掘さく作業計画に関する研究

田 中 彰 一*

(昭和 43 年 8 月 2 日受理)

A Study on the Planning of Drilling Operation

by

Shoichi TANAKA

Abstract As a result of laboratory experiments and analyses of field data, four equations of bit performance were suggested as in the previous papers, i.e., equations of performance line, penetration rate at the separation point, relative penetration rate and bit life. In this paper methods obtaining such factors as penetration rate, drilling time and length of a bit, and optimum combination of bit weight and rotary speed, are generally discussed by using aforementioned equations with the effect of hydraulics included. An impact force developed at a bit nozzle is governed by quantity of drill collars to be used; penetration rate, rate of drilling operation, and drilling time and length of a bit may be affected by quantity of drill collars to be used. There is the optimum bit weight which gives the maximum penetration rate under a given rotary speed, and, in the most case, the rate of drilling operation also attains at the maximum value under the same conditions. As an example of application of it to actual drilling practices, influences on the penetration rate of pump operations, i.e., single pump operation and parallel operation of two pumps, and also quantity of drill collars are examined on the basis of analyses of field data.

掘進率研究の目的の 1 つは、各地域ごとに、あるいは各地層ごとに、適したビット荷重やビット回転数を求めることである。これらの諸値を求める方法としては Gelle ら (1963) の方法をはじめ、多くの研究が発表されており、わが国でも採用されている。わが国の現場記録を調べると、泥水循環の作用が不十分ところで掘さくが行なわれていることが多い(田中, 1968-b)。このような状態では、最適なビット荷重およびビット回転数はポンプの能力あるいは使用条件を考慮して決めることが必要である。ポンプ能力を考慮した方法としては Edwards の hydraulics test (1964) がある。泥水循環と掘進率の関係を数量的に表わす方法については、前 2 論文 (田中, 1968-a, b) で論じた。そこで提案した方法により、ポンプ能力を考慮しながら最適掘さく作業計画をたてる方法を考察する。

I 掘進率関係諸式の一般論

地層の性質・ビット型式・泥水の性質などが与えられているとき、掘進率に影響を与えるおもな要素はビット荷重・ビット回転数・泥水循環の 2 つであり、これらの組み合わせにより掘進率およびビット使用時間あるいは使用長さに変化する。これらの諸値を推定するために必要な式としては次のものがある。

作用線の式

$$R_0 = mN(W - W_c)/D \quad (1)$$

分岐点掘進率の式

$$R_b = a + b(D_0/D)^2 M \quad (2)$$

相対掘進率の式

$$R/R_0 = \left(\frac{c}{W - W_c} + d \right)^e \quad (3)$$

ビット寿命の式

* 東京大学工学部資源開発工学科

$$NT = \frac{f}{(D_0 W/D)^g} \quad (4)$$

ここで

R_0 = 泥水循環の作用が十分なところでの掘進率
m/hr

R = 泥水循環の作用が不十分なところでの掘進率
m/hr

R_b = 分岐点掘進率 m/hr

W = ビット荷重 t

W_b = 分岐点荷重 t

W_c = 交点荷重 t

N = ビット回転数 rpm

M = 衝撃力 kg/g·cm⁻³;

T = ビット使用時間 hr

D = ビット径 cm

D_0 = 基準ビット径 cm

a, b, c, d, e, f, g, m = 係数

上記の各式は前論文(田中, 1968-b) に記したように、現場記録の解析により求めることができる。以下地層の性質は一樣で変化しない、またビット摩耗の影響は考慮しないとして考察を行なう。

