

出雲もくもくドームの建設

鹿島建設概設計・エンジニアリング総事業本部
構造設計部長 播 繁



鹿島の播でございます。

今日は、出雲の「もくもくドーム」について説明させていただきます。「もくもく」って何だろうかとお思いでしょうが、木が「もく」ですね。もうひとつ、建てる時の様子が雲が「もくもく」湧くようなイメージをもっているので「もくもくドーム」という愛称をつけてみました。

この事例は、スパンが140m、高さが48m、日本最大の木造建築（たぶん、高さは世界一だと思います）ということになっておりますが、全部が木造ではありません。木はメインの部材として用いていますが、その他にケーブルやロッド（スチール）を用いております、テンション構造と集成材アーチを組み合わせたハイブリッド（合成）構造です。木という材料の特性（構造だけでなく、デザイン面を含めて）を生かした使い方の事例といえるでしょう。

私はかれこれ30年近く、鹿島建設で構造設計を担当してまいりまして、超高層や大空間施設を手掛けてきました。何故、今さら木造を始めたのかと、自分でも考えてみるのですが、そのきっかけは木材の振興です。私達が終戦を迎えたころに植えた木がどんどん大きくなり、これを集成材にして構造材料として使用しようということで、建設省が動き、「新木質構造の開発」という総合プロジェクトができました。ここに委員として参画し、新しい木構造に注目したからです。もう7年くらい前になります。

私が小学生のころは、校舎は木造で、木造建築という感性、暖かさが、私達の年代にとって非常

になつかしい。もっと新しい視点でとらえた木造建築がたくさんできてもいいんじゃないかと思えます。

もうひとつは、アメリカとの貿易摩擦です。日米構造協議（スーパー301条）の中で木材の問題が取り上げられました。アメリカからもっと木製品を買ってくださいというわけです。

そういういろいろな社会的背景があって、近年、木造をもう一度見直そうという気運が高まってきました。ちょうどその時に出雲のコンペが催されました。

それ以前に、私達は、膜構造という技術をずっと開発してきました。膜構造はご存知のように東京ドームが有名ですが、鹿島は、もっと開放的な傘のような膜屋根に注目して開発を進めてきました。この膜屋根と木造を組み合わせますと、木の暖かさと膜屋根をとおして入ってくる光の暖かさ、両方の特色を生かすことができるわけで、この感性を生かしたデザインを追求してみたいというのが私達のねらいです。

日本は、「木と紙の文化である」と、出雲の岩国哲人市長は述べています。また、「出雲市の学校は全て木造にしたい」ともコメントしています。岩国市長には、非常に斬新的な考え方と日本文化に対する入れこみがあります。

昔、出雲大社は、今の倍、48mくらいの高さの木造建築であったといわれています。現在の出雲大社の高さは約24mです。

このような背景があって、鹿島がコンペに提案したのは、紙をテフロン膜に置き換え、木造の骨

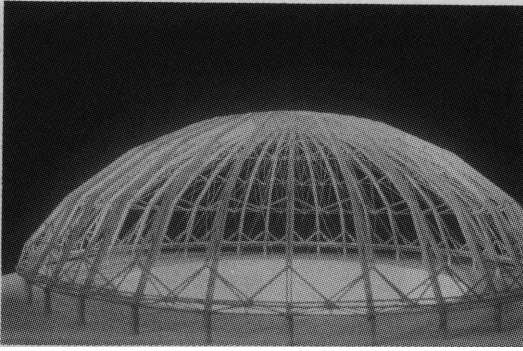


写真1

組と組み合わせたものです。その提案を採用いただいて、現在、施工中です。ほとんどできあがっておりますので、機会があれば皆さんにもぜひ見ていただきたいと思います。プロジェクトの正式な名称は「出雲健康公園プロジェクト」です。

出雲市は日本海側気候で、冬になると、どんよりした日が続く、小雪がばらつき、季節風が非常に強い。雪はそんなに多くないのですが、雨は多い。そういう地域性が全天候型のドームにつながってくるわけです。

