

自然と融和した“ つがる克雪ドーム ” (津軽の大地からの創造)

The Tsugaru-kokusetsu-Dome Harmonizing with
The Nature(Creation of Tsugaru-area)

吹 原 正 晃 四 ッ 谷 誠 田 村 健 夫
荒 木 崇 臣 神 田 真 一 倉 橋 勲



平成14年3月に青森県五所川原市に完工した“ つがる克雪ドーム ”は、鉄建事業本部が土建一括フルターンキーで施工した4番目のドームである。晴天時における太陽の下での活動はもちろん、津軽特有の冬の“ 地吹雪 ”の悪天候下でもスポーツができるように、グラウンド上部を覆う開閉屋根が全く無くなるという特色を持つ開閉式ドームである。また“ 地吹雪 ”という厳しい環境を克服するために、積雪荷重対策や様々な環境維持対策を実験や解析をとおして確認し、軽量で特徴的な屋根構造と維持費の掛からない施設を低コストで実現した。

1. はじめに

“ つがる克雪ドーム ”は、平成10年12月に青森県主催で実施された設計施工コンペで、7社が提案を行い、当社と(株)佐藤総合計画チームの提案が最優秀賞を獲得した物件である。基本設計が平成11年3月まで、実施設計が平成12年3月まで実施され、建設着工は平成12年4月から行われ、平成14年3月に竣工、8月にグラウンドオープンを迎えた。当社は基本設計の段階から設計に携わり、多雪地帯にもかかわらず、軽量な開閉屋根構造を実験と解析により実現し、また自然エネルギーの活用、グラウンドが屋根の開閉とともに自動的に拡張するという画期的なシステムを取り入れることにより、維持費のかからない開閉式ドームを実現した。

2. 施設諸元

本ドームは膜構造でグラウンド面積は約8700m²、ソフトボールが2面確保できる広さを有している。1Fは事務室、更衣室等の諸室、2Fは周回通路及び観客席が約340席分用意され、延床面積で約16000m²を有するドームとなっている。屋根は開閉屋根方式となっており、開閉部が膜屋根、固定部が金属屋根となっている。晴天時にはグラウンドの上部が完全に開くというダイナミックな開閉構造を採用し、太陽

の下でのスポーツやイベントが可能な施設となっている。しかも屋根が開いた時には、自動的にドーム外側の芝生広場とグラウンドとの一体利用が可能となるようなグラウンド拡張機構を有しており、硬式野球が可能な広さが確保できる。施設全体は弱者にも配慮したバリアフリー設計を採用しており、グラウンドは土のグラウンドで、利用者への影響を軽減した“ 人にやさしい施設 ”となっている。図1に開閉屋根が閉じた時の写真を、図2に屋根が開いた時の写真を示す。また施設維持費削減のため、様々な自然エネルギーを利用して、環境にも配慮した施設となっている。

このように“ 津軽の大地、自然をいかした ”施設を造るために、当社のこれまで培ってきた様々な技術を適用しており、以下構造、設備、可動機構についてその特色的な技術を報告する。

3. 建物形状と敷地計画

3.1 ドーム形状

新たに建築物を建てた場合、その建築物周辺で吹く風の環境は変化する。そのため、建物が周辺に及ぼす問題・障害を未然に防ぐため風洞実験が必要となる。本建物の立地地点の自然環境による問題・障害は、①冬季の強風による雪の吹きだまりによって建築物が使用できない影響、②冬季以外



