

凍着条件の差異が凍着せん断強度に及ぼす影響

Effects of Differences in Freezing conditions on Adfreeze Strength

北海道大学工学部 ○学生員 笹 祐也 (Yuya Sasa)
 北海道大学大学院工学研究院 フェロー 蟹江 俊仁 (Shunji Kanie)
 北海道大学大学院工学研究科 学生員 古川 無何有(Mukau Furukawa)

1. はじめに

凍着とは、「二つの物体の間に水がある場合、その水の凍結により、物体間の氷による接合が生じること」である。本実験では直接せん断試験を行い、せん断面の接着強さである凍着せん断強度を取り扱っている。

寒冷地域では凍着凍上の現象が連成することによって、土木構造物が持ち上がるという被害が報告されている。このような被害を防ぐために、凍着せん断強度を正確に評価下で構造物の設計や管理をする必要である。

凍土と構造物が凍着した際、その凍着強度は構造物の材質、凍着温度、凍結時間等に依存することが既往の研究でわかっている。昨年までの研究では、凍着せん断強度に影響を与える要因として、時間などの外的要因や、凍着試料の条件などの内的要因について着目していた。

本研究では、これまでのデータを基に今までわかっていた外的要因である時間依存についての詳細な傾向や、内的要因である凍着試料の条件を変えた時、特に性質を変えたとき、どのように凍着せん断強度に影響するのか解明することを目的とする。

2. 実験概要

被凍着材料（凍着物質と凍着させる材料）を円柱形の供試体（円柱の断面の直径：5cm）の型にはめ込んで、その上から凍着物質となる標準砂やシルトを水にとかしたものを流し込んで一定の高さまで充填させて、 -10°C で凍着させて必要な時間だけおく。できあがった供試体を型から外して、凍着せん断試験装置のせん断箱に装填する。ここで、凍着せん断試験装置を図-1に示しておく。

凍着せん断強度は、上部せん断箱を固定し下部せん断箱の水平方向にせん断ひずみ速度 $1\%/min$ の一定なせん断力を加え計測する。また、凍着せん断強度は、計測された最大荷重を凍着面積で除した値である。

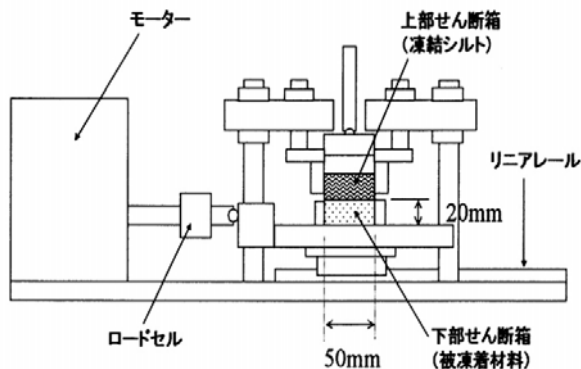


図-1 凍着せん断試験装置

3. 時間依存に関する実験

3. 1 実験背景

昨年までの研究では凍結時間が長くなると、凍着せん断強度が高くなるという結果を得ていた。しかし、昨年までの研究では、凍結時間が短いものに限定して、また、そのデータの絶対数も足りていなかった。そこで、本実験では、昨年よりもデータ数を増やして、より長時間凍結させることによって、凍着せん断強度がどのような挙動を示すのかを調べた。

3. 2 方法

凍結時間が凍着せん断強度に与える影響を調べるために、凍結時間以外の条件を同じにする必要がある。

そこで、被凍着材料に鏡面仕上げを行い、さらに金属洗浄を施したスチールを用いた。これは、表面粗度とぬれ性が凍着せん断強度に及ぼす影響を排除するためである。

また、凍着試料には含水比 40%の粉碎石英シルトを用い、供試体の凍着試料の高さを 2cm とする。さらに、凍結温度など他の条件をすべて同じにする。これによって、凍結時間の違いのみに着目することができる。

本実験では凍結時間を 48 時間から 24 時間おきに 168 時間までの、48, 72, 96, 120, 144, 168 の 6 ケースに加え、500 時間、750 時間、1000 時間の長時間養生した供試体の凍着せん断強度を測定した。

3. 3 結果と考察

実験により得られた最大せん断強度と供試体の養生時間の関係を図-2に示す。

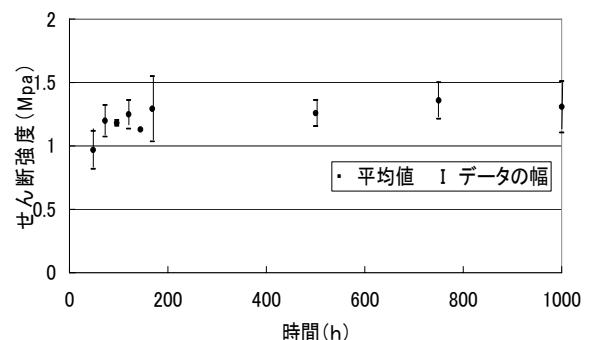


図-2 スチールとシルトの凍着せん断強度—時間

図-2 より、凍結時間が長くなるほど、せん断強度は大きくなっていくが、凍結時間が 120 時間の辺りから、せん断強度の増加率が緩やかになっていき、500, 750, 1000 時間と長時間凍結させると、ある一定の値に収束していくことがわかる。

これは、焼結という現象によって凍土中の間隙氷の付着面積が

時間経過に伴い増加していったからではないかと考えられる。しかし、その材料表面の氷の付着面積の増加には限界があるため、凍結時間が一定以上になると、図に示したように凍着せん断強度は収束していったと考えられる。

