

寒冷地におけるグラウンドアンカーの荷重挙動

土木研究所寒地土木研究所	○正 員	山木正彦 (Masahiko Yamaki)
同 上	正 員	佐藤厚子 (Atsuko Sato)
同 上	正 員	畠山 乃 (Osamu Hatakeyama)
日特建設株式会社	正 員	池田 淳 (Jun Ikeda)
同 上		飯塚孝之 (Takayuki Iiduka)
日本基礎技術株式会社		中村 剛 (Tsuyoshi Nakamura)

1. はじめに

北海道のような積雪寒冷地において、写真-1 に示すようにグラウンドアンカー工が凍上により損傷し、機能が低下することが問題視されており、維持管理上の課題となっている¹⁾。

そのような中、筆者らは、実態を把握するために北海道各地で施工されたグラウンドアンカーの冬期の荷重を測定し、①グラウンドアンカーの受圧構造物に作用する荷重は冬期間に増加し、春期には低下する、②その荷重増減は毎年繰り返される、という調査結果を得ている²⁾。

これらの結果を受け、グラウンドアンカー工の凍上に起因する損傷メカニズムを明らかにし、凍上対策技術を検討することを目的に、同一の地盤条件、自然環境下でグラウンドアンカーの諸元を変えた試験施工を行い、各種計測を行った³⁾。本報では新たなデータを加えるとともに、グラウンドアンカーの施工現場で計測した荷重の特徴的な経時変化を紹介する。

れ以外の荷重増減が見られず、凍上力といった特別な力が作用していないと思われる。図-1 (b) は、冬期に地中



写真-1 グラウンドアンカー頭部の変状

2. 現場における荷重の経時変化

北海道道内の法面における、あるグラウンドアンカー施工現場にて、複数のグラウンドアンカーに対し支圧板と支圧板の間に荷重計を設置し、受圧構造物に作用する荷重を計測（写真-2）するとともに、一部地中温度計測を行った。その中で、同一の法面での結果ではあるものの、その傾向・挙動に差異が確認された3つのグラウンドアンカーの結果を図-1 (a), (b), (c) に示す。なお荷重は図中 11/1 の値をゼロとし整理している。また地中温度計測を行った箇所については、法面表面から 40cm 深さの温度計測結果を併記している。

図-1 (a) は、リラクセーションにより時間とともに荷重が緩やかに減少していくことが確認されるものの、そ



写真-2 荷重計の設置状況

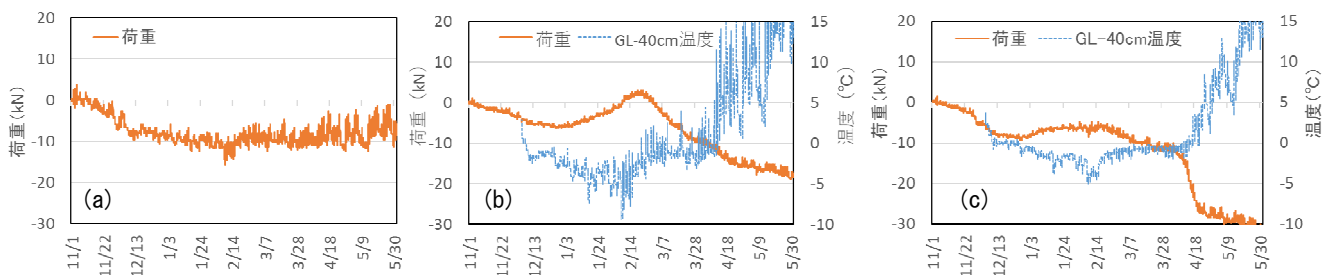


図-1 あるグラウンドアンカー施工現場における荷重の経時変化

温度がマイナスになった後、荷重が増加し、地中温度の増加に伴いその荷重が減少している挙動が確認された。これは凍上による荷重増減と思われる。図-1(c)は、現象としては図-1(b)と同様であるが、冬期に荷重増加が見られた後、春期に急激な荷重減少が見られた。

図-1(b)と図-1(c)に着目すると、ともに荷重低下量は図-1(a)より大きいものの、図-1(b)では春期の荷重低下傾向は冬期前の荷重低下（リラクゼーション）傾向と同様と見て取れる。一方で図-1(c)では、春期に生じた荷重低下は冬期前の荷重低下傾向とは異なり、急激な荷重低下が生じている。

