

# ボーリング孔内の観察調査技術の概要

後 藤 進・河内英幸 (技術部試験課)

## 1. 孔内観察技術の必要性

ボーリングは古くから地下資源の探査に主力を注いできたが最近ではこの外トンネル掘さく・立坑掘下げおよびダム建設などの土木工事に対して地下の状態のできるだけ詳しい情報を得るために多くのボーリングが行なわれている。地下構造は一般に単純なものではなく各種の堆積岩 火山岩 さらに亀裂 断層など複雑な構造をしている。これらの不規則性は工事計画や見積りの際に多くの危険性を含んでいる。これらの危険性 しかもそれに伴う高価な不慮の事故を未然に防ぐためには詳細な予備調査が必要でありできるだけ早い時点で事故を未然に防ぐように努めなければならない。この予備調査の中には堆積状態の正確な断面を現わしてくれるボーリングコアが大きな役割を占めている。しかしボーリングは時には複雑な地質構造を完全に再現してくれない。

予備調査の場合ボーリングコアだけに頼ると亀裂 破碎帯および圧砕岩 (mylonites) などは満足な情報が得られずこのため重要な項目を見落とすことになる。またコア採取率のよい地層の場合でもコアの正しい方向づけはなかなか得にくいし同様に地層構造の方向・傾斜や地下水の方向に関する情報はきわめて難しい問題である。このような方向性を決めるためには従来では3本のボーリングが一般に必要であった。以上のようにボーリングコアだけでは判断できない項目を解決するためあるいはコアのアシスタントの役目を果たすために孔内の観察技術が発達してきたのであるしこの技術の開発によって多方面への利用が派生的に展開されてきつつある。

## 2. 観察技術の適用

観察技術は多方面にわたって利用範囲を拡大してきている。その中のもっとも広い利用は地質工学および岩石学の分野に見出されるが他の分野でもその適用が段々と広げられてきている。例えばパイプライン 水道 トンネル 下水道および立坑の調査にも利用されてきている。加うるにこれらの装置は井戸に関する色々な問題 例えば新しい井戸の調査 損傷部の位置 ケーシングおよびスクリーンの検査 さらに清浄されて

いない部分の検査など井戸の有りのままの状態をはっきりと示してくれるので正しい治療法を選ぶことができるし治療費も安くなる。さらに石灰岩地帯のように岩盤内に自然発生した空洞あるいは炭層などの採掘跡 および防空壕のような古洞は最近地表陥没という現象を起こし大きな社会問題になりつつある。この場合でも地下空洞の存在・大きさを調査する上で孔内観察技術は大きな使命を負わされている。

## 3. 一般的制約

どんなカメラも役に立たないよう現象がある。すなわち孔内における水面上ではモヤのような湿気が発生しこれがレンズの熱と結合してレンズ上に水滴の蓄積を起こすことがある。また水面下では映像の鮮明度は水の鮮明さに比例するのは当然なことである。そのことから泥水は実質的に装置の使用を不可能にしているが凝集剤や置換方法によって水を清浄にする技術は発達してきている。しかしながら掘さく後数日間は泥水を発生するような断層粘土を含む断層帯を掘進する場合には問題がなお残されている。

泥水を使ったボーリング孔を清浄する場合には特別の注意が必要である。もしも泥水が少しでも残っていたり置換・スワッピング技術で孔壁の泥を完全に取除くことをしなければ地質の代りに泥水を見ることになろう。その反面泥水の清浄は孔壁の崩壊につながる。崩壊によって目的の深度に達しないこともあるし装置に損害を与えるかあるいは装置を完全に埋没させるような事態にもなりかねない。装置が高価であるほど孔内に据えるジレンマは増大するであろう。軟弱の部分あるいは破碎帯が調査にもっとも興味あるところであるが逆に高価な装置をもっとも失いやすいところでもある。崩壊の危険性は垂直孔よりも傾斜孔や水平孔の方に多いであろう。

孔内観察装置の中にはもしも崩壊に遭遇しそうな場合は直ちに警報シグナルを地表に発信するように精巧な警報システムを考えたものもある。またその会社は装置の損失に責任を負うような契約方法も採用している。しかしその会社はすでに1台のカメラを損失しているようである。

これらの装置を設計・製作し それを操作し さらにその結果を解析する場合 果してうまくいくかというためらいが生じてくるかもしれないが もしも写真技術のことをよく知っていて しかも地質・ボーリング技術に関して十分な知識をもっている経験者によって計画され監督されるならば ほとんど問題はないようである。一度にすべての問題を解決し 最大限の成果を得ようという欲張った考えは必ずしも経済的とは言えないであろう。

#### 4. 孔内観察装置の種類

ボーリング孔内の観察技術といっても人間が孔内に直接入って観察するというのではなく あくまでも光学器械や電子工学を駆使して観察するか あるいはフィルムに記録を収めて間接的に観察する技術をいっているのである。これらの装置も将来は多岐にわたるであろうが現時点ではフィルム式(ボアホールカメラ) テレビ式(ボアホールテレビカメラ) およびペリスコープ式(潜望鏡)に大別されるであろう。

フィルム式はレンズを通して直接露出させるか プリズムを通して屈折させるか あるいは傾斜鏡を使って反射させるか いずれにしても写真用フィルムに映像をキャッチするものである。テレビ式は地表にある聴視用モニターまでクロードサーキットによって電氣的に映像を伝送するものであるが 必要に応じてスクリーンに写し出された映像を記録するため補助的にカメラが使われることもある。ペリスコープ式は本質的にはカメラの分類に入らないかもしれないが 使用目的が合致すること および地表にカメラを組入れることによって 遠く離れたプリズムから送られた映像をフィルムに収めることから フィルム式の特殊なものとして このような分類を行なった。各国には各式に応じた装置がいろいろと製作されているかもしれないが 紙面の都合もあっ

て また資料の関係から 各式の代表的なものを1つずつ掲げることにした。

#### 5. ボアホールカメラ

ブローブの中にフィルムを内蔵し ボーリング孔の傾斜測定を行なう装置(イーストマン社のシングルショットまたはマルチプルショットは有名)もあるが ここでは孔壁の映像をフィルムにキャッチする装置に限定する。

ボアホールカメラは各国でも製作されているようであるが ここでは わが国のナツク社が電源開発(株)と2年間の共同研究の結果 昭和47年2月に完成した装置について述べる。地質調査所でも本製品の2号機を購入し 孔内観察技術について目下研究の継続中である。

本装置は回転する反射ミラーおよび像反転プリズムをストリークカメラと組合せることによって 円筒状の被写体内面を全円周にわたり 正立体像として撮影できる機構になっている。その結果 装置全体が小型化・単純化されると共に解析し易い像が得られるようになった。

##### 5-1 おもな仕様

###### i) ボーリング孔

最小孔径 46mm 最大孔径 66mm (アダプター使用)  
最大ボーリング深度 100m (水中可)

###### ii) 装置本体

外径 44mm 長さ 660mm 重量 約5kg 耐圧 20kg/cm<sup>2</sup>  
挿入方法 ケーブルまたは42mmボーリングロッドによる。

###### iii) ストリークカメラ



写真1 ボアホールカメラ装置の構成

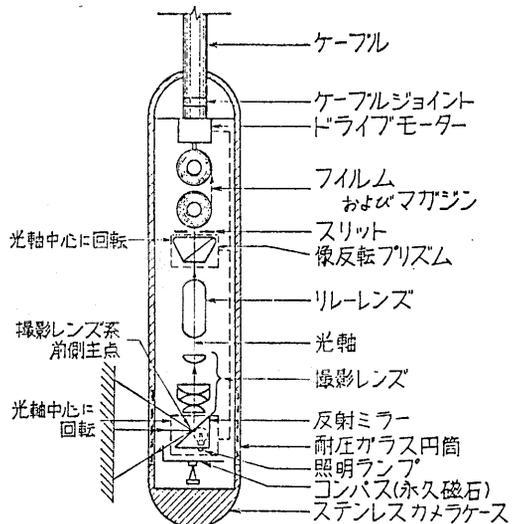


図1 ボアホールカメラ本体の構造概念図

フィルムサイズは 16mm白黒（電球の場合 ASA400）またはカラーフィルム フィルム容量は 10ft（マガジン交換式）画面サイズは 6.28×10.22（62.8mmは360°の全長を意味する）撮影駒数 約50駒（360°を1駒とす）1駒撮影時間は約10秒。

