

光電堆積計の試作と天ヶ瀬貯水池における水文観測 (第 1 報)

金 成 誠 一・奥 田 節 夫

EXPLORATORY STUDY OF A PHOTO-ELECTRIC SEDIMENT METER AND ITS APPLICATIONS TO DEPOSITS SURVEY IN AMAGASE RESERVOIR (I)

by Seiichi KANARI and Setsuo OKUDA

Synopsis

This report describes a few types of photo-electric sediment meters capable of determining the thickness of sediment deposited in lakes or reservoirs for a short period, and shows some results of deposits survey in Amagase reservoir. The measurement by these sediment meters shows a rapid local deposition (250mm/day) during a flood by the typhoon 6524 in Amagase reservoir, while the rate of deposition in ordinary inflow does not exceed 16mm/month. Hydrological observation in the Daido and Seta rivers during the same flood was carried out to investigate the suspended load flowing into the reservoir.

1. 緒 言

著者らは、貯水池または湖水の堆積の詳細な測定的重要性に着目し、昭和39年度から太陽電池を応用した光電堆積計を試作したが、その最初の試験的装置(A-1型)の概要についてはすでに序報¹⁾に述べた通りである。A-1型では水中のにごりにもとづく測定誤差は、付属の濁度計により補正されるが、濁度の測定原理自体が「対象とする媒質中の光の減衰は媒質中の浮游砂の濃度に関係し、浮游砂の粒度組成には無関係である」という単純な仮定を暗に含んでおり、きわめて一般性に乏しい。この仮定は粒子の粒径範囲が0.5~100 μ に限られる場合には妥当であるが²⁾、この範囲外ではその成立は保証されない。この問題は鉛直濁度分布測定器の設計にも関連しているので目下検討中である。堆積計が設置される河床付近では浮游砂の粒度

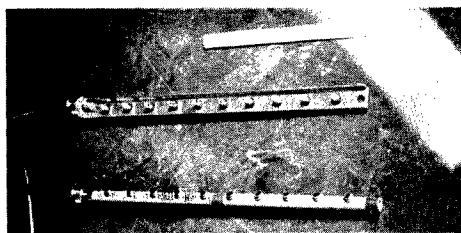


Photo. 1 Array of photo-cell elements and lamps of D-1 type sediment meter.

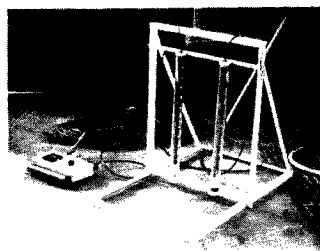


Photo. 2 A view of the D-1 type sediment meter.

組成に大きな変動があるであろうから、こうした変動による濁度の測定誤差が堆積厚の測定値に持ち込まれ

る危険性が多分にある。この点を考慮して、今年度は光電素子を1箇所ずつ切換えて、各素子への光の入射の有無を判定し、これによって堆積厚を測定するという原理的には最も単純な方法を採用し、これに部分的な改良を施しながら、D-1型からD-3型までの試作を行ない、これと平行して、これら試作堆積計による実際の堆積の測定を行なった。以下にその概要を述べる。

2. 堆積計の概要

D-1型の受光素子には有効受光面直径8mmの太陽電池を使用した。この太陽電池10個を5cm間隔で直径10mmの塩化ビニール管に一列に配置し(Photo. 1), 一方, 集光レンズ付きの豆電球10個を巾3mm, 長さ50cmの固定板に5cm間隔で一列に固定して, それぞれを内径40mm, 厚さ3mmの透明アクリル円管に収納し, 各電球からの光束がそれぞれ対向する太陽電池に有効に入射するような位置で, 約20cmの距離をおいて平行に堆積計のフレームに電球群が固定されている(Photo. 2)。この装置では光源に3Vの直流電源を使用するように設計してあるが, 受光素子と豆電球をそれぞれ同時に切換えるために, 水中の堆積計本体と陸上の測定部とを連絡するコードには21芯のキャプタイヤーケーブルを使用した。しかし, 光源はかならずしも1個ずつ切換える必要はないので, D-2型においては光源を2個に減らし, 受光素子の数をその分だけ増して素子間隔をせまくすることにより測定の精度を上げを試みた。D-2型に使用した受光素子を Fig. 1に示す。これは15mm×15mm×250mmのプラスチック棒の一側面に3.5mm×4.0mmの矩形板状の太陽電池20個を, 図に示すような間隔で一列に配置したものである。各太陽電池からのリードはプラスチック棒の中心を通過して棒の下端にまとめて引き出されており, それぞれのリードはキャプタイヤーケーブルの各芯線に防水

