

まえがき

従来調査用ボーリングでは、掘り易いビットで、小まめに掘進条件をかえることにより、コアが採れて掘進能率があがるよう努力が払われてきた。ここでは発根を裏返しにして、ボーリング自体を測定と考え、むしろ掘れにくいビットで掘進条件を一定にして詳細な掘進記録をとり、岩盤とビットの相互作用から地質情報をとり出すことを試みた。

1. 掘進記録と岩の性質 — 室内試験

掘進記録はブレードビットなどのコアボーリングによる方法とコア採取の際について得る方法とがある。前者は短時間に比較的簡単な操作で地質情報が推定されるが、コア試験にみられるような情報の多様性が失われる。逆に後者ではワンリングに通した掘進条件が強いられるから掘進記録による情報に制約される。ここでは確実な掘進記録を得て地質との関係を追求する立場から主として前者の方法を試みた。

このため、掘れやすさ、形が簡単でビット圧の算出や破壊機構を考慮易いビットを試作した。写真1に示すように長方形断面の双を持つ三枚羽ブレードビットである。室内実験には46mmφを使用した。

削孔中に得られる掘進情報は、掘進長さおよび速度(掘進率)、トルク・給圧(ビット荷重)、回転数・送水ポンプの圧と送水量および掘削水の性質などの諸量である。地質情報は掘進速度やトルクに反映され、ビットの種類・形状を含む他の諸条件を一定にしたときのビット荷重との関係から力学量を推定する方法がよく用いられる⁽¹⁾。

1.1 掘進速度と岩の性質

図1は主として千葉県下の砂岩・泥岩についての例を示す。W/Sはビット圧、R/Nは1回転当りの掘進長をあらわす。それぞれ曲線は図中に例示した①、②の2直線で近似される。概念的にいえば①ではすりへりによる掘進が、②では孔底破壊を伴う掘進が占められる範囲と考えられる。従って①から②の領域への変換点のビット圧は地盤の強度に直接関係づけられると予想される。

ロータリー掘削における孔底の破壊機構は複雑であるが、Robinson(1958)⁽⁴⁾によると、清水掘りの場合掘進速度は三軸試験における破壊強度(最大軸差応力)に直接関係し、砂泥岩のような多孔質岩では孔底近傍(孔底岩の掘削は1回転当りせいぜい数mmの場合が多い)での同圧と孔底地盤の間隙水圧



写真1 試作した三枚羽ブレードビット



写真2 現場試験をおこなった軟質岩盤(砂泥互層)、崖の高さは約35m

とほぼ等しい状態となり、この場合最大軸差応力は σ_3 によってほとんど決まり、従って孔底の破壊が主としてせん断によるものと振動速度は内部摩擦角の要素に関係なく、粘着要素 C または一軸圧縮強度 σ_u に関係するものと考えられる。以上の見解に基づいて強度の代表として測定しやすき R/N をとり、図1の各曲線の W_c/S との関係を求めると図2となり良好な相関が認められる。

1.2 トルクと岩の性質

トルクとビット荷重の関係には、振動速度における W_c/S に相当する屈曲点 T_m は認められず、図3の T_m のように、 $T = CW$ (T はトルク、 C は定数) の関係が見出される。 C は岩の性質によって異なり、図1の曲線①②も直線で近似すれば、それぞれの領域で R/N と T はほぼ直線関係を示す。そして W 一定の場合岩が軟らかければ T が大になり、 R/N が一定なら岩が硬いほど T が大きい。しかしトルクは振動速度に較べ、機械系およびスライムの量・質、孔壁までびびり孔底の岩盤以外の要素に影響されやすく、一般にばらつきが大きい。

しかし図3に1例を示すように、振動中のトルクを連続記録して、変動中 ΔT に着目するとあるビット荷重 W_t 以上で急増し、 W_t/S は W_c/S にほぼ等しくなる。 ΔT はビット荷重によって岩に食い込んだ深さが、周囲の岩を回転によって排除する際に生ずる摩擦寄与分のトルク、 T_m は排除した直後の岩との摩擦寄与分のトルクと考えられる。また1回転当りの振動長から判断しても、 $W < W_t$ ではせいぜい個々の粒子をはがすか、すりつぶす程度の振動であるが、 $W > W_t$ では岩塊として破壊振動する程度になる。そして W_t を過ぎると掘りくずの粗度があらくなる。したがって ΔT の急増は W_c/S を境に破壊振動が卓越することを意味し、 W_c/S に対応すると考えられる。しかし強度との相関は上述したように W_c/S よりばらつきが大きい。さらに T_m が摩擦寄与分のトルクと考えれば、表1のように動摩擦係数相当量 μ が求められる。表から砂と泥の間には明らかな相関が認められる。これが直ちに岩相の識別に役立つと見るのは早計であるが検討すべき事項である。

