エアドリリング

加藤完・丹治耕吉・伊藤吉助

1. まえがき

ボーリング用循環流体として 水あるいは泥水の代わりに圧縮空気を使う方法が 近年考えられるようになった． 孔底のスライムを排除するのに圧縮空気を使う方法は さく岩機では昔から行なわれており 東洋工業製ＴＹＰＲ220ヘビードリフターで 最大深度65ｍまでを掘進している（ビット径 75ｍｍ 圧縮空気消費量 13.5㎥/分 圧縮空気圧 5 kg/cm²）．

石油掘さくでは 油層のフラクチャリングのために孔内で ニトログリセリン爆破を行なうが このとき孔内のスライム排除に圧縮空気を使用したところ 大きなスライムも容易に吹き上げることがわかった． この方法は「シヨット」と呼ばれ 孔内の清掃に使われるようになった． このことから泥水のかわりに圧縮空気を使用して掘進ができるのではないかという考えが生まれ 世界各地で エアドリリングのテストが実施された（第1図）． スピンドルタイプの小口径のボーリングでも圧縮空気を使って 逸水の激しい地層 水を使うことによって地層が膨潤したり あるいはコアが採取できにくい地層 また水を得ることが困難な地域でのボーリングで この方法の利用が考えられるようになり わが国でもテストが実施されている． このほか 圧縮空気の代わりに真空ポンプを利用し ロッド内からスライムを吸い上げるいわゆる「逆循環方式」も研究されている．

2. テーブル式のエアドリリング

(1) 歴　史

1930年代の始め アメリカで孔内清掃のために圧縮空気が使われたこともあり また1940年代の終わり頃には逸泥の激しい地域での掘さくで 泥水比重を軽くするため圧縮空気を混入して使用したところ 好結果を得ることができ また掘進率も向上することが報告されている． このことからエアドリリングは非常に有効な掘さく方法であることがわかり 場合によっては泥水掘さくの3倍以上の掘進率をあげることが確認された（第2図）．

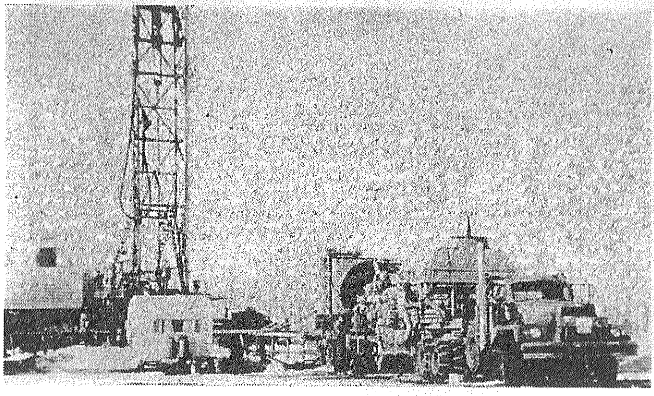
コンプレッサーは初期の頃 回転式コンプレッサーが使用されたが容量が小さく効率が悪いため 往復式コンプレッサーが使用されるようになり これによってエアドリリングは一段と進歩してきた． 最近では 容量17～21㎥/分 圧縮空気圧 18～25kg/cm² のコンプレッサーが使用されているが 高圧を必要とする場合には 100kg/cm² のブースターが使用される．

(2) 必要な機材

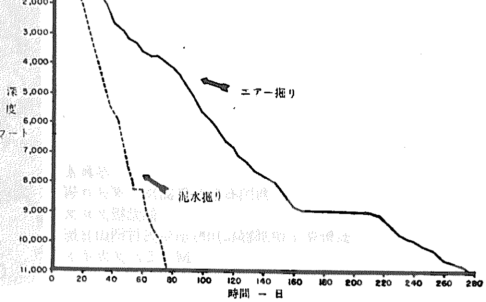
リグ関係の機材は泥水の場合もエアドリリングの場合も ほとんど同じで コンプレッサーとその付加設備が加わるだけである． 圧縮空気の温度が高くなると パッキング類をいためるので 常に90℃以下になるように冷却装置をつける必要がある．

