

河川

土屋昭彦*
山村和也**

1. まえがき

河川を機能的に見た場合、治水・利水の両面から水の流れを安全に、しかも利用しやすいように制御することがもっとも重要である。したがって、計画や工事を行なう場合にも、河道の中を流れる水の性質と、河道という構造物の力学的性質の把握が必要となる。河道の問題は、単に力学的な面からの検討のみならず、水との相互作用を考慮すべきことはもちろんであり、なかでも、砂・砂利等の河床材料は、河道を構成しながら洪水によって運搬され、河道を変形させる性質をもつ。すなわち流送土砂は、水の性質と関連して河道計画上重要な問題の一つである。

河川に関する測定についても、大別して水に関するものと、河川構造物に関するものに分けられる。河川では、水に関する測定を総括して水文観測と呼ぶ。すでに基礎編において水に関する測定のうち、流水に関するものについての概要を述べたので、今回は河川を中心とした水文観測の考え方について述べることにする。

河川構造物については、もっとも工事量の多い河川堤防などの土工を中心として、その測定法を説明する。

2. 水文観測

河川に関する測定のなかで、水文観測の占める割合は大きい。その内容を列挙すると、降雨量、降雪量、積雪深、蒸発量、河川（湖沼を含む）の水位・流速・流量、水質、地下水、流砂土砂などきわめて種類が多い。

これらの観測は、当然それぞれの必要性和目的を持って行なわれるのであるが、これら水文資料は、治水や利水の調査、計画、施工のすべての段階において基礎となるものであって、多目的な要素を多分に持っているといえる。

* 正会員 建設省土木研究所河川研究室長

** 正会員 建設省土木研究所土質研究室長

(1) 降水量観測

河川の改修計画を立案するに当たっては、その河川に起こり得るいろいろな洪水の流出特性を把握することが必要であり、そのためには、洪水の原因となる流域内の降雨分布状況を正確に観測することが重要となる。現在の治水計画では、計画高水流量を決定するのに、過去の統計資料より求めた年超過確率を一応の基準にしているが、多数支川の合流する流域面積の大きな川では、降雨分布の変化によって流出状況も変わるので、計画降雨のような考え方も必要となってくる。

降水量観測所の配置基準^{1),2)}は、およそつぎのようである。(1) 分水嶺にさえぎられて、降水分布が変化することが多いから、適当に水系を分割してそれぞれに少なくとも一つを配置する。(2) 同一水系でも面積があまり大きくなると、地域分布が問題となるから 50~100 km²を目安として観測所を増やす。

観測器具は、長期巻および日巻の自記雨量計と、降雨時に観測人が一定時刻ごとに降雨量を測定する普通雨量計とがある。自記雨量計には多くの種類^{3),4)}があるが、大別して転倒ます型と貯水型（サイホン型）とに分けられる。転倒ます型は、降り始め、降り終りの時刻が正確にわからないが、動作は確実である。サイホン型は、サイホンの曲りの影響があり、調整が微妙である。気象庁では、日巻式にはサイホン型を、長期巻（3ヵ月巻）には転倒ます型を採用している。

積雪量^{3),4)}は、降雪の少ないときは、雨量計の受水口に量のわかったお湯を注ぎ、受水器にたまった雪をとかして計る。積雪量の多いところは雪量計を用いる。これは、口径 20 cm の円筒で、これにたまった雪を同様の方法でとがして測定する。自記雪量計としては、雪の重さを測るヘルマン型と、雪の人った円筒をバネばかりにのせ、雪の重さによる円筒の動きを自記させる方式とがある。