図1 屋根閉時のドーム全景 南側から臨む。



図2 屋根開時のドーム全景

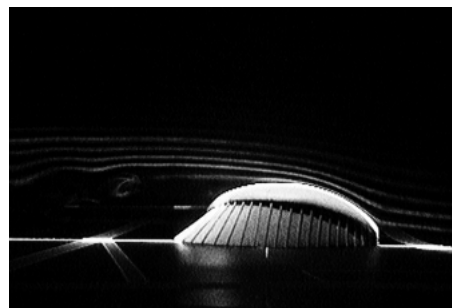


図3 可視化風洞実験 右が風上側で大きな風の乱れがないことが分かる。

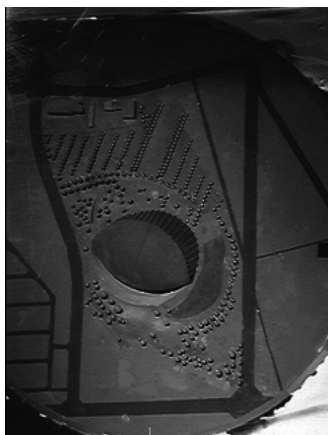


図4 雪の吹きだまり実験前

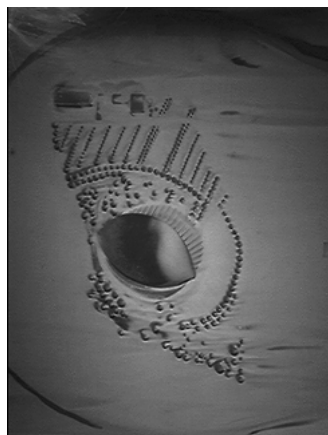


図5 雪の吹きだまり実験開始
後30分経過時 風上側
(左側)は堆雪が少なく、
風下側は多いのが分かる。

の強風による利用者の通行障害が挙げられる。

そこで、吹きだまりの影響を極力押さえる検討方法として、建物周辺の風環境の調査を風洞実験を用いて検討し、最適形状を求めた。最適形状の可視化結果を図3に示す。屋根の形状は、風上側からの流れが剥離しにくい丸みを帯びた柔らかい形状にすることで流体的に雪が堆積しにくいドーム形状とした。

3.2 敷地内植栽計画

雪に対する考え方は、①積極的に除雪作業を行う、②雪を堆積させ、除雪を行わないことが挙げられる。

このような観点から、敷地内の樹木の配置、池、溝など配置計画を行うために、雪の吹きだまり風洞実験を実施した。

図4は実験開始前の模型状況を示し、図5は粉体供給30分後の状態を表す。その可視化実験から分かるように、屋根に沿って流れる風により、屋根の風上側には雪が堆積しにくく、風下側は、流れが剥離するところより堆積しているのが分かる。

このような結果から敷地内配置計画には以下の点に注意を払った。

- ① ドーム東側には雪が堆積しやすくなるので、融雪池を設けて除雪を行う。
- ② ドーム入り口は、雪の堆積が少なくなる北東側に配置し、利用者にとって最適なエリアとする。
- ③ ドーム南側については冬季の間利用頻度が少ないことを考慮して、雪を堆積させる外部グラウンドとする。

4. 構造計画

4.1 構造概要

本ドームは、南北113 m、東西135 m、高さ42.2 mの鉄骨構造で、東西対称に配置されたスパン93 mの2枚の開閉屋根と、高さ26 mの固定屋根により構成されている。屋根は2種類の材質でできており、開閉屋根は四フツ化エチレン樹脂コーティングガラス繊維布(A種膜)、固定屋根はガルバリウムフッ素鋼板で構成されている。開閉屋根は、固定屋根頂部の旋回軸が回転中心となり、開閉屋根柱脚を支える台車

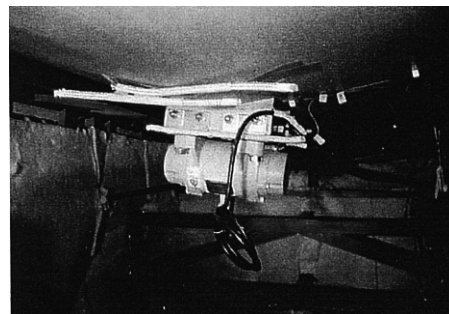


図6 起振機確認実験状況



図7 起振機取付け状況

が走行ガーダ上を水平旋回移動して開閉する。

4.2 耐積雪設計

本ドームの建設地は多雪地域であり、特定行政庁が定める垂直最深積雪量は190 cmとなっているが、屋根鉄骨軽量化のため、設計積雪量を100 cmとできるように積雪時には強制的に膜に振動を与える方法を採用した。これは起振機と呼ばれる偏心荷重をモータで回転させる装置により、膜に振動を与える方法である。この検証には1/2サイズの屋根形状の模型を用いて室内と現地で実験を行い、その効果を確認した。その結果24 Hzと50 Hzで効果的な除雪ができることが確認できた。図6に実験状況を、図7に起振機の取付け状況を示す。これにより鉄骨重量を約300トン軽くすることができた。