この施設のアリーナは土です。ドームの中で軟式野球の公式戦が可能な規模を設定しているので、高さが48m、スパンは140mとなっています。

写真1が構造を表わす模型です。模型は木で作りましたから非常にリアリティのあるものができています。皆さんはこの模型から傘を連想するでしょう。出雲地方は雨が多くて、「弁当忘れても傘忘れるな」と地元の人はいいます。デザインのイメージをどこに求めようかとディスカッションした時に、和紙と竹でできている蛇の目を思い出して、それをイメージした構造システムを考えました。蛇の目になりますと番傘より大きい。そのため、竹の骨の根元のはうは糸でかがって一体化してあります。

この建物はラジアルの方向に木造のアーチを放射線状に36本配置していますので、10 ごとに分割されていることとなります。これだけでは、大きな曲げモーメントが生じて、アーチの断面が非常に大きくなってしまいます。そこでアーチの曲げモーメントを小さくする工夫が必要です。ここ

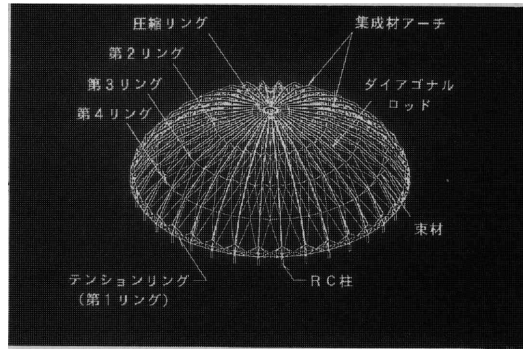


写真2

にある3段のリングはそのため配置してあります(写真2)。というのは、ザルを押してみるとよくわかるのですが、上から荷重がかかると、アーチは外に変形します。リングで結ぶと、リングに引張力が生じて変形を拘束し、アーチのモーメントが小さくなり、圧縮力が支配的になって、木材が圧縮に強いという特性を生かした使い方ができます。そのためにリングを入れたわけです。アーチと同一平面内にリングを配置してもいいのですが、デザイン的にはあまり面白くないのと、リングをアーチと同一面にすると、膜屋根を字型には張れないので、アーチから4 mほど離して、リングが宙に浮いたような形に配置しました。リングはどんな荷重状態でも引張力となるので、ケーブルを用いて細い糸でつないだイメージとなります。

このリングとアーチを立体的に斜めに結んでいるのはスチールロッドで、荷重のアンバランスに対抗するブレース的な役割をします。なお、この架構は自己釣り合い系のシステムなので、RC造の柱の上にのせるだけで済み、ドーム周囲を開放的にすることが可能です。

アーチ集成材の断面は幅が273mm、せいが914mm(中途半端なのはインチサイズだからです)で、これをふたつ合わせて1本のアーチにしています。アーチを組み立て材としたのは、屋根が膜なので横剛性のある断面が必要だったからです。

集成材の接合部はスプライスプレート16mmをはさんで24mm径のボルトで接合しています。この接合部の特徴は、木口がウッドタッチとなっている

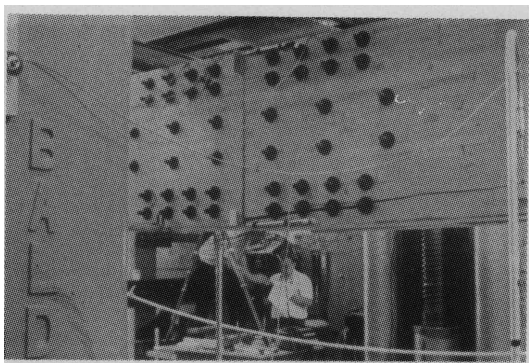


写真3

ところで、圧縮力を直接伝達させることにしましたので、木口の加工精度には十分気を使っています。集成材をアメリカで調達するため調査に行ったとき、「これをきちんとつくれるか」とたずねたら、「非常にクレージーだ」という返事が返ってきましたが、実際には非常に良い精度で加工してくれました。

