

港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 196 Dec. 1974

電磁波による岩石破碎実験装置の試作

小	岩	苔	生
白	鳥	保	夫
菊	谷		徹
高	橋	英	俊

運輸省港湾技術研究所



電磁波による岩石破碎実験装置の試作

目 次

要 旨	3
1. まえがき	3
2. 電磁波発生装置	4
2.1 電磁波発生装置の概要	4
2.2 電磁波発生装置の仕様	4
3. 予備実験装置	5
3.1 予備実験装置の概要	5
3.2 電磁波遮蔽カバー	5
3.3 導波管路	7
3.4 電磁波の漏洩	7
4. 水中実験装置	8
4.1 水中実験装置の概要	8
4.2 電磁波遮蔽室	8
4.3 導波管路	8
4.4 電磁波の漏洩	8
4.5 実験記録・監視装置	10
5. 岩石試料移動昇降装置	12
5.1 装置の概要	12
5.2 装置の仕様	14
5.3 設計概要	14
6. あとがき	17
謝 辞	17
参考文献	17

電磁波による岩石破碎実験装置の試作

小 岩 苔 生* 白 鳥 保 夫**
菊 谷 徹*** 高 橋 英 俊***

要 旨

本資料は岩盤浚渫に関する研究の1つとして、当研究所でとりあげられている電磁波による岩盤破碎の研究用に試作された実験装置についてその概要を記したものである。

本装置は電磁波発生装置、水中実験装置、岩石試料移動昇降装置からなるが、地上での予備実験に用いられた装置についても述べられている。

- 1) 電磁波発生装置
電磁波出力(連続) 0~30 KW
周波数 915 MHz
電 源 3相 200 V, 45KVA
- 2) 予備実験装置
電磁遮蔽カバー エキスパンドメタル張り
幅 2.7m × 奥行 2.7m × 高さ 1.8m
導波管路 約 4 m
- 3) 水中実験装置
電磁遮蔽室 鉄板張り半地下水槽
幅 4 m × 奥行 10 m × 高さ 3 m
導波管路 約 7 m
- 4) 岩石試料移動昇降装置
走行: 距離 7 m, 速度 2~10 m/min, 荷重 7,500 kg
横行: 距離 1 m, 速度 0.3~2 m/min, 荷重 500 kg
昇降: 高さ 2 m, 自昇降荷重 500 kg

1. ま え が き

海底が岩盤である場合、そこでの航路や港の新設、水深の増大には経済的にも技術的にも困難が多いため、なるべく避けられている。止むを得ない場合には、ディップ船、クラブ船、砕岩船などのように機械的な方法で岩盤の破碎、浚渫が行われ、種々の制約から火薬はほとんど用いられていないのが現状である。

しかし船舶の大形化などが進むにつれて、岩盤の浚渫に対する要求が高まり、機械的な種々の方法の改善や衝

撃の少い火薬の使用などとともに、岩盤破碎の新しい方法がいくつか検討されている。

電磁波による岩盤破碎の方法もその1つであって、当研究所においては昭和45年度から基礎研究が始められ、昭和46年度には大形の電磁波発生装置が試作された。電磁波は水中で放射されると空中の場合に比較して減衰が大きく、この傾向はその周波数が大きくなるに従い顕著になり、水中での電磁波の遮蔽はあまり問題とならなくなるが、その反面には電磁波照射部の水の排除や、含水率の大きい岩石の電磁波に対する特性などの研究が必要

* 機材部 特殊作業船開発室長

** 機材部 水中施工主任研究官

*** 機材部 特殊作業船開発室

になってくる。本報告には、陸上での予備実験装置および、海中での応用を図るための水中実験施設などの増強してきたのでこれを紹介する。

2. 電磁波発生装置

2.1 電磁波発生装置の概要

電磁波による岩石の破砕は、電磁エネルギーが岩石中で熱エネルギーに変換され、熱応力などの機械的な力が生じる事を利用したものである。従って使用する電磁波の周波数は対象とする岩石に適したものを選択する事が望ましいが、海底岩盤のように通常金属の含有量が少く電気伝導度の小さい岩石に対しては一般に周波数が高い方が効果的である。またマイクロ波帯の周波数のものを用いれば比較的簡単に、小さなアンテナからでも電磁波を放射する事ができるため、電極棒などを岩石に接触させる必要がなくなるので、海底岩盤などを破砕する場合には好都合な方法となる。マイクロ波帯の周波数のものを砕岩などの目的に用いる場合には、工業用、科学用、医学用に割当られたいわゆる I.S.M バンドと言われる次の4つの周波数のものから選択できる。

91.5MHz \pm 25MHz, 2,450MHz \pm 50MHz

5,800MHz \pm 75MHz, 22,125MHz \pm 125MHz

以上の周波数の内、大出力の発振管が容易に得られるなどの点から、実験装置として91.5MHzのマグネトロンのもを選んだ。

2.2 電磁波発生装置の仕様

実験用の電磁波発生装置は大別すると、電源部、発振部、整合部、遠隔制御部、冷却装置、安全回路などから成る。ブロック図を図1に示す。各々の間の接続は、電源部と発振部は高圧ケーブルおよび多芯ケーブル2本、発振部と遠隔制御部は多芯ケーブル1本、冷却系統と発振部はエアホースおよび水ホースで行われている。

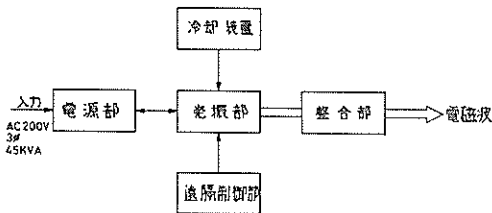


図1 電磁波発生装置のブロック図

(1) 電源部

電源部はマグネトロンを発振させるための陽極高圧電源、マグネット電源、ヒータ電源などを供給するためのもので、電源制御回路および保護回路を含み、入力電源はAC200V、3相45KVAである。

陽極電源はシリコン整流素子を用い、3相全波整流により、10KV~14KV、0~3Aを供給する。

マグネット電源はサイリスタ制御により0~100V、0~5Aの範囲で可変であり、このマグネット電流によりマグネトロンの出力を調整する。

ヒータ電源は電圧制御用のトランスのタップを自動的に切換る事により電圧制御を行い、サブトランスを経てマグネトロンのヒータに供給される。ヒータ電流は約50Aでマグネトロンを行動させる。本装置ではその構造上、サブトランスは発振部のケース内に納められている。電源部にはチェック用として、入力電源電圧計、陽極電源電圧計、ヒータ電源電圧計およびマグネット電源電流計を備えている。電源部の写真を図2に示す。

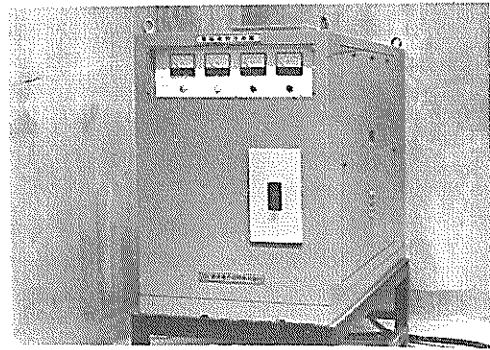


図2 電源部

(2) 発振部

発振部は電源部から供給される直流電力をマグネロン発振管により電磁波に変換して、導波管にこれを供給するためのものであり、大別すると、マグネロン、マグネロンマウント、サーキュレータ、接続導波管などから成っている。

