

論文

スパン 20 m アイスドームの建設実験とクリープ測定

粉川 牧¹⁾, 伊藤 修²⁾, 渡辺 大²⁾

要 旨

氷を構造材料とする薄肉の曲面板構造“アイスシェル”を冬期間の建築構造物として使用するというこれまでにない新しい試みが1997年以来、北海道はトマムで展開されている。同じ敷地内の一角で、ここ2年間、スパン20 m アイスドーム(規模:底面直径約17 m, 高さ約6.5 m)について構造工学的側面からフィールド実験が実施されてきた。この実験は、大規模アイスシェルの建築構造物への適用可能性を探るべく、その実証的研究として行われているもので、本報告は、これらのうちの一つ、2000年2月から4月初めにかけて実施された建設実験及び完成後のクリープ実験をまとめたものである。結果として、型枠空気膜に散雪散水する本工法は5~6日間で建設施工を可能にし、さらに完成したドームの構造性能は、平均鉛直変位速度が3~4 mm/dayと小さく、又、崩壊性状は「延性的」であったことから、この規模のアイスドームが建築構造物として適用可能であることを示している。

キーワード: スパン 20 m アイスドーム, 実大モデル, 建設実験, クリープ実験, 構造安全性

Key words: 20-m span ice dome, full-scale model, construction test, creep test, structural safety

1. 序

積雪寒冷地における冬期間の構造物として使用可能な、氷を構造材料とする薄肉の曲面板構造“アイスシェル”が筆者らの一人によって考案され、実用化に向けて研究が進められて来た。研究当初は、構造工学的見地から迅速にして簡便な建設施工法と短時間加力及び長期クリープに対する構造安全性に関する実験的且つ理論的検討が行われた(粉川・平沢, 1982/1983; 粉川, 1983; 平沢・粉川, 1984; 粉川, 1984; Kokawa, 1985; 粉川・村上, 1986; Kokawa, 1988)。一方、アイスシェルの実構造物への適用が底面直径10 mの小規模ドームについて実施され、冬野菜の貯蔵実験庫、清酒の低温醸造・貯蔵庫、冬まつりのイベント空間そして南極観測拠点における作業倉庫といった様々な用途に活用されてきた(Kokawa・

Watanabe, 1997)。

この様にして、実際の自然環境下におけるアイスシェルの構造安全性が徐々に明らかにされる研究経過の中で、それまでの成果を踏まえ、アイスシェル研究は1997年以来、アイスシェルを冬の建築構造物に使用するという新たな局面展開に入っている。即ち、北海道占冠村のホテル・アルファ・リゾート・トマムの敷地内において、毎冬約3ヶ月間にわたり観光客が使用するレジャー施設空間を様々な規模のアイスシェル群で造るという前人未経験のプロジェクトが実施され、そこでは積雪寒冷地ならではの実用的且つ幻想的でユニークな冬の建築的環境空間が創出されている(Kokawa・Itoh・Watanabe, 2000)。これらアイスシェル群の中で常時実際に使用しているのは、目下のところ、既にその構造安全性が実証されているスパン15 m以下の中小規模アイスシェルに限られているが、既往の研究成果を延長して捉えると、研究当初に夢想したスパン20~30 m級巨大アイスシェルの建築空間への適用実施が充分可

1) 北海道東海大学芸術工学部建築学科
〒070-8601 旭川市神居町忠和224

2) 株式会社リゾートマネジメント
〒079-2204 勇払郡占冠村中トマム

能と思われる。しかしながら、巨大アイスシェルの実証的研究は 1985 年に行われたスパン 20 m アイスドームのフィールド実験(粉川・村上, 1986)があるのみで、建設経験に乏しく、その構造安全性については未知なことが多く、そのような巨大アイスドームを未だ建築空間として実施適用するに至っていないのが現状である。従って、実施適用可の根拠を得るには、実大モデルによるフィールド実験を重ねて行い、その構造安全性を実証しておくことが不可欠である。そこで、筆者らは建設施工技術の改良とその構造安全性の実証を狙いとして、ここ 2 年間に開発研究用としてのスパン 20 m アイスドームを計 2 基建設し、実験的検討を進めて来た。

本報告は、これらのうち、2000 年の 2 月から 4 月初めにかけて実施したアイスドームの建設実験及び完成後に行われたクリープ実験をまとめたもので、スパン 20 m 巨大アイスドームが冬期間の建築構造物として実施適用が可能であることを実証的に示したものである。

2. 建設実験

2.1 雪氷基礎リング

2 月 3 日に雪氷基礎リングを施工した。現場敷地は周辺部がやや盛り上がっている地形の為、リング内側面にのみ型枠としてのコンパネをならべ、雪と水を注ぎつつ圧雪し、リングを施工した。リング内周の規模は直径約 17 m、高さ 90 cm で、リング幅を 1 m 程度、そして雪氷の比重を 0.6 と見積もっても、その総重量は約 294 kN となることから、型枠空気膜への送風中に予想される全揚力約 147 kN に対して充分安全である。尚、リング中には周に沿って均等に 20 ヶ所ロープアンカーが埋め込まれた。

2.2 型枠空気膜

2 月 4 日午後、空気を送風し、型枠空気膜を建ち上げた。塩化ビニール製の直径 20 m・2 重平面膜は 1985 年ドームを建設した際に使用したものをを用いており、その重量は約 3.43 kN である。先ず、その平面膜を現場で広げ、その上に網目ロープを被せ、その端部と基礎リング側のロープをシャックルで繋いだ。網目ロープの形状パターンは図 1 に示すようにジオデシック・トリアコン分

