

港湾技研資料

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

No. 535 Sept. 1985

電磁波砕岩における水中照射器の性能について

— その 2 —

高	橋	英	俊
石	原	弘	一
梅	谷	登	志
篠	原	丈	人

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. まえがき	3
2. 多孔質弾性体スカート of 遮水原理	4
3. 多孔質弾性体スカート式水中照射器の遮水特性	4
3.1 多孔質弾性体スカートの基本特性	4
3.2 1/5 模型の遮水特性	5
3.3 1/2 模型の遮水特性	7
3.4 水中照射器 3 号機の遮水特性	10
4. 水中照射器海底保持装置	12
5. 水中照射器姿勢監視装置	12
6. 水中砕岩実験	13
6.1 実験装置及び供試体	13
6.2 実験方法	13
6.3 実験結果	14
7. むすび	14
参 考 文 献	14

Development of Submergible Horn Antenna for Underwater Rock Excavation by Microwave — 2 —

Hidetoshi TAKAHASHI*
Hirokazu ISHIHARA**
Toshifumi UMETANI**
Taketo SHINOHARA**

Synopsis

Authors have developed submergible horn antenna with sponge skirt and compressed air for underwater rock excavation by microwave.

Sponge skirt can be fitted to rugged rock surface, and separates water inside from outside of horn antenna.

Compressed air blow out water from inside the horn antenna through the sponge skirt. Stabilized dry zone is created inside the horn antenna, or on the rock surface.

A series of experiments on the submergible horn antenna leads to the results as follows.

- (1) The submergible horn antenna can be used for excavation of rugged (± 20 cm) and sloped (± 45 deg) rock underwater.
- (2) Demand of compressed air for creating stabilized dry zone increases with the increase of water depth. For depth of 0–3 m, demand is 2–5 m³/min.
- (3) Pressure of compressed air for creating stabilized dry zone increases with increase of water depth. The pressure is as 1.1 times larger as water pressure.
- (4) Excavating effect of the submergible horn antenna against underwater granite is not inferior to the effect of the normal horn antenna for in the air.
- (5) Oil driven horn antenna control device developed simultaneously with the submergible horn antenna can be expected to be used for underwater rock excavation practically.
- (6) Display device for displaying attitude of the submergible horn antenna and measuring device for measuring residual water level on the surface of rock with microwave monitor work well.

* Chief of working craft development laboratory, Machinery Division

** Member of working craft development laboratory, Machinery Division

電磁波砕岩における水中照射器の性能について

— その 2 —

高橋 英 俊*
石原 弘 一**
梅谷 登志文**
篠原 丈 人**

要 旨

海底岩盤に電磁波砕岩工法を適用するために必要な水中照射器を開発するため、多孔質弾性体スカートを取り付けた水中照射器の1/5模型、1/2模型を製作し、スカート材質、形状を選定し、またそれぞれの遮水特性を調べた。この結果から水中照射器3号機の設計・製作を行った。

海底岩盤の破碎のために開発した多孔質弾性体スカート式遮水装置を持つ水中照射器3号機の遮水特性及び水中の花崗岩とモルタルブロックの破碎特性を調べた。また同時に開発した水中照射器海底保持装置、水中照射器姿勢監視装置を用いて破碎実験を行い実用性を確認した。水中照射器3号器を用いた破碎実験によって次のことが明らかになった。

- 1) 凹凸岩盤(±20 cm)、傾斜岩盤(±45°)に対しても遮水可能である。
- 2) 遮水に必要な圧縮空気量は水深に比例し、水深3 mまででは2~5 m³/minとなる。
- 3) 遮水に必要な圧縮空気圧は水深の約1.1倍となる。
- 4) 水中照射器を用いた花崗岩とモルタルブロックの破碎実験でその破碎能力は空中時とほぼ同等であることが確認できた。
- 5) 水中照射器海底保持装置、水中照射器姿勢監視装置の実用性が確認された。

1. まえがき

電磁波砕岩工法は岩盤の強度や硬度に関係なく破碎でき、破碎に伴う衝撃・振動が少ないので、従来の機械式砕岩工法では能率が悪いが、またはまったく歯が立たないような硬質岩盤や、海底トンネルや橋脚基礎の近くの衝撃・振動を嫌う場所の砕岩に適している。当所では電磁波砕岩装置を用い各種岩石に対する破碎実験を行い、その砕岩能力を調べている¹⁾。電磁波砕岩工法を海底岩盤の破碎に応用するためには、凹凸のある海底岩盤に効率良く電磁波を照射できる水中照射器を開発する必要がある。電磁波は海水に吸収されやすく、海水中では急激に減衰してしまうため、電磁波の伝搬経路から海水を排除(遮水と呼ぶ)する必要がある。筆者らはこの目的で、環状水ジェット方式の水中照射器を開発し、水中の花崗岩及びモルタルブロックの破碎実験によりその性能を確認している^{2) 3) 4)}。しかし、環状水ジェット方式の水中

照射器は海底岩盤に大きな傾斜がある場合には、環状水ジェットカーテン外部の水圧の違いから水ジェットカーテンを安定に保つことが困難である。また凹凸がある場合には、環状水ジェットが岩盤の凸部に当たりそこから遮水空間内に逆流することがある。そのため、傾斜や凹凸を持つ岩盤に対して遮水性能が十分ではなく施工方法にくふうが必要である。また環状水ジェットの噴射に要する動力及び圧縮空気の送出に要する動力も少なくはない。

そこで、これらの欠点を持たない方法として、多孔質弾性体スカートを用いた遮水方式を考案し、模型実験によってスカートの材質と形状を検討し、またその遮水特性を確かめ、実際に砕岩実験に使用できる水中照射器3号器を開発して、これを用いた砕岩実験を行い、その砕岩特性を確認した。本資料はこれらの多孔質弾性体スカート式水中照射器の遮水特性と水中での砕岩実験について報告するものである。

* 機材部 特殊作業船開発室長

* 機材部 特殊作業船開発室

2. 多孔質弾性体スカートの遮水原理

スポンジ状の多孔質弾性体を円筒形に整形した多孔質弾性体スカートを取り付けした遮水装置（図-1に構造を示す）を凹凸のある海底岩盤に押し付けると、多孔質弾性体スカートが海底岩盤の凹凸に従って変形して密着し、スカートの内側と外側の海水が遮断される。この状態でスカートの内側に水圧より高い圧力の圧縮空気を吹き込むと、スカート内側にあった海水と吹き込んだ圧縮空気とが一緒にスカートの孔を通して外側に流れ出す。このときスカートの内部には海水と空気の流れによって生じる圧力降下と重力の作用によって海水と空気との境界層