1. 掘 進 率

泥水循環の作用が十分なときの掘進率は(1)式で計算できる。実際の掘さくにおいてはポンプの能力に限界があるので、掘進率が大きくなると掘屑の除去がまにあわなくなり、掘進率は作用線より分岐してくる。この分岐点にあたる掘進率(分岐点掘進率)は泥水循環の作用が十分行なわれている状態で達しうる最高の掘進率である。泥水循環の作用が十分行なわれているときは、掘進率はポンプの能力には無関係である。分岐点掘進率は(2)式で表わされ、ビットノズルにおける衝撃力に関係する、すなわち、ポンプが大型で大きな衝撃力を出せるときは分岐点掘進率は大きくなり、(1)式で表わせる範囲が大きくなる。分岐点荷重は(1)式と(2)式を組み合せて得られる。

$$\text{分岐点荷重 } W_b = W_c + DR_b/N \quad (5)$$

分岐点掘進率はビット回転数に無関係であるが、分岐点荷重はビット回転数が大きいほど小さい。

作用線から分岐後もビット荷重を増加すると掘進率は増加するが、その増加の割合は徐々に低下し、やがて掘進率はあるビット荷重で最大値に達し、それ以上ビット荷重をかけるとかって掘進率は減少する。作用線から分岐後の掘進率とビット荷重の関係は(3)式で表わされる。相対掘進率の式とし前論文(田中, 1968-a) に記した軟層用ビットに対する次式を用いると、

相対掘進率の式(軟層用)

$$\frac{R}{R_0} = \left(\frac{13}{\frac{W - W_c}{W_b - W_c} + 12} \right)^{3.85} \quad (6)$$

ある一定の衝撃力で掘さくするとき達しうる最大掘進率 R_m と、そのときのビット荷重 W_m は次のようになる。

$$\text{最大掘進率 } R_m = 1.9 R_b \quad (7)$$

$$\text{相対最大荷重 } \frac{W_m - W_c}{W_b - W_c} = 4.2 \quad (8)$$

最大掘進率は分岐掘進率の1.9倍である。分岐点掘進率はビット回転数に関係なく、衝撃力のみに関係するから、最大掘進率も衝撃力のみに関係する。最大荷重の相対値は4.2であり、分岐点荷重はビット回転数が大きいほど小さいから、最大荷重もビット回転数が大きいほど小さい。衝撃力一定のとき、大きいビット回転数で掘さくすると、ビット荷重の小さいところで最大掘進率に達し、小さなビット回転数で掘さくすると、ビット荷重の大きいところで最大掘進率に達し、両者の最大掘進率は等しい。

ビット荷重と衝撃力が与えられたとき、掘進率が最大掘進率になるビット回転数を最適ビット回転数 N_m と名づける。最適ビット回転数は次式が与えられる。

最適ビット回転数

$$N_m = \frac{DR_b}{m(W_b - W_c)} \quad (9)$$

$$= \frac{4.2 DR_b}{m(W - W_c)} \quad (10)$$

軟層用ビットを使用し、泥水循環の作用が不十分な状態で掘さくするとすると、与えられたビット荷重を(10)式の W のところに代入し、与えられた衝撃力より求める R_b を用いて、最適ビット回転数が計算できる。中硬層用や硬層用ビットでは作用線より分岐すると、相対掘進率は軟層用ビットの時に比べて小さいので、泥水循環の作用が十分な範囲で使用した方がよいと思われる。このようなときは与えられたビット荷重を(9)式の W_b のところに代入することにより、最適ビット回転数が求まる。

以上記したことをまとめて簡単に第1図で説明する。交点荷重 W_c より引いた2本の実線は、それぞれビット回転数 N_1 と N_2 ($N_1 > N_2$) に対する作用線であり、(1)式を表わしている。衝撃力 M が与えられると(2)式より分岐点掘進率 R_b が求まり、また(7)式より最大掘進率 R_m が求まる。 R_b と R_m はビット回転数に関係なく等しい。各ビット回転数に対する分岐点掘進率 W_{b1} と W_{b2} は(5)式より、 R_m に対応するビット荷重 W_{m1} と W_{m2} は(8)式より求まる。ビット回転数と W_b および W_m の間には(9)式あるいは(10)式が

第1図 ビット回転数の影響 (衝撃力一定)

成立している。分岐点荷重以上のビット荷重に対する掘進率は(6)式を用いて計算できる。

これまではビット回転数は任意の値を取りうるとしたが、掘さく装置によってはビット回転数に最大限界値があることがある。このようなときの掘進率を検討してみる。

衝撃力 M とビット荷重 W が与えられ、ビット回転数の最大値 N' が定まっているとする。(9)式または(10)式より求めた最適ビット回転数 N_m が N' より大きいとする。第2図にこの状態を示す。与えられたビット荷重 W が N' に対する分岐点荷重 W_b' より小さければ、掘進率は(1)式で与えられ、 R_b より小さい。 $W > W_b'$ では掘進率は R_b と R_m の間にある。この掘進率を R' とすると、次の手順で計算できる。

