

2. 水路実験

2.1 浮遊砂採取器 (Time-integrated sampler) の概要

浮遊砂採取器 (Time-integrated sampler) は小流域の溪流を流れる浮遊砂を採取することを目的に開発されたものである。また、シルト成分程度の粒径の浮遊砂を対象として採取することを想定している。流域面積が 2 km^2 程度の溪流に設置され、実際に土砂移動モニタリングを行った実績もある⁴⁾。

浮遊砂採取器は本体部と流入口、流出口から構成される。本体部は円筒形の筒で、両端に蓋を閉めてある。流入口と流出口は蓋に取り付けたチューブのことで、その直径は本体部の筒の直径と比べてかなり小さい。流水は流入口から入り、本体部を通過して、流出口より排出される。流水が本体部に流れ込んだ際、流速が著しく低下することと、流入口付近と流出口付近に死水域が形成されるため、流水に含まれる土砂は本体部内で沈降し堆積する⁴⁾。

既往の研究成果によると、浮遊砂採取器が浮遊砂を採取する効率は3～7割程度であることと、流速が速くなるにつれて、効率は低下することなどが報告されている⁴⁾。しかし、それは、 $1.00 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ 程度の重量濃度で最大粒径 $1 \times 10^{-2} \text{ cm}$ 程度の土砂を含む流水を、 0.6 m/秒 以下の流速で、ポンプを用いて流入口に直接注入した実験の結果に基づいたものである。したがって、著者らが土砂移動モニタリングを行っている安倍川などの実際の河川に適用するにあたり、既往研究⁴⁾で対象とした条件よりも厳しい条件、すなわち 0.6 m/秒 以上といった速い流速、 $1 \times 10^{-2} \text{ cm}$ 以上といった大きい粒径、といった条件の下で浮遊砂採取器の採取効率が流水中の土砂重量濃度、および、採取時間といった要因から受ける影響を把握しておく必要がある。

そこで、本研究では、後述する表 - 1 に示すケースについて水路実験を行い、採取効率がどのように変化するかを検証した。

2.2 実験装置

図 - 1 は実験に用いた浮遊砂採取器である。本体部は直径10cm(内径)の亚克力製の筒であり、亚克力製の蓋で両端を閉じたものである。流入口と流出口は同じ形状で、直径0.4cm(内径)の亚克力製の筒である。

写真 - 2 は実験に用いた濁度計である。濁度計はD & A Instrument社製のOBS - 3で、長さ18cm、直径3cmの円筒形である。濁度計は計測した濁度に応じて、0 ~ 5Vの電圧で計測値を出力する。図 - 2 は濁度計から出力された電圧と土砂重量濃度の関係を計測した結果である。図 - 2 から最小二乗法により線形近似した式は式(1)のようになり、土砂重量濃度は濁度計から出力された電圧値より推定できる。