iv) 照明および電源

照明は6Vの特殊電球2個を使用し 他の光学系と同期になっている。

電源はAC100VまたはDC12V（自動車用バッテリーも可）

5-2 装置の構成（写真1）

このポアホールカメラは i) カメラ本体 ii) コントロールボックス iii) カメラケーブル iv) 電源ケーブルの4つの部分より構成されている。

i) カメラ本体の機構（図1）

カメラ本体は一連の内部機構と これを納める円筒ケースから成っている。内部機構は先端部より次の順序で軸方向に一本化して並べられている。

- (a) 反射ミラー：軸方向に45°に設置された幅3.5mmの反射鏡である。照明ランプと共に360°回転して孔壁を写す。
- (b) 照明ランプ：6V2個が反射ミラーを挟んで取付けられている。（写真2）
- (c) 撮影レンズ：焦点距離10mm F1.4 focusingには孔径毎の焦点調節位置が示されている。
- (d) リレーレンズ：数個のレンズより成り 撮影レンズからの像をひずみなく像反転プリズムへ導く。
- (e) 像反転プリズム：反射ミラー1回転に対し1/2回転する。ミラーによる回転像を固定されたスリットを通してフィルム上に常に正立した影像として連続結像させるための回転補正プリズムである。
- (f) フィルムマガジン（写真3）：16mmフィルム10

ftの容量を持ち 着脱容易である。フィルムは反射ミラーの回転と同調して送られる。

- (b) モーター：光学系の回転およびフィルム送り用のDCモーター。反射ミラーが360°回転すると自動的にスイッチが切られて停止する。

ケースはステンレス製の円筒状容量で 上記の一体化された内部機構を簡単に着脱でき しかも20kg/cm<sup>2</sup>の水圧に耐える水密性をもっている。ケースの先端近くには長さ4cmの円筒形耐圧ガラスがはめ込まれていて 窓の役割を果している。内部機構をケースに装着したとき 反射ミラーと照明ランプはこの位置にセットされる。

ケース先端部の内部には磁針が組み込まれていて そのN極は反射ミラーの視野に入るように直角に曲げられている。

ii) コントロールボックス

コントロールボックスは地上に置かれ カメラ操作の一切を電気的にコントロールする装置である。またカメラはDC12Vで作動するようになっているので 電源として AC100Vを使用した場合の整流装置も内蔵している。大きさは12×22×10cm 重量は1.9kgの金属製の箱で 一方の側面に電源ケーブルおよびカメラケーブルとの接続端子があり 他方の側面にはカメラ駆動スイッチとフィルムカウンターのほか 入力と出力を示す緑と赤の標示ランプが付いている。

iii) カメラケーブル

カメラケーブルはカメラ本体とコントロールボックスとを結ぶ4芯ケーブルで カメラに内蔵されている照明ランプおよびモーターに送電すると共にカメラを支持し ボーリング孔内へ昇降させる役目も果している。カメラ本体は40.5mmのボーリングロッドと接続できるようになっているので ケーブルをロッド内に通せば ロッドでカメラを支持することも可能である。ケーブルの重量は長さ100mで約25kgである。

iv) 電源ケーブル

電源ケーブルはAC100Vの電源とコントロールボックスを結ぶために用意されたもので DC12Vを使用する場合にはコントロールボックスに専用端子が設けられているので このケーブルは不用となる。

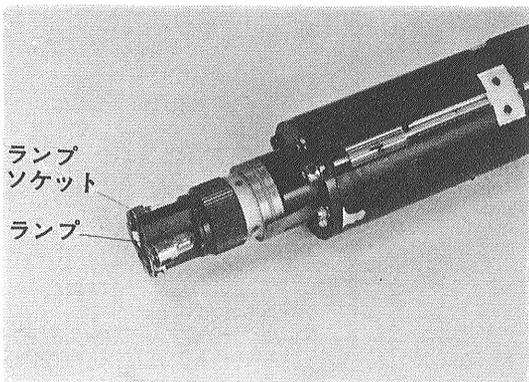


写真2 カメラの先端部

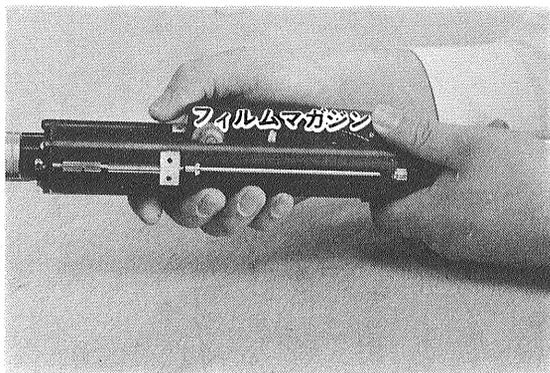


写真3 フィルムマガジンの装填

### 5-3 撮影区間長および撮影倍率

1回の撮影区間長は 反射ミラーの視野が40°と一定であるため ボーリングの孔径によって異なり 46mm径の場合が 22.1mm 56mm径の場合が 27.2mm 66mm径の場合が32.1mmである。

一方 孔壁の円周も46mm径と66mm径では144.5mmおよび207.3mmとそれぞれ異なる。このように孔径によって異なる範囲の孔径が16mmフィルム上では幅10.2mm 長さ68.58mmの範囲に写され それは孔径の如何にかかわらず一定である。このような撮影範囲とフィルム送りの関係から孔径ごとに撮影倍率が決まるが 縦方向と円周方向で微少の差があるもの 実用上では46mm径の場合は $1/2.1$  66mm径で $1/3.0$ として差つかえない。この関係を表にすると 次のようになる。

孔径	倍率	縦の長さ(mm)	横の長さ(mm)
66φ	1/3.02	32.1	207.3
56	1/2.56	27.2	175.9
46	1/2.11	22.1	144.5

被写体と写像との倍率関係式

$$\text{倍率} = \frac{\text{フィルム上の長さ}}{\text{被写体の実長}} = \frac{68.58\text{mm}}{\text{孔径} \times \pi}$$

なお マガジンのフィルム容量が約3mであり 1回の撮影に使用するフィルムの長さが上記のとおり約7cmであるので 1本のフィルムで約40駒の撮影が可能である。従って それぞれ46mm径の孔で2cm 66mm径で3cm ごとに連続撮影すれば 1本のフィルムでそれぞれ80cm または1.2mの区間を写すことができることになる。

### 5-4 写真の整理と判読

現像したフィルムに撮影区間がわかるように番号を付し 前述した孔径ごとの倍率で引伸してプリントすれば ボーリング孔壁内面を展開した実寸大の写真が得られる。孔壁のある区間を連続して撮影した写真をつなぎ合わせるには 各写真に写し込まれている孔壁の北を示す磁針を手がかりとして 岩石の境界や亀裂など上下2枚の写真に連絡するものを合わせればよい(写真4)。

出来上がった写真はきわめて鮮明であり 花崗岩の鉱物粒子 ヘヤークラック 層理 片理などが明瞭に識別できる。カラー写真を用いれば 風化による色調の変化を捕えることも可能であろう。方向性のある地質現象の走向・傾斜は 写真に写し込まれている磁針を手がかりにして簡単に求めることができる。また 採取された区間のボーリングコアと写真を対照しながら コアが採取されない区間の写真を検討すれば コア採取不能な部分の地質状況を的確に推定することができるであろう。砂岩・石灰岩の一例を示すと 写真5・6のごとくである。

