

モルタルと凍土との凍着せん断強度に及ぼす不凍水分量の影響

(株) 精研 技術開発部 正会員 ○大石 雅人
 (株) 精研 技術開発部 正会員 隅谷 大作
 (株) 精研 技術開発部 正会員 上田 保司

1. はじめに 凍結工法における凍土と構造物との凍着面の維持・管理をより合理的に行うねらいで、凍着面の安全性評価を行ってきた^{1),2)}。凍着強度にはさまざまな因子が影響を及ぼすが、不凍水が凍着強度に及ぼす影響を調べた研究例は少ない。本報では、RC 構造物を想定したモルタルと砂および粘土凍土との凍着せん断強度実験を、氷点付近から不凍水分量が極めて少ない低温度までの範囲で行い、不凍水分量が凍着せん断強度に及ぼす影響を調べた。

2. 実験方法 (a) 供試体作製方法 図1に引拔型凍着せん断強度実験³⁾の模式図を示す。モルタル被凍着体は、早強セメントと豊浦砂と水を 100 : 100 : 45 の重量比で混合したモルタルを 80A 鋼管の周囲に付着させ、2 週間以上水中養生して作製した。この円筒状の被凍着体の周りに水で飽和させた豊浦砂または藤の森粘土を充填した後、半径方向に急速一次元凍結させた。最後に、凍土の鉛直方向の長さを 100mm に整形したものを供試体とした。なお、試料充填前にモルタル表面を#80 サンドペーパーで磨き、実験ごとに表面状態を揃えた。

(b) 実験手順 図2に供試体作製後から載荷までの実験手順を示す。-2~-20℃の実験(以下、高温実験)では、所定の温度に保たれた低温室内で供試体を 24 時間以上温度養生した後、載荷を行った。実験温度は実験装置付近に置いたダミー供試体の温度とした⁴⁾。実験中の温度のゆらぎは±0.2℃以内であった。-20℃より低い温度の実験(以下、極低温実験)では、ドライアイスとエタノールとを混合した-79℃の溶液中に供試体を浸して、供試体全体が一定温度に到達するまで冷却した。その後、-10℃に設定した低温室内で供試体温度が所定の温度に上昇するまで養生した後、載荷を行った。なお、低温室内と供試体の温度が異なるため、図1に示した凍土内部と鋼管内面の位置に熱電対を設置し、凍