- 衝撃力 M より(2)式で R_b を求め、(5)式を用いて分岐点荷重 W_b' を求める。
- ビット荷重 W と W_b' より相対荷重 $(W - W_c) / (W_b' - W_c)$ を計算する。

第2図 ビット回転数に制限があるときの掘進率

(c) ビット荷重 W とビット回転数 N' より(1)式を用いて、泥水循環の作用が十分と仮定したときの掘進率 R_0' を求める。

(d) b で求めた $(W - W_c) / (W_b' - W_c)$, c で求めた R_0' を(5)式の相対掘進率の式に代入して、掘進率 R' を計算する。

$$R' = R_0' \left(\frac{13}{\frac{W_b - W_c}{W - W_c} + 12} \right)^{3.85}$$

以上記したように、泥水循環の作が不十分なところでは、掘進率はビット荷重・ビット回転数・泥水循環の3つに関係して定まり、泥水循環の値を増加することにより掘進率を増加することができる。

2. ビット使用時間とビット使用長さ

ビット寿命はビット全回転数で表わすことができる。ビット全回転数は(4)式で表わされ、ビット荷重に関係する。ビット使用時間はビット全回転数をビット回転数で割って得られる。

ビット使用時間

$$T = \frac{f}{N(D_0 W / D)g} \quad (11)$$

ビット荷重 W とビット回転数 N を(1)式に代入して得られる掘進率 R_0 をとすると、(11)式は次のようになる。

$$T = \frac{fm}{DR_0} \frac{W - W_c}{(D_0 W / D)g} \quad (12)$$

ある一定の掘進率で掘さくするとき、ビット使用時間を最大にする条件は g の値により異なる。 $g \leq 1$ のときはビット荷重が大きいのほどビット使用時間は長くなる。 $g > 1$ のときは $W = (g/g - 1)W_c$, $N = (g - 1)DR_0/mW_c$ のときビット使用時間は最大になる。

ビット使用長さはビット使用時間と掘進率の積で与えられる。泥水循環の作用が十分に掘進率が作用線の式で表わされるときは、次のようになる。

ビット使用長さ

$$L_0 = R_0 T = \frac{fm}{D} \frac{W - W_c}{(D_0 W / D)g} \quad (13)$$

掘進率が作用線より分岐した後では、ビット使用長さ L とそのときのビット荷重を(13)式に代入して求めた L_0 との比は相対掘進率に等しい、すなわち、 $L/L_0 = R/R_0$ 。

土崎沖油田および雲出ガス田の軟層用ビットの全回転数は次式で与えられる(田中, 1968-b)。

$$NT = \frac{47 \times 10^4}{60 \times (21.6/D)^0} \quad (14)$$

$g = 0.5$ であるから、一定掘進率で掘さくするとき、ビット荷重の大きい方が使用時間も使用長さも大きくなる。なお、掘進率一定であるからビット荷重を増加する

と、ビット回転数を減少することが必要である。

ビット回転数に制限があり、最適ビット回転数以下で掘さくするときは、最適ビット回転数で掘さくするときに比べて、掘進率は低下するが、使用時間と使用長さは増加する。

II 特性 曲 線

ビット荷重はドリルカラーにより与えられる。したがって通常の掘さく作業では、ビット荷重とドリルカラー本数とは比例すると考えてよい。ビットノズルで出する衝撃力もドリルカラーの長さ、すなわち本数により変化する。したがってビット荷重と衝撃力は、ある一定の関係で結ばれている。この関係は一般的に取扱うには複雑すぎるので、具体的な例を用いて説明する。ドリルカラー本数と掘進率・ビット回転数・ビット使用長さ等との関係を表わしたものを特性曲線と名づける。特性曲線はビット径・ドリルカラー寸法・掘管寸法ポンプ性能、泥水の性質および地質などにより変わってくる。