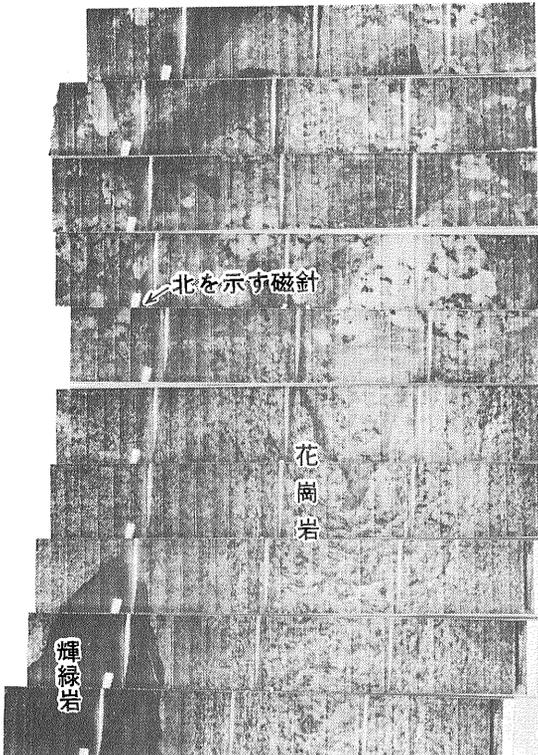


写真4 新豊根ダム基礎岩盤の一部

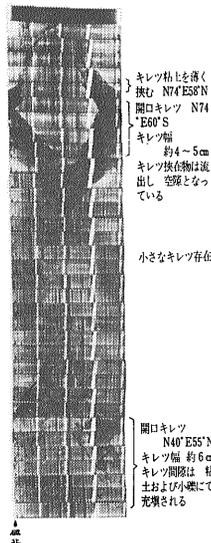


写真5 砂岩の一例

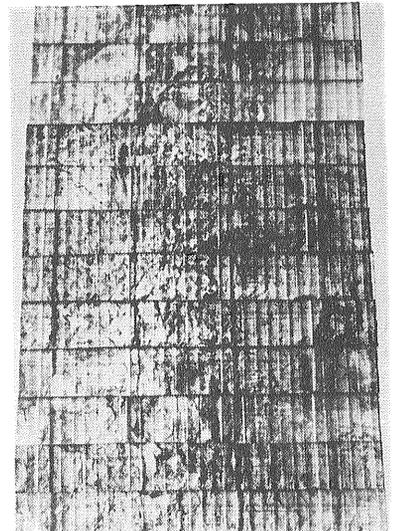


写真6 石灰岩の一例

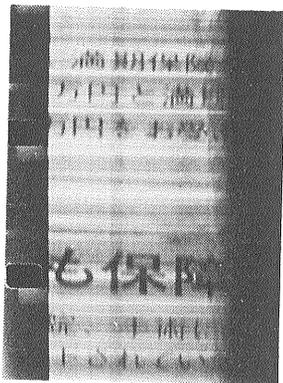


写真7  
濁水中の実験例

### 5-4 現時点での考察

現在 ボアホールカメラの問題点としては大きく分けて外的要因と内的要因とが考えられる。

#### i) 外的要因

- (イ) 循環泥水の影響：内径57mmのアクリルパイプを使って空气中 清浄水 濁水（水面下3.5cmに置いた白紙が見える程度の濁水）の中で撮影したところ 濁水中でも7ボの活字が判読できるように写っていた(写真7)。しかし孔径が大きくなると光度との関係もあって どの程度まで判読できるか 今後の課題となっている。ま

た泥水のコロイド沈澱剤もあるので これを含めた泥水処理法を考えていく必要があろう。

- (ロ) 防水キャップのくもり：孔内温度と外気との間に温度差が大きいと ガラス面に水滴が発生しやすい。孔内に30分程度放置し 一たん引上げて水滴をぬぐい直ちに挿入して撮影すれば この問題は解決する。

#### ii) 内的要因

- (イ) 光量不足：孔径が100mm以上の場合や孔内が暗い場合（例えば黒色系岩石）では現在の光量では不足のようである。補助電球を使用するか もっと高感度のフィルムを検討する必要がある。
- (ロ) フィルム充填：夏期の暑いときには手指の汗もフィルム汚染に影響を与える。
- (ハ) フィルムの駒送り：あまりスムーズに働かないので 写真に縦縞が入ってくる。もっと強力なモータが必要であらう。
- (ニ) カラー撮影：カラーフィルムは一般の現像所では受け付けず その上焼付・引伸しにかなりの費用を要する。

### 6. ボアホールテレビ（西独 イーストマン社）

ボーリング用のテレビ装置は比較的機種が少なく

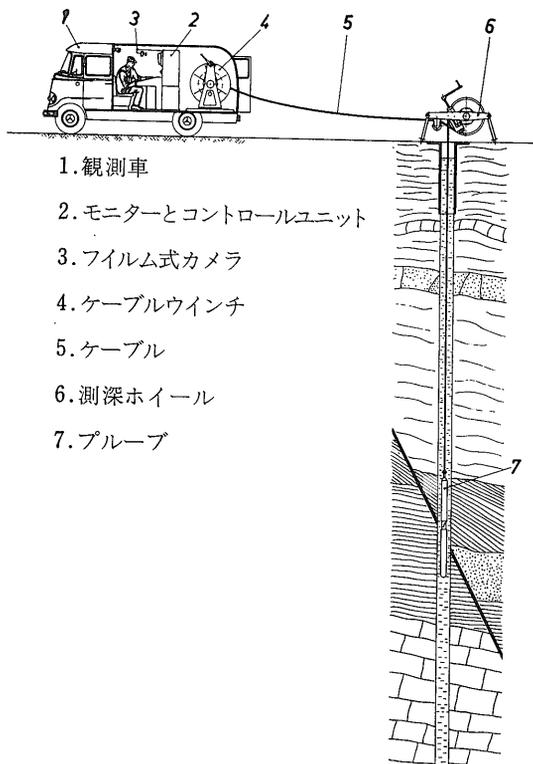


図2 観測中のボアホールテレビ装置

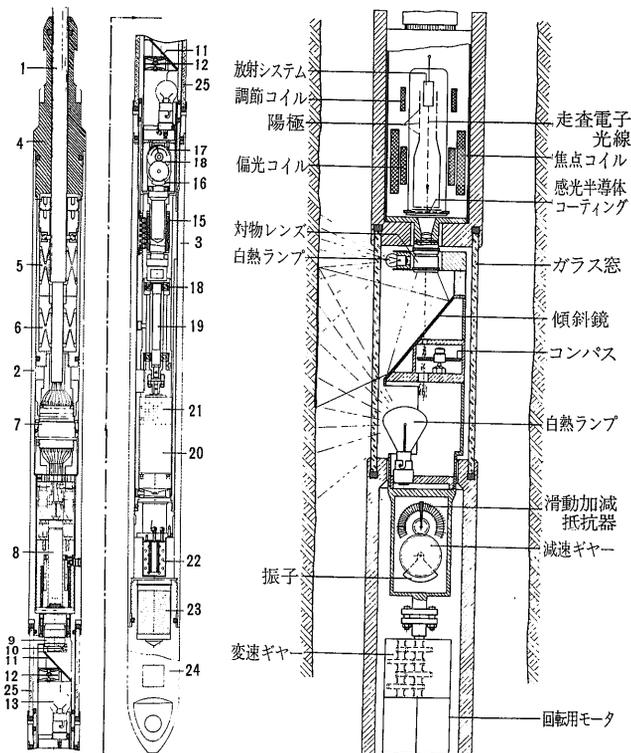


図3 ボアホールテレビ  
プローブの詳細図

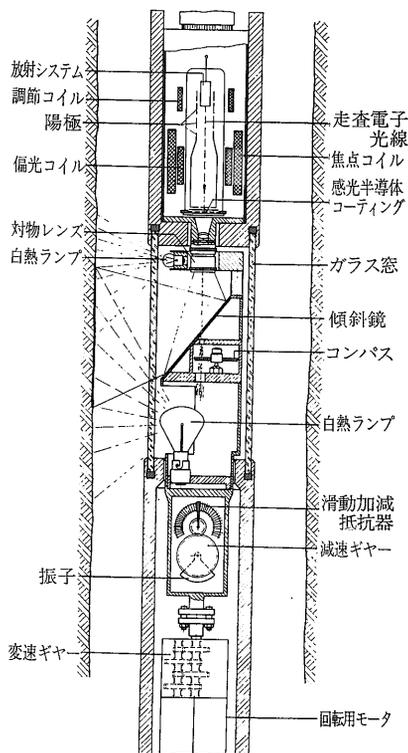
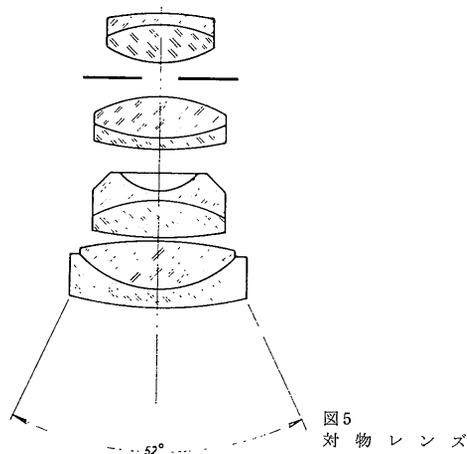


