

16. ジャンボマシンの作動特性を基にした地山地質構造の可視化

室蘭工業大学：板倉 賢一、
三井建設㈱：*山地 宏志、中野 陽一

1. はじめに

今日、トンネルの支保設計は地山分類に基づいて行なわれることが一般的であり、その支保パターンの妥当性は現場計測結果によって評価されるものとされている。しかしながら、その支保パターンが不適切とされた場合、変位計測を主体とした現場計測結果だけではどのように支保を変更することが妥当であるか判断することが難しく、定量的な評価よりも経験や既往の実績に基づいてその支保量が変更される実情にある。

一方、NATM の主要な支保部材であるロックboltに関しては多くの研究成果があり、いくつかの定量的な支保設計法^{1),2),3)}が提案されているものの、それらが前提とする地山条件が未知であるため、ほとんど実用に供されていない。これらの研究成果を総括するとき、ロックboltの打設長に関して、単純でかつ普遍的な一つの原則を見出すことができる。すなわち、ロックboltはトンネル周辺に発生する緩み域、もしくは存在する弱部を貫いて打設されねばならない、という原則である。

しかし、この原則さえもその緩み域、もしくは弱部を把握することが難しいという現状のために必ずしも達成されている保障ではなく、経験則に依存してその妥当性が類推されているに過ぎない。したがって、リアルタイムで、かつ簡便に緩み域や弱部を同定することができるならば、適切なロックbolt打設長を任意の精度で打設することが可能となるだけでなく、ロックboltの本数や吹付けコンクリート、さらには鋼製支保工の適切な数量を評価できる可能性がある。本報文は、このような考えに基づき、ジャンボ削岩機の機械量から、トンネル周辺の緩み域や弱部を評価することを試みた事例を示すものである。

2. 検層方法と検層区間

検層試験は志津見ダム第1志津見トンネル工事において実施した。検層は、ロックbolt打設の削孔作業中に表-1 に示すジャンボ削岩機の機械量をモニタリングし、その変動と空間的な分布から、掘削による緩み域や地質的弱部を把握し、これらの分布と現状ロックboltの打設間隔、及び打設長を比較し、支保の妥当性を評価する。

表-1 ロックbolt打設量評価のための測定機械量とその緒元

| 測定項目 | センサー | | 測定緒元 | | |
|-------|------|--------|--------------------------|--------|---------------|
| | 計測器名 | 型式 | 容量 | 初期値 | 較正係数 |
| 打撃圧 | 圧力計 | AP-15 | 20 MPa | 1. 013 | 5. 0 MPa/V |
| 回転圧 | | | 20 MPa | 1. 012 | 5. 0 MPa/V |
| フィード圧 | | | 20 MPa | 1. 016 | 5. 0 MPa/V |
| フィード長 | 流量計 | ギアメーター | 0. 08m ³ /min | 0. 000 | 1018. 592mm/V |

当該の削孔には古河機械金属(株)社製ドリルジャンボ HD-150を用い、削孔時にモニターする削孔機械量は表-1に示すように①打撃圧、②回転圧、③フィード圧である。また、地質性状を評価する上で欠かせない、④削孔速度に関してはフィード長の伸び・縮みを測定し、その作動時間との関係から求めることとした。これらのセンサーの系統図を図-1に示す。検層区間はNo. 31+66. 5~71. 5m間の6断面とし、モニターを行うロックボルト孔は天端部を中心とした5本とした。なお、以後では便宜のため、これらに各孔について図-2に示すような呼称を用いることとする。

3. 検層結果と考察

(1) 検層結果と考察

図-3~6に各断面における機械量分布を示す。これらの図は、それぞれ削孔時の打撃圧、回転油圧、及びフィード圧を示し、その単位はbarである。また、図-6は削孔速度の分布を示し、その単位はm/minである。

図-3の打撃圧分布を見ると、今回削孔検層を行ったほぼすべての領域が125~130barの打撃圧で削孔されていることがわかる。今回用いたジャンボドリルHD-150は基本的に打撃圧一定の条件で削孔が行われるが、回転圧が上昇し100barを超えると打撃圧、及びフィード圧は自動的に35barまで低下し、いわゆるザグリ削孔を行うよう制御される。これは、はなはだしい孔荒れや、粘土を噛む亀裂などを想定した制御であり、その意味は地山にロッドを取られないこと、及び強い打撃で岩を破碎するよりも、低圧で孔清掃を行うほうが削孔上効率的そのためである。したがって、今回の検層領域には、ザグリ削孔を行う必要があるほどのはなはだしい孔荒れや粘土を噛む地質弱線等は存在しないものと判断される。また、打撃圧の変動幅はフィード圧の変動に比較的関連しているようであり、とくにフィード圧を低下させる場合には不安定化し変動幅が大きくなるようである。ただし、ほとんどの場合、120~135barの範囲に収まっている。

