

図-1 稲村ダム地質縦断面

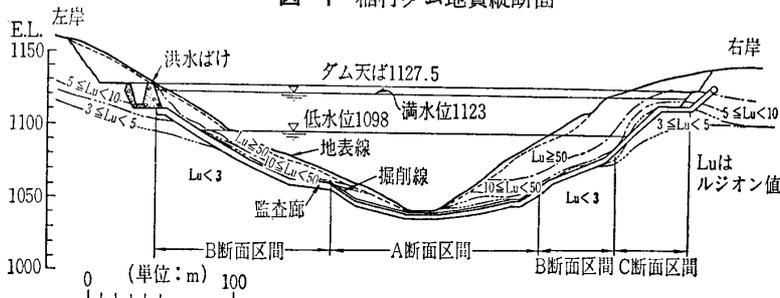


図-2 稲村ダム地盤透水性分布

断面を採用した。しかし右岸上部では予想以上に地質が悪く斜面も急勾配であったので工事着手後、構造上最小断面に変更せざるを得なくなり、内空断面をほろ型に変更したC断面を採用することにした。これらの断面形状を図-3に、各断面の適用範囲を図-2に示す。

3.2 監査廊の設計計算

監査廊断面の応力解析は二次元FEMによって行った。解析モデルとしては、監査廊の幅の2倍、監査廊の高さの1.8倍の範囲内の基礎岩盤と監査廊を計算対象とした。解析を行うに当たっては、次のような仮定条件と拘束条件を

設定した。

(1) 仮定条件

- ① コンクリートおよび岩盤の自重は考慮する。
- ② 地震力は考慮しない。
- ③ 岩盤は等方性とする。

(2) 解析モデル周辺の拘束条件

- ① 上面はx方向(水平方向), y方向(鉛直方向)ともに自由とする。
- ② 側面はx方向は固定, y方向は自由とする。
- ③ 底面はx方向, y方向ともに固定とする。

計算に使用した物性値および材料の許容応力値は表-1のとおりである。図-4にダムの標準断面, 図-5に監査廊A断面荷重載荷状態を示す。設計荷重としては, A, B, C各断面の最深部となる点における上

弾性係数	岩盤	20 000 kgf/cm ²
	コンクリート	200 000 kgf/cm ²
ポアソン比		0.2
コンクリートの単位体積重量		2.35 tf/m ³
土質遮水壁の単位体積重量		2.2 tf/m ³
ロックフィルの単位体積重量		2.26 tf/m ³
鉄筋の許容応力		2 000 kgf/cm ²
コンクリートの許容応力	A断面	90 kgf/cm ²
	B, C断面	70 kgf/cm ²

載荷重と水圧を考慮した。水圧については、土質遮水壁内のポテンシャル図から求めた。

FEMによって求めたA断面の応力状態を図-6に示す。図からアーチクラウン部, インバート上部およびウィング上部(肩部)に引張り応力が生じていることが分かる。このコンクリートの引張り応力は、鉄筋によって負担させるものとする。また圧縮力が大きな値を示すが、これはコンクリートならびに圧縮鉄筋に負担させる。せん断力については、単純せん断でなく圧縮力を伴う場合のせん断力として求め、安全率は2.0以上として所要鉄筋量を求めた。図-7に監査廊A断面配筋図を示す。

