

実規模のディスクカッターを用いた岩石破砕に関する実験的研究

Experimental Study on Rock Breaking by Use of Actual Size Disc Cutter

高橋 弘^{*}・山中 勇人^{**}・金子 勝比古^{***}・菅原 勝彦^{****}

Hiroshi TAKAHASHI, Hayato YAMANAKA, Katsuhiko KANEKO and Katsuhiko SUGAWARA

^{*}正会員 工博 東北大学大学院助教授 工学研究科地球工学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 01)^{**}東北大学大学院工学研究科地球工学専攻博士前期課程 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 01)^{***}正会員 工博 北海道大学大学院教授 工学研究科環境資源工学専攻 (〒860-8555 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)^{****}工博 熊本大学教授 工学部環境システム工学科 (〒060-8628 熊本市黒髪 2-39-1)

TBM(Tunnel Boring Machine) is an useful machine to construct the tunnel. In the excavation by TBM, the rock is broken by the disc cutter installed on the cutting face of TBM. Recently, the round tip disc cutter has been widely used. This paper describes the rock breaking by use of actual size disc cutter. It was confirmed through this experiment that hard rocks can be broken by the round tip disc cutter. Furthermore, the internal of the rock sample was measured by X-ray CT equipment. It was observed that the fracture was generated horizontally from the dip made by the rolling of disc cutter. If the fracture is connected with the fracture generated from the neighbor dip, the chipping is excepted. If the chipping is occurred by this mechanism, flat fragments of several millimeters thick are excepted to obtain. In this experiment, the same shape fragments were actually obtained.

Key Words: disc cutter, rock breaking, fracture, X-ray CT equipment

1. はじめに

TBM(Tunnel Boring Machine)によるトンネル掘削では、掘進速度および経済性の観点から機械掘削が効率よく行える岩盤強度の範囲は、1 軸圧縮強度で約 10~100MPa 程度以下であると言われている¹⁾。しかし、実際には、地質構造の不均質性等の理由から 100MPa 以上の強度の岩盤を掘削する必要性が生じてきている。例えば、舞子トンネルの建設では 200MPa 以上の強度の岩盤を TBM により掘削しており、ある区間では岩盤強度が 300MPa にも達している²⁾。それゆえ、これからの TBM には軟岩から超硬岩まで幅広い岩盤強度に対して、効率よく掘削できる性能が要求されると考えられる。

ところで、TBM の性能はカッター面盤に取り付けられたディスクカッターの掘削性能に依存するところが大きい。そのためディスクカッターを用いた岩石破砕に関する研究はかなり行われている^{3)~8)}。しかし、これらは直径 100mm 程度の小さなディスクカッターを用いた実験研究がほとんどであり、実規模のディスクカッターを用いた研究例はほとんど見受けられない。

また従来の TBM では、カッターの先端が尖ったくさび型のディスクカッターが多く用いられてきたことから、くさび型のディスクカッターを用いた研究が多く見られる。しかし、このタイプのディスクカッターは先端が摩耗しやすく、摩耗による性能劣化が著しいた

め、ディスクカッターの交換回数が問題になっている。例えば舞子トンネルでは 600m の導坑掘削中に 16 回ものカッターの交換が行われたことが報告されている²⁾。ところが、Li ら⁹⁾によれば、トンネルの機械掘削において、カッターの交換に要するコストは、トンネルの全建設コストのほぼ半分にも達すると言われており、カッター交換の回数削減は、建設コストの大幅な削減につながる。このことから、摩耗に強いディスクカッターの開発が非常に重要視されているのが現状である。

以上のような背景から、近年では摩耗による性能劣化の影響が少ないディスクカッターとして、先端を予め丸く加工した円弧状のカッターが多く用いられるようになってきている。つまり、尖った刃先で岩盤を切削するという概念よりも、むしろ丸みを帯びた刃先を岩盤に押し付け、岩盤を圧砕するという考えである。しかしながら、このようなカッターで 200MPa を超えるような強度の岩盤を効率よく掘削できるかどうかは十分には明らかにされていない。

一方、岩盤周辺に内在するき裂は掘進速度に大きな影響を与えることが既に報告されているが²⁾、これは換言すると、ディスクカッターの形状あるいは配置などにより、岩盤に先行き裂を効率よく生成することができれば、効率のよい掘削が可能になることを示唆するものである。しかしながら、カッターの回転により岩石内部にどのようなき裂が生成されるかは、明らか

ではない。

それゆえ、本研究では実規模の円弧状ディスクカッターを用いて軟岩および硬岩を掘削し、掘削の抵抗力および比エネルギーなどのデータを収集するとともに、X線CT装置を用いて掘削後の岩盤内部のき裂状況を観察することにより、円弧状ディスクカッターによる岩石破碎、特に硬岩破碎のメカニズムの解明に資する基礎的知見を得ることを目的とする。