第3図に特性曲線の例を示す。対象にした地層は土崎沖油田船川層中部である。ビットは 269.9 mm 径 ($10\frac{5}{8}$ in) 3 S 刃型、ポンプは OH-500 (ライナー径 $6\frac{3}{4}$ in)、掘管は 114.3 mm 外アプセット管、ドリルカラーは 177.8 mm 外径 $\times$ 71.4 mm 内径 $\times$ 164 kg/m の 6 m ものとする。泥水は比重 1.6、流量は 1.83 kl/min 以上とする。深度 1,020 m として衝撃力を計算し、地質は同一なものが続くとする。なおビット荷重は泥水中のドリルカラーの重さの 80% とする。

1. 掘 進 率

第3図の上半分は掘進率とドリルカラー本数の関係を示す。ビット回転数を(10)式の最適値にしたとき、200, 150, 100 rpm の3種類の一定値に保ったときの各掘進率を示す。ビットは軟層用なので、掘進率は(7)式の最大掘進率を用いた。ビットノズルは衝撃力を最大にするものを用いた。

ドリルカラー本数を増加すると、ドリルカラー内の圧力損失が増加し、衝撃力は減少し、分岐点掘進率も減少す

第3図 特性曲線の例

る。最適ビット回転数は第3図下半分に示すように、ビット荷重の増加と分岐点掘進率の減少により急激に減少する。各ビット荷重に対する最適ビット回転数で掘さくするときの掘進率はビット荷重、すなわちドリルカラー本数の増加につれて減少する。

ビット回転数を一定に保ったときの掘進率を 200 rpm のときを例に説明する。ドリルカラー本数10本とき、最適ビット回転数は 450 rpm で、掘進率は 24.5 m/hr である。ビット回転数を 100 rpm に制限すると、掘進率は 18.5 m/hr に低下する。ドリルカラー本数を増加すると、最適ビット回転数に対する掘進率は減少するが、200 rpm に保ったときの掘進率は増加する。ドリルカラー19本とき最適ビット回転数は 200 rpm になり、両者の掘進率は一致する。これ以上ドリルカラーを増加すると、最適ビット回転数は 200 rpm 以下になり、200 rpm に保つときの掘進率は、ふたたび最適値に対するそれより小さくなる。したがってビット回転数 200 rpm で掘さくするときは、最適ビット回転数が 200 rpm になる19本前後のドリルカラーを使用するとき、掘進率は最も大きくなる。同様に 150 rpm のときはドリルカラー 23 本、100 rpm のときは32本前後で、掘進率はもっとも大きくなる。ビット回転数の制限値が大きいほど最適ドリルカラー本数は少なく、掘進率は大きい。

第3図ではドリルカラー本数が増加すると衝撃力は減少したが、あるドリルカラー本数間では衝撃力は一定で、掘進率も一定になることもある。ビット荷重を増加するほど掘進率は大きくなるといわれているが、上記のことより、一般的には次のようにいうのが正しいと考える。

- (1) ビット荷重ごとに掘進率が最大になる最適ビット回転数がある。
- (2) 最適ビット回転数で掘さくするときは、ビット荷重を増加するほど掘進率は低下する、ときにはある範囲内で一定である。
- (3) 一定ビット回転数で掘さくするときは、この一定値と最適値が一致するビット荷重で掘進率は最大になる。この荷重に達するまでは、ビット荷重を増加するほど掘進率は増加する。

2. 使用長さ

第3図下半分にビット当りの使用長さを示す。最適ビット回転数で掘さくするときは、ドリルカラーを増加するほど使用長さは増加する。一定ビット回転数のときはドリルカラーを増加するほど使用長さは減少する。同一ドリルカラー本数では、ビット回転数が少ないほど使用長さは大きい。

ドリルカラー本数が24本以上で使用長さは急激に減少している。これはポンプが限界に達したためである。ドリル

カラー24本まではビットの使用可能長さの方が、ポンプの使用可能限界より短いので、ビットは十分に使用されてから引揚げられるが、24本以上ではポンプの使用限界の方が短く、ビットがまだ余力を残しているとき、ポンプライナー取替またはビットノズル取替えのため引揚げられねばならないことを示している。

