

|         |     |        |         |     |       |
|---------|-----|--------|---------|-----|-------|
| 大阪大学工学部 | 学生員 | ○田島 裕樹 | 大阪大学大学院 | 正会員 | 谷本 親伯 |
| 大阪大学大学院 | 正会員 | 川崎 了   | 大阪大学大学院 | 正会員 | 青木 俊彦 |
| 大阪大学大学院 | 学生員 | 阪本 良夫  |         |     |       |

**1. はじめに** NATMによるトンネル施工時には、地山の条件によっては大変状の発生が問題となる場合がある。トンネル施工時の大変状は、地滑り、トンネル崩壊等を引き起こすため、施工の安全性を考える上で防がなければならない問題である。また変状を起こした場合、その原因と以後の予防の対策を明らかにすることが、非常に重要であると考えられる。

一方、大変状が起きた南紀地区トンネル地山の地質には、頁岩が広く分布していることが知られている。そこで本研究では、この南紀地区トンネルを対象とし、トンネル変状の主な原因を頁岩のスレーキグ現象によるトンネル周辺地山の強度低下によるものと推定した。そして現地にてボーリングを行い、採取した試料でスレーキング試験を実施し、この結果よりコンバージェンス（トンネル断面の変位量）とスレーキング特性との関連について検討を行い、変状の原因について考察を行った。

**2. 対象トンネルの地質特性と挙動** 対象とした南紀地区トンネルは、NATMにより建設中のAトンネルおよびBトンネルである。共に大変状が生じた箇所以前の施工までは順調に掘削を続けてきたものの、予想外に急激な変状が起きたトンネルである。AトンネルはT.D.（トンネル延長）約950m、直径12mのトンネルである。Aトンネルの位置する地質はT.D.0m-370mが第三紀層の砂岩優勢砂岩頁岩互層、T.D.370m-950mが第三紀層の頁岩優勢頁岩砂岩互層からなる。さらに、切羽に断層が明瞭に出現した区間（T.D.210m-0m）が存在する。

一方、BトンネルはT.D.約1700m、直径12mのトンネルである。Bトンネルが位置する地層は頁岩を主体とした頁岩優勢層である。対象としたのはT.D.1400m-1580mの約180mの区間である。BトンネルではT.D.1500m付近で崩落が起き、その前後のT.D.1460m-1530mの約70mの区間で大きな変状を示した。また、Bトンネル全体として破碎帯となっていたことが切羽観察より確認された。

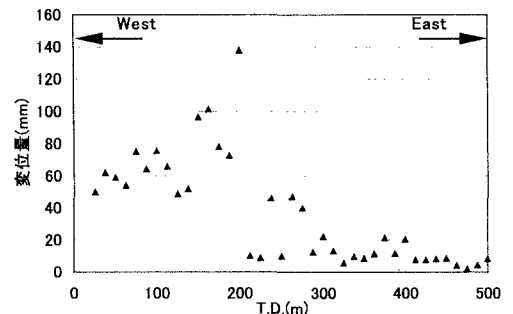


図1 Aトンネルにおける変位量

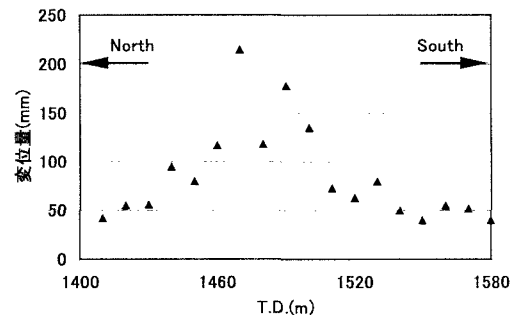


図2 Bトンネルにおける変位量

図1、2は、A、Bトンネルそれぞれの変位量を示した図である。Aトンネルについては、断層が確認されたT.D.210m付近で変位量60mm-135mmの大きな変位が発生しており、T.D.210mを境に西側では変位が大きく、その東側では小さい。一方、Bトンネルにおいては、T.D.1530mより以北70mの区間で、変位量が60～210mmの大きな変位が発生している。またA、Bトンネル共にそれぞれ同質の地層において変位の大きい区間と小さい区間が存在していることが分かる。