2. 実験装置および岩石試料

2.1 実験装置

実際のTBMでは、ディスクカッターは円周軌道上を転動する。本実験では、実規模のディスクカッターを用いて、なるべく実機に近い状態を模擬して実験を行い、データを収集することが目的の1つであるが、円周軌道切削を実現しようとすると、数mmの曲率でディスクカッターあるいは岩石を移動させなければならず、実験が極めて困難になる。そこで、本実験では、直線軌道切削に限定した。

実験に使用した装置全体の概略図を図-1に示した。大きさは装置本体が縦2.3m×横2.3m×高さ3mであり、油圧ユニットは縦4.5m×横0.5m×高さ1.5mである。図に示すように本実験装置は、岩石試料を固定し、ディスクカッターを岩石に押し付けながら、転動用油圧シリンダーによりディスクカッターを転動させるようになっている。

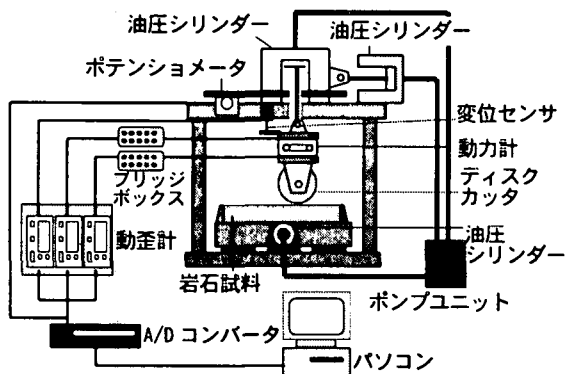


図-1 実験装置の概略

本実験装置には3つの油圧シリンダーが用いられている。1つはディスクカッターを岩石に押し付けるためのシリンダー(ストローク0.25m)であり、最大で400kNのスラストを発生することが可能である。ディスクカッターの転動にはストロークの長い転動用油圧シリンダー(165kN, ストローク1.1m)を用いた。実機において、たとえカッター面盤の回転数が小さくても、面盤の外周部に設置されたディスクカッターは、中心部のディスクカッターに比べて相当早い速度で転動して

いる。そこで、なるべく実機の状態を模擬できるように、最大0.25m/secの転動速度が可能になるように設計した。もう1つの油圧シリンダー(65kN, ストローク0.5m)は装置内のテーブルに固定された岩石試料を移動させ、掘削位置の調整に用いられる。切削位置が決められた後、テーブルは固定されるので、この油圧シリンダーは切削実験には直接には用いられていない。

押し付け用油圧シリンダーにはポテンショメータおよび変位計が設置されており、ディスクカッターの転動方向の位置および押しつけ方向の位置、すなわちディスクカッターの貫入深さを計測することができるようになっている。

ディスクカッターに作用する力の計測には、今回の実験用に製作した動力計を用いた。その詳細を図-2に示す。動力計には図に示すような位置に歪みゲージを張り付け、ディスクカッターに作用するスラストおよび転動力を計測することができるようにした。実験に先立ち、図-1に示されるディスクカッターと岩石試料を取り除き、岩石試料の代わりに鉄板を敷き、ディスクカッターの代わりにロードセルを設置し、油圧シリンダーで動力計とロードセルを鉄板に押し付け、ロードセルからスラストを、また歪みゲージから出力信号を計測して、両者の校正曲線を求めた。実験では、歪みゲージからの信号を計測し、予め求められた校正曲線からスラストを計測した。転動力に関しても同様の予備実験を行い、校正曲線を求め、実験ではこの校正曲線を用いて転動力を計測した。

なお、ポテンショメータ、変位計および動力計からの信号は、動歪計およびA/Dコンバータを介して、パーソナルコンピュータに取り込み、ハードディスクに記録した。サンプリング周波数は100Hzである。

ディスクカッターは、実機で用いられているものを使用した。その形状を図-3に示す。直径は360mmであり、刃先は半径8mmの円弧状のものである。本ディスクカッターは北海道日高トンネルの掘削に使用されたTBMに設置されていたディスクカッターと同じものであり、また舞子トンネルの掘削に使用されたTBMに設置されていたディスクカッターの径394mmとも比較的近い値となっている。