以上のことから、限られたデータでのことで明言はできないが、①同一法面であっても、凍上が生じる箇所と生じない箇所があり、その発生状況が異なる、②凍上によりグラウンドアンカーに荷重が作用するが、春期にその荷重が除去された後に、凍上を受ける前と同傾向の荷重低下が見られるものと、急激な荷重低下が見られるものがある、ということが確認された。

図-1(b)のような挙動では、凍上力に耐えることができればその後は通常の荷重低下で済むため特別な問題は生じないが、図-1(c)のような挙動は凍上を受ける度に荷重が低下していくため、何らかの対策が必要になると思われる。

3. 試験施工

3.1 試験条件

(1) 地盤条件

凍上によって、グラウンドアンカー（以降 GA）に作用する荷重と温度の関係や具体的な凍上対策を検討するために、実物大の GA を用いた試験施工を行った。試験場所は、積雪が少なく、冬期の気温が低い苫小牧市にある寒地土木研究所苫小牧施工試験フィールドとした。

試験地盤は、表層の 90cm を、表-1 に示す凍上性の高い地盤材料（凍上速度 $U_h=0.78\text{mm/h}$ ）に置き換え、締固め度 99.8% で造成した（図-2 参照）。

(2) 計測方法

GA に作用する凍上力として、受圧板と支圧板の間に荷重計を設置し、受圧板に作用する荷重を測定した。また試験地盤の凍結状況を把握するために、気温の他、表面から深さ方向に 10cm 間隔（地表面を含む）で地中温度の計測を行った。荷重と温度は 1 時間毎に自動計測を行っている。その他、凍上による変位として、受圧板の高さを 2 週間に 1 回の頻度で測量により測定している。

(3) GA の諸元および施工

本試験では、GA の諸元の違いが凍上により受ける荷重等に及ぼす影響を把握するために、自由長、緊張力、受圧板の面積を変えた GA を準備し施工した。一般的にアンカー受圧板、アンカー配置間隔、地盤支持力（地耐力）と荷重（緊張力）により受圧板サイズ（面積）が決まるが、本試験では、受圧面積の違いによる凍上力の影響を調べるため、異なるサイズの受圧板を用いている。

表-1 凍上性材料の基本特性

地盤材料の工学的分類		SFG
自然含水比 $w_n(\%)$		48.7
締固め特性	最大乾燥密度 $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$	1.125
	最適含水比 $w_{opt}(\%)$	42.9
凍上性	凍上速度 $U_h(\text{mm/h})$ (締固め度 $D_c=94.6\%$)	0.78
トラフィカビリティ	コーン指数 $q_u(\text{kN/m}^2)$ (締固め度 $D_c=96.9\%$)	667

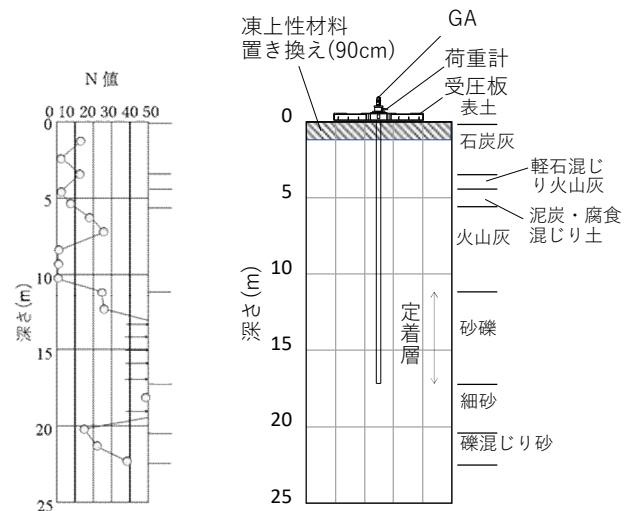


図-2 試験地盤

表-2 使用したグラウンドアンカー（GA）の諸元

	タイプ	定着 荷重 (kN)	許容荷重(kN)			見かけ 自由長 (m)	定着長 (m)	受圧 面積 (m ²)
			0.6T _{us}	0.9T _{ys}	0.9T _{ys}			
			(JIS)	(JIS)	(試験値)			
GA1	PC鋼より線 φ15.2×1	70	156.6	199.8	227.0	7.00	10.00	3.13
GA2						14.00	4.00	
GA3	多重PC鋼より線7本より φ9.5×7	70	428.4	547.2	648.0	18.85	6.00	5.62
GA4		235						
GA5		400						
GA6						18.71		