これらの雨量記録は、日降水量として整理されるが、洪水の場合には、かなり短時間の降雨分布が問題であり、時間雨量のデータが要求される。

雨量観測は河川の改修計画のみならず、ダム操作などのための洪水予報を正確に行なうためにも重要で、このためには遠隔雨雪量計が使用される。しかし、日本のような山地流域では、降雨から流出まで数時間程度の遅れしかないで、より早く雨量をキャッチする方法として、最近レーダー雨量計^{5),6)}の研究がさかんになった。これは、波長の短い（波長 3~10 cm 程度）電波を放射して、雨粒によって反射してくる電波を捉えて、雨粒の量とそこまでの距離を算出する。電波は距離の 2 乗に反比例して減衰し、また途中の空気や、雨粒によっても減衰され、雨粒の粒度分布によって反射が違うなど、多く

の修正を必要とするが、これを電子計算機などに自動的に行なわせている。レーダー雨量計のもう一つの特徴は、面積雨量が求められることで、いままでの点雨量の観測に比べ、いちじるしい利点である。九州電力のレーダー雨量計の観測⁷⁾では、20 cm 口径の雨量計と比較したところ、ほとんど一致する結果を得ている。

(2) 水位、流量観測

水位、流速、流量の測定方法については、基礎編を参照されたい。

観測所設置の基準^{1), 2)}については、その河川の改修計画の樹立、検討、工事施工などの要請により必要な地点に設置されるが、一般につきのような地点が選ばれる。

(1) 計画施工、維持管理上重要な地点、(2) 重要な派川の分合流前後、狭さく部、遊水池、河口、湖沼および貯水池等の水理状況を知るために必要な地点。

この他、洪水時には、定められた水位観測地点の他に全川の最高水位を調べることが必要となる。これを洪水痕跡調査と呼ぶが、洪水直後に堤防斜面に残された浮遊物の位置、草の倒れ方、シルトの付着状況などを判断して最高水位を求める。

(3) 流土土砂観測

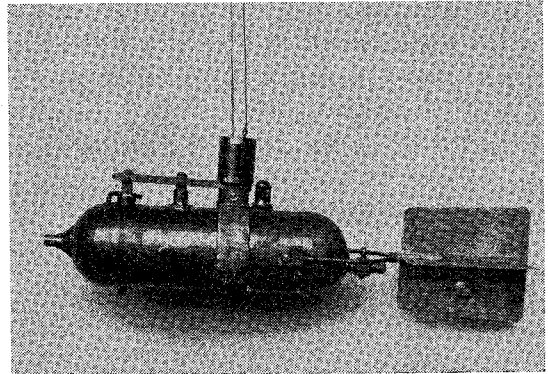
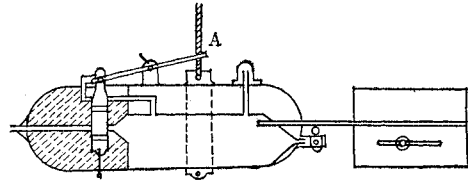
a) 土砂輸送の形式

水の流下にとまらぬ土砂の移動は、その輸送形式として浮遊によるものと掃流によるものがある。浮遊土砂は、乱れの鉛直上向き成分によって、土砂の細かい粒子が浮遊した状態で輸送されるのに対し、掃流土砂は河床の近くを転動したり、跳躍したりしながら流れている。浮遊土砂の鉛直方向の濃度分布を調べると、ほぼ対数分布にしたがっており、河床付近の濃度は掃流形式の土砂濃度に一致するはずである。このことは浮遊と掃流との限界を明確にすることがむずかしいことを意味している。

b) 浮遊土砂観測

浮遊土砂の観測器具にはいろいろな形式が考案されたが、現在実用されている形式としては、point integrating 式と depth integrating 式の両者に大別される⁸⁾。前者は、採水器を水中の測定位置に固定し、その地点を通過する浮遊土砂を連続して一定時間採水する方式であり、観測器具にはアメリカの製品では US P-46 があり、国産では土研式簡易採水器 B 型⁹⁾ が広範囲に使用されている。流水断面内の濃度分布を知るためには、このタイプを流速計と併用して観測する。後者は、採水器を水面から水底まで、採水口を開放したまま一定速度で移動させて採水し、流水の平均濃度を知ろうとするもので、沈降時、引揚時とも採水するもの、沈降時だけ採水するものなど種類がある。同じくアメリカの製品としては US