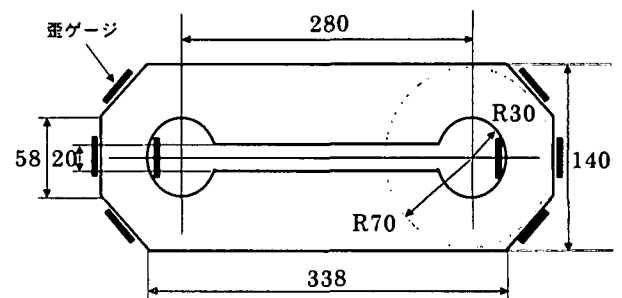


図-2 動力計の概略

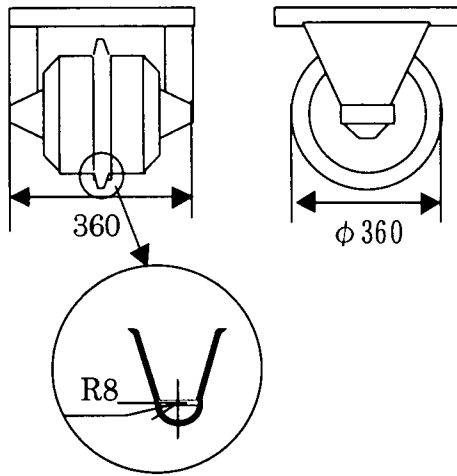


図-3 ディスクカッターの詳細

2.2 岩石試料

本実験には、硬岩として飯館花崗岩を、また軟岩として白河溶結凝灰岩を使用した。岩石試料の寸法は幅0.8m×1.2m×0.2mである。使用した各岩石試料の物性値を表-1に示した。ただし、これらの値は一軸圧縮試験より求めたものである。なお、地山による側圧を模擬するために、厚さ15mmの鉄板で岩石試料の4つの側面を覆い、この鉄板を多数のボルトで締めつけ、側圧なしの状態が岩石が容易に割れてしまうことを避ける工夫が施されている。

表-1 岩石試料の物性値

岩 種	密度 [kg/m ³]	一軸圧縮強度 σ_c [MPa]	ポアソン比 [-]
飯館花崗岩	2634	259.9	0.239
白河溶結凝灰岩	1998	46.8	0.229

2.3 実験方法

本実験では、切削軌道間隔、回転速度、岩種の3つのパラメータを変化させ、5つの異なる条件で、切削距離0.8mの直線軌道切削実験を行った。各実験ごとのパラメータを表-2に示す。切削軌道間隔とは、図-4に示すように、1回の直線軌道切削を終了した後、その溝と次の直線軌道切削を行う溝との間隔を示し、切削速度とは、ディスクカッターが回転しながら水平方向に移動する際の水平方向の速度を示す。

切削軌道間隔が狭い場合、1本の切削軌道から発生するき裂とその隣の切削軌道から発生するき裂が連結し、いわゆるチッピングを生じて岩石片が剥離されるが、切削軌道間隔を0.2mに設定して行った実験(Run5)においては、切削軌道がお互いに十分に離れているため、き裂の連結はほとんど見られないと考えられる。本実験では、切削軌道間隔が狭く、チッピングが生じる状態を「隣接破壊」と定義し、また切削軌道間隔が

十分に大きく、チッピングが生じ難い状態を「非隣接破壊」と定義した。切削軌道間隔は、0.04、0.05、0.065および0.08mの4段階に変化させ、また回転速度は0.125m/secおよび0.25m/secの2段階とした。

表-2 各実験の条件

Run No.	岩 種	切 削 速 度 V[m/s]	切削軌道 間隔 S [m]	備 考
1	花崗岩	0.25	0.065	実機における一般的な軌道間隔
2			0.04, 0.05, 0.065, 0.08	軌道間隔の影響
3		0.125	0.04, 0.05, 0.065, 0.08	切削速度の影響
4	凝灰岩	0.25	0.065	岩種の違いの影響
5	花崗岩		0.2	非隣接破壊

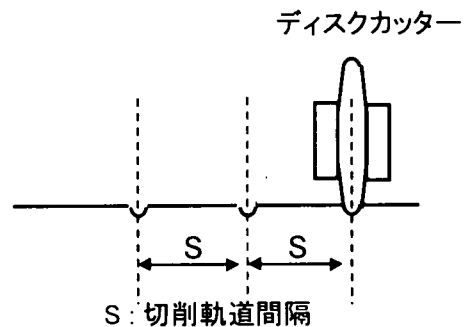


図-4 切削軌道間隔の定義

実験では、まず油圧シリンダーの最大スラストを調整後、ディスクカッターが静止するまで荷重をかけ続け、ディスクカッターを実験試料に貫入させる。その後、押し付け荷重をかけた状態で、ディスクカッターを回転させる。その際、各回転距離におけるスラスト、回転力および貫入量を計測する。次に所定の切削軌道間隔だけ岩石試料を移動させ、同様の実験を繰り返す。なお、1切削終了ごとに、切削の比エネルギーを求めるため岩片などの切屑を回収し、電子天秤にて切屑を秤量した。

