

グラウンドアンカーの断熱凍上対策に関する実物大試験

(国研) 土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○御厩敷 公平, 林 宏親, 佐藤 厚子
日特建設株式会社 正会員 池田 淳, 非会員 飯塚 孝之
日本基礎技術株式会社 正会員 中村 剛

1. はじめに

北海道のような寒冷地においては、グラウンドアンカー（以降、GA）等の法面安定構造物が地盤（法面）の凍上融解により損傷する事例が確認されている¹⁾。筆者らは凍上の3要素²⁾といわれる「温度」、「水分」、「土質」のうち温度に着目し、断熱による凍上対策に関する試験を続けてきた^{3) 4)}。本稿では、実物大試験によりGAに作用する凍上力の把握と、断熱による対策効果の確認結果について報告する。

2. 試験方法

試験場所は積雪が少なく冬期の気温が低い北海道苫小牧市にある試験フィールドである。試験地盤を図1に示す。表層90cmは高い凍上性が認められる火山灰質粘性土(凍上速度 $U_h=0.78\text{mm/h}$)により締固め度90.6%で置換している。90cm以深は、石炭灰、軽石混じり火山灰、泥炭・腐植混じり土、火山灰と比較的軟らかい土質が続く、12m以深は比較的硬い土質となっている。水平に造成した試験地盤にGAを鉛直方向に施工した。

図2、表1に各GAの諸元と対策手法を示す。いずれのGAも鋼製の独立型受圧板である。GA-1は凍上によるアンカーの破断を観測するためのケースで、GA-2とGA-3に対し鋼材の極限荷重が低く、初期定着荷重を降伏引張力程度まで上げ、凍上を抑制するような対策は施していない。GA-2とGA-3はXPS（押出法ポリスチレンフォーム）、FFU（強化プラスチック発泡体）を受圧板の下面に設置し、各々の凍上抑制効果を把握するケースである。XPSは建築や土木において使用される一般的な断熱材の一つで、FFUは過年度調査⁵⁾によりその断熱効果が確認された独立型受圧板の一種である。なお、ここで使用したXPSの厚さは5cm、FFUの厚さは6cmで、面積は同じ(2.400m×2.400m)である。また、各GAは互いに干渉しないように、アンカー頭部間距離で6mの間隔をもって設置した。GAに作用する凍上力は、受圧板と支圧板の間に設置した荷重計により計測した。受圧板直下（アンカー頭部から水平に30cmの距離）において、地表面から深さ50cmまで10cm間隔（地表面を含む）で地中温度の計測を行い、断熱対策の効果を把握した。

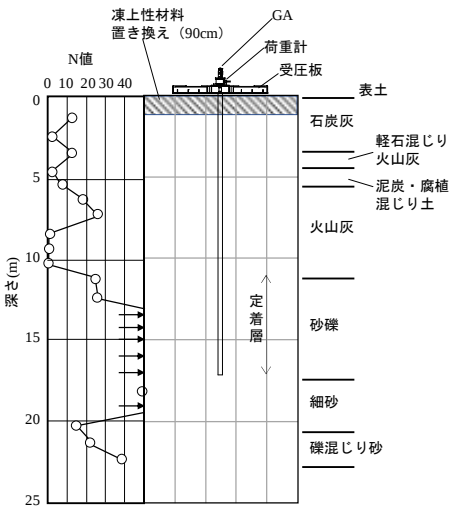


図1 試験地盤

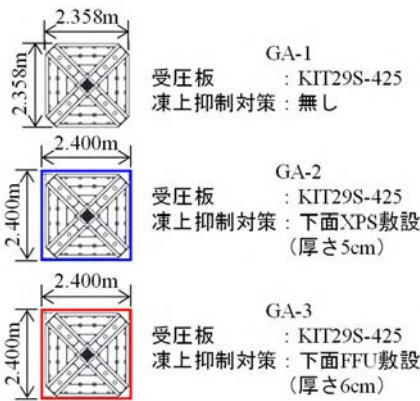


図2 試験条件

表1 グラウンドアンカー (GA) の諸元

	アンカー仕様	降伏引張力 (kN)	極限引張力 (kN)	定着荷重 (kN)	見かけ自由長 (m)	定着長 (m)	受圧面積 (m ²)	凍上抑制対策	備考
		(カタログ値)						受圧板下面	
GA-1	PC鋼より線 φ 15.2×1	222	261	220	14.00	4.00	5.37	無対策	破断試験用
GA-2	多重PC鋼より線7本より	608	714		18.85	6.00		XPS (厚さ5cm) ⇨ 受圧面積 熱伝導率: 0.034 W/(m・K) (カタログ値)	凍上抑制効果検証
GA-3	φ 9.5×7				18.71			FFU (厚さ6cm) ⇨ 受圧面積 熱伝導率: 0.077 W/(m・K) (カタログ値)	

キーワード 凍上, 断熱, グラウンドアンカー, 実物大試験

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34 (国研) 土木研究所寒地土木研究所
TEL 011-841-1709

3. 試験結果

原位置の日平均気温 (°C) と日平均気温の累積値 (°C・days) を図3に示す. 2021-2022 年における凍結指数は 525°C・days であり, 2022-2023 年における凍結指数は 554°C・days であった.

図4に各 GA の受圧板直下の凍結深さの推移を示す. 凍結深さは地中温度計測結果を基に, 温度勾配から 0°C の深度を算出し, その深度を凍結深さとした. 2021-2022 年における最大の凍結深さは, GA-1 が 50cm (地中温度計測の最深), GA-2 が 24.5cm, GA-3 が 32.5cm であり, 凍結が計測された期間は, GA-1 が 117 日, GA-2 が 36 日, GA-3 が 97 日だった. 凍上対策を施した GA-2 と GA-3 は無対策の GA-1 と比べて, 最大の凍結深さが抑制される結果となった. また, 凍上対策を施すことで, 冬期の寒気進入による地盤の凍結を抑制する効果と, 融解期には無対策の場合よりも早期に凍結が解消される傾向が確認された.