マグネロン発振管の周波数は91.5MHz、出力は0~30KWまで連続可変であり、連続出力も最高30KWが得られる。

本装置に用いたマグネロンは負荷の不整合などによる反射波の吸収容量が小さいので、反射波をマグネロンの前で吸収するためのサーキュレータを備えている。

このサーキュレータはY字導波管，フェライト磁石，無反射終端などから成っており，容量は10KWである。

マグネトロンから導波管への接続は伝搬モードがTE₁₀になるように接続され，導波管は248×124の矩形断面のJISのWRJ-1規格のもので，アルミニウム製である。

また発振部にはチェック用として，ヒータ電圧，電流計が備えられている。図3に発振部の写真を示す。

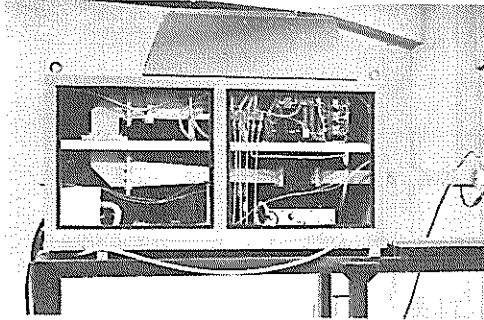


図3 発振部

(3) 整合部

岩石の種類などにより負荷インピーダンスが変化し，これが発振部と不整合状態であると反射波が生じ，負荷（岩石）に供給される電力の割合が減少して効率を悪化させるだけでなく，サーキュレータや発振管にも好ましくない。整合部はこのような不整合状態を避けるために設けるものである。本装置では自動的にインピーダンスの整合をとる機構を有するもので，反射波の検出部，整合エレメント，自動駆動部から構成されている。

(4) 遠隔制御部

本電磁波発生装置は遠隔制御部から全ての制御ができるように設計されている。指示計器としては電磁波出力計，同反射電力計，マグネット電流計，陽極電流計および

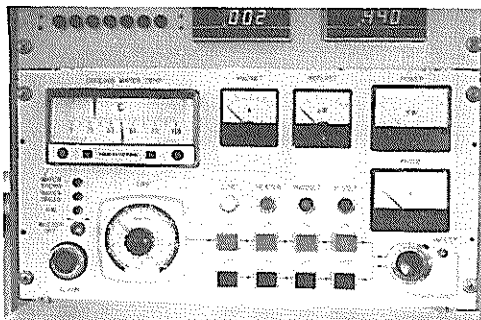


図4 遠隔制御部（電磁波発生装置）

冷却水温度計などがある。制御用としてヒータ電源の入・切，マグネット電源の入・切，陽極高圧電源の入・切用のスイッチ，および出力調整器，陽極高圧の印加時間をセットするタイマーを有している。図4に遠隔制御部の写真を示す。

(5) 保護・安全回路

過電流保護回路：電源部に陽極電流の過電流防止回路を設け，規定値（3A）以上の電流に対しては，マグネトロンの保護のため，陽極高圧電源を自動的に切るようにするための回路

異状反射保護回路：マグネトロン発振管に過大な反射波が戻ると発振管の寿命が短くなったり，作動が不安定になったりまた著しい場合には破損する事が考えられるので，発振管の直前の導波管中に検出器を設け，規定値以上（10KW）の反射に対し陽極高圧電源を遮断するようにしている。

冷却水不足防止回路：冷却系統の冷却水入口に圧力検出器を設け，冷却水の不足の場合に発振部および遠隔制御部の表示灯を点灯させ，警報ブザーを作動させるとともに陽極高圧電源を切る。

冷却空気不足防止回路：冷却系統の冷却空気入口に圧力検出器を設け，冷却空気が不足の場合に冷却水不足防止回路と同様の機能をもたせたものである。

ドアスイッチ：電源部および発振部の各側面のドア部にリミットスイッチを備え，点検中など側面のドアが開放されている時には陽極高圧電源の印加が不可能にしたもの。

図5に電源部，発振部，遠隔制御部の回路を示す。

3. 予備実験装置

3.1 予備実験装置の概要

本装置は電磁波による岩盤破砕に関する研究のなかで大気中での岩石の破砕実験を行うためのものであり，水中での岩石破砕実験に先だて行った。この装置による実験で電磁波による岩石破砕の基礎的な現象の把握と，水中実験装置の設計資材を得る事を目的とした。

予備実験装置は電磁波発生装置の他に電磁波遮蔽カバー，導波管路から成っており，実験に際しては，電磁波漏洩計，多点自動記録温度計，赤外線温度計，ITVなどを適宜使用した。

3.2 電磁波遮蔽力カバー

電磁波遮蔽カバーの大きさは，実験に用いる岩石試料の大きさを最大1m×1m×1mとし，また遮蔽カバー

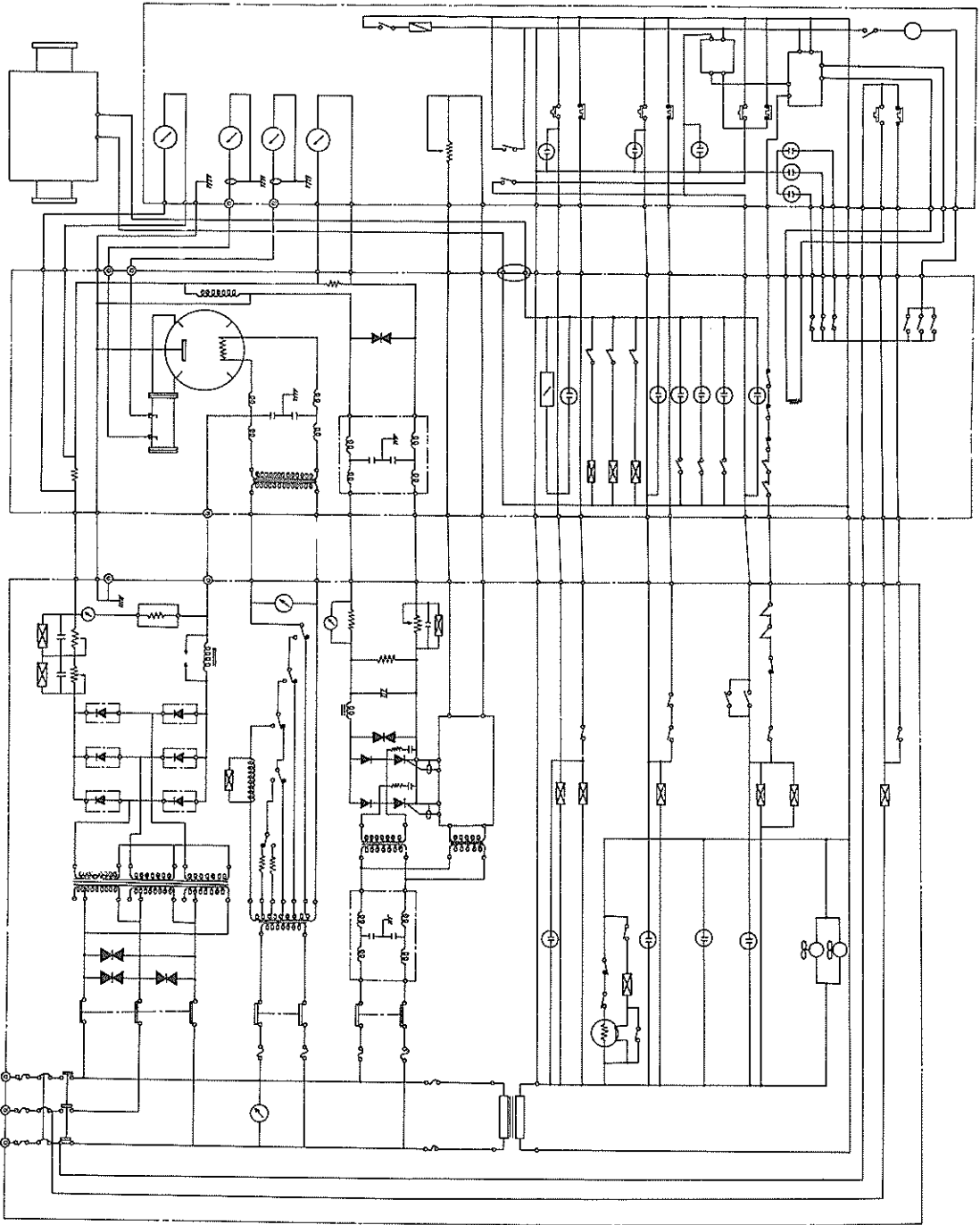


图5 电液发生装置回路图

の移動操作の点を考慮して、縦 2.7 m、横 2.7 m、高さ 1.8 m である。

外部から実験を観察するために、周囲はエクスパンドメタル張りとし、山形鋼製のフレームに溶接した。溶接ピッチは電磁波のもれを考慮して各部とも 50 mm 以内である。