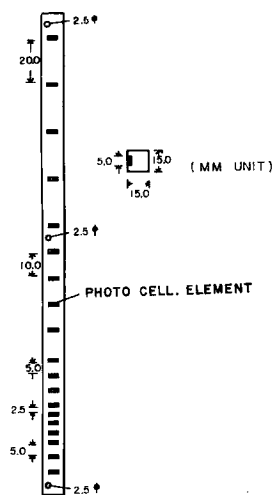


Fig. 1 Array of photo-cell elements of the sediment meter D-2 and D-3.

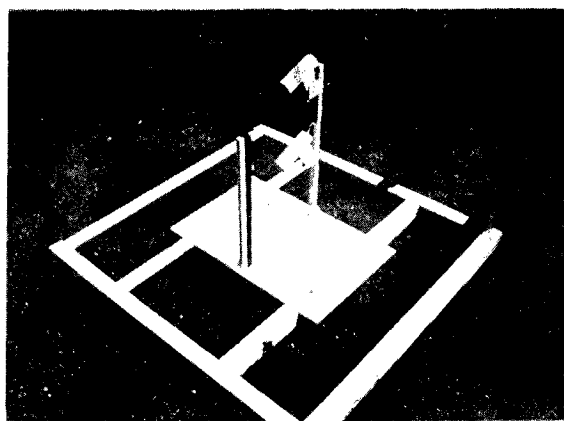


Photo3. A view of the D-2 type sediment meter.

を施されて連結されている。プラスチック棒自身も完全な防水が施されており, このままの状態で水中使用が可能である。堆積計の相対誤差をほぼ測定範囲全体にわたり一様に分散させる目的で, 各受光素子の配列は図に示すように下端で最小間隔2.5mm, 上端で最大間隔20mmにとつてある。光源は6V10Wの電球2個からなり, それぞれの電球は投光窓を持った直径20mm, 長さ40mmの円筒に密封され, それぞれ, 堆積計基板に垂直に立てた10mm×10mm×250mmの直鋸棒に固定されている(Photo. 3)。光源用電源は交流100Vをスライダックで降圧して使用している。D-2型では光源と受光素子間の距離が各受光素子により異なるので受光素子の出力電流は一樣にならず, 浮泥層の厚みの判定を行なう場合には, その都度出力電流の分布

特性と比較しなければならないという手間がかかる。そこでD-3型では直径20mm、長さ250mmの直線フィラメント電灯を光源に使用した。Photo. 4 および Fig. 2 にD-3型の概観ならびに回路図を示す。なお、D-1型およびD-2型の回路図はD-3型の回路図の光源部分を前述の各種光源で置きかえたものであり、原理的にはほとんど変化はない。前述の各堆積計の諸元は Table. 1 に示す通りである。D-2、D-3型では、礫などによる破損をさける目的で堆積計の光源および受光素子を1cm目の金網で覆ってある。