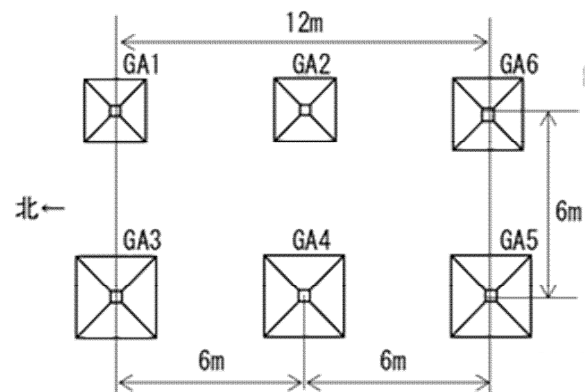


図-3 グラウンドアンカー（GA）設置平面図

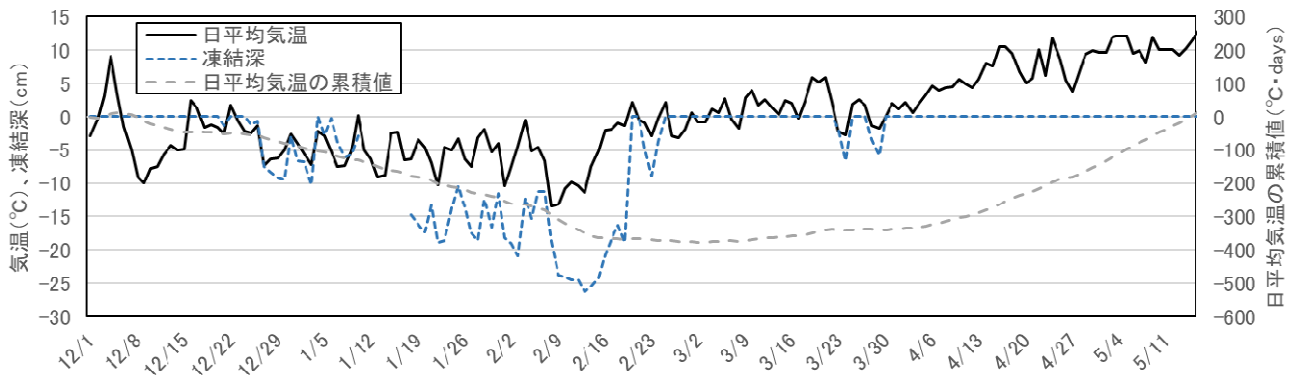


図-4 原位置における気象条件

GA の諸元を表-2 に記す。

なお本試験では、試験条件の明確さや、施工性を考え、GA を水平地盤に垂直に施工している。その配置は図-3 の通りである。

(4) 原位置気象条件

図-4 は原位置における気温と凍結深、日平均気温の累積値である。日平均気温は原位置で1時間毎に計測された気温の結果から算出している。凍結深は地表面から深さ方向に10cm毎に計測した温度(日平均温度)を基に、温度勾配から0°Cの位置を推定し、地表面を基準にその位置を図中に凍結深として記している。なお積雪深は計測期間において最大で13cm程度であった。

12/25 から地中に凍結が入り始め、2/13 に最大凍結深26.3cm を記録している。日平均気温の累積値は、12/5 に最大値12.5°C・days で、3/3 に最小値-377.3°C・days であった。よって原位置における凍結指数は389.8°C・days となる。道路土工要綱によると、苫小牧の10年確率凍結指数は370°C・days、20年確率凍結指数で410°C・days であることから、今回は比較的寒い条件下での試験であったといえる。

