

フランスの水理研究所の印象

安 芸 周 一*

筆者は 1958 年 11 月より 1959 年 7 月までフランスに滞在し、この間三つの著名な水理研究所でその研究活動を見聞する機会を得た。三つの研究所とは Grenoble にある SOGREAH 社の Dauphiné 水理研究所 (Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique de la SOGREAH), Paris 郊外の Chatou にあるフランス電力およびフランス政府公共事業省の協同経営になる国立水理研究所 (Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou), および Toulouse にある Toulouse 大学付属高等工業学校の

写真-1 Dauphiné 水理研究所全景

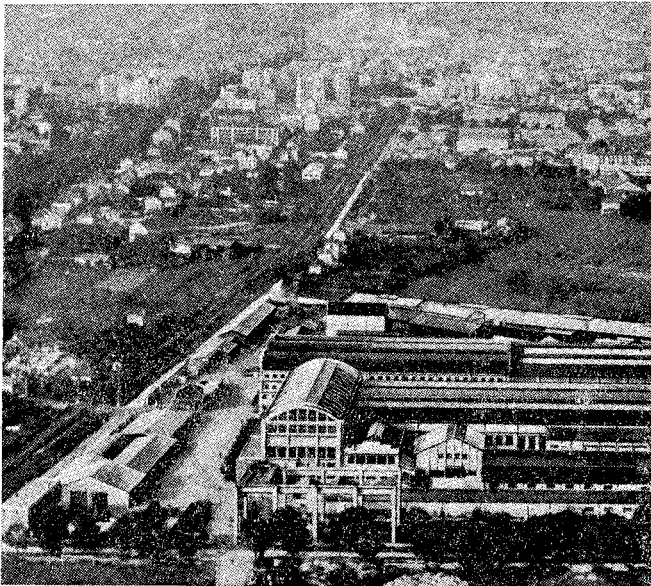
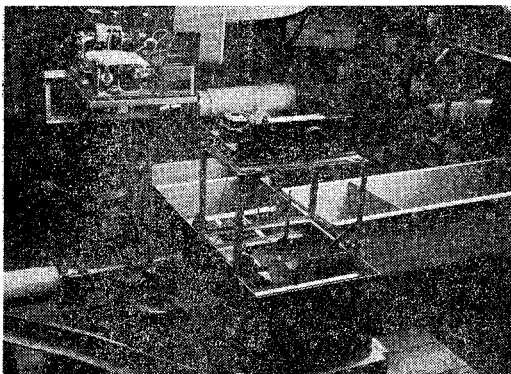


写真-2 プロバンス水路の波動現象の研究



* 正員 電力技術研究所第二部水理研究室

水理研究所 (Les Laboratoires d'Hydraulique de l'Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique et d'Hydraulique de l' Université de Toulouse), でフランス国内のみならず世界的にも主要な水理研究所である。

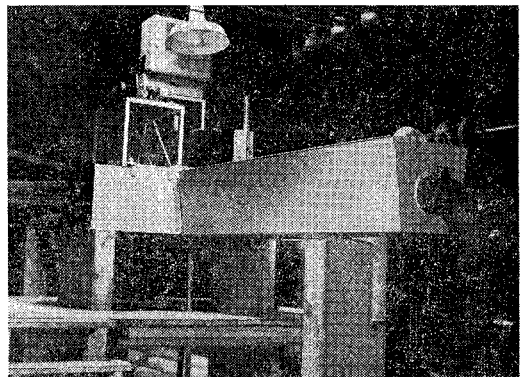
これら三つの著名な水理研究所はその機構も、また設立の歴史も異なり研究活動の方向、分野にもそれぞれ特徴があり、特に水理模型実験による工学的諸問題研究について、その動向をうかがい知り得たのは幸いであつた。