図4 テレビプローブ中心部の拡大図



わが国でも最近になって1号機が試作される段階である。

それ故 ここでは三国商工(株)で取扱っている西独イーストマン社製のテレビカメラFB 500型について概略を紹介することにした。本装置はオーストラリアの地質学者 Dr. LEOPOLD MÜLLER によって開発されたものである。

本装置は基本的には次の部分から成立っている(図2)。

- ① テレビプルーブ
- ② コントロールユニット
- ③ テレビケーブル
- ④ ケーブルウインチ
- ⑤ 測深装置

### 6-1 本装置の基本的機構

#### i) テレビプルーブ

この部分は全装置の中で最も重要な部分であり 孔壁の映像や各種の測定値を地上のオペレータまで送る役目をしている。プルーブの外径は63mm (2½")で 長さは 1.40mである。この外装はブロンズ製で 表面はクローム板でカバーされ 63.3kg/cm<sup>2</sup>の外圧にも安全に耐えられるように設計されている。このプルーブは図3に示すように part 2 part 3のチューブと 上端の part 4および下端の part 24 から成っている。Part 2と part 3のチューブの間にはパノラマ式の窓があって 高級の光学ガラスがはめ込まれている。孔壁はパノラマ式の窓の上部と下部にある白色ランプ(図4)によって照射されるが 孔壁の痕跡を陰影効果によってはっきりと写し出すために 2つのランプが適切に調節される。この調節はコントロールユニットによって個々に行なわれる。壁の映像は楕円形の鏡(11)で反射され 対物レンズ(9)を通して resistron に投影され さらにミ

ニカメラ(8)がある中間増幅器に集められる。対物レンズ(図5)は高級の8個のレンズシステムから成り その aperture は 1:1.9 であり 焦点距離はわずか 5.5 mmで 約 52° というかなり広い視野をもっている。

鏡はギヤー(21)とシャフト(19)を通して回転モータ(20)によって左右いずれの方向にも回転できるし しかも必要なところで直ちに止めることもできる。鏡の下部には暗い線が刻みこまれているが これは鏡の回転に対して上・下位置を明確にするためである。

鏡の下にはコンパス(12)があり そのカードには北方向の細いスリットが刻まれている。モータによって鏡を回転させ 鏡の穴とコンパスカードのスリットを一致させると 白色ランプの光が地上のテレビスクリーンに現われる。この時点で鏡は北方向を示したことになるので 地上コントロールユニット上にある円形スケールもこれに合わせておく。ボーリング孔の傾斜は振子(14)の転位によって測定される。この振子は傾斜鏡と一緒に連動する箱の中で作動する。振子が動くにつれて slipping resistance (17) はギヤー(16)によって転位する。

その抵抗値はコントロールユニットに取付けられている wheatstone bridge で読み取れるので 直接傾斜角を測ることができる。傾斜の方位はモータを作動しながら電位差計の目盛から読み取る。傾斜角の精度は約 1° であり 方位や鏡の方向の精度は約 2° である。

Part 22 は湿度計である。もしもテレビプルーブの中に液体が浸入した場合 例えばパノラマガラスにひびが入った場合 コントロールユニットのランプがつくので 直ちにプルーブを引上げることができる。Part 23

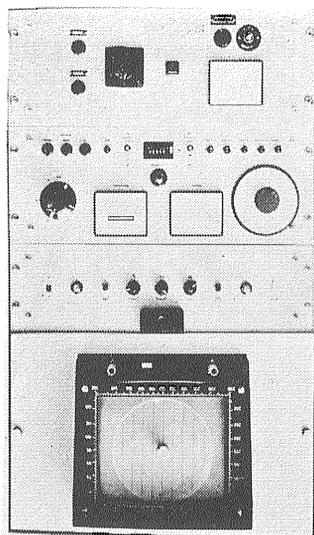


写真8  
コントロールユニット

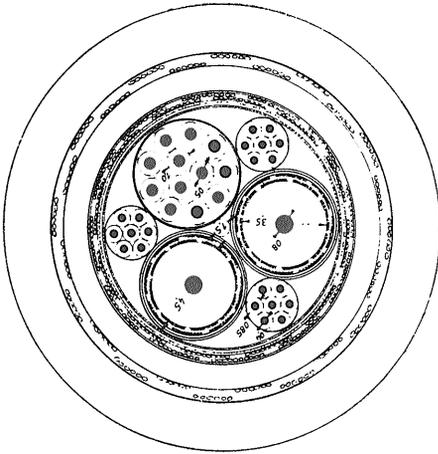


図6 ケーブルの断面図

は珪酸ゲルが入ったカプセルで プループ内のほんのわずかの湿気をも吸収する機能をもっている。6"以上の大口径を調査する場合にはスプリング製のガイド（スタビライザー）を用意すればよい。また特製のパイプを使えば 水平孔の調査も容易であるといわれている。

**ii) コントロールユニット(写真8)**

テレビスクリーンの付いたモニターは このユニットの上部に設置されている。このスクリーンの対角線は11"であって 4"孔径の場合 約3倍に拡大された映像が写し出される。明るさ 垂直・水平の調節およびコントラストは直接モニター上でコントロールされる。モニターの下には焦点調節 plate voltage および映像管のレイビーム用レギュレータが含まれている。スクリーンに写し出された映像が興味ある場合には 一般のカメラで記録しておくこともできる。中央のパネルには各種の測定器やスイッチ類 測深装置 光度調節器お

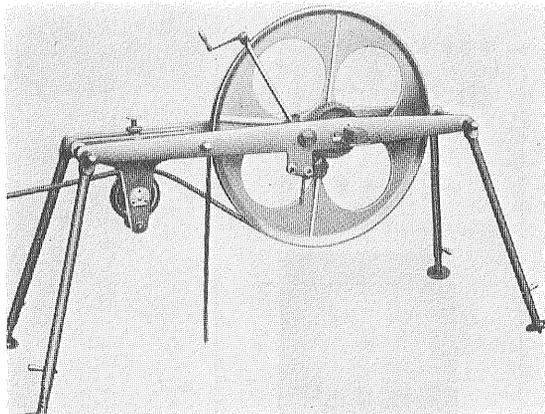


写真9 測深器とケーブルホイール

よびモータ用の送信機が含まれている。またユニットの下部には 電圧測定器および補助電圧接続器が含まれている。コントロールユニットの重量は約 90kg であり消費電力は約 250W である。

**iii) ケーブル**

テレビケーブルは 35芯の特別ケーブル（図6）によってコントロールユニットに接続されている。ケーブルの外径は19mmで そのコアは10mmである。適切な機械的強度や水圧に対する抵抗を得るためにケーブルコアは 2重の金網製でカバーされている。この金網は電磁波の影響を防ぐために網目状になっている。2本の太めの芯はシグナルと impulses を送るために使われ その他の線はカメラの電氣的コントロール 照明およびモータや湿度計をコントロールするため およびそれらの動力用として使われる。ケーブルの抗張力は約 500kg である。

**iv) ケーブルウインチ**

ウインチの大きさは幅 1 m 高さ 1.2m で ドラムの直径は 0.9m である。これはケーブル 500m を安全に操作する能力をもっている。このウインチはアルミ鋳物で作られていて シヤフトにはボールベアリングが入っている。

ケーブルの昇降は手動クランクで直接行なうか 1 : 3 のギヤ比で行なわれる。ドラムを停止させておくためのハンドブレーキも取付けられている。

**v) 測深器**

図2に示すように ケーブルは孔内に入る前に測深器（写真9）を通してから下ろされる。この場合 ケーブルガイダンスを通り 直径 88cm のホイールを一周させるのであるが ホイールに溝が刻まれているので十分な摩擦力を与え ケーブルがスリップダウンするのを防いでいる。ホイールにはウオームギヤが付いていてケーブル昇降の微調整の役目をもっている。ウオームの1回転は深度 5 cm に相当する。ウオームホイールには電氣的コンダクターが付いていて コントロールユニットの深度計に接続されている。テレビプルプをある深度まで一気に下ろす場合には ウオームホイールの機能を外すこともできるが この場合は機械的深度計によって直接測定する。2本の電話線はコントロールデスクとボーリング現場との間に設けられているが これは実際に両者の距離が直接に連絡しにくいほど遠いことがしばしばあるからである。