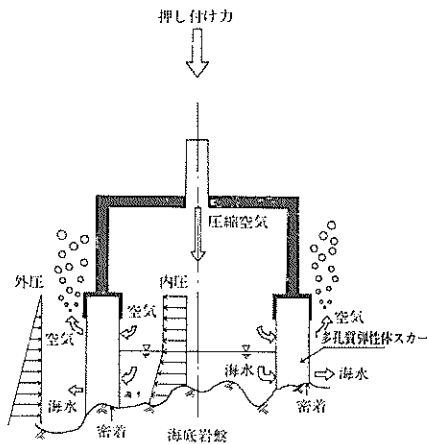


図-1 遮水装置模型

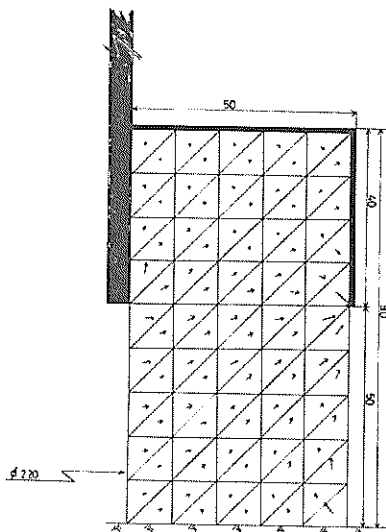


図-2 スカートの流れ（計算値）

ができる。スカートの内部の境界層は空気の流量を一定（スカート内側と外側の圧力差を一定）に保つことによって安定し、スカート内側に安定した空気域（遮水空間）が作り出される。

図-2にはこの遮水原理によってスカート内部の流れがスカートの外側へ向き、海水がスカートの内側には逆流しないことを示すため、スカートの内側に空気ではなく水を吹き込むと仮定し、また重力の影響を考慮しない場合について、有限要素法を用いてスカート内の流れを解析した結果を示す。この図中で黒く塗りつぶした部分は水を通さない壁であり、外圧は水深に比例し、内圧は一定圧力としている。また、これはスカート内側の空気圧をスカート下端における水圧と等しくしたときのものであり、遮水に必要な最低の空気圧の場合である。この図によりスカート内壁に近い部分の流線がすべてスカート外壁方向に向かい、内部に水が逆流しないことがわかる。この計算例から、スカートの材質及び形状を適当に選ぶことで、より安定性の高い遮水装置が製作可能であることが示唆された。

3. 多孔質弾性体スカート式水中照射器の遮水特性

照射電力 100 kW の電磁波砕岩装置を花崗岩の破碎に使用することを想定し、照射器開口面の寸法を $248 \times 93 \text{ mm}$ とすると、スカートが電磁波の加熱作用を受けない（電力密度が -30 dB 以下になる）ためにはスカートの内径を 1000 mm 以上とする必要がある。しかし、あまり大きいと遮水に必要な空気量が大きくなる。そこで、水中照射器の寸法はスカートの内径が約 1000 mm となるものとした。ここで多孔質弾性体スカート式水中照射器と称されるのは多孔質弾性体スカートを電磁波照射器に取り付けたものである。1/5 模型はスカート材の選定、スカートの形状の検討、傾斜及び凹凸面に対する遮水特性の測定に用いた。1/2 模型はスカートの形状の検討、凹凸面に対する遮水特性の測定、スカートの岩盤への押し付け方法の検討に用いた。水中照射器 3 号器は傾斜及び凹凸面に対する遮水特性の測定及び水中砕岩実験用に設計・製作し、それぞれの特性を測定した。

3.1 多孔質弾性体スカートの基本特性

多孔質弾性体スカートには、岩盤と接触してその凹凸に追従するための十分な強度と伸縮性が要求される。また海水と圧縮空気を効率良く逃がし、かつ逃げる空気量が少なくなるような適切な透水性と流出面積が必要であ

表-1 ウレタンフォーム基本特性値

材質	伸び率 (%)		引張り強さ (kgf/cm ²)		25%硬さ (kg/200φ)	圧縮残留歪 (%)	セル数 (個/25mm)		透水率 (cm/s) at 15°C
	規格値	実測値	規格値	実測値			標準セル数	範囲	
HR-50	300 <	500	2.0 以上	2.48	10.3	5.7	50	44~54	3.42
HP-70	200 <	400	1.5 以上	1.93	14.6	2.7	70	60以上	0.98
HQ-70	250 <	400	1.5 以上	1.93	12.0	4.8	70	60以上	1.43
HM-70	300 <	500	2.0 以上	2.28	10.4	5.7	70	60以上	3.17
HR-20	200 <	460	1.0 以上	1.99	10.1	3.7	20	17~25	10.48

る。このことから、多孔質弾性体スカートの材質として弾力がありしかも強度があり、細胞膜がないウレタンフォームを5種類選定した。スカート内の水の流れやすさを表す透水率はカタログに記載されていないので、これらの材質の透水率をJIS A 1218に規定されている土の透水試験法に準じて測定した。これには2種の試験法が示されているが、ここでは試験が容易な定水位透水試験法を採用した。表-1に試験で得られた透水率とカタログに記載された他の基本特性を示す。表中セル数は1インチ当りの空孔数を示すものである。これによると、透水率はHP-70が最も小さく、HR-20が最も大きい。

3.2 1/5 模型の遮水特性

1/5 模型は遮水状況が目視できる透明アクリル樹脂製で製作した。図-3及び図-4に示すように直径60mmのパイプを中心として、その下端に直径220mmのパイプを取り付け、その外側に多孔質弾性体スカートを取り付けたもの(Aタイプ)と、多孔質弾性体スカートの上半分を防水材でコーティングして空気の出出面積

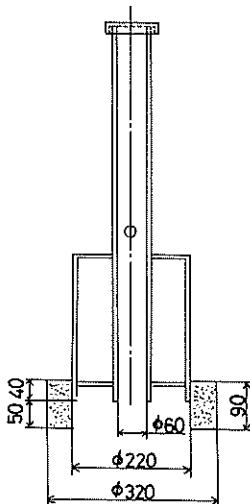


図-3 1/5 模型 (Aタイプ)

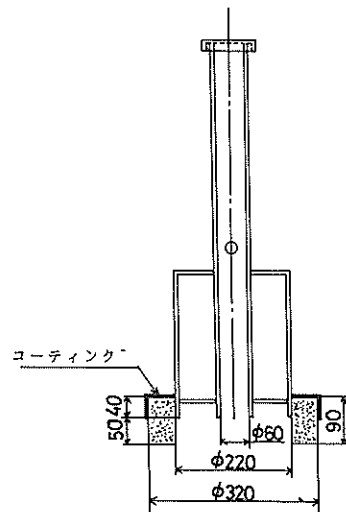


図-4 1/5 模型 (Bタイプ)

