



雪堆積場の雪山底部に設置する貯蔵庫の強度確認に関する基礎実験（その 2）

Primary experiment on the strength warehouse installed in the bottom of snow mound
in snow accumulation field (Part 2)

溝口光男¹, 鈴木邦康², 大築和夫³, 小野孝之³, 長田 勉³, 橋本 良明³

Mitsuo MIZOGUCHI¹, Kuniyasu SUZUKI², Kazuo OHTSUKI³, Takayuki ONO³, Tsutomu NAGATA³, Yoshiaki HASHIMOTO³

¹室蘭工業大学

¹Muroran Institute of Technology

²釧路工業高等専門学校

²Kushiro National College of Technology

³国策建設株式会社

³Kokusaku Co. Ltd.

1. 研究目的

冬期間の道路除排雪によってできる雪堆積場の雪山の雪を断熱・保冷材として利用することを想定し、雪山の底部に低温貯蔵庫を設置して利用する雪氷冷熱エネルギー利用が考えられている。このような、雪山の底部に設置される貯蔵庫には、貯蔵庫上の雪荷重および雪山製作中に使われるブルドーザーの荷重が加わることになり、これらの重みに耐えられる建築構造物とする必要がある。しかし、国内において雪山底部に設置した建築構造物の強度に関する研究は見当たらない。

本実験は、支柱や梁が無く、構造的にシンプルで鉄骨量も少なく、建設価格も安くなるベンダー式構造物の雪山底部貯蔵庫への転用の可能性を検討することを目的としている。本論文では、基礎の剛性が低く不同沈下を起こした前報¹⁾に引き続き、基礎剛性を高くした実際のベンダー式貯蔵庫を用いて行った、雪山から貯蔵庫が受ける圧力、貯蔵庫の変形およびひずみ度に関する長期モニタリング（場所：旭川市春光台雪堆積場，期間：2007 年 1 月 26 日～6 月 18 日）の結果について報告する。

2. 研究方法

2. 1 試験体

試験体は、図-1 に示すような屋根材に板厚 4mm の鋼板で製作されたデッキプレート (JIS G3352 規格品) を用いた

デッキプレートの断面性能
(JIS 3352 より 1m 幅あたり)

断面積

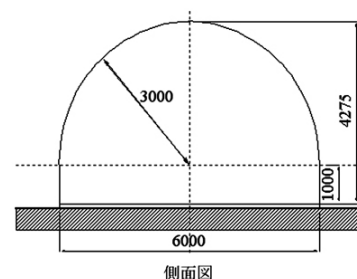
65.62cm²/m

断面二次モーメント

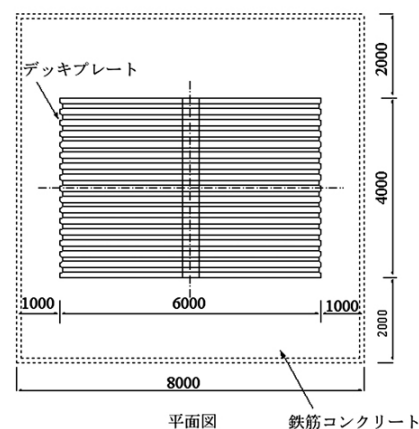
892cm⁴/m

正負曲げ用断面係数

178cm³/m



側面図



平面図

鉄筋コンクリート

図-1 試験体形状と寸法 (単位: mm)

アーチ形状をした貯蔵庫である。寸法は幅 6,000mm, 高さ 4,275mm, 奥行き 4,000mm であり, 脚部は四角形に組まれた H 形鋼 (H-150×150×7×10) の土台に溶接されたデッキプレート状波形鋼板に接合されている。屋根材のデッキプレートは, 下部の 1,000mm が直線状で, その上部が半径 3,000mm の弧状のアーチとなっており, アーチ頭頂部で 4.5mm 厚の鋼板により 2 枚のデッキプレートを接続している。デッキプレートの接続はすべて高力ボルトが使われているが, 防水のためワッシャーとともにパッキンを挟み込んでおり, 所定のトルクでは締めつけていない。