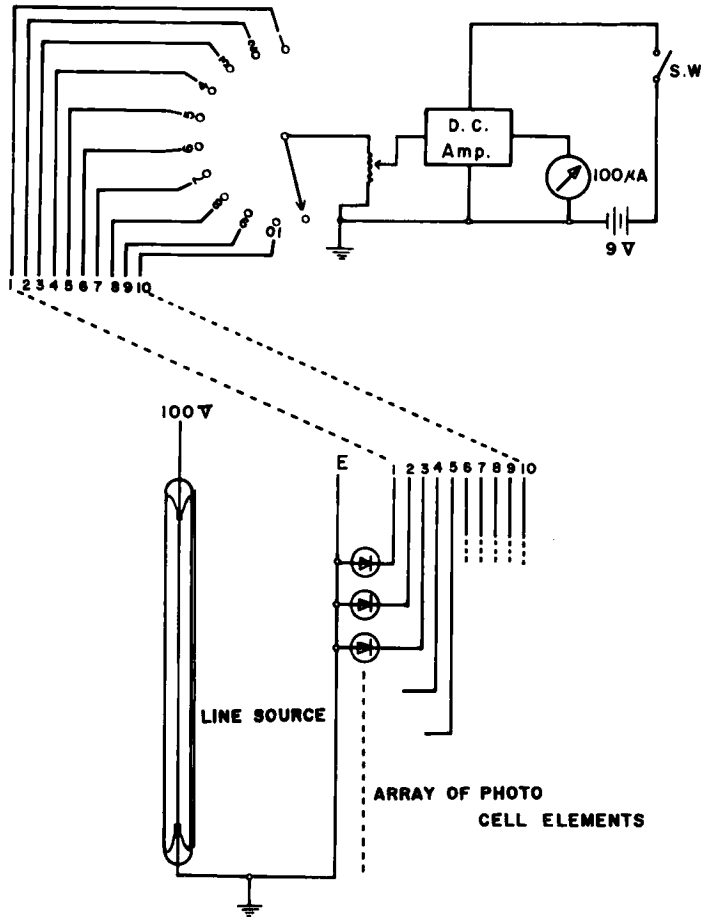


Fig. 2 Schematic circuit diagram of the sediment meter D-3.

天ヶ瀬貯水池における堆積計設置点付近の底付近の流速は通常（放流のないとき）数10cm/secであり、放流 300ton/sec のときでも流速が 2m/sec を越すことはない。この点を考慮して、試作堆積計はいつでも最大流速 2m/sec まで転倒しないように重心を下げて設計してあった。しかし後述のごとく、洪水時のダムの予備放流による異常水位が 2m/sec 以上の大流速を誘発する結果になり、前述の最大流速の見積りは結果的にきわめて甘いものであったと言わざるを得ない。

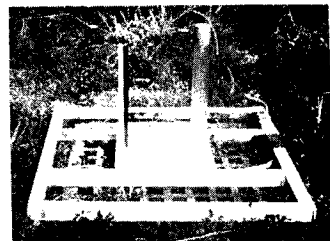


Photo. 4 View of D-3 type sediment meter.

Table. 1 各堆積計諸元

型名	D-1 型	D - 2 型				D-3 型
		D-2-1	D-2-2	D-2-3	D-2-4	
受光素子数	10	20	20	20	20	20
素子間隔	5.0cm	最小2.5mm 最大20 mm	最小2.5mm 最大20 mm	最小2.5mm 最大20 mm	最小2.5mm 最大20 mm	最小2.5mm 最大20 mm
光源	豆電球×10	6V10W×2	6V10W×2	6V10W×2	6V10W×2	100V30W×1
光源用電源	D. C. 3 V	A. C. 100V	A. C. 100V	A. C. 100V	A. C. 100V	A. C. 100V
コード長	25m	110m	210m	60m	90m	240m
測定範囲	500mm	250mm	250mm	250mm	250mm	250mm