を小さくしたもの(Bタイプ)の2種である。また、多孔質弾性体スカートの材質には表-1に記載された5種類を使い内した。

遮水実験は、スカートの模擬岩盤への押し付け状態を4段階に変化させて行った。用いた模擬岩盤は平板、ゴルフボールを埋め込んだ凹凸板、及び軟式野球ボールを埋め込んだ凹凸板の3種類(図-5、図-6)であり、さらに設置状態(傾斜角)を3段階に変化させた。これらの実験条件を表-2に示してある。計測項目は遮水に必要な圧縮空気量と空気圧であり、それぞれフロート式流量計、ブルドン管で測定し、遮水の確認は目視で行った。

実験結果は遮水に必要な空気量でまとめることとした。図-7に材質による必要空気量の違いをみるため、必要空気量と押し付け状態を表す変数として、スカートの高さをスカートの変形量で除した値(以後押し付け変数と称する)との関係の一例(平板、水平)を示してある。ここで、スカートの高さにコーティングされた部分を含

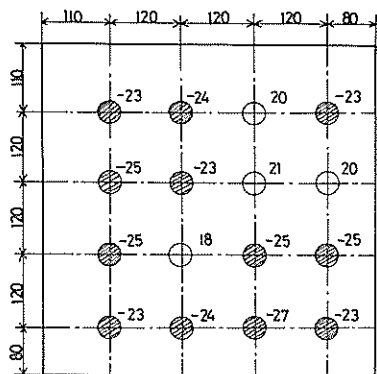


図-5 凹凸板 (ゴルフボール)

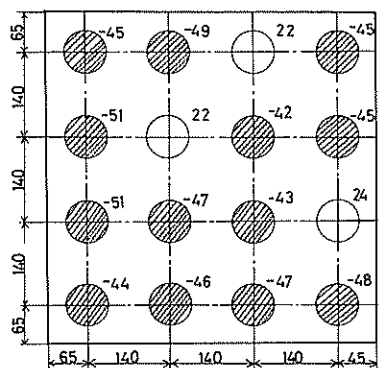


図-6 凹凸板 (軟式野球ボール)

表-2 1/5 模型実験条件

材質	5種類
スカート形状	2タイプ
模擬海底岩盤	3種類
傾斜	3段階
スカート押し付け状態	4段階

めないが、これはこの部分が水と空気の流出に関係しないからである。ただし、この部分もコーティングしてない部分より少ないが、押し付け力によって変形する。遮水に必要な空気量は、平坦な岩盤、凹凸岩盤及び傾斜岩盤に対してスカート材のセル数の大きい(空孔率が大きく、空孔径の小さい)ものが少なくなる。ここでHR-20のデータは押し付け変数3/5の場合を除きスケールアウトしている。図-8にはスカート形状による必要空気量の違いを表すため、必要空気量と押し付け状態との関係の一例(HP-70、平板、傾斜約20°)を示し

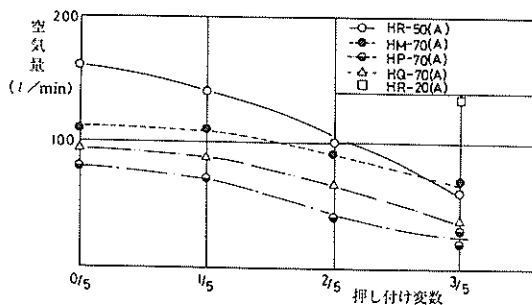


図-7 押し付け変数と空気量(平板、水平)

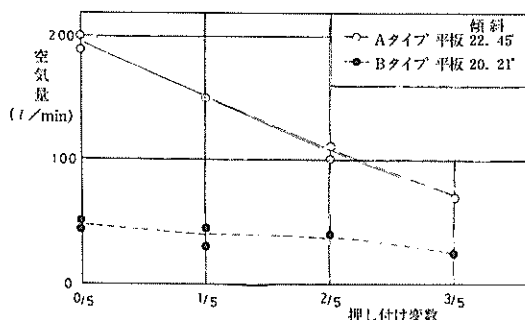


図-8 押し付け変数と空気量(HP-70、平板、傾斜約20°)

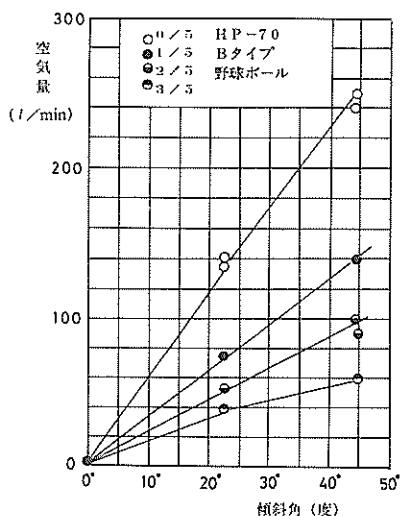


図-9 傾斜角と空気量(HP-70、Bタイプ、野球ボール)

である。必要空気量は例示された条件以外の材質、模擬岩盤の種類及び傾斜でも空気の流出面積が大きいAタイプの方が一般的に大きい。図-9には各押し付け変数別の必要空気量と模擬岩盤の傾斜角との関係の一例(HP-70、Bタイプ、野球ボール埋め込み)を示してある。傾斜角が大きいと、スカート周囲における水深の差が大

きくなるため、スカートの外側の水圧の差が大きくなり、水圧の低い上部から空気が無駄に逆げるため遮水に必要な空気量が多くなる。また、押し付け状態別ではスカートの変形量大きい方が空孔が押し潰される量が多いため空気が逃げ難くなり、遮水に必要な空気量が少なくなる。

ここで多孔質弾性体スカート内部を空気が流れる場合のスカート内部での圧力損失から透気率を計算してみる。この場合、円筒形のスカートを伸ばし、スカートの内径と外径の平均で表される中心径上の円周を長さとする長方形として解析する。透気率 k_t は空気量を Q (cm^3)、空気の流出面積を A (cm^2)、厚さを L (cm)、圧力損失を h (cm)、 t_1 及び t_2 を試験開始時刻、及び試験終了時刻とすると次式で表される。

$$K_t = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A \cdot (t_1 - t_2)} \dots\dots\dots (1)$$

1/5 模型 (Bタイプ) は中心径が 270 mm であり高さが 50 mm であるので、流出面積は 424.1 cm^2 となる。また厚さは 50 mm である。押し付け変数 2/5 の場合、流出面積は 3/5 に減少し 254.4 cm^2 となる。スカート形状 Bタイプ、平坦な模擬岩盤の傾斜角約 20 度の場合

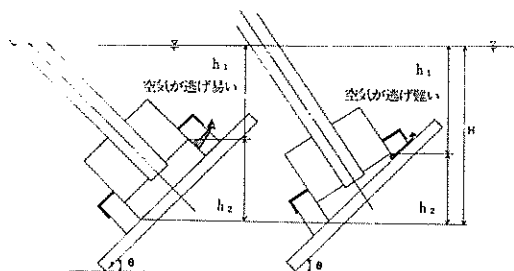


図-10 水中照射器設置法

の実験データから約 20 l/min の空気量を流したとき、1.8 mm Aq の圧力損失となる。したがって k_t は 0.022 (cm/s) となる。このときの見掛けの空気流速は、約 0.047 cm/s となる。