基礎は, 不同沈下防止のためスラブ厚 600mm の鉄筋コンクリート造べた基礎とし, 写真-1 のように地盤面に設置した。なお, この基礎と貯蔵庫の土台の H 形鋼とは, 基礎に縦方向に埋め込んだ H 形鋼 (土台と同寸法) と土台とを 6 ヶ所溶接して接続した。

2. 2 雪山の築造

実験場は旭川市春光台の雪堆積場であり, その南端隅に写真-2 のように試験体を設置して, 2007 年 1 月 29 日に雪山を築造した。

雪山は, 貯蔵庫周囲の雪高さが 1m ごとにほぼ均等となるように, ブルドーザーを用いて貯蔵庫の四方から雪を寄せて製作した。この様子を写真-3 に示す。貯蔵庫が埋まった後は, 高さ 7m (貯蔵庫上の雪厚約 3m) まではブルドーザーが貯蔵庫の上方へ載らないように注意して雪を貯蔵庫のまわりから上へ載せるようにした。雪山の高さが 7m に達した後は, ブルドーザーが貯蔵庫上へ載ることを許し, 高さ約 10m (貯蔵庫上の雪厚約 6m) の雪山を製作した。その後, 低下した雪山高さを復元させる作業を 5 月に行い, 2007 年 6 月 18 日に実験を終了した。

なお, 実験期間中に実測した地盤面からの雪山高さを表-1 に, 外気温の変動を図-2 に示す。

2. 3 計測項目と計測方法

貯蔵庫が雪山から受ける圧力の計測には, 写真-4 のような圧力計 (定格容量 100kPa) を使用した。圧力計の設置位置は, 図-3 に示すように貯蔵庫南面中央部の下から高さ



写真-1 基礎の状況



写真-2 試験体の設置場所



写真-3 雪山製作状況

表-1 雪山高さ

月 日	雪山高さ (m)
3月31日	10
4月19日	8.9
5月7日	7.9
5月15日	7.5
5月31日	9.5
6月20日	8.2

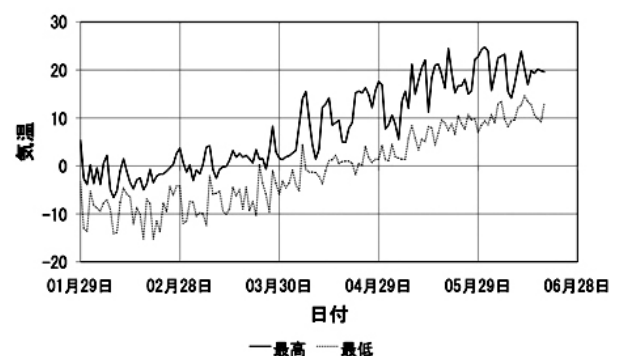


図-2 外気温の変動



写真-4 圧力計

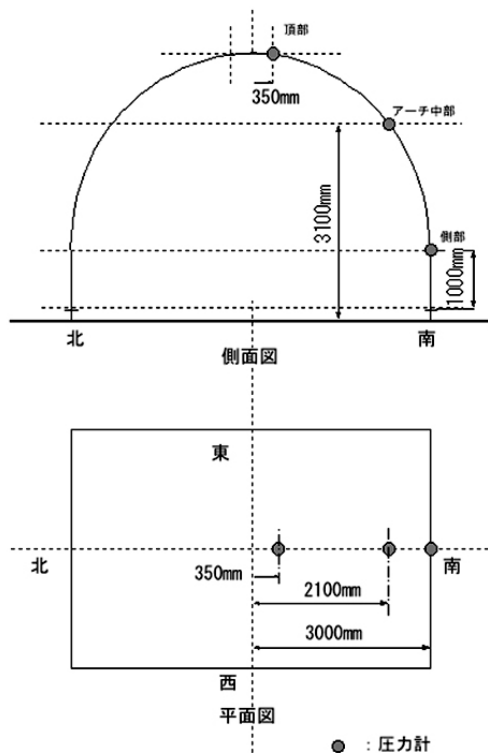


図-3 圧力計設置位置 (単位: mm)