次に、回転圧分布をみると多くの領域が30~50barの回転圧で削孔されている。回転圧が60bar以上の領域はNo. 31+67. 5mの右側(深度1. 5~4. 0m)、No. 31+68. 5m及び69. 5mの左側(深度1. 5~4. 0m)、No. 31+70. 5mの左側(深度1. 5~4. 0m)と右側(深度0. 5~4. 0m)、及びNo. 31+71. 5mの中央部(深度0. 0~4. 0m)などである。特にNo. 31+67. 5mでは90barにも達している。

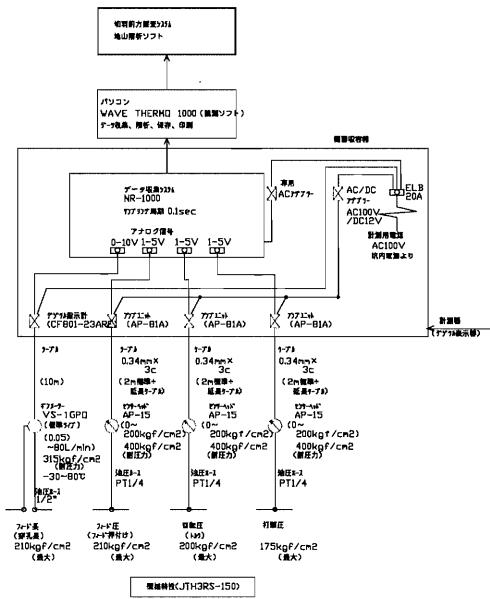


図-1 機械量モニターのための系統図

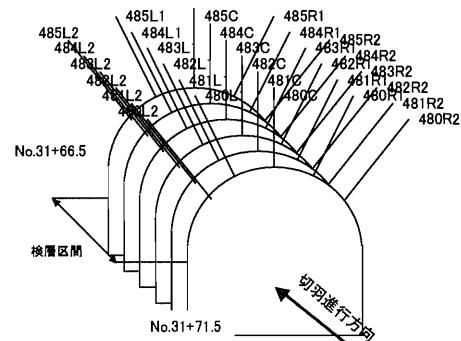


図-2 検層区間と検層孔番号の模式図

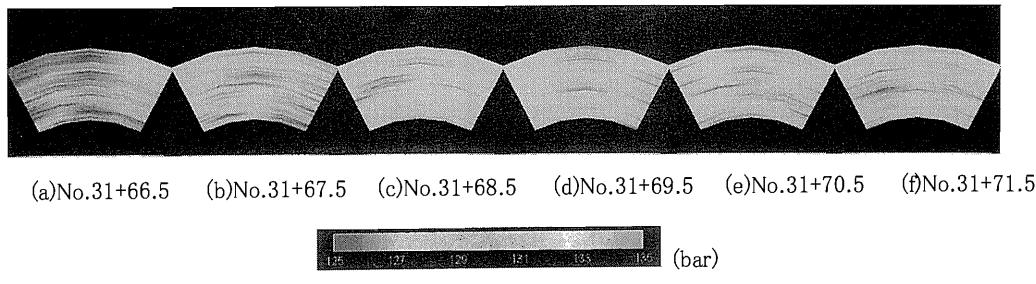


図-3 各測定断面における打撃圧分布

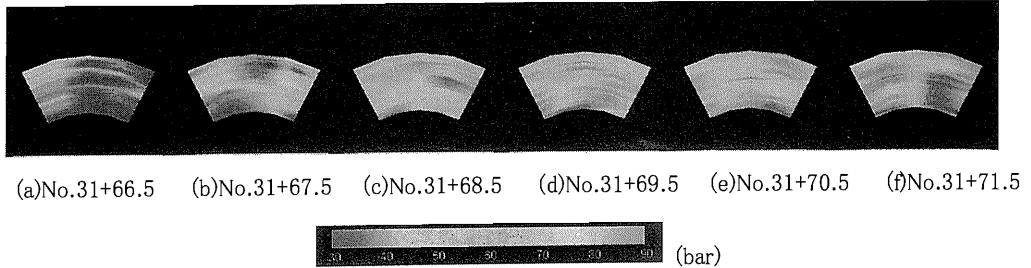


図-4 各測定断面における回転圧分布

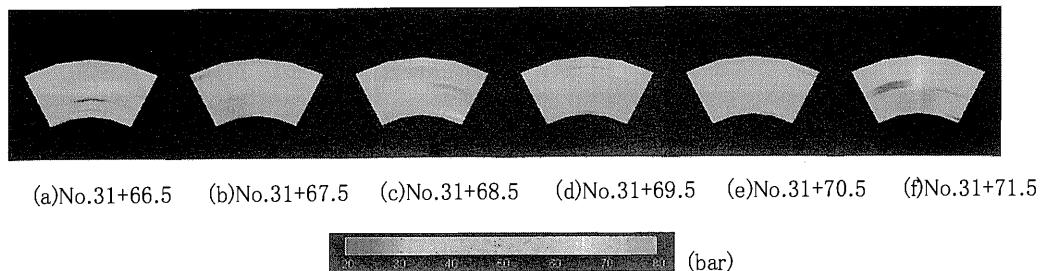


図-5 各測定断面におけるフィード圧分布

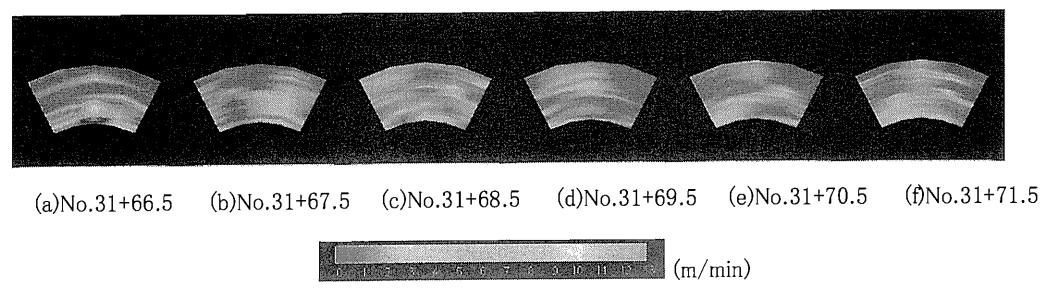


図-6 各測定断面における削孔速度分布

HD-150では、回転圧を制御のパロメータとして用いているため、回転圧の変動は削孔能率、すなわち地山状況が直接的に反映される。回転圧が高くなる理由としては、当該部の岩質自体が硬い場合と、孔荒れや粘土

をはさむ亀裂が存在する場合の二つが考えられる。この二つは地山の評価としては全く正反対であるため、回転圧だけから地山状況を推定することはできず、他の測定値との関係を考慮する必要がある。