この三つの研究所のうち最も機構の大きくかつ研究分野の広いのは Dauphiné 水理研究所である。

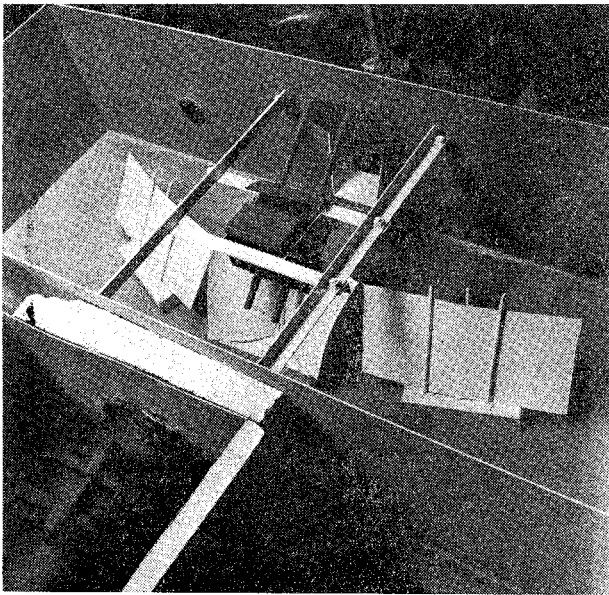
Grenoble はフランス アルプスの盆地に位置し、付近に水力開発地点の豊富な所から古くからフランス水力発電の中心地となつていた町であるが、ここにある水車、ゲートのメーカーである Neyrpic 社がこの研究所の母体である。当初は Neyrpic 社の水車効率の試験所として 1906 年に発足したものであるが、水力発電の発達および水理模型実験技術の進歩にともない次第にその研究分野を拡張し 1955 年 Neyrpic 社より SOGREAH 社として独立した水理問題の研究会社の水理研究所で、その研究活動は水車、ゲート、ダム洪水吐、サージ タンク等の水力発電上の水理的 問題から河川、港湾、海岸の問題はもとより、農業水利、土壌の研究、管輸送の研究、また近年は溶鉱炉内の炎の運動や火力、原子力発電所の冷却水の流れの研究に至るまで、きわめて活