3. 実験結果および考察

図-5に測定結果の一例を示した。図-5では、回転距離に対するスラスト、回転力および貫入量の変化が示されている。スラストおよび貫入量に変動が見られるが、これはチッピングあるいは切削軌道面の凹凸などの影響によるものと考えられる。回転力は、スラストに比べると非常に小さく、最大でも20kN程度であり、

全体的には花崗岩に対してはスラストの1~3%程度、また凝灰岩に対しては5~8%程度の値であった。これは、本実験ではディスクカッターの貫入量が小さく、そのため転動方向の抵抗力があまりかからなかったためであると推察される。

貫入量は、転動開始直後は増加し、やがて一定値に近づく傾向が見られる。これは従来の結果⁶⁾と同様の傾向を示すものであり、転動開始直後は定常状態に達していないためであると考えられる。本実験では、転動距離が0.2m以上の範囲のデータを平均し、スラスト、転動力および貫入量を求めた。

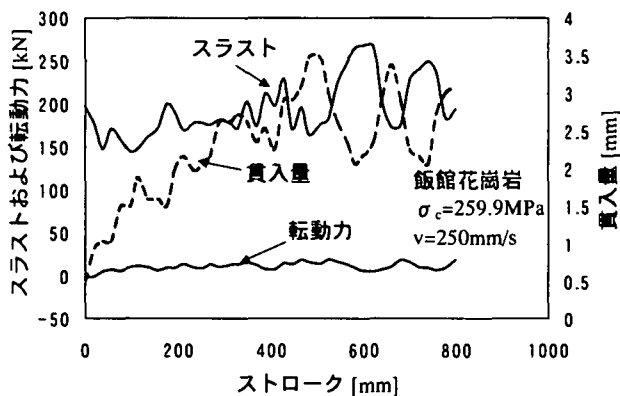


図-5 測定結果の一例

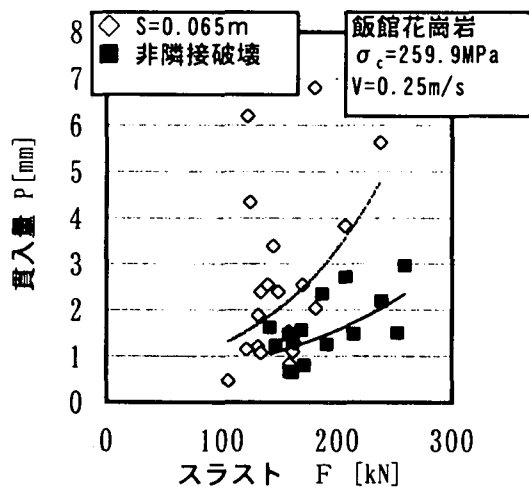


図-6 貫入量とスラストとの関係
(隣接破壊の影響) (Run1+Run5)

図-6に隣接破壊および非隣接破壊におけるスラストと貫入量の関係を示した。図中のSおよびVは、それぞれ切削軌道間隔および切削速度を示す(以後の図においても同様)。白抜きが隣接破壊の結果を、黒塗りが非隣接破壊の結果を示している。データにばらつきが見られるが、隣接破壊が生じた方が、貫入量が多少大きくなっていることが分かる。なお、図中の曲線は、後述する実験式を示す。

図-7に切削軌道間隔を変化させた場合のスラストと貫入量との関係を示した。いずれの切削軌道間隔においてもチップングが観察されたが、本実験の範囲内では、スラストと貫入量との関係に切削軌道間隔の影響は、顕著には現れなかった。なお、図中の曲線は、後述する実験式を示す。

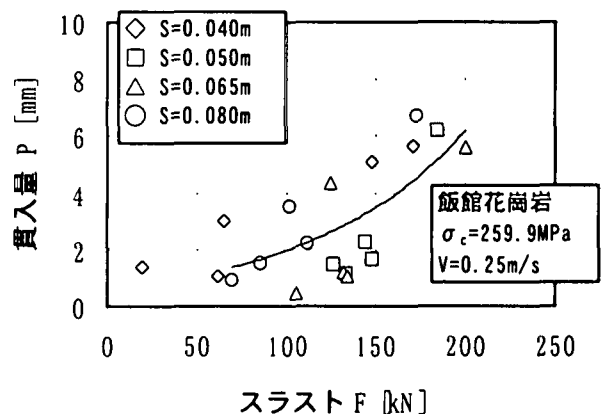


図-7 貫入量とスラストとの関係
(切削溝の影響) (Run2)