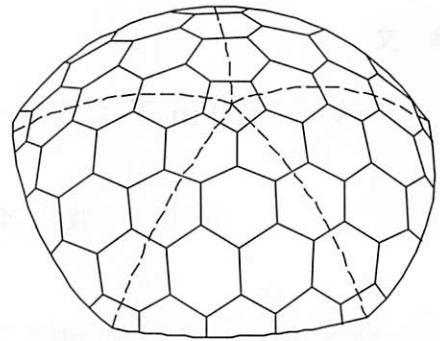


図 1 網目パターン。

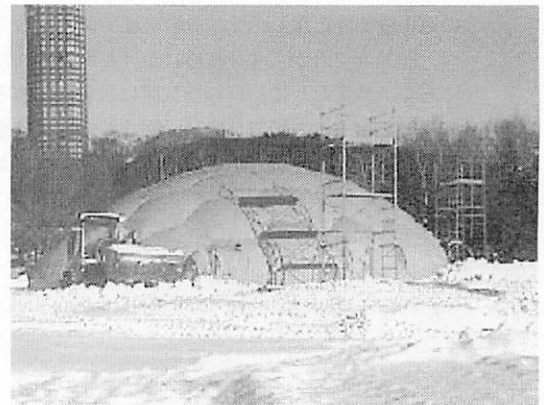


写真 1 型枠空気膜。

割 8 次を基本に決定したもので、使用したロープはポリプロピレン製の径 14 mm (破断強度 29.4 kN 程度) で、節点間距離はすべて同一にしその長さは、ドーム頂点の高さを 6.2 m と仮定して、1.5 m とした。空気送入は風量 44 m³/分、最大静圧 46 mm 水頭圧の性能をもつポータブル送風機によった。この送風機を用いると、底面直径 20 m、高さ 6.5 m の球形ドームの容積は 1162 m³ となり、計算上、約 30 分で型枠空気膜が建ち上る。又、このとき、ロープ 1 本に作用する張力は、端部傾斜角を 66 度とすると、6.37 kN となり、破断に対して充分な安全性を有している。写真 1 に高さ調整を終えた型枠空気膜を示す。この時、頂点の高さは実測して 6.5 m であった。建ち上げ後、膜面上約 20 ヶ所に目盛りが書かれたスタイロフォーム製角柱を接着剤で固定した。この角柱の目盛りを読み取ることにより、建設中の氷の厚さを知ることが出来る。

2.3 散雪散水

先にも述べたように、1985年の建設実験（粉川・村上、1986）では散雪技術が稚拙であった為に1回あたりの膜面への散雪厚をコントロール出来ず、散水作業もホース凍結が続出するなど、実験は不首尾な結果に終わった。そこで、今回はこのようなことが生じないように、散雪散水作業に臨んだ。まず、基礎リングへの応力伝達がスムーズに行われるようにドーム立ち上がり部分を雪と水で固めた後、上部シェル構造の散雪散水作業に移った。散雪は投雪距離22 mの性能を有するロータリ式除雪機を二人ペアで操作して、1回の散雪厚が1 cm 以下となるよう慎重に行った。散雪される雪はあらかじめドーム周辺に6カ所に用意され、除雪機で一周するのに約20～30分を要した。この散雪作業のインターバルは、外気温にもよるが、例えば $-10^{\circ}\text{C} \sim -15^{\circ}\text{C}$ の時、1.5時間～2時間であった。一方、散水作業はホテルの水道水を用いて、ホース6本に繋いで行われた。その内の4本はそれぞれ2段組したビテ足場上に登り操作され、ドーム頂点近傍への散水を可能にした。総水量は毎分約60リットルであった。建設中の外気温の変化を図2に示す。尚、この図と以後の図において、縦軸の温度目盛りは通常の表記とは逆に、低い温度を上方に記した。これは、気温が 0°C 以下でその存在が許される本構造物に対する安定性の観点から、このような表記方法がとられていることを付記しておく。外気温が -13°C 以下で天空が晴れていると、写真2に示される様に、ドーム全体が猛然と湯気で包まれる状況が観察された。

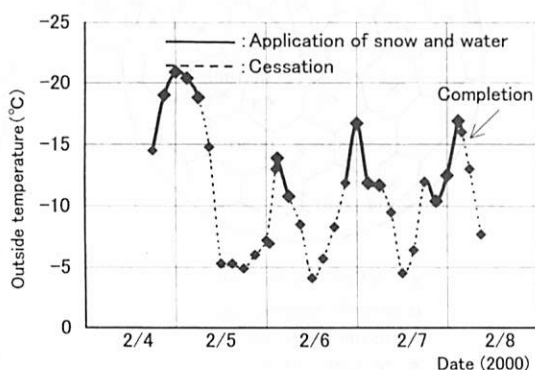


図2 散雪散水作業中の外気温。

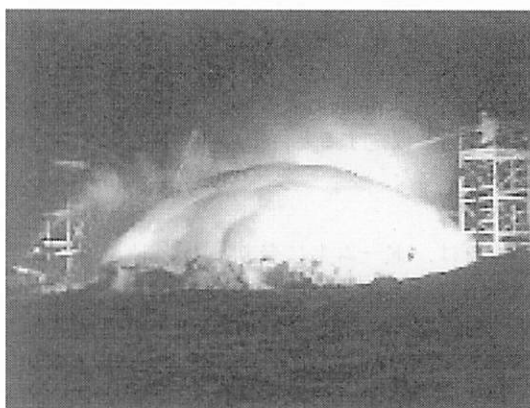


写真2 散雪散水。

2.4 膜除去

2月8日午前4時頃に散雪散水作業を終え、その後ただちに送風を止めて膜を萎ませる作業に移った。この時、ドームの内表面は未だ濡れていて膜及びロープは容易に氷構造体から剥離した。膜の空気を抜いた後、写真3に示されるように、十数人がかりで膜を折り畳み、ドームの外に除去した。