岩盤が傾斜している場合は、水圧の低い上部から無駄な空気が逃げるため、図-10に示すように実際の岩盤の傾斜角より照射器の傾斜角を小さくして、上部のスカートの変形量を大きくし、ここから逃げる空気量を小さくする方法が適当と考えられる。

1/5 模型による遮水実験では、スカートの材質については透水率の小さいものが遮水に必要な空気量が小さくなるが、海水を排除するまでの時間が長くなることが

明らかになった。しかし、このための時間は数秒程度であって実用上あまり問題にならないと考え、遮水に必要な空気量が最も少ない H P - 70 を選び、以後製作するスカートはこの材質を用いるものとした。さらに、1/5 模型実験によって、スカートの形状は海水を排除するのに必要な空気の流出面積及び時間も考慮して決める必要があること、また岩盤に良く密着させるためのくふうが必要であることが明らかになった。

3.3 1/2 模型の遮水特性

1/2 模型は多孔質弾性体方式の水中照射器を設計・製作するにあたって、より現実的な模擬岩盤に対する遮水特性を調べるとともに、微弱電波を用いて反射電力等の測定を行うために製作したものである。

構造は図-11に示すように、①の電磁波照射部の照射器及び導波管は 1/2 に縮小せずに実寸大 (WR J - 1

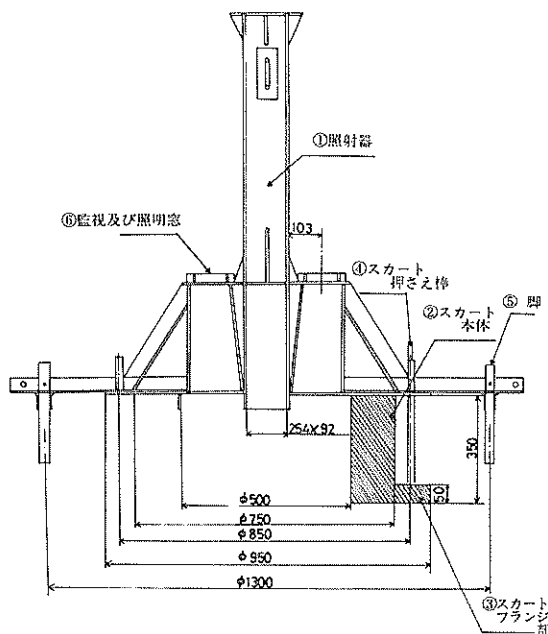


図-11 1/2 模型

規格) とし、微弱電波を用いて反射電力の測定を行えるようにした。多孔質弾性体スカートは②のスカート本体 (内径 500 mm, 外径 725 mm, 高さ 300 mm) と③のフランジ部 (内径 500 mm, 外径 950 mm, 高さ 50 mm) から構成されている。②のスカート本体は内外壁とも空気が逃げないようにコーティング材を塗布してある。③のフランジ部の上面にもコーティング材を塗布してある。したがって、遮水中に空気が逃げるのはフランジ部の側面のみからである。このフランジ部を④のフランジ押さ

え棒によって押し付けることによって、スカート本体では密着することのできない凹凸面に対しても追従できる。照射距離を一定に保って水中照射器を岩盤上に固定するため、⑤の脚を取り付けてある。遮水状態を監視するために、⑥の監視部に2か所の照明窓及び監視窓を設けてある。

遮水実験に用いた模擬岩盤は、平坦なもの1種類と、実際の海底の凹凸を1/2に縮小したモルタル製のもの2種類の計3種類である。最大不陸は±100mmである。図-12に凹凸模擬岩盤2種類の一つについて不陸状態を

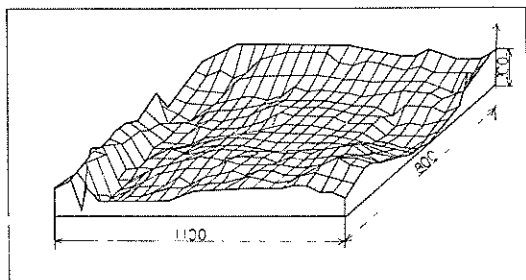


図-12 凹凸模擬岩盤

表-3 1/2 模型実験条件

模擬岩盤	2種類
押し付け状態	1段階
水深	4段階

三次元表示したものを示す。実験条件は表-3に示すように水深、及びスカートの押し付け状態を変化させている。このときの押し付け状態はスカートの高さをスカートの変形量で除した値を押し付け変数として表してある。測定項目は遮水に必要な空気量、このときの供給空気圧、及び遮水空間内の圧力である。

図-13は平坦な模擬岩盤に対する遮水特性を押し付け状態ごとに供給空気量と水深との関係で示したものである。この関係はほぼ直線となっており、水深の増加によって若干増加する傾向となる。また水深1mで急

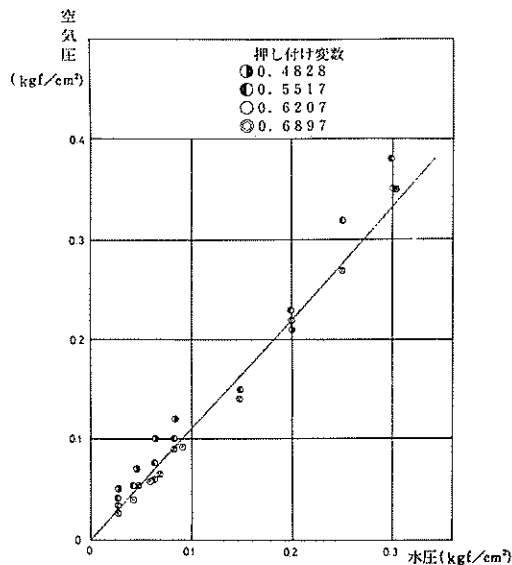


図-14 水圧と空気圧 (平坦)

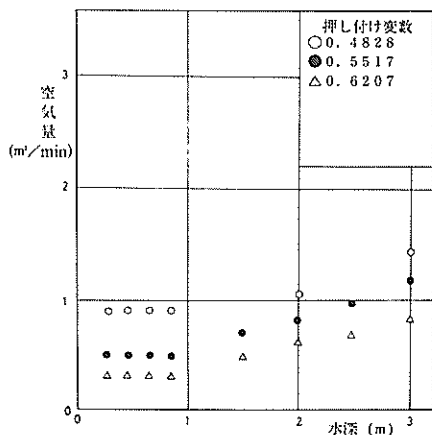


図-13 水深と空気量 (平坦)