動分野の広い私企業の研究所である。

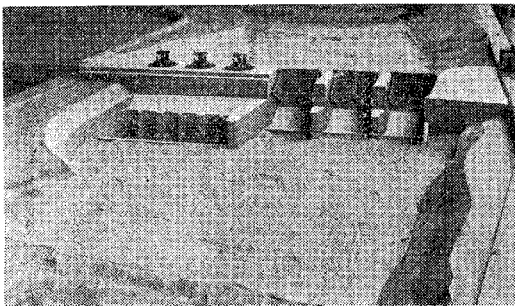
写真-3 開水路部分、自動水門、水位記録装置



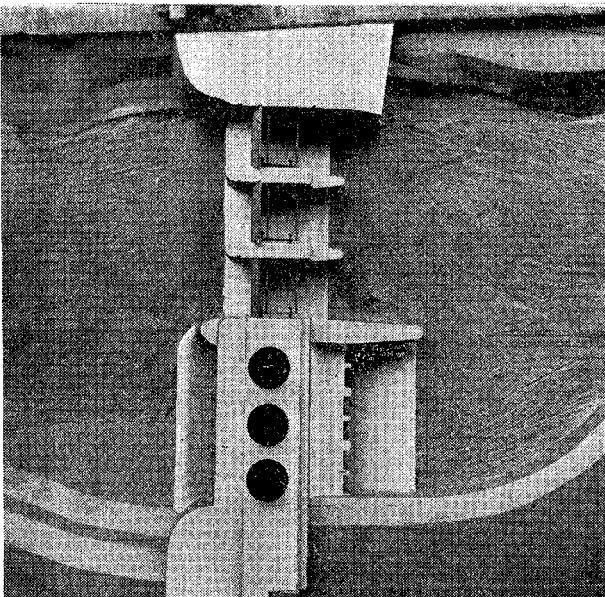
写真一4 開水路部分と下流水位を一定に保つ自動水門



写真一5 Beauvoir ダムの水理模型実験



写真一6 洗 掘 実 験



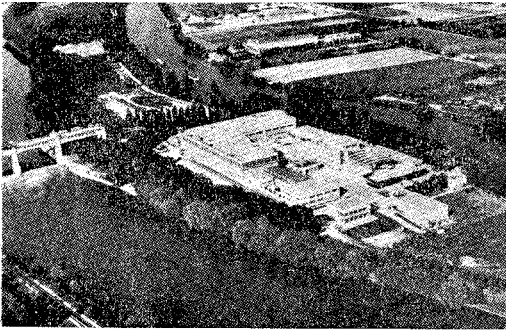
国立水理研究所の起源も Grenoble にある。第二次大戦後フランスの水力、水利工事が急速に発展した結果、種々の水理模型実験、現場での水理測定、およびその測定器の研究の必要に迫られた公共事業省とフランス電力が、1947年 Paris 郊外の Chatou の川中島に協同して研究所を設立した。このとき公共事業省はすでに 1939 年よりこの地点に研究所の建設を着手しており、その建屋と敷地を提供しフランス電力は当時 Grenoble の Beauvert にあつたフランス水工協会 (Société Hydrotechnique de France) の水理研究所の設備をここに移したのである。研究所の運営はフランス電力により行われており、構成人員はすべてフランス電力の職員であるが研究計画、資金計画等の全体的計画は公共事業省とフランス電力よりおのおの 2 名ずつ計 4 名で構成されている企画委員会の管理をうけている。

この研究所の研究活動は Dauphiné 水理研究所と同様に水力発電の分野のみならず水理学の基礎的諸問題の研究から海岸、港湾、河川、舟航の問題、火力発電所の冷却水、蒸気、炎の研究、また原子力発電所の発電炉内の重水の流動の研究にまでおよんでいる。

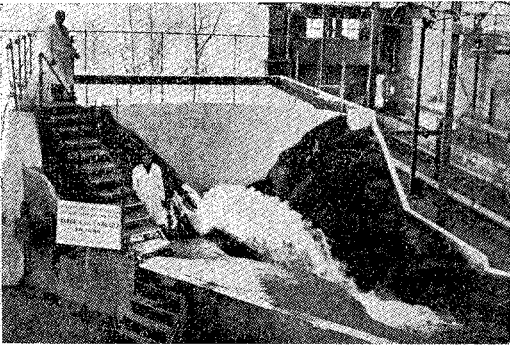
Toulouse 大学の水理研究所は前二者にくらべればはるかに小規模のものであるが Camichel 教授により 1913 年に設立されたこの研究所の過去 45 年にわたる研究成果はめざましいものがある。特に Camichel 教授より Escande 教授に引き継がれた水衝圧とサージ タンクの研究、Nougaro 教授の段波の研究は著名である。興味ぶかいことはこの研究所は Dauphiné 水理研究所と同じように水力発電の開発と大きな関係があり、1913 年 Pyrénées 山脈に最初の水力発電所が建設されたときその発電所の圧力鉄管に生ずる水衝圧の研究を契機として設立されたもので、その後水力発電上の水理学的諸問題の研究を中心に次第に研究分野を拡げ現在に至っている。

研究所は 2 カ所に分かれ、一つは Toulouse 大学付属高等工業学校内にあり、ここでは主として基礎研究および学生のための水理実験を行い、もう一つは Toulouse 郊外の Garonne 川の河岸 Banlève にあり、土地の名前をとつて通称 Banlève と呼ばれている。ここは水理研究所の設置位置としてはきわめて地の利を得ており、研究所は Garonne 川をせき止めた低落差発電所のすぐ上流側に位置し、この落差 (4m) を利用して $30 \text{ m}^3/\text{sec}$ という実験用水をうることができ、きわめて大規模な模型実験が可能である。筆者がここを訪れた際もこの大水路 (深さ 4.2 m, 巾 4 m, 長さ 150 m) にこの研究所の代表的研究の一つに数えられてい