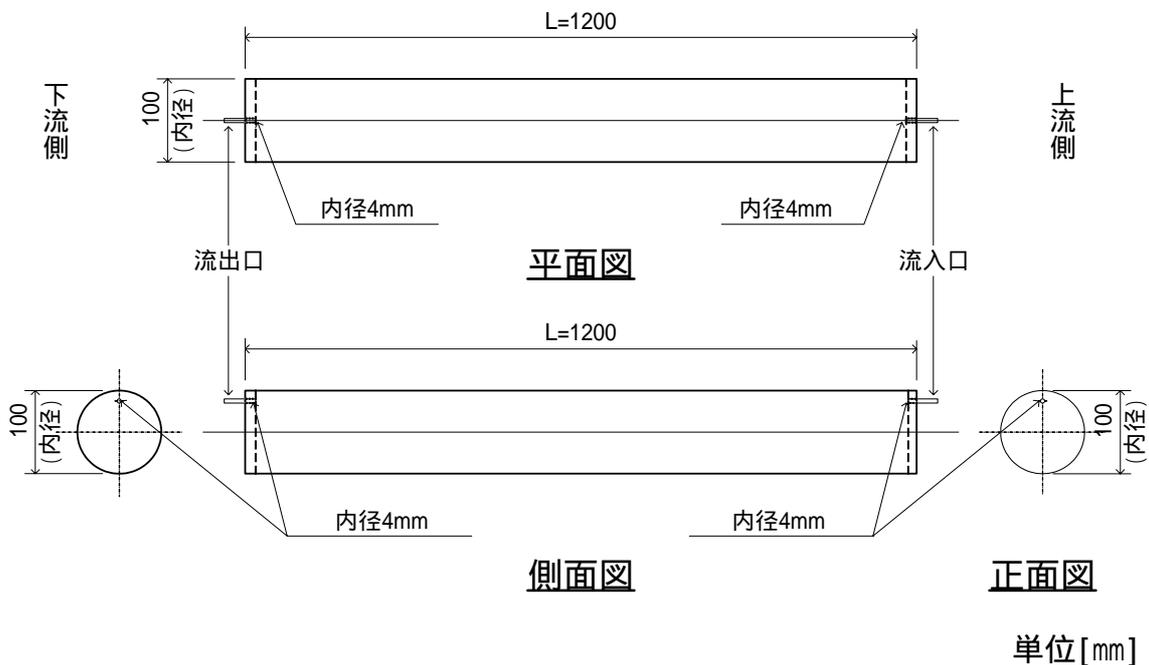


図 - 1 浮遊砂採取器 (Time-integrated sampler)



写真 - 2 濁度計

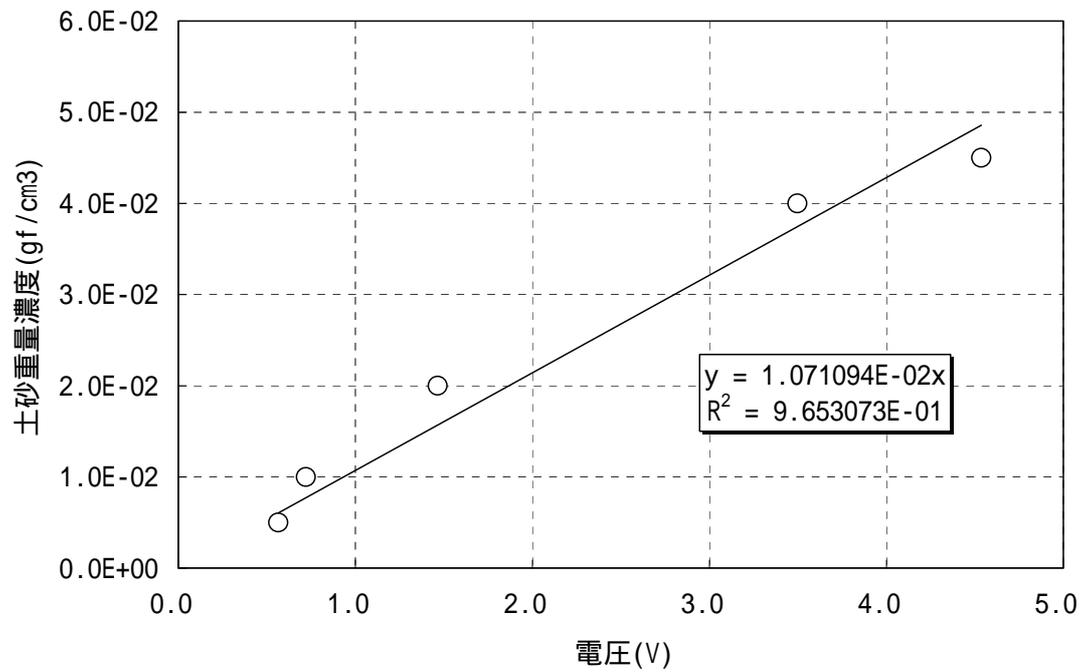


図 - 2 濁度計の出力値（電圧）と土砂重量濃度の関係

$$C_w = 1.07109 \times 10^{-2} V \quad \dots (1)$$

ここで、 C_w : 土砂重量濃度 [g f / c m ³] V : 濁度計により出力された電圧値 [V] である。式 (1) の相関係数は $R^2 = 0 . 9 7$ である。なお、図 - 3 に
関する実験の方法及び結果は参考資料に詳しく記載したので、そちらを参照し
ていただきたい。