4. 凍着物質の条件に関する実験

4. 1 実験背景

昨年までの研究では、凍着せん断強度の大きさを決定する影響因子として、被凍着材料の内的要因である表面粗度や表面のぬれ性が挙げられていた。また、凍着（水の場合は着氷）試料が凍着せん断強度に与える影響に着目した実験では、豊浦標準砂、粉碎石英シルト、純水の順に高い値を示した。これは、内部摩擦角やダイレタンシーとも関連する試料内部での粒子間の「かみ合わせ」のようなものが凍着せん断強度に影響を及ぼしていると考えた。本研究では、粒子間の干渉による効果を「かみ合わせ」と称して検討を行った。

4.2 方法

被凍着材料として、スチールを用いて、その表面粗度などの内的要因やその他の条件を時間依存に関する実験のときと同じにする。ただし、凍結時間を48時間とする。それによって、凍着試料の違いのみに着目することができる。

また、凍着試料を豊浦標準砂とガラスビーズとした。豊浦標準砂の粒径にはばらつきがあり、粒子の形状も異なっている。それによって、凍着した際に「かみ合わせ」が発生している。また、一方のガラスビーズの場合は粒径がすべて等しく、形状もすべて同じであるため、「かみ合わせ」はほとんど発生しないものと思われる。

凍着試料とその含んでいる水の重量の比を2対5と一定にし、凍着試料となる豊浦標準砂とガラスビーズの重量を20, 40, 60, 80 gと変えて、それぞれ実験を行った。

豊浦標準砂の粒径は平均0.2mm、またガラスビーズの粒径は0.1mmのものを使用し、どちらの凍着試料も型枠に衝撃を与え密詰め状態にしてから注水を行った。

以上の条件の凍着せん断強度を比較することで、凍着試料の「かみ合わせ」が凍着せん断強度に及ぼす影響を見ることができる。

4.3 結果と考察

実験により得られた、凍着試料の投入量と凍着せん断強度の関係を図-3に示す。点線は、純水の凍着せん断強度を表している。

図-3より、凍土における水と標準砂の投入量の比が一定の場合、凍土に含まれる標準砂の投入量が大きくなるほど凍着せん断強度は高くなっていくことがわかる。これは、標準砂の投入量が大きくなると、標準砂が積み重なることによって、標準砂と被凍着材料との接着面におけるかみ合わせが強くなるためだと考えられる。また、凍着試料としてガラスビーズを用いた場合、ガラスビーズの投入量に関わらず、凍着せん断強度は一定の値を示していた。また、図3から見て取れるように、この凍着せん断強度の値は、純氷が着氷したときのせん断強度とほぼ同じ値を示している。すなわち、凍着試料にガラスビーズを用いて凍着させた場合、凍着せん断強度は高くないと思われる。

これは、ガラスビーズの性質より、凍着させても「かみ合わせ」がないため、純氷が着氷した場合とほぼ同じ凍着せん断強度を示したのではないと思われる。

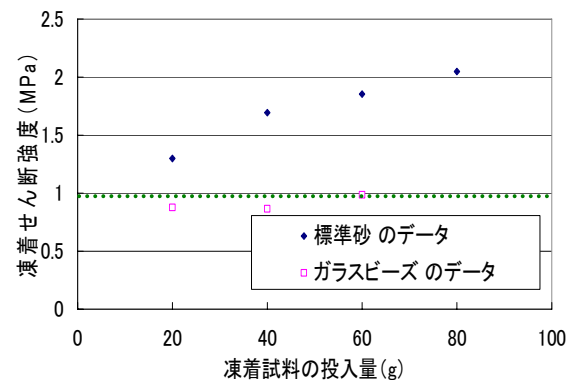


図-3 凍着試料の投入量と試料に含む水の重量の比が2対5のときの凍着せん断強度－凍着試料の投入量

5. 結論

凍結時間が長くなると、凍着せん断強度は増加していき、次第に収束していった。これは凍土中の間隙氷が材料表面で焼結し、材料表面の氷の付着面積が増加していったからだと考えられる。しかし、その表面の付着面積の増加には限界があるため、本実験のようにある凍結時間を境に、凍着せん断強度は一定値に収束していくものと思われる。

凍着試料に標準砂を用いた場合の凍着せん断強度は純水のせん断強度に比べ高い値を示した。さらに、標準砂の投入量を多くしていくと、それに伴い凍着せん断強度も大きくなっていった。また、凍着試料にガラスビーズを用いた場合、凍着せん断強度は純氷が着氷した場合とほぼ等しくなり、投入量の変化による影響を受けなかった。

以上の結果から、凍着試料の「かみ合わせ」が凍着せん断強度に影響を与えているのではないかと考えられる。

また、本研究では凍着試料の投入量で条件を評価していた。しかし、凍着試料の「かみ合わせ」を考える際には、凍着試料の厚さや有効応力といった評価方法を検討する必要がある。

今後は、かみ合わせを定量的に評価する方法を見つけることや凍土中の土粒子の投入量を増やしたときに、凍着せん断強度が収束するのかを解明するのが課題である。

参考文献

- 1) 土質工学会編：土の凍結－その理論と実際－，土質工学会改訂版，pp55，1994年
- 2) 上田保司等：凍着面の垂直応力が凍土のせん断強度に及ぼす影響，日本雪氷学会誌 66巻2号，pp197－205，2004年
- 3) 大浦浩文：土の凍着力について，北海道大学低温科学研究所低温科学物理編 19巻，pp215－221，1960年
- 4) 米谷仁矩：材料物性と凍着条件の差異が土の凍着せん断強度に及ぼす影響，北海道大学平成21年度卒業論文，2010