

ノーベルドリリング

(その2)

iii) 内破ドリル (implosion drills) と爆破ドリル (explosion drills)

内破ドリルとはカンシャク玉のように火薬の入ったカプセルをポンプ水で孔底に送り込むとそれが孔底にぶつかるショックで爆発を起し、岩石を破壊させる方法である(第3図・第6表参照)。

これに対して爆破ドリルとは同じように火薬の入ったカプセルを使用するのであるが、最初ポンプ水で送り込む段階ではカプセルは非爆発性の2液が不透水性の隔膜によって分離されている。この状態でドリルパイプ内に送り込まれたカプセルはパイプの下端にあるチョーク(狭路)を通過する際、カプセルの中にある隔膜は破られ、2液が混合して爆発性混合物となる。その上チョークの通過中に衝撃ピンも自由に解放されるので、着底のショックでこのピンが雷管を爆発させ、同時に2液の爆発性混合物を爆発させ、岩石を破壊する方法である。この場合、2液の混合時間を十分に保たせるために(少なくとも1.5秒以上)チョークの通路を適当な長さにとつてある(第4図参照)。

内破ドリルの出力 P は次式によって求められる。

$$P = 9.31 \times 10^{-7} n w h R_0^3 \text{ (HP)}$$

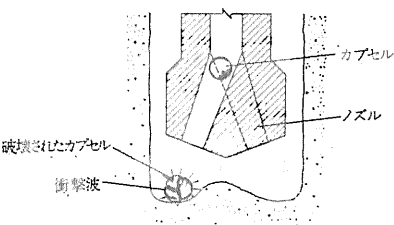
n : カプセルの送り込み量 (1分間)

w : 孔内の液体比重 (g/cm³)

h : 井戸の深さ (m)

R_0 : 空気中におけるカプセルの内径 (cm)

上記の式によると、内破ドリルの出力は井戸の深度と泥水濃度に比例して増大することがわかる。すなわち比重の高い泥水に満たされた深い井戸において、最も効果を発揮するということになる。逆に静水の場合、たとえば3,000mの井戸でカプセルの内径10cmのものを



第3図 内破ドリル

河内 英幸・加藤 完

17ヶ/分の割合で送り込んだ場合、わずかに6IPの出力しか出せないことになる。また実験室において、直径1cm、長さ10cmのカプセルを使用し、静水圧を800kg/cm²にかけて、砂岩、石灰岩に対する破壊実験を行なったところ、カプセル容器は粉々に粉砕されたが、岩石には何ら影響を与えない結果となった。このように内破ドリルはカプセルの価格が高いわりに出力が低いということから、実際の掘さくには未だ役に立たないようであるが、老化した既設井戸の刺戟手段としては効果を発揮するかもしれない。次に、爆破ドリルの出力 P は次式によって求められる。

$$P = 0.000022 n w e \text{ (HP)}$$

n : カプセルの送り込み量 (1分間)

w : カプセル1ヶ当りの装薬量 (g)

e : 爆薬のエネルギー (ジュール/g)

各種の火薬の中には約5,000ジュール/gのエネルギーを放出するものもある。ソビエト型爆破ドリルは最高12ヶ/分(1ヶ=50g)のカプセルをポンプ水で送り込んだ場合、68IPの出力を出せるといつている(第7表)。この出力は油田用ロータリーが掘さくに対して20~50IPを伝達しているのに比べると、かなり高い出力といえる。カプセルの流れと水の流れとは異なっているので、カプセル相互の干渉を避けるために、浅い井戸では少なくとも5秒間隔で、1,500m級の井戸では10秒間隔の間をおく必要があると述べられている。

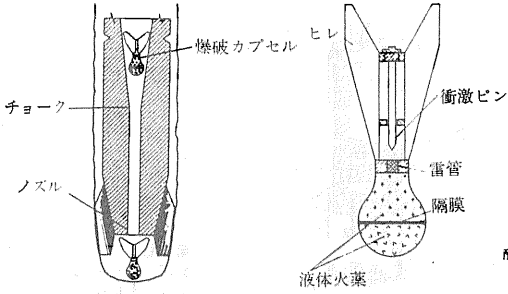
岩石の硬さに対する掘進率の影響はロータリー方式に比べて爆破ドリルの方が少ないようである。すなわち研究室における爆破ドリルの実験では、花崗岩がコンクリートに対して7倍も硬いにもかかわらず、掘進率では同じ結果となった。おそらくロータリーで両者を比較