写真3 膜の折り畳み。

3. ドーム試験体の諸元

3.1 形状

ドーム試験体の幾何学的形状は次のようにして決められた。まず、ドーム内表面上にハッキリと印された膜外周縁の高周波溶着ラインは雪面よりほぼ190 cmの高さにあることを確認した後、そのレベルの直径4方向を巻尺で、さらにそのレベルからドーム最上部にある正5角形頂点までの高

さを箱尺で実測し、平均をとると、夫々、1720 cm, 455 cmであった。従って、頂部の雪面からの高さは645 cmとなる。さらに、ドーム曲面を球面と仮定すると、その曲率半径は1040 cmと算定された。

3.2 板厚

板厚は、ドーム上に登り、ハンドドリルで径10 mmの穴を開け、内側からミニコンベックスを外部に差出し、測定された。その結果は図3に示すように、かなりばらついているのがわかる。これは、散水中、スタイロフォーム製角柱表面に付着した水が凍ってかさ張り、その目盛りの読み取りが困難となってしまったことに起因しており、今後は、この点を注意して、例えば、絶えずその表面を融かす等して散水作業を進めれば、この問題は解決されるものと思われる。ちなみに、当初予定した板厚は、頂部15 cm 腹部17.5 cm, 下部20 cm に対して、夫々、平均で12.5 cm, 17.9 cm, 18.4 cmであった。前図2に示されている様に延べ散雪散水時間は36時間、平均板厚17.9 cmということから均して2時間につき氷の厚さは1 cm 増えたことになる。又、今までのドーム造りと同様、最下部は急傾斜の為、板厚が薄くなっており、この点についても今後の課題として残された。

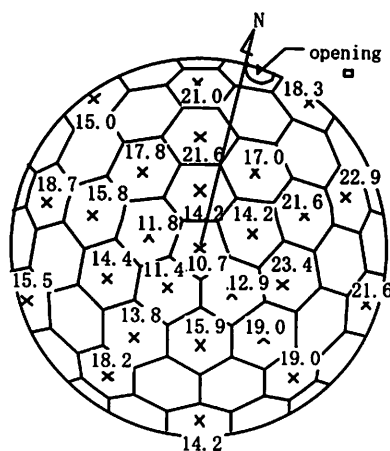


図3 氷厚測定値 (cm).

3.3 弾性論的考察

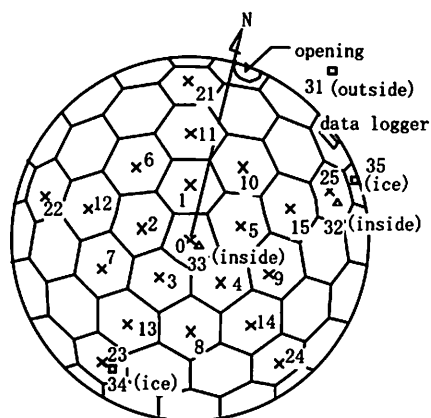
実測より得られた曲率半径1040 cm, 平均頂部板厚12.5 cmと氷の比重0.85 (Kokawa, 1985)を用いて、ドーム頂部に生ずる膜理論上の圧縮応力

を算定すると (Timoshenko, S. P.・Woinoesky-Krieger, S., 1959), 自重の場合, 5.10 N/cm^2 , 雪荷重 588 N/m^2 (雪の比重が0.3とすれば積雪深20 cmに相当) の場合, 7.94 N/cm^2 となり, これらの値は氷の短期強度に比較して極めて小さく, このことから建設後直ちに崩壊することはない, その構造寿命はクリープで決定されることが明らかである。

4. クリープ実験

4.1 実験概要

2月12日～3月27日, ドーム試験体について変位と温度の長時間測定を行った。図4に示す様に, 計21点の鉛直変位測定点が設けられた。測定には既の実績済の“吊り下げ法”が適用され (Kokawa, 1985), 全て歪式変位変換器 (ストローク50 mm10本, 100 mm11本) を用いて, 万能デジタル測定器により3時間のインターバルで自動測定を行った。この測定期間中, ストローク容量を越えないよう数度, 変位計の再セットを行った。さらに同図4は外気温1点, ドーム内部気温2点, 氷温度2点の温度測定点を示し, 測定には, 自記憶型小型温度計が用いられ, その計測インターバルは1時間とした。尚, この期間中のドームに作用する雪荷重を知る手掛かりとして, ドームから離れた敷地内の一ヶ所に箱尺を立て, 積雪観測



- x vertical displacement 0~25
- outside temperature 31
- △ inside temp. 32, 33
- ice temp. 34, 35

図4 測定点番号.