3. 作業掘進率*

掘進率と使用長さを一緒にまとめて考慮し、掘さく作業全体の進み方を表わしたものが作業掘進率であり、第3図上半分の掘進率の下に示す。揚降管作業時間は、3 hr/1000 m、掘管継足し作業時間は 1 hr/100 m とした。

最適ビット回転数で掘さくするとき、掘進率はドリルカラーの増加につれて減少するが、作業掘進率はドリルカラー18本で最大になる。一定ビット回転数で掘さくするときは、この一定値と最適値が一致するドリルカラー本数で、すなわち掘進率が最大になるところで作業掘進率も最大になる。100 rpm のときは掘進率が最大になる本数と作業掘進率が最大になる本数と多少異なっているが、これはポンプの使用長さにおよぼす影響のためである。作業掘進率が最大になる条件を第1表に示す。

第3図を用いてタービン式掘さくとロータリ式掘さくの比較ができる。タービン式掘さくでは使用可能なノズル径は大きくなるが、第3図のノズルを使用するとする。タービン式掘さくではビット回転数は 500 rpm 位である。最適ビット回転数が 500 rpm であるドリルカラー本数は9本である。このときの掘進率は 24.7 m/hr、作業掘進率は 14.9 m/hr、使用長さは 70m である。これらと第1表を比べると掘進率はタービン式の方がよいが、作業掘進率は 100 rpm を除きロータリ式の方が大きく、使用長さもロータリ式の方がよい。したがってこの地層では、150 rpm 位のビット回転数がだせるならば、ロータリ式の方が適しているといえる。

第1表 作業掘進率が最大になる条件(第3図参照)

ビット 回転数 (rpm)	ドリル カラー 本 数	ビット 荷 重 (t)	掘進率 (m/hr)	作 業 掘進率 (m/hr)	使 用 長 さ (m)
220	18	11.3	22.7	15.4	330
200	19	11.8	22.3	15.3	350
150	23	14.4	21.6	15.2	460
100	25	15.6	19.7	14.2	400

* ソ連邦における掘進率の研究(田中, 1964, 石技誌)で、航海掘進率として紹介したものである。

III 掘さく作業計画の例

雲出ガス田西山層上部を対象に掘さく作業計画のため方を検討する。ビット 31.1 cm 径 3 S (12 $\frac{1}{4}$ in), ドリルカラー 203.2 mm (8 in) $\times$ 71.4 mm (2 $\frac{3}{16}$) $\times$ 224 kg/m 9 m 管, 掘管 127 mm (5 in) $\times$ 27.2 kg/m (19.5 lb/ft) 9 m 管, 泥水比重 1.4 とし, 深度は 1,400 m とする。ポンプは H-850 A 1 台または 2 台並列運転とし, 機械効率 85%, 容積効率 90% とする。ビット荷重はドリルカラーの泥水中の重量の 80% とする。作用線の式と分岐点掘進率の式を次に記す (田中, 1968-b)。

$$\text{作用線の式} \quad R_0 = N(W - 0.9) / 37.3 \quad (\text{a})$$

$$\text{分岐点掘進率の式} \quad R_b = 3.6 + 0.034M \quad (\text{b})$$

1. ポンプ 1 台と 2 台との比較

ドリルカラー本数は 15 本, ビット荷重は 19.8 t とする。ノズルは 15.9 mm 径 ($\frac{5}{8}$ in) を 3 ケ使用する。ポンプ 1 台のときと 2 台並列のときの諸数値の比較を第 2 表に示す。分岐点掘進率は (b) 式に第 2 表の衝撃力を代入して求めた。最適ビット回転数は (10) 式で $W = 19.8$, $W_0 = 0.9$, R_b に第 2 表の分岐点掘進率を代入して求めた。最大掘進率は (7) 式より求めた。第 2 表をグラフにしたのが第 4 図である。(a) 式より求めたビット回転数

第 2 表 ポンプ数の影響 (計画)