先にも述べたように、HD-150では回転圧が100barを超えた場合、ザグリ削孔に移行するため、はなはだしい孔荒れ個所や厚い粘土をはさむ亀裂などが存在する個所は打撃圧から特定することができる。ところが、今回の検層領域ではそのような個所を見出すことができなかった。したがって、今回の測定領域に地質的弱部が存在するとしても、断層や破碎帶のように地質的な構造作用や強い風化を受けた性状ではなく、ある程度の風化し軟弱化した地質性状である可能性が強いことが分かる。

このような地質性状では、回転圧と削孔速度の関係を整理することで、地山性状を把握することが比較的容易ではないかと考えられた。今回の削孔検層時に測定した1本あたりの削孔所要時間は3分30秒～4分30秒程度であった。したがって、当該地山における標準的な削孔速度は0.89～1.15m/min程度である。ところが、図-6の削孔速度分布をみると2m/min以上の削孔速度で削孔された個所が比較的広いことが分かり、はなはだしい個所では10m/min以上にも達している。

図-4の回転圧の分布と対比させてみるとNo. 31+66.5の中央部(深度0.0～1.8m)、No. 31+68.5mの右側(深度2.7～3.0m)、No. 31+70.5mと+71.5mの左側(深度0.0～2.0m)では回転圧が30～40barでしかないのに、3～7m/min以上の削孔速度で削孔が行われている。このような個所は、岩質が柔らかいにもかかわらず、粘土も存在せず、孔荒れもなく削孔が行われたものと判断してよからう。すなわち、非常に脆弱な地質であることが分かる。一方、回転圧が100bar以上でありながら、削孔速度が2m/min以下でしかない領域、たとえばNo. 31+66.5mの左側やNo. 31+70.5mの右側などは、削孔水が白色から透明で、比較的新鮮な岩の存在が目視からも伺われていた。