図 - 3 は実験装置の配置図である。実験に用いた水路は幅 5 0 c m、深さ 5 0 c m、長さ 1 0 0 0 c m の形状で、ガラス板の側壁、土砂を貼り付けた板の床から構成されている。また、水路の勾配はチェンブロックにより任意に設定できる。水路の下流端に貯水槽を設置した。貯水槽の中には水中サンドポンプを設置し、水路の上流端に濁水を供給した。水中サンドポンプと水路の上流端の間はサクシオンホースで接続した。浮遊砂採取器は水路の下流端から上流に 1 5 0 c m の位置に、水路床上に固定した。濁度計は浮遊砂採取器の上流端より 1 0 c m 程度上流側の側壁に、浮遊砂採取器の流入口と同じ高さに設置し、ケーブルでデータロガーと接続した。また、濁度計とほぼ同じ位置にピトー管を設置した。

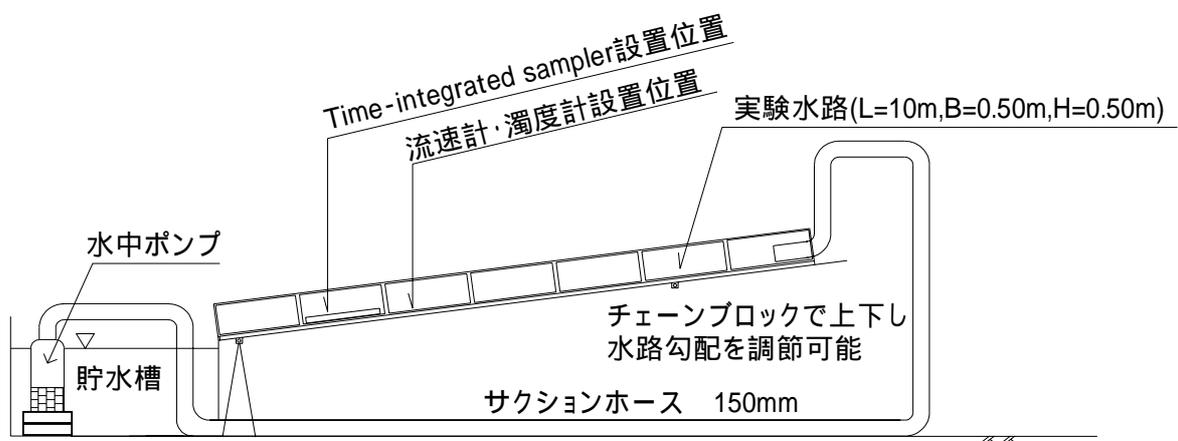


図 - 3 実験装置

2.3 実験条件及び手順

表 - 1 は実験の条件を示したものである。流速が採取効率に及ぼす影響を検討するために、1 / 50 , 1 / 100 , 1 / 200 の3種類の勾配を設定した。流水の土砂重量濃度が採取効率に及ぼす影響を検討するために、 $4.11 \times 10^{-2} \text{ gf/cm}^3$ 程度 (15000 ppm程度)、 $2.33 \times 10^{-2} \text{ gf/cm}^3$ 程度 (8500 ppm程度)、 $1.37 \times 10^{-2} \text{ gf/cm}^3$ 程度 (5000 ppm程度) の3種類を設定した。以上のケースでは、採取時間を3時間と設定した。さらに、採取時間が採取効率に及ぼす影響を検討するために、勾配が1 / 50かつ土砂重量濃度15000 ppm程度についてのみ、3時間、6時間の2ケースを設定した。以上、11ケースの条件について実験を行った。

表 - 1 実験ケース

実験ケース	水路の勾配	流水中の 土砂重量濃度 (目標値) (gf/cm ³)	採取時間 (hours)
1-1	1/50	4.11×10^{-2}	3
1-2	1/100	4.11×10^{-2}	3
1-3	1/200	4.11×10^{-2}	3
2-1	1/50	2.33×10^{-2}	3
2-2	1/100	2.33×10^{-2}	3
2-3	1/200	2.33×10^{-2}	3
3-1	1/50	1.37×10^{-2}	3
3-2	1/100	1.37×10^{-2}	3
3-3	1/200	1.37×10^{-2}	3
4-1	1/50	4.11×10^{-2}	1
4-2	1/50	4.11×10^{-2}	6

図 - 4 は実験に用いた土砂をふるい分けと沈降分析で求めた粒度分布曲線である。実験に用いた土砂は東北珪砂 8 号で、その粒径の最大値は 4.25×10^{-2} cm、平均値は 1.98×10^{-2} cm である。

