地盤の礫の特性および礫含有率がカッタービット摩耗量に及ぼす影響に関する研究

㈱大林組　正会員　○星野 智紀　正会員　田中 善広　野口宏治
九州大学　笹岡 孝司　正会員　島田 英樹

１．はじめに

都市部のインフラ整備で多用されているシールド工法において近年増えつつある『長距離掘削』,『砂礫地盤掘削』等の難条件下で，地山を切削するビットの摩耗が，施工性や経済性に大きな影響を与える要因となっている．ビットの摩耗量の推定に関する研究は過去に行われているが，砂礫地盤における礫の特性や礫含有率がビット摩耗に与える影響に関する研究例は少ない.本研究では,砂礫地盤におけるビット摩耗量を予測するための知見を得るため,各礫種の各種力学試験と物性試験，さらにビット摩耗を模擬するためにCerchar摩耗試験と旋盤試験を行い，礫の特性と礫含有率がビット摩耗に及ぼす影響について検討した.

２．試験概要

本研究では，礫として力学的特性の異なる砂岩，安山岩，花崗岩を用いた3種類の礫地盤の模擬供試体を作製し,各種試験に供した.なお,礫の大きさは10～20 mmとした.表1に各礫種の概要を示す.また，礫の結合体としてポルトランドセメントを用いた.

表1 各礫種の概要

礫種	色	礫径	産地
砂岩	黄	10～20 mm	中国産(雲南)
安山岩	ｸﾞﾚｰ	10～20 mm	中国産(海南)
花崗岩	白	10～20 mm	中国産(G603)

まず，礫の力学的特性を評価するため，各母材の一軸圧縮試験を行った．また，硬度が大きい石英の含有率を把握するため，内部標準法[1)]を利用したXRD分析を行い各礫の石英含有率を測定した．ビット摩耗の要因として，礫がビットを摩耗させる程度を表す摩耗能が挙げられる．ビット摩耗量を予測する際，礫の摩耗能を評価することが重要であるため，Cerchar 摩耗試験[2)]を行った．この試験は，適用岩石が限定されず，岩石の摩耗性を評価する方法として，仏国の石炭公社中央研究所Cercharで提案された方法である．本試験は，試験用ビットに一定の荷重を作用させて岩石を引っ掻き，摩耗したビットの平面幅に基づき，岩石の摩耗能を示す摩耗性指数を得る.

また，本研究ではカッタービットの切削を模擬的に再現する旋盤試験を行った．本試験は，旋盤のチャックで直径50 mm，長さ100 mmの供試体を固定し，供試体上方側面に重錘で押しつけながら回転させ，ビットの質量減少量から旋盤摩耗係数（mg/m）を指標として求める試験である．なお，ビットの材質にはSKC24を用いた[3)].

3. 試験結果および考察

各礫種の一軸圧縮試験と石英含有率の結果を表2に示す．次に，礫含有率の異なる礫地盤の模擬供試体を用いて，Cerchar 摩耗試験および旋盤試験を行った.Cerchar摩耗試験の結果を図1,旋盤試験の結果を図2に示す.

表2 各礫種の物性試験結果

礫種	一軸圧縮強度(MPa)	石英含有率(%)
砂岩	27.6	21.4
安山岩	48.1	6.3
花崗岩	62.9	46.9

これらの結果からCerchar摩耗試験，旋盤試験のいずれにおいても礫地盤の礫含有率が増大すると，ビットの摩耗量が増大することが明らかとなった．しかしながら，Cerchar 摩耗試験では，①花崗岩②安山岩③砂岩の順にビット摩耗量が大きかったのに対し，旋盤試験では①花崗岩②砂岩③安山岩の順にビット摩耗量が大きかった．これは，Cerchar 摩耗試験では機械的摩耗による機構のみが作用するが，旋盤試験では様々な要因が影響を及ぼしているためであると考えられる．そこで，旋盤試験におけるビットの摩耗に影響する要因として，石英含有率，衝撃欠損，熱的摩耗の影響について検討を行った.

(a) 石英含有率の影響

表2より，各礫種の石英含有率は①花崗岩②砂岩③安山岩の順に大きいことがわかる．石英は硬度が大きい鉱物であり，現場の施工データからも石英含有率が大きいほど，ビットの摩耗量が大きくなる事が報告されている[4)]ことから，石英含有率がビットの摩耗に大きく影響することが考えられる.

キーワード　シールド工法，礫の特性と含有率，石英含有率，ビット摩耗
連絡先　〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟　㈱大林組　TEL：03-5769-1318

(b) 衝撃欠損による影響

砂礫地盤において，玉石や転石との衝突によるビットの衝撃欠損が問題となっている[5]．旋盤試験終了後のビット先端の観察から，砂岩を礫とする供試体を切削した場合には，ビット先端が平面であったのに対して，花崗岩，安山岩を礫とする供試体を切削した場合には，ビットの先端に凸凹が確認された．このことから，安山岩および花崗岩を含む供試体を切削した際，ビットの衝撃欠損の影響が大きいと考えられる．そこで，拡大鏡を用いてビット先端を観察し，ビット先端の摩耗体積を推定し，欠損に伴うビット先端の摩耗量を算出した．さらに，(1)式により算出されたビットの衝撃欠損量 W_l(mg)をビットの全摩耗量 W(mg)で割り，ビットの衝撃欠損率 W_l/W (%) を求めた．

$$W - W_t = W_l \quad (1)$$

W: ビットの全摩耗量(mg)
W_t: ビット先端の摩耗量(mg)
W_l: ビットの衝撃欠損量(mg)

