

洪水用浮遊砂採水器の試作と現場試験

A Suspended Sediment Sampler Designed for Floods and its Field Test

真野 明*・杉木基泰**

By Akira MANO and Motoyasu SUGIKI

A suspended sediment sampler was designed for the flood observation. From the requirement on the feasibility of measurement at many time-space points in one flood, we have produced a light weight sampler with a manometer which memorizes information of the measurement depth. This was tested for the flood of September 1994 in the Abukuma river with peak discharge of 3,000 m³/s. The grain size distribution of sediment and concentration were analysed and show significant change during the flood. The concentration near the bottom is also estimated.

Keywords: suspended sediment, floods, sampler, grain size distribution

1. はじめに

陸域から河口を通して海に流出する土砂は、大部分が浮遊砂の形態で洪水時に運ばれるため、これを測定することが、土砂量の精度良い評価につながる。河口を通過する土砂量は、沿岸の漂砂を考える場合には供給源としての境界条件になり、一方目を陸に向けると、流域で生じる土砂生産から輸送までの土砂動態の集約した結果と考えられるので、海・陸いずれの研究においても重要な量である。

浮遊砂の観測は、1930～50年代にアメリカ合衆国において盛んに行われた^{1),2)}。多くは長期観測を目的としたものであるが、1938年にはミシシッピ川の洪水時(水深10m, 平均流速1.5m/s)の鉛直分布が測定された³⁾。我が国では佐藤ら⁴⁾により、1954年と1955年の利根川の出水が計られている。洪水期間の浮遊砂の詳しい観測は非常に限られている。

その後、浮遊砂の研究は、室内での実験・解析に移り今日に至っている^{5),6)}。土砂量を算定するには粒径に関する情報が不可欠であるが、これを手に入れるには観測が必要である。また土砂量に大きく関係してくる、底付近の基準点濃度に関しても提案された式の間には大きな開きがあり、どれを用いれば良いかは事前には決められない。さらに近年、沿岸域あるいは流域における大規模な土砂移動のシミュレーションが行われるようになってきているが、その研究の基礎となる河口での土砂流束を精度良く評価したいという要請がある。これらは、いずれも観測の必要性を指し示している。さらに、前に述べた観測から約半世紀を経過した現在、観測に関する環境

*正会員 工博 東北大学助教授 工学部土木工学科
(〒980-77 仙台市青葉区荒巻字青葉)

**学生会員 東北大学工学部土木工学科

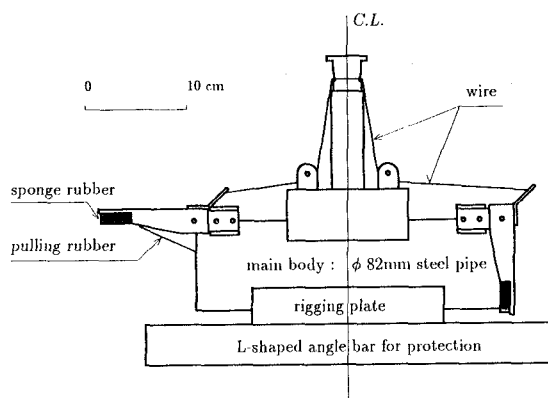


図-1: 採水器の正面図

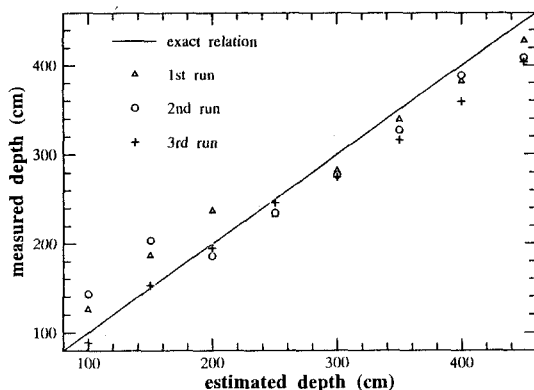


図-2: 簡易圧力計の検定

も変化している。観測開始に必要な洪水到達時刻は予知できるようになっているし、採取した試料の分析技術は格段に進歩している。以上の状況から、河口を通過する土砂量の評価を最終目標として、本研究は採水器を試作するところから始め、阿武隈川での洪水試験、試料の分析結果までを報告するものである。

