

R. T. M. に関する岩石・岩ばんの調査法

日本国有鉄道 鉄道技術研究所

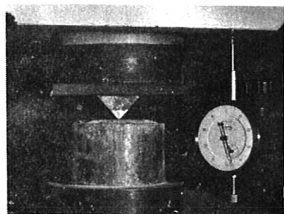
○三澤清扶, 櫻井 孝, 高橋昭敬

1. まえがき

R.T.M.(ロック・トンネリング・マシン)使用の適否あるいはR.T.M.による掘さく速度, カッター寿命などの推定に際し, 従来は單に掘さくしようとする岩石の圧縮強度が主として推定の尺度として用いられてきた。しかしながら, R.T.M.による掘さく実績もかなり得られるようになり, 圧縮強度からの推定値と実績値とは合致しないことが多く, 圧縮強度のみで推定することは不適であることが認識されだした。今回, ボーリング・コアーを用いて比較的簡單に行なえる新しい試験法を案出し, これによる測定値とR.T.M.による掘さく実績とを対比させ, R.T.M.適用の可否, 掘さく速度, カッター寿命などを推定するための試験を行なった。その結果, これらの測定値とR.T.M.掘さく実績値との相関性の集積により, 将来は比較的正確な推定値が得られることが判明した。

2. 新試験法

① 貫入試験: R.T.M.で掘さくする場合, カッター1個当りの押付力と貫入量との関係を求めておけば, 実際の掘さくに当っての必要推力ならびに掘さく速度の推定が可能となる。この目的にそつて, 写-1に示す貫入刃型を用いボーリング・コアーに押し込み, このときの押付け荷重と貫入量との関係を測定する。



写-1 貫入試験装置

② 摩耗試験: カッターの摩耗量は岩石中の石英分の多少による影響が最も大きく, 單に圧縮強度より推定することは誤まりやすい性質をもっている。このため, 金切りのこ刃によりボーリング・コアーを切削し, 切削面積, 金切のこ刃の重量減よりカッター寿命を推定する。

③ 切削試験: 実物カッターを縮小させた平刃ビット, デスク, ギャー・カッターにマボーリング・コアーを立型せん盤を用いて切削し, このときの押付力, 回転力, ねじり力を測定する。

④ 石英含有率: ボーリング・コアーより顕微鏡薄片を作製し, ポイント・カウンティング法により岩石中の石英の含有率を求める。

⑤ 亀裂度: R.T.M.により掘さくする場合, その岩ばんに存在するクラックの多少により掘さく速度, カッター寿命は非常に影響を受け, クラックの有無は重要なファクターとなっている。このため, 次式で示す亀裂度の大小をもつてクラックの多少を判断する資料とした。

$$(\text{岩ばん中の弾性波速度} / \text{ボーリング・コアーの弾性波速度})^2 = \text{亀裂度}$$

表-1 供試岩石の性質

⑥ ボーリング試験: トンネルの掘さくに際してはボーリングを行なうのが一般的常識となっている。このボーリング施工時に回転数, 推力は一定として

項 目	弾性波速度 (km/sec)			諸 強 度 (kg/cm ²)			亀裂度	岩ばん強度	ショアー硬度
	岩ばん	試料(P)	試料(S)	圧 縮	引 張	せん断			
砂 岩・B	4.6	5.53	2.72	2080	165	336	0.70	1460	95.5 (81~108)
砂 岩・K	4.6	5.33	2.58	1910	180	346	0.75	1430	92.0 (79~110)
頁 岩・S	4.8	5.02	2.53	1270	89	189	0.92	1210	72.4 (58~86)
凝灰岩・ST	4.2	4.25	2.21	1320	81	181	0.96	1270	59.9 (35~89)

ボーリングも行ない、穿孔速度、回転トルクを測定する。

3. 試験結果ならびに考察

今回の試験に使用した供試岩石の諸性質は表-1に示すとおりである。また、試料採取地奥におけるR.T.M.による掘さく実績を表-2に示した。また参考のために他のトンネルにおけるものも示した。