写真一 国立水理研究所全景



写真二 Toulouse 大学の水理研究所 (Karadj ダムの 1/60 水理模型実験)



るダム越流係数改善の研究の大規模な模型が組立てられていた。この Banlève の研究所では基礎研究とあわせて多くの依頼実験を行つている。基礎研究としては上に述べた越流係数の問題、サージタンクのアナログ計算機による解析、段波の研究等が、また依頼による模型実験としてはダム洪水吐、取水口等の水力発電の水理構造物をはじめ大河川にダムを建設する場合の締切り工法の研究、河川改修等が行われている。

フランスにおける高等技術教育の制度は日本と相当異なり、技師の称号をうるためには、いわゆる高等工業学校に学ばねばならず、この多くの工業学校のうち水理技師としての専門の教育を行つているのがこの Toulouse 大学付属高等工業学校と Grenoble 大学付属高等工業学校の二つである。Grenoble 大学の水理研究所は Dauphiné 水理研究所と密接な関係を持ち Dauphiné 研究所の技師で Grenoble 大学の教授、講師を兼ねている人も多い。そして Toulouse 大学の水理研究所が基礎研究とあわせて、実際的な応用研究を行つているのにくらべると、Grenoble 大学ではほとんど基礎的研究、例えば風洞による乱れの研究、ジェットの拡散の研究、波の研究等に力を入れ、実際的な模型実験は Dauphiné 水理研究所にまかせているようであつた。

研究技術の水準から見てはほとんど同等と考えられるこの三つの研究所を比較してみると、一つの大きな相違がその設立の歴史の違いから感じられる。多少の誇張は

あるがこの三者を比較した場合、Dauphiné 水理研究所は商業的カラーが、そして国立水理研究所には公共性が、Toulouse 大学の水理研究所には学理的カラーが強い。Dauphiné 水理研究所の商業性というものはその私企業という性格から当然のことと思える。研究内容としてもこの特許であるテトラポッド、浮子によつてバランスさせる自動水門等の研究が多く見うけられ、同時に多少の経営上の秘密、例えば実験室内の写真撮影を許可しなかつたり、見学を許されない実験があつたり、研究報告書の中に相当数の部外秘があつたりしたことが認められた。この研究所の研究はほとんどが外部からの依頼研究で研究結果の公表は依頼者への回答という形で行われ、発行部数もわずかでその入手はほとんど不可能である。研究報告書の入手ということについては、この三つの研究所の間に、きわめてはつきりした相違があつて面白かつた。

Dauphiné 研究所については上述のように借り受けて読むことは部外秘を除いては許されるが入手することは不可能である。国立水理研究所ではすべての出版物が入手しうるかどうかは不明であるが、すくなくとも筆者が資料を調べて希望したものはすべて入手できた。この研究所が Dauphiné 水理研究所にくらべ公共的であると筆者の感じたのは、研究内容よりもむしろ研究の発表形式等の研究所運営上の内部機構の相違からであり、両者の性格の相違から当然のことと考えられる。

Toulouse 大学の場合、研究成果の公表はさらに自由である。筆者はこの研究所を訪ねたとき、まず最初に研究所の案内と研究報告書のリストを渡され一言も要求をしないうちに相手からこのリストの中に欲しい資料があつたらどれでも差し上げますといわれた。特に Dauphiné 研究所に長く滞在し、資料は入手しにくいものだという考えをそのときまで持つていた筆者は、少々あ然とした感じを受けたほどであつた。