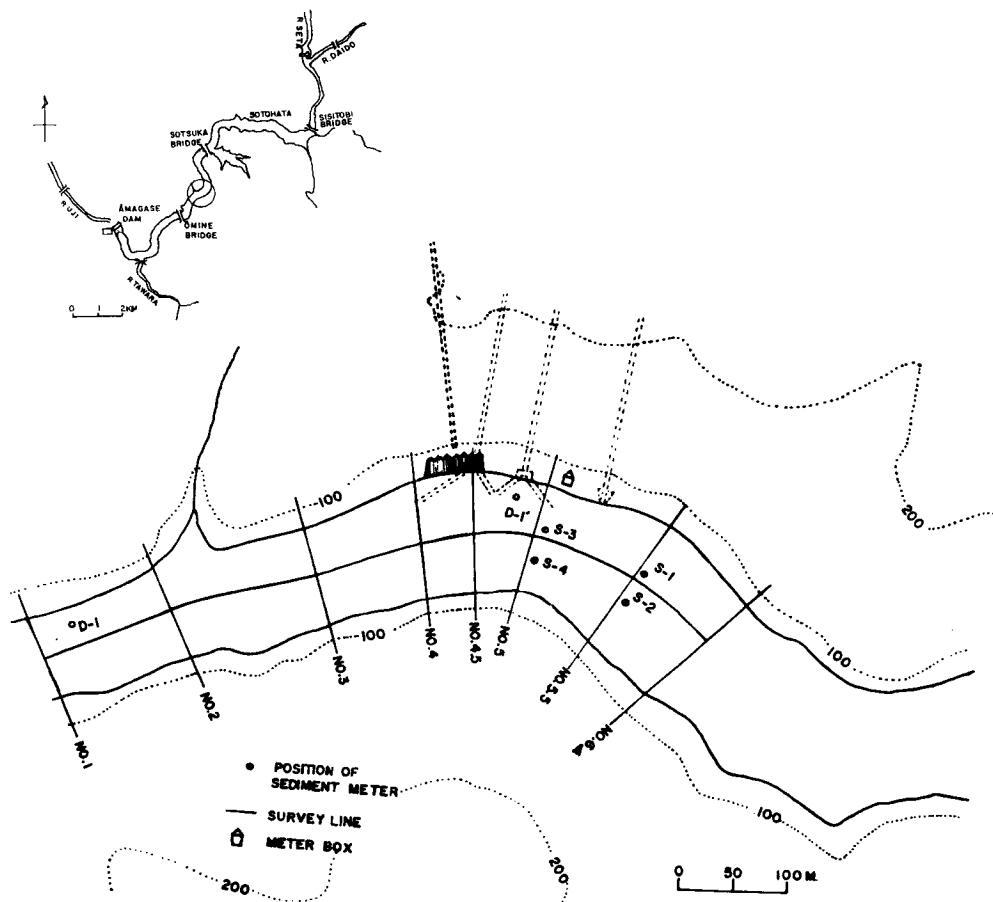


Fig. 3 Location of sediment meters and survey lines of bottom topography.

3. 天ヶ瀬貯水池における観測例

Fig. 3 に試作堆積計の設置点を示す。測点D-1はD-1型堆積計の設置点を示す。D-1型は昭和40年6月から8月まで同地点に設置され、毎月1回の測定が行なわれたが、この堆積計にかかるほどの堆積（堆積厚5 cm）は認められなかったので、8月18日に測点D-1'の位置に移したが、移動直後に設置場所付近の