実験を行った手順は次のとおりである。浮遊砂採取器を水で満たし、流入口と流出口に栓をする。その浮遊砂採取器とピトー管を水路内の所定の位置に固定する。水中ポンプを稼動し、清水を循環させる。流水の土砂重量濃度が所定の値になるまで、土砂を水路内に投入する。データロガーの記録を開始し、浮遊砂採取器の栓を外す。30分毎にピトー管を用いて流速を計測する。所定の採取時間が経過した後、データロガーの記録と水中サンドポンプを停止する。浮遊砂採取器内に堆積した土砂を回収し、乾燥重量と粒度分布を計測する。なお、データロガーは1分間隔で濁度計から出力される電圧値を記録するように設定した。

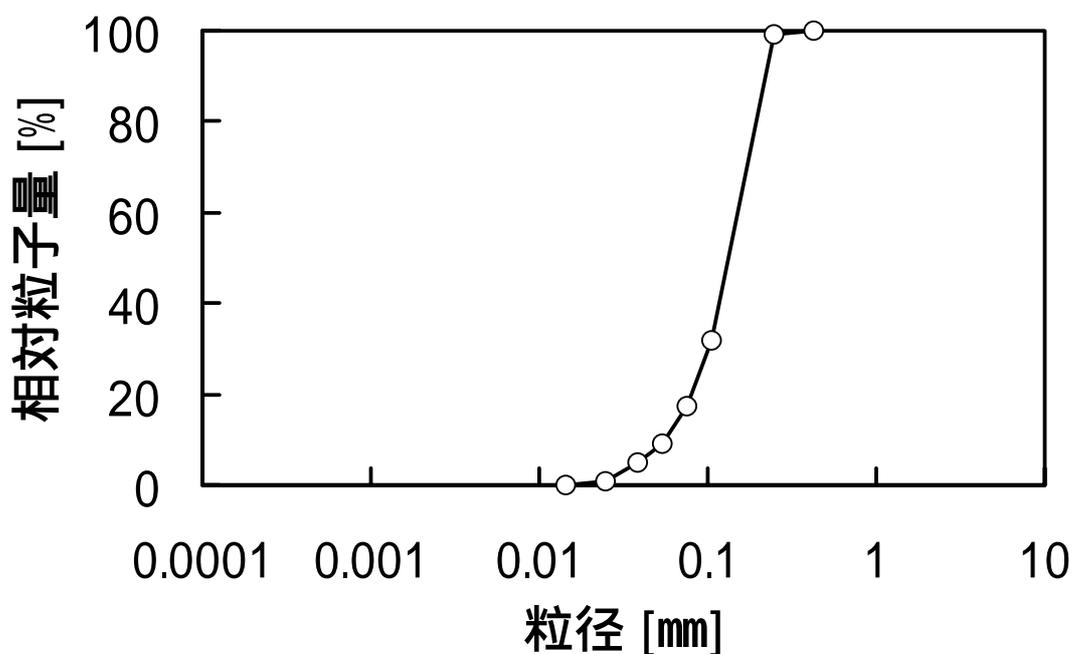


図 - 4 実験に用いた土砂の粒度分布

2.4 実験結果の概要

表 - 2 は各ケースで計測された土砂重量濃度、流速、採取した土砂の乾燥重量、浮遊砂採取器を通過した浮遊砂の乾燥重量、および、浮遊砂の採取効率を示したものである。

流速は採取時間内で計測した値の平均値とした。その値は勾配 1 / 50 の場合 (case1-1,2-1,3-1,4-1,4-2) で 105.1 cm / 秒から 124.1 cm / 秒、勾配 1 / 100 の場合 (case1-2,2-2,3-2) で 71.5 cm / 秒から 90.8 cm / 秒、勾配 1 / 200 の場合 (case1-3,2-3,3-3) で 83.1 cm / 秒から 98.6 cm / 秒の範囲であった。

土砂重量濃度は採取時間内で計測した値の平均値とした。その値は $4.11 \times 10^{-2} \text{ gf} / \text{cm}^3$ 程度の場合 (case1-1,1-2,1-3,4-1,4-2) で $4.03 \times 10^{-2} \text{ gf} / \text{cm}^3$ から $4.63 \times 10^{-2} \text{ gf} / \text{cm}^3$ 、 $2.33 \times 10^{-2} \text{ gf} /$