したがって、問題はNo. 31+67.5mの右側(深度2.0～4.0m)において、当該地山としては比較的高い75～90barの回転圧で削孔が行われている領域である。当該部の削孔速度は2.5～3.5m/minと平均的な削孔速度に比べると、やや大きめではあるが、今回の削孔検層区内では決して大きな削孔速度とはいえず、何らかの地質的な要因によって回転圧が上昇したと考えるべきであろう。

HD-150の回転圧はロッドの回転速度にだけ比例し、回転トルクは一定の条件で削孔が行われる。したがって、回転圧が上昇するものの削孔速度がさほど大きくなない領域は、繰り粉等の排出が滑らかでないとか、孔荒れがはなはだしいなどの理由で、同一個所でビットが空回りを続けるものと考えることができる。したがって、当該区間は比較的孔荒れした地質であるか、もしくは粘土をはさむであろうことが推測できる。以上を総合すると、2.5m/minもしくは3.0m/min以上の削孔速度で削孔されている領域は地質的な脆弱部であるものと推測できる。

最後に、フィード圧分布の図-5をみると、ほとんどの領域が40～60barのフィード圧で削孔されていることが分かる。フィード圧は今回の削孔検層で唯一作業員が調整することのできる機械量であり、作業員がどのように地山を評価して削孔したかを示すパロメータである。このフィード圧分布と図-6の削孔速度分布を比較すると、削孔速度のきわめて早い領域(概ね7m/min以上)において、フィード圧が20～30bar程度まで下げられていることが分かり、この領域は目視によるのみ下がりもかなり早かったであろうことが伺われる。

(2) 地質構造推定とロックボルト支保量の評価

前述のように、今回の調査区間では脆弱部を削孔速度によって評価することが可能と思われ、そのシキイ値は2.5m/min、もしくは3.0m/minであろうと推測される。図-7は脆弱部を強調するために3.0m/min以上の領

域を、黄～赤色で塗り分けた削孔速度分布である。この図を見ると当該地山の脆弱部が二つの区分に分けられることが分かる。一つはトンネル掘削によって発生したであろうと考えられる緩み領域であり、No. 31+66. 5m の中央部、No. 31+70. 5m の左側などがこれにあたる。また、No. 31+67. 5～69. 5m の天端壁面近傍をみても、数10cm幅で削孔速度の速い領域が存在しており、この領域は掘削によって発生した緩みと考えることが自然であろう。もう一つは、地山内部の潜在的な弱層である。No. 31+69. 5m と 71. 5m を除いて、右側深度2. 0～2. 5m には至って削孔速度の大きな領域が存在しており、これらは連続するものと考えられる。

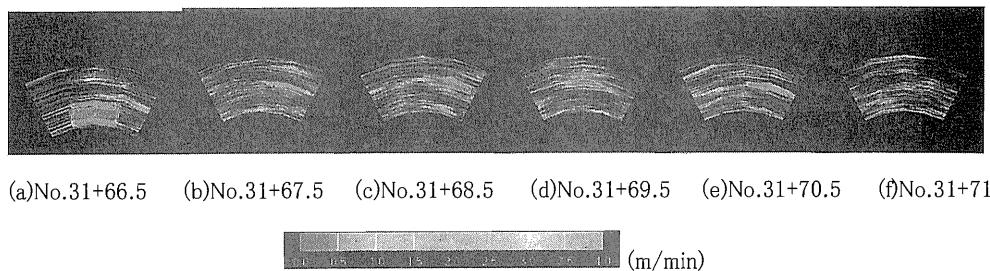
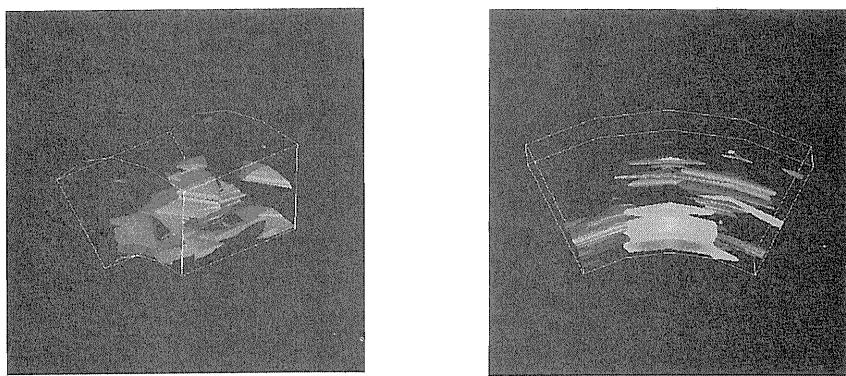