図-1 土研式簡易採水器 B 型



D-43, D-47 DH-48^{8), 10)} などが、国産品ではこのタイプは見当たらない。

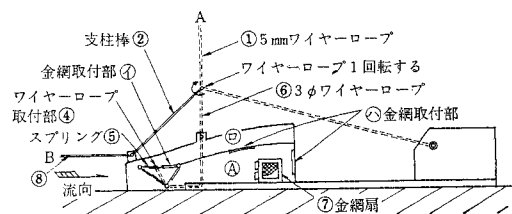
これらの採水器が具備すべき要件は、流水中において流水を乱さないこと、短時間の濃度変動に左右されないこと（流水の乱れの規模に応じて採水時間が十分長いこと）、流入流速がその地点の河川流速と同一であることなどで、簡易採水器 B 型では図-1 のような機構であり、2重のタンクになっていて所定の水深に固定されると、外側のタンクに流入した水が内側のタンク内圧力とバランスし、動水圧のみで水が流入するようになる。ワイヤーを介しておもりが下されると A 部をたたき、弁が上って採水される。弁を開放して使用すれば、depth integrating 式として使用できる。

c) 掃流土砂観測

掃流土砂を観測する器具としては、バスケット式、平皿式、圧力差式、溝式あるいは箱式⁸⁾ などが、河床に応じて適当な形式を選定する。流量の遅い、粒径の小さい緩流河川では、いずれのタイプでも利用できるが、急流河川では主としてバスケット式が使用される。

バスケット式の一例は、土研式掃流採砂器で図-2 に

図-2 土研式掃流採砂器



示すような構造をもっている。④部が捕砂室でこれの後部に金網があり、水だけ後方に流出し、流入口から流入した土砂が捕砂室に堆積する。このような箱が、流れの中におかれると流線を乱し、採取される掃流土砂量も変化するため、あらかじめキャリブレーションを行なう必要がある。Shamov や Einstein⁹⁾ は採砂器の 1/10, 1/15, 1/25 などの模型を作って人工水路で験を行ない、乱さない状態の掃流量に比べどの程度採砂量が減少するかを調べたが、明確な結論を得るに至っていない。土研式についても水路側壁からの観測を行なってその採取状況を調べたが、流れを阻害することなく、上流からの流砂がそのまま流入することが確かめられた。しかし、河床に砂れんや砂堆などが発達した状態では、流砂量が不連続となるため測定時間が問題となる。

溝式は、河床に細長い溝を横断して設け、これに落ち込む掃流土砂量を水とともにポンプで吸出し定量する方法で、流砂量の少ない小河川では利用できる。同じような考え方で箱式は、河床に箱を埋設し、洪水中のある時間にふたを開閉して土砂を捕捉する方法である。しかし、ふたの開閉の機構や、掃流土砂量に比較して箱の大きさをどの程度にするかなど、今後の研究課題が多く、現在日本で実用されているのは主に土研式採砂器である。

d) 観測方法^{11), 12)}

浮遊土砂は平水時にも観測を行なうが、掃流土砂は主として洪水中であり、流速が大きく一般に観測は容易でない。船や、横断ロープ等を利用することは困難であり、橋梁を利用するのがよい。掃流採砂器は重量があり、できれば動力ウインチの利用が望ましい。動力ウインチを備えた観測車¹³⁾を利用している例もある。

観測には、同時に水位、流速、水面勾配、流水断面積等の水理量の測定が必要である。

e) 資料整理

浮遊、掃流とも、採取された資料を乾燥計量後、単位幅当りの土砂量として整理する。必要に応じて資料の粒度分析を行なう場合もある。粒度分析には、粒径の大きい掃流土砂では、ふるい分け試験によるが、浮遊土砂では、沈降分析を用いるほか、風を利用した分析法など^{14), 15)}も考案されている。