監査廊コンクリートの軸方向の伸縮継手間隔は7.5mを標準

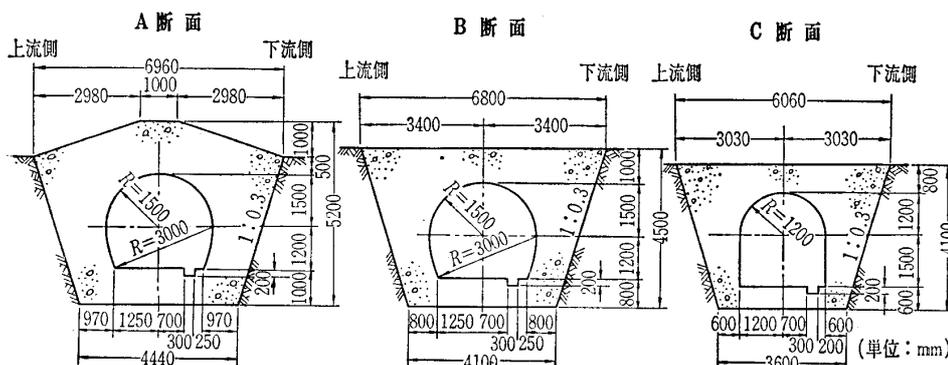


図-3 監査廊断面

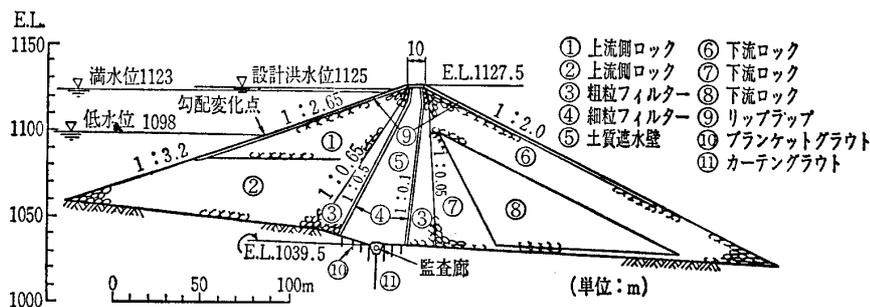


図-4 稲村ダム標準断面

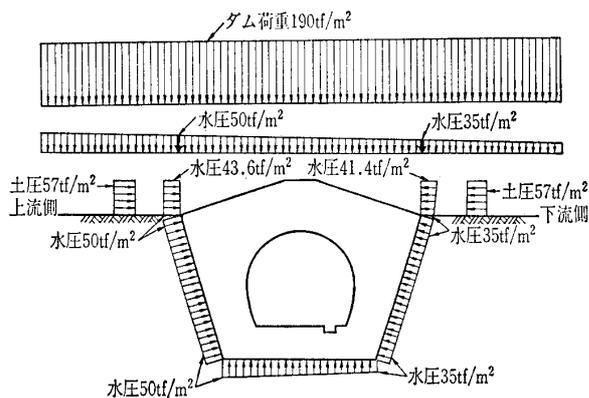


図-5 監査廊A断面荷重状態

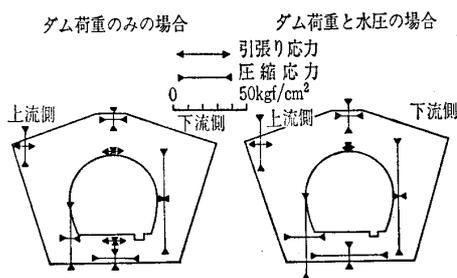


図-6 監査廊A断面応力状態

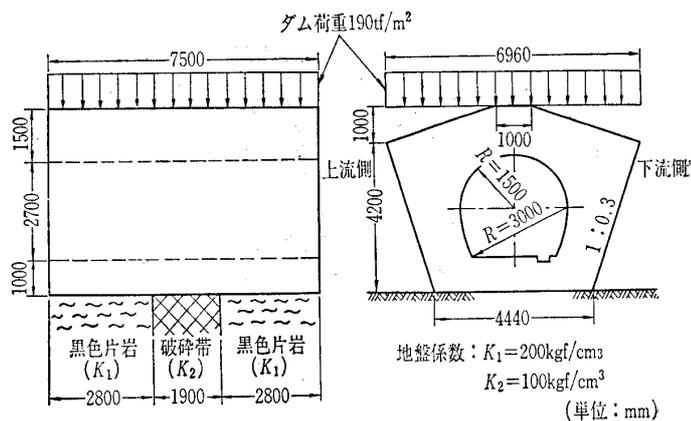


図-8 破砕帯上の監査廊縦断面方向の検討

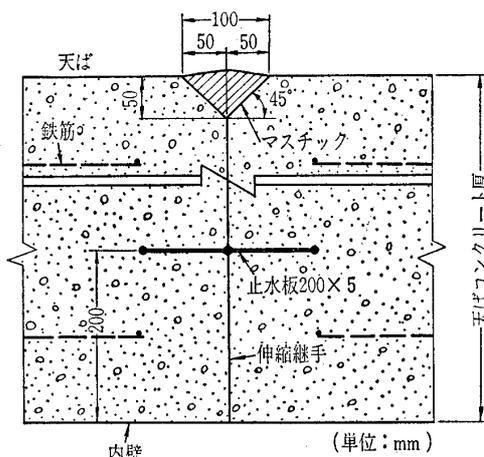


図-9 監査廊伸縮継手詳細

とした。ただし、勾配の変化点等ではこの間隔を変更することにした。監査廊A断面区間には前記の水平方向の破砕帯が存在したのでこの部分の監査廊の設計については、堤軸方向の弾性床の上のりとして応力等の計算を行った。図-8に示すように、地盤係数の異なる弾性床とし、左右対称の等分布荷重が作用するものとして計算を行い部材に作用する応力を求め所要の鉄筋量を求めた。