を行った。図5に示されたその結果によると、実験開始の2月12日から変位測定終了直前の3月24日迄、大局的に見て、この期間中の積雪深は時間の経過と共に漸増傾向を示しその増加量は約20 cmと評価され、さらに雪比重は0.3より小さいので、ドームに作用する雪荷重は風による吹き溜まりを考慮に入れても自重に比べて小さく、この期間中においてドームのクリープ挙動にほとんど影響を及ぼさないものと判断した。その後、3月27日から崩壊が生じた4月4日迄は、変位計の全てと温度計の一部を除去し、目視によって構造挙動が観察された。

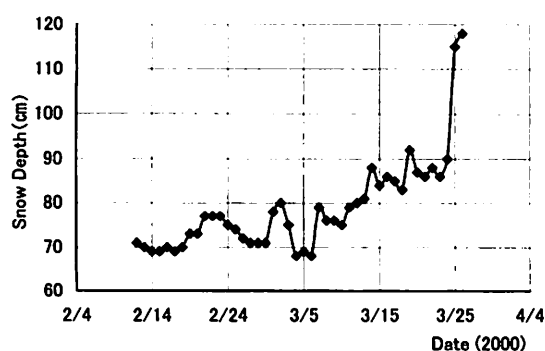


図5 積雪深 (cm) の変化。

4.2 温度・変位測定結果

クリープ実験全期間中の温度、変位一時間曲線を夫々図6、図7a～c(図中に2/20, 3/1, 3/11, 3/21の午前零時と3/27の午後零時における測定値を記載)に示す。これらの図において、構造安全性の観点から、3月4日～3月6日の変形が急

激に増加している点が注目される。図8aより、この間、春先における暖気と強い日射の影響を受け、氷構造体の温度(Tice)はドーム全体にわたって、ほぼ0°Cに近い状態が続いたことが分かる。

図8bは同一期間中の変位一時間曲線を測定点6～10について示したもので、Tice (point34)がほぼ0°Cに達した3月4日正午より、変位が突如急増し始めている様子が分かる。表1a, bは、この期間の温度、変位状況を定量的にまとめたもので、氷温がほぼ0°Cにおける変位急増の実状が明らかにされている。この期間を除くと、表1bに示される様に、日射量の多い南面測定点8及び13の変位量が他点に比べやや大きいものの、大局的にドームの構造挙動は安定している。ここで、この前後の期間2/14～2/29と3/11～3/26を比較すると、その温度(表1a参照)及び積雪状況(図5参照)から予想される結果に反して、 δ_8 を除いて、前者(2/14～2/29)の変位量が後者(3/11～3/26)より大きいという不可解な結果が得られたが、今のところその理由は明らかでない。

今回の実験では、一時的に時間の経過に対して変位が減少することが度々記録された。この理由として、氷の熱膨張・収縮が考えられる。北東面の吹き溜まり(3月20日時点で30 cm～40 cm程度)を除いて、期間中、全般にドーム上の積雪量は少なく、特に南面は日射で融け、構造体がほぼ露出状態となっていることが度々観察された。その為、氷温Tice (point34)の変動は大きく、このことが変位の一時的減少をもたらしたものと思