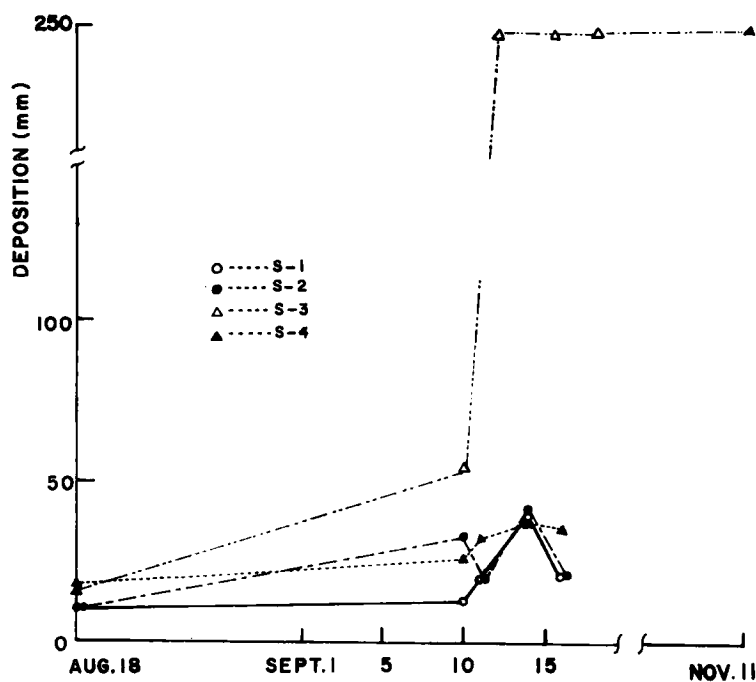


Fig. 4 Observed deposition thickness.



Photo. 5. A view of the section No. 4 during unusual low water level in Sept. 11, 1965.



Photo. 6. A view of the section No. 5 during unusual low water level in Sept. 11, 1965.



Photo. 7. A view of the section No. 6 during unusual low water level in sept. 11, 1965.

岸が崩壊し堆積計が埋没してしまったために、D-1型によるその後の測定は不能となった。このときまでにD-2型堆積計4台を完成し、これを測点S-1からS-4までに各1台ずつ設置し、洪水時の堆砂に重点をおいた観測を行なった。特にこの地点を観測対象地域としてえらんだ理由は、この付近が関西電力喜撰山揚水発電所の計画地点として、すでに各種の測量ならびに工事が行なわれており、観測施設(特に電源)に便利であることと、水路の蛇行部であるために地形的特色が興味深いことによるものである。各堆積計からのコードは右岸の観測小屋に集められ、観測はこの中で行なわれる。設置点付近の底質は粒径1mm~数mmの砂礫よりなり、各堆積計はアクアラング潜水により水底表面のレベルよりも20~30mm下に堆積計基板が位置するように設置された。Fig. 4は前述のD-2型堆積計による堆積測定の結果である。それによると、8月18日から9月10日までの堆積量はS-1からS-4までそれぞれ2mm, 20mm, 37mm, 7mmという値を示しているが、10日から11日にかけての23号台風による洪水調節放流のために、設置点を含む貯水池上流部の湖底が露出(Photo 5~7)されるほど貯水池水位が低下し、これに上流からの洪水流入が加わったために、みは筋に沿って予想外の急流が発生(3~4m/sec)し、S-2では局部的な洗掘が、またS-1, S-3およびS-4では堆積の傾向があらわれている。特にS-3においては、この放流の直後に250mm以上の堆砂が観測されている。その後9月14日までは各点とも一様な堆積の増加があり、14日以後は台風24号にそなえての二度目の放流にもとづく水位の異常低下により、ふたたび洗掘の傾向があらわれている。この時も、S-3に関しては台風23号時に完全に埋没した状態のままであり変化は認められていない。たまたま24号台風による洪水のために、流木等によりS-3を除く堆積計の大部分が損傷を受けその後の観測は続行