流送土砂量は、河川の水深、流速、水面勾配などの水理量と密接な関係があり、これら結び付けるのが流送土砂公式である。水理量から流送土砂量が求められれば、計画河道の設計や河床変動計算などに利用できるが、これらの精度は、使用する土砂公式の精度に大きく支配されるから、観測された流送土砂量から、これらの関係を調べておくことは非常に重要である。

建設省の技術研究会では^{13), 16)}、多くの河川で流送土砂

の観測を行なって、佐藤・吉川・芦田公式（掃流）、Einstein 公式（掃流と浮遊）、修正 Einstein 公式（掃流と浮遊）、Lane-Kalinske 公式（浮遊）などと比較した結果、つぎのような問題点が指摘された。

① 河床材料が砂のような緩流河川では、これら公式の適合性は比較的よいが、山地急流河川では 10~100 倍程度も異なる例が多い。

② 浮遊流砂量のうちの wash load の占める割合を正確に知る方法がない。これは、浮遊流砂の沈降堆積の機構（流水中での）がまだよくわからないためでもある。したがって、Lane-Kalinske 公式や、Einstein 公式など wash load を含まないとしている公式との比較には、かなり問題がある。

③ 観測値と計算値とは、流砂量の全量としてはほぼ一致しても、これを粒徑別に見た場合、その分布が非常に異なる例が多い。すなわち、これら公式の粒徑別の計算は信頼性が薄い。

④ 実用算定公式として、

$$q_s = K H^p I, \quad q_s = \alpha Q^n$$

ここに、 q_s : 流砂量、 K, α, n : 定数、 H : 水源、

I : 水面勾配、 Q : 流量

などの表示による適合性を検討したが、掃流、浮遊とも土砂公式によるより現地資料をよく表示する例が多い。しかし、これらの算定式でも測定値が非常にばらつく例もあり、水理量の広い範囲において実測し適合性のよい公式を見出す必要がある。浮遊の場合には、20 河川近くの例で全浮遊砂量 Q_s (wash load を含む) と流量 Q との間に

$$Q_s (\text{m}^3/\text{sec}) = 10^{-7} Q (\text{m}^3/\text{sec})$$

の関係がほぼ成り立つことが認められた。

3. 構造物周辺の洗掘深調査

河川構造物周辺の洗掘としては、橋脚、橋台の周辺の洗掘、水制先端部や湾曲部外縁の深掘れ、護岸に沿う洗掘、水門、床固めなどの水たき下流での深掘れなど非常に種類が多い。こうした洗掘現象は、洪水時にはなはだしく、出水がやむとまた元にもどるのでその実態がつかみにくいが、設計の基礎資料として実測データを収集することが必要である。測定方法としては大別してつぎの種類がある。

(1) 埋設法

あらかじめ、洗掘の予想される場所に鉛直に孔を掘り、識別資料として石炭粉やレンガくず、おがくずなどを棒状に埋め込んだり、あるいはレンガを一定間隔置いて積み重ねたりしておく。このようにしておく、洪

水中に洗掘されたところまでこれらの資料が押し流されるから、最大洗掘深を知ることができる。この場合、埋設位置を精度よく確認しておかないと、洪水後に見つけることが困難となる。

同様な考え方のリング法は、鉄棒またはパイプ等を立て、これにリングをはめて設置しておく、洪水中にリングは河床の低下とともに下るから、洪水後に掘り出すなり、重リング(図-3 参照)を用いるなど、その低下位置を最大洗掘河床とするものである。この場合は、埋設位置が確認しやすいが、棒やパイプの影響により、洗掘が促進されることと、これらが流水で曲がりやすい欠点をもつ。

(2) 音響測深器による方法

音響測深器を用いると数パーセントの誤差で河床位置を測定できる。この場合、問題となるのは超音波の発信、受信部の支持方法で、橋脚周辺の洗掘であれば橋脚や橋桁などを利用できるが、その他の場合にはかなり困難である。流速があまり早くないところでは、橋からロープでけん引したフロートを流し、これに送受感部を固定して観測する方法¹⁷⁾も実用化されている。