この研究成果の公表方式の違いときわめて対照的な相違が図書館ないしは資料室の整備にみられ、それぞれの研究所の性格を表すものとして面白かつた。というのは図書館がきわめてよく整備されているのは Dauphiné 水理研究所である。この所長の Danel 氏は文献活動に大きな熱意を持つている人で世界的に有名な水力雑誌、La Houille Blanche を今日までに盛りたてたのもこの人の力であるということをよく聞かされたが、Danel 氏は図書館の整備にも力を入れ Dauphiné 水理研究所の図書館のよく整備されていることは、おそらく他に例を見ないのではなからうかとさえ筆者には感じられた。ここには 20 000 冊の図書、500 冊に達するフランスおよび諸外国の定期刊行物、5 000 におよぶ研究報告書が備えられ、その内容はおよそこの研究所の研究活動に必要なすべての範囲をふくんでいるといえる。しかも驚くべき

ことはこのすべての内容が独特の分類方式で巧みに分類され、その分類されたカードは 500 000 件におよんでいる。分類方式は合理的、かつ明瞭で例えばキャピテーションの模型実験の相似律という問題を調べようと思えば、キャピテーションの大項目よりその実験の相似律の項目を求めてもよく、また相似率の大項目よりキャピテーションの項目を求めても容易に参考文献の所在を求めることができる。そして技師、図書館士、事務員で構成される 20 余人の図書館員が新着の資料を分類し、必要があれば（例えばロシア語）翻訳を行い、同時に研究の発展につれて細分化されてくる問題の範囲に適合するためカードの分類そのものも再編成してゆくという活潑な作業を行い、常に研究者に豊富な資料を提供している。国立水理研究所の図書館はその歴史の浅いことも原因であろうが、内容には特に見るべきものがなかつた。Toulouse 大学の水理研究所の場合はまた徹底しており、ここの資料室にあるものは Camichel 教授より現在に至るこの研究所の 500 冊ほどの研究成果だけといつても過言でなく、文献の収集などほとんど努力していないのではないかとさえ思われた。ここに長く滞在された中央大学の林 泰造教授（本誌 23 ページ参照）のお話によつても、ここでは参考文献にあまり重きをおいていないとのことで、独自の創造力に対して持っている大きな自信の一端がうかがわれた。この資料の整備の点も研究成果の公表形式とともにそれぞれの研究所の性格を示すものとして面白かつた。実際に行われている研究の内容と、その実験技術、問題の考え方等にはこの三つの研究所の間には実質的な差はないように筆者には感じられた。

研究所の設備として最も大きいのは Dauphiné 水理研究所であるが、ここはその歴史の物語るように最初は小さな水車効率試験所として発足しそれが親会社 Neyrpic 社の発展にともない規模を拡大して来ただけに Neyrpic 社の構内に不規則な型で実験室が立ち並びその外観も近代的とはいえず、いわゆる水理実験室としての合理的な建屋と実験装置の配置という点では最近に建設された国立水理研究所の方がはるかに優れており、柱のないアーチ式の屋根でおおわれた大試験室に十分な余裕を置いて整然と模型の配置されていたのはみごとであつた。

筆者は発電水力の水理技術者としての立場から主として発電水力における水理構造物についての諸問題を調査してきたのであるが、例えばダム洪水吐の設計とその模型実験の方法を例にとれば三つの研究所を通して得た印象は次のようである。

まず洪水吐の型式としては洪水をダムの前面に越流させ水叩き面で跳水を起こさせることによつてエネルギーを減殺するという日本で最も多くとられている工法は落差の低い大河川のダムを除いてはあまり見当らず、低いダムの場合でも水叩きの長さは極度に節約され水叩きの