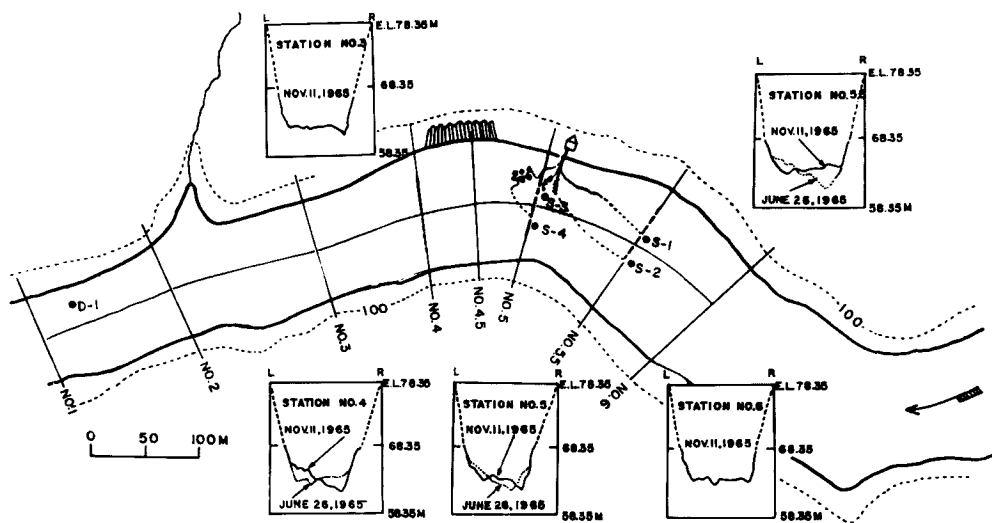


Fig. 5 Variations of bottom profile between Nov. 11th and June 26th, 1965, near the stations of sedimentmeters.

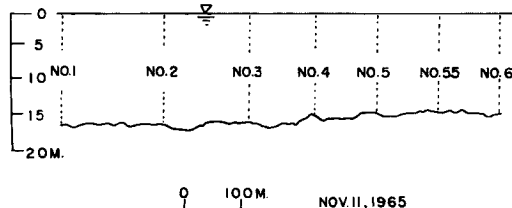


Fig. 6 The bottom profile along the longitudinal survey line.

不能となった。S-3の完全埋没は台風後の潜水調査により確認されたが、他の堆積計については設置場所の水中視程が数10cmしかなく、その上堆積計コードが途中で砂中に埋没しているためにその先をたどることが出来ず、そのために状況確認はできなかった。Fig. 5, 6は堆積計設置点付近の昭和40年6月26日および11月11日における湖底形状の記録の結果である。記録は携帯用小型探深機によるものであり、測深精度は良くないが底の形状の大まかな視察には充分使用しうるものである。この記録から明らかなように、約5ヶ月間に底の形状は激しい変貌を示しており、堆積、洗堀の傾向としては弯曲部特有の副流によるそれとほぼ一致している。これと同じ時期に、同地点から採取した湖底表面砂の粒度組成をFig. 7に鎖線としてある。

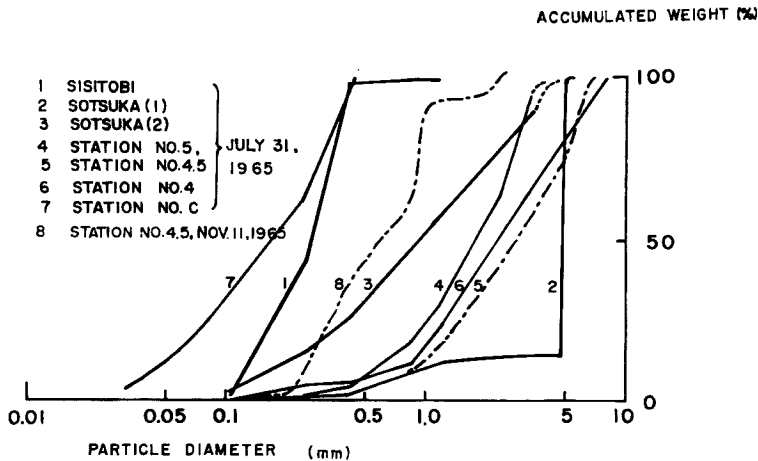


Fig. 7 Size distributions of bottom sediment in Amagase reservoir.