6-2 テレビカメラによる孔内観測

テレビカメラの観察は陸上の場合と同様に一般にスケッチで記録される。

1つの例を図7に示してあるが これはダムサイトの注入孔の観察結果である。 図の左側にはコア採取率からみた岩盤破碎度を示し 右側には水圧試験で調べた逸水状況を示している。 中央欄には孔内カメラで調査された地層の方向 傾斜 破碎帯の大きさおよびボアホールの方向が画かれている。 下の平面図ではボーリングがかなり偏曲していることが示されている。 回転ボーリングでは 孔が完全に垂直であることはほとんどありえない。 それ故 測定した深度を垂直深度とみなすと地質的水準 地下構造のコンター 地層の厚さ 断層などの状況について誤った概念を植付けることになる。

的確な地質学的評価のためにボーリング孔の正確な方向を把握することはきわめて重要なことである。

ボーリング孔の進行方向を計算するためには 傾斜角と方位および深度は コントロールユニットにあるdrift indicator rheostat および深度計から読み取り それを各深度ごとに長方形座標で計算し さらに水平投影図および垂直投影図にプロットするのである。

詳細な調査あるいは測定を必要とする異常な 特殊の映像はモニターの前に設けられたカメラでフィルムに記録しておく。 一般に レンズは3.5にセットし シャッターは $1/30$ 秒で行なわれる。 絞りは光度計の読みに応じて変えられるが それはいつに孔内照明の効果およびスクリーンの明るさにかかっているが 一般にフィルムに記録された画像よりもスクリーン上の映像の方がはっきりしているようである。 テレビスクリーンから写しとった画像は写真10に見られる程度の鮮明さである。 テレビカメラは一般に孔心から外れることもあるし あるいは $1/30$ 秒という短い間隔でも微移動している間は映像の振動ということがあるので 映像は若干ぼけるこ

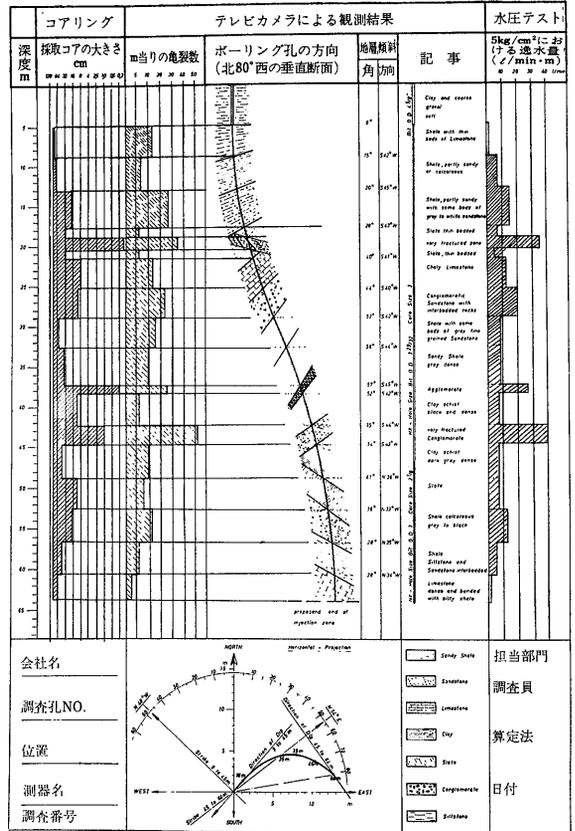


図7 ダムサイトにおける注入孔観察の一例

とがある。 特殊な環境下では 移動映像の大部分 あるいは旋回する孔の大部分を記録しておくことは望ましいことであり これには現在一般に使われているビデオテープが用いられるであろう。

前記のように この装置は垂直孔だけではなく トンネルやダムサイトでは 上向きを含めてすべての傾斜孔にも使用される。 この場合 長さ2mのアルミパイプ

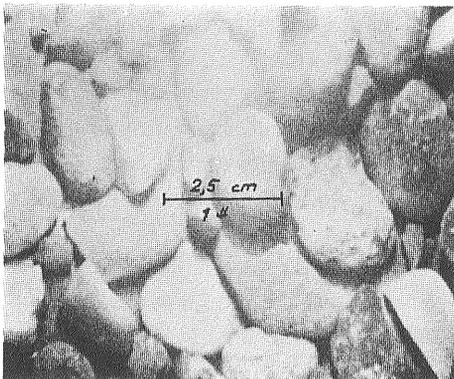


写真10-a 孔径3"の注入孔(深度54m)で撮影された礫層

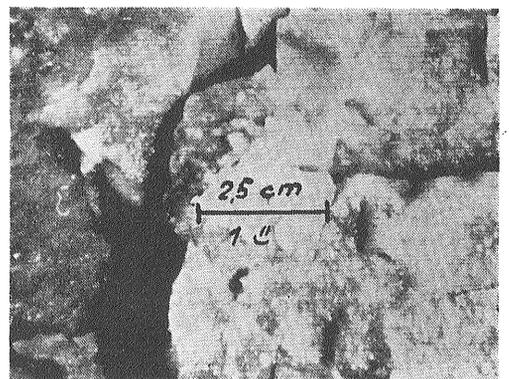


写真10-b 孔径4"のボーリング孔で撮影された約1/2"幅の不規則亀裂

を使用し それにカメラとケーブルを連絡し 最大 150 mまで調査できる。 ケーシングや岩盤との間の摩擦を少なくするために 各ロッドにはカラーを付けている。 また軟質帯や破砕帯では 崩壊による装置の損失を防ぐためにケーシングと一緒に使用し プループはケーシング端よりもわずかに飛び出させて撮影を行なうこともある。 水平・傾斜孔ではカメラプループが孔心から外れやすいので 孔心を維持するためにスプリングガイドが用いられる。

### 7. ペリスコープ

地下空洞には地下資源の採掘跡（おもに亜炭）や戦時に掘られた地下壕などのように人工的なものから 石灰岩やドロマイト地方のように 自然発生的なものまである。 これらの存在は永い年月の経過から地表陥没という現象を起し社会問題にもなりつつある。 地表陥没の原因となる地下空洞は一般に20m以浅のところのものであり しかも空洞と地表との間に砂礫・地下水が存在したり しなかったりして 古洞の形態を地表から物理的（電気・弾性波）に調査することは ある地域には適しても 普遍的でないのが現状である。 このため多数のボーリングに頼っているのが一般的であるが もちろんこのような調査方法も必要であるけれども 費用はかかるし その結果は必ずしも正確なものとは言えない。

The Council for Scientific and Industrial Research (南ア) は ボーリング孔から地下空洞の実態を調査するために写真技術を組み入れた装置を開発することにした。 写真は地下空洞の記録を永久に保存できるばかりでなく 後日 数回の測定によって空洞内の経年変化も調べるこ

とができるし さらに写真に現われたクラックや岩石の状態についても 専門家に送ってゆっくり研究してもらうこともできる。

当協会はカメラプループを試作するに当たって次のような仕様を提案した。

- (イ) ほんどのボーリング孔は76mm程度であり しかも垂直でないことから プループの外径は最大38mm 長さは 122 cm あれば ほんどの孔に間に合うであろう。
- (ロ) カメラプループはリモートコントロール式で カメラ・電気フラッシュおよび精巧な機構を内蔵すること。
- (ハ) カメラの微振動にも影響されないため フラッシュは  $1/800$  秒以下であること 地表からの深度は 90~120m 程度まで観察できること および空洞内では12m離れた対象物も十分に照射できること。
- (ニ) オペレータはカメラプループが正しく作動しているかどうかをチェックできること。
- (ホ) カメラプループ 一連の昇降機構およびコントロール装置はすべて軽自動車で簡単に運搬できるように軽量であること。
- (ヘ) 損失事故に会った場合 プループの交換はあまり高くないようにすること。
- (ト) プループは電灯線を使用しないですむようにすること（現場は辺ぴなどところが多いから）
- (チ) プループは防水式であり しかも発破の環境下でも使用できるように 完全に SABS 防焰加工を施す。