1m, 3.1m およびアーチの頂部からアーチに沿って 350mm 南側の 3 箇所とした。

貯蔵庫の変形は, 図-4 に示すように貯蔵庫のアーチ桁行き中央部の変形3ヶ所と妻面の変形2ヶ所の合計5ヶ所を, 容量 25mm のひずみ抵抗式変位計で計測した。これらの変位計測は, 貯蔵庫の土台のH形鋼に溶接して組立・設置した計測フレームに変位計を取り付け, 標点として貯蔵庫内側表面の変位計測位置に溶接した鋼棒を利用して行った。

貯蔵庫のひずみ度の計測は, 図-5 に示すようなアーチ桁行き中央部の内側表面でデッキプレートの山と谷を対とした 8ヶ所と妻面の横架材 (チャンネル) 2ヶ所 (スパン中央で高さ方向の中央付近) に検長 2mm のひずみゲージを貼付して行った

3. 実験結果

3. 1 貯蔵庫が受ける圧力

雪山から貯蔵庫が受けた圧力について, 雪山築造時 (平

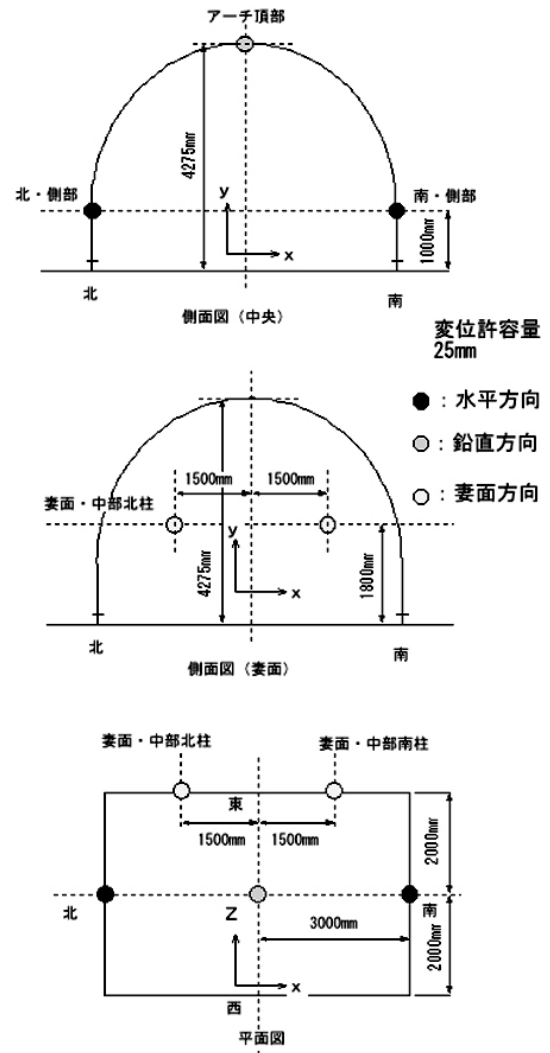


図-4 変位計設置位置 (単位: mm)

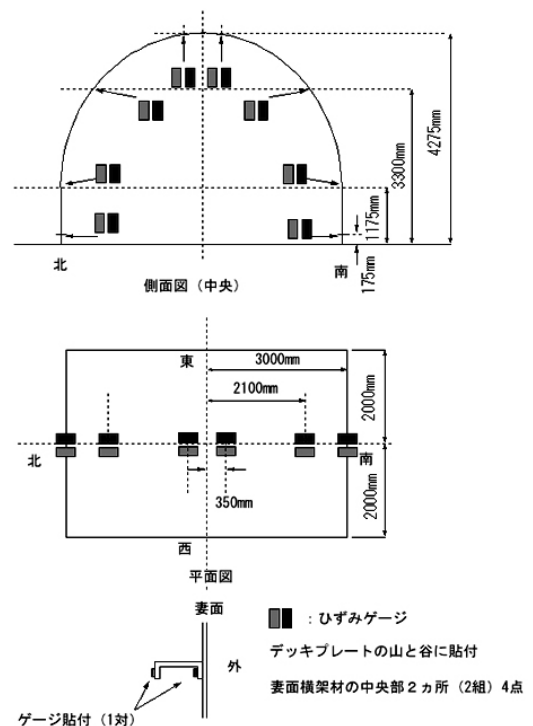


図-5 ひずみゲージ貼付位置 (単位: mm)