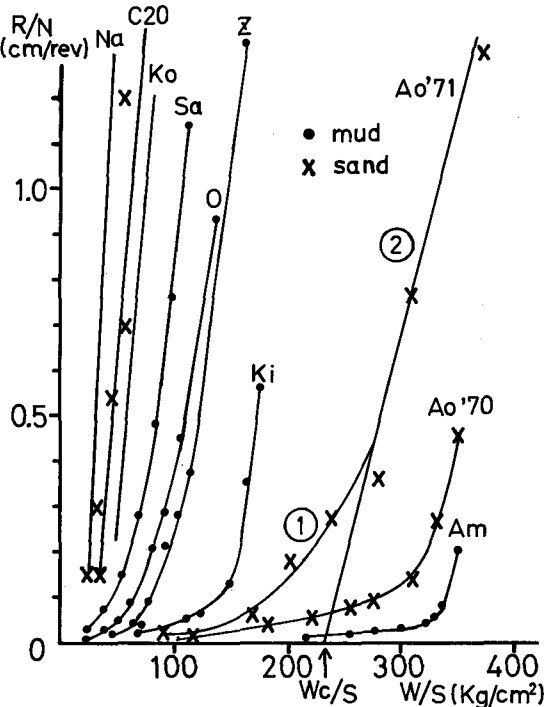


図1 東京湾周辺の試料を中心とした、振動率 $\sim$ ビット圧曲線、 W_c/S はそれぞれの②のX軸切片

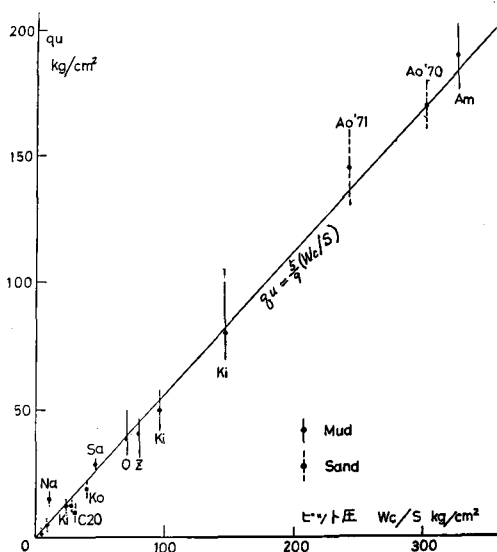


図2 同一軸圧縮強度 q_u と W_c/S の関係 (記号は表1参照)

2. 振動記録による軟弱岩盤の評価

上記の方法を、岩片の性質と岩盤の性質が比較的良好一致する軟質岩盤で試みた。試験地質の地質は、千華泉下の上統層群中の砂泥互層である(写真2)。泥岩は一般に均質で所々に貝殻が散在する。一軸圧縮強度 σ_u は、50~100 kg/cm²の間にばらつく。砂岩はpumice・scoriaや貝片が散在する細~粗粒砂で粘着力が小さい。砂分が多いもので σ_u は数kg/cm²、pumiceが多く粘着性が大いもので10~15 kg/cm²程度である。

試験は、掘進長50m、孔径86mmの孔を直線上1.5mずつはじいて3本割孔し、1号孔はサンプリング孔、2号孔は掘進率曲線(R/N~W/S)を求めるため(トルクは計器の故障で求められなかった)、3号孔は掘進記録による調査の実用試験に用いた。2、3号孔の掘進は写真1の86mmφ プレートビットを使用し、掘進記録は全て自記を録させた⁽²⁾。また割孔後それぞれに孔で各種物理検定を実施した。