監査廊の伸縮継手には、図-9に示すように止水板を挿入し、また天端にはマッシュクを詰め、継手の間隙によって、土質遮水壁のパイピングを起こさないように配慮した。その他、後述するように継手間隙のグラウトも行った。なお、伸縮継手では鉄筋は継がないものとした。

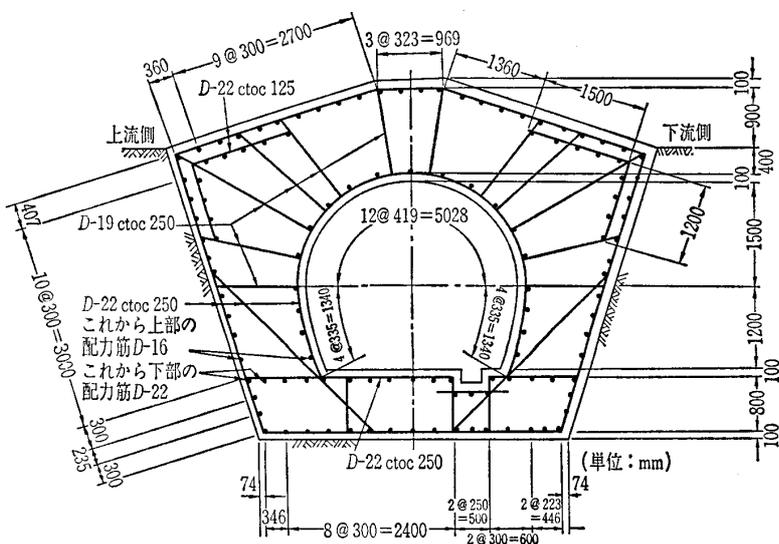


図-7 監査廊A断面配筋図

4. 監査廊の施工

4.1 掘削

土質遮水壁基礎部については原則として、透水性については3ルジオン以下かつ電研式岩盤分類でC_Mクラス以上を目標として掘削を行った。監査廊の掘削方法としては、基礎岩盤を極力損傷しないように、図-10に示すようなプレスリット工法を採用した。すなわち計画掘削のり面に沿って60cm間隔にクロードリルでせん孔し孔長に合わせた割竹にダイナマイト100gずつを60cm間隔にテープ止めしたものに導爆線を添えて一体とし、それを各孔に1本ずつ挿入する。これを盤打ちに先立って発破し、のり面に沿ったクラックを発生させて、盤打ち発破による残壁への影響を極力少なくする工法である。

掘削時に次のような問題が発生した。

- ① 基岩の片理面(層理面と一致する)が水平であるため土質遮水壁基礎掘削面は緩みやすく、仕上げの段階で掘削上端が計画線より低くなり、このために既に掘削した監査廊の掘込み高さが不足することがしばしばあった。不足範囲が大きい場合には監査廊を再掘削しなければ