ポンプ数	1	2	比率*
ライナー径, in	7 $\frac{1}{2}$	6	
流量, kℓ/min	2.34	3.06	1.3
衝撃力, kg/g·cm ⁻³	260	440	1.7
分岐点掘進率, m/hr	12.4	18.6	1.5
最適ビット回転数, rpm	103	154	1.5
最大掘進率, m/hr	23	35	1.5

* ポンプ数 1 のときを 1.0 とする。

150 rpm と 100 rpm のときの作用線を実線で示す。横軸に平行に引いた破線は, ポンプ 1 台のときと 2 台のときの分岐点掘進率を示す。

ビット回転数が 100 rpm の場合, ポンプ 1 台のときはビット荷重 5.5 t で分岐点に達し, それ以後は掘進率は破線 (1) に沿って増加し, ドリルカラー 15 本に相当するビット荷重 19.8 t で掘進率は最大値 23 m/hr に達する。途中の破線は (6) 式の相対掘進率の式を用いて求めた。ポンプ 2 台並列運転のときはビット荷重 7.8 t で分岐点に達し, それ以後は破線 (2) に沿って掘進率は増加し, 19.8 t で掘進率は 31 m/hr である。この場合ビット荷重 30 t で最大掘進率 35 m/hr になる。ポンプを 1 台よ

第 4 図 ポンプ台数の影響 (計画)

り2台にすることにより、ビット回転数 100 rpm、ビット荷重 19.8 t で掘進率は 23 m/hr から 31 m/hr に 1.3 倍増加する。

ビット回転数 150 rpm の場合。ポンプ 2 台使用するときはビット荷重 5.5 t で分岐点に達し、それ以後は破線(3)に沿って掘進率は増加し、19.8 t で 35 m/hr の最大値に達する。ポンプ 1 台のときはビット荷重 4 t で分岐点に達し、それ以後は破線(4)に沿って掘進率は増加し、ビット荷重 13.9 t で最大値 23 m/hr に達し、それ以上ビット荷重を増加すると、かえって掘進率は減少する。ポンプ 1 台で 150 rpm のときは 13.9 t 以上のビット荷重はかけられない。

ここで設定した条件では、ポンプ 1 台のときはビット回転数 100 rpm で 23 m/hr の掘進率、ポンプ 2 台のときは 150 rpm で 35 m/hr の掘進率が見込まれ、ポンプを 1 台より 2 台にすることにより、掘進率は 1.5 倍増加する。

ビット使用長さは (11) 式, (13) 式, (14) 式より $L \propto R/NW^{0.5}$ となる。ビット荷重は一定とすると $L \propto R/N$ である。 R/N を求めると、ポンプ 1 台 100 rpm のとき 0.23, ポンプ 2 台 100 rpm のとき 0.31, ポンプ 2 台 150 rpm のとき 0.23 である。これより、掘進率が最も大きくなる組み合わせは、ポンプ 2 台でビット回転数

150 rpm のとき、ビット使用長さが最も大きくなる組み合わせは、ポンプ 2 台でビット回転数 100 rpm のときである。

ポンプ 2 台並列運転のとき、ビット荷重 19.8 t で泥大循環の作用が十分な状態で掘さくするとすると、その条件での最大の掘進率は分岐点掘進率と等しく 18.6 m/hr である。このときのビット回転数は (9) 式より 37 rpm である。これを第 4 図に 37 rpm と付した作用線で表わす。泥水循環の作用が不十分な状態ではビット回転数を増加すると、ある限度までは掘進率は増加するが、その増加の割合は小さい。第 4 図では 37 rpm で掘進率 18.6 m/hr, 150 rpm で 35 m/hr であるから、ビット回転数を 4 倍して掘進率は 1.9 倍になる。ポンプ 1 台のとき、ビット回転数 100 rpm で掘進率は 23 m/hr である。ポンプ 2 台では、50~60 rpm 位でこれ位の掘進率になる。

ポンプを 1 台より 2 台に増加することにより得られる効果は、次のようにまとめられる。

- (1) 最適ビット回転数が増加し、掘進率の増加が得られる。
- (2) 同一ビット回転数で掘さくするとき、掘進率が増加し、掘進長さを増加する。
- (3) 同一掘進率が小さいビット回転数で得られ、掘進