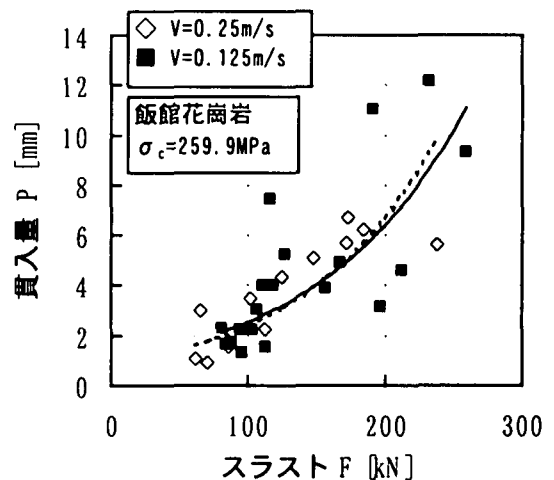


図-8 貫入量とスラストとの関係
(切削速度の影響) (Run2+Run3)

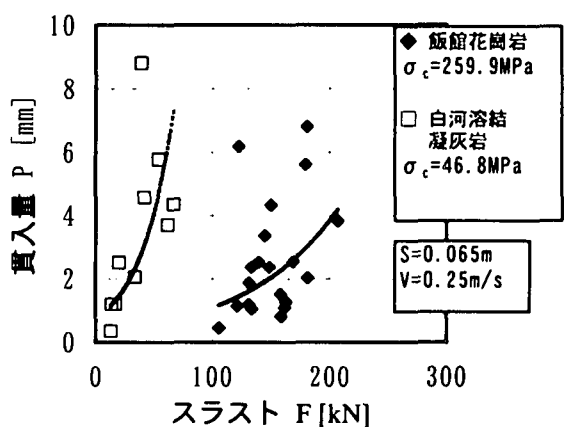


図-9 貫入量とスラストとの関係
(岩種の違い) (Run1+Run4)

図-8 に転動速度を変化させた場合のスラストと貫入量の関係を示した。白抜きが転動速度 0.25m/sec の結果を、黒塗りが 0.125m/sec の結果を示している。本実験においては、両者に大きな違いは見受けられなかった。なお、図中の曲線は、後述する実験式を示す。

図-9 に岩種を変えた場合のスラストと貫入量の関係を示した。転動速度は 0.25m/sec，切削軌道間隔は 0.065m である。凝灰岩の強度は花崗岩の強度の 1/5 以下であるので、凝灰岩に対しては、より小さなスラストで大きな貫入量が得られていることが分かる。なお、図中の曲線は、後述する実験式を示す。

さて、一般にスラストとカッターの貫入量 P の関係は、岩石の 1 軸圧縮強度 σ_c を用いて次式で示される⁶⁾。

$$F = a \sigma_c P^n \tag{1}$$

本実験結果を用いて、(1) 式中の係数および指数を求めた結果、各 Run ごとに表-3 に示される結果を得た。ただし、単位は F [kN]， P [mm]， σ_c [MPa] とした場合の実験式である。各条件とも指数に大きな差異は認められず、おおよそ $n=0.65 \sim 0.8$ 程度の値を示している。なお、これらの実験式を図-6 ないし図-9 中に示した。

表-3 本実験で得られた実験式

Run No.	実験式
1	$F = 0.369 \cdot \sigma_c \cdot P^{0.641}$
2	$F = 0.198 \cdot \sigma_c \cdot P^{0.757}$
3	$F = 0.201 \cdot \sigma_c \cdot P^{0.707}$
4	$F = 0.319 \cdot \sigma_c \cdot P^{0.789}$
5	$F = 0.530 \cdot \sigma_c \cdot P^{0.741}$
圧入実験 ¹⁰⁾	$F = 0.114 \cdot \sigma_c \cdot P^{1.124}$

図-10 に隣接破壊および非隣接破壊におけるスラストと比エネルギーの関係を示した。比エネルギーは「ディスクカッタにより単位体積の切屑を生成させるのに要する仕事」として定義され⁷⁾，掘削に要した仕事量を掘削体積で除すことにより求められる。つまり，比エネルギーが小さいほど掘削効率がよいことを示す。本研究では，比エネルギーを西松ら⁵⁾にならい次式により算出した。

$$S_E = F_R L / V_0 \tag{2}$$

ここに、 S_E は比エネルギー [MJ/m³]， F_R は転動力 [N]， L は切削距離 [m]， V_0 は掘削体積 [m³] である。図-10 において、白抜きが隣接破壊の結果を、また黒塗りが非隣接破壊の結果を示しているが、全体的に隣接破壊が生じた場合の比エネルギーが、非隣接破壊の結果に比べて小さな値となっている。これは、隣接破壊の効果により岩石が大きく破砕されることを示すものであり、実際にカッター面盤にディスクカッターを配置する場