写真3が実物大の実験です。この実験はアメリカのワシントン大学で実施しました。計算による接合部の許容曲げモーメントはボルトの側圧で決まるので、太いボルトを使って、集成材にあける穴のクリアランスは2mmとして十分な精度を確保しています。実験の結果、短期許容モーメントの2倍の耐力があることがわかりました。

架構全体の耐力をコンピュータ解析によって確認しました。雪による偏荷重をステップバイステップで増加させていきます。この検証で、架構は設計荷重の約3倍の耐力を有していることが確認されました。

写真4はコンピュータグラフィックスで描いた柱脚部分のディテールで、集成材を取り付けた状態が**写真5**です。アーチの接合部のディテールが**写真6**で、折り曲げ部のディテールが**写真7**、中央のコンプレッションリングとの接合部が**写真8**、集成材のアーチと膜屋根との取り合いが**写真9**です。ケーブルと束材を接合するディテールが**写真10**です。このケーブルはいかにも細いように見えますが、1本70mmです。ロッドはすべて既製品を使用しています。

集成材はアメリカから直接輸入することにし

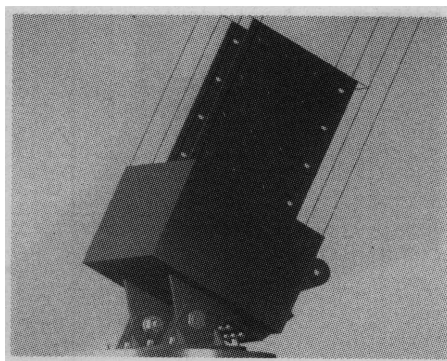


写真4

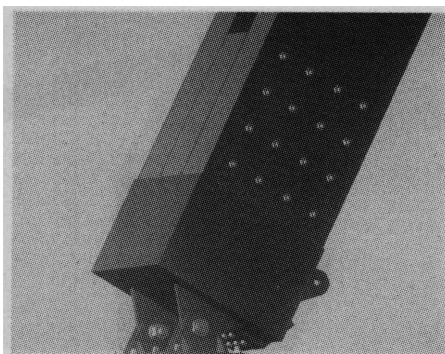


写真5

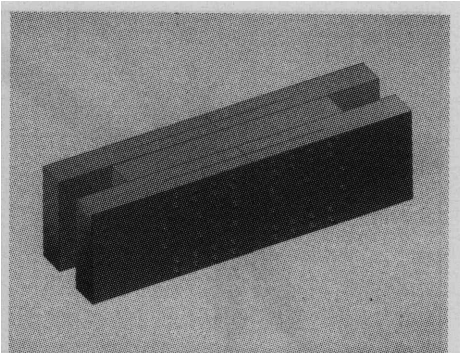


写真6

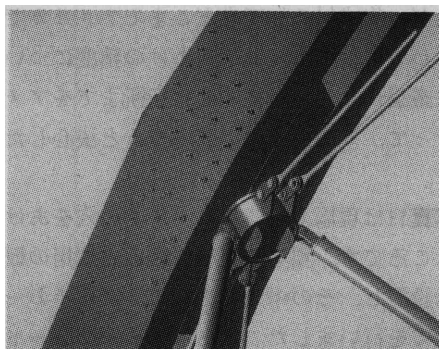


写真7

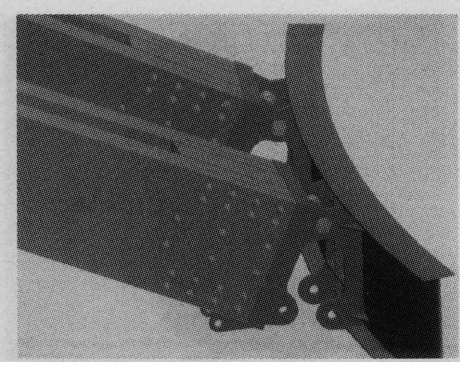


写真8

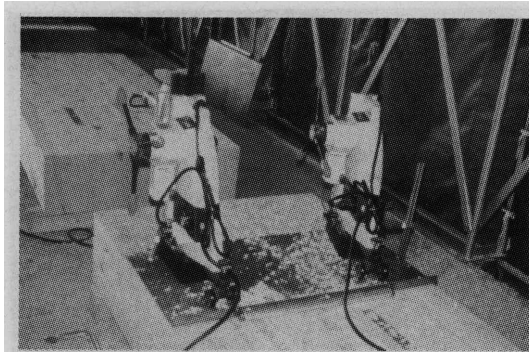