(c) 熱的摩耗による影響

図 3 に切削距離とビット先端温度変化の関係を示す[6]．本研究で行った旋盤試験の切削距離は 33.92 m であり，砂岩および花崗岩を含む供試体において，熱的摩耗の影響が大きいと考えられる．

表 3 に，以上(a)～(c)の検討結果を示す．衝撃欠損率に関しては，影響が大きいと考えられる礫含有率 75%の場合の結果を示す．図 2 より，礫含有率の増大に伴いビット摩耗量が増大し，礫含有率が同じ場合には礫の石英含有率が大きいほどビット摩耗量が大きくなることが分かった．さらに，本実験条件下で礫含有率が 50%以上になると，礫の種類によって礫含有率の増大に伴うビット摩耗量の増加傾向が異なることも分かった．安山岩では，礫含有率 50%以上でビット摩耗量に大きな増加が認められなかった．これは，表 3 に示すように，安山岩は石英含有率が小さくビット先端温度も低いことから，ビット摩耗の要因として衝撃欠損の影響が大きく，礫含有率 50%以上になると礫含有率が増大しても衝撃欠損によるビット摩耗量が顕著に増大しないためと考えられる．一方，砂岩および花崗岩では，礫含有率 50%以上でも礫含有率の増大に伴いビット摩耗量が増大し，特に花崗岩でその増加率も増大していることがわかる．表 3 より，どちらの礫においてもビット先端温度が同程度であり熱的摩耗によるビット摩耗量が同程度であると考えられることから，礫含有率の増大に伴いビット摩耗量に及ぼす石英含有率の影響が大きくなると考えられる．

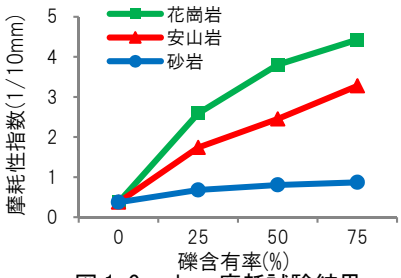

図 1 Cerchar 摩耗試験結果

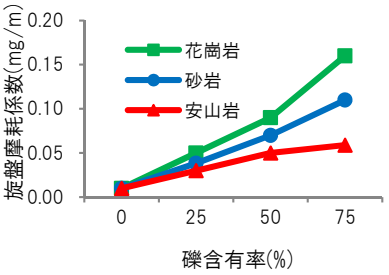

図 2 旋盤試験結果

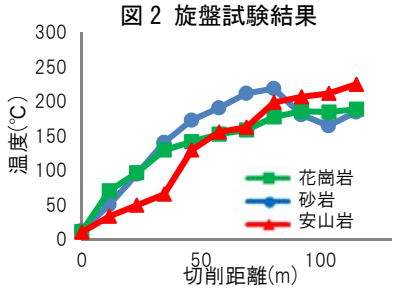

図 3 切削距離と温度変化の関係

表 3 旋盤試験における各種要因の影響

項目	砂岩	安山岩	花崗岩
石英含有率(%)	21.4	6.3	46.9
衝撃欠損率(礫含有率 75%)(%)	24.8	60.8	56.4
ﾋﾞｯﾄ先端温度(℃)	150	50	150

4. おわりに

本研究の結果を以下に示す．

① 礫含有率の増大に伴いビット摩耗量は増え，礫含有率が同じ場合は石英含有率が大きいほど摩耗量が大きい．

② 礫含有率 50%以上では，礫含有率が増大してもビット摩耗に対する衝撃欠損の顕著な影響は認められない．

③ 礫含有率が 50%以上では，ビット摩耗に及ぼす石英含有率の影響が大きくなる．

以上のように礫の特性と礫の含有率により，ビットの摩耗機構が大きく変化することが分かった．今後，礫の特性や礫含有率の他に，礫の粒径や結合体の特性がビットの摩耗に及ぼす影響について検討を行っていく予定である．

(参考文献)

1)Cullity, B.D. :Elements of X-ray diffraction, 1980, pp.400-402
2)島田英樹 他 :切削ビットの摩耗試験について,西日本岩盤工学研究会, 1991, pp44-46
3)辻本康平 :砂礫地山におけるシールドマシンカッタービットの摩耗予測に関する研究, 2016, pp33
4)中根達人 他 :TBM 施工におけるｶｯﾀｰﾋﾞｯﾄ摩耗量と岩石強度及び石英含有率に関する研究,土木学会学術講演会,2004,pp693-694
5)室達明 他 :シールド掘進機用刃先の耐衝撃性に関する実験的考察, 土木学会論文集,1995 No.510, VI-26, pp103-11
6)竹内啓介 :シールドマシン用カッタービットの摩耗特性に関する基礎的研究, 2012, pp34