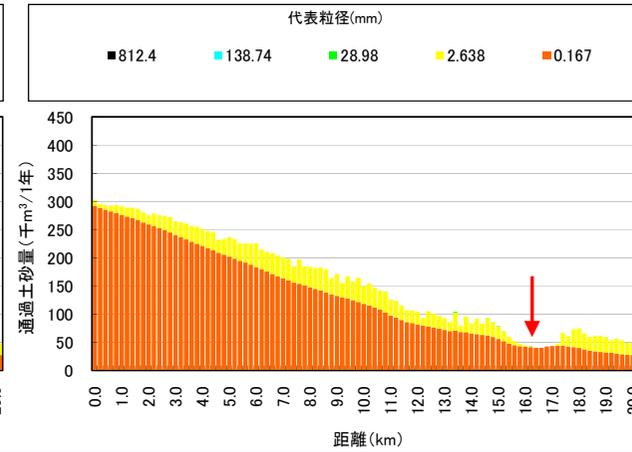


(4) 通過土砂量の変化(施設効果)

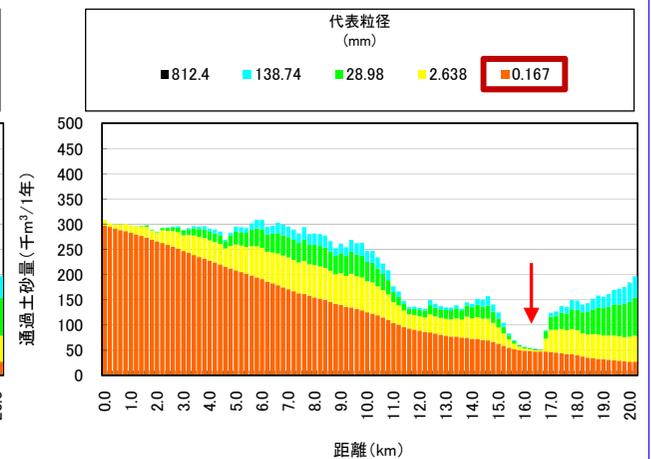
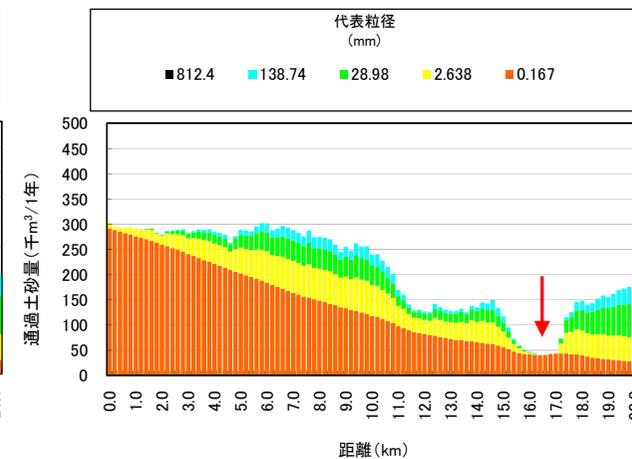
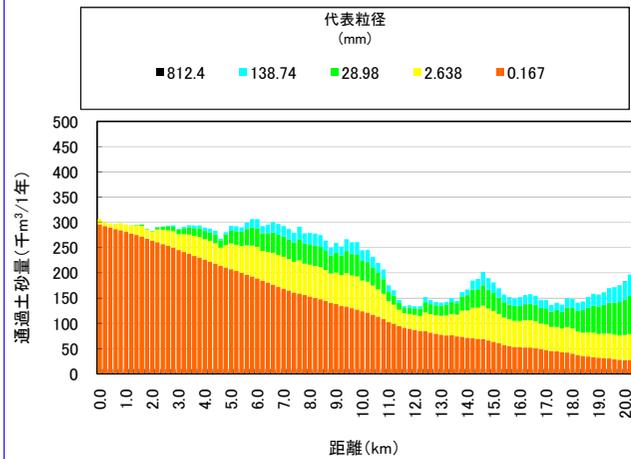
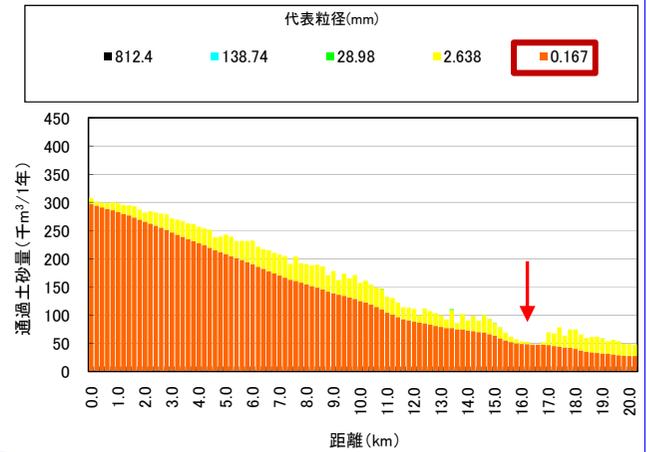
C1-1-7 平衡



C1-2-7 平衡(不透過未満砂)



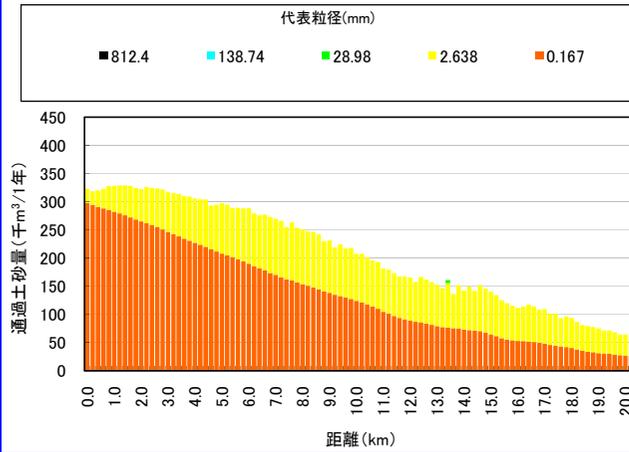
C1-3-7 平衡(スリット)