表 - 2 実験結果

実験ケース	流水中の流速 (cm/s)	流水中の土砂重量濃度 (gf/cm ³)	浮遊砂採取器の採取土砂重量 (gf)	通過土砂重量 (gf)	採取効率
1-1	124.1	0.0436	3475	5066	0.686
1-2	71.5	0.0412	2548	4285	0.595
1-3	98.6	0.0433	2292	4406	0.520
2-1	105.1	0.0232	1494	3439	0.434
2-2	90.8	0.0234	1270	2513	0.505
2-3	86.9	0.0231	867	2445	0.354
3-1	117.3	0.0153	929	2262	0.411
3-2	86	0.0138	292	1431	0.204
3-3	83.1	0.0143	273	1455	0.187
4-1	115.7	0.0463	1282	2309	0.555
4-2	119.4	0.0403	7203	11956	0.602

cm³程度の場合 (case2-1,2-2,2-3) で $2.31 \times 10^{-2} \text{ g f / cm}^3$ から $2.34 \times 10^{-2} \text{ g f / cm}^3$ 、 $1.37 \times 10^{-2} \text{ g f / cm}^3$ 程度の場合 (case3-1,3-2,3-3) で $1.38 \times 10^{-2} \text{ g f / cm}^3$ から $1.53 \times 10^{-2} \text{ g f / cm}^3$ の範囲であった。各ケースの土砂重量濃度は概ね表 - 1 に示した目標値になった。

浮遊砂採取器を通過した浮遊砂の乾燥重量は、流水中に含まれる土砂のうち流入口の範囲を通過したものとし、式 (2) により算出した。

$$W_p = \sum_n (C_{wi} \times A \times U_i \times \Delta t) \quad \dots (2)$$

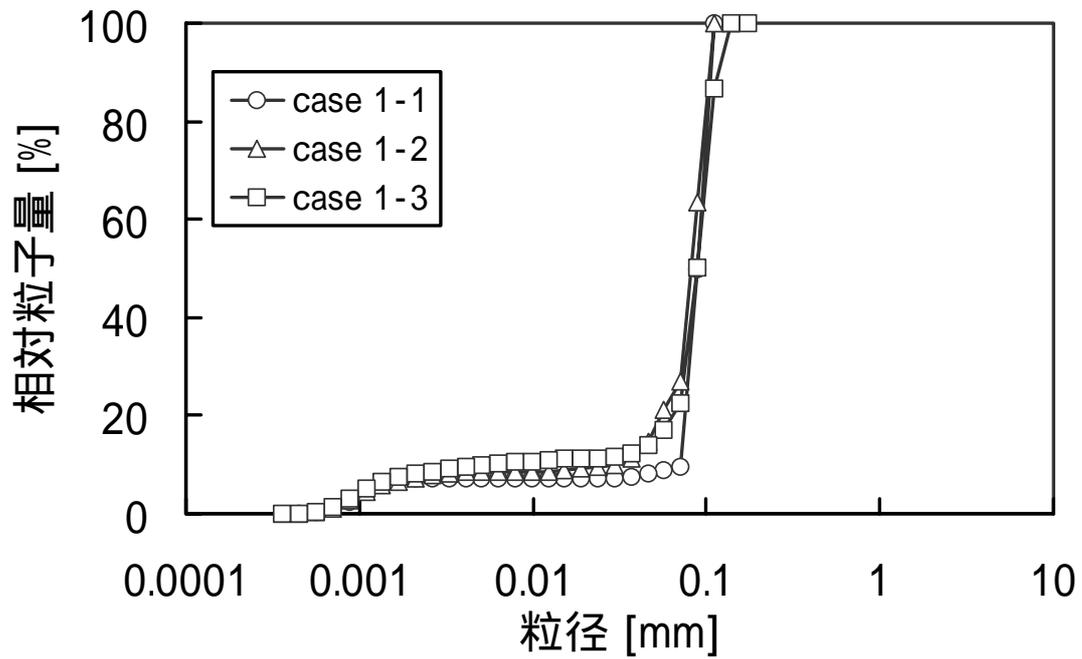
ここで、 C_{wi} : 濁度計で計測した、時刻 i における土砂重量濃度 [g f / cm³]
 A : 浮遊砂採取器の流入口の面積 [cm²] U_i : ピトー管で計測した、時刻 i における流速 [cm / 秒] t : 時刻 $i-1$ と時刻 i の間隔 [秒] である。