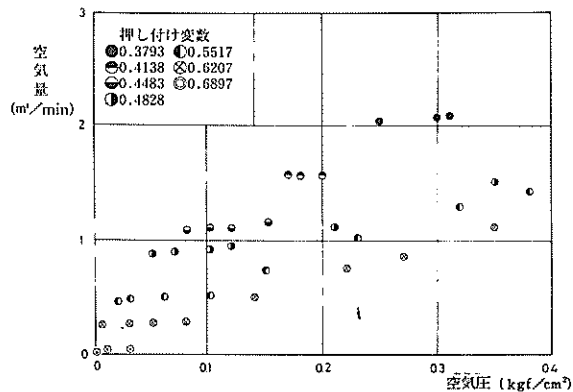


図-15 空気圧と空気量 (平坦)

に増加しているが、これは水深1mを越えると長さ1mの導波管を2本継ぎ足したことにより、接合部からの空気漏れが生じたためと考えられる。図-14は平坦な模擬岩盤に対する供給空気圧と水深（水圧）との関係であり、供給空気圧は水圧の約1.1倍必要であることを示している。図-15は平坦な模擬岩盤に対する供給空気量と供給空気圧との関係を示すものであり、ほぼ直線関係にあるが、水深1mを越えると空気漏れのため供給空気量が急激に増加する。図-16は平坦な模擬岩盤に対する供給空気量と押し付け変数との関係であり、ほぼ放物線状になっている。また図-17は平坦な模擬岩盤に対する供給空気圧と押し付け変数との関係であり、これもほぼ放物線状となっている。図-18は凹凸模擬岩盤に対する遮水性能を押し付け状態ごとに供給空気量と水深との関係で示したものである。これは平坦な模擬岩盤の場合と同様に直線関係となっている。図-19は凹凸模擬岩盤に対する供給空気圧と水深との関係を示したものであり、ほぼ直線関係となっている。図-20は凹凸模擬岩盤に対する供給空気量と供給空気圧との関係を示したものであり、ほぼ直線関係となっている。

ここで透気率 k_t を求めてみる。スカートの空気流出面積は 1138.8 cm^2 であるが、押し付け変数 0.6207 の場合、空気流出面積が 62.07% 減少し 431.0 cm^2 となる。厚さは 22.5 cm である。 $0.3 \text{ m}^3/\text{min}$ の空気量のとき圧力損失は 10.8 cmAq である。したがって

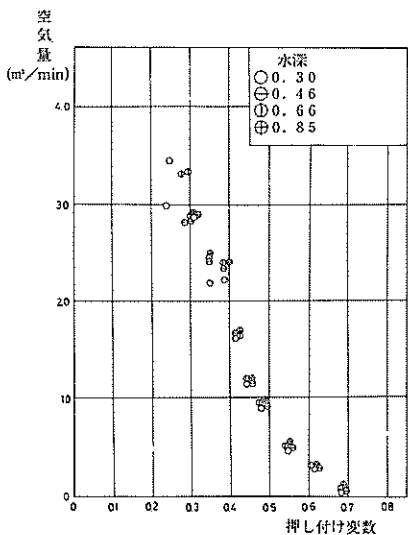


図-16 押し付け変数と空気量（平坦）

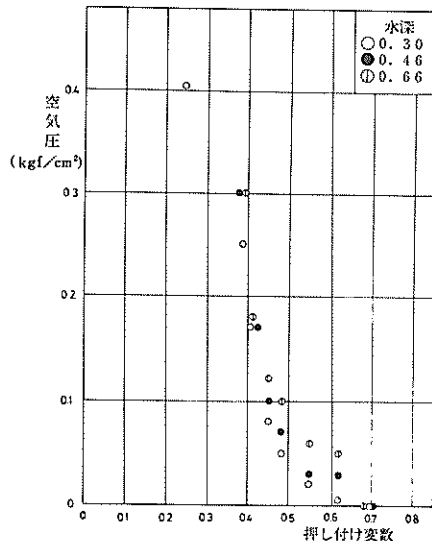


図-17 押し付け変数と空気圧（平坦）

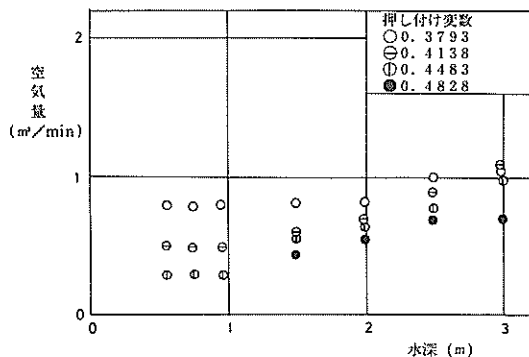


図-18 水深と空気量（凹凸）

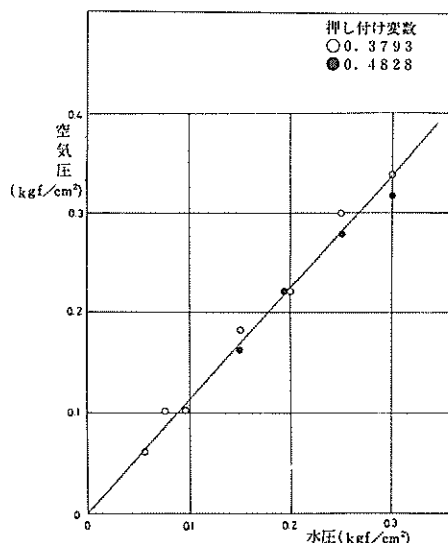


図-19 水中と空気圧（凹凸）

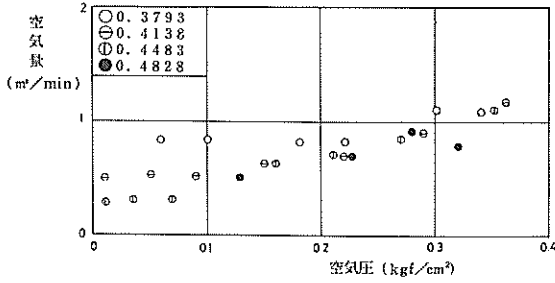


図-20 空気圧と空気量 (凹凸)

$k_t = 0.024$ (cm/s) となり、1/5 模型の場合の 1/2 弱となる。このときの見掛けの空気流速は約 0.7 cm/s となる。

3.4 水中照射器 3 号器の遮水特性

水中照射器 3 号器は図-21 に示すように、照射部、本体部、スカート部、及びスカート押し付けシリンダー部からなっている。照射部は、WRJ-1 規格の導波管部にテーバー導波管を介して開口面寸法 92 mm × 254 の照射器を接続したものである。この照射部の周囲に後述の水中照射器海底保持装置によって保持し、姿勢制御するためのガイドを含む本体がある。本体部の下部には、多孔質弾性体スカート及びスカート押し付けシリンダー 4 本が取り付けられている。多孔質弾性体スカートは図-22 に示すように①の軟質ゴム製の蛇腹式カーテンと②のポリウレタンフォーム製のスカートから構成されている。蛇腹カーテンは、空気を通さず無駄な空気の消費を避け