3-1 貫入試験

貫入試験による荷重と貫入量との関係の一例を図-1に示す。

R.T.M.1回転当りのカッター貫入量を2.5 mm、カッター・ヘッド回転数を6 rpmとし、90 cm/hの掘さく速度を得ようとする場合は図-1より●型の場合7 t、▼型の場合9.3 tの押付力が各カッターに加わるような推力でR.T.M.を切羽面に押し付けなければならないことが判る。また、各カッターに10 tの押付力が加わるような推力で掘さくした場合に、カッター・ヘッド回転数を6 rpmとし、1時間当りの正味掘さく長を求めれば図-1より●型で1.6 m/h、▼型で1.1 m/hの掘さく速度が得られるものと推定される。

表-2 R.T.M.による掘さく実績

岩石名	項目	正味力 (t)	正味掘さく速度 (m/h)	カッター 1ヶ当り推力 (t)	1回転当り 切削深さ (cm)	供試体 圧縮強度 (kg/cm ²)	亀裂度 (mm/cm)	岩石 強度 (kg/cm ²)	機種
ATンネル 砂岩・B		260	0.85	8.4	0.28	2080	0.70	1460	小松TM430F
" 砂岩・K		340	0.87	10.9	0.29	1910	0.75	1430	"
" 頁岩・S		240	1.28	7.7	0.42	1298	0.92	1210	"
STンネル 凝灰岩・ST		300	1.00	9.4	0.28	1320	0.96	1270	三菱RT-45
Tンネル 凝灰岩・TL		90	2.50	2.6	1.00	750	0.46	360	小松TM450F
" 頁岩・Sh		70	2.10	2.1	0.84	1200	0.39	960	"
Kンネル 泥岩・M		20	2.80	1.3	0.51	130	0.76	100	TM230F
DTンネル 砂岩・SS		90	1.80	2.5	0.72	1400	0.61	840	TM480F

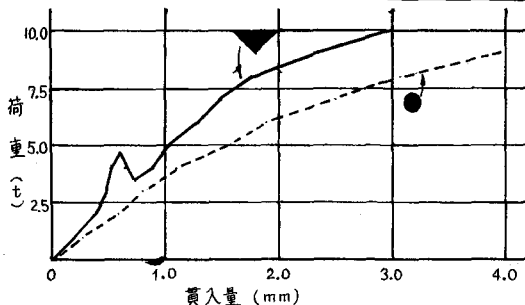


図-1 貫入試験 (砂岩-B)

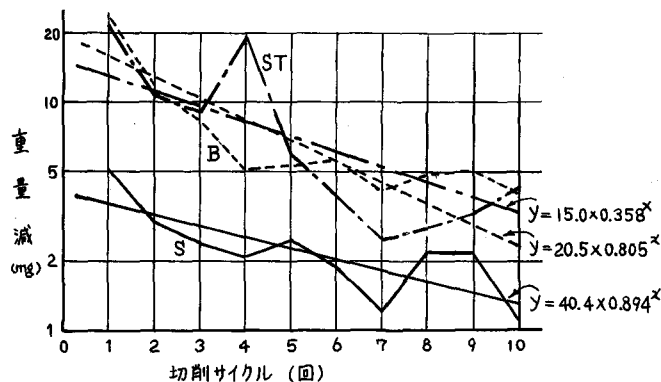


図-2 摩耗試験 (切削サイクル ↔ 重量減)

3-2 摩耗試験

摩耗試験における切削サイクル別の金切のこ刃重量減との関係は図-2に示すとおりである。また、図-3の実線で示したものは圧縮強度と摩耗試験における初回1サイクル分の切削面積、のこ刃重量減との関係を示したものであるが、これよりカッター・摩耗量を圧縮強度より推定することは不適当な方法と考えられる。