図-7 各測定断面における削孔速度分布

図-8はこれを3次元的に把握するために、削孔速度が3. 0m以上の領域の空間分布を示したものである。これらの図からトンネル壁面近傍に、削孔速度の大きな領域が集中し、地山内で削孔速度の大きな領域はトンネル縦断方向に連続性があることが理解できる。



(a)坑口側右上方よりの俯瞰図

(b)坑口側正面上方より俯瞰

図-8 削孔速度 3m/min 以上の領域の空間分布

さらに、図-9はトンネル壁面から一定距離の平面内における削孔速度分布を示すものである。図でみるとように削孔速度が2. 5～3. 0m/min以上の領域(水色よりも赤色側の色)がトンネル平面縦断内を斜めに横切ることが分かり、これまで論じてきた地山内の潜在的な弱層が3次元的にも連続したものであることが分かる。

以上の地質的弱部の分布をみると、No. 31 + 67. 5mの右側を除いて、トンネル壁面から3mの範囲内までに弱部が集中していることが分かる。したがって、4m程度のロックボルト打設長があれば、弱部を健全な岩盤に定着し得るものと判断される。また、現状のボルトピッチでトンネル弱部をほぼ全面的に貫いているようであり、妥当であると判断される。以上から、現状のロックボルト長、並びに打設間隔は適切なものであると判断される。

4. おわりに

今回の検層結果評価では、主として削孔速度に着目して地山評価を行った。これは、その他の機械量との相関も良く、また最も直接的に地山の状態を評価し得る機械量と判断されたためである。今後、数理的な手法を導入し、削孔速度の力学的な意味を明確化することを目指すとともに、より直接的な緩み評価（たとえば真空透気試験など）との比較を行い、その精度に関しても評価を行ってゆく方針である。

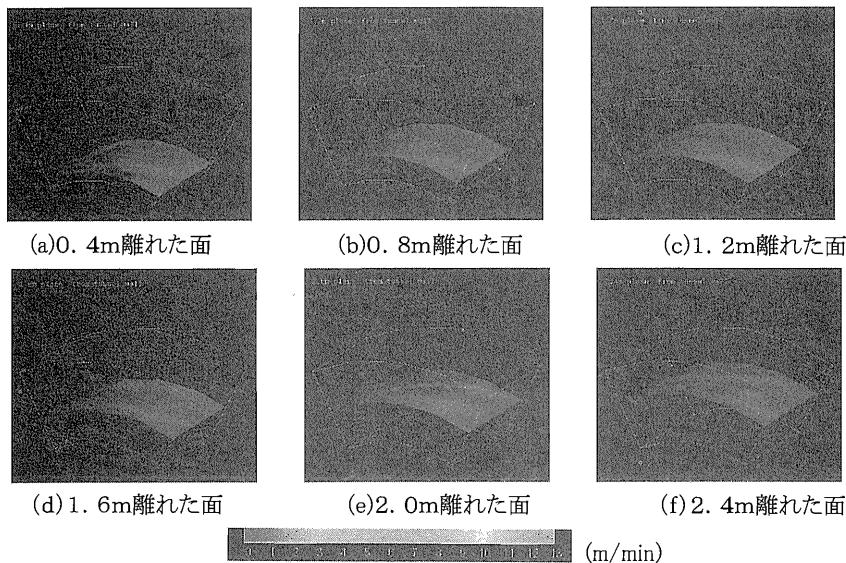


図-9 トンネル壁面から一定距離面内における削孔速度分布

最後に、本研究は(財)先端建設技術センターの平成12年度研究開発助成を受けて実施した成果の一部を取りまとめたものです。また、当該検層を実施するにあたりご指導いただきました建設省中国地方建設局斐伊川・神戸川総合開発工事事務所の皆様に深甚のお礼を述べ本小文の結びとさせていただきます。

参考文献

- 1) 山地宏志、桜井春輔、平井正雄、中田雅夫：現場計測に基づくロックボルト作用効果の評価、土木学会論文集、No.529/III-33No,pp.1-9,1995
- 2) Littlejohn, G.S. and D.A. Bruce: Rock Anchors - Design and Quality Control, Proc. 16th U.S. Symp. Rock Mechs., pp.77-88,1977
- 3) Farmer, I.W. : Stress distribution along a Resin Grouted Anchor, Int. J. Rock Mech. and Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol.12, pp.347-351,1975