4.3 耐風設計

風力係数及び圧力係数は、風洞実験の結果により算定している。風洞実験は1/200模型を用いて行い、建物外表面に154ポイントと建物内表面に92ポイントの計測点を設置して計測を行った。設計は開閉屋根が全閉状態と全開状態のそれぞれについて行った。

設定した風荷重に対して45°刻み8風向で静的応力解析を行い、その結果を踏まえた設計とした。また、風洞実験により得られた時刻歴の風荷重に対して発生する変動圧力成分が、架構骨組に対して十分な強度を有することを確認している。

4.4 耐震設計

本ドームの耐震設計は1次設計と終局設計の2つの静的解析に基づく設計を行っている。想定している地震力は、1次設計(弾性設計)が22.5 kineの地震動、終局時の設計(弾塑性設計)は45 kineとなる地震動に対して十分な強度を有することを確認している。



図8 サーマルグラウンド敷設状況

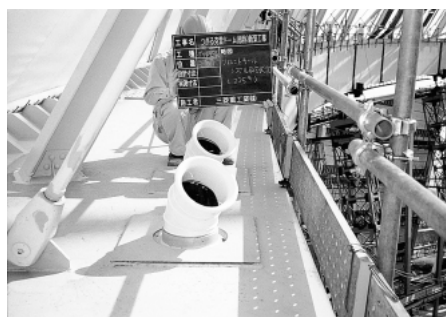


図9 結露防止用ノズル敷設状況



図11 採熱管敷設状況

5. 設備計画

5.1 大空間の環境維持

本ドームは厳しい冬でも、また夏場の暑さの厳しい時期で屋根を締め切ったような状態でも快適なスポーツ空間を維持するために様々な工夫を凝らしている。

まず、実際にプレーしている人を底冷えの寒さから守るために、サーマルグラウンドという床空調システムを取り入れた。これはグラウンド下に埋設した配管に温水を流すことにより、グラウンド近傍の温度を極端な底冷えから開放し、利用者にとって快適な空間を維持することを目的としている。当初はテニスコート設置付近を予定していたが、その後お客様との打合せにより、野球のベンチ付近など、人の滞留が発生しやすい場所に変更している。図8に敷設状況を示す。

また、観客席における環境維持に関しては、観客席足元に空調吹き出し口を設けている。ここから吹き出す空気温度をコントロールすることによって観客が常に最適な環境下で観戦できる環境を確保している。なお、前述のサーマルグラウンド用の循環水と観客席の空調用空気は事前に採熱管という地下の帯水層に埋設された配管で、夏は冷熱を冬は温熱を回収している。これは地下の帯水層の温度は年間を通じて、ほぼ一定であることに着目した地熱利用システムである。

膜屋根は、太陽光を透過することにより、昼間の照明電力の節約が可能であること及び屋根鉄骨の軽量化が可能であるが、一方寒冷地では結露が発生しやすいという欠点がある。本ドームではこの結露対策として、膜屋根近傍に緩やかな気流を形成する方式を採用した。この気流を発生するのは、フロントキールと呼ばれるボックス梁鉄骨を空調ダクトに見立て、そこに円形上のノズルを膜屋根に向けて設置することにより実現した(図9参照)。膜全体に均一な流れが発生するような吹き出し方向と吹き出し流量については解析を実施して設計している。これにより、膜屋根近傍ほぼ全域に10 cm/s程度の流速が流れることが確認できた。