**3. 試験試料** スレーキング試験を行うために、A、Bトンネルにてボーリングを行い、試験試料の採取を行った。ボーリング位置は変状部と非変状部を含む地点を選定した。ボーリング位置とその位置における変位量を表1

に示す。Aトンネルすべての地点において砂岩、頁岩が採取された。頁岩には粘土化が進行したと思われる軟質（指圧で崩れる程度）なもの、硬質なものも存在していた。一方、Bトンネルにおいては、採取されたコアの全てが頁岩であった。ただし、No.3 で得られたコアは軟質な頁岩のみであった。

**4. スレーキング試験** 岩石のスレーキング現象の差異を定量的に把握するため、ISRM 指針に準拠したスレーキング試験<sup>1)</sup>（以下動的スレーキング試験）により耐スレーキング指数を求めた。耐スレーキング指数は以下の式にて表される。

$$Idn = \frac{(Wn - D)}{(Wo - D)} \times 100(\%)$$

ここで、*Idn* :耐スレーキング指数、*Wo* :試験前の重量（kN）, *Wn* : 乾湿を *n* 回繰り返した後の重量（kN）*D* : 試料皿の重量（kN）、ただし、*n* は乾湿繰り返し回数を示す。

この試験法は、岩石試料に乾湿を与えるごとに 2mm の網でふるい、この網上に残る重量を測定するものである。乾湿繰り返し回数は 3 回とした。またスレーキング現象の差異をより正確に表現するために、動的スレーキング試験後の試料を日本工業規格（JIS A 1204:2000）に基づく 9.5mm 目のふるいによりふるい分けを行った。このふるい分けにより、スレーキングを起こしていると考えられる細片（2.5～10mm）を取り除いた。このふるい分けを行った後の試料の重量により新たに耐スレーキング指数を求め、この値を試料の耐スレーキング指数とした。ただし、軟質な頁岩においてはふるい分け後の耐スレーキング指数でスレーキングの差異を表すことが困難であったため乾湿繰り返し 1 回における耐スレーキング指数を用いた。

### 5. 結果と考察

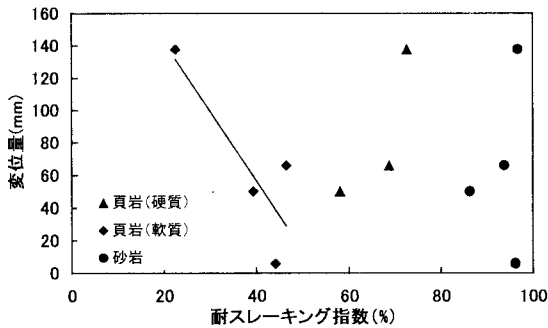


図3 耐スレーキング指数と変位量の関係(Aトンネル)

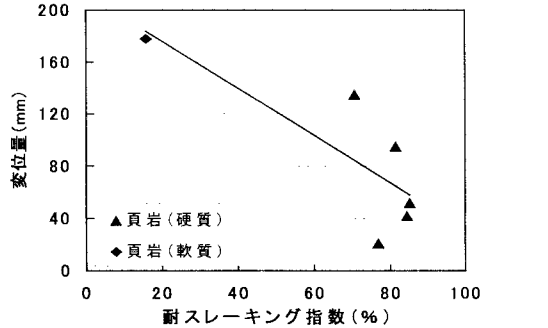


図4 耐スレーキング指数と変位量の関係(Bトンネル)

図3、4に耐スレーキング指数と変位量の関係を示す。図3より、Aトンネルの硬質な頁岩、砂岩には耐スレーキング指数と変位量に相関関係はみられなかった。しかし図3のAトンネルの軟質な頁岩、図4のBトンネルの頁岩においては、比較的良好な相関関係が得られた。この結果より、A、Bの両トンネル地山において乾湿繰り返しに対して比較的弱い部分（軟質な頁岩）が変位量に影響を及ぼしていることが推定される。

以上のことより、本研究で得られた主な知見を以下に示す。

- 1) 岩石の耐スレーキング指数とコンバージェンスの間には、相関が見られた。
- 2) 軟質な頁岩は水に対して非常に抵抗性が弱く、簡単に強度を低下させることが分かった。
- 3) 破碎帯や断層が発達した地山において、スレーキング特性が高い場合、大きな変状が起ることが分かった。

[参考文献]: 1) 岩の力学連合会：ISRM 指針，Vol.1,pp.21-25,1982.