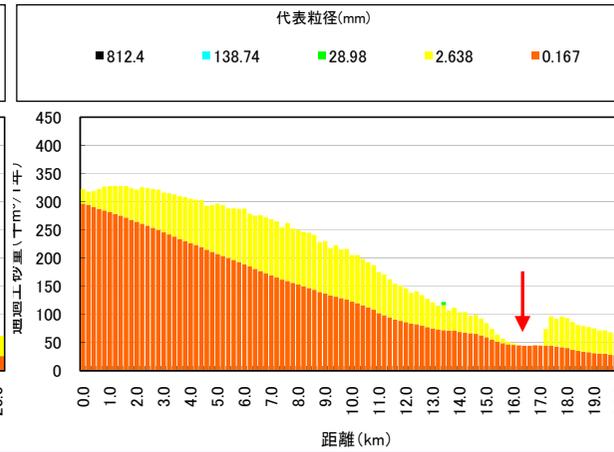
結果: 平衡では、スリット部からの流出する粒径は、0.17mm以下となる

(4) 通過土砂量の変化(施設効果)

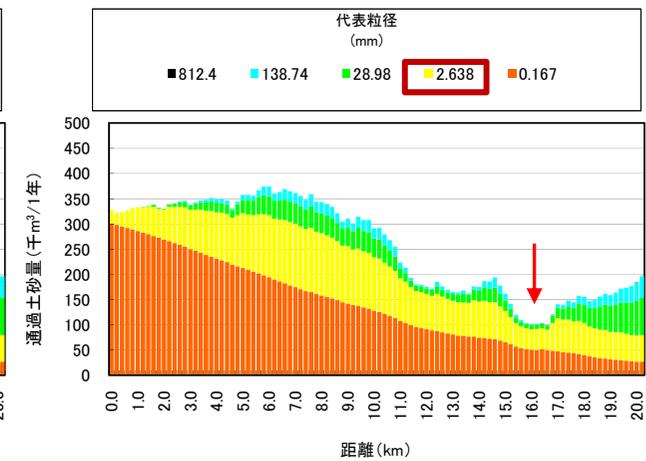
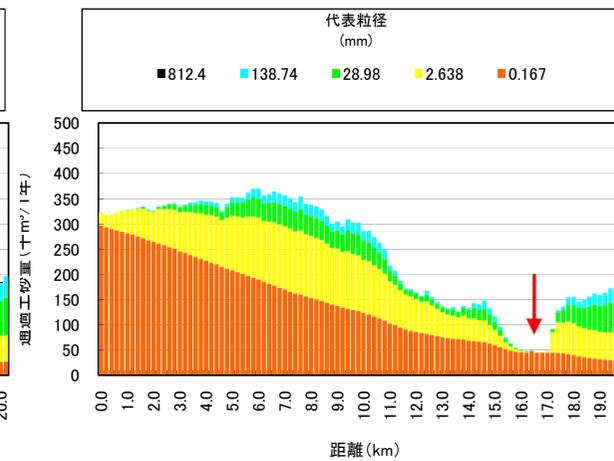
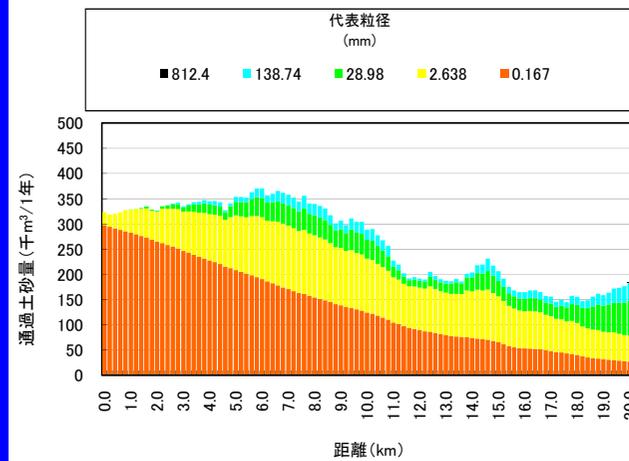
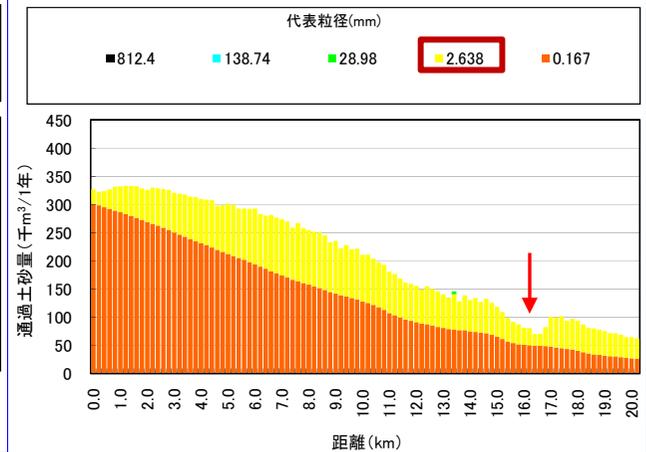
C2-1-7 非平衡



C2-2-7非平衡(不透過未満砂)



C2-3-7非平衡(スリット)



結果:非平衡では、2.6mmの土砂がスリット部からの流出する