第6表 内破ドリルの性能

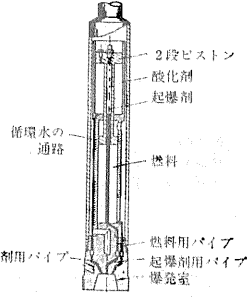
孔 径	203m/m
カプセル { 外径	127m/m
	101m/m
送 込 量	1,000ヶ/時
掘さく泥水	水
爆発圧の最高出力(深度3,000m)	700~3,500kg/cm ² 6 IP

第7表 爆破ドリルの性能

装 薬 量	50g
装薬エネルギー	250,000 ジュール/カプセル
送 込 量	3~12カプセル/分
ノズルの耐久性	100~200m
ノズル・孔底間隔	20~40cm
孔 径	25.5~35.5cm
出 力	17~68IP
掘進率(石灰岩)	2~10m/時



第4図 爆破ドリルとカプセル



第5図 液体爆薬ドリル

第8表 液体爆薬ドリルの性能

孔 径	25~30cm
装 薬 量	3~20g
爆 発 比 率	150~2,500回/分
起 爆 剤	アルカリ金属合金
循 環 流 体	水
出 力	300~900HP

した場合 コンクリートの方がはるかに掘進率はよいであろう。他面 粘土のような可塑性の岩石に対しては爆破ドリルの効果は薄く チャートのような硬岩に対してはロータリドリルよりも高い掘進率をあげることができるであろうと述べている。ソ連における3,000m級の石油井戸における現場実験で 孔径250~350m/mの井戸で延べ2,500m以上も掘さくしているが この場合 石灰岩やドロマイトに対して2.5~10m/時の掘進率をあげている。爆破ドリルの一種で 液体爆薬ドリルというのがある(第5図)。このドリルは 下端にあるチャンパーの中で 自動的に2液(燃料と酸化剤)を噴射させ爆発混合状態を作り出し それと同時に化学的起爆剤であるアルカリ・金属の共融合金と酸化剤によって液体爆薬を爆発させる装置である。

このドリルは3~20gの爆薬を150~2,500回/分の割合で爆発させるのである。たとえば3gの爆薬を2,500回/分の割合で爆発させた場合 900HP以上の出力を出すことができるといわれている(第8表)。このドリルの空気中における実験では 岩石中に25~30cm径の孔をあけることができたが 200mの井戸における水中実験では ほとんど効果がなかったようである。この原因は第5図でも見られるように スライム排除用の泥水の出口がチャンパーの中にあると液体爆薬を薄めたりもしくは流出させてしまうので チャンパーの外に設けられているからである。このため孔底を清掃すべき泥水の機能が低下し その結果 破碎岩片が孔底に残留し

それらが爆発効果を半減させるクッションの役目になってしまうからである。このようにこの装置における泥水の循環機構は非常にむずかしい問題である。またもしも1回の爆発が失敗すると 次回の噴射と重なって液体爆薬は余分にチャンパーの中に溜まるようなことになり その時の爆発でドリルをも破壊してしまうかもしれないという問題もある。このような種々の問題から液体爆薬ドリルの実用化はまだ先のことのようにである。

iv) スパークドリル (spark drills)

スパークドリルとは岩石を破壊するために高压エネルギーのスパークを用いた装置である。30~70kVに可変できる高压コンデンサーは1~50μsec 時間持続できるスパークを発生し 7,000kg/cm²以上の高压パルス(波動)を作ることができるので これを1秒間に1~10回スパークさせて岩石を破壊するのである。

スパークドリルの出力 P は次式で求められる。

$$P = \frac{n}{2} \cdot cV^2 \text{ (ワット)}$$

n: スパーク放電比率 (スパーク数/秒)

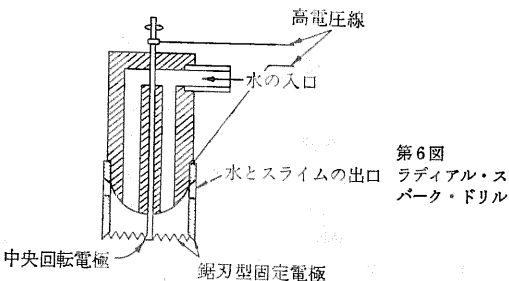
c: 電気容量 μf

V: 圧電 kV

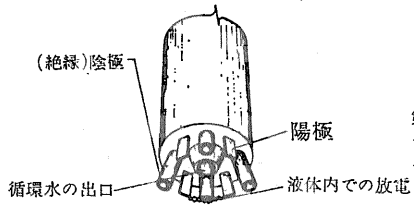
スパークドリルはロータリドリルよりも一層高い出力を出すことができる。たとえば4-μf (70kV) のコ