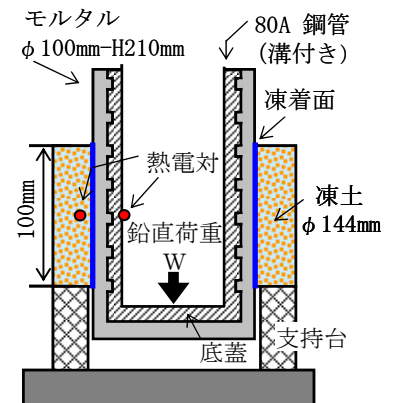


図1 引拔型凍着せん断強度実験の模式図

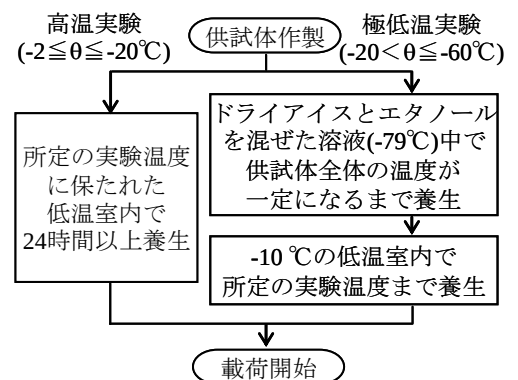


図2 実験手順

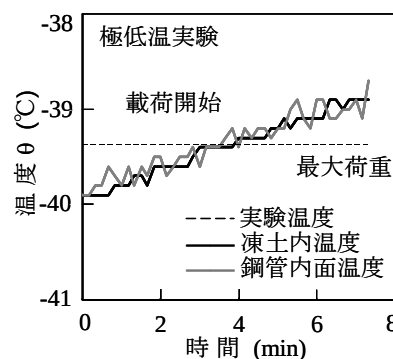


図3 供試体温度の経時変化の例

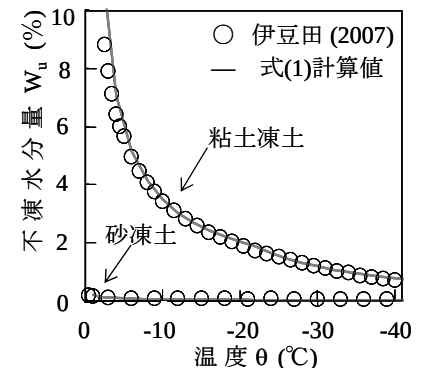


図4 温度と不凍水分量との関係⁵⁾

着面を挟むようにして供試体温度を測定した。数回の実験で、凍土内の温度分布が±0.5℃以内であることを確認している。図3に極低温実験の載荷中における供試体温度の経時変化の例を示す。いずれの実験でも載荷開始から最大荷重に達するまでの温度上昇は1.5℃以内であった。実験温度は全測温点の温度を平均して求めた。また、実験では変位速度を 0.1mm/min に設定した。凍着せん断強度 τ_{fs} は最大荷重を凍着面積で除して求めた。

(c) 温度 θ から不凍水分量 W_u への換算 豊浦砂および藤の森粘土における温度 θ と不凍水分量 W_u との関係⁵⁾を図4に示す。以下では式(1)によって θ と W_u との関係を表す。ここで、A、Bは実験定数で、砂凍土・粘土凍土

キーワード 凍着せん断強度、凍土、不凍水分量、モルタル

〒542-0066 大阪府中央区瓦屋町 2-11-16 TEL.(06)6768-5031(代) FAX.(06)6768-1508

それぞれ実測値に最小2乗法を適用して定めた．実験各点について，実験温度を式(1)に代入して W_u を求めた．

$$W_u = A \cdot (-\theta)^B \quad (1)$$

3. 実験結果 (a) 温度依存性 図5に温度 θ と凍着せん断強度 τ_{fs} との関係を示す．砂凍土の場合，温度の高い範囲では θ の低下に伴って τ_{fs} が増加するが，より θ の低い範囲では τ_{fs} の温度依存性は明確ではなくなる．粘土凍土の場合，いずれの温度範囲でも θ の低下に伴って τ_{fs} が増加しているが， θ が低下するにつれて， τ_{fs} の増加勾配はなだらかになる．両者の τ_{fs} を比較すると， -20°C より高い温度では砂凍土の τ_{fs} の方が大きい，それより低い温度では両者の大小関係は判別しづらくなる．

(b) 不凍水分量依存性 図6に不凍水分量 W_u と凍着せん断強度 τ_{fs} との関係を示す．砂凍土の場合， -10°C よりも温度が高い範囲では W_u の減少に伴って τ_{fs} は増加するが，さらに θ が低下して W_u が減少すると，その傾向は明確でなくなる．粘土凍土の場合，いずれの温度範囲においても θ が低下して W_u が減少すると τ_{fs} は増加する．

4. 考察 図7に凍着面の模式図を示す．凍着面であるモルタル表面には土粒子，氷，不凍水が接しているが，凍着に寄与する要素は氷の付着力である．本実験では，実験後のモルタル表面に凍土の付着がなく，かつ凍土の表面にもモルタルの付着がなかったことから，凍土内部またはモルタル内部でのせん断破壊は生じず，凍着面のせん断破壊のみが生じたと推定される．そのため， τ_{fs} は凍着面の氷の付着力によって左右される．そこで，間隙比と W_u から凍着面積に対する氷の付着面積比を求め， τ_{fs} との関係を整理した．図8に示すように，粘土凍土では θ が低下して氷の付着面積比が増加すると τ_{fs} も増加しているが，砂凍土では θ が低下しても氷の付着面積比はほとんど変化しないにも関わらず， τ_{fs} は大きく変化している．また，図5より， -20°C より高い温度範囲では粘土凍土より氷の付着面積比が少ない砂凍土の方がより大きな τ_{fs} を示している．これらの結果は， τ_{fs} が氷の付着面積以外の因子にも影響を受けていることを示唆している．今後，氷の付着強度の温度依存性や土の粒径分布など，他の因子の影響を調べていきたい．