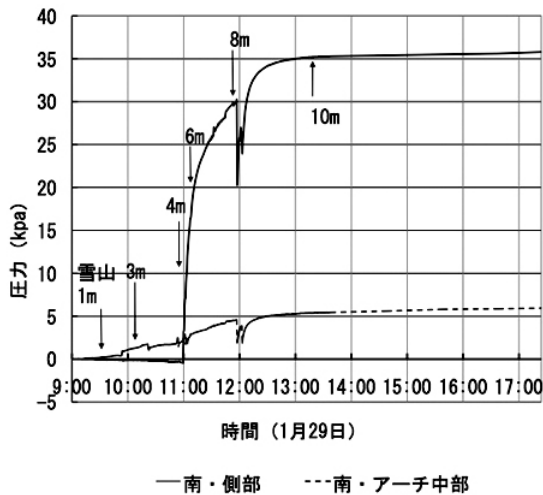


図-6 圧力と時刻 (雪山高さ)

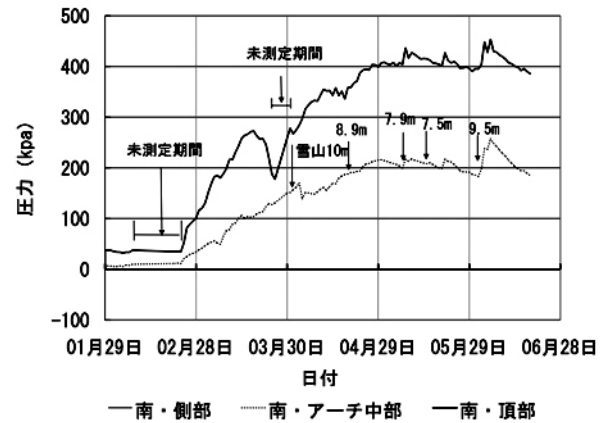


図-7 実験期間中の圧力の推移

成 19 年 1 月 29 日) の時刻との関係を図-6 に、実験期間中の推移を図-7 に示す。なお、図-6 の図中に示した雪山高さは、築造時に撮影した写真からの推定値であり、図-7 中の値は、表-1 の高さの実測値である。なお、図の圧力の符号は、引張を負、圧縮を正としている。

アーチの各部の圧力 (計測位置は図-3 参照) は、1 月 29 日の雪山高さ 10m 築造時では、側部で約 1kPa、中部で約 6kPa、頂部で約 36kPa となった。雪の単位容積重量 6.7kN/m^3 、貯蔵庫上の雪厚 6m と仮定した貯蔵庫頂部水平面の圧力計算値は約 40kPa であり、頂部の実験値はこの計算値に近い値を示している。

実験期間中の圧力の推移を見ると、2 月下旬から各部の圧力は大きくなりはじめ、頂部の増加割合が最も大きくなっている。使用した圧力計の定格容量 100kPa を、頂部では 2 月末に、アーチ中部と側部では 3 月中頃に上回る値となり、時間の経過とともに雪山築造時に比べて大きな圧力が加わっている。

3. 2 変形状況

雪山築造時の貯蔵庫各点の鉛直変位および水平変位 (計測位置は図-4 参照) を図-8、図-9 および図-10 に示す。図の変位の符号は、鉛直変位では上方向への変形を負、下方向への変形を正とし、水平変位では、貯蔵庫の外側方向への変形を正、内側方向への変形を負としている。

図-8 をみると、貯蔵庫頂部の鉛直変位は、貯蔵庫の側部が埋まるまでは上方向へ変形し、貯蔵庫全体が埋まる (雪山高さ 4m) あたりから雪山高さにほぼ比例して下方向へ変形するようになっている。なお、この鉛直変位の値は、雪山高さ 10m で約 10mm となっており、その後 2 時間ほどで変位計の容量を超える変形 (10.14mm) に達して計測できなくなっている。