岩石試料の搬入・搬出には遮蔽カバーをホイストで移動させてから行いが、実験途中にも種々の測定を迅速に行うために、導波管貫入部に開口部を設け、40 cm ほど遮蔽カバーをつり上げられるようにした。遮蔽室を図 6 に示す。

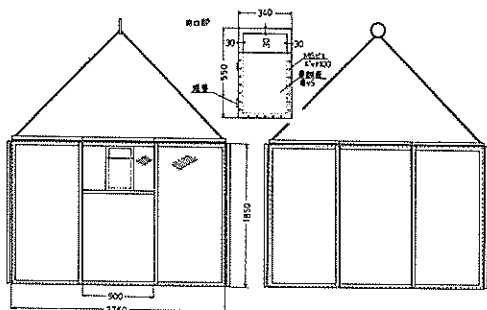


図 6 遮蔽室 (予備実験用)

3.3 導波管路

導波管路は図 7 に示すものを用いた。導波管はアルミ

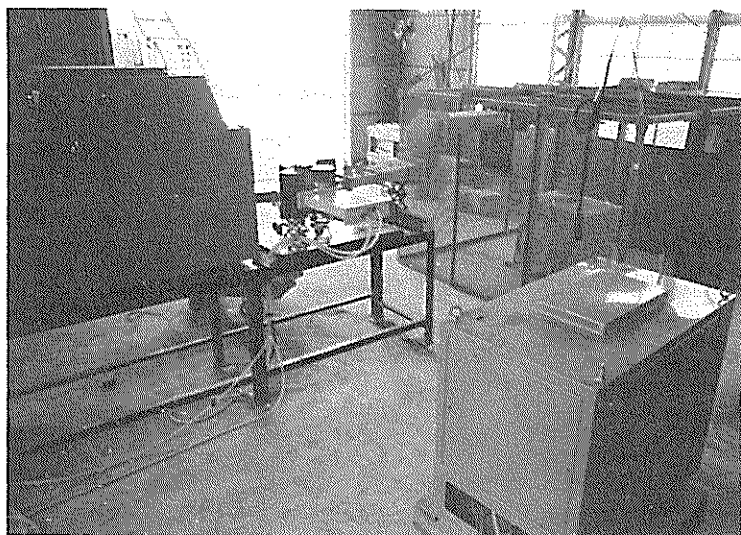


図 8 予備実験図

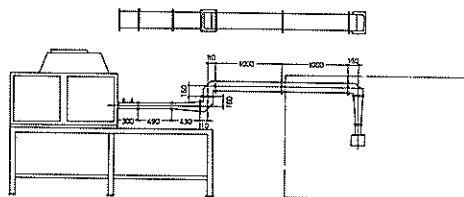


図 7 導波管路 (予備実験用)

ニウム製矩形導波管で WRJ-1 規格に準じたものである。図 8 に装置の全体を示す。

3.4 電磁波の漏洩

マイクロ波帯の周波数の電磁波が空間に漏洩した場合には、テレビ、ラジオまたはマイクロ波通信機能に障害を与えるだけでなく、生体にも影響が現われる。特に漏洩電磁波の密度が高い場合には永久的な視覚障害などを招く恐れがあるので十分な注意が必要であるとされている。

実験に際しては安全管理上、小形の電磁波漏洩計を用いた実験装置、実験場の近辺の電磁波の漏洩電力密度をチェックした。図 9～11 までは電磁波出力 10 KW、反射波 2 KW の場合の電力密度の分布を示すが、○印で囲んだ数字は各部の表面から約 30 cm 離れた場所の値、その他の数字は表面から約 5 cm 離れた所の漏洩電力密度 (mW/cm^2) を表わす。図 11 の左下部はエクスパンドメタル

壁に、直径約 5 cm、長さ 8 cm と 16 cm の鉄パイプを挿入し、中空部に発泡スチロールを詰め、その中央部にビニル平行電線を遮蔽カバー内に貫入した場合のものである。

導波管路部では一部フランジの加工が十分でない所や締付の不十分な所で漏洩密度が大きくなっていたが、30 cm 離れるといずれも $2 mW/cm^2$ 以下であった。発振部ではメータパネル付近で大きな値が検出されたが、これはマグネトロン管が附近にあるためと、メータパネル部の遮蔽が十分でないためであって、30 cm 以上離れると $2 \sim 3 mW/cm^2$ と小さくなる。山

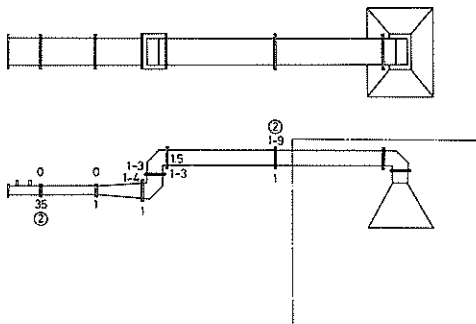


図9 導波管路部の電磁波の漏洩

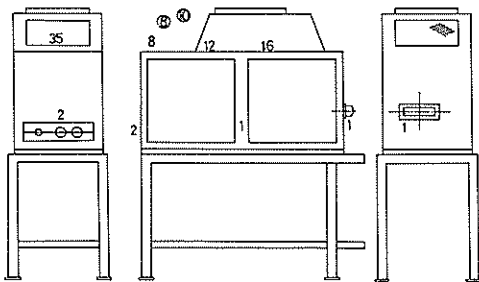


図10 発振部の電磁波の漏洩

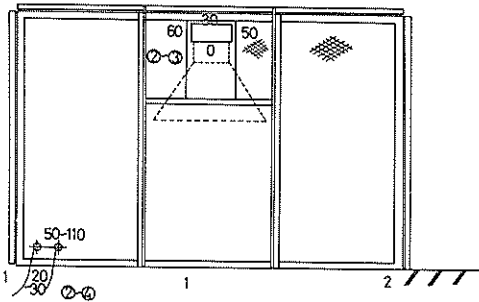


図11 遮蔽カバー部の電磁波の漏洩

形鋼のフレームとコンクリート床との接触部から漏洩は小さく、 2 mW/cm^2 以下であった。照明などに用いる事を想定した電線部からの洩れは鉄パイプ部からが最も大きく 100 mW/cm^2 を過えるがこれは鉄パイプのアースが不完全であったためと思われる。電源部では $20 \sim 30 \text{ mW/cm}^2$ となり、 30 cm 以上離れると 5 mW/cm^2 以下であった。