### 7-1 おもな機構

#### 1) カメラ

カメラは非常に小型で光学的優秀さをもち しかもシャッター機構や フィルム送り機構の適性さから Minox camera が選ばれた。 15mmの焦点距離をもつレンズの拡がりは比較的小さく 水平 $30^\circ$  垂直 $42^\circ$ である。 焦点を 6 cm にセットしておくと 30cm~12m 離れた対象物は明瞭に見えるようになる。 このカメラは1本のフィルムで50駒の撮影ができ ネガの大きさは  $8 \times 11$  mmであるが  $15 \times 20$ cm まで十分に引伸することができる。 現象・引伸しが現場で簡単にできることから プループを孔内から引上げた後 20分以内で研究に入ることができる。

カメラが取付けられているスライドはクラウンギヤによってプループ軸に平行に上下動する。 クラウンギヤは小型モータに連なるクロスピニオンによって動かされるが 高い減速比が使われているので フィルムの

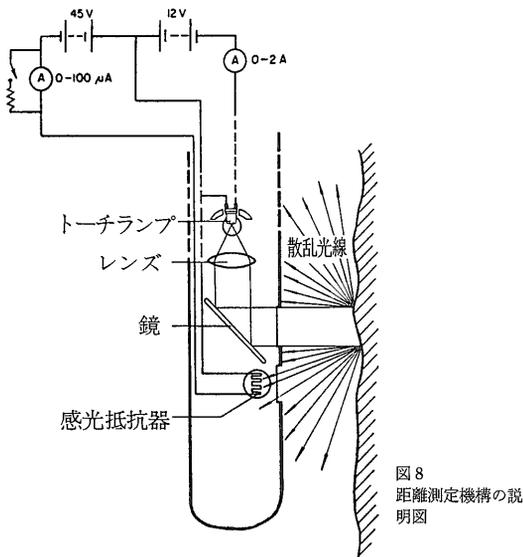


図8 距離測定機構の説明図

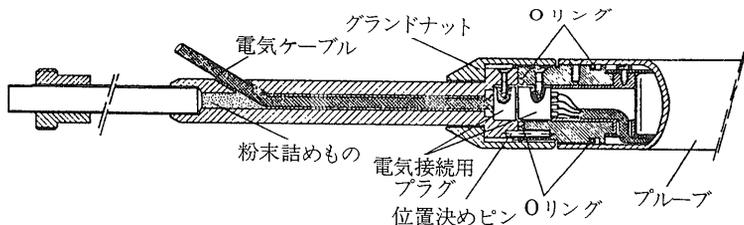


図9  
ケーブルの接続と防水の説明図

移動やシャッタの開閉がスムーズに行えるようにモータから強力な力が伝達される。瞬時にモータの電流を遮断するマイクロスイッチはほぼ1サイクルの終りに作動する。

### 2) 直読式距離計

距離計はモータの下に置かれていて 図8に示すように白色電球と反射カバー レンズ 偏光鏡および感度レジスターからなっている。電球からの光線は鏡によってブルーブの直角方向に照射されるが 壁からの反射光が感度レジスターに感受されると電流が流れ 地表にあるコントロールボックスのメータに示される。このことはブルーブと対象物との距離によって反射光の光量が異なるので メータの読みから距離を測定することができるのである。

この技術はいろいろな誤差 例えば反射壁の凹凸の変化 感度レジスターの感度および照明強度の変化などに悩まされるけれども ボーリング孔の相対的調査には役立つであろう。

### 3) フラッシュシステム

カメラの上には電子閃光管と反射カバーがあり その背面は平坦なガラス窓でシールされている。これらの部品は Mccablitz 116 電子閃光器の部品を使っているがその反射カバーは大きすぎるので このブルーブに適合するように小型化してある。このため反射光線はわずかに弱くなるが 空洞内の対象物は12m離れてもよく見えるようである。適当に改造したプリントサーキット電子ユニットは市販の部品を使って組立っている。ある改造品では コンデンサーが完全に充電されたときに充電電流を遮断するようなサーキットも含まれている。このことはオーバーチャージや損傷を起こすことからまぬかれるし 完全充電や着火準備完了を地表にいるオペレータに知らせるものである。ある場合には失敗もよく起こすので 強力なトランジスタに取替えた。

カメラの発火接続部はひん繁に使われることからシャッター開放とフラッシュとの同時作動がうまくいかないことが多い。この問題はトリガースーキットの中の小

型シリコンコントロールの整流器を導入することによって克服された。シリコンコントロール整流器に流れるわずかの電流はカメラ接続部を通して流れるが 一方多量のトリガー電流は整流器を通して流れる。このような改造品が組入れられることによって この件に関するむずかしい問題は起こらなかった。

### 4) ブルーブ本体とケーシング

できるだけブルーブを軽くするため 本体はアルミで作られている。上部および下部のコンポーネントは別々に1 $\frac{1}{2}$ "径のステンレスチューブでカバーされ 両者の間にはガラスカバーだけのフラッシュライトがある。カメラ 機械部分および距離計をカバーしている下部チューブにはガラス窓があつて それに対応させている。このケーシングは大きな真ちゅうナットでしっかりと固定されているが カメラの出入はこのナットを外し 一部ケーシングを滑らせることによって行なわれる。

ほとんどのボーリング孔は湿っているか あるいは水で満たされている。水の浸入を防ぐためにOリングなどを使って防水処置を施しているが(図9) 一層の予防策としてめったに開けることのない上部は下部とは完全に分離し 特に電気部品を常に乾燥させるためシリカゲルが組み込まれている。

カメラブルーブが爆発環境下でも使用できるように作られた防焰ケーシングはめったに使われないので取外しのきくものを考えた方がよい。それはブルーブの窓の大きさと一致するような 外径2 $\frac{3}{4}$ " 厚み $\frac{1}{8}$ "の窓付き真ちゅう管であつて フラッシュチューブの前に湾曲した防風ガラスを置いたものである。

### 5) コントロールボックス

カメラブルーブは4芯の網目ケーブルで地表にあるコントロールボックスに連結される。コントロールボックスには3個のメータが付けていて 左側のものはブルーブに流れる電流を示し 右側のメータは距離を示すフォトレジスターに流れる電流を示し 真中のメータはフラッシュコンデンサーに通じる電圧を示している。コントロールボックスの上方には3個のスイッチがあつて

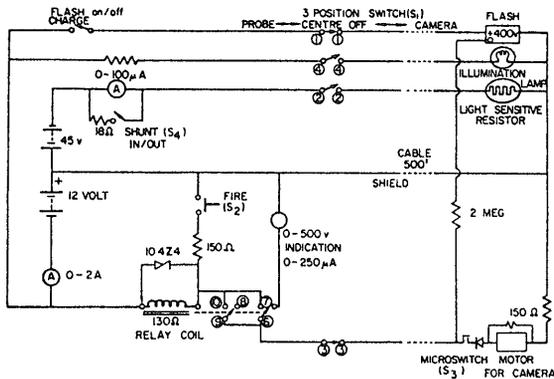


図10 プループと電流回路との関係図

両側はカメラ用と距離計用のものであり 真中のものはスイッチオフ用である。

図10はプループと電流回路との関係を図説したものである。スイッチ (S<sub>1</sub>) がカメラ側にオンされると12Vの電流はフラッシュチャージング回路に流れる。トランジスターオシレータはそれが完全に充電されるまでフラッシュコンデンサーにチャージし その後にスイッチオフする。もしもフラッシュスイッチ (S<sub>2</sub>) がオンされると リレーは活動的となり 接点は閉じ 電圧はマイクロ・スイッチ (S<sub>3</sub>) (これは閉じている) を経てモータに供給される。モータはフィルムを巻き シャッタをコックして瞬時だけ開放し さらにフラッシュに点火するための機構を動かす。モータ回路はサイクルの終りに瞬時に遮断するが しかしモータは次のサイクルのためにマイクロスイッチ (S<sub>3</sub>) を直ちにスイッチオンさせるための十分な力を蓄えている。モータが働いているかどうかは左側の電流計をみれば分る。