5.2 自然エネルギーの利用

今回、運営時における維持費削減のために、様々な自然エネルギーの利用を取り入れている。図10に自然エネルギーの利用概念を示す。

まず、前項でも記載したが、地下の帯水層に空気用と水用の熱を回収する配管を設置し、地熱を有効利用している。これは建物の基礎部分にある砂礫帯水層に流れている11 前

自然エネルギーを活用した設備計画

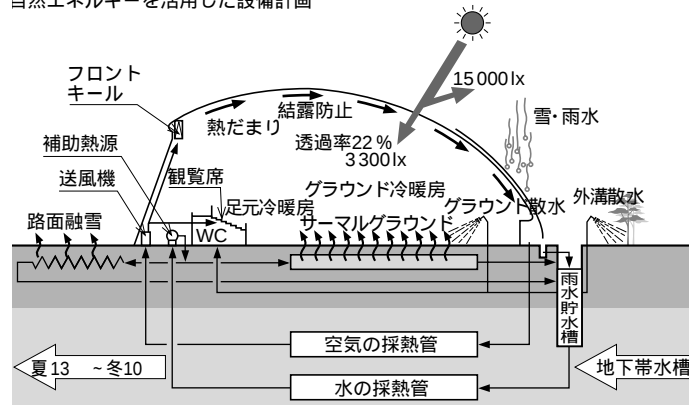


図10 自然エネルギー利用概念

後で安定した伏流水の熱を利用したシステムである。当社が手がけたシェルコム仙台でも採用されており、その効果は実証されている。

この砂礫帯水層に空気用と水用の採熱管をそれぞれ埋設し、空気用採熱管には、室内の換気及び結露防止用の換気に使う外気を導入し、外気がその採熱管を通過する時に、冷房期には外気を地熱で冷却し、反対に暖房期には外気が地熱で暖められて室内、観客席及び膜近傍に供給される。また水用採熱管ではドームの屋根面に降った雨水や雪解け水を集めた雨水貯溜槽の水を循環して冬場は暖めてエントランスプラザの融雪やサーマルグラウンドの循環水として利用、夏場は冷却して冷房用の冷却水として利用している。ただし、採熱管の埋設に当たっては、建物の基礎部分の掘削床を利用するため、材料費と敷設労務費のみが必要となり建設コストを抑えている。図11に敷設状況を示す。今回、建設時において、この採熱管の効果を確かめる実験を実施した。実験は工事の工程上、水採熱管のみの実施となったが、その結果、外気温が0～-10の範囲で変化しても地熱温度は12でほぼ一定であり、採熱管の入口水温は7～8、出口水温は8～9であり、常時1分の熱回収が確認でき、これは夏場の冷房用の冷却水として十分な能力を確保していることが分かった(図12参照)。

これ以外にも本ドームは膜屋根の採用による自然採光での人工照明電力の省エネ、自然換気の採用によるドーム内温度上昇の防止、雨水、融雪水のトイレ洗浄水、外溝散水、グラウンド散水等への利用などで、水光熱費の削減に努めている。