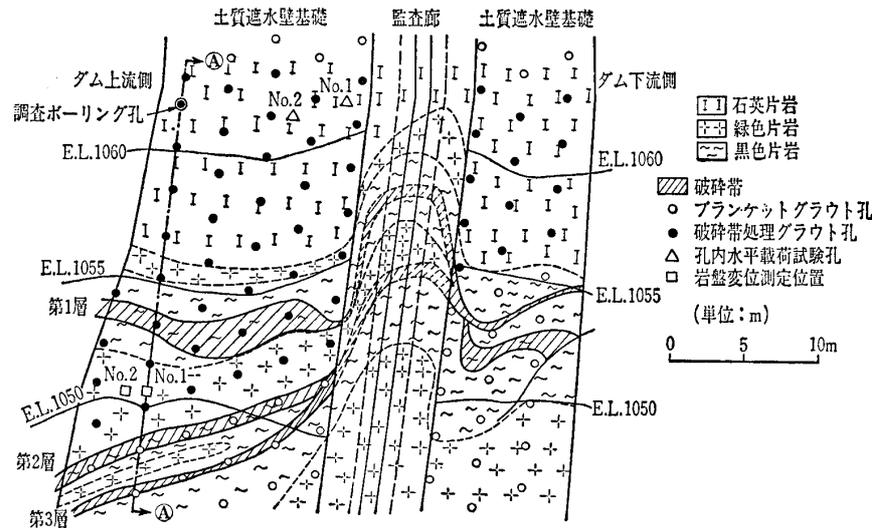


図-13 断層破碎帯処理平面

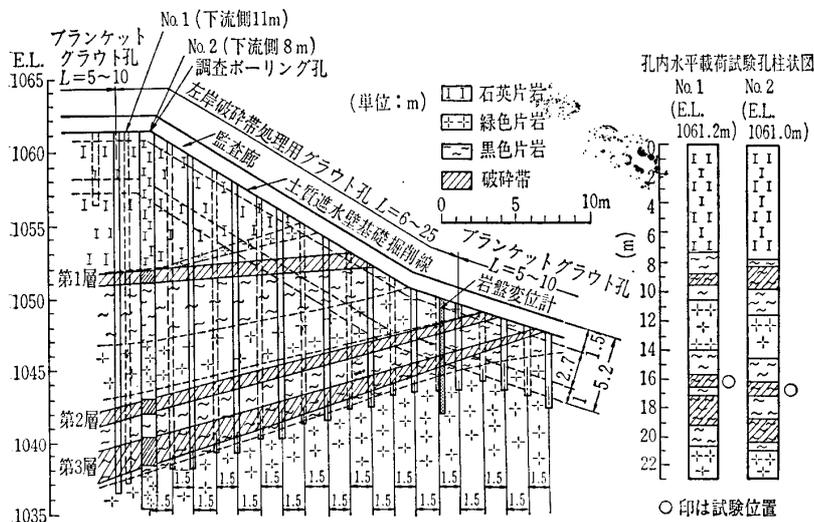


図-14 断層破碎帯処理A-A断面

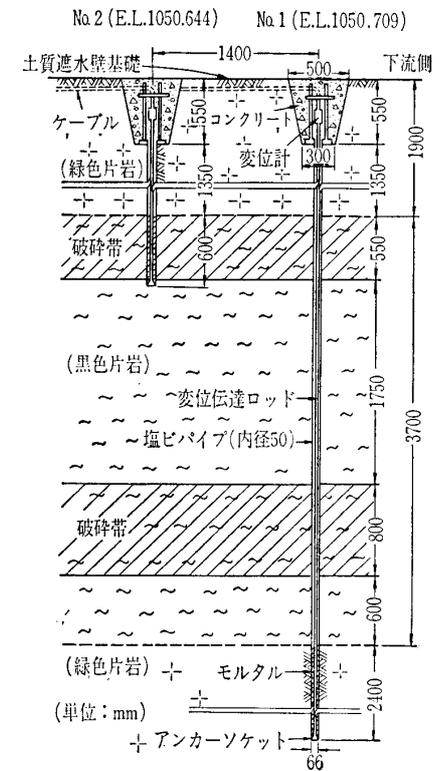


図-15 岩盤変位測定装置

記圧力記録計を使用し管理に万全の注意を払った。グラウト施工に先立ち、孔内水平載荷試験を行った。この試験孔(φ66 mm)および調査ボーリング孔(φ66 mm)のコアを見ると上部より石英片岩、黒色片岩、緑色片岩、黒色片岩、緑色片岩と続き、この両黒色片岩中に破碎帯が認められた。第1層の破碎帯(標高1052m付近)は上部黒色片岩中に在り、比較的破碎の程度は少なかったが、第2層(標高1045m付近)と第3層(標高1040m付近)の破碎帯は下部黒色片岩中に在り、破碎の程度は著しく深度が増すほど破碎の程度は大きくなっていることが確認された。グラウト前後に第2層の破碎帯で行った孔内水平載荷試験の測定の結果、変形係数は590 kgf/cm²から1300 kgf/cm²に増加し、グラウトによる効果が確認された。

次に、ダムの盛立に伴う上載荷重による破碎帯の挙動を監視するためカールソン方式の岩盤変位計を黒色片岩を挟んで図-15に示すように2個所設置した。ダムの盛立に従って沈下変位が生じたが盛立完了後は変位も横ばいと成り安定している。ダム盛立標高と岩盤変位量の関係を図-16

に示す。現在までの最大収縮量はNo.1地点の23mmである。なお監視廊の変状は皆無である。破碎帯部の変形係数については、グラウト改良直後の孔内水平載荷試験による値と盛立完了後の岩盤変位計から求めた値を比較すると圧密により後者の方が大きくなっている。すなわち前者の1300 kgf/cm²に対し、後者は3500 kgf/cm²を示す。