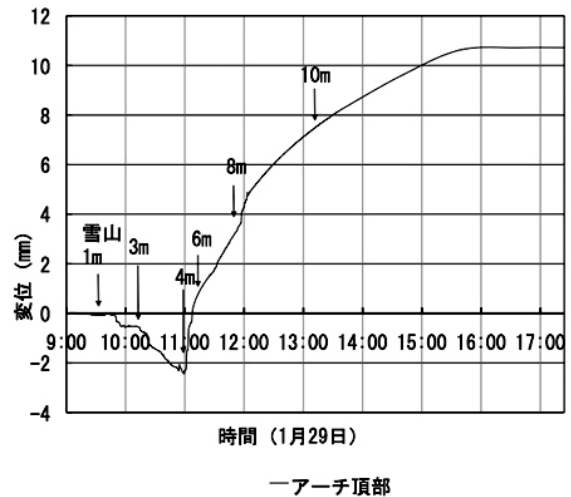


図-8 鉛直変位と時刻 (雪山高さ)

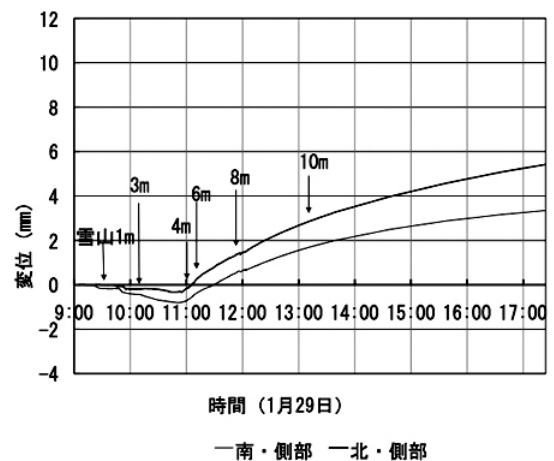


図-9 水平変位と時刻 (雪山高さ)

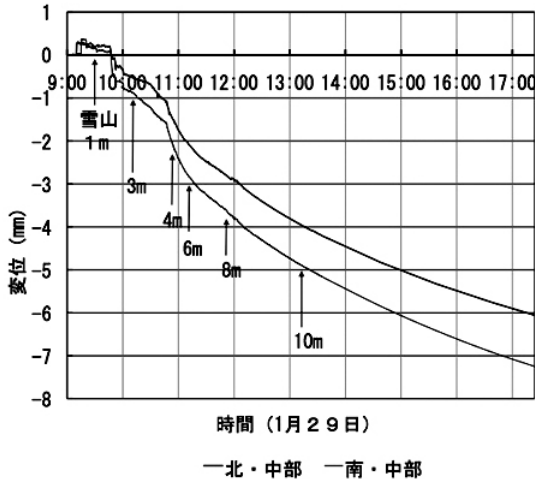


図-10 妻面の水平変位と時刻 (雪山高さ)

図-9 をみると、側部の水平変位は、貯蔵庫が埋まるまでは貯蔵庫内側へ少し変形し、その後、雪山高さにほぼ比例して貯蔵庫外側へ変形するようになっている。この外側への水平変位の値は、南面と北面で幾分差がみられるものの、雪山高さ 10m で平均 3.3mm 程度となった。その後、この水平変位は、北面では 1 ヶ月後の 2 月 28 日に変位計の容量を超える変形 (25mm) に達して計測できなくなっている。

図-10 の妻面の水平変位をみると、妻面の水平変位は雪山高さ 2m 位から、雪山高さに比例するようにして大きくなっており、雪山高さ 10m で平均 5.5mm 程度となっている。その後、2 月 1 日に変位計の容量を超える変形(北面:15.1mm, 南側:17.2mm) に達して計測できなくなっている。

3. 3 ひずみ度

貯蔵庫各点のひずみ度 (計測位置は図-5 参照) の実験期間中の推移を図-11, 図-12 に示す。それぞれの図はデッキプレート凹凸部のひずみ度 (室内側凸部を内側、凹部を外側と呼ぶ) であり、符号は引張を正、圧縮を負としている。デッキプレートの降伏ひずみ度は使用鋼材の降伏点規格値 295N/mm^2 からヤング係数を $2.05 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ として求めると 1440μ となる。