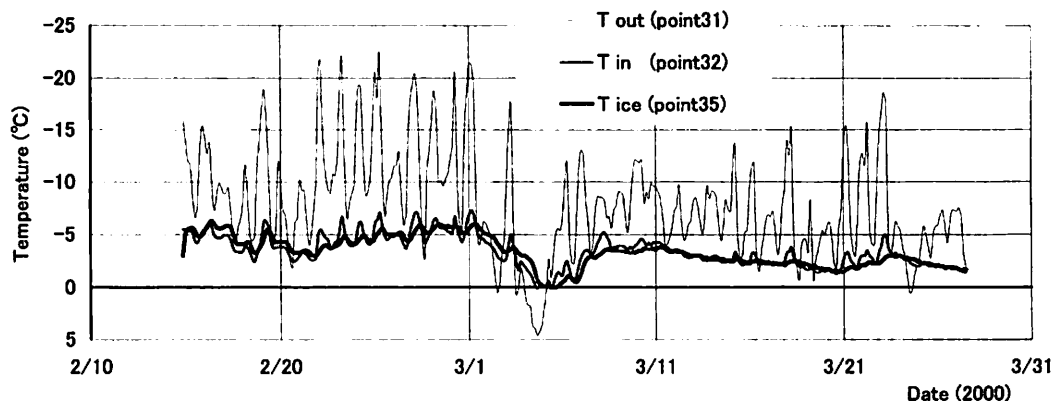
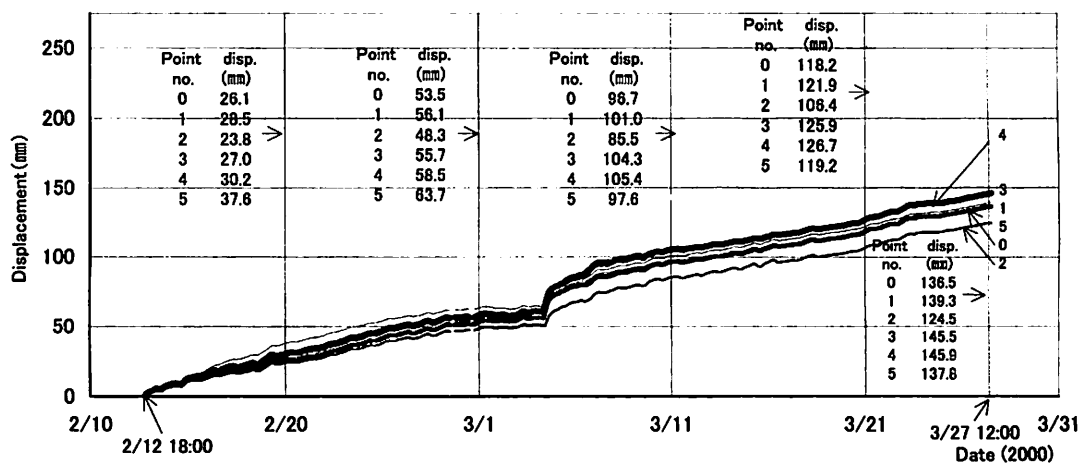
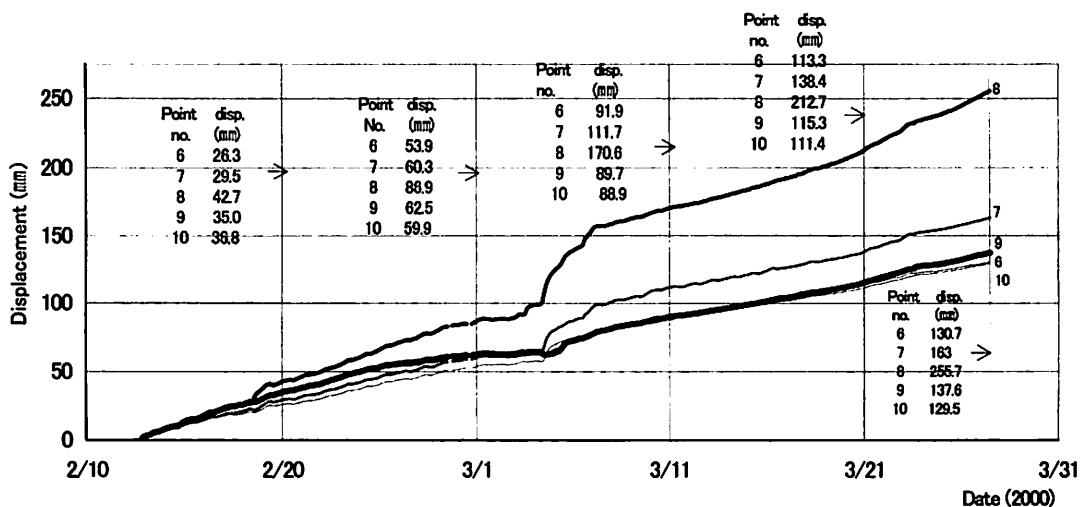
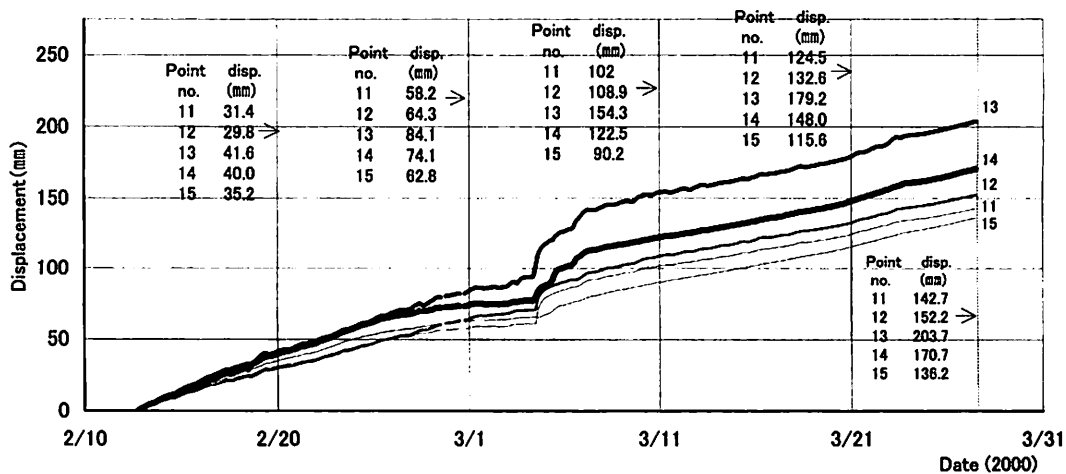


図6 温度一時間曲線。

図 7a 変位 ($\delta_0 \sim \delta_5$) 一時間曲線.図 7b 変位 ($\delta_6 \sim \delta_{10}$) 一時間曲線.図 7c 変位 ($\delta_{11} \sim \delta_{15}$) 一時間曲線.

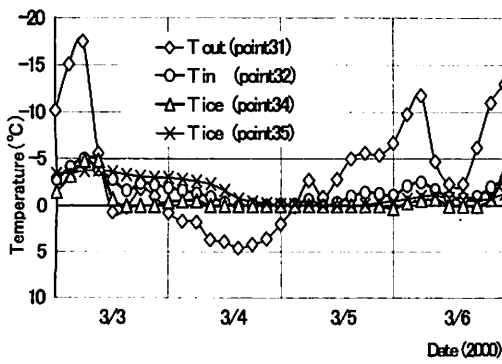


図 8a 温度 (3月3日～3月6日).