第 5 図 ドリルカラー本数の影響 (計画)

長さが増加する。

2. ドリルカラー本数の影響

前と同じ条件でポンプは2台並列運転とし、ドリルカラーを10本(ビット荷重13.2t)、15本(ビット荷重19.8t)、20本(ビット荷重26.4t)と変えたときの掘進率の変化を第5図に示す。15.9mmノズルを使用するときの各本数に対する流量はそれぞれ3.10kl/min, 3.06kl/min, 2.92kl/minである。ビット回転数は150rpmと100rpmの2種類とし、それぞれに対する作用線を第5図に実線で示す。ドリルカラー15本のときの分岐後の掘進率の変化を破線(1), (2)で示す。

ビット回転数100rpmのときの各ビット荷重に対する掘進率はそれぞれ26m/hr, 31m/hr, 33m/hrである。ビット回転数150rpmのときのドリルカラー10本に対する掘進率は31m/hr, 15本に対する掘進率は35m/hrである。ドリルカラー20本のときは破線(3)で示す変化をし、ビット荷重18.9tで最大値33m/hrに達する。掘進長さに比例するものとして $R/NW^{0.5}$ を、掘さく馬力に比例するものとして NW^2 を計算し第3表に示す*。

第3表より、掘進率の大きいものがかならずしも掘さく馬力が大きくなく、傾向としてビット荷重が小さく、ビット回転数の大きい方が掘さく馬力に比して掘進率が大きい。掘進長さはビット回転数の小さい方が大きい。これらより判断すると、第3表のNo. 1, 3, 4の組み合わせのうちより、選択するのがよいと考えられる。

第3表 ドリルカラー本数の影響 (計画)

No.	ドリル カラー 本 数	ビット 回転数 rpm	掘進率 m/hr	掘進率 比 率	掘進長さ $R/NW^{0.5}$ $\times 10^2$	掘 馬 力 NW^2 $\times 10^{-4}$
1	15	150	35	1.35	5.2	5.9
2	20	100	32	1.27	6.4	7.0
3	10	150	31	1.2	5.7	2.6
4	15	100	31	1.2	7.0	3.9
5	10	100	26	1.0	7.2	1.7

* Maurer は泥水循環の作用が十分なときはビットトルクは W^2 に、不十分なときは $W^{1.5}$ に比例するとしている(Jour. Pet. Tech., nov., 1962)。

VI 結 語

室内実験および現場記録の解析により得られた諸式を一般化して、泥水循環の作用が十分なきおよび不十分なきのそれぞれの条件下において、掘進率・最適ビット回転数・ビットの使用時間・ビットの使用長さ等を求める方法を論じた。

一般論の応用として、ドリルカラー本数と前記各指数との関係を表わす特性曲線について説明した。最適ビット回転数で掘さくするときは、ビット荷重の増加につれて一般には掘進率は減少する。ビット回転数一定で掘さくするときは、この一定値と最適値が一致するビット荷重までは、ビット荷重を増加するにつれ掘進率は増加する。坑井が深くなる速度を表わす作業掘進率は、ビット回転数一定で掘さくするときには、この一定値と最適値が一致するビット荷重で最大になる。

また掘さく作業計画の1例として、31. cm($12\frac{1}{4}$ in) 径ビットで掘さくするときの、ポンプ台数の影響とドリルカラー本数の影響を考察した。

参 考 文 献

- 1) Edwards J.H.1964; Engineered Drilling Operations: W.O., May, pp. 87-92 and June, pp. 120-125.
- 2) Galle E.M. and Woods H.B., 1963, Best Constant Weight and Rotary Speed for Rotary Rock Bits: Spring Meeting of the Pacific Coast District Division of Production, API.
- 3) 田中彰一, 1968, a, ロータリー掘さくの掘進率におよぼす泥水循環の作用に関する研究: 石技誌第33巻第3号, pp. 169-174.
- 4) 田中彰一, 1968, b, 土崎沖油田および雲出ガス田における掘進率と泥水循環の関係: 石技誌, 第33巻第5号, pp. 326-334.