人体に許容される電磁波の漏洩密度については種々検討されているが、今回の実験では漏洩にさらされる時間が長い場合には 1 mW/cm^2 以下とし、短時間の場合に

は 5 mW/cm^2 以上で警報ブザーが作動するように電磁波漏洩計をセットした。

測定結果から、金属と金属のすき間からは漏れが大きくても、距離が離れると漏洩密度の値は急激に減少する事、金属とコンクリートのすき間からは漏洩が少ない事、電線などにはフィルタやシールドをつける事が望ましい事などの点が得られた。

電波障害については実験場所から約 10 m 以内では FM 放送の受信に支障が認められる場合があり、注意が必要である。

4. 水中実験装置

4.1 水中実験装置の概要

本装置は海底の岩盤など、岩石が水中にある場合の岩石の破砕性や破砕方法などを研究するためのもので、電磁波遮蔽室を半地下の水槽形式とした。このため実験の監視や操作は全て遠隔から行い、また安全性の面から、電磁波遮蔽室、破砕機室、遠隔操作室などの各室は鉄筋コンクリート壁で仕切られている。

4.2 電磁波遮蔽室

電磁波遮蔽室は図12の水中実験装置の配置図に示すように幅約 4 m 、奥行約 10 m 、高さ約 3 m の広さであり、約 300 mm 厚のコンクリート壁で囲まれた内部は 3.2 mm 厚の鋼板でライニングしたものである。上部には試料の出入用として約 $1.7 \text{ m} \times 2.2 \text{ m}$ の出入口を、また作業用の出入口として $0.5 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}$ のものを設けた。

給水管は 80ϕ 、排水管は 65ϕ で $0.5 \text{ m}^3/\text{min}$ ポンプにより排水される。遮蔽室の最大水深は約 2.4 m までとれる。

4.3 導波管路

導波管路は図13に示されるように、直線導波管約 5 m 、Eコーナ5個、Hベンド1個、テーパ管2本から構成され、全長約 7 m である。水平照射を行う場合にはEコーナ1個と直線導波管を加える。導波管は全てアルミニウム製で WRJ-1 規格のものであって、金具により天井から支持している。

4.4 電磁波の漏洩

電磁波出力を約 10 KW とし、電磁波遮蔽室内にはコンクリートや水などの電磁波吸収材を置かずに無負荷状態での電磁波の漏洩電力分布図14に示す。

Aは試料の搬出入口で、周辺部の漏洩電力には多少の

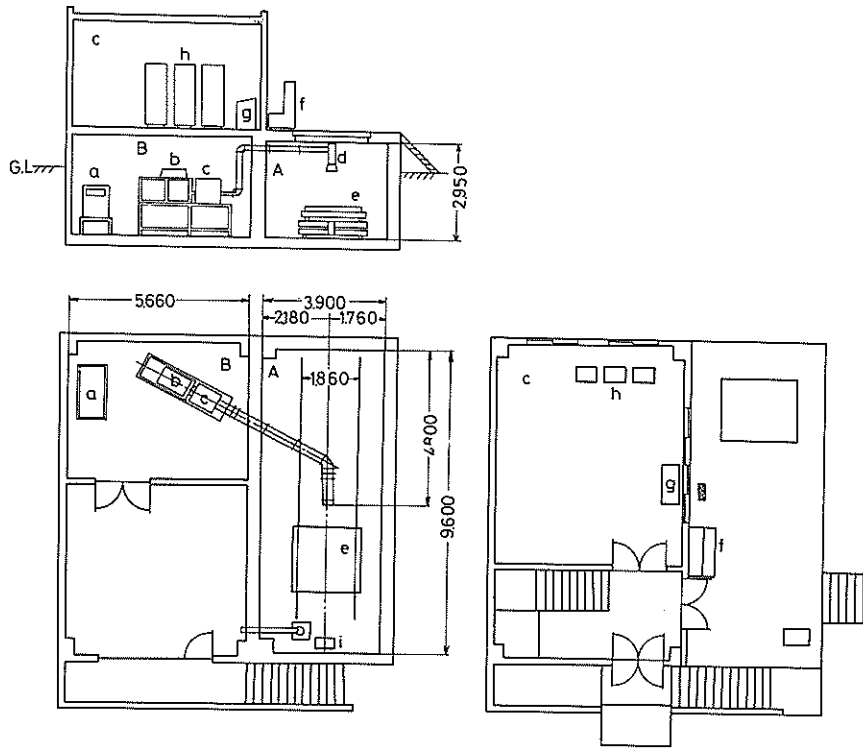


图 12 水中实验装置配置图

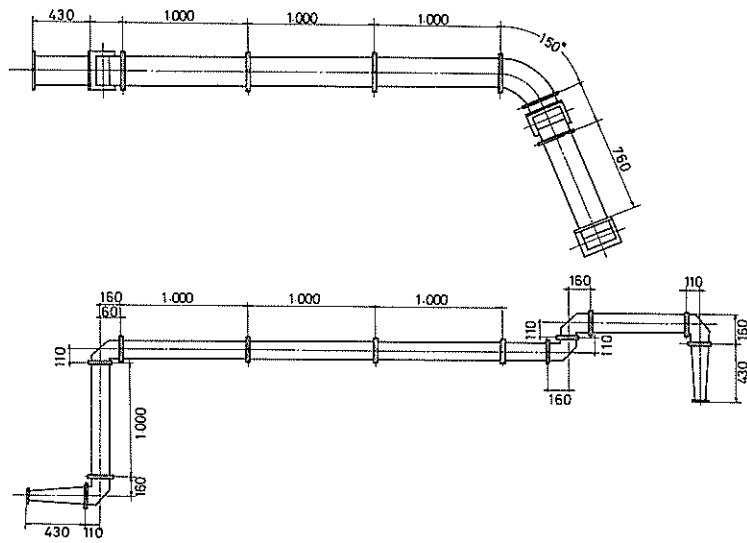


图 13 导波管路

規則性が見られ、最大値で $20\text{mW}/\text{cm}^2$ であるが、 30cm 離れた所では最大でも $4\text{mW}/\text{cm}^2$ となる。Bは作業用の出入口であるが、禁煙による片開である。漏洩電力値は最大 $30\text{mW}/\text{cm}^2$ であるが、 30cm 離れると $4\text{mW}/\text{cm}^2$ に減少した。Cは金鋼を入れた監視用の窓であるが、金鋼の表面では $30\text{mW}/\text{cm}^2$ を示したが、 30cm 離れた所では $2\text{mW}/\text{cm}^2$ と急減する。D部は油圧管用の貫通孔板であるが最大で $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 、 30cm 離れると $1\text{mW}/\text{cm}^2$ となる。EからJまでは直径約 4cm の鋼管で、Gは計測用ケーブル、HとIにはITV用のケーブルが貫入されている。図14の各数字は各部表面から約 5cm 離れた所の漏洩電力密度 (mW/cm^2)、○で囲まれた数字はそれぞれ約 $30\mathit{cm}$ 離れた所の値を示す。

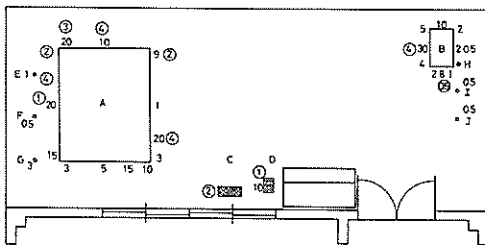


図14 電磁波遮蔽室の漏洩電磁波の分布

4.5 実験記録・監視装置

実験記録・監視装置は次の4つに大別できる。

- (1) 電磁波発生装置の照射電力、反射電力の表示および記録 : この装置は操作の確実性を増すために表示をデジタル化し、また実験解析のためにオシログラフやデータレコーダに記録するものである。
- (2) 岩石試料の位置の表示と記録 : この装置は、X、Y、Z軸方向およびZ軸方向の微調整用の3個、計6個のポテンシオメータにより岩石試料の位置を検出し、デジタル表示およびXYレコーダによりその平面上の位置と軌跡を得、またオシログラフとデータレコーダにも適宜記録させ、種々の解析を行うものである。図15にポテンシオメータの結線図を示す。R₁は感度調整用の抵抗器で $0.5\text{K}\Omega$ 、R₂は零点調整用で $20\text{K}\Omega$ 、R₃はポテンシオメータで10回転 $20\text{K}\Omega$ である。このR₃でX、Y、Z用のものは図16に示す防水ケースに、また微調整用のものは簡易形のケースに納めた。