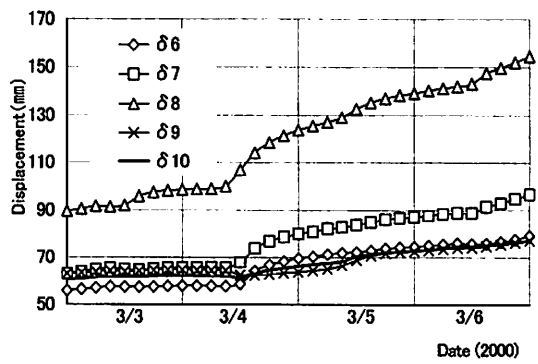


図 8b 変位 (3月3日～3月6日).

表 1a 平均温度 (°C).

期間 (測定点番号)	2/14～2/29	3/11～3/26	3/4～3/7	2/14～3/27
Tout (31)	-10.9	-6.5	-2.6	-8.0
Tin (32, 33 の平均)	-4.7	-2.5	-1.0	-3.4
Tice (南面、34)	-4.5	-1.6	-0.3	-3.0
Tice (北面、35)	-4.7	-2.4	-0.9	-3.4

表 1b クリープ変位 (mm/day).

期間 (測定点番号)	2/14～2/29	3/11～3/26	3/4～3/7	2/14～3/27
0	2.8	2.5	9.3	3.0
(1,2,3,4,5 の平均)	3.0	2.5	9.3	3.0
(6,7,9,10 の平均)	3.2	2.8	6.7	3.1
8	4.8	5.2	18.6	5.7
(11,12,14,15 の平均)	3.5	2.7	8.3	3.3
13	4.7	3.1	15.4	4.5
(21,22,23,24,25 の平均)	3.7	2.7	8.7	3.5

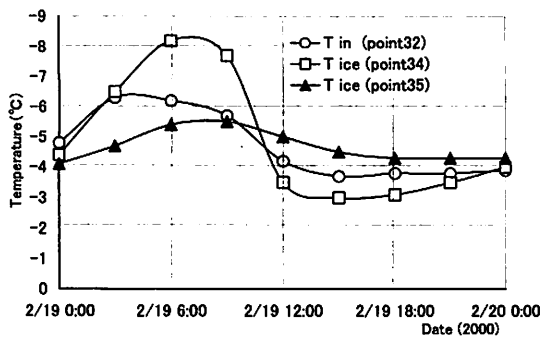


図 9a 温度 (2月19日).

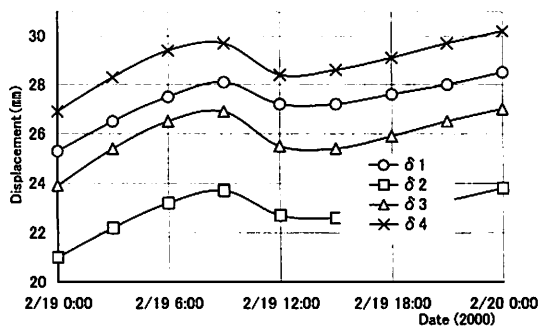


図 9b 変位 (2月19日).

われる．図9a, bは，温度，変位—時間曲線の典型的な一例で，その定量的解釈を以下に示す．変位測定の結果より，2月19日，9:00～12:00の変位減少量は測定点1, 2, 3, 4で夫々0.9 mm, 1.0 mm, 1.4 mm, 1.3 mmでその平均は1.15 mmとなる．この時間におけるクリープ平均変位増分は表1bにも示されているように，2/14～2/29の測定点（1～5）のクリープ変位は3 mm/dayで，3時間当たり0.375 mmとなる．氷の線膨張率を純氷の $5 \times 10^{-5}/\text{deg}$ と仮定し，さらにドームの曲率半径を10400 mm（3.1参照）とすると，氷温が1 deg上昇すると変位は，計算上，0.52 mm減少する．そして，クリープによる変位増分も考慮すると，先に示した変位減少量1.15 mmとなるのに必要な氷の温度差は2.9 degと算定される．この計算値はTice（point34），Tice（35）の温度上昇計測値，4.2 deg, 0.5 degの間に収まっており，一時的な変位の減少は氷の熱膨張，収縮によるものと解釈できる．

4.3 破壊性状

崩壊は変位の自動計測を終了した3月27日から約一週間後の4月4日午前8時25分に生じた．その間の温度状況を図10に示す．図11に示される様に，自動計測終了時点の変位測定結果においてドーム南面中部及び下部（測定点8, 13及び23）の鉛直下向きの変位量は他の測定点に比べて大きく，特に測定点8の変位量は約256 mmもあったが，ドーム規模が大きくしかも他の箇所も一様に変形している為に，その全体形状の歪みを目視で捉えることは難しく，この状況は3月30日続いた．