2. 採水器の製作

市販の採水器は汎用性を重視し、静水や低流速時を基本に設計されているので、洪水を測るには必ずしも向いていない。洪水の特徴は高流速、非定常性にある。その中に浮遊する土粒子の濃度と粒径分布が土砂量算定に必要な情報で、少なくともその一部は測らなければ分からない量である。このため、出来るだけ多くの時空点で採水が可能なように、取り扱いが簡単で、軽量の採水器を作ることを見優先させた。採水器は橋の上よりロープで吊るして、水中に投入することになるが、軽量にすると高流速な流れに押し流されて、ロープの繰り出し量からは、採水位置を知ることが出来なくなる。なお市販の採水器は鉛直懸垂を前提としているので、位置決めの問題は無いが、高流速時には鉛直懸垂に必要な重錘の重さが大きくなり操作性が失われてしまう。本採水器では簡易圧力計を取り付けることにより採水位置を得ることにした。

図-1が採水器の正面図である。左半分が蓋が開いた状態を、右半分が閉じた状態を示している。上流側蓋、下流側蓋とも常時ワイヤーで引っ張り全開としておく。上から落としたメッセンジャーの錘が、採水器の頭部を叩き、全開状態に保っているワイヤーをはずし、蓋の内部に張ってあるゴム紐の張力により、蓋を瞬時に閉じるようにした。なおこの蓋を閉じる機構は日本大学の長林研究室の方式に習った。

また簡易圧力計には透明なビニール管（内径4 mm、肉厚1 mm）を用いた。管の一端は閉じて、中に空気柱を閉じこめておき、他端は外の圧力が作用できるように解放しておき、採水地点の水圧で空気を圧縮する。メッセンジャーの錘で蓋を閉めると同時に圧力導入部を閉じる機構を作り、採水地点の圧力を固定した。採水器を上へ引き上げたのち、空気柱の長さを測り、ボイル・シャルルの法則より採水地点の圧力を求める。ここで、ビニール管の弾性変形と、閉じこめた空気柱の温度変化による影響は微小なので無視した。

図-2は静水状態において、採水器を釣り下げ、簡易圧力計の検定を行った結果である。最大誤差 ± 40 cmで水深を求められることが分かる。採水器の質量は約6.5kg、一回の採水量は1.6ℓである。

3. 現場試験

採水器の試験現場は東北大学から車で40分程の距離にある、阿武隈川河口近くの国道6号線に架かる阿武隈橋とした。この近くには建設省の岩沼流量観測所があり、ここの水位データを利用することにより、外力に関する情報が得られる。また阿武隈川は水路延長が長く、上流にもいくつかの流量観測所があるので、それらの洪水情報から、観測開始時刻を的確に決めることができる。