図5に各 GA の受圧板に作用した凍上力の推移を示す. 無対策の GA-1 では 2021-2022 年に極限引張力 (261kN) を超える荷重が作用し, 2022-2023 年初冬期に凍結の進行に伴う凍上力の増加時に破断が確認された. アンカーを確認したところ, アンカー頭部の定着くさびの位置で, アンカーが破断している状況であった. 今回定着荷重を降伏引張力付近まで上げた特殊な条件下ではあるが, 凍上により破断に至り得ることが確認された. 凍上対策を施した GA-2 と GA-3 の比較より, 凍結深さが浅く, 凍結期間が短い GA-2 は凍上力が大幅に抑制されていることが確認できる.

2022-2023 年は 2021-2022 年よりも凍結指数が大きかったため寒冷な条件であったといえる. しかし, 2022-2023 年の方が凍結深さは浅い傾向 (図4 GA-1, GA-2) にあり, 凍上力も低い (図5 GA-2, GA-3) 結果となった. 原位置の水の影響 (凍上は水の供給がなければ発生しないため) や積雪深, 日射の影響を含め, さらなる検討が必要と考える.

4. まとめ

法面安定構造物のひとつであるグラウンドアンカーの凍上対策として断熱対策に着目し, 実物大試験により GA に作用する凍上力の把握と, 断熱による対策効果を確認した. 無対策の条件では極限引張力を超える荷重が作用した翌年に凍上によるアンカーの破断が確認された. 断熱対策として, 受圧板下面に XPS (厚さ 5cm) と FFU (厚さ 6cm) を敷設した条件では, 無対策と比較して凍結深さが抑制される結果となり, 断熱対策の有効性が確認された.

参考文献 1) (公社)地盤工学会北海道支部 凍上対策工の調査・設計法に関する研究委員会: 斜面の凍上対策の調査・設計マニュアル (案), 2016. 2) 社団法人 土質工学会: 土質工学ライブラリー23 土の凍結-その制御と応用-, pp23-25, 1982. 3) 池田淳, 飯塚孝之, 山木正彦, 中村剛: グラウンドアンカーに作用する凍上力に関する試験施工, 基礎工, Vol.49, No.12, pp36-39, 2021. 4) 御厩敷公平, 山木正彦, 林宏親, 佐藤厚子: グラウンドアンカーに作用する凍上力抑制に関する試験施工, 寒地土木研究所月報, No.835, pp21-27, 2022. 5) 山木正彦, 佐藤厚子, 畠山乃, 池田淳, 飯塚孝之, 中村剛: グラウンドアンカーの凍上対策に関する試験施工, 土木学会全国大会年次学術講演会, No.75, III-304, 2020.

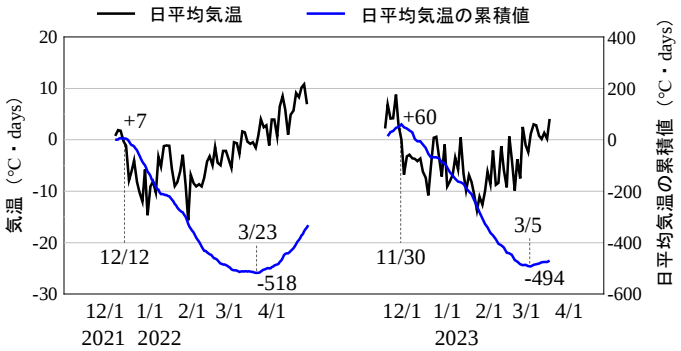


図3 気温の経時変化 (2021-2022 年, 2022-2023)

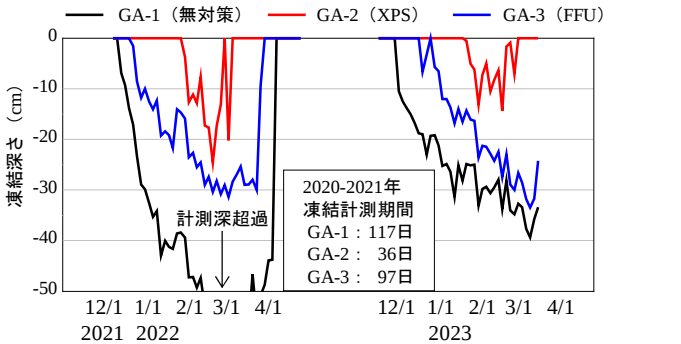


図4 グラウンドアンカー (GA) 直下の凍結深さの推移 (2021-2022 年, 2022-2023)

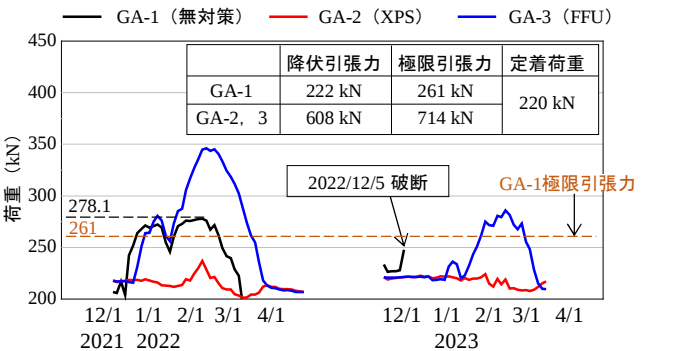


図5 グラウンドアンカー (GA) に作用する凍上力の推移 (2021-2022 年, 2022-2023)