スライムはテーブルの上に吹き上げないように フローラインはプリベンターとローテイングプリベンターとの間から分岐させ 末端を風下に向けて設置する（第3図）．

人家のある所では サイクロンやセパレーターを使用したり 水スプレー装置をつけたりして粉塵を防ぐ必要がある．



第1図　エアドリリング中のリグとコンプレッサー



第2図　エア掘りと泥水掘りの掘進成績

第1表 必要な圧縮空気量

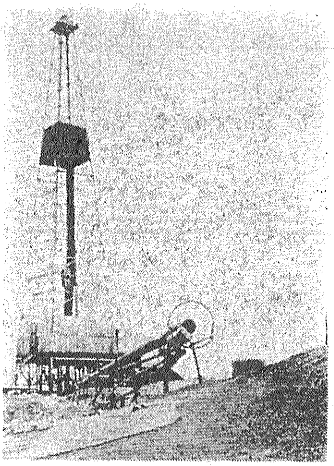
孔　径 in	ロッド径 in	Q_0 ft³/分	掘進率 ft/時 0	30	60	90
$17^1/_2$	$6^5/_8$ $5^1/_2$ $4^1/_2$	4,209 4,428 4,588	82.2 79.8 78.0	131 126 123	177 171 166	221 213 207
15	$6^5/_8$ $5^1/_2$ $4^1/_2$	2,905 3,214 3,285	71.7 68.7 66.0	112 107 103	151 143 137	188 178 171
12	$6^5/_8$ $5^1/_2$ $4^1/_2$	1,700 1,918 2,079	62.3 58.0 55.3	97.8 89.5 83.6	130 119 111	160 146 136
11	$6^5/_8$ $5^1/_2$ $4^1/_2$	1,237 1,456 1,616	60.6 54.8 50.6	94.5 83.8 76.9	124 110 101	151 135 124
$9^7/_8$	$5^1/_2$ 5 $4^1/_2$	1,079 1,163 1,240	53.0 50.3 47.8	80.3 75.5 71.7	104 98.7 93.3	126 120 114
9	5 $4^1/_2$ $3^1/_2$	898 975 1,103	49.1 46.1 41.5	73.0 68.5 61.0	94.4 88.5 79.0	113 107 95.5
$8^3/_4$	5 $4^1/_2$ $3^1/_2$	827 903 1,032	49.0 46.0 40.8	72.7 67.8 60.0	93.2 87.3 77.3	112 105 93.7
$7^7/_8$	$4^1/_2$ $3^1/_2$	670 798	44.7 39.2	65.0 56.7	82.7 72.5	98.2 86.9
$7^3/_8$	$3^1/_2$	676	38.5	55.0	69.8	83.2
$6^3/_4$	$3^1/_2$	535	37.3	52.8	66.1	78.0
$6^1/_4$	$3^1/_2$ $2^7/_8$	430 494	37.0 32.8	51.5 46.0	63.6 57.3	74.7 67.7
$4^3/_4$	$2^7/_8$ $2^3/_8$	229 271	31.6 27.8	41.3 37.2	49.5 44.8	56.5 51.6

(3) 掘さく作業と成績

掘さくの際のビット荷重は　一般に泥水のときより小さく　半分程度でよい．　回転数も$^3/_4$程度で十分であるから　これによってビットの摩滅も少なくなりビットライフをのばすことになる．　スライムの排除も瞬間的に行なわれるので　掘進途中にスライム排除のため休んだり　掘進を加減する必要がなく　このため掘進率が早くなる．　掘進に必要な圧縮空気量は次章に述べるが　実際の掘進の送風量はつねにコンプレッサーの能力以下に抑えておかねばならない．

(4) 必要な圧縮空気量

掘さくに必要な圧縮空気量については　まだ確立した理論はないが　経験的には900m/分のアンニュラーベロシティー（環状部の流速）を得ることができれば　スライム排除　ビットの冷却に問題がないとされている．アンニュラーベロシティーを900m/分(3,000 ft/分)として計算した圧縮空気量は　第1表の通りである．