3.2 試験結果

図-5 に測量により得られた地盤(試験地盤)と受圧板の鉛直変位を示す。地盤の変位は最大で9.5cmであった。各GAにおいては、いずれも日平均気温の累積値がマイナスを示し、地盤が凍結し始める頃から変位が増加し、気温が上昇すると変位が減少することが確認される。その変位量を最大値と比較すると、GA2>GA4>GA5>GA1>GA6>GA3 となった。その差をもたらした明確な要因は現段階では不明だが、後ほど荷重との関係で考察を加える。また3月末から変位量がマイナスに移行している。先に記した通り締固め度99.8%と比較的高い密度で造成された地盤であるため、沈下することは想定しづらいが、測定精度も含め、凍上により地盤内に生じた応力の影響、もしくは圧密による沈下など、今後も原因を検討していく。

図-6 に各GAに作用する荷重を示す。図中にはGA定着時の荷重と本試験の許容荷重として表-2の0.9Tys(試験値)を併記している。なお図中の数値は、計測期間中の荷重の最大値である。いずれのGAについても、変位挙動と同様に、気温が低下し地盤が凍結し始める頃から受圧板に作用する荷重が大きくなっている。またそ

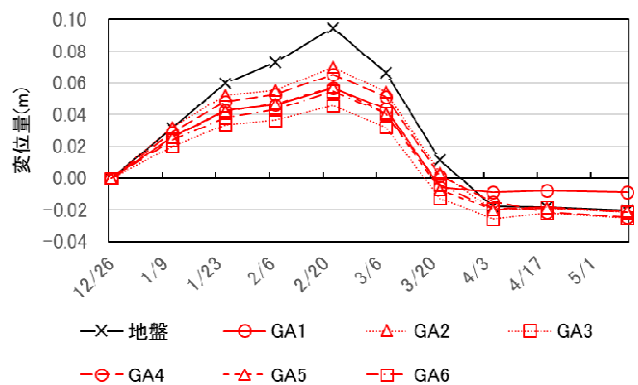


図-5 受圧板の変位

の荷重は、定着荷重を大幅に上回り、許容荷重に迫るものも見られた。この荷重は、気温や地中温度の推移から考えるに、地盤の凍上に伴う凍上力によるものと思われる。

次いで、各GAについて変位と荷重の挙動を比較する。GA1とGA2では、自由長の長いGA2の変位が自由長の短いGA1よりも大きく、作用する荷重はGA2の方が小さい。GA1とGA2では同じ引張材を使用しているが、自由長を長くすることで同一荷重に対する伸びの量が大きくなるため、凍上により変位量が大きくなるものの作用する荷重は抑制される結果が得られた。

定着荷重を変えたGA3、GA4、GA5では、定着荷重が大きいほど最大荷重が大きくなる傾向にある。このことは、本試験の定着荷重の範囲では、凍上力に抗することはできないことを示しており、凍上力が作用する箇所では、定着荷重の設定に注意を要することを示唆している。一方で、本試験においては、定着荷重が比較的小さいGA1、GA2、GA3では春期に荷重がゼロとなっている。これが凍上によるものか、地盤条件によるものか不明であるが、引き続き検討を行う。

受圧面積を変えたGA5とGA6では、単位面積あたりに働く凍上力は等しいことから、受圧面積の小さい方の凍上力が小さくなると考えられる。受圧面積の小さいGA6で若干凍上力が小さくなった。凍上力のみを考慮する場合は受圧板の面積を小さくすることで凍上力を抑制できる可能性がある。