これによっても、底の砂粒の構成がすっかり変わってしまっているのがわかる。同図には天ヶ瀬ダム直前（測点C）対象地点（No. 4, No. 5）ならびにその上流約3kmに位置する曾東大橋の左岸（1）と、流心部（2）で採取した湖底表面砂の粒度組成を比較のために示してある。こうした貯水池の上流部から下流部にかけての砂の組成分布は、一般に言われているように上流部で粗らく下流部で細いという傾向は必ずしも一致しないように思われる。このような底の形状および粒度組成の変化は、洪水調節放流による水位の異常低下にもとづく大流速のためにかなり顕著な砂の再移動が起ったためと思われる。

4. 大戸川の浮游砂

天ヶ瀬ダム内の堆積測定と関連して、貯水池内の堆砂がどこからどのような形式で輸送されてくるかを知ることが重要である。一般に貯水池内に搬入される土砂は、1) 洪水時の濁流を形成する浮游砂、2) 掃流砂、3) 風浪および流れによる貯水池周辺の岸の浸食崩壊、の三形式に大別される。A. V. Karashev^{3) 4)}らは湖内の風浪による3)の形式が貯水池内の濁りに大きな影響を与えていることを指摘しているが、天ヶ瀬貯水池のように湛水面積の小さなところ（湛水面積1.88km²）ではあまり重要でないと思われる。2)の掃流砂については次の機会にゆづり、今回は主として浮游砂だけに注目する。浮游砂の観測は貯水池流域内で最も濁水の供給が大きいと思われる大戸川を対象に、洪水時の浮游砂量の観測を行なった。貯水池内にも数個の観測点を設けて洪水時の浮游砂量の同時観測を計画していたが、観測員の不足と落石の危険のために、洪水時における貯水池内の測点での連続的観測が遂行できなかったことは誠に残念であった。台風24号による洪水流入時の観測結果はFig. 8に示すとおりである。このうち、気圧および雨量強度に関するデータは大島井における値であり、近畿地方建設局天ヶ瀬ダム管理事務所の提供によるものである。浮游

砂量は洪水時に3時間毎に採取した表面水を濾過乾燥後、秤量し、1 l 中の重量に換算した値で示してある。これによると大戸川の通常の浮游砂含有量は 0.04g/l 以下であるのが、洪水時（17日零時頃に流量の peak があったと推定される）には 3g/l と約100倍近い値にまで増加している。こうした浮游砂の粒度組成

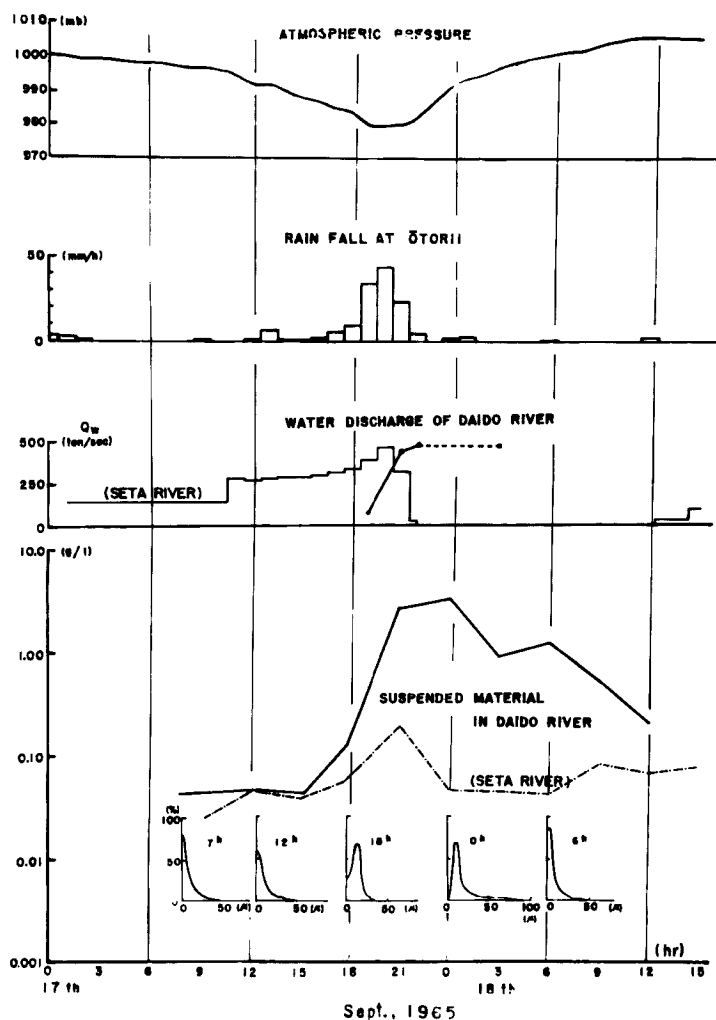


Fig. 8 Hydrological data during flood inflow accompanied with the typhoon 6524.