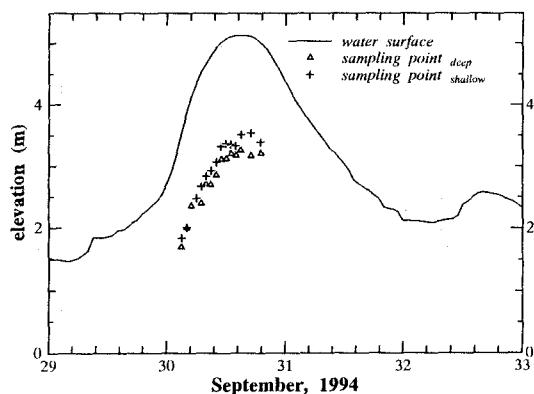


図-3: 採水位置

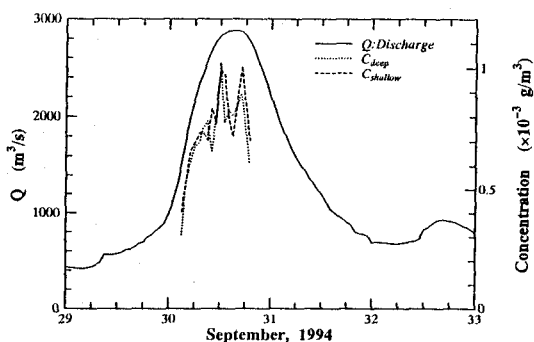


図-4: 濃度変化

対象とした洪水は1994年9月29日～30日の台風28号に伴う洪水で、阿武隈川河口岩沼流量観測所で警戒水位を越える5.1mを記録した。阿武隈橋の中央部より採水器をロープで下流側に下ろし、洪水の立ち上がりから、ピークが過ぎるまでの約16時間を、約1時間間隔で、毎正時、測定した。常時3～4人で観測にあたり、観測時間が長いことから適宜交代した。1点の観測は、採水・圧力測定・容器の移し換えを含めて数分で終了する。図-3は全観測の時空間点と洪水水位の関係を示す。河床は縦軸の座標で約-1.6mの位置にある。

採水位置は、各時刻とも表面付近と、できるだけ底に近い位置の2点の採水を試みたが、採水器の姿勢を安定させるために取り付けけた翼に揚力が働き、図に示した位置までしか潜らせることが出来ず、結果として比較的浅い位置での採水となった。現在、翼形の改良を行っている。

4. 採水結果の分析および考察

採水した資料は2つに分け、質量濃度と粒径分布の2項目について分析した。質量濃度は一定容積の試料を間隙が1 μ mのフィルターで濾した後、乾燥させ、電子天秤で質量を計り求めた。各測定点の濃度と流量の経時変化を図-4に示す。全体として、流量が増すにつれて、濃度が増加していることが分かる。また、各時刻の深部と浅部の濃度差は位置が近いこともあって小さく、また濃度の大きさは、浅い測点のものが大きいこともある。この原因として、2測点の時間差や、局所的な乱れの影響あげらる。しかし、それよりもさらに大きな濃度変動が存在しており、2測点同位相で、時間スケールも5時間程度と長い。2測点の距離は比較的近いが、測定時間差が数分で移流速度が1m/sのオーダーであることを考えると、この長周期変動は局所的な乱れでは説明することができず、上流域の空間的あるいは時間的な濃度の変化が移流してきているものと考えることができよう。

粒径分布は、コールター・カウンター⁷⁾を用いて分析した。これは、電解液で満たした細孔の両端に電圧をかけておき、土粒子が細孔を通り電解液を押しよけることにより、土粒子体積に対応した抵抗変化が生じることを利用したもので、これにより各土粒子の体積毎の個数が求められる。粒径 d は体積が等価な球の直径である。ここで、分析器の細孔は100 μ mのものを用了。図-5に観測開始時とピーク時の粒径毎の個数分布と粒径加積曲線を示す。粒子は60 μ m以下に分布し、ほとんどが粘土、シルトである。個数は分析限界の最細粒のものが最も多い。時間の経過と共に、特に細粒分の個数が増加し、これが粒径加積曲線を左にずらし、中央粒径 d_{50} を観測開始時の12 μ mから、ピーク時の9.5 μ mまで下げている。

次に濃度と外力の関係を調べる。洪水を等流近似し摩擦速度 U_* を求めた。平均河床勾配は約1/3300であり、横断面形状については実測結果をもとに台形を当てはめて径深を求めた。浮遊砂濃度の鉛直分布については、平衡状態についてのRouseの理論式⁸⁾がいろいろな場合に合うことが良く知られているので、これを使って、底面近くの基準点濃度 C_B を求めた。ここで基準点は河床より水深の5%の点とし、また沈降速度 W_0 は中央粒径より