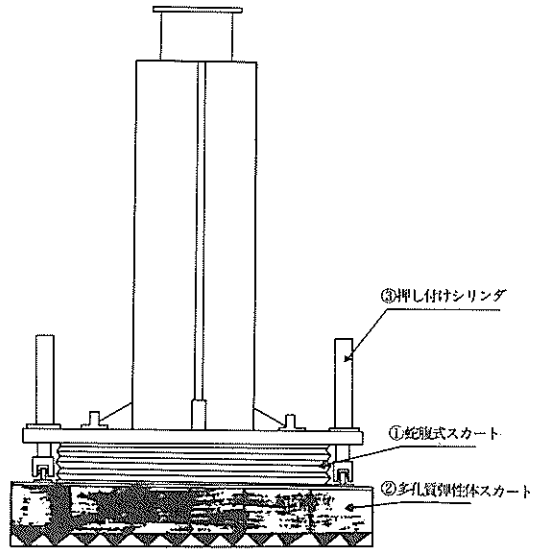


図-22 スカートを取り付けした水中照射器 3 号器

るとともに、岩盤の凹凸に対する追従性を高めるためのものである。スカート押し付けシリンダーは、ポリウレタンフォーム製スカートを岩盤に押し付けて隙間なく岩盤に密着させるためのものである。

遮水実験は幅 4 m × 長さ 4 m × 深さ 3 m の水槽を用い、平らな模擬海底岩盤 (A)、及び凹凸を付けた 3 種のモルタル製の模擬海底岩盤 (B, C, D) に対して行ったものである。模擬海底岩盤 B, C, D の凹凸状態をそれぞれ図-23 (B)、図-24 (C)、図-25 (D)、に示す。

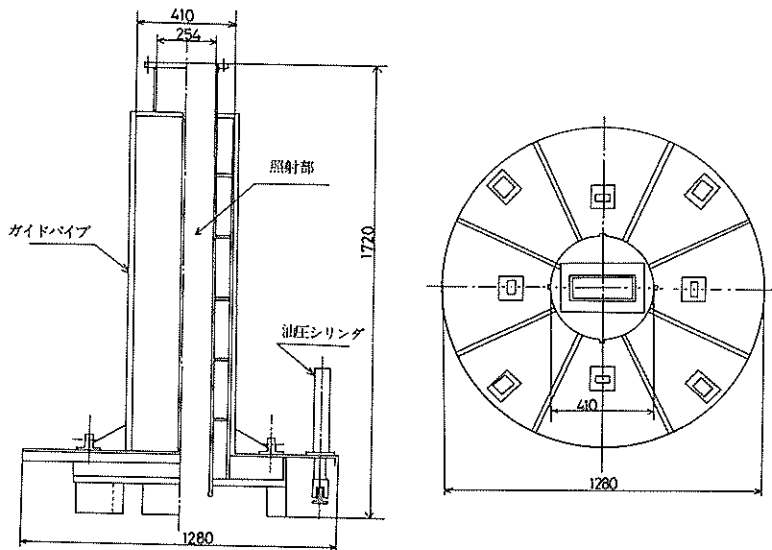


図-21 水中照射器 3 号器

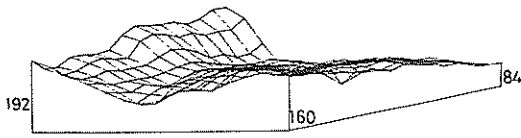


図-23 模擬海底岩盤 (B)

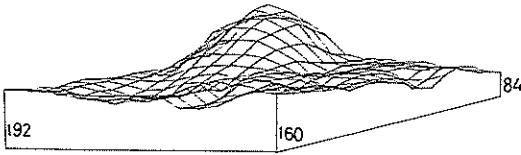


図-24 模擬海底岩盤 (C)

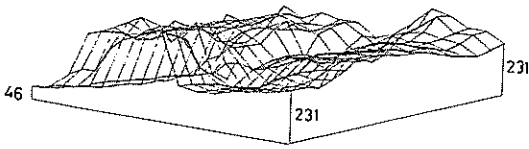


図-25 模擬海底岩盤 (D)

から所定の水位まで注水し、コンプレッサーから水中照射器に徐々に圧縮空気を供給し、遮水監視窓から模擬海底岩盤上から水が排除されたのを確認して、そのときの供給空気量、供給空気圧及び供給空気温度を測定した。

実験結果は図-27に示すように、遮水に必要な空気量は水深の増加に伴って若干増加する傾向となる(2~5 m³/min)。このときの供給空気圧は図-28に示すように水圧の約1.1倍となる(なお、模擬海底岩盤(D)の場合には外部から水が侵入しないが、中央の凹部にたまった水がなかなか排除されず、供給空気圧、供給空気

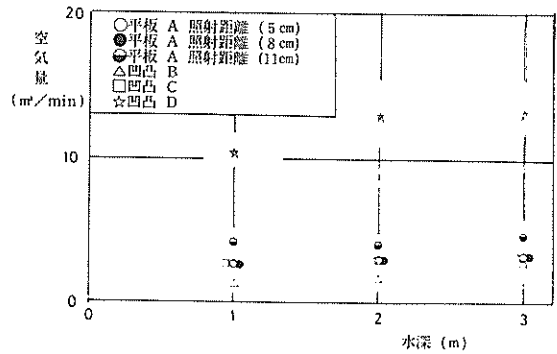


図-27 水深と空気量

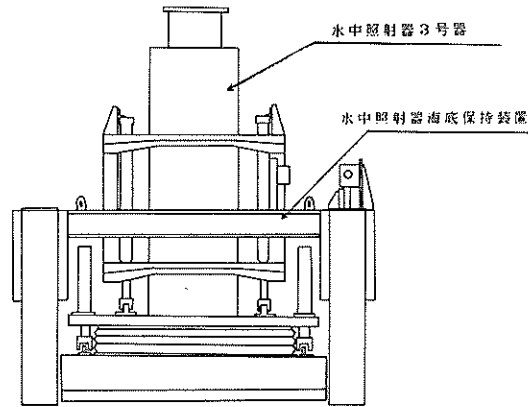


図-26 水中照射器を取り付けた水中照射器海底保持装置

実験は図-26に示すように、水槽の底に模擬海底岩盤を置き、それをまたぐように水中照射器を取り付けた水中照射器海底保持装置を置いて行った。この際、第一フレーム及び第二フレームを回転させ、水中照射器の中心軸が模擬海底岩盤の表面とほぼ垂直になるように姿勢制御を行った。また、その後照射器を上下して照射距離が6~8 cmになるように昇降装置を作動させた。水中照射器3号器のスカート押し付けシリンダーの作動圧力を14 kgf/cm²に設定し、模擬岩盤に十分密着させて