下流端に設けた適当な水はねによつて河床の洗掘がダム本体よりできるだけ下流に生ずるようにして本体の安全を保つという考え方が支配的であつた。フランスの高いダムの立地条件、例えば谷巾、谷の勾配、傾斜、地質、洪水量というものは日本とそう大きな差はないように感じられたが、これらのダムに最も多く用いられている洪水吐の型式はいはゆる スキー ジャンプである。そしておのおのダムの型式と立地条件よりダムの前面を越流させるスキー ジャンプ式、アーチ ダムの場合は前面自由落下式、ないしはオリフィス式、または末端にスキー ジャンプを備えたトンネル式といつた型がそれぞれのダムの地点によく適合するような型式で採用されている。この種の洪水吐は特に人工的保護を加えていない自然河川の河床に洪水を自由に落下せしめ、その落下点に多少の洗掘が生じてもダムその他の構造物には直接に危険はないという考えに立つもので、日本でも近年この型式が増加する傾向にある。

スキー ジャンプ式洪水吐は世界で最初にフランスの中央山地の Dordogne 川の一連のダム、すなわち Bort, Marége, L'Aigle, Chastang の諸ダムに 1930 年頃より第二次大戦にかけて建設され、その後世界各国でさかんに採用されている経済的な洪水吐の型式である。筆者はかねがねこの型式の洪水吐において洪水の落下点に生ずる洗掘とその洗掘されたずりの堆積によつて形成される水振池がどのような経過で安定した状態に至るかということに興味を持ち、特にダムの直下に発電所を設け、その屋根の上に洪水吐を乗せたスキー ジャンプ式の場合、発電所放水路の水位は形成される水振池の形状によつて支配されるため、放水水位の設定方法とこれを一定に保つための下流河川の維持は、どのようにして行われているかということを知ることは大変参考になつた。

筆者の見聞したところでは模型実験によつて河床の変遷を正確に推定することは困難なようであつたが、実験の方法としてはできるだけ現型の状況を再現するよう努力が払われており、河床の砂礫層の部分を模型上にその径を縮尺して移動河床で置きかえ水振池が平衡状態に達するまでの洗掘、堆積の種々の設計案について比較し、模型の方が原型より危険側であるという考えのもとに模型上の最も好ましい条件を求めている。

そして現場における発電所放水路水位を一定に保つというためには、建設後河床変遷の進行度に応じ適宜しゆんせつを行つている。このしゆんせつの必要度は地点の特性に大きく左右されるものであるが前述の Dordogne 水系の一連のダムの場合、建設後 15 年の間に二度のしゆんせつを行つているだけで河床は十分安定し、発電所の機能には一切支障のないようである。

このほか仮排水路を利用したトンネル式洪水吐が多くみられ、なかでも Dauphiné 水理研究所で行つていた

エジプトの Sadd El Aali ダム、インドネシアの Djatiluhur ダムの洪水吐の模型実験は印象的だった。前者は径 13m の満管のトンネル内でスルース ゲートにより流量の調節を行おうとするもので、筆者の知るかぎりでは初めての試みであろう。

この研究は主としてゲート操作、特に半開時のゲート上下流の水位関係 ゲート グループ その他に生ずる危険のある キャピテーションについて実験が進められていた。

後者は朝顔型シャフト式洪水吐の非常に創意に満ちた設計で、洪水吐と地下発電所が非常にコンパクトな形で配置され、立管を中心に取らまいた発電所放水路からの流出量が満管の洪水吐トンネルの一部に人工的に設けた低圧部を通ってトンネル内に合流して行くという大胆な設計であり、実験は特に低圧部の形状と圧力分布について行われていた。これらの実験を通じて筆者はそれぞれの形式が地点の特性に適合する創意に満ちたものであり実験の方法も相似律という点で未解決の問題を残すとは

いえ、現場の状況を模型の上でできるだけ正しく再現するため、根気よく注意深い努力の払われていることに強い印象を受けた。

フランス独特ともいえる研究には潮力発電があり世界的にも有名な英仏海峡の Rance 潮力発電の研究は国立水理研究所、Dauphiné 水理研究所、フランス電力の協同で過去 10 余年間にわたり着実にすすめられ、すでに実現可能の域に達している。そしてこの潮力用の水車、発電機の比較試験が実際の低落差発電所で原型の規模で行われており、フランスの潮力発電に対するなみならぬ努力がうかがわれ、西欧人の創造と研究意欲の旺盛さには驚ろかされた。