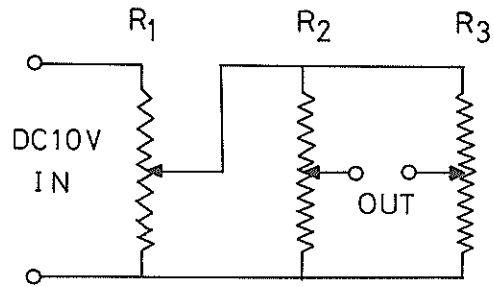


図15 ポテンシオメータの結線図

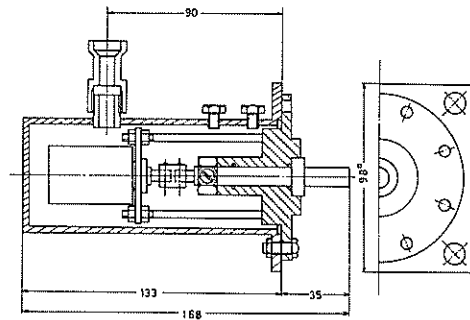


図16 ポテンシオメータ防水ケース

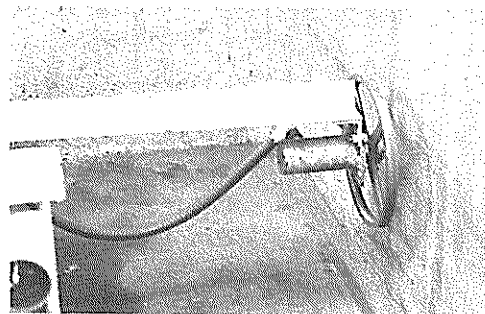


図17 X軸方向移動検出部

- (3) 実験状況の目視および記録 : 水槽式の電磁遮蔽室では実験状況を直視する事が困難なので、水中テレビカメラによる目視とし、記録用のビデオレコーダを備えたものである。
- (4) その他の装置 : 電磁波の漏洩、岩石試料の温度、電磁遮蔽室(水槽)内の水位などを表示、記録するもので、重要な所はデジタル化を計っている。図20に装置の全体を示す。

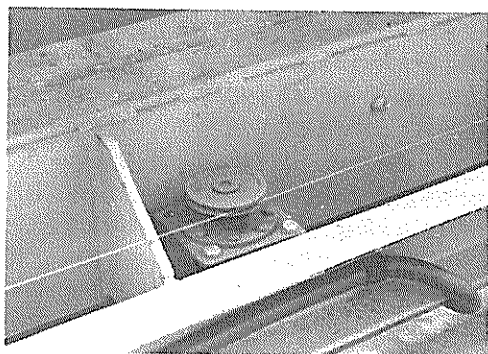


図 18 Y 軸方向移動検出部

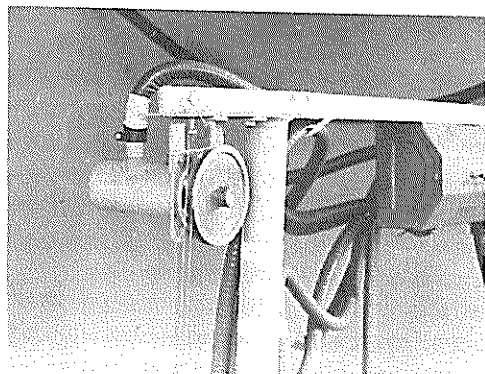


図 19 Z 軸方向移動検出部

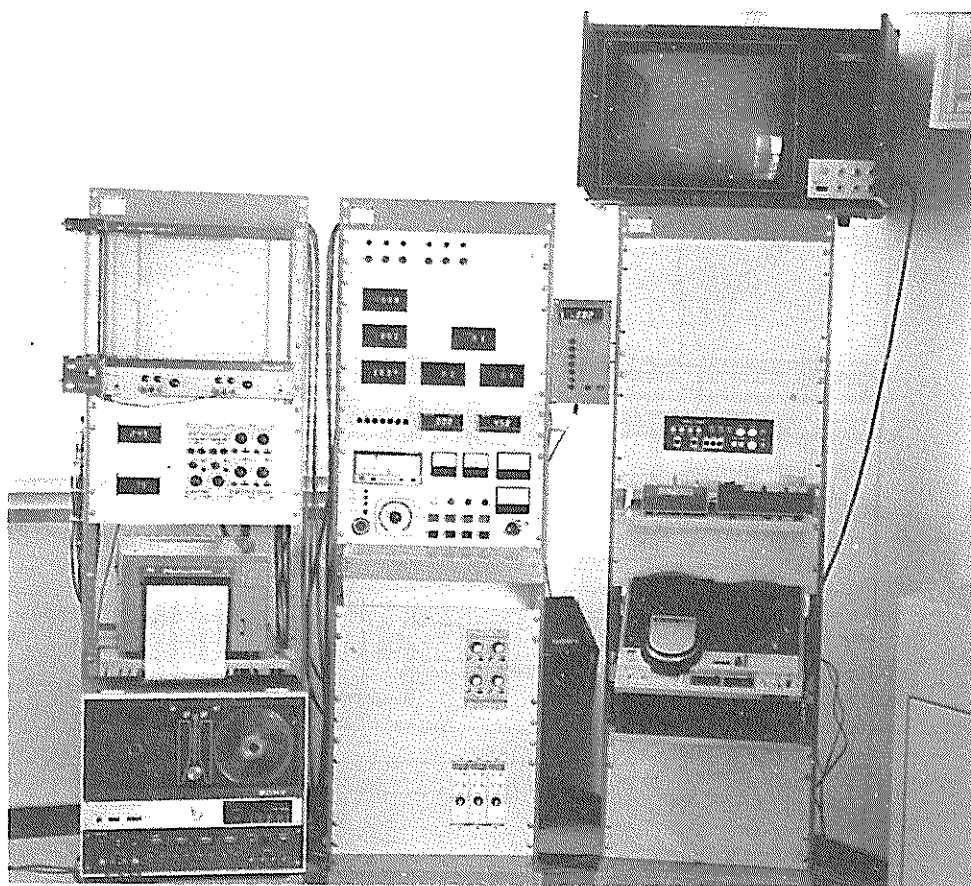


図 20 実験記録・監視装置

5. 岩石試料移動昇降装置

5.1 装置の概要

本装置は先に述べた水中実験用の電磁波遮蔽室(水槽)内に設けられたもので、大小の岩石試料を安全かつ迅速に所定の位置に移動設置し、また実験後は必要な測定を行うために、岩石試料をすみやかに取出せるように考慮されたものである。動力系統は全て油圧方式で、装置に要求される動作は水槽内の走行、横行、岩石試料を取出すための昇降および試料の高さの微調整である。

岩石試料の大きさは、実験の目的が海底岩盤の破砕であるので、できるだけ大きい方が自然の状態に近い実験結果が望めるが、岩石試料の入手、装置の規模等の点から制約される。予備実験でのモルタルブロックでは小形