4.3 監視廊のコンクリート打設

コンクリート打設はインバート部とアーチ部の2回打ちとし、長さ7.5mの鋼製組立セトルを使用した。勾配の変化部については木製型枠を併用した。コンクリートはダム盛立面からコンクリートポンプ車により打設した。河床部ではコンクリートの打設時期が10月となり気温が低くなってきたこと、一日でも早く監視廊を仕上げ土質遮水壁

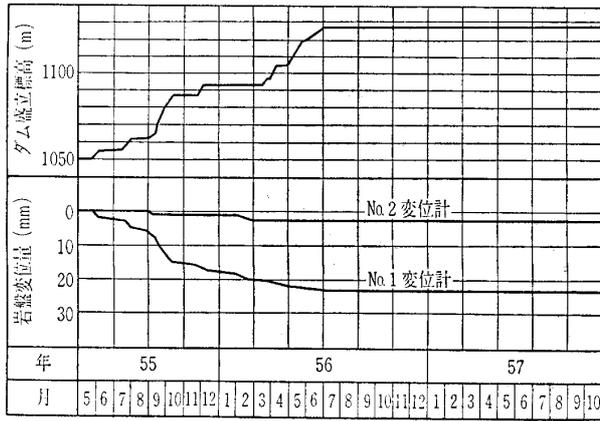


図-16 ダム盛立標高と岩盤変位量

の盛立工事を実施しなければならなかったため、早強剤を使用した。しかし河床部では、工事初期のための作業不慣れと、監査廊の水平部が長いこと監査廊の施工待ちにより土質遮水壁の盛立は遅れ勝ちであった。両側の傾斜部にかかってからは、監査廊のコンクリート打設が盛立作業に追われなくなったこと、断面もB断面と小さくなり工程にも余裕がでてきたので、早強剤の使用は中止した。

4.4 監査廊内の防水工事

(1) 伸縮継手のグラウト工

監査廊の伸縮継手部は、監査廊内部への漏水に対しては、全周に止水板を設置することによって対処しているが、アーチ部の止水板からマスチックを詰めてある天端までの間は、継手部に上下流に通じる間隙が残っている。このままでは、基礎の不同沈下あるいはコンクリートの収縮により水みちを作ることが予想されたので、貯水開始前に監査廊内部から継手部にグラウト注入を行うことにした。このため図-17に示すように監査廊内天井部に注入孔とリターン孔をせん孔しセメントミルクを注入することにした。注入はセメントミルクがリターン孔から流出するまで続行することとし、セメントミルク濃度はC/W=1/10~1/4~1/1と順次切り変えることを原則とした。注入圧力は最終圧力が各ブロックの水圧に等しくなるまで上昇させた。施工はカーテングラウトならびに周辺グラウトの終了後に行った。