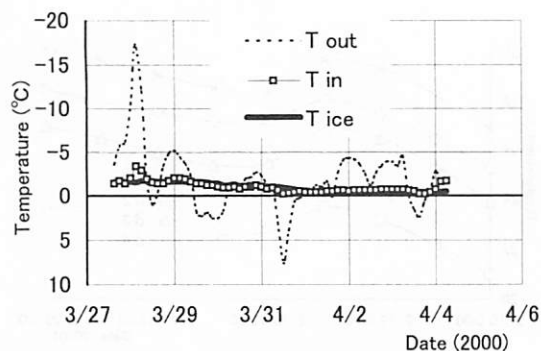


図10 崩壊前の温度—時間曲線．

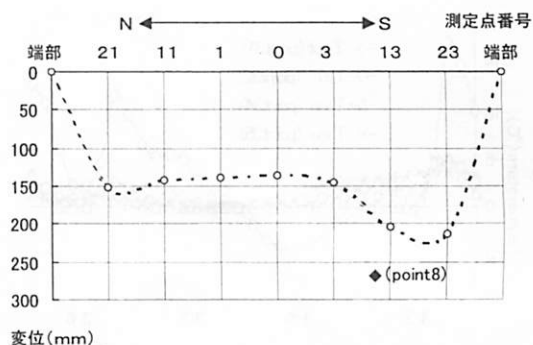


図11 変形曲線（3月27日）．



写真4 崩壊前の大変形（4月3日午後）．

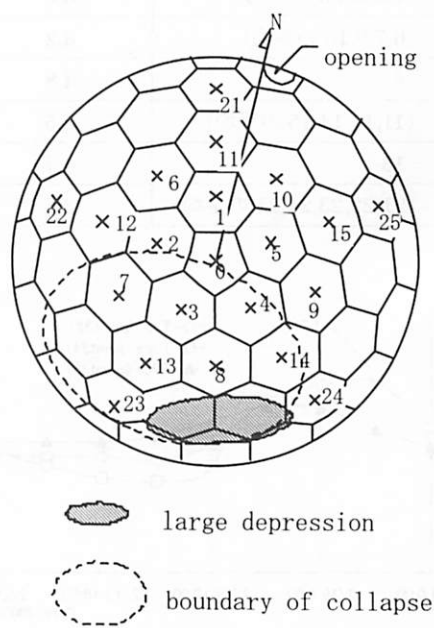


図12 崩壊状況．

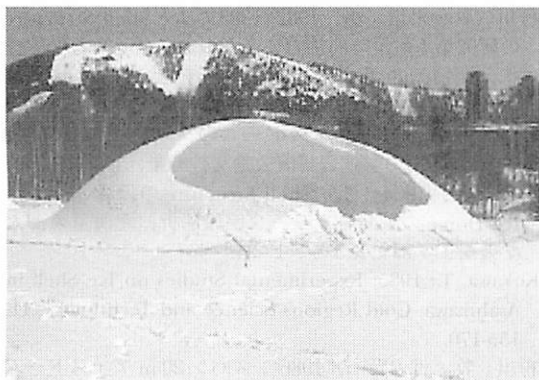


写真5 崩壊直後の外観.

3月31日と4月1日は現場に不在であった為、大変形が初めて目視観察されたのは4月2日であった。問題は何日から目視できるほどの大変形が始まったかであるが、残念ながらその特定は難しい。写真4に示されるように、4月3日午後6時の状況において、ドーム外部からは直径で7～8m、中心部分の深さが2～3mの巨大な窪みがハッキリと認められた。一方、図12に示される斜線部分の落ち込みは極めて大きく優に2m以上の変位量と思われ、その部分から融水が滴り落ちているのが観察された。このまま、直ちに崩壊すると思われたが、その後も粘り強く堪えて、翌日の朝、同図12に示される破線(---)上で上側引張曲げ破壊を生じた。写真5に崩壊直後の状況を示す。崩壊後、ドーム南面にあった氷の破片を観察すると、暖気と強い日射で板厚は薄く材質は劣化しており、ほとんど強度を持たない「ざらめ状」の状態であった。大変形発生から崩壊までのアイスドームの耐久性や靱性を改善するには日射による氷構造体の劣化進行を極力押さえることが重要で、散雪による氷構造体の質的保護、あるいは再散水散雪による氷の質的リカバリーなどが簡便で有効な方策と思われる。

4.4 1985年ドームとの比較検討

図13に今回の実験で建設されたドーム(2000年ドーム)と1985年に建設されたドーム(1985年ドーム)の変位—時間曲線を示す。これより、2000年ドームは、幾何学的及び材料的な不整を有した施工不良の1985年ドームと比べて、変位速度が小さく安定した定常的クリープ性状を示し、その力学的性能は格段に優れていることが示された。

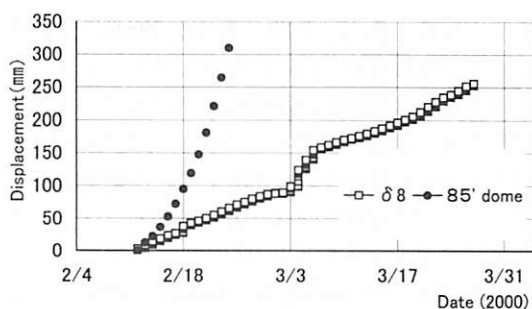


図13 85年ドームとの比較.