合には、隣接破壊が生じ易いような配置を考えるべきであることを示唆している。

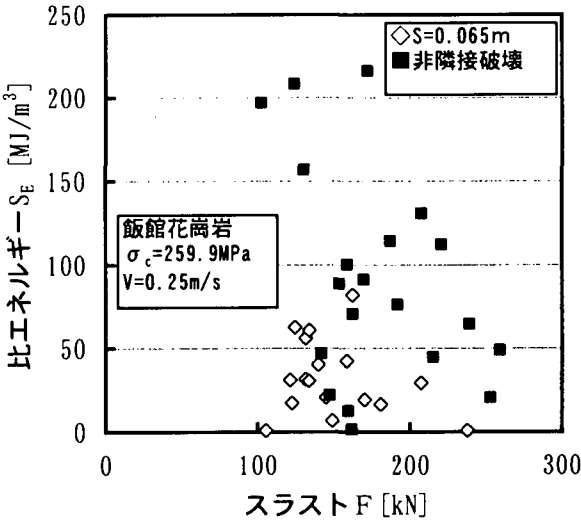


図-10 比エネルギーとスラストとの関係
(隣接破壊の影響)

図-11 に転動速度を変化させた場合のスラストと比エネルギーの関係を示した。白抜きが転動速度 0.25m/sec の結果を、また黒塗りが 0.125m/sec の結果を示している。本実験においては、スラストと貫入量の関係と同様に、両者に大きな違いは見受けられなかった。

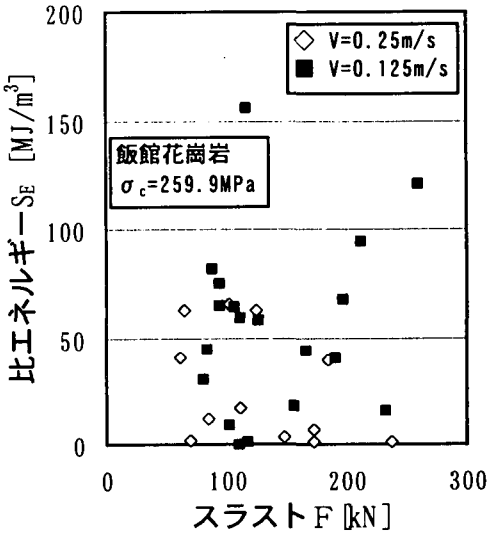


図-11 比エネルギーとスラストとの関係
(切削速度の影響)

図-12 に岩種を変えた場合のスラストと比エネルギーの関係を示した。転動速度は 0.25m/sec，切削軌道間隔は 0.065m である。凝灰岩は強度が小さく、大きく破砕されるため，比エネルギーが花崗岩に比べて約 1/10 程度となっている。著者らは既に、同じ大きさ・形状のディスクカッターおよび岩石試料を用いてディ

スクカッターの岩石圧入実験を行った¹⁰⁾。実験が異なるため、比エネルギーの算出方法が(2)式と異なるので、両実験における比エネルギーの値を直接比較することはできないが、圧入実験では、花崗岩における比エネルギーは凝灰岩における比エネルギーの100倍～1000倍の値を示した。しかし、X線CTにより岩石内部を計測した結果、花崗岩内部に複数のき裂が存在していることが確認され、従って、転動によりき裂が成長して破碎を促進すれば、破碎の効率は高くなる可能性があることを指摘した。本実験では、凝灰岩と花崗岩との結果の開きが、圧入実験に比べて縮まっており、転動によるき裂の成長の効果が現れているとも考えられるが、この点を検証するため、転動実験終了後に岩石のサンプルを取り出し、X線CTにより岩石の内部を計測した。次章ではX線CTによる内部計測に関する結果を述べ、破碎のメカニズムについて考察する。

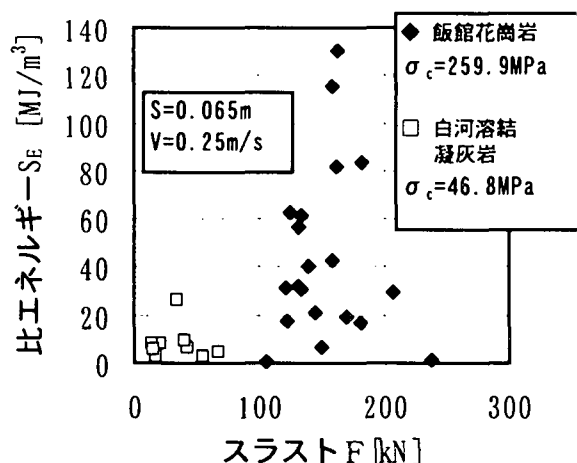


図-12 比エネルギーとスラストとの関係
(岩種の違い)