第3図　エアドリリングによる粉塵の山

必要圧縮空気量 $=Q_0+N\times H$
N：掘進率 ft/時
H：掘進深度を1000 ft 単位で表わしたもの

たとえば$4\frac{3}{4}$ in 孔径　$2\frac{7}{8}$ in ロッド径　深度2,000 ft　掘進率30ft/時とすると　必要圧縮空気量は$229+41.3\times2=311.6$ ft³/分（約10㎥/分）である．

(5) 出水のコントロール

エアドリリングを行なっている孔内に出水があるとスライムは濡れて塊状となり　これがロッドのまわりにリング状となって孔壁にくっつき　抑留の原因となる．このような場合に圧縮空気に水を混入して孔内に送りリングを軟化させて吹き飛ばす方法がとられるか　あるいは水を混入する際に発泡剤を加え　泡によってスライムを排除する方法がとられる．　発泡剤の濃度は発泡剤の種類によって異なるが　一般に 0.05～0.5% 程度であり　噴射量は 26～52 ℓ/分 程度である．

良い発泡剤とは清水ばかりでなく　地層水や原油でも良く泡立ち　泡が丈夫で　腐蝕性有毒性可燃性でないこと　安価であることが必要条件である．

発泡剤の良否をテストするのには　次の方法がある．地層水 100cc に発泡剤 0.5cc を加えて30秒間ミキサーで攪拌し　泡の容積を測定する．　次に泡が消えて　水50 ccがたまる時間を測定する．　この時間を泡の「ハーフライフ」といい　良い発泡剤は濃い塩水でも　250cc の泡量と60秒のハーフライフがある（第4図）．

エアドリリングのフローライン中の水分を電気的に探知する方法も開発され　孔底の少量の出水でもすぐにドリラーに知らせられるので　出水止め作業が迅速にできるようになった（第5図）．

(6) 特　徴

テーブル式のエアドリリングの特徴をまとめると　次

第2表 凝灰岩に対する各工法の成績

循環流体	コアバーレル	ビット径	ロッド径	掘進率	コア採取率	圧縮空気量	圧縮空気圧
水	シングル	XRT ケーシング ダイヤビット 37.84mm	XRT ケーシング 36.51mm	4.7cm/分	94.2%		
エア	同上	同上	同上	4.2cm/分	100%	0.2～0.3m³/分	4～5 kg/cm²

のとおりである.

長　所
(1) 掘進率が早い
(2) ビットライフが長い
(3) 地層を乱すことなく掘さくできる
(4) 逸水がなくなる
(5) 水の準備が不要で泥水費用が節約できる
(6) サンプル採取の遅れが少ない

短　所
(1) 油層やガス層を掘さくする場合　孔内火災の起こる可能性がある
(2) ロッド昇降時浮力がないため　ドローワークスの負荷が大きくなる
(3) 予期しない出水層に遭遇すると　ロッドが抑留されることがある
(4) ロッドを孔内に落すと大事故をひき起こす

3. スピンドル式のエアドリリング

(1) 目　　的

スピンドル式のエアドリリングを使用する目的として水を使うことによって地層が膨潤や崩壊をひき起こしその後の掘さくが困難になったり　あるいは水がコアを洗い流すためコアを採取できない地層に使用する場合と水を得ることが困難な場所でのボーリングを実施したい場合とがある.　前者の例として水に触れると膨潤を起こす　ソープストンやベントナイト層の掘進および水で洗い流されてしまうような粉状鉱石などのコアリングがあり　後者の例として砂漠や山岳地域でのボーリングがある.