4. 河川堤防などの工事ともなう測定

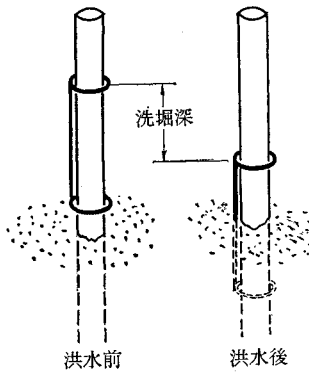
堤防などの河川構造物の工事ともない、他の同種の構造物に対する測定と類似した各種の測定が実施されている。河川堤防の築堤工事をはじめ河川工事には大規模の土工がかなり含まれており、土質工学上の問題も大きな比重を占めているので、この方面の測定についていくつか述べてみる。

(1) 築堤などの土工における測定

設計あるいは施工計画の立案のための試験、施工中の管理試験などは、他の同種の土工、たとえば道路、鉄道などの盛土に対するものとはほぼ同じである。

近年土工の規模が大きくなり、限られた工期内に大量の土を働かさなければならない場合が多いので、施工方式あるいは建設機械の選定が工事を円滑に進めるうえに重要な問題になっている。土工の計画や施工に当たり、とくに大切な条件となるのは土質および気象条件であるか

図-3 2重リング法



ら、事前に資料を収集し、十分な分析が必要になってくる。このため、土質調査を主体としたいろいろの試験が適用されるが、たとえばコーンペネトrometerによる貫入試験なども一般に用いられるようになってきている。これは粘性土の施工条件を示す数値としてトラフィカビリティを基準にしようという考えの下に、コーンペネトrometerによって求められるコーン指数をトラフィカビリティに結び付けようとする試みである。この方法は Waterways Experiment Station で提案されたもの¹⁸⁾であるが、測定が簡便であるため、わが国でも比較的よく用いられ、工事に適用する建設機械を選定する参考資料として利用されている¹⁹⁾。

地盤内の弾性波速度を測定するいわゆる物探は、古くから行なわれている地盤の調査法である。最近、簡単な打撃を地表に与えて、それによって起こる振動を受信して弾性波速度を求めるリップパーメーターと呼ばれる簡易な測定計器が現われている。岩石の掘削作業では、岩石の硬軟とともに節理やクラックの多少が施工の難易に影響するので、弾性波速度と施工方式をある程度結び付けることは可能であると考えられる²⁰⁾。掘削機械の選定ならびに軟岩の掘削の難易の判定にリップパーメーターがどの程度まで有効に用いられるかの検討²¹⁾の他にリップパーメーターによって掘削斜面の適正なり面勾配を見出そうとする試みも行なわれている²²⁾。

築堤の施工中の施工管理には多くの測定をともなうが、これは他の同種の土工と同じで、つぎのようなものが主体になる。(1) 材料の管理試験(土の良否の判定)、(2) 施工条件の管理試験(含水量の測定)、(3) 品質の管理試験(締固めの判定)。

土工管理に関するこれらの試験には土の粒度試験、コンシステンシー試験、含水量試験、単位体積重量試験などが含まれ、JISによって規定されているものが多いので説明は省略するが、最近土工の管理試験への適用が注目されたアイソトープを装備した調査機械について少し触れる。RI法による測定法、すなわち γ 線密度計および中性子水分計による密度、含水量の測定法はJISに規定されている土質試験法にくらべた場合の特長は、測定が簡単、迅速でかつ無破壊で行なえることである。しかしながらこの計器が開発されてから日の浅いこともあり、計器の使用法あるいは性能などに関して研究が行なわれている²³⁾にもかかわらず、実際の土木現場に使用するにはまだ改良しなければならない点が残っている。建設省でもRI法の土工管理への適用性に関する研究²⁴⁾が続けられているが、測定方法の標準化、使用機種の一統化の必要などが提案され、また従来のJIS法との測定値の比較、測定器自体の安定性、再現性、校正曲線の作成法などがさらに検討を要する問題点としてあげられて