2号孔の試験により図4が得られた。これからWc/Sを求め図2と同様の圧縮強度との関係プロットすると、測定数が少ない上数点分の掘進記録に対しコアの圧縮強度は数回の試料で代表させていることによると思われるばらつきはあるものの、かなり良い相関が認められる。また図4に示したように掘進率の測定には3通りの方法が考えられる。岩が硬さに大まなばらつきがある岩盤では、図からわかるように上達のWc/Sによる方法がR/Nを一定にする掘進方法が必要である。前者は測定手順が複雑であり、後者は掘進の操作が必ずしく不可能に近い。そこで、この実験のように硬さのばらつきが σ_u にしてせいぜい10%程度の岩盤に対しては、ビット荷重を一定にしたときのR/Nを求めるのが測定もしやすく賢明である。図5は以上の立場からW/S=110 kg/cm²(一定)で掘進した3号孔の資料を中心に得られた σ_u とR/Nの関係であり良好な相関が見出せる。但しこの関係は指数関数であるから、相対的に岩が固い側のR/Nの精度に難があり、したがって測定に用いるW/Sの選定が難しい。今回の実験でも σ_u の大い泥岩のばらつきが大きく、W/Sを変えて図5の関係式の再検討が必要に思われる。

また今回の実験のように岩種が砂岩・泥岩互層で比較的単純な場合、図5からもわかるように一軸圧縮強度は岩相に関係するから、掘進率から岩相の判断が可能である。この実験でもコア観察や物理検定などの結果と比較

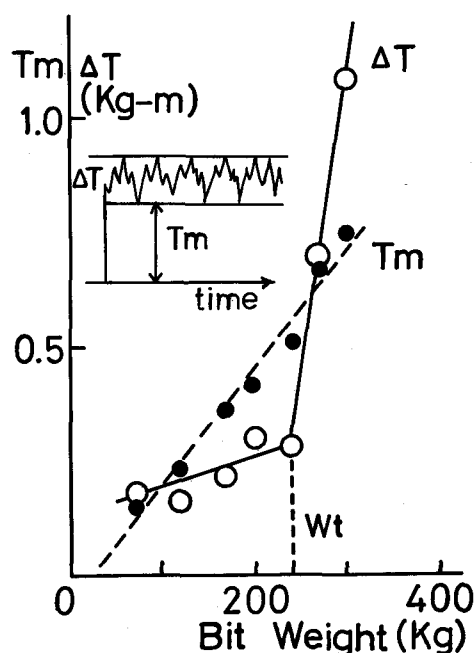


図3 トルク—ビット荷重曲線の例
逗子層泥岩($\sigma_u = 40 \text{ kg/cm}^2$)

Formation, Facies		$\mu = T_m/rW$
C20 River sand (cement 20%) A	$d_{50} \ 0.32\text{mm}, U_c \ 3.0$	0.33
C20 River sand (cement 20%) B		0.32
C20 River sand (cement 20%) C		0.38
O Onahama tuff. sandstone		0.28
Na Nagahama sandstone		0.30
Ao'71 Aoishi tuff. ss.		0.46
Ao'70 Aoishi tuff. ss.		0.40
Sa Sanuki mudstone		0.25
O Ofuna mudstone		0.23
Z Zushi mudstone		0.15
Ki Kiwada mudstone		0.15
Am Amatsu mudstone		0.26
Ho Hota mudstone		0.16

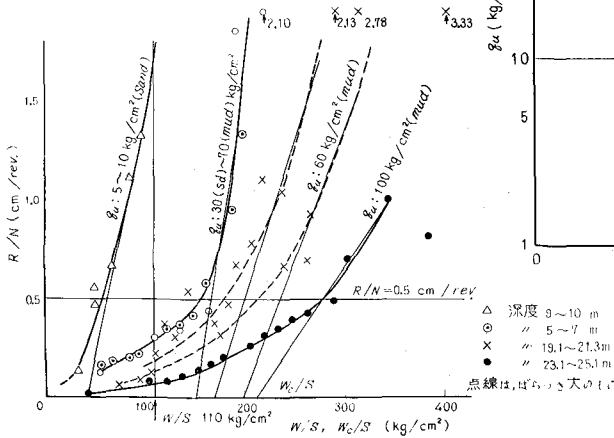
μ : 動摩擦係数, r : ビット(等価)半径, W : ビット荷重
 T_m : トルク下限, ΔT : トルク上限—下限