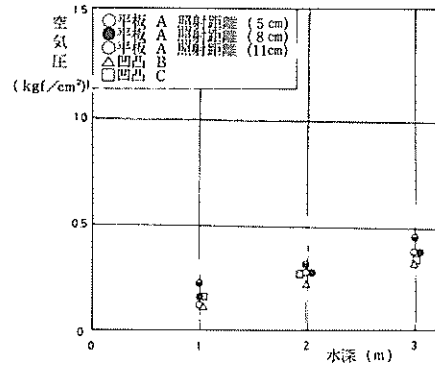


図-28 水深と空気圧

量ともかなり大きくなっていったので、このデータを考察には加えていない。

ここで、透気率 k_i を求めてみる。スカートの空気流出面積は4476.8 cm²であるが押し付け変数は不明なのでそのままの値を用いる。また、スカートの厚さは260 mm、水深1 mの場合の圧力損失は水深の0.1倍であって10 cmAqとなり、そのときの空気量は2.5 m³/minである。したがって $k_i = 0.024$ (cm/s) となり、押し付けによる変形を考慮しなかったが1/2模型とはほぼ同じになっている。このときの見掛けの空気流速は

約0.6 cm/sとなっている。海底岩盤の凹凸による供給空気量への影響は、スカート押付け状態で決まり、すなわち多孔質弾性体スカートの変形量が大きい場合には空気の流出面積が狭くなり、また空孔が潰れて空気が流れにくくなる。このことからむしろ凹凸の大きい模擬海底岩盤のほうが遮水に必要な空気量が少なくなる場合もある。

4. 水中照射器海底保持装置

水中照射器海底保持装置は、図-29に示すようにメインフレーム、第一フレーム、及び第二フレームから構成されており、それぞれ油圧モータによって±40°傾けることができる。また第二フレームには水中照射器を取り付け、昇降させるための油圧シリンダーとガイドがある。この油圧シリンダーによって水中照射器は第二フレーム面に直角の方向に±300mm昇降される。このとき第二フレームの傾きと、昇降量はそれぞれ傾斜計2台及び変位計で計測され、後述の水中照射器姿勢監視装置のCRT上に表示される。この装置は今回の水槽実験用のものであり、実際の海底岩盤の破碎に用いる場合は、油圧によ

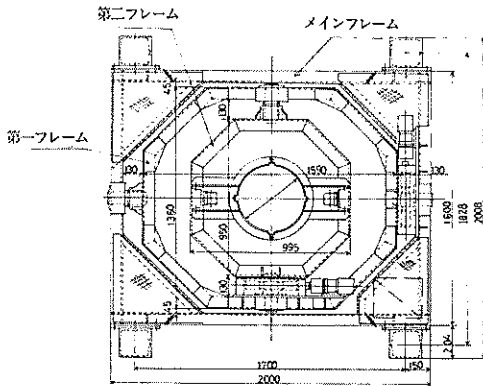
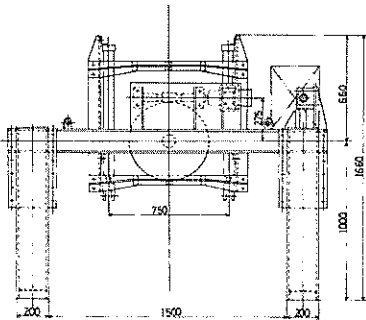


図-29 水中照射器海底保持装置



って伸縮する脚を取り付ける等のくふうが必要であろう。

5. 水中照射器姿勢装置及び遮水監視装置

水中照射器姿勢監視装置は、海底岩盤上に水中照射器をセットするときの姿勢を船上からモニターするためのものであり、また遮水監視装置は遮水の状況を船上から監視するためのものである。水中照射器姿勢監視装置及び遮水監視装置のブロック図を図-30に示す。

姿勢監視装置は傾斜計2台及び変位計で得られたデータをデータ収録コントロール装置によってA/D変換し、マイクロコンピュータに送り、図-31に示すように表示するものである。

遮水監視装置は、水中照射器から照射された微弱な電磁波の照射面からの反射が照射面に残留する水膜の厚さによって変化するのを利用したものである。すなわち、信号発信器からの微弱電磁波と、照射面からの反射波を方向性結合器によって別々に取り出してそれぞれパワーセンサー、パワーメーターで検出、表示させるものであ

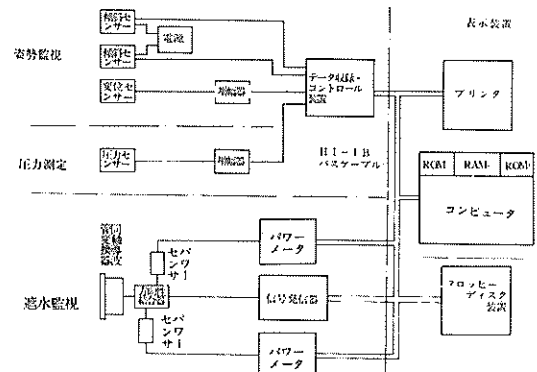


図-30 水中照射器姿勢監視装置及び遮水監視装置ブロック図

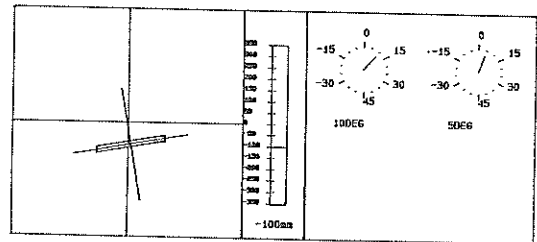


図-31 水中照射器姿勢表示例

る。図-32に水膜の厚さと反射波の強さの関係を計算によって求めたものを図示する。

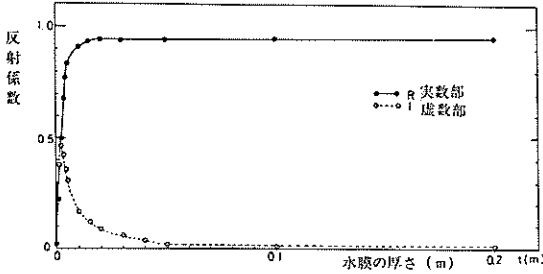


図-32 水膜の厚さと反射係数

表-4 花崗岩の物理特性

単位体積重量	2.60~2.62 (g/cm ³)
一軸圧縮強度	1,375~2,490 (kgf/cm ²)
弾性波伝搬速度	3,760~5,410 (m/s)
線膨張率	0.8×10^{-5}
最大線膨張率	11.8×10^{-5} (at 573 °C)
比熱	0.16~0.21 (cal/g°C)
誘電率	6~8.5
誘電体力率 (tan δ)	0.013~0.15