3-3 切削試験

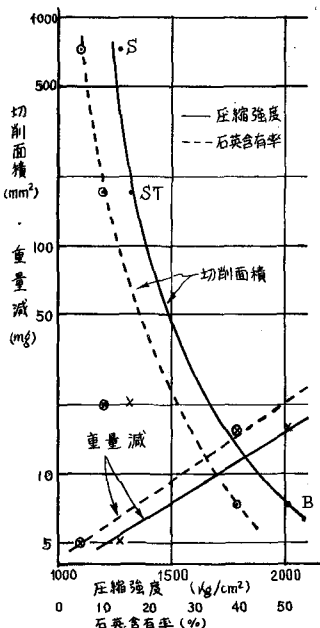


図-3 摩耗試験

デスク、ギヤー・カッターならびに平刃ビットによる回転切削時の押付力、回転力、ネグリ力との関係は図-4に示すとおりである。同図よりカッターの形状により切削機構が異なるため、切削タイプと圧壊タイプの二つのグループに分けられ、圧壊タイプに属するデスク、ギヤー・カッターの場合は押付力が大きい割合には回転力は小さく、切削タイプのものでは押付力にはほぼ等しい回転力が必要なが判る。

図-5 切削試験の押付力と圧縮強度

図-5

図-5は圧縮強度と切削試験において切り込み深さ2.0mmを得るに必要な押付力との関係を示したものであるが、クラックのない供試体に対する圧縮強度との間には、ほぼ比例関係が認められる。

3-4 ボーリング試験

推力：400kg、回転数：300rpm、直径：33mmのダイヤモンド・コー・ビットを使用して、穿孔した場合の穿孔速度と回転トルクとの関係は図-6に示すとおりであり、穿孔速度が大きいものほど貫入量が大きいため回転トルクは大きくなっている。しかし、岩石の場合各粒子間の結合力の大小によっても回転トルクは変化するものと考えられるが、結合力の大小は不明である。

図-7は圧縮強度と穿孔速度との関係ならびに貫入試験の▼型により貫入深さ2.0mmを得るに必要な荷重との関係を示したものであるが、両者とも比較的にきれいな比例関係が認められる。

3-5 石英含有率

先の図-3に石英含有率と摩耗試験における切削面積、のこ刃重量減との関係を示した。測定数も少なく、かつ、凝灰岩は粒子径のばらつきが大きく不均質であったので、異状な数値が出たためと考えられるが、傾向としては石英含有率が多くなるに従い、カッター摩耗量は大きくなるものと推定される。

