

凍結融解作用が粒状路盤材の CBR に与える影響について (第2報)

北海道工業大学大学院 学生会員 ○村山 巧
 北海道工業大学 正会員 川端伸一郎
 北海道大学大学院 フェロー会員 石川 達也
 北海道工業大学 正会員 亀山 修一
 北海学園大学 正会員 小野 丘

1. はじめに

北海道などの寒冷地では、冬期に生じる凍上や春先の凍土の融解によって路盤や路床の支持力や変形特性が変化するというわれており、既往の研究でも融雪期の支持力低下¹⁾や凍結融解による舗装の疲労破壊寿命の減少が指摘されている²⁾。加えて筆者らも、これまでに凍結融解作用によって粒状路盤材の CBR が低下することを明らかにしている³⁾。

本報は、前報の知見を基に更なる凍結融解サイクルの延長が CBR に与える影響と CBR 低下の原因について考察したものである。

2. 試料と試験方法

試料は路盤材として用いられる 40mm 級の天然碎石 (C-40) であり、供試体は、気乾状態の試料をバイブレータにより最大乾燥密度の 95%で締固めて作成した。これを初期条件 (気乾条件と称す) とし、気乾条件の供試体を通水飽和した場合を飽和条件、さらに、飽和条件から重力脱水した場合を湿潤条件と定めた。また、比較のために絶乾試料による供試体も使用した。以上のように、供試体条件は含水比の違いで、絶乾 ($w=0\%$)・気乾 (1.8%)・湿潤 (9.8%)・飽和 (13.9%) の 4 パターンである。

本研究では、CBR 試験サイズ ($\phi=150\text{mm}$, $h=125\text{mm}$) での地盤工学会基準の凍上試験機を作製し、凍結融解後の CBR を求めている。なお、前報では³⁾、学会基準に従い凍結時間を約 1 週間としたために長期試験が難しく、凍結融解履歴は最大で 2 サイクルまでであった。

本報では、凍結融解サイクルの時間短縮を目的に、 -10°C で上下端面温度一定 (12 時間) での凍結、 $+10^{\circ}\text{C}$ (12 時間) での融解を 1 サイクルと定めた。なお、この凍結融解条件の決定に際しては、 -10°C , 12 時間で供試体内部が -10°C での定常状態になること、学会基準に準拠した前報の CBR との数値差が僅かであることを確認している。

以上の温度条件で、凍結融解履歴は 1 サイクルと 5 サイクルの 2 パターンとし、CBR 試験後には粒度試験を行い粒子破碎の程度も確認した。

つぎに、凍結の有無による粒子内水分の減少過程を調べ

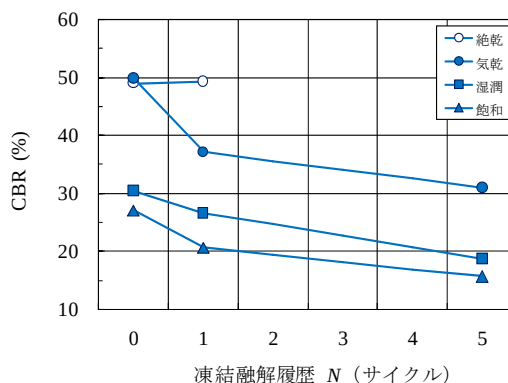


図-1 凍結融解作用による CBR の変化

た。試験は 5~10mm の試料を 24 時間吸水させ、表面乾燥状態とした後、1 つのグループ (1 グループで 4 サンプル) は常時室温に放置し、他のグループは -10°C の低温庫で 24 時間凍結後、24 時間室温にて融解する工程で、24 時間ごとに重量を測定した。なお、凍結を行うグループは、凍結時に湿度変化が無いよう容器に密閉した (密閉型) グループと低温庫内に放置した (開放型) グループに区分した。

3. 結果と考察

図-1 は、凍結融解履歴による CBR の変化である。CBR は絶乾条件を除き、凍結融解サイクル N の増加によって減少しており、5 サイクルまで延長すると、やや収束傾向はみられるものの、継続的な CBR の低下が確認できる。

凍結融解による CBR の低下原因としては、土粒子自体が凍結融解によって破碎などの性状変化を起こすこと、または、間隙水の凍結膨張によって間隙構造が変化することが考えられる。

図-2 は、凍結融解履歴による Marsal の破碎率と凍上量の変化である。破碎率はサイクル数 N によって増加しており、CBR の低下傾向との関係性は良好である。この関係をみる限り、CBR の低下原因の一つに凍結融解による粒子性状の変化が挙げられるが、これが支配的な因子かは不明である。

つぎに凍上量 (凍結膨張量) は、気乾 < 湿潤 < 飽和の順で含水比に応じて大きくなっており、この順位で間隙構造

キーワード：凍上試験，凍結融解，CBR，粒子内水分

連絡先：〒006-8585 札幌市手稲区前田 7 条 15 丁目 4-1 北海道工業大学 TEL：011-688-2268

に変化が生じている可能性が高い。また、含水比が増えるに従って、サイクル数 N に応じて膨張量が増加することが特徴的である。しかし、本研究の凍上試験は閉式凍上であり、実験中に外部からの水分供給は行っていない。このため、 N に応じた膨張量の増加を単純には説明できない。

本試料の吸水率は3.5%である。湿潤条件と飽和条件については、凍結前に吸水率に相当する粒子内水分が保持された状態となっている。仮に、粒子内水分が凍結によって段階的に間隙内に排出されるのであれば、サイクル数に応じた膨張量の増加を説明可能である。中村らは⁴⁾、岩においても凍上が発生することを実験的に示している。すなわち、岩に温度勾配を与えると、岩体内部の水分が凍結面に向かって移動することを明らかにしている。