このほか水理現象の解明に電気計算機の使用が活潑に行われているのも新しい傾向で特に I.B.M. を備えた Dauphiné 水理研究所では計算機による研究専門の研究室が最近設けられ非定常の流れ、例えばサージタンク水衝圧、水路を伝播する波等の問題の解明は、次第に水理模型実験から計算機に移つて行く傾向にある。

土木工学論文抄録	第 3 集	A 4 判 230 頁	頒価： 500 円	会員特価： 250 円 (〒 70 円)
同	第 4 集	A 4 判 273 頁	頒価： 450 円	会員特価： 225 円 (〒 70 円)
同	第 5 集	A 4 判 378 頁	頒価： 1200 円	会員特価： 800 円 (〒 80 円)

測量実務叢書全12巻

東大教授 工学博士 安芸 皎一 監修

[A 5 判 上製 函入・9 ポ横組] 各 220 頁 前後 予価各 420 円程度

技術革新時代にふさわしい測量実務解決への鍵!!

★ 第 2 回配本 第 4 巻 好評発売中

三角・天文測量

建設省地理調査所・建設技官 原 口 昇 著
東北大助教授 今 野 彦 貞 著
A 5 216 頁 ¥ 400. 千 50.

三角測量においては、観測法や計算整理の方法を明示し、偏心の取扱いと高測標建設については特に力を入れている。

天文測量においては、理科年表や天測暦により普通の器械と時計を使つての観測方法を詳述。

★ 第 3 回配本 第 3 巻 好評発売中

水準・スタジア・平板測量

日本大学教授 岡積 満著 A5 200 頁 ¥ 380. 千 50.
器具・器械の扱い方、精密測定の方法、成果の信頼性について詳述し、野帳のつけ方、観測値の処理法などについても実例によって述べている。

- ◆ 学識・経験豊かな権威を動員した執筆陣!
- ◆ 最新の器械・技術の解明による新知識の啓蒙!
- ◆ 材料の取扱法、測量方法、データの集成法、結果の整理、作図等の実務を一連的に記載!

★ 第 1 回配本 第 6 巻 好評発売中

写真測量

建設省地理調査所・建設技官 尾崎幸男著 ¥ 350. 千 50

★ 第 4 回配本 第 10 巻 35 年 2 月末

海岸・港湾測量

以下毎月 1 冊ずつ刊行します

1. 測量計算法
2. トラバース測量
5. 地形測量
- ・地図編集
7. 路線測量
8. 地籍測量
9. 河川測量
11. 農林・鉱山・トンネル測量
12. 測量関係法令集