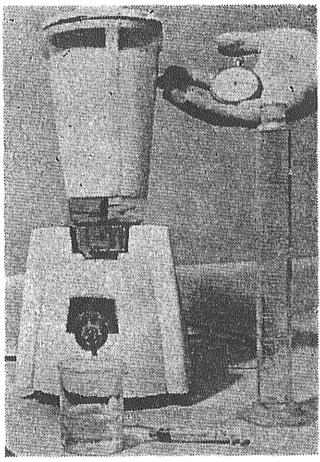
(2) 必要な機材

試錐機関係の機材は水の場合もエアドリリングの場合もほとんど同じで　コンプレッサーと孔口防塵装置が加わるだけである.　必要な圧縮空気量はアンニュラーベロシティーを900m/分になるように計算すればよいのでこのためにコンプレッサーは採鉱用のものが併用されたり　可搬式のものが別個に使用されたりしている（第6図）.

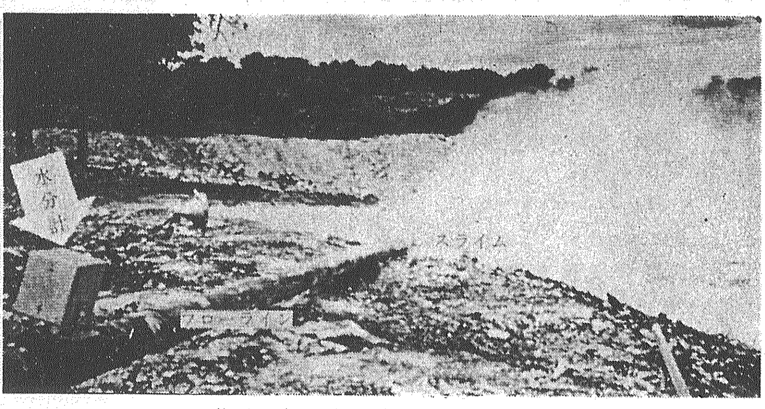
(3) 掘さく作業と成績

地質調査所では　昭和42年よりエアドリリングの研究を行なっている.　最初は対象岩石を御坂層中の凝灰岩を選んで実施したが　孔口防塵装置をつけなかったため長続きができず途中から水に切り替えた.　両者の掘進成績を比較してみるとほとんど変わりないことがわかり初期の目的を達成することができた（第2表）.

次に第7図のような孔口防塵装置を製作し　対象岩石を秩父古生層中の硬質砂岩を選んで　ワイヤーライン試錐を実施したが（第8図）　ダイヤビットの寿命が水の場合に比較して極端に短い結果がでた（第3表）.　このときのダイヤビットを顕微鏡下で鑑定してみると　第9図の如くダイヤのエッジが焼きつき現象を起こしていることがわかった.　この原因はダブルコアバーレルのた



第4図　発泡剤テスト器具



第5図　水分計と粉塵

第3表 硬砂岩に対する各工法の成績

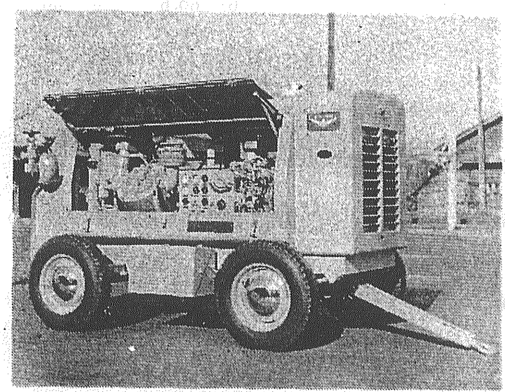
循環流体	コアバーレル	ビット径	ロッド径	掘進率	コア採取率	ビットライト	圧縮空気量	圧縮空気圧
水	ダブル	AQワイヤーライン ダイヤビットン 48.0mm	AQワイヤーライン ロッド 46.0mm	1.7cm/分	72.6%	8.80m/ケ		
エア	同上	同上	同上	0.9cm/分	63.5%	0.72m/ケ	0.7～0.9m³/分	4～5 kg/cm²

め外管と内管とのクリアランスが少なく このため送風量および圧縮空気圧の不足したものか あるいはビットのウォターウェイが不適当 すなわちボトムディスチャージタイプにしなければならないのか いずれかであろう. またこのときのテストで孔内に少量の出水に遭遇したことがあったが このとき発泡剤噴射装置を試作しておいたのでこれを使用し 発泡剤の機能テストも合わせて行ない いちおうの成果を得た（第10図).