のもでもコーン状の破壊がみられたが、花崗岩のブロックでは $70 \times 70 \times 70$ (cm) のものでもクラックの発生等は見られなかった事などを考慮し、岩石試料の大きさは最大 $1.5 \times 1.5 \times 1.3$ (m)、 $7,500$ kgとし、これらから得られる実験データにより半無限岩盤中の応力状態は電算機を用いて計算する事とした。試料台車は図21、図22に示すように、試料台、送り台、すべり台、リフト台、駆動台から成っている。また特に 500 kg以下の試料に対しては迅速な取扱いをするために自動昇降機能をもたせ、 500 kg以上の試料の昇降にはホイスを補助に用いる。また各種の実験用にすべり形式の横行機構を組入れてあり、横行荷重は最大 500 kgである。連続破砕の実験のために、試料の移動速度は $0.3 \sim 10$ m/minの範囲内で可変である。

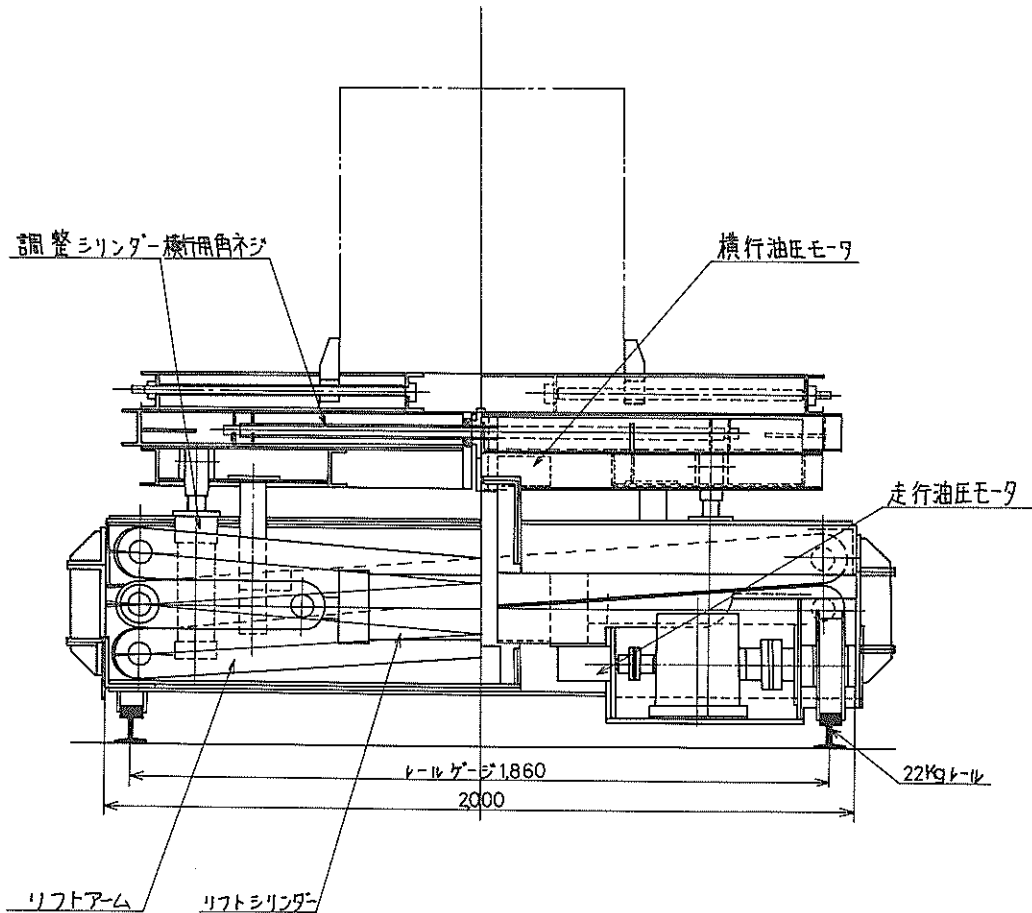


図21 装置の正面図

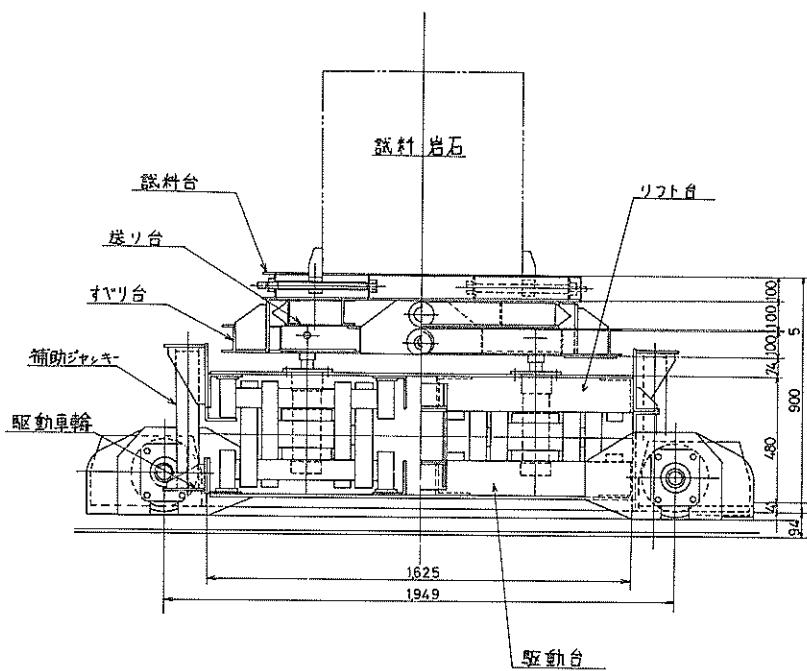


図 22 装置の側面図

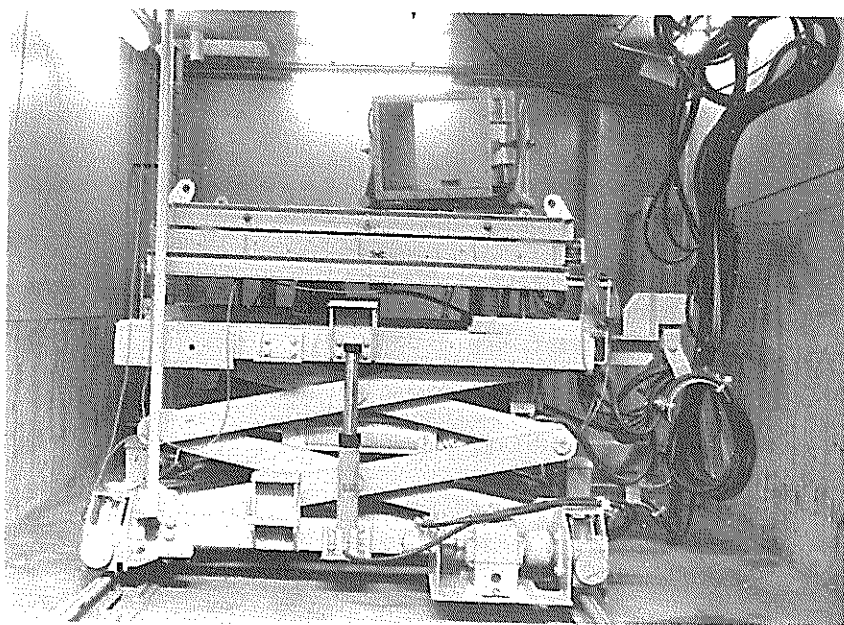


図 23 岩石試料移動昇降装置

5.2 装置の仕様

台車	2,000×1,949mm
レールゲージ	1,860mm
電動機	15kW, 6P
油圧ポンプ	55ℓ/min 950rpm
油圧モータ (走行用)	0.05ℓ/rev 25~800rpm
油圧モータ (横行用)	0.08ℓ/rev 25~550rpm
メインリフトジャッキ	140φ×80φ×430st×2
補助ジャッキ	65φ×320st×2
微調整ジャッキ	80φ×45φ×200st×3
走行距離	7m
走行速度	2~10m/min
走行荷重	7,500kg
横行距離	1m
横行速度	0.3~2m/min
横行荷重	500kg
昇降高さ	2m
目昇降荷重	500kg