☆ 内容見本呈 ☆

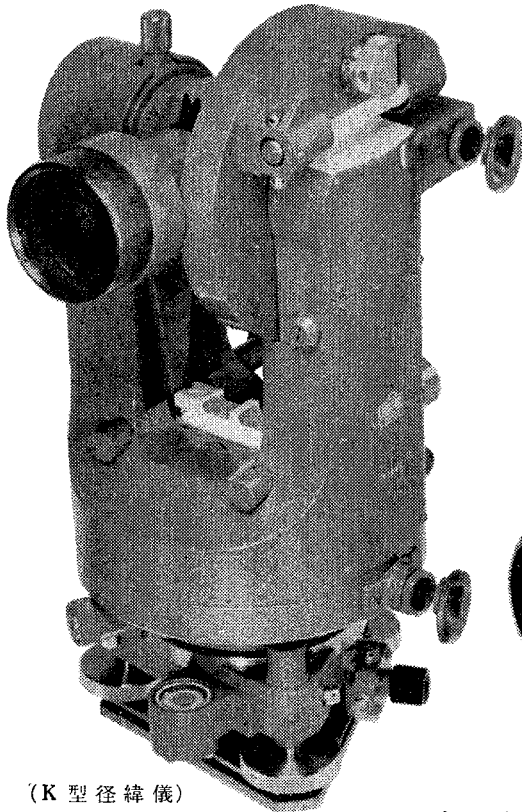
森北出版株式会社

東京都千代田区神田小川町 3 の 10
振替東京 34757 電(291)2616・4510・3068

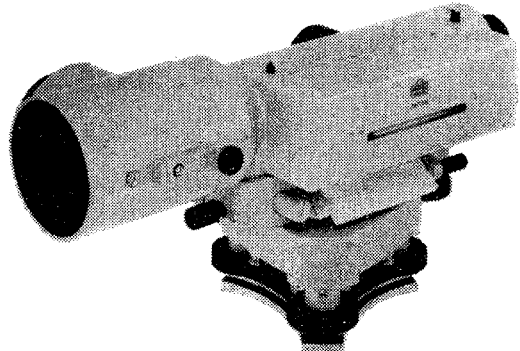
最も理想的な内焦式アナラクチック光学系望遠鏡

日本光学の 測量機

- **トランシットH1型** 目盛は副尺20秒読でコンパクトで堅牢な構造に出来て居り、土木・建築用に適します。
- **トランシットH1型照明装置付** H1型の水平高低目盛望遠鏡が照明付であり坑道・地下道・夜間等の測量に便利です。
- **トランシットH2型** H1型と同じ性能ですが、望遠鏡は倒像で口径40mmで明るく見易くなっております。
- **K型径緯儀** 目盛はガラス製12秒読みで顕微鏡によって読定でき望遠鏡は口径40mmで精密測量に適します。
- **垂直器** 測点設定の垂直転位及び定点の変位観測等に便利です。
- **二重像タキメーター** トランシットH2型の望遠鏡に装着し測距標尺を併用して能率的な精密距離測量が可能です。
- **レベルE3型** 新しいチルチングスタイルで望遠鏡の口径40mmで、気泡像の合致も見易くなっております。
- **レベルE5型** E3型と同じスタイルですが、気泡像が望遠鏡同視野内で観測できて能率的です。
- **レベルE3型照明装置付** 合致気泡像、円型気泡管、望遠鏡が照明付で坑道・地下道・夜間等の観測に便利です。
- **レベルS型** 望遠鏡は高性能で、気泡像は同視野観測、オプティカルマイクロと精密標尺付で精密水準測量に適します。



(K型径緯儀)



(レベルS型)

カタログご希望の方は誌名をハガキに記入の上お申込下さい

特約店

岩崎測量器株式会社
札幌市北郷7条西5丁目
本店
函館市末広町34の9
株式会社樋口商店
青森市大町194
株式会社木内通
秋田市小田路
株式会社砂子田商店
盛岡市興服町19番地
株式会社仙台測器社
仙台市大町5の20番地
須賀製作所
仙台市田町65番地

三笠商店
東京都中央区日本橋区4の1番地
旭商会東京支店
東京都中央区銀座東8の1番地
明光産業株式会社
東京都文京区小石川1の1番地(林友会館内)
株式会社よしや測量機械店
新潟市古町通り5番町
株式会社旭商会
名古屋市中区南大津通り4の24番地
金剛測量製図器械店
大阪市東区京橋1の25番地
筒井測器株式会社
広島市紙屋町60番地

有限会社片岡器械店
山口市下整小路37番地
水上洋行福岡支店
福岡市薬院中庄町53番地
金剛株式会社
熊本市銀座通2丁目
久永度量衡株式会社
鹿児島市山ノ口町12番地
久永度量衡(株)東京支店
東京都中央区銀座東1の2番地



日本光学工業株式会社

本社 東京都品川区大井森前町
営業部 東京駅前新海上ビル8階
サービスセンター 東京駅前新丸ビル1階 大阪駅前梅田ビル5階・札幌市大通り大通ビル2階