

III-221

北海道における道路トンネルの凍上現象

開発土木研究所 正員 鈴木 哲也
北海道工業大学 正員 針谷 有

1. はじめに

トンネルは地下水に接する機会が多いため、北海道のような寒冷地ではつららの発生や地山凍上によるライニングの変形など、いわゆる凍害を受けることがある。北海道内には300余の道路トンネルが供用されているが、このうち約30%につららや側氷、約3%に凍上の発生が認められる。特に凍上は数は少ないがライニングに大きな影響を与えるため、その機構を明らかにすることが重要である。地山の凍上現象を支配する要素には温度、水、地質があるが、ここでは地質の凍上性におよぼす影響について検討した結果を報告する。

2. トンネルの構成地質

北海道においては図-1に示すように安山岩、砂岩、泥岩、凝灰岩、凝灰角礫岩、粘板岩などに多くのトンネルが掘削されている。花崗岩、片岩、火山灰、蛇紋岩中にも掘削されているが、その数はわずかである。

3. トンネル内部温度と凍上現象

トンネル内部温度の測定結果の一例を図-2に示す。延長の長いトンネルにおいても、坑口と坑内の温度差は小さく、冬期にはトンネル内気温は0℃以下となる。このためライニング背面岩盤も凍結状態となり、凍上や凍結融解作用による劣化が生じる条件下におかれる。

北海道内の道路トンネルにおいて凍上に起因するライニングの変状は、表-1に示すように泥岩、砂岩、凝灰岩、凝灰角礫岩といった比較的軟質でしかも熱伝導率の小さな岩石からなる地山に掘削されたトンネルにおいて発生している。これらの岩石の生成した時代は新第三紀から先白亜紀にまでわたっている。

表-1 凍害を受けたトンネルの構成地質

トンネル	構成岩石	時代
hトンネル	凝灰角礫岩	新第三紀
tトンネル	集塊岩	新第三紀
nトンネル	泥岩	新第三紀
uトンネル	砂岩, 泥岩	新第三紀
kトンネル	砂岩, 泥岩	新第三紀
yトンネル	シルト岩	古第三紀
gトンネル	シルト岩, 砂岩	白亜紀
iトンネル	泥岩	先白亜紀

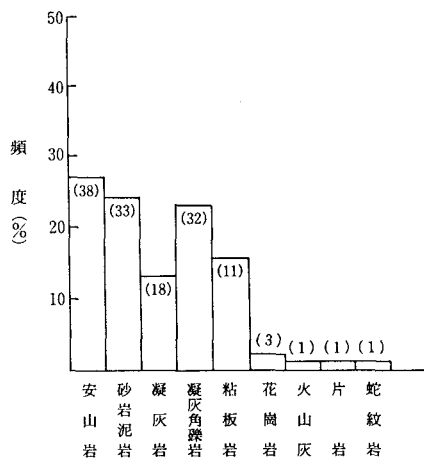


図-1 トンネルの構成地質

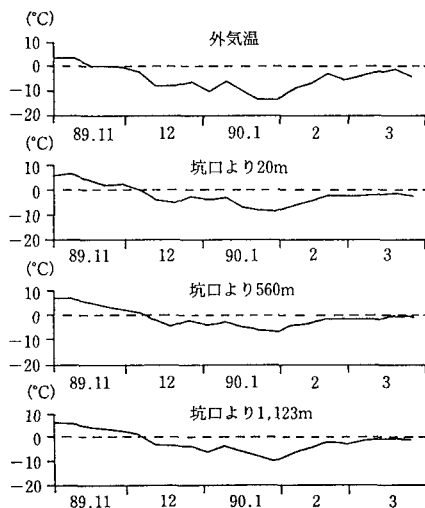
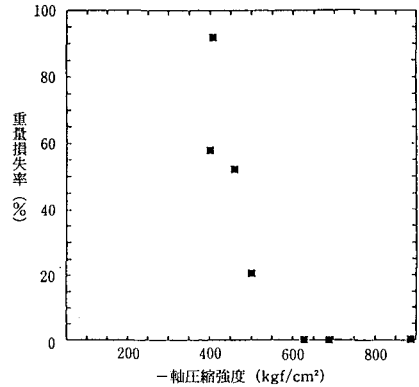


図-2 坑内温度測定結果の一例

これらの岩石は数十～数百 kg f / cm^2 の一軸圧縮強度を有しており、岩自体が凍上性を示すこともほとんどない。このため冷却すなわち凍上現象とはならない。しかしこれらの岩石の凍結融解作用に対する抵抗性は著しく弱く、凍結融解作用の繰返しにより容易に細粒化する。凍結融解試験により細粒化した物質を用いて凍上試験を行うと著しい凍上性を示す。すなわち岩盤自体は非凍上性であっても、凍結融解作用により細粒化する岩盤中に掘削されたトンネルは、凍上により変状する可能性が高いといえる。凍上により被害を受けた例は竣工後10年以上経過したトンネルに多いことも、このことを示唆するものであろう。したがって凍害により被害を受けない岩盤は、岩石の非凍上性のみならず、凍結融解作用により細粒化しないことから判断する必要がある。



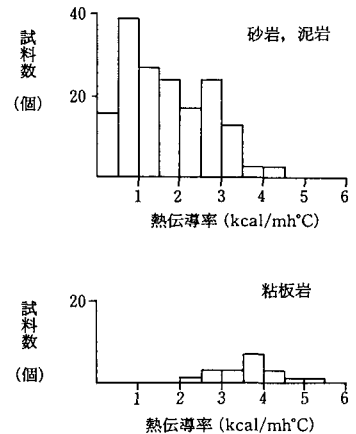
図一3 岩石の一軸圧縮強度と凍結融解作用による劣化の関係

4. 凍上性の判定

北海道内の堆積岩の一軸圧縮強度と凍結融解（300サイクル）による劣化の関係を図一3に示す。一軸圧縮強度が 500kg f / cm^2 程度以上であれば凍結融解作用により劣化し細粒化しない。これは凍結による岩石の破壊の限界がある強度以上にあることを示している。すなわちこれ以上の強度を有する岩石は凍結により破壊しない。このことは地山凍結が北海道内のほとんどの場所で生じているが、必ずしもトンネルの変状とは結びつかないという既設トンネルの事例にも示されている。

このように凍結融解作用によって劣化しない岩石については凍結を許しても良く、必ずしも断熱材施工などを必要としない場合もある。安山岩などの火山岩、花崗岩などの深成岩、風化変質の少ない粘板岩などの十分な強度を有する岩石の多くは、凍結防止対策を必要としない場合が多い。

次に熱的性質からみると、図一4に示すように砂岩、泥岩などは粘板岩などの岩石に比べ熱伝導率が小さい。このため同じ温度条件下であれば、熱伝導率の大きな岩石と比較しより冷却されやすく、凍害を受けやすい。また風化した岩石の熱伝導率は、未風化の岩石のその10～40%にまで低下すること、さらに風化により細粒分が生成するため、非凍上性の岩石であっても風化岩については注意が必要である。



図一4 岩石の熱伝導率

5. おわりに

トンネル凍結防止対策の検討に当たっては、単に岩石の凍上性のみだけではなく、凍結融解作用により劣化しない条件も加味する必要がある。さらに熱伝導率の小さな岩石や風化部では、同じ温度条件下においてもより凍上性が高いため、熱伝導率の小さな岩盤中に設置されるトンネルや風化部の厚いトンネル坑口付近においては入念な凍結防止対策を行うことが必要である。