いる(図-4)。

(2) 軟弱地盤における測定

河川下流部には多くの軟弱な沖積層が広がり、軟弱な地盤上への盛土工事がしばしば起こってくる。この場合に注意しなければならない点は盛土の安定性と沈下である。軟弱地盤上に築堤工事が行なわれる場合には計画段階において綿密な土質調査、土質試験が実施され、地盤の条件に適合した設計、施工法が立案される。しかし軟弱地盤の構成が複雑で、土の性質は変化に富むため、施工中にも常に地盤の状態を調べるための諸測定が実施され、観測結果にもとづく計画の修正がなされる場合も多い。

施工中行なわれている測定の主なものは、地盤の土の性質の変化、応力、ひずみである。土の性質としては土の強さ、間げき比、単位体積重量などが測定されるが、サンプリングによる試験の他に現位置の土の性質を測定する手段としてペーン試験機、オランダ式貫入試験機²⁵⁾、そう入型のラジオアイソトープ測定器などが利用されている。応力としては間げき水圧と土圧で、それぞれ間げき水圧計および土圧計によって測定される。またひずみとしては、沈下および変位の測定があり、沈下板、沈下計、変位杭、地すべり計、縦穴および横穴傾斜計などが用いられている。

間げき水圧ならびに土圧の測定に関しては、すでに基礎編で述べられているので、ここではひずみの測定についてのみ少し述べる。

図-4 ラジオアイソトープ利用の計器

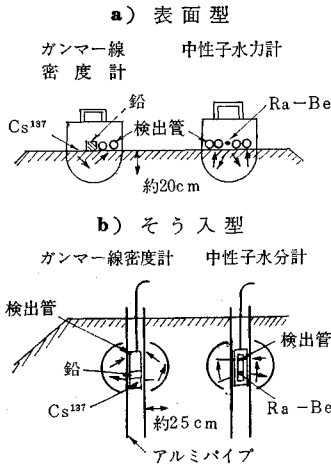
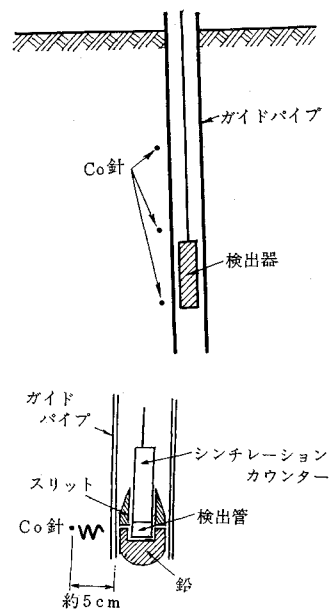
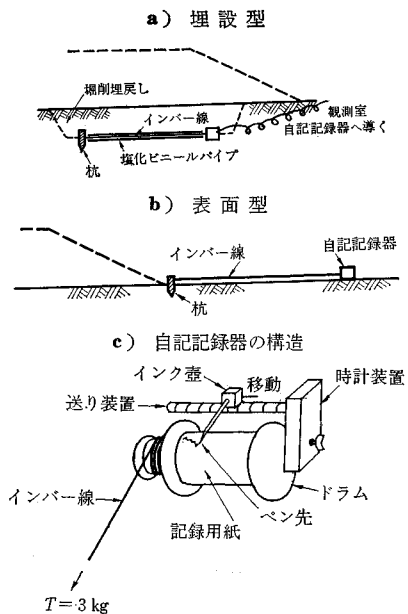