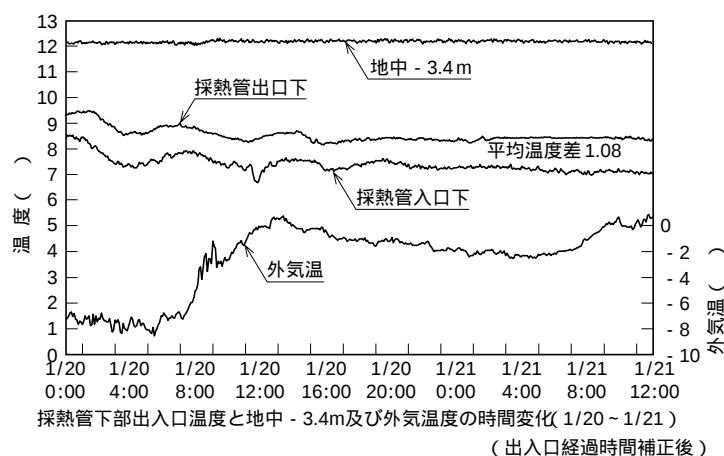


図12 採熱管熱回収確認実験 外気温によらず、管入口と出口で約1の温度上昇があるのが分かる。

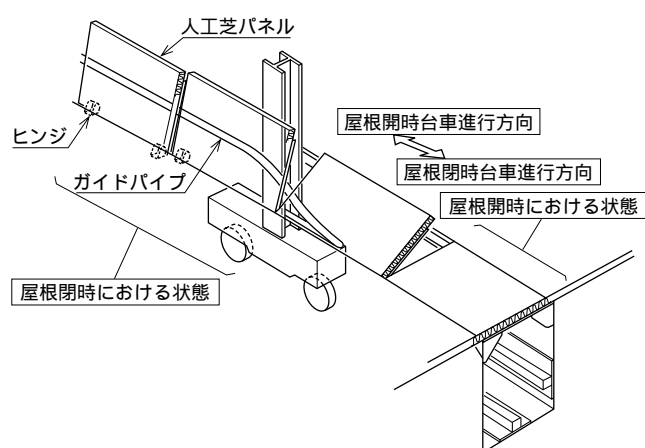


図13 グラウンド拡張機構概要

6. 可動機構計画

6.1 グラウンド拡張機構

本ドームで新たに開発、採用された技術としてグラウンド拡張機構があり、本ドームの特徴の一つとなっている。これは従来のドームは開閉屋根台車走行部を境にグラウンドが内側と外側に分断されていたが、分断部の開口に蓋をすることでグラウンド内外を一体化させる特徴を有している。

構成は図13に示すとおり蓋になる人工芝パネル、パネル開閉を支持するヒンジ、パネルを開閉するガイドパイプ、パネルとガイドパイプの接触を滑らかにするしゅう動ローラから構成されている。なお、片屋根で人工芝パネルが83枚設置されており、屋根全開時にはグラウンド内外の全面を一体化させることが可能となる。

動作について図14で説明する。開閉屋根側にガイドパイプが設置されており、屋根の進行により人工芝パネルを開閉するもので、ガイドパイプ先端はパネル閉時にしゅう動ローラ下面に潜り込んでパネルを押し上げる形状になっており、約1.3mの移動で高さH、距離Lだけガイドパイプは変位させてパネルを開時位置まで押し上げるものである。しゅう動ローラには樹脂材料を使用することでガイドパイプとの摩耗及び振動を防止している。また、人工芝パネルに貼り付けられ

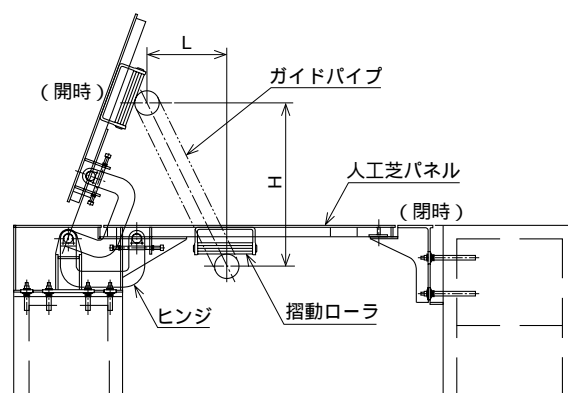


図14 グラウンド拡張機構動作

た人工芝の開閉時の目地調整として、開閉屋根側に芝押えローラを設置している。

6.2 その他可動機構

本ドームにおけるグラウンド拡張機構以外の可動機構としては従来からの開閉屋根台車及び昇降式ピッチャマウンドがある。

開閉屋根台車は屋根の支持及び移動を目的に設置されたもので、地上のレール上を自走する駆動台車と牽引される従動台車とから構成されている。本ドームでは片屋根に駆動台車2台、従動台車4台の計6台で構成されており、走行距離70mを約15分で走行する。

昇降式ピッチャマウンドはグラウンドを多目的に利用するためにマウンド部を野球仕様と平坦仕様の両方に対応させるもので、内蔵リフトにより自動昇降させる機構となっている。なお、マウンド上の土はそのまま昇降できるように土とリフト間にゴムシート及び滑り材を設けている。

7. ま と め

本ドームの設計、建設に際し、ご協力頂いた(株)佐藤総合計画、青森県、協力業者の方々に感謝するとともに本施設が青森県のみならず、東北地方の方々にとっても素晴らしい施設となりうることを祈念する。



吹原正晃
神戸造船所
鉄構部
文化・都市施設企画
課長



四ッ谷誠
神戸造船所
鉄構部
文化・都市施設企画
課主席



田村健夫
神戸造船所
鉄構部
文化・都市施設企画
課



荒木崇臣
神戸造船所
鉄構部
構造設計課



神田真一
神戸造船所
鉄構部
機械システム設計課



倉橋勲
技術本部
長崎研究所
第2実験課