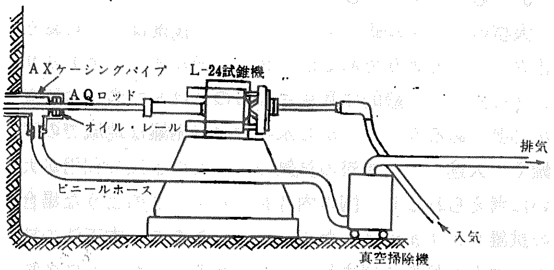
上記二現場に使用した圧縮空気は いずれも採鉱用の大型コンプレッサー（日立製 WSS—75 容量15㎥/分 圧縮空気圧 7.5kg/cm²) を流用したのであるが 次の現場では手持ちの小型コンプレッサー（平山製0.8㎥/分 圧縮空気圧 7 kg/cm²) を使用し 対象岩石をベントナイト層を選んで実施した. このときのテストで深度7.70mまでは順調に掘進が続けられたが この深度からスライム排除が悪くなってきたので メタルビットをウィングビットに切り替え 孔壁とのクリアランスを広げたところ 一時は掘進能率が向上した. しかし深度14.40mから再びスライム排除が悪くなり ついには掘進不可能となった（第4表). この原因はコンプレッサーの容量不足によるものと考えられる. この他 日鉄鉱業 同和鉱業などでもエアドリリングの研究が実施されており それらの成績を参考のために掲げると第5表の通りである.

4. バキウムドリリング（真空掘り）

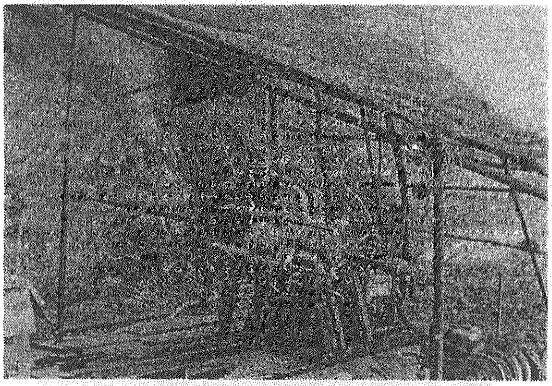
帝石鑿井工業ではアメリカからバキウムドリル「マイティミゼット」を輸入し 地質調査に使用したことがある. マイティミゼットは軽量小型で掘進能力は30mであり 動力は9馬力のガソリンエンジンで ロータリーテーブルと真空ポンプを駆動する. 真空ポンプの真空度は28度である. 濾過装置はサイクロンとオイルバス



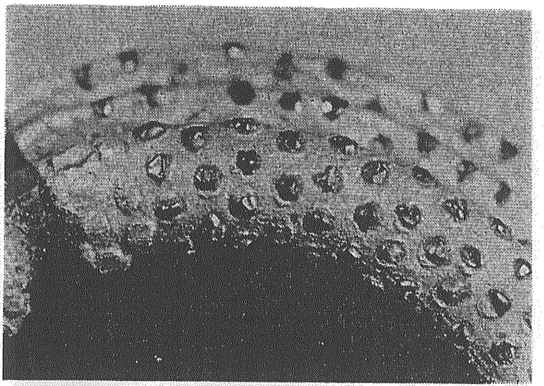
第6図
可搬式コンプレッサー
北越工業製　AMH—50
圧縮空気量　3.06m³/分
圧縮空気圧　7 kg/cm²
ディゼルエンジン　52.5PS/1,200rpm



第7図 孔口防塵装置



第8図 エアドリリング中のL—24試錐機



第9図 ビットの焼きつき
ダイヤのエッジが炭化して平にけづりとられたため 岩石に食い込むことが不可能. エッジが平になっていることがわかる

第4表 ベントナイに対する各工法の成績

循環流体	コアバーレル	ビット径	ロッド径	掘進率	コア採取率	圧縮空気量	圧縮空気圧
クロム泥水	シングル	XRT ケーシング メタルビット 38.0mm	XRT ケーシング 36.51mm	4.7cm/分	45.6%		
エア	同上	同上	同上	3.2cm/分	61.3%	0.4〜0.5m³/分	4〜5 kg/cm²