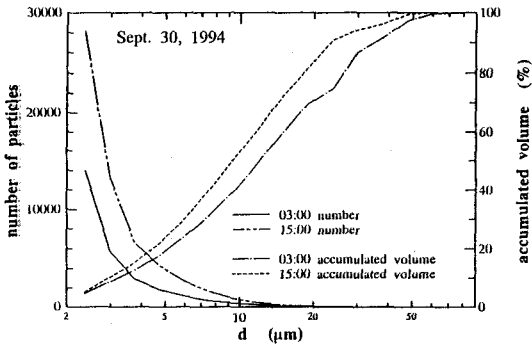


図-5: 粒径分布と加積曲線

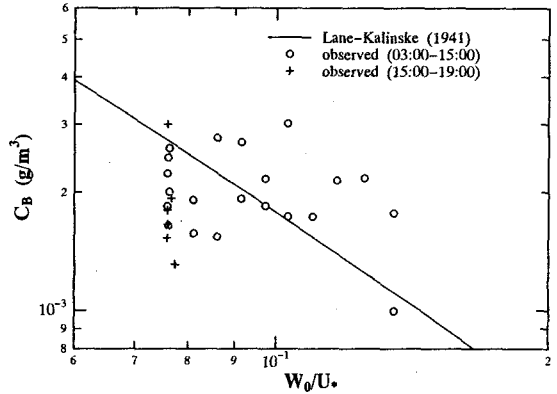


図-6: 基準点濃度

求め、カルマン常数 κ は0.4で一定とした。結果を図-6に示す。観測結果は洪水のピークを境として前と後ろで記号を変えてプロットしてある。最初は平均粒径が大きく、摩擦速度が小さいので、図の右側に位置するが、時間の経過と共に W_0/U_* が小さくなり質量濃度が増加する。洪水ピークを過ぎると、濃度が急速に小さくなり、前述の長周期変動の影響もでてくる。参考のために、Lane-Kalinske(1941)の提案式を実線で示した。本観測から計算された点のほぼ真ん中を通っている。

5. おわりに

本研究で試作した採水器により、洪水時に多くの点の採水が比較的簡単にできることがわかり、また試料の分析より、洪水期間中の濃度変動や粒径分布とその変化が求められた。一方、底付近の測定ができないという問題点も見つかり、今後はこれを改良してさらに多くの点の採水をし、所期の目標に近づきたいと考えている。

最後に本研究では以下の恩恵を受けた。日本大学の長林助教授より手作りの採水器を見せて頂き、本試作器製作の参考にした。また、観測計画および観測結果の解析には河川情報センターの洪水水位データを利用した。さらに、コールターカウンタは東北大学水道工学研究室の備品を使わせて頂き、東北大学の沢本正樹教授からは研究遂行にあたって貴重なご意見を頂いた。本研究の研究費の一部は、河川整備基金研究助成から賄われた。また本論文の公表にあたって小川記念基金の補助を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- (1) Cambel, F.B. and Bauder, H.A.: A rating-curve method for determining self-discharge of streams, Trans. AGU, pp.603-607, 1940.
- (2) Brune, G.: A comparison of the sediment loads carried by the missouri and upper mississippi rivers, Trans. AGU, 30-3, pp.396-400, 1949.
- (3) Lane, E.W. and Kalinske, A.A.: Engineering calculation of suspended sediment, Trans. AGU, pp.603-607, 1941.
- (4) 佐藤清一・吉川秀夫・芦田和男: 河川の土砂流送に関する研究, 建設省土木研究所報告, 第101号, pp.49-64, 1959.
- (5) 川村三郎: 土砂水理学1, 森北出版, 339p., 1982.
- (6) 中川博次: 流砂量の算定, 吉川秀夫編著「流砂の水理学」第3章, 丸善, 543p., 1985.
- (7) 粉体工学研究会編: 粒度測定技術, 日刊工業新聞社, 347p., 昭和50年.
- (8) Rouse, H.: Modern conceptions of the mechanics of fluid turbulence, Trans. ASCE, 102, pp.463-505, 1937.