図をみると、雪山製作時 (1 月 29 日, 雪山高さ 10m まで製作) のひずみ度は、最大 170μ 程度であり、雪山製作時点では貯蔵庫は十分な余力を残している。実験期間中のひずみ度の推移をみると、内側のひずみ度の最大は引張が 5 月 15 日に北面脚部で 533μ , 圧縮が 4 月 7 日に北面中部で -1141μ として計測されている。また、外側のひずみ度の最大は引張が 5 月 15 日に北面側部で 1002μ , 圧縮が 6 月 5 日に南面脚部で -932μ として計測されている。これらひずみの最大値 1141μ は、降伏ひずみの 80% 程度の値となっている。

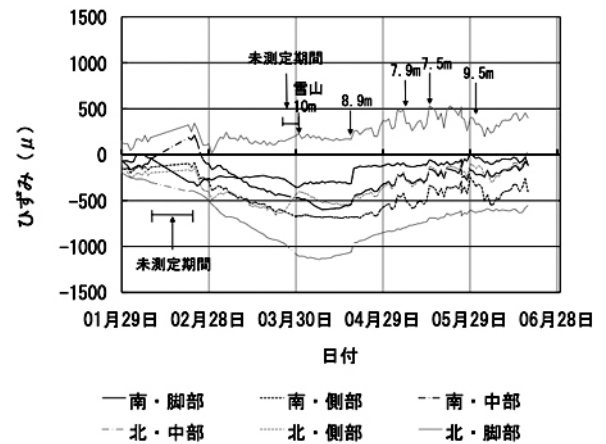


図-11 内側ひずみ度の推移

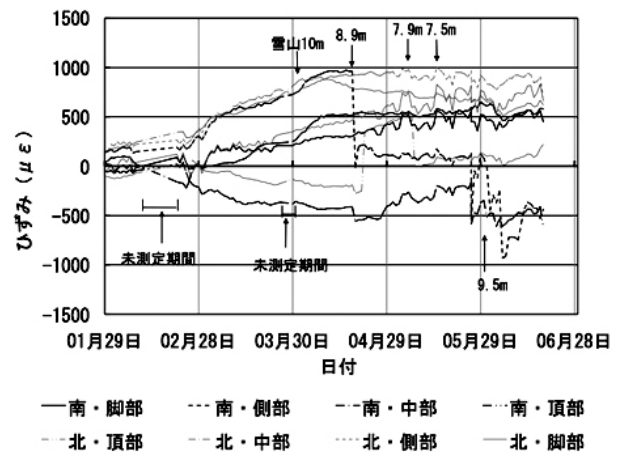


図-12 外側ひずみ度の推移

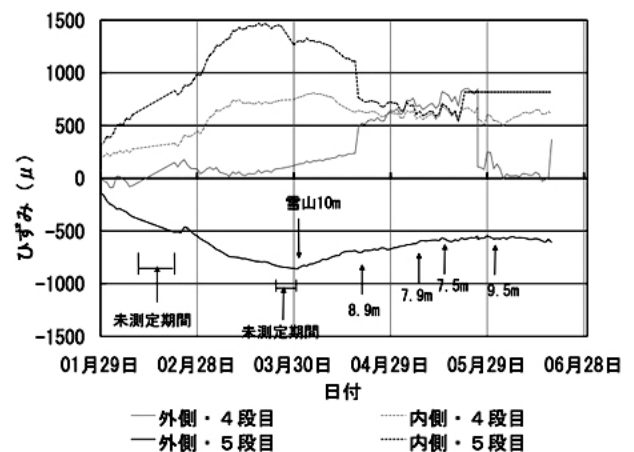


図-13 妻面横架材のひずみ度の推移

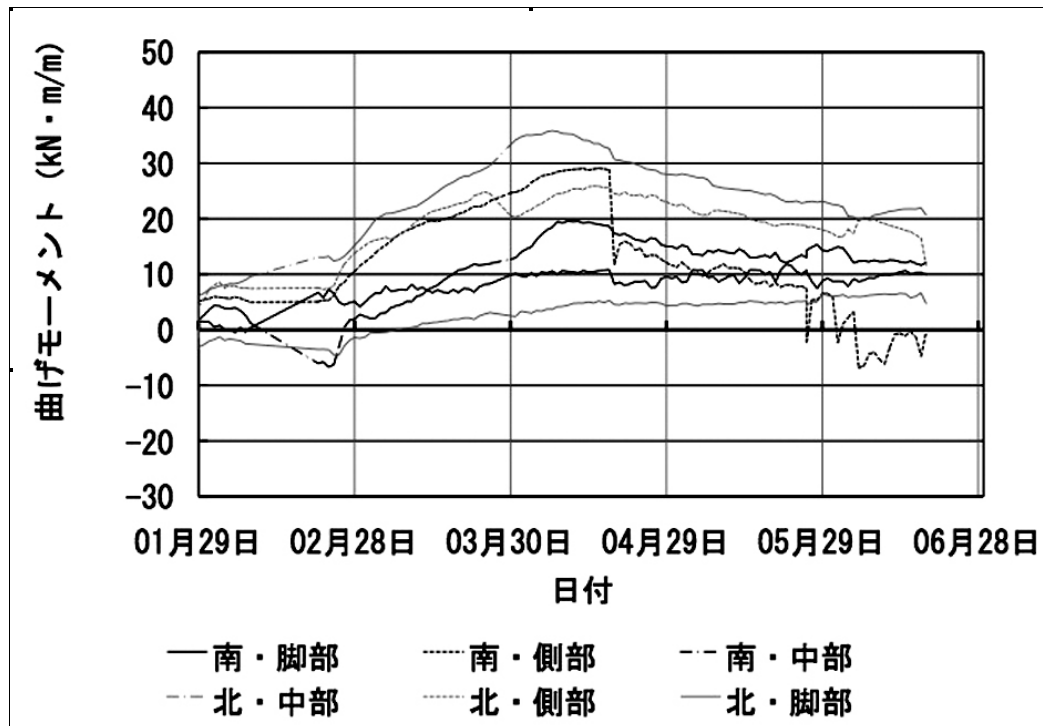


図-14 曲げモーメントの推移

図-13 の妻面の横架材のひずみ度をみると、雪山製作時では外側-100 μ 程度、内側 260 μ 程度であり、降伏ひずみ度のおよそ 20%となっている。また、実験期間中のひずみ度の最大値は、3月31日に外側-861 μ 、3月19日に内側で1471 μ であり、降伏ひずみ度を越えるようなひずみ度となっていることは、妻面の設計において注意する必要がある。