3-6 亀裂度

亀裂度の値は先の表-1・2に示すとおりで、同表中に示した岩盤強度とは供試体より得られた圧縮強度に亀裂度を乗じて求めた推定岩ばん強度である。

図-8はR.T.M.による正味1時間当りの掘さく速度と供試体による圧縮強度ならびに亀裂度を加味

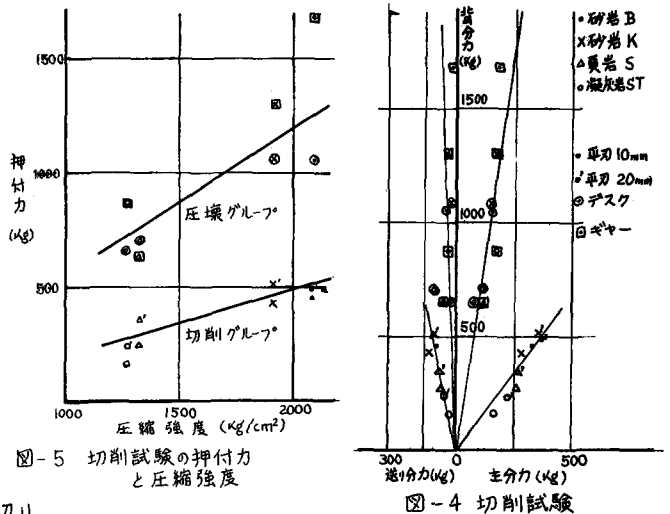


図-4 切削試験

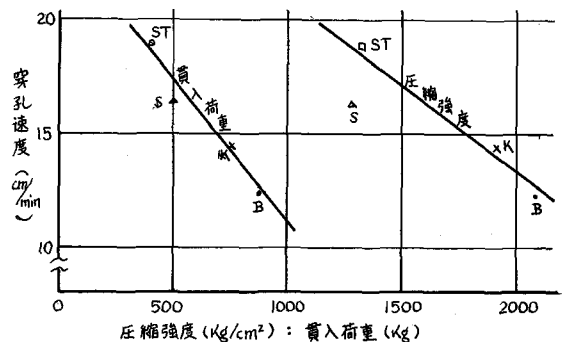


図-7 ボーリング試験

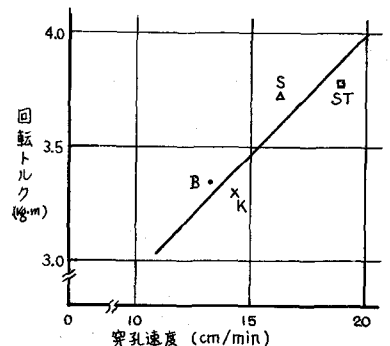


図-6 ボーリング試験

した推定岩ばん強度との関係を示したものであるが、圧縮強度とはばらつきが大きく比例関係は認められないが、岩ばん強度との間には比較的小さい相関性が認められる。これより、R.T.M.の切削性の難易のみから考えた適用範囲の上限は岩ばん強度が $1,300 \text{ Kg/cm}^2$ 程度と判断してよいものと考えられる。

3-7 貫入試験値と実績との関係

図-9は実績によるカッター1回転当りの切削深さと同一貫入量を得るに必要な貫入試験における▼型による荷重との関係を示した。同図において凝灰岩STの値だけが、かけはなれた値を示しているが、これだけがカッター型式が異なり一つのカッター・ドラムに多数の切削刃が設けられており、同時に2個以上の切削刃が岩石に接しているためと考えられる。以上より、貫入試験により得られる値はR.T.M.使用に際しての掘さく速度ならびに必要な推力の算定にあたり、有効な数値を提供する試験法と考えられる。

3-8 摩耗試験値と実績との関係

試料採取地奥におけるカッター寿命(カッター交換までに突動した軌跡総延長)が不明のため、摩耗試験における金切のこの刃の重量減の値よりカッター寿命との関連性を求めることはできず、単に凝灰岩STのように圧縮強度は小さくても摩耗量は大きくなる岩石もあることより、カッター寿命は圧縮強度のみでは推定不可能なことだけは判明した。しかしながら、他にカッター寿命を推定する適当な方法がない現状においては、とりあえずこの方法を採用し、実際の掘さくにとって岩種の変化したとき、あるいは50~100mごとに摩耗試験を行ない、その場所におけるカッター寿命との関係を数多く求めておけば、将来は摩耗試験の値よりカッター寿命を比較的正確に推定することが可能となるものと考えられる。

3-9 ボーリング試験値と実績との関係

図-10は穿孔速度と実績による掘さく速度、掘さく量との関係を示したが、これよりビット型式を統一し、一定推力、回転数でボーリングを行ない、そのときの穿孔速度を求めておけば、この値よりR.T.M.による掘さく速度の推定も可能となる。

4. まとめ この機会に学会、協会などで、このような試験法に対し統一規格を作成し、R.T.M.に関する事前調査、実績データの採り方などを規制し、多分野でのデータの集積が行なわれれば、より一層正確な推定値が短時間のうちに得られるようになるものと考えられる。