（頻度分布）は大部分が 50μ 以下であり、流量の増大にともなって粒径範囲がひろがる傾向はみられるが粒径 100μ を超える砂粒はきわめて少ない。 50μ 以下の粒径の砂粒は静水中で約 0.2cm/sec 以下の沈降速度を有するから、洪水時にも静水中と同じ沈降速度を持ち、大戸川河口から貯水地下流部までを平均水深 10m 、平均流速 2m/sec を仮定したとき、 10m を沈降する間に砂粒は約 10km だけ輸送される。平均 0.2cm/sec という沈降速度は乱れの強い洪水流入時の水流に対しては過大な見積りであり、こうした浮游砂が洪水流入にともなうダム放流中に貯水池上流部に堆積するとは考えられない。したがって、現在堆積計を設置している貯水池中流部ではこうした浮游砂の影響はすくなくとも洪水流入時にはほとんどなく、むしろ掃流砂による影響

の方が格段に大きいように思われる。今回は掃流砂に関する観測は行なわれなかったため、その影響について直接に論ずることはできないが、今後は掃流砂をも含めた貯水池内の堆砂の観測を実施することが必要であろう。

5. 結 語

前年度に引き続き、今回は Step type の堆積計を試作し、これに二、三の改良を施して天ヶ瀬貯水池内の堆砂の観測を試みた。貯水池の異常低水位による大流速の発生により、堆積計の一部が損傷を受け長期間の観測はできなかったが、各種の測定結果を総合すると次のようなことが結論される。

(1) 対象地点付近の堆積状況は平水時には 1.6cm/month 以下であるが、洪水流入時には局所的に顕著な堆積 (25cm/day 以上) が発生する。

(2) 対象地域の洪水流入時の堆砂の機構については、現段階では総合的考察はできないが、超音波測深および粒度分析の結果からみて、浮游土砂の沈降、または fore set bed の移動によるものでなく、異常低水位にともなう大流速の水流によって、過去の堆砂が再移動を起こしたものと考えられる。

(3) 堆積、洗堀の巨視的傾向は弯曲部の副流による傾向とほぼ一致しているが、微視的には必ずしもそれと一致しない。

(4) 洪水時の大戸川からの浮游砂流量は瀬田川のそれよりも多いが、こうした浮游砂の対象地点への影響はほとんど無視しうる。しかし、掃流砂については今後の調査が必要である。

(5) 今後も、今回のような異常低水位が洪水流入時に再現されるものと思われるので、堆積計の強度を増すことが必要と思われる。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、観測の便宜を与えられた近畿地方建設局天ヶ瀬ダム管理事務所、ならびに関西電力淀川水力調査事務所に深甚の謝意を表す。また、堆積計の製作ならびに潜水調査に対し、多大の協力を惜しなかった防災研究所技術員横山康二氏に感謝する。なお、この研究は、文部省科学研究費の補助を受けたことを付記し謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 金成誠一「光電堆積計の試作と天ヶ瀬貯水池における水文観測（序報）」京都大学防災研究所年報第8号，昭39. p. 555
- 2) 川口寅之輔，田村院司共著「粒度」コロナ社昭39
- 3) A. V. Karaushev., Turbidity and the propagation of turbid zones. Transaction of the State Hydrological Institute., No. 111, 1964, pp. 81~95.
- 4) A. Ya. Shvaltsman., Investigation of turbidity of the Kremenchug reservoir., Transaction of the State Hydrological Institute., No. 111, 1964, pp. 96~121.