スイッチ (S<sub>1</sub>) がプループ側にオンされると 電灯は点火し 同時にフォトレジスターは右側のマイクロ電流計に接続される。このメータからの分岐は100倍の感度に増幅される。

フラッシュユニット モータおよび電灯用電源として12Vの自動車用バッテリーが またフォトレジスター用

表1 距離測定結果表(2回測定した結果の平均値)

真の距離 (スチールテープで測定) (ft)	1ftベース		2ftベース	
	測定距離 (ft)	誤差 (%)	測定距離 (ft)	誤差 (%)
50.0	52.6	5.1	49.5	1.0
30.9	31.4	1.6	30.1	2.6
27.2	27.9	2.6	26.7	1.8
23.6	24.2	2.5	23.5	0.4
20.1	20.8	2.5	20.3	1.0
16.9	17.4	3.5	17.0	0.6
15.3	15.7	3.0	15.2	0.7
12.6	13.0	2.6	12.5	0.8

電源として45Vの乾電池が必要である。実際にフォトレジスターに流れる電流はきわめてわずかであるので乾電池の寿命は長いし また12Vバッテリーから流れる電流量はかなり多いが (1.2~1.6amp) 自動車のエンジンを駆動しながら行なえば問題はない。

7-2 距離測定方法 (図11)

以前の経験では 地下空洞を撮影した写真の中に縮尺を設けなかったので 空洞壁との間隔を測定することは事実上不可能であった。レンズの視野の深さやフラッシュ照度の強さは距離測定の手段を与えてくれるが しかし正確なものではない。空洞の大きさを正確に測定するための簡単な方法が開発された。同じ方向にセットしたカメラが孔内に下ろされ 所定の深度から 1ft 2ft あるいは 3ft 間隔で撮影される。すると2枚のネガから空洞内の同じ対象物が若干移動していることが分るのであろう。この移動量を測定し 次の方程式に代入して計算すると 対象物までの距離が算出される。

$$D = \frac{F \times b}{d}$$

D: カメラと対象物との距離  
 F: レンズの焦点距離 (既知)  
 b: カメラが降下された距離 (ベース)  
 d: 映像の移動距離 (移動量)

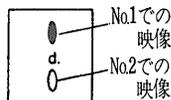
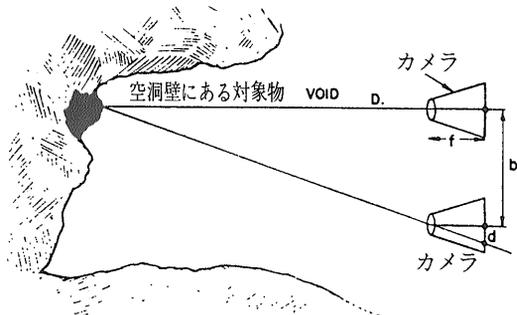


図11 距離測定法の原理図

$$D = \frac{f}{d}$$

$$D = \frac{fb}{d}$$

この技術を研究室内の travelling microscope を使ってテストしたところ 表1に示すように 1ft ベースでさえ驚くほどの精度を示している。このマイクロスコープは他の装置と一緒に持ち運びができないので 現場用の特別プロジェクタを開発した。

このプロジェクタの光学的システムは図12に示してある。照明源は反射カバーやコンデンサーシステムをもった小さな12Vランプである。標準の対物レンズはスクリーン上に2枚のネガを写し出し しかも10倍にも拡大することができる。各ネガのホルダーはエマルジョンを傷つけないように2枚のガラス板に挟まれ しかもスクリーン一杯に移動できるようにラックとピニオンが使われている。スライドカーソルを1つのネガに写っている空洞壁の映像と一致させ さらに第2のネガにある同じ映像を一致させると カーソルのスケールから距離を直接に読み取ることができるようになっている。このプロジェクタは可搬式で しかもかなり丈夫にできており さらにそのランプがカメラと同様に12Vバッテリーを使用できるので 現場でも簡単に使われる。強烈な太陽の下で使用する場合にはフードを用いればよい。

7-3 降下機構

カメラプルーブは所定の方向と深度が正確に維持されること・および測定後の引上げに際して安全が確認されなければ使用できない。同時に降下機構は移動の簡便性を考えて 軽量・小型をモットーとしている。

1) 降下用 ロッドおよびカップリング

ねじり強度を保つ必要から1/2"径 10ft長さの16gauge

steel rods が採用された。また各ロッドやカップリングにはプルーブの一定方向を保つために長軸に沿って1本の直線が刻み込まれている。ロッドは標準の1"スチームパイプのコンネクターを使ってプルーブに連結される。カップリングをつけてのロッドの引張り試験では1,900kg程度でわずかの伸びがみられた。150mのロッドとカップリングをつけたプルーブ および150mのケーブルの全重量は約55kgであり 約30倍の安全率をみている。このことは孔内崩壊に会っても十分に耐えられることを示している。深度を早急に測るためにすべてのロッドには番号が打ってあるし 1ftごとに目盛が刻まれている。

2) ターンテーブル (写真11)

軽い3脚式のスチールテーブルであり その表面板はデュラルミンで作られていて その上にクランプ ウィンチおよびテレスコープ式のボール(昇降用)が取り付けられている。テレスコープ式は3本のセクションから成っていて 最上部はスチール製であるが 他の2本はアルミ製であり 全長は3.6mとなる。その最先端にはスチール製の2個の滑車が溶接されている。

ウィンチはロッドおよびプルーブの昇降用に設けられたもので 深度に応じて1:1 1:2.5 1:4および1:10の変速比が用いられ 変速比を変える場合には自動的にロックされるようなユニークな機構になっている。また必要に応じてオペレータの手で操作される場合があるが これに対してフリーホイールの機構が組入れられている。

迅速作動のチャック(図13)はロッドカップリングの

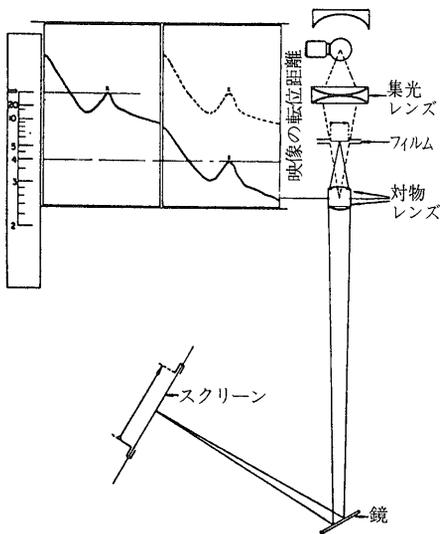


図12 プロジェクタの光学的システム

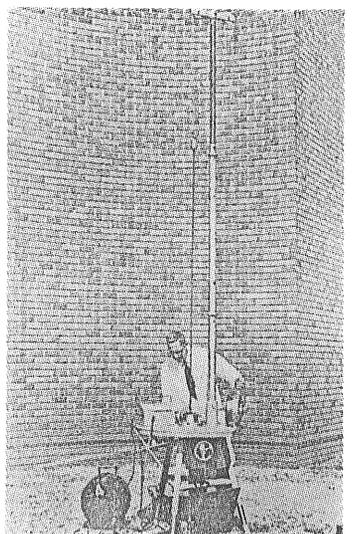


写真11 地表装置の全景

着脱を行なっている間 さらに写真測定を行なっている間 ロッドをしっかりと保持しているために作られたものである。

このチャックは ロッドと一緒に回転しない主クランプと 主クランプが開放されている間 ロッドやカメラの墜落を防いでいるセーフティクランプからなっている。チャックの周りには7½°間隔で目盛された protractor が取付けられていて その0ポイントが磁北に当るように回転してロックされる。チャックの内部構造は通常のロッドホルダ（ロッドクランプ）とほとんど同じである。

3) 調査・観測作業の実施例 (図14参照)

空洞に当たったと思われる情報およびドリラーの関知した情報がもたらされると 現場では次のような順序で調査・観測が行なわれる。

- (イ) 模型プループ（本物と同じ寸法のスチール製）でもって挿入・引上げテストを行なう。
- (ロ) 本物のカメラプループを下ろす際 深度計のスイッチをオンしておく 降下中連続的にメータが観測される。またプループをゆるく回転させながら降下させると 空洞の存在をはっきりと見きわめることができる。
- (ハ) 空洞に当たるとフォトレジスターの電流は一気に低くなる。それから空洞の状態や高さを大雑把に観測する。
- (ニ) カメラがスイッチオンされると ゼロから出発して時計方向に 30°ずつ撮影されるのであるが この際ゼロ点を磁北に合わせておくのが普通である。最初の一連の写真は一般に空洞天盤がよく見える高さで撮影するのがよい。