5. 結

スパン 20 m 大規模アイスドームは1985年、1999年及び2000年の冬に、それぞれ1基ずつ造られ、今までに計3基の建設が実施された。経験を重ねる毎に、その建設施工技術は改良され、クリープ挙動に関する構造挙動の理解も深められてきた。本論文は、これら3基のうち最新に実施した2000年ドームのフィールド実験を整理したものである。結果として、型枠空気膜に散雪散水する本工法は5～6日間で建設施工を可能にし、さらに完成したドームの構造性能は、平均鉛直変位速度が3～4 mm/dayと小さく、又、崩壊性状は「延性的」であることから、この規模のアイスドームが建築構造物として使用可能であることを実証的に示した。今後は、さらなる構造技術の向上を図るべく、下記の諸点についてより詳細な検討・工夫がなされなければならない。

1) 建設技術に関して：a) 今回の実験では1 cm厚の氷を生成するのに約2時間を要した。これは、スパン15 m以下の中小規模ドームの施工で既に経験的に得られている約1.5時間に比べて約3割遅く、今後は、氷の質を保ちつつ工期短縮を図る工夫が求められる。その為には、散雪散水による氷生成過程を表面熱伝達と放射冷却からなる熱収支問題として工学的に捉え、散水量と散雪量の最適配分に関する定量的把握が必要と思われる。他に、b) ドーム立ち上がり部分の氷厚確保の為の施工上の工夫、c) ロープ配置箇所に生ずる形状不整がクリープ性状に及ぼす影響の定量的把握などが当面の検討課題である。

2) 構造安全性に関して：a) 氷温度がほぼ0°Cに達すると変形の急増現象が示され、この状態が長時間続いた時にクリープ座屈崩壊に至ることが

考えられる (粉川, 1983 ; 粉川, 1984). この点に関する検討を行う為に, 先ず, 本方法によって生成された氷試験体の単軸応力下におけるクリープ性状を, 温度 ($0^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$) と応力 ($4.9 \sim 14.7 \text{ N/cm}^2$) をパラメータとして, 実験的に明らかにしておく必要がある. b) 崩壊前にドーム南面部分に大きな落ち込みが発生し, 既往のスパン 15 m 中規模ドームの場合 (Kokawa, 1988) に比較して, その落ち込みの進行は速いものの, 粘り強く靱性に富む崩壊性状を示した. 崩壊時の南面氷構造体は「ざらめ状」となっており, 日射による材質の劣化が認められた. 崩壊性状をより靱性的にして構造的安全性を高める為には, この劣化進行を極力遅らせることが肝要で, 散雪による氷構造体の保護, 再散雪・散水による氷構造体の質的リカバリー等がその簡便で有効な方策と思われる.

文 献

- 平沢 勇・粉川 牧, 1984 : Ice Shell Structure の研究, 第2報スパン 2 m Ice Dome のクリープ破壊実験, 北海道東海大学芸術工学部紀要 5 号, 7-15.
- 粉川 牧・平沢 勇, 1982/1983 : Ice Shell Structure の研究第1報短時間加力による Ice Dome の力学的性状, 北海道東海大学芸術工学部紀要 3・4 合併号, 77-85.
- 粉川 牧, 1983 : アイスドームのクリープ崩壊実験, 第33 回応用力学連合講演会論文抄録集, 151-152.
- 粉川 牧, 1984 : Ice Shell Structure の研究 第3報 Ice Dome の軸対称クリープ座屈解析, 北海道東海大学芸術工学部紀要 5 号, 17-24.
- Kokawa, T., 1985: Experimental Studies on Ice Shell in Asahikawa, Cold Regions Science and Technology, 11, 155-170.
- 粉川 牧・村上賢二, 1986 : スパン 20 m アイスドーム建設の試み, 雪氷 48 巻 2 号, 67-73.
- Kokawa, T., 1988: Construction and Creep Test of 15-m Span Ice Dome, Proceeding of IAHR Ice Symposium 1988 Sapporo, 390-399.
- Kokawa, T. and Watanabe, K., 1997: Ice Shell-Contemporary "Igloo" or "Kamakura", Structural Morphology International Colloquium, Nottingham, 286-292.
- Kokawa, T., Itoh, O. and Watanabe, K., 2000: Ice Shell-Review and Recent Application, Journal of IASS, Vol. 41 (2000), n. 1, 23-29.
- Timoshenko, S. P. and Woinowsky-Krieger, S., 1959: Theory of Plates and Shells, Mcgraw-Hill, London, 2nd Ed., 429-465.

Construction and Creep Test of 20-m Span Ice Dome

Tutomu KOKAWA¹⁾, Osamu ITOH²⁾ and Tohru WATANABE²⁾

1) Department of Architecture, School of Art and Technology, Hokkaido Tokai University
Chuwa 224, Kamuicho, Asahikawa 070-8601

2) Resort Management Co. Naka-Tomamu, Shimkappu-mura, Yuhutu-gun, Hokkaido 070-2204

Abstract: Snow and cold facilitate the construction of an ice shell. Such an ice shell is thin. Because of its high structural efficiency, it can cover a larger area than classical snow-ice structures such as "Igloo" and "Kamakura". It creates a fantastic, beautiful space providing a unique environment in snowy and cold regions.

Since 1997 Tomamu, Hokkaido has been the site for many ice shells used as architectural leisure spaces for tourists. These ice shells have thus far had less than 15-m spans. In hopes of constructing a larger ice shell to be used as a winter multi-purpose hall, we have tested a 20-m span ice dome 6.5m in height. Two test-domes were completed, one in 1999, and one in 2000. These test-domes had a high structural efficiency compared with a previous test-dome constructed in 1985 that had geometrical and material imperfections because of unskilled snow blowing operation.

This paper describes the construction experiment and creep behavior of 2000' test-dome, and concludes, that construction of a 20-m span ice dome, to be used during winter in Hokkaido, is possible.

(2001 年 3 月 19 日受付, 2001 年 8 月 20 日改稿受付, 2001 年 10 月 29 日再改稿受付, 2001 年 11 月 2 日受理, 討論期限 2002 年 7 月 15 日)