第9表 ラジアル・スパーク・ドリル

ドリルの外径	30m/m
孔 径	40~50m/m
スパーク比率	2スパーク/秒
スパーク持続時間	1~10 μ sec
スパーク圧力	7,000kg/cm ²
容 量	0.1~0.2 μ f
電 圧	25~30 kV
出 力	0.12~0.17P
適 用 岩 石	頁岩・大理石・輝緑岩
掘 進 率	18~300cm/時



第6図 ラジアル・スパーク・ドリル

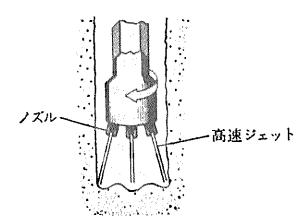


第7図
タンゼン・シアル
スパーク・ドリル

コンデンサーは1秒間に10スパークを発生させると 131 HPの出力を出すことができるといわれている。この力はロータリドリルが掘さく際に ローラービットやドラッグビットに20~50HPの力しか伝達していないのに比べると かなり高い出力であるといえる。これらの各スパーク (1,000m·kg) によって放出されるエネルギーは TNT 火薬 2g の爆発によって出されたエネルギーとほぼ等しい値であると述べられている。

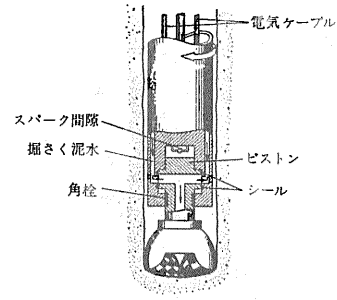
第6図に示したラディアル (radial) スパークドリルは Yutkin 氏によって考案されたもので 中心にある回転電極から刃先の周辺部にある固定電極との間にスパークを起こさせる装置である。このドリルは1秒間に2スパーク (25~30kV 0.1~0.2μf) を起こさせ 0.12~0.17HPの出力を出すことができるといわれ 実験では 4~5cm 径の孔で 輝緑岩の場合 18cm/時 大理石では60cm/時 頁岩では 300cm/時の掘進能率をあげている (第9表)。第7図に示されたタンゼンシアル (tangential) スパークドリルは Titkov 氏によって考案されたもので 50kV で充電された 0.26μf コンデンサーから 330回/分の放電を行なうと 2.4HP の出力を出すことができるといわれている。このドリルは刃先の周辺部に取付けられた陽極と絶縁陰極との間にスパークを起こさせるもので ドロマイトでの実験では 孔径 20cm で 0.66cm/分 の掘進能率をあげている。

Kulle 氏と Ponomarev 氏は回転ビットに衝撃荷重をも与えるようにしたスパークパーカッション (percussion) ドリルを提案した (第8図)。このドリルのスパークは密閉チャンパーの中にあるピストン上部で行なわれるのであるが このチャンパーの中には低い電導度の液体が内蔵されている。



第9図 エロージョン・ドリル

液体が内蔵されている。スパークによって発生した圧力波動はピストンを通してビットに さらに岩石に伝達されるようになっている。このドリルのスパークの持続時間は



第8図
スパーク・パーカッション・ドリル

前記スパークドリルに比べて 一層長い時間が必要であるといわれている。

以上のようにスパークドリルは何れも高い出力と高い掘進能率を得ることができるので その他のノーベルドリルと比較して 石油井戸の掘さくに利用される可能性は最も高いといわれている。

▼ エロージョンドリル (erosion drills)

このドリルは高圧の流体ジェットを用いた装置で 高圧ポンプから与えられた圧力がそのままノズルから噴射されるならば 高い掘進率でさく孔することができるといわれている。岩石の硬さや孔内の静水圧にも関係するが 切削圧力は 石炭のような軟かい岩石に対しては 140kg/cm² 以下の圧力でよく 花崗岩や玄武岩のような硬い岩石に対しては 1,400kg/cm² 以上の圧力が必要とされている。

今 摩擦損失を無視した場合 このドリルの出力Pは

$$P = 0.187 n a w^{-0.5} P^{1.5} \text{ (HP)}$$

また ジェット速度 V は

$$V = 14.0 (P/W)^{0.5} \text{ m/sec}$$

- n : ノズル本数
- a : ノズル断面積 (cm²)
- w : 液体密度 (g/cm³)
- P : 液 圧 (kg/cm²)

第10表 エロージョンドリルの性能

ノズル本数	4本
ノズル径	1m/m
使用流体	水
水 圧	1,000kg/cm ²
ジェット速度	440m/秒
出 力	184HP
孔 径	78m/m
掘進率 (花崗岩)	9m/時