(2) 監査廊内壁に発生したクラックの防水工

監査廊内壁には、脱型数日後に収縮ヘアクラックが各ブロックごとに、天井部に縦断方向に生じ、ブロック中央付近では、横断方向全周に生じる特性があった。これらのクラックを通る監査廊内への漏水の可能性は、その深さからみてまず考えられなかったが、万一の場合の土質遮水壁材料の流出予防のため、貯水開始前に処理することにした。このような場合に使用する防水用接着材は各種メーカーから多数市販されているが、当監査廊のような大きな水圧が作用する場所に施工された事例が見当たらなかったため図-18に示すような装置を作成し、耐圧比較試験を実施した。この装置は、直径15cmのコンクリートの圧縮強度試験用

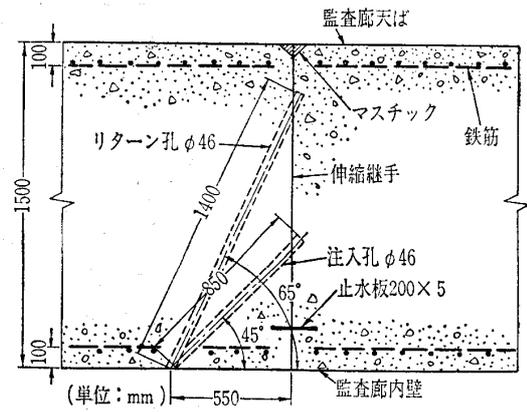


図-17 監査廊A断面伸縮継手グラウト工法

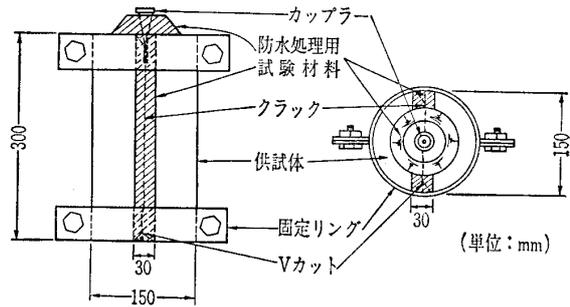


図-18 コンクリート供試体と試験装置

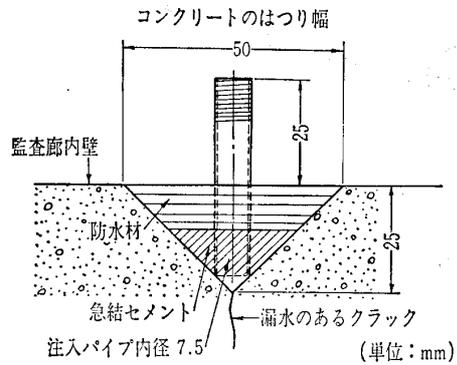


図-19 漏水部修理工法

表-2 B社の材料の性状

外 観	主 剤 硬化剤 混合材	灰白色・パテ状 暗緑色・パテ状 灰色・パテ状
混合比(重量) 可使時間	主剤/硬化剤 2 kg 20℃	1/1 60分
比 重	主 剤 硬化剤 混合材	1.6 1.4 1.5
固型分		100%

供試体を縦割りにし、その割れ目の表面部分に沿ってVカットし各種試験材料を使って防水処理を行いカップラーを使って供試体の内部に水圧10 kgf/cm²を作用させて漏水

の有無を観察するものである。この試験には4社（B社、J社、K社、S社）の材料を使用した。また10 kgf/cm²の水圧を発生させるために、三軸圧縮試験機の加圧装置を利用した。