(ホ) それからカメラは空洞の予定高さに応じて 1ft 2ftまたは 3ft 間隔で下ろされ 観察撮影を繰返す。この手順は全フィルムが撮影し終るまで繰返され その後にカメラが引上げられる。

(ヘ) このフィルムが現像されると プロジェクタで調査・研究が行なわれるのであるが 必要に応じて再び降下されることもある。

8. 国産ペリスコープ

本器は東大阪市にある銚千里測機製作所が10年の歳月を費して完成させたもので 主としてコンクリート構築物や配管内部の検査用に考案したものであるが 最近では亜炭採掘跡の古洞調査にも適用範囲を拡げていることから 今後基礎地盤関係の調査にも活用されることが期待されている。

1) 本器の構造

本器は照明部 対物部 中間部 接眼部 電源部で構成され 肉眼観察ができると共に写真撮影もできるようになっている (図15)。

本器鏡筒部の外径は19mmであるが 振れ止めやストッパーを用いる関係で 通常35mm径のボーリング孔に使用される。中間部鏡筒の1本の長さは1mであり 調査深度に応じてこの中間鏡筒を継足していくのであるが 一般に深度10m程度までが標準とされている。しかし孔内条件のよいところでは 深度30m程度までは可能と考えられている。

照明は6V 20Wが常用されているが 古洞調査のように鏡筒からかなり離れた対象物を観察する場合には

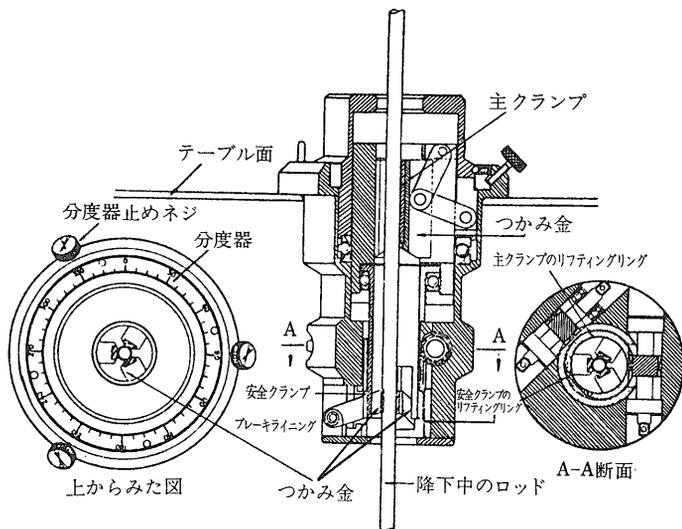


図13 安全チャックの構造図

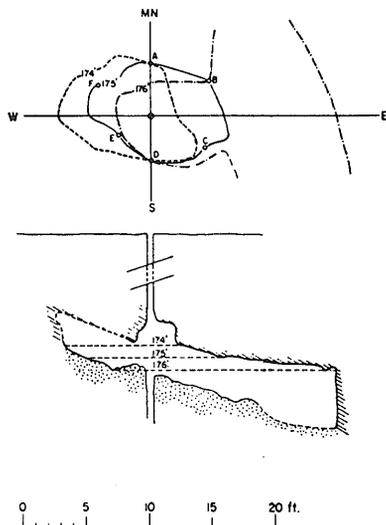


図14 空洞の水平・垂直観測図

もっと強力な光源が必要である。例えば名古屋通産局で実施している亜炭古洞調査での実験では 15V 150W のハロゲンランプを2個使用した結果では 5m程度離れたところまで何とか観察できたようである(この時の深度は5m)。電源は内壁検査器専用としてユアサ6V 11Aのバッテリーを使っているが連続3時間程度は使用できるようである。また前記の名古屋地区の古洞調

査では100VのAC源から変圧器で15~25V(出力10~20A)に変えて使用したがもしも100VのAC源がないところでは12V(20A)のバッテリーが使用される。

焦点の調整は鏡筒から30mm離れた程度であれば接眼レンズのところにある焦点調節環で行なわれるがそれより離れると無限大となる。

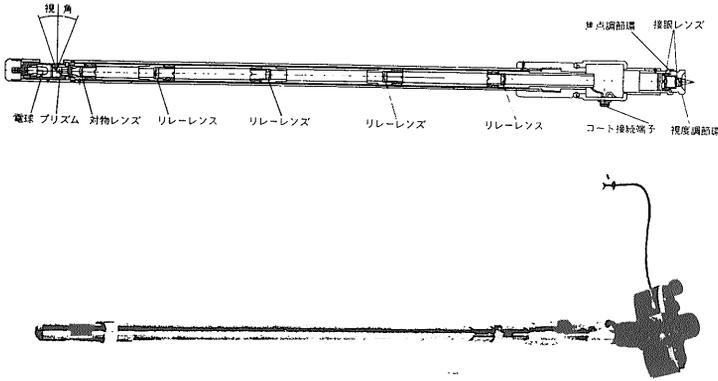


図15-a 国産ペリスコープの機構説明図

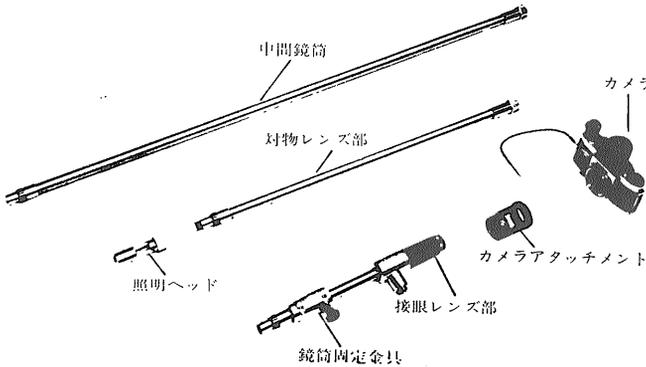


図15-b ペリスコープの分解説明図

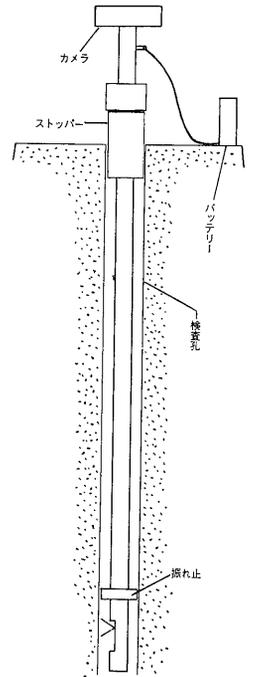


図16 ペリスコープ固定装置略図

**観察物体の実寸法算定要領**

焦点板のスケールと観察物体の寸法との関係(写真12)は下表のごとくであるのでこれを基準として計算する。

鏡筒からの距離	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
目盛の単位長	0.12	0.18	0.24	0.31	0.37	0.43	0.50	0.56	0.62	0.68	0.75

単位: mm

例えば 鏡筒からの距離が30mmある場合 スケールの1目盛は0.5mmに相当するのでもし観察物の長さが6目盛であると観察物の実寸法は  $6 \times 0.5 = 3.0\text{mm}$  となる。

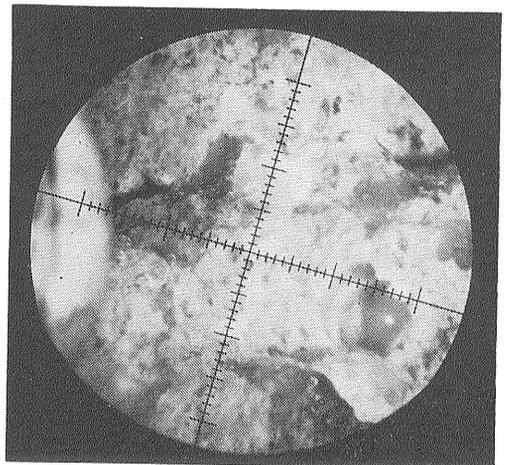


写真12 橋脚コンクリート内部の観察写真