表1 T_m から求めた砂岩・泥岩の動摩擦係数

すると、マイフロログ(電極間隔数cmの孔壁接触型電気検尺)よりも精度で成層状態を表示し得ることが判明した⁽²⁾。

なお掘進に当っては、強度との相関を良くするため清水掘りが望ましいが、逆にスライムの排出が難しく介介な述べが必要である。しかし硬や割目の多い岩では、これが致命的な難点となるから、このような場合にはコアビットによる測定に切換えるなどの対策が必要で、今後の検討が望まれる。

以上の方法に物理検層を組合せることによって、深度に関して連続かつ迅速に、種々の地質情報が求められる。



↑ 図5 W/S一定のときの一軸圧縮強度 q_u と掘進率の関係(現場試験)

← 図4 掘進率から W/S を求める現場試験

図6に密度検層と組合せた本実験での解析システムを示す。検層値から間隙率・密度などの物理量が、掘進率から強度の代表値 q_u が得られ、図に示す手順で粘着力 C 、弾性係数 E などの力学量が推定される。また岩相も同様に求まる。岩相の推定はトルクの測定にも期待されることは前述の通りである。なお図中の $E \sim q_u$ の式は、この実験試料を得た東京湾周辺地域の軟岩コアに関するものであり、密度検層の $\gamma \sim CPM$ の式は、ボーリングコアでカリブレーションしたものである。

さらに図6の関係式の係数は、掘進条件やビットの形状・寸法などで異なるから、このようなシステムに当っては標準貫入試験にみられるような規格の統一がどうしても必要になる。

引用文献

- 1) Bingham, M.G. (1965) Rock Drillability, Oil and Gas Jour. Technical Manual.
- 2) 小島圭二 (1972) ボーリングの掘進性能による軟岩地盤強度の推定, 土木技術資料 Vol. 14, No. 12.
- 3) 大庭英彦・山田健司 (1971), 永倉文雄 (1972) ボーリングによる軟岩の工学的性質の研究, 東京大学工学部 年論
- 4) Robinson, L.H. (1958) Effect of Pore and Confining pressures on Failure Characteristics of Sedimentary Rocks, AIME Petroleum Transactions Reprint Series 6.

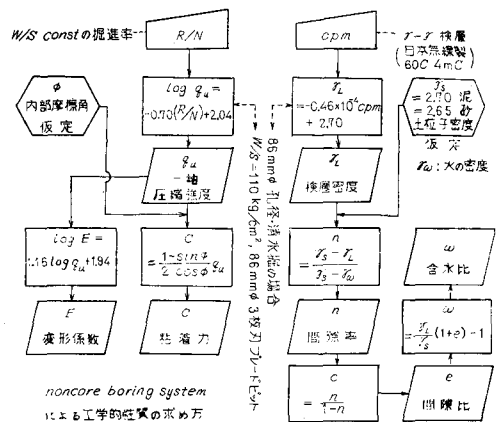


図6 1) コアボーリング情報の解析システム例

RELATION BETWEEN DRILLABILITY AND SOME PROPERTIES OF SOFT ROCK FOUNDATION

KEIJI KOJIMA Mineral Development Eng.
University of Tokyo

Following experiments on drillability were made in order to estimate some properties of soft rock foundation.

1. Some blade bits with three rectangular teeth in section were made for trial to get easily precise geomechanical information.

2. Fundamental laboratory tests were performed. How penetration rate and torque are related to rock properties was made for experiment.

In regard to penetration rate, W_c/S (bit pressure intercept in Fig. 1) was obtained from each 'penetration rate- bit pressure' curve on various sandstones and mudstones with different hardness. The correlation was observed between W_c/S and rock strength.

In regard to torque, ΔT increases rapidly above a certain bit pressure W_t/S when we take note of ΔT , the difference between minimum and maximum values in the continuous record of torque. And W_t/S almost coincides with W_c/S . ΔT is thought to result in drag and T_m in friction. A kind of coefficient of kinetic friction μ was calculated from the value of T_m . Sand and mud can be distinguished clearly by the value of μ . Then the value is expected to be used as an index of rock facies.

3. In situ tests were tried in the soft rock foundation and the value for practical usage was well recognized. Physical logging after drilling survey is also very useful.