実際の施工には試験の結果耐圧力に優れたB社の材料を使用することにした。B社の材料は特殊エポキシ系の接着材で、湿潤面でも施工が可能であり、また混合などにおける材料の取扱いも簡単であるため現場施工に適した材料と言える。

B社の材料の性状は表-2に示すとおりである。施工方法はクラックに沿ってコンクリートをVカットして防水材を詰めるものである。また漏水箇所については、図-19に示すように注入パイプを設置して、そこからポリウレタン系親水性樹脂材を注入することにした。なお施工後の表面

には、クラックに沿って幅20cmで、コンクリート防水材Wを刷毛塗りし表面仕上げを行った。防水工事の総延長は650mであり、その内漏水箇所の処理を行ったのは20mであった。貯水完了後防水箇所は良好な結果を示している。

5. あとがき

以上結晶片岩地帯に施工した監査廊の設計と施工について述べた。特に施工中での問題を主とし、掘削中に発生した監査廊掘削のり面のクラック処理、破碎帯処理とその後の管理方法、監査廊内壁に発生したクラックの処理等について御紹介した。読者諸兄の参考になれば幸いである。

最後に、紙面を借りて設計施工に当たりいろいろ御協力いただいた方々に厚くお礼申し上げる次第である。

(原稿受理 1983.12.9)

技術手帳

電磁波反射法探査

はら 徹 お夫*

1. 電磁波反射法探査とは

3000 GHz (ギガヘルツ, 10⁹ ヘルツ) 以下の周波数の電磁波は電波と呼ばれ、電波を利用して地下構造を探査する方法は電波法と総称される。これは、空中と大地の境界に沿って伝播する表面波を利用する方法と、地中伝ば波を利用する方法に大別される。電磁波反射法は後者に属し、電磁波を地下に向けて放射し、電気的性質の異なる境界面で生じた反射波を捉え、これによって境界面の形状・深度等を測定する方法である。その原理が空中レーダーと類似しているところから、地下(地中)レーダー探査とも呼ばれている。

この探査法は、1960年代極地の氷の厚みを測定するなどの目的で欧米で開発され¹⁾、1970年代には実用機が出現するに至った。日本でも、1960年代以降一部研究者によって実験が試みられて来ており²⁾、最近では装置も市販され土木分野への適用の実績も増えつつある³⁾⁻⁵⁾。

2. 探査装置の構成と測定方法

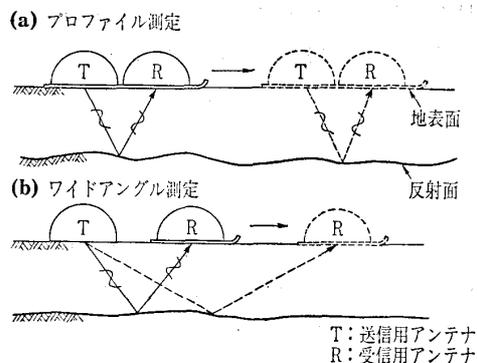


図-1 測定方法

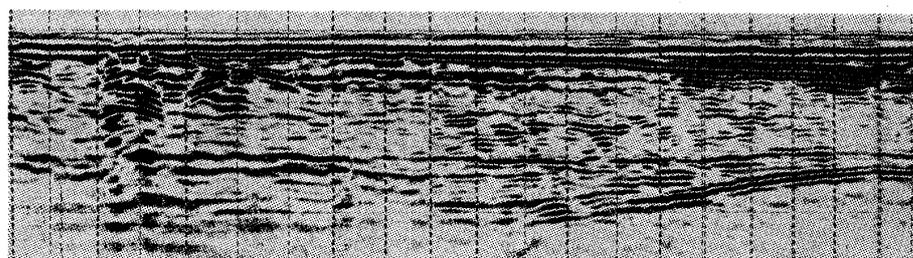


図-2 プロファイル測定記録例

測定の方式には、連続波を用いる方法とパルス波を用いる方法がある。連続波方式は直接波と反射波の干渉現象を用いる方法であり、パルス波方式は、反射波の時間遅れの

* 総合地質調査事務所 地盤工学研究所 物探第三研究室長