4. X線CTによる岩石内き裂の可視化

上述したように、岩盤周辺に内在するき裂は掘進速度に大きな影響を与えることが確かめられているので、ディスクカッターの転動によって生じるき裂の状態を把握することは効率的な岩盤破碎を考える上で極めて重要であると考えられる。そこで、X線CTを用いてディスクカッター転動後の岩石サンプルの内部非破壊計測を行い、き裂の状態を観察した。まず、岩石サンプルは図-13に示すようにディスクカッターによる転動実験終了後に、定常状態と考えられる転動距離0.2m以降の範囲内において直径100mmの岩石コアを採取し、サンプルとした。

図-14にX線CT装置の概略を示す。X線管(X-ray bulb, 300kV/2MA)と176個の検出器は同一水平面に固定され、上下に移動することができる。岩石サンプルは回転テーブルの上に設置され、並進と回転を行う。回転軸は

鉛直である。なお本撮影では、図-13に示されるように、ディスクカッターの転動方向に対して垂直な方向からX線が照射されるように岩石サンプルをセットし、計測を行った。その結果の一例を図-15に示す。これは花崗岩の場合の結果であり、き裂の発生位置を分かりやすくするために、カッターの転動位置に、スケールを合わせてディスクカッターの形状を明記してある。図中の黒い部分が密度の低い部分、すなわち空隙やき裂などの部分であり、また白い部分が密度の高い部分、すなわち岩石試料に相当する。静的圧入実験では、き裂面が自由面に直交する放射状に生じていたが、転動実験による岩石サンプルでは、図-15に示すように静的圧入実験で観察されたような自由面に直交するき裂は観察されない。すなわち深さ方向には明確なき裂は観察されず、ディスクカッターの貫入により岩石表面から数ミリの点からほぼ水平にき裂が発生していることが分かる。つまり、静的圧入実験で発生するき裂の性状とカッターの転動により発生するき裂の性状は異