5. まとめ モルタルと砂凍土および粘土凍土との凍着せん断実験を行った．結果を以下に挙げる．

- ・砂および粘土凍土とも，温度低下に伴って凍着せん断強度は増加するが，砂凍土では温度がより低い範囲で温度依存性が明確ではなくなる．
- ・ -20°C より温度が高い範囲では粘土凍土より砂凍土の凍着せん断強度が大きく， -20°C より低温では両者の大小関係は判別しづらくなる．
- ・砂および粘土凍土とも不凍水分量が減少すると凍着せん断強度が増加するが，砂凍土では不凍水が極少量の範囲で不凍水分量が凍着せん断強度に及ぼす影響が小さくなる．
- ・砂凍土では氷の付着面積がほとんど変化しないにも関わらず凍着せん断強度が大きく変化すること，粘土よりも氷の付着面積の少ない砂凍土の方が大きな凍着せん断強度を示すことから，凍着せん断強度は氷の付着面積以外の因子の影響も受ける．

文献 1)上田他(2004):雪氷,Vol.66,No.2,197-205. 2)隅谷他(2007):雪氷,Vol.69,No.3,347-356. 3)隅谷他(2011):地盤工学会研究発表会,957-958. 4)高志他(1981):土木, No.315,83-93 5)伊豆田他(2007):材料, Vol.56,No.1,74-81

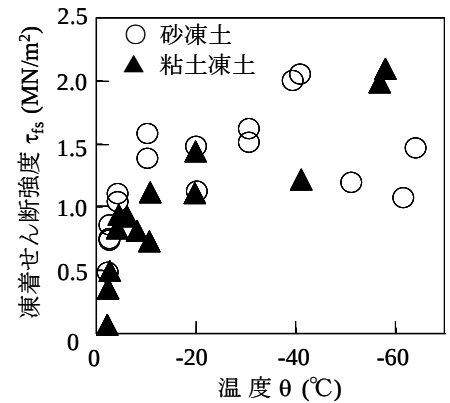


図5 温度と凍着せん断強度との関係

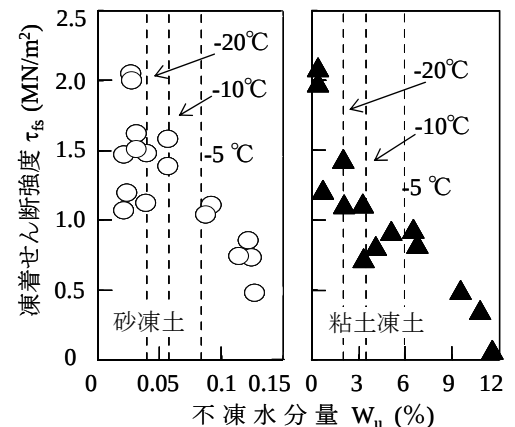


図6 不凍水と凍着せん断強度との関係

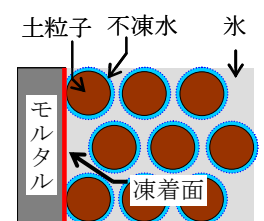


図7 凍着面の模式図

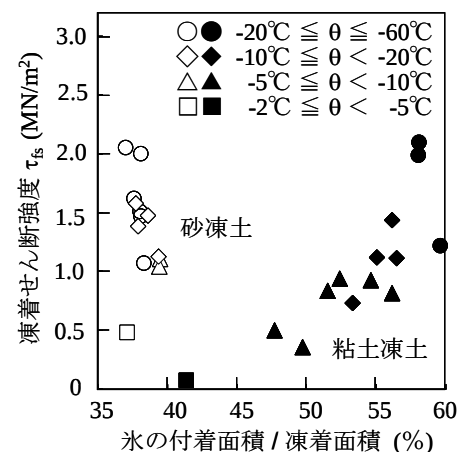


図8 氷の付着面積と凍着せん断強度の関係