第5表 花岡鉱山における各工法の成績

循環流体	コアバーレル	ビット径	ロッド径	掘進率	コア採取率	圧縮空気量	圧縮空気圧
水	シングル	55〜100mm メタルビット	40.5mm	2.4cm/分	41%		
エア	シングル	65〜85mm メタルビット	40.5mm	4.3cm/分	30%	2.5〜3.5m³/分	5.5〜6.2kg/cm²
	ダブル	65〜75mm メタルビット	40.5mm	11.0cm/分	74%		

注 ダブルコアバーレルの場合ビットはボトムディスチャージタイプのウォターウエイとウイングをつけた.

式の空気清浄器からなり 掘進が進むにしたがいスライムは透明のガラス瓶に蓄積されるので 地層の変化は容易に判読することができ またサンプル瓶も簡単に取り外しができるようになっている. しかし実際の掘進テストでは 乾燥地質の少ない日本では充分に使いこなせないようであった（第11図).

5. むすび

大型のテーブル式エアドリリングの技術は いちおう確立しているようであるが スピンドル式のエアドリリング技術は 一般的に利用されるのにはまだ多くの研究が必要であろう. しかし水の取得が困難な地域での試錐や 大逸水 崩壊層の試錐では この工法の利用が大いに考えられるし 国の内外をとわず このような場合の試錐もますます多くなると思われるので 本工法の技術の確立が早急に望まれる次第である. おわりに各種資料を提供された方々に対して厚くお礼申し上げます.

（筆者は試錐課）

参考文献

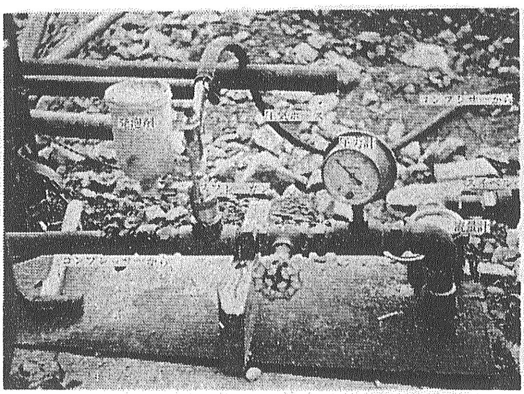
World oil vol. 156 no.3 no.5 no.6
〃 vol. 157 no.1 no.6 no.7
〃 vol. 158 no.1 no.3
〃 vol. 159 no.7
〃 vol. 160 no.5
〃 vol. 161 no.1 no.2

The oil and gas journal vol. 61 no. 18 no. 48 no. 49
〃 vol. 62 no. 6 no. 8 no. 30
〃 vol. 63 no. 19 no. 22
〃 vol. 64 no. 26 no. 32
〃 vol. 65 no. 10 no. 23
〃 vol. 66 no. 18 no. 19

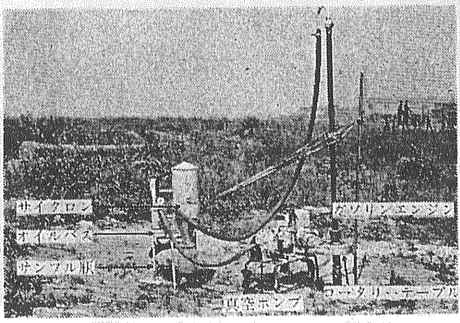
J. E. Brantly : Rotary drilling handbook

岡野寛他：豪州カガヤン炭田の試錐調査 (air drilling について) 鉱山地質 vol. 11 no. 45・46

藤森多一郎：坑内軟弱地層の水平掘削におけるエアーブロー工法 鉱山地質 vol. 20 no. 100



第10図 発泡剤噴出装置



第11図 マイティミゼット試錐機