5.3 設計概要

(1) 走行系統

走行は2条のレールと4個の車輪による走行方式とし、独立した車輪4個のうち2輪による駆動とした。車輪の直径は250mmとし、レールは22kg 鉄道レールとする。

荷重を7,500+4,000=11,500kgとし、2輪駆動とすると、1輪当りの抵抗は約155kg、車輪軸トルクは約24kg・m、減速機の減速比を1/15とすると油圧モータの所要トルクは1.6kg・mとなる。また走行速度が2~10m/minであるので、モータの回転数は38~191rpmとなる。

(2) 横行系統

横行方式は装置の高さに制約があるので、送り台をすべり台上をすべらせる形式とし、駆動はネジ方式とした。

横行荷重500kgと試料台などの重量を含めて、荷重を約1,100kgとし、すべり摩擦係数を0.45とすると、軸方向の荷重は約500kgとなる。従って角ネジの径を36φ、ピッチを6mmとするとねじりトルクは約1.4kg・mとなる。角ネジ部などによる伝達効率を0.33とすると、油圧モータの所要トルクは約4.3kg・mとなる。またモータの回転数は角ネジのピッチ6mm、横行速度が0.3~2m/minであるので、50~333rpmとなる。

(3) 昇降系統

昇降系統は台車の高さの制限に対し昇降高さが大きいので、X字形のリフトを2段重ねにし、リフトアップの

初期に補助ジャッキにより補助的に昇降する方式とした。

図24に示されるように、X字形のリフトのアームの長さをℓ、高さをh、荷重をそれぞれpとすると、水平方向に引いて鈎合せる力下は次の式により求められる。

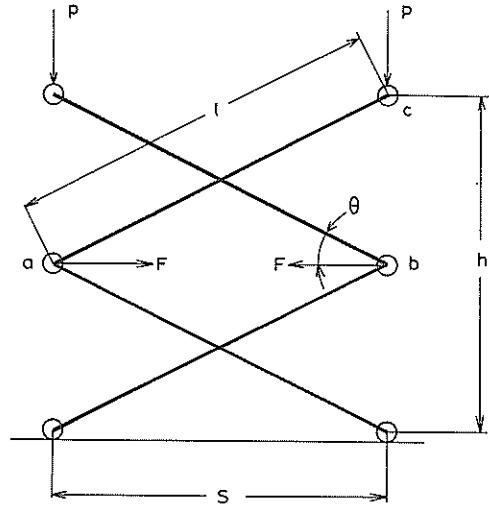


図24 X字形2段重ねリフト

$$F = \frac{2P}{\tan \theta} = \frac{4P}{h} \sqrt{\ell^2 - h^2/4} \quad (1)$$

リフト荷重Wは、試料重量500kg、台車リフト部重量3,000kgとすると、W=3,500kgとなる。

今、ℓ=1,800、h=580とし、リフトは2台を連動させるものとする、P=W/4となりF=10,300kgが入用となる。Fとhの関係を図25に示す。

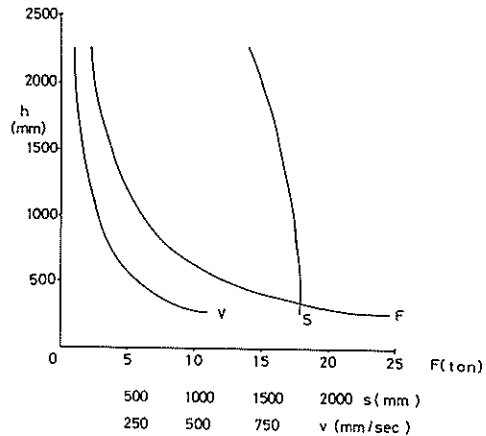


図25 hとF, S, Vの関係

この場合、 h をたたみ込んだ時の高さ h_1 と補助リフトアップ量 h_2 の和で表わすと、 $h_1 = 260$ の場合には $h_2 = 320$ となる。図25に示すようにX字形のリフトの底辺の開きを s とすると、

$$\ell^2 = s^2 + h^2/4 \text{ より } s = \sqrt{\ell^2 - h^2/4} \quad (2)$$

$h = 260$ および $2,260$ とすると、 s の値はそれぞれ $1,795, 1,400\text{mm}$ となるので、水平のメインリフトジャッキのストロークは 395mm が必要である。 s と h の関係を図25に示す。

またリフト速度 v は次の(3)式で与えられるように、水平メインリフトジャッキの速度を一定とすると、リフトが低い時ほど速度が大きくなる。

$$v = \frac{dh}{dt} = \frac{4}{h} \sqrt{\ell^2 - h^2/4} \cdot \frac{ds}{dt} \quad (3)$$

全ストローク 395mm の作動を 20 秒で行う場合の v と h の関係を図25に示す。

リフトのアーム部材は $125 \times 65 \times 6$ の薄形鋼とし、リフトは1台当り2列のアーム、すなわち8本のアームで構成すると、アームの曲げ応力 σ_b および圧縮応力 σ_c はそれぞれ $\sigma_b = 5.79 (\text{kg}/\text{mm}^2)$ 、 $\sigma_c = 1.51$ となりあまり問題は無いが、図24の軸 a, b および c は装置の高さを低くおさえる必要上あまり太くはできない。

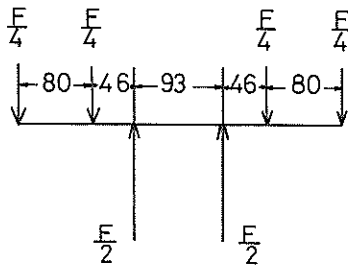


図26 岩石試料移動昇降装置

図24の軸 a および b の応力は、 $F = 10,300 \text{ kg}$ 、 $\theta = 0$ および力の作用点を図26のとおりとし、軸径を 60ϕ とすると、

$$M = \frac{F}{4} \times 172 = 4.43 \times 10^5 (\text{kg} \cdot \text{mm})$$

$$Z = 2.12 \times 10^4 (\text{mm}^3)$$

したがって $\sigma = M/Z = 20.9 (\text{kg}/\text{mm}^2)$

また軸 c の応力は、軸径を 55ϕ 、 $W = 7,500 + 2,000 = 9,500 \text{ kg}$ にすると、 $P = W/8 = 1,190$ となり図27から、 $M = P \times 163 = 1.94 \times 10^5$ 、 $Z = 1.63 \times 10^4$