受圧板に作用した最大荷重で比較すると、GA5>GA6

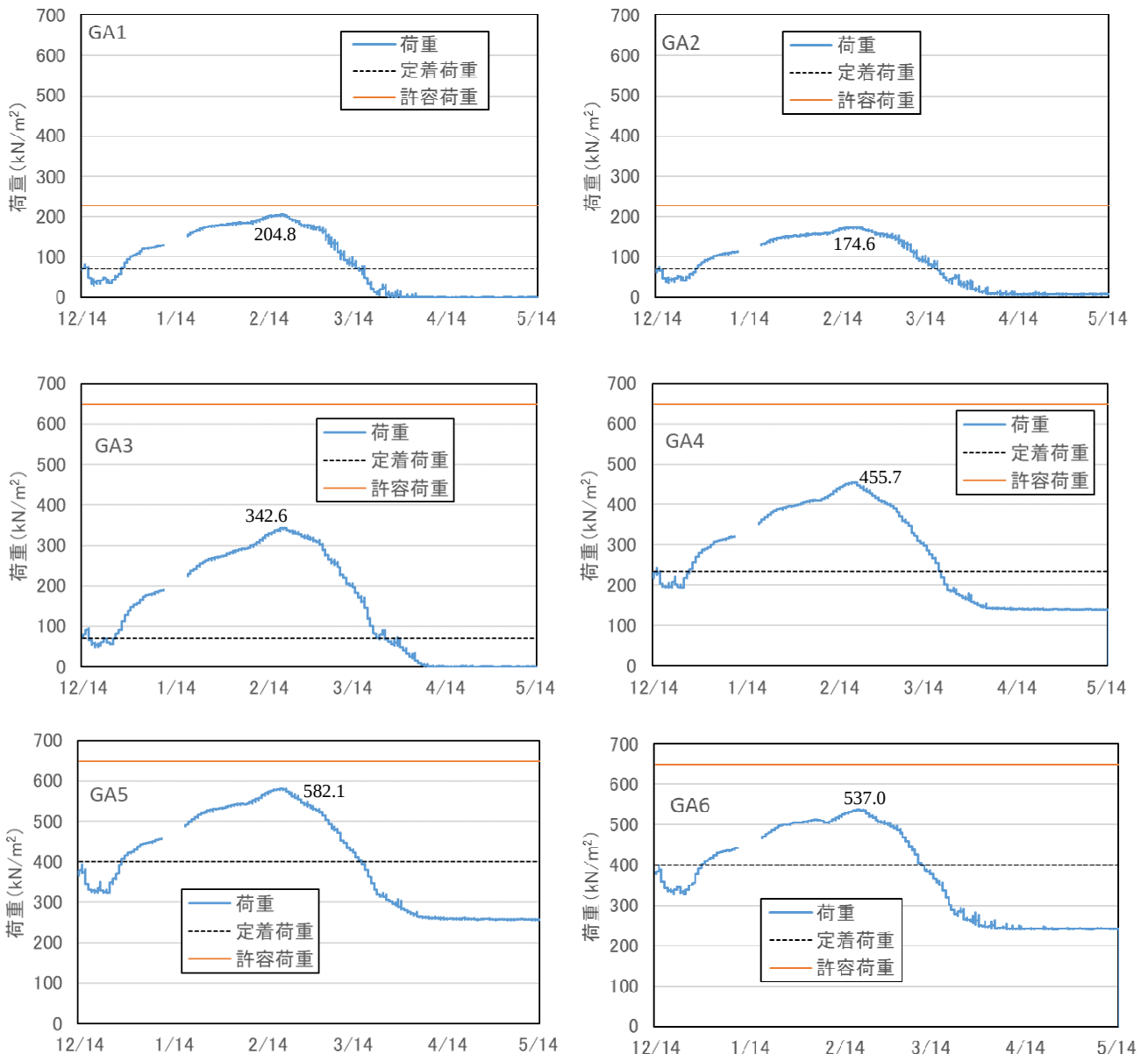


図-6 各グラウンドアンカー (GA) に作用する荷重の経時変化

>GA4>GA3>GA1>GA2 となった。先に述べた最大変位量との明確な相関は見えてこない。基本的に、GAに要求される性能を考えると、凍上による影響として、変位よりは荷重（アンカーの緊張力）に着目することが妥当と思われる。

4. まとめ

グラウンドアンカーに関する現地計測および試験施工の結果から以下の主たる結論を得た。

- ① グラウンドアンカーは冬期に凍上力を受けることで、春期にその荷重（緊張力）が低下することがある。
- ② グラウンドアンカーの自由長を長くする、定着荷重を小さくする、受圧面積を小さくする、ことで凍上力を抑制することができた。

引き続き、当該フィールドでデータを収集し、グラウンドアンカーの凍上対策について検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 社団法人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），2016.9.
- 2) 佐藤厚子，畠山乃，野上敦，安達隆征：グラウンドアンカー工および地山補強土工に作用する凍上力の測定例，地盤工学会北海道支部技術報告集 No.59, pp.177-184, 2019.
- 3) 佐藤厚子，畠山乃，池田淳，飯塚孝之，三上登，中村剛，三浦史也，京田裕二：実物大のグラウンドアンカー工および地山補強土工に作用する凍上力の測定，地盤工学研究発表会，No.54, pp.789-790, 2019.