浮遊砂の採取効率 は式 (3) により算出した。

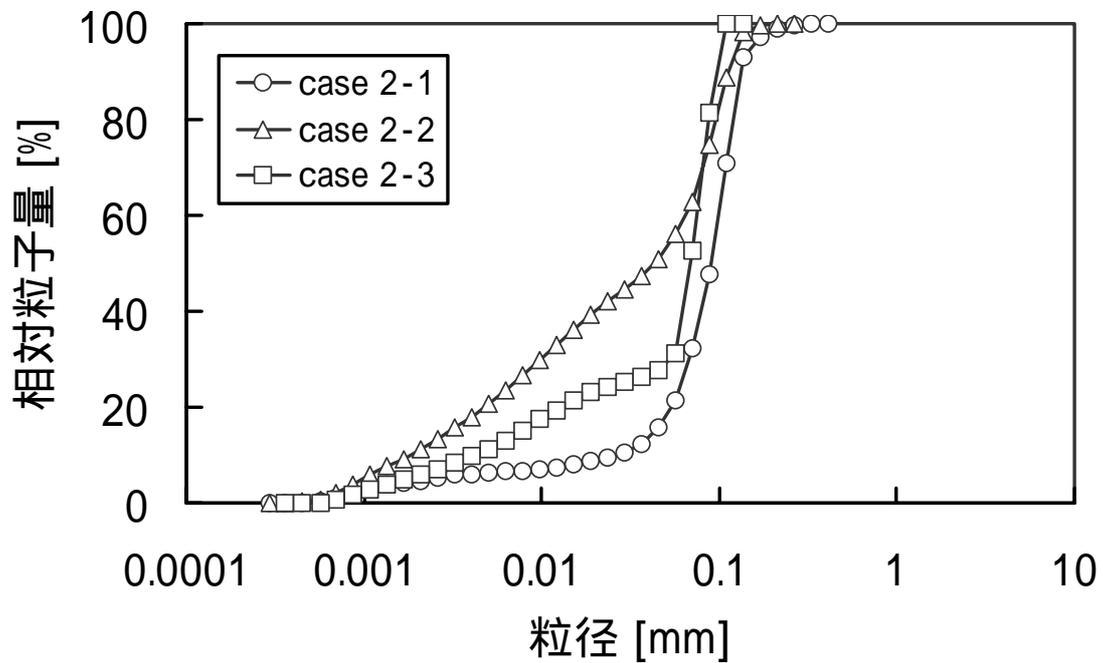
$$R = \frac{W_D}{W_p} \quad \dots (3)$$

ここで、 R : 浮遊砂の採取効率、 W_D : 採取した土砂の乾燥重量 [g f] W_p : 浮遊砂採取器を通過した浮遊砂の乾燥重量 [g f] である。採取効率は 0.686 から 0.187 の範囲となった。流水の土砂重量濃度が高いほど、また、水路の勾配が急になるほど、採取効率は高くなる傾向を示した。採取時間の違いによって、採取効率は顕著な差を示さなかった。

図 - 5 は浮遊砂採取器内に堆積した土砂をレーザーカウンターで求めた粒度分布である。粒度分布には顕著な傾向が見られないが、捕捉された土砂の大部分は $0.71 \times 10^{-2} \sim 1.38 \times 10^{-2} \text{ cm}$ であった。