図-5 コバルト針による沈下測定



沈下量の測定は比較的容易で、盛土の施工速度の管理や計算結果との比較、築堤土量の検討などにも必要なので広く行なわれている。沈下計には多くのものが提案されており、使われているものにはスクリー型沈下計、固定板式沈下計、連続沈下計、層別沈下計などがある²⁶⁾。スクリー型沈下計または固定板式沈下計は最も簡単で多く使われているが、地表面に突出したロッドが施工の妨げとなるので、盛土の進行に応じて測定点を埋設していくアメリカ合衆国の開拓局の形式の沈下計²⁷⁾も利用されている。この他放射性的のコバルト 60 の針をボーリング孔から地盤内に打ち込み、その位置を検出器で測定する方法も試験的に行なわれている²⁸⁾(図-5)。

図-6 地すべり計の利用



施工中の盛土あるいは地盤のひずみの観測は盛土の破壊の予知という目的も持っている。これには沈下計のほか地すべり計あるいは傾斜計などが用いられている。地すべり計は2点間の相対移動量を自記記録するもので図-6のように堤体内に埋設したり、堤体のり尻とある距離を持つ不動点の間に設置する。表面ひずみの観測が盛土破壊予知にかなり有力な手がかりを与えるという報告もある²⁹⁾が、現在のところ観測例は少なく、破壊と表面ひずみの数値的な関連性を求めるところまでは至っていない。

軟弱地盤の調査に用いられている傾斜計は盛土あるいは地盤内に埋設したフレキシブルパイプの傾度の変化を測定して盛土の変形を調べるものである。普通、パイプは垂直に埋設するが最近パイプを水平に設置して測定する計器も試作され、図-7に示すように横断方向の変形の観測にも利用されている。

(3) 浸透に関する測定

河川堤防や地盤のろり水、河川構造物の築造にともなう掘削工事などで発生するクイックサンド、浸透水による斜面の破壊などの問題を検討するためピエゾメーターによる間げき水圧の測定を行なうことがある。また仮締切堤内や、掘削箇所での工事では、ウエルポイントあるいはデープウエルなどの排水設備によって地下水位の低下を計るが、工事の管理面から地盤内の間げき水圧の測定が必要になることもある³⁰⁾。たとえば堤防のろり水調査では、堤防法線に直角方向の線上にピエゾメーターを多数埋設し、洪水時に透水層内に発生する浸透流の水頭分布を測定する^{31), 32)}。地層の土質調査などとともに対策工法を決める資料として利用するわけで、ピエゾメーターにはウエルポイント式あるいはパイプの下端部に孔をあけた簡単なピエゾメーターを用いる(図-8)。地盤の透水係数が比較的大きければ、他の目的にも同様な型のピエゾメーターを用いて間げき水圧を測定してもよいが、透水係数の小さい地盤に対しては、いわゆる時間の遅れ (time lag) のはいつてこない形式の計器を用いなければならない。多孔管ピエゾメーターと呼ばれるものは、いわゆるキャサグラント型ピエゾメーターの改良型³³⁾で、図-8に示すようにスタンドパイプ式のピエゾメーターであるが、先端のポラスチューブを大きくし、周囲もフィルターで保護して水の流出入を容易にし、しかもスタンドパイプの断面積を小さくして透水性の低い地盤での使用を考えて作られている。この計器は安価であることならびに取り扱いが簡単なことで、軟弱地盤での間げき水圧の測定にも用いられているが、一応タイムラグの検討は必要であろう。

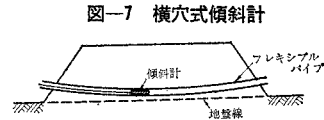
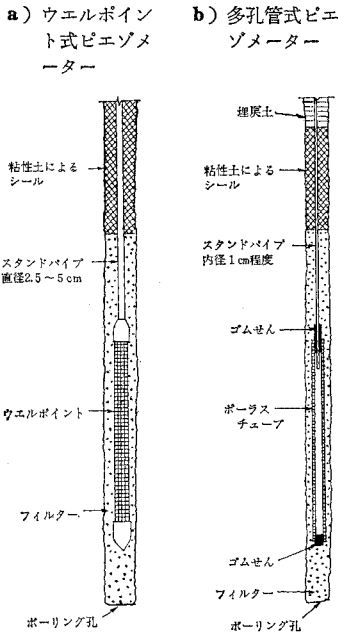