上式によると このドリルの出力はノズルの直径および液圧に比例するし 一方液体密度に反比例することがわかる。このドリルは非常に高い出力をもっているし高いポテンシャルの掘進能率をもっている。たとえば直径2m/mの4本のノズルから4,000kg/cm²という高い液圧を噴射させると 約6,000HPの出力が出るといわれているが この値はロータリードリルの場合の100倍以上の出力である。

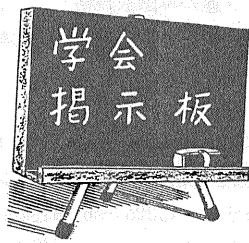
このドリルの幾つかの実験例を示すと 1.6m/m径のノズルで1,265kg/cm²の水圧をかけた場合 大理石では4~5m/mの孔径で10m/分の掘進能率をあげているし砂岩では23m/分 石灰岩では25m/分の 能率であったと述べている。水圧を225kg/cm²から1,265kg/cm²に上昇させた場合の実験では 孔径を5m/mに保った場合 砂岩に対する掘進能率は1.8m/分から23m/分へと増大された。またノズル径を1.2m/mから3.7m/mへと大きくすると(圧力は1,265kg/cm²と一定)砂岩に対しては孔径が2.8m/mから28m/mへと拡大され 掘進能率は10m/分から78m/分へと増加された。ノズルの径が大きいほど効率がよいのは 孔径も大きくなり噴射されるジェットと戻りの流体との間に起こる干渉作用が少ないからといわれている。また別の実験では5,000kg/cm²という高圧水ジェットを使ったとき 砂岩

では5m/mの孔径で65m/分の能率を 花崗岩では74m/分 大理石では84m/分という掘進能率をそれぞれあげている。第9図はZelenin氏が実験に使用した4本ノズルのエロージョンドリルであって 花崗岩中を78m/m孔径で9m/時の能率をあげている(第10表)。

これらの実験結果をみても 高圧の水ジェットを用いたエロージョンドリルは もしもポンプからの圧力が孔底でも一定に保たれているようであれば 高い能率で硬い岩石を掘さくすることができるであろう。ノズルによる岩石浸蝕がこのドリルにとって1つの課題となっているが とくに低圧力の場合には浸蝕能力に問題が生ずるのは当然である。このような場合 循環流体の中に砂とか その他の研磨材を用いているようである。いずれにしてもポンプ スイベル ツールジョイントなどは高圧エロージョンドリル用に耐えるものを開発する必要があるであろう。ともあれ この種のドリルは高い出力と高い掘進率を出すことができるので 非常に有望なノーベルドリリング法の1つであるといわれている。

以上で“機械的にストレスを誘起させる方法”に関する各装置の紹介を終わり 次回には“熱でもってストレスを誘起させる方法”の各装置の紹介をします。

ノーベルドリリング(その1):地質ニュース No. 183 昭和44年 11月号 参照 (筆者らは技術部誌録課)



・日本分光学会

1. 昭和45年3月31日(火)~4月2日(木)
2. 昭和45年春季第17回応用物理学関係連合講演会
3. 日本女子大学(東京都文京区目白台2-81)

4. 応用物理学会・日本結晶学会・日本分光学会外4学会協同
5. 東京都新宿区百人町4-400
東京教育大学光学研究所内
日本分光学会(03)362-7881

・岩石力学会議

1. 昭和45年9月21日(月)~25日(金)
2. 第2回国際岩石力学学会会議
3. ベオグラード ユーゴスラビア
4. ユーゴスラビア岩石力学および地下構造学会
5. Sekrntarijat II kongresa Medunarodnog drustva za mehaniku stena
Insitut za vodoprivredu "Jaroslav Cerni"
Bulevar vojvode Misica 43
Beograd-Jugoslavija

・地熱開発利用に関するシンポジウム

1. 昭和45年9月22日(火)~10月1日(木)
2. 地熱開発および利用に関する国際連合シンポジウム
3. ピア イタリア
4. 国際連合およびイタリア政府
5. Mr. Geoffrev R. Robson
Technical Secretary
United Nations Geoteermal Symposium
United Nations
New York, N. Y. 10017
U. S. A.

・水地球化学・生物地球化学国際会議

1. 昭和45年9月6日(日)~12日(土)
2. 水地球化学・生物地球化学国際会議
3. 日本都市センター(東京赤坂)
4. 国際地球化学・宇宙化学協会(IAGC)
5. 東京都杉並区高円寺北4-35
象象研究所地球化学部内 水地球化学・生物地球化学国際会議組織委員会
Tel (03) 337-1111 内線73

[注] 1. 開催年月 2. 会合名 3. 会場 4. 主催者
5. 連絡先(掲載順位は原稿到着順)