したがって $\sigma = M/Z = 11.9 (\text{kg}/\text{mm}^2)$

a および b 部の軸の応力は大きいので、材質をSNCM-7とし、材質を高める事で対処した。

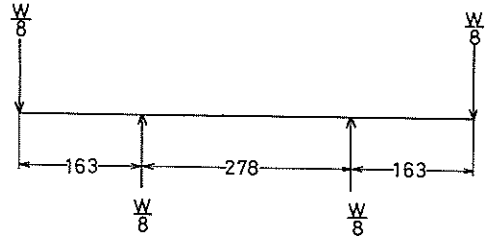


図27 軸 c の力の作用図

(4) 油圧系統

油圧系統は定吐出形のポンプ1台にて全系統の給油を行うものとし、走行と横行は同時作動が可能である事、 2 m の上昇に要する時間を 20 秒以内とする事にした。

a) 走行モータ 定格圧力 $70 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 、油量 $0.05 \text{ l}/\text{rev}$ のものを用いると、モータ2台当りの必量油量 Q_1 は最大で $Q_1 = 0.05 \times 191 \times 2 = 19.1 \text{ l}/\text{min}$ である。

b) 横行モータ 定格圧力 $70 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 、油量 $0.1 \text{ l}/\text{rev}$ のものを用いると、最高速度時の必要油量 Q_2 は、

$$Q_2 = 0.08 \times 331 \times 1 = 26.6 \text{ l}/\text{min}$$

c) メインリフトジャッキ 定格圧力を $140 \text{ kg}/\text{cm}^2$ とし、径を 140ϕ 、ロッド径 80ϕ とすると最大荷重は1本当り $14,500 \text{ kg}$ 、ストロークを 395 mm 、所要時間 20 秒とすると、必要油量 Q_3 は2本当り、

$$Q_3 = 104 \times 39.5 \times 2 \times 60 / 20 = 24,600 \text{ cm}^3 / \text{min} = 24.6 \text{ l}/\text{min}$$

となる。

d) 補助ジャッキ 定格圧力を $140 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 、径を 65ϕ 、ストロークを 320 mm 、所要時間を 20 秒とすると、最大荷重は1本当り $4,600 \text{ kg}$ 、必要油量 Q_4 は2本で、

$$Q_4 = 33 \times 32 \times 2 \times 60 / 20 = 6,336 \text{ cm}^3 / \text{min} = 6.34 \text{ l}/\text{min}$$

である。

e) 微調整ジャッキ 定格圧力を $140 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 、径を 80ϕ とすると、1本当りの荷重は $7,050 \text{ kg}$ 、ストロークは 200 mm とし、3本にて支持する方式と

した。

以上よりポンプの必要吐出量は、 $Q_1 + Q_2 = 45.7 \text{ l/min}$ 、 $Q_3 + Q_4 = 30.9$ 、従って $Q_1 + Q_2 > Q_3 + Q_4$ となりポンプ吐出量 $Q = 55 \text{ l/min}$ のものを使用した。図 28~31に各油圧系統の回路図を示す。

(5) 遠隔制御系統

図32に油圧系統の遠隔制御盤を示す。走行と横行は前進、後進および速度設定の操作が可能である。速度の設定はそれぞれ3回転と2回転の流量調整器のノブにて行う。昇降操作は補助ジャッキとメインリフトジャッキの同時作動とし、操作は上昇と下降、停止の3作動とした。微調整ジャッキは上昇、下降、停止の3作動が、切換スイッチによりそれぞれ単独にも、また連動して作動できるようにした。本装置では油圧モータには 70 kg/cm^2 、ジャッキ類には 140 kg/cm^2 の油圧を用いているが、遠隔制御部からこれらの設定値以下の範囲で油圧を制御する事も可能である。

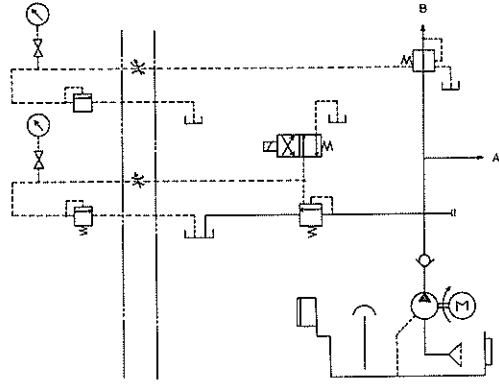


図 28 油圧供給系統回路

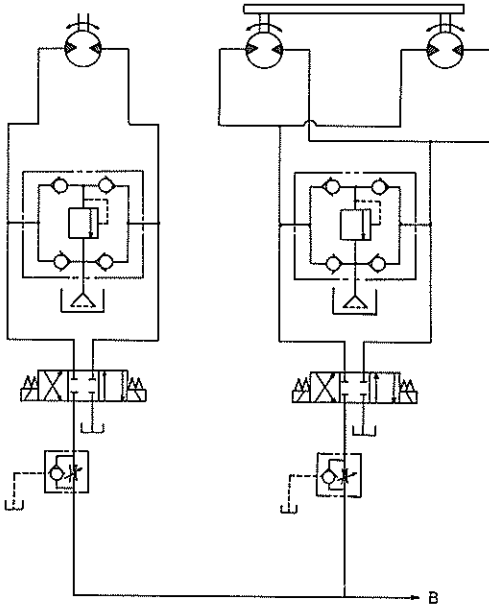


図 29 走行・横行系統油圧回路

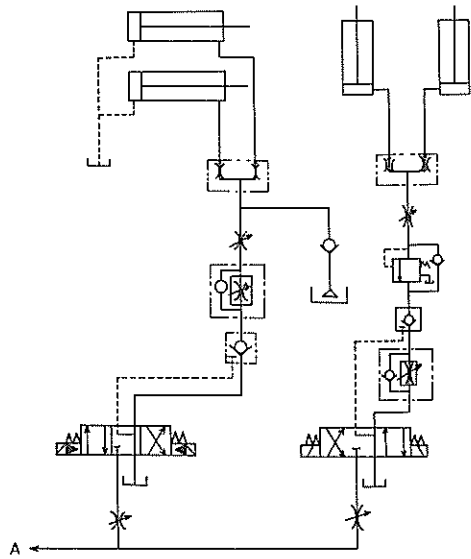


図 30 昇降系統油圧回路

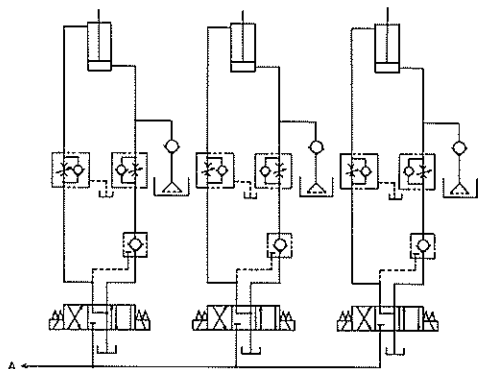


図31 微調整系統油圧回路

6. あとがき

本資料では電磁波による岩石破砕実験装置の試作の紹介だけにとどめ、実験結果および解析結果などについては次の機会に回した。

本装置の設計試作に苦心された点をあげれば次のものがある。まず電磁波発生装置については、サーキュレータと整合部があげられるが、サーキュレータはその容量も10kW程度であり実験上必ずしも十分とは言えない。今後は容易の大きいサーキュレータまたは反射電力容量の大きい発振管の開発、あるいは大容量でインピーダンスの変化に対する追従性の速い整合器の開発が望まれている。岩石試料移動昇降装置については、電磁波が照射され、加熱された試料の湿度分布などを計測するために、

参 考 文 献

- 岩片秀雄他：電波・通信工学 コロナ社 1966年
 牧本利夫他：マイクロ波工学の基礎 広川書店 1964年
 末武国弘：電波漏洩防止法の展望 電子通信学会
 1972年



図32 遠隔制御盤

その移動をすみやかにする必要があった。そこで自昇降装置を設けたが、装置の高さは水槽との関連上できるだけ低くして、しかも昇降高さは2m以上が要求された。しかし入手できる油圧ユニットなどに制約があったため自昇降荷重は500kgにおさえられ、また油圧回路にもブレーキ特性の改良の余地等が残されている所があるので、機会があれば検討してみたい。

謝 辞

本装置の設計製作にあたり東京電子技研株式会社および株式会社芝浦工作所の担当各位、および当所機械部の各位から多大の助言を頂いたのでここに感謝いたします。

(1974年9月28日受付)

港湾技研資料 No. 196

1974・12

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 阿部写真印刷株式会社

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.