図-8 ピエゾメーターの例



参考文献

1) 建設省：河川砂防技術基準

- 2) 建設省河川局：水文観測業務規程，昭41年6月
- 3) 大田正次・篠原武次：実地応用のための気象観測技術
- 4) 佐貫亦男：地上気象器械
- 5) 木下武雄：レーダー雨量計について，土木技術資料 Vol. 7, No. 8, 1965.
- 6) 小平信彦・青柳二郎：レーダーによる雨量測定の諸問題，気象集誌，Vol. 39, No. 4, 1961.
- 7) 元田雄四郎：レーダーによる雨量測定と異常気象の観測，九州電力KK総合研究所
- 8) United Nations : The Sediment Problem, Flood Control Series No. 5.
- 9) 吉川秀夫・土屋昭彦：観測測定器に関する研究(2)一採水器に関する研究，土木研究所報告，93号，昭31年
- 10) United Nations : Measurement of the Sediment Discharge of Streams, Flood Control series No. 8.
- 11) 芦田和男：河道の設計法(2)，土木技術資料，Vol. 1, No. 2, 1959.
- 12) 土屋昭彦：流送土砂観測の手びき，土木技術資料，Vol. 6, No. 10, 1964.
- 13) 建設省技術研究会報告(第19回)河床変動に関する研究
- 14) Otto, G.H., Rouse, Huter : Wind-Tunnel Classifier for Sand and Silt, Civil Engineering, Vol. 9, July 1935.
- 15) Uppal, H.L. Singh, Gajinder : An Improved Sand Classifier, Transaction of the American Geophysical Union, Vol. 32, No. 6, Dec. 1951.
- 16) 建設省技術研究会報告(第20回)
- 17) 星畑国松：音響測深機による洪水時河床の観測について，建設省技術研究会報告(第19回)
- 18) Corps Engineers WES : A summary of trafficability studies through 1955 (1955) T.M. 3-240.
- 19) 日本道路協会：道路土工指針改訂案(未発行)
- 20) Caterpillar Co. : Handbook of Ripping, Caterpillar Company's instruction book.
- 21) 東北地建仙台機械事務所：リッパメーターによる軟岩破碎難易の判定，第18回建設省技術研究会報告，昭和39年
- 22) 稲田倍穂・土肥正彦：道路土工の調査から設計施工まで，昭和41年 鹿島出版会
- 23) ASTM : "Symposium on Nuclear methods for measuring soil density and moisture ASTM Special Technical publication No. 293, 1960.
- 24) 建設省土木研究所：ラジオアイソトープ利用による施工管理，第18回および第19回建設省直轄技術研究会報告，昭和39年および40年
- 25) たとえば土質工学会編，土質調査法，第4章サウンディング，昭和39年
- 26) 日本道路公団高速道路試験所：昭和39年度試験所報告，昭和40年10月
- 27) Bureau of Reclamation : Earth Manual, United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1960.
- 28) 渡部 務・島津晃臣：関東ロームを材料とする試験盛土について，土木技術資料，Vol. 8, No. 9, 1966.
- 29) 室町忠彦：軟弱地盤上の盛土基底破壊前後にあらわれる地表ひずみについて，土と基礎，Vol. 11, No. 3, 1963.
- 30) Gould, J.P. : "Control of construction dewatering by use of piezometers", Field testing of Soils, ASTM Special Technical Publication, No. 322, 1963.
- 31) 北野・川瀬・竹内・山村：河川堤防の地盤漏水とその対策について，土と基礎 Vol. 14, No. 7, 1966.
- 32) Turnbull, W.J. and Mansur C.I. : "Investigation of underseepage Mississippi river levees, Proc. of ASCE, SM 4, August 1959.
- 33) Daehn, W.W. : "Development and installation of piezometers for the measurement of pore-fluid pressures in earth dams", Field Testing of Soils, ASTM Special Technical Publication No. 322, 1963.