写真11

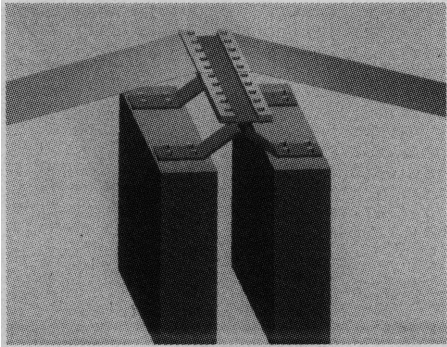


写真9

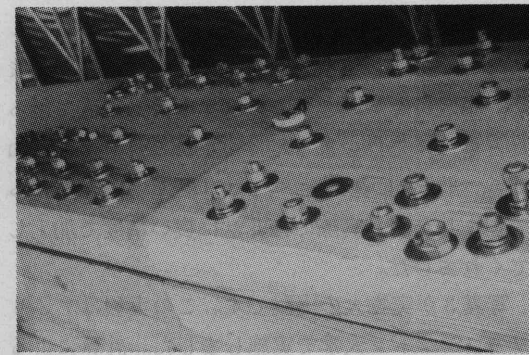


写真12

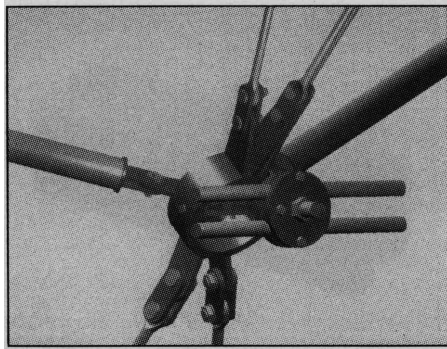


写真10

す。この機械は、現場の者と実際に作業する人達が集まって、試行錯誤して組み立てたものだから市販はしていません。

穴は10万か所あけなければなりません。ひとつの穴をあけるのに約5分を要します。ドリルの回転を早くすると、木には節や年輪があるので、正確に穴があかないようです。それからドリルの先はどんな形状がいいか、おがくずが出てくる機構をどうするかなども検討しました。ドリルは日本製の、従来から使われているものを、軸を補強して使いました。アーチの組み立て状態を見ていただくと、非常に精度よくできていることがわかります(写真12)。

次にどのようなシステムで建て方をすべきかという課題があります。これは木造に限らず大空間構造に対する重要な課題であります。ここで採用したのは中央のリングをせり上げていく方法です(写真13)。説明しますと、36本のアーチと中央にリングがあり、プッシュアップ支柱をその中心に設置し、アーチ2本を1ユニットとして地上で

したが、集成材の加工をどこまでアメリカで行うかについては、ボルトの穴あけの精度について大変な議論になり、最終的には切断までをアメリカで行って、穴あけは現場でやろうと決心したわけです。

写真11は現場で集成材にボルトの穴をあけているところです。現場に集成材組み立て用の仮設建物を設置し、その中で加工して、アーチの一次組み立てを行いました。穴あけはテンプレートをつくり、マグネットで固定し、正確な位置を出しま