図-3は、凍結の有無による粒子内水分の減少過程である。水分の減少率は、常時室温に放置した条件に比べ、凍結履歴を与えたものの方が多くなっている。なお、凍結方法については、低温庫が冷風循環式であるため室内との湿度の違いを懸念して密閉型と開放型で試験を行ったが、いずれの凍結条件も常時室温条件よりも減少率が多いことから、両者の差は凍結による粒子内水分の排出であると判断した。

以上のことから、先に述べたサイクル数に応じた膨張量の増加は、凍結によって粒子内水分が強制的に間隙内に排出されたことが原因であると推察した。このような現象が間隙構造を変化させ CBR に影響を与えたと考えられる。ただし、膨張を示したのは湿潤条件と飽和条件であり、気乾条件における粒子内水分の影響は不明である。

図-1に示したように、絶乾条件と気乾条件では、凍結融解の有無によって CBR が大きく変化していた。両者の差は気乾条件の含水比すなわち $w=1.8\%$ の粒子内水分の差である。サイクル数 $N=0$ の未凍結では、絶乾条件と気乾条件の CBR に差はみられない。しかし、 $N=1$ では気乾条件の CBR が大きく低下しており、僅か $w=1.8\%$ の粒子内水分の影響が顕著である。前述したように、粒子内水分は凍結によって外部に排出されることが予想され、僅かな水分量であっても粒子間摩擦などに影響を与えることも考えられる。そこで、12時間の凍結後に融解時間のみを半日から7日間まで延長した CBR 試験を実施した。

図-4は、融解時間が CBR に与える影響である。湿潤条件と飽和条件は融解時間を延長しても CBR に変化は見られないが、気乾条件は融解時間によって CBR が増加しており、7日後には未凍結の9割程度まで回復している。

すなわち、気乾条件の CBR の低下は、凍結作用によって粒子表面の水分量が一時的に増加したことで粒子間摩擦が減少したことに起因するものであり、時間とともに表面水が粒子内に吸水もしくは蒸発することで CBR が回復すると考えられる。

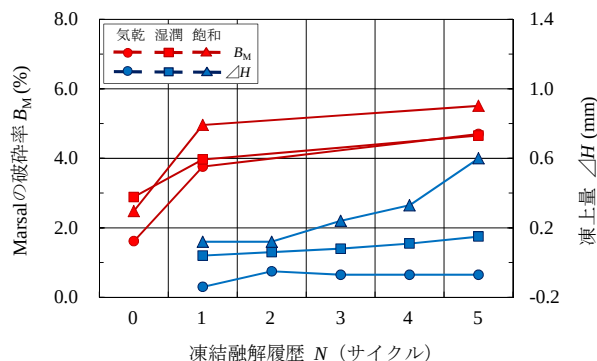


図-2 凍結融解作用による破砕率と凍上量の変化

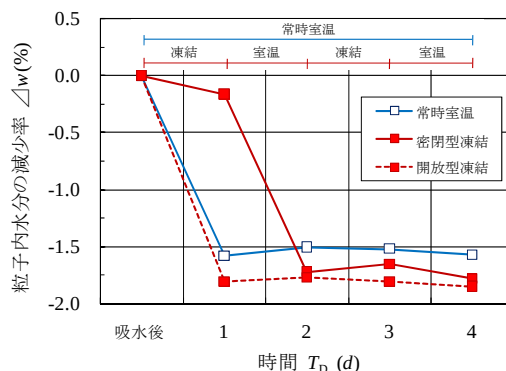


図-3 凍結の有無による粒子内水分の変化

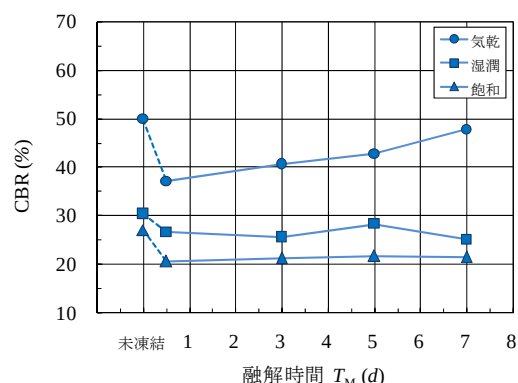


図-4 融解時間の延長による CBR の変化

これに対して、湿潤条件や飽和条件は、凍結時の粒子内からの排出水分量が多く、凍結膨張によって間隙構造に恒久的な変化を及ぼすために CBR の回復がみられないものである。

参考文献

- 1) 安倍隆二, 田高淳, 久保裕一: 積雪寒冷地におけるアスファルト舗装の厳冬期および融雪期のひずみ特性, 土木学会舗装工学論文集, 第14巻, pp.147-154, 2009.
- 2) 石川達也, 安倍隆二, 吉田有喜, 三浦清一: 粒状路盤材の力学挙動に及ぼす凍結融解作用の影響評価, 土木学会舗装工学論文集, 第15巻, pp.201-209, 2010.
- 3) 村山巧, 川端伸一郎, 小野丘, 石川達也: 凍結融解作用が粒状路盤材の CBR に与える影響について, 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集, pp.807-808, 2011.
- 4) 中村大, 後藤隆司, 伊藤陽司, 山下聡, 鈴木輝之: 岩石と土の凍上特性の差異に関する実験的検証, 土木学会論文集 C, Vol.66, No.3, pp.472-486, 2010.