6. 水中砕岩実験

6.1 実験装置及び供試体

砕岩実験装置は、水中照射器海底保持装置に取り付けた水中照射器3号器に、長さ約24mの導波管、フレキシブル導波管、及びコーナーを介して電磁波破砕器(100 kW, 915 MHz)を接続し、前述の遮水実験を行った水槽に設置された供試体に電磁波を照射するものである。遮水に必要な圧縮空気は2台のコンプレッサー(7 kgf/cm², 10 m³/min)で供給し、オリフィス及びブルドン管でそれぞれ空気量、空気圧を測定した。また照射電力の監視と記録のためペンレコードを使用した。実験配置図を図-33に示してある。

供試体は稲田産の花崗岩(1 m × 1 m × 1 m)、及び凹凸と約20°の傾斜を付けたモルタルブロック(1 m × 1 m × 0.5 m)である。花崗岩の物理特性を表-4に示す。また、図-34にモルタルブロックの凹凸状態を示す。

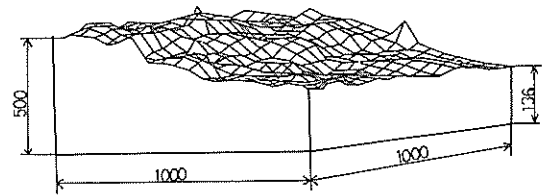


図-34 凹凸モルタルブロック

6.2 実験方法

供試体を水槽の底に置き、それをまたぐように高さ1 mの架台を置き、その上へ水中照射器3号器を取り付けた水中照射器海底保持装置を設置し、水中照射器の中心軸が供試体の照射面とほぼ垂直になるように水中照射器海底保持装置の第一フレーム及び第二フレームを回転させた。また照射距離(照射器から供試体の照射面までの距離)が6 cm~8 cmになるように昇降装置により水中照射器3号器を上下させて調整した。またスカートの

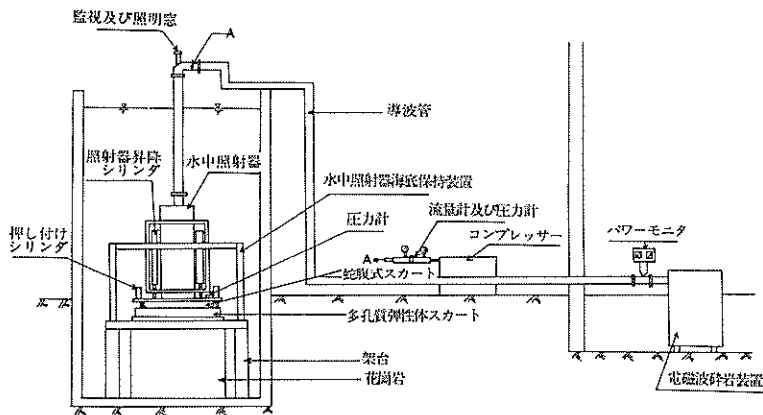


図-33 実験配置図

表一五 水中破砕実験条件と結果

実験No.	照射電力 (kw)	照射エネルギー (kw・min)	破砕量 (クラック長) (mm)	破砕効率 (mm/kw・min)
1	50	990	1,460	1.47
2	50	2,365	4,500	1.90
3	50	1,980	6,720	4.40
4	50	1,050	10,420	9.92
5	50	780	4,900	6.28

押し付け力は 14 kgf/cm^2 に設定した。

水槽に3mの設定水深まで注水した後、水中照射器に圧縮空気を供給し、供試体の照射面から水が排除されたことを監視窓からの目視及び遮水監視装置を用いて確認し、照射電力を50kWに設定して電磁波を照射した。

6.3 実験結果

花崗岩の水中破砕実験の結果を実験条件と共に表一五に示す。破砕量と照射エネルギー（照射電力×照射時間）との関係を過去に行った破砕実験の結果とともに図一三五（※印）に示す。水中照射器3号器を用いた今回の破砕実験の結果から、空气中、及び環状水ジェット式水中照射器を用いたものと比較して、破砕量が同一レベルにあると考えられる。したがって今回使用した水中照射器3号器の破砕能力が空中用のH-2型照射器³⁾とほぼ同等であると判断できる。

モルタルブロックの傾斜と凹凸面に対する破砕実験は、今回が初めてであるため破砕量を比較できないが、水中

で破砕可能なことが確かめられた。

7. むすび

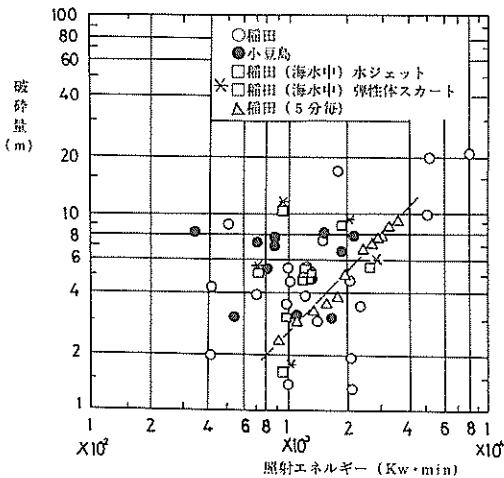
今回開発した水中照射器3号器は、水中破砕実験により、以前開発した環状水ジェット式水中照射器に比べて、凹凸面への追従性に優れており、したがって、凹凸面に対する遮水性能が向上されたことが確認できた。また、水ジェット噴射のための動力を必要とせず、遮水に必要な空気量も環状水ジェット式水中照射器と比較して、 $1/5 \sim 1/10$ とはるかに少なく、より実用的であることがわかった。破砕性能も空中及び環状水ジェット式水中照射器とほぼ同じである。したがって、水中照射器の実用性については十分満足できる結果となった。

電磁波照射による海底岩盤の破砕工法の実用化を目指して、水中照射器の開発とそれを用いた砕岩実験を行ってきたが、今回の多孔質弾性体スカート式水中照射器の完成で一応実用化のめどがついたと考えられる。また、実用化に際してより高出力の電磁波砕岩装置を用いる場合には、スカートへの電磁波の影響を考慮してスカートの材質・寸法等を決める必要がある。

(1985年6月29日受付)

参考文献

- 1) 高橋 英俊他：高出力マイクロ波破砕機による岩石破砕，港湾技研資料No. 313, 1979年3月
- 2) 高橋 英俊他：高出力マイクロ波破砕機による岩石破砕（その2），港湾技研資料No. 330, 1980年3月
- 3) 奥出 律 他：岩盤浸漬における電磁波砕岩技術の開発，昭和55年度港湾技術研究所講演会講演集
- 4) 高橋 英俊：電磁波砕岩における水中照射器の性能について，港湾技研資料No. 391, 1981年9月



図一三五 照射エネルギーと破砕量

港湾技研資料 No. 535

1985・9

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 (有) 葵印刷工業

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