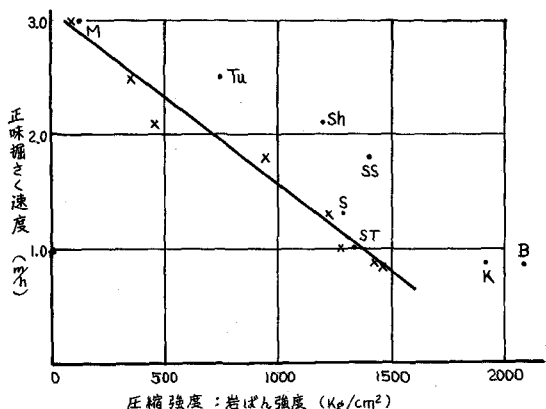


図-8 亀裂度による比較

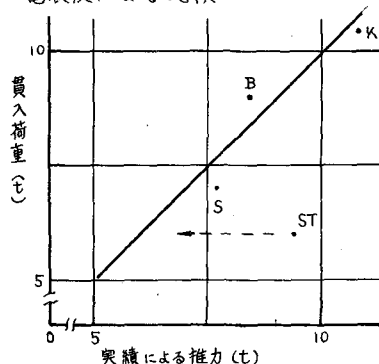


図-9 必要推力の比較

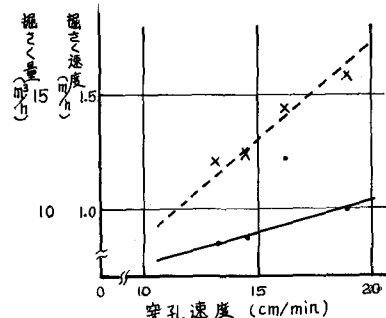


図-10 穿孔試験と実績

Method of Test and Survey for Estimating the Machineability
of Rocks for Rock Tunnelling Machine

Seisuke Misawa, Takashi Sakurai

and Akinori Takahashi

J.N.R. Railway Technical Research Institute.

For the purpose of determining the machineability of rocks for R.T.M., i.e. the fit for use of R.T.M. or the proceeding rate and cutter life of R.T.M., the unconfined compressive strength of rock exclusively has been the measurement so far, but we have now already not a few experiences about excavation using R.T.M. and it has become clear that there is no close relationship between the estimated machineability by the unconfined compressive strength and that actually experienced.

Several new simple quick tests of boring core were carried out to get the information on machineability before construction and the measured values in the tests were compared with the experienced machineability which was determined from the results of excavation by R.T.M.

Results of the tests suggests several correlations to exist between them and in future we will be able to estimate easily the machineability of rocks for R.T.M. by means of relatively simple tests in the following.

New rock-test methods

1. Penetration test ; pressing a cutter imitated the cutter of R.T.M. to a boring core to get the relation between the load and penetration depth.
2. Abrasion test ; a boring core is cut by a hacksaw machine to get the data on the cutting area of the specimen and blade weight loss.
3. Cutting test ; a boring core is cut by similar cutters as that used in R.T.M. to get the thrust and torque necessary.
4. Boring test ; boring is executed under a constant thrust and rotation rate to get the boring speed and torque.
5. Measurement of quartz content ; quartz content of rocks is determined by point counting method under microscope.
6. Measurement of coefficient of fissuring ; $(\text{seismic velocity in rock in situ} / \text{seismic velocity in core sample})^2 = \text{coefficient of fissuring of rock in situ}.$

Conclusions

Good correlation between the experienced machineability and measured values by the simple tests, especially that by penetration test, abrasion test and measurement of fissuring, is found. We will be able to estimate with reasonable accuracy the proceeding rate and cutter life of R.T.M., or the fit of use of R.T.M., by these tests, which will be indispensable before decision on employment of R.T.M.

In this investigation the number of samples was so small that the authors feel to increase the number in order to increase the reliability of test results which then will be more useful for estimation of the machineability of rocks for R.T.M.