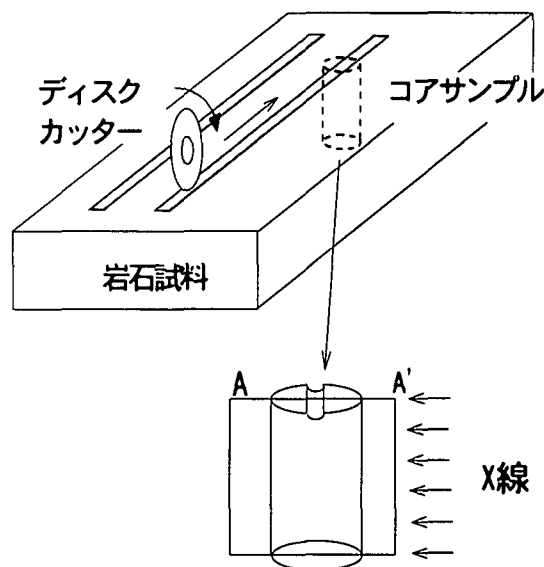


図-13 コアサンプルの採取とX線の照射方向

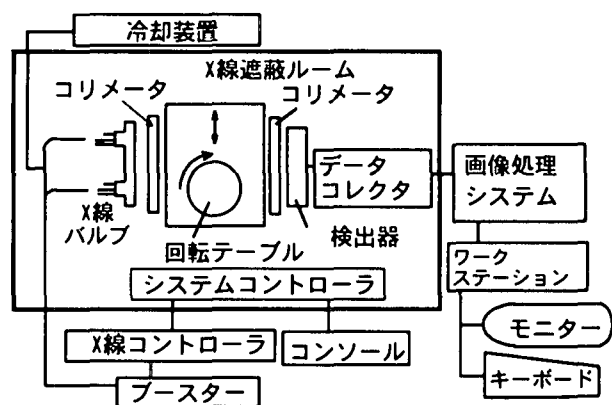


図-14 X線CT装置の概略

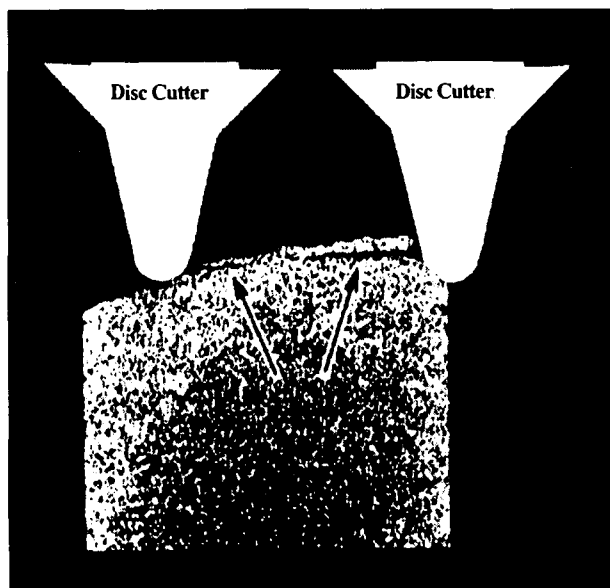


図-15 X線CT装置を用いた岩石内部可視化の一例

なり、圧入実験で発生したき裂をカッターの転動が成長させるというメカニズムでは無いことが確認された。カッターの転動により発生するき裂の特徴は、き裂面が自由面にほぼ並行に生じることであり、このき裂がチッピングを生じさせ、その結果、比エネルギーが小さくなると推測される。図-15に示したサンプルでは、矢印で示した2本のき裂が連結していないため、岩石片が剥がれていないが、このき裂が成長して隣の溝におけるき裂とつながった時にチッピングが生じて、岩石が破碎されると考えられる。

5. むすび

本研究では、摩耗による性能劣化の影響が少ないことから、近年、多く用いられるようになってきている実規模の円弧状ディスクカッターを用いて、岩石の転動破碎実験を行い、種々のデータを収集するとともに、X線CT装置を用いてディスクカッター転動後の岩石サンプルの内部非破壊計測を行い、き裂の状態を観察した。その結果、以下の結論が得られた。

1) 花崗岩のような硬岩の場合でも、刃先が円弧状のディスクカッターで十分に切削可能であることが実験的に確認された。

2) 硬岩の場合、ディスクカッターの転動により岩石内部に、ほぼ水平方向にき裂が発生し、隣接する切削溝からのき裂と結合すると、チッピングが生じて岩石が破碎されること、また岩石片は薄片状になることが確かめられた。

3) 非破壊内部計測の結果と実際に掘削された岩石片の観察から破碎のメカニズムがほぼ推定されたが、今後、効率的なTBMの設計にはより大きな岩石片が得られるようにき裂を発生させるディスクカッターの形状

に関する研究がさらに必要であると考えられる。

なお、本研究の1部は、文部省科学研究費補助金基盤研究(B)(代表:熊本大学教授 菅原勝彦)および(財)日本鉱業振興会研究補助金「岩石破壊技術の高度化に関する研究」(代表:北海道大学教授 金子勝比古)によったことを付記し謝意を表する。

参考文献

- 1) 室 達朗, 上松 正史, 岩谷 典亮: ローラカッタビットの掘削特性に関する研究, テラメカニクス, 17号, pp.111-115, 1997.
- 2) 浅野 剛, 蛭子 清二, 岩垣 富春, 齋藤 敏明: TBMの掘進データと周辺岩盤の亀裂分布との関連性について, 第28回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.1-7, 1997.
- 3) Sanio, H.P.: Prediction of the Performance of Disc Cutters in Anisotropic Rock, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol.22, No.3, pp.153-161, 1985.
- 4) Roxborough, F.F. and Phillips, H.R.: Rock Excavation by Disc Cutter, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol.12, No.12, pp.361-366, 1975.
- 5) 西松 裕一, 奥野 昇, 平沢 幸久: ローラカッタによる岩石掘削に関する研究, 日本鉱業会誌, Vol.91, No.1052, pp.653-658, 1975.
- 6) Gong Fangming, 佐藤 一彦, 浅井 秀明: 円周軌道切削における岩石の切削抵抗ーディスクカッタによる岩石の切削に関する研究(第1報)ー, 資源・素材学会誌, Vol.108, No.7, pp.557-562, 1992.
- 7) Gong Fangming, 佐藤 一彦, 浅井 秀明: 円周軌道切削における最適切削条件および最大切削抵抗ーディスクカッタによる岩石の切削に関する研究(第2報)ー, 資源・素材学会誌, Vol.108, No.12, pp.849-854, 1992.
- 8) Gong Fangming, 佐藤 一彦, 内海 千尋: TBM ゲージカッタに作用する切削抵抗ーディスクカッタによる岩石の切削に関する研究(第3報)ー, 資源・素材学会誌, Vol.110, No.4, pp.277-282, 1994.
- 9) Li, X.S., Gurgenci, H. and Guan, Z.: Experimental Study of Disc Cutter Temperatures, Proc. of 4th Int. Symposium on Mine Mechanization and Automation, Vol.1, pp.A5-25-A5-34, 1997.
- 10) Takahashi, H. et al.: Penetration Experiment of Rocks by Use of TBM Roller Bit with Aiming the Fast Execution: Effect of Bit Shape, Proc. of Int. Symposium on Rock Stress, pp.333-338, 1997.

(2000年4月21日 受付)