3. 4 曲げモーメント分布

デッキプレート凹凸部のひずみ度から計算した、計測期間中の計測位置の曲げモーメントを図-14に示す。図中、曲げモーメントの符号は外側が引張を正としている。

曲げモーメントの最大値は4月7日に北面アーチ中部に発生し、その値は 36.0kN・m/m であった。この値は、デッキプレートの降伏モーメント 52.5kN・m/m の約 70%に相当する。

4. まとめ

実験結果として、下記のような点が明らかになった。

- 1) 雪山から貯蔵庫が受ける圧力は、雪山築造時には貯蔵庫上部が大きく、側部はきわめて小さいものとなる。また、2月下旬から各部の圧力は大きくなりはじめ、頂部の増加割合が最も大きくなる。
- 2) 貯蔵庫の変形は、上から押しつぶされるような変形となり、頂部の鉛直変位が 10mm 以上、側部の水平変形が 25mm 以上、妻面の水平変形が 15mm 以上となる。
- 3) 貯蔵庫各部のひずみ度は、10m までの雪山築造時には降伏ひずみ度の 10%程度であり、実験期間中の最大値でも降伏ひずみ度の 80%程度である。

参考文献

- 1) 溝口光男, 鈴木邦康, 大築和夫, 小野孝之, 長田 勉, 橋本良明: 雪堆積場の雪山底部に設置する貯蔵庫の強度確認に関する基礎実験, 寒地技術論文・報告集, Vol.23, pp.17-21, 2007.12