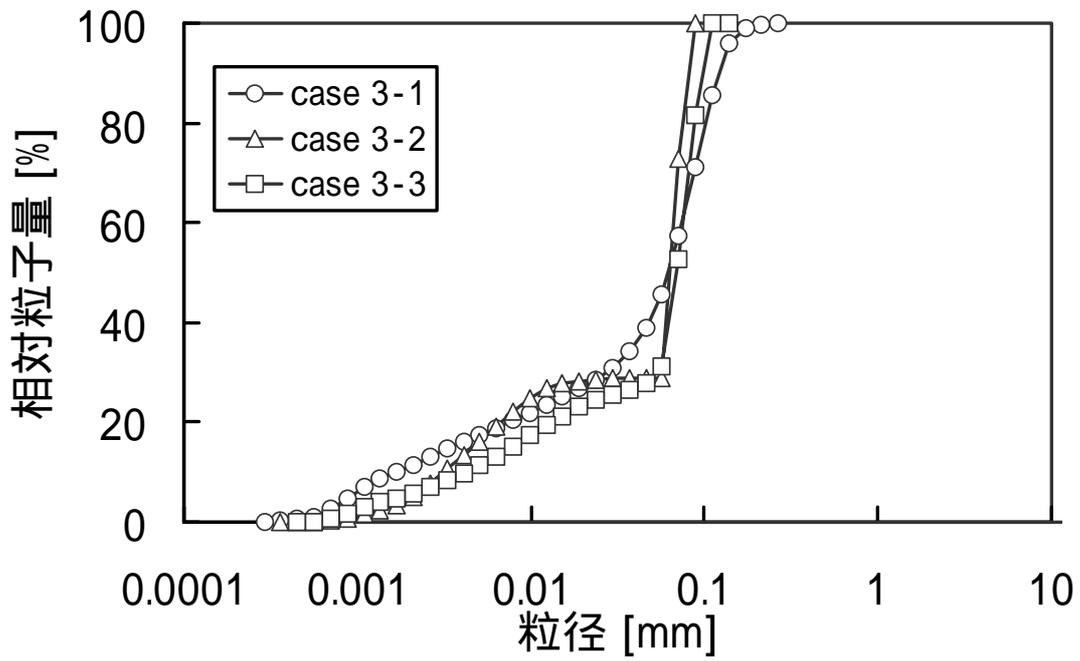


(a) case1 シリーズ

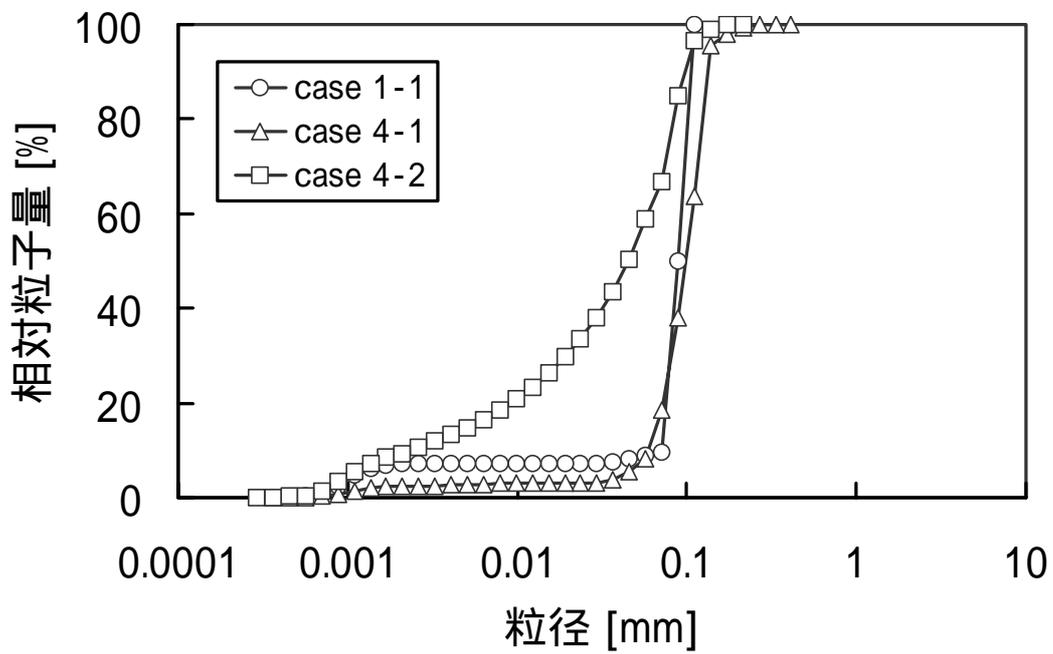


(b) case2 シリーズ

図 - 5 浮遊砂採取器内に堆積した土砂の粒度分布 (1 / 2)



(C)case3 シリーズ



(D)case4 シリーズ

図 - 5 浮遊砂採取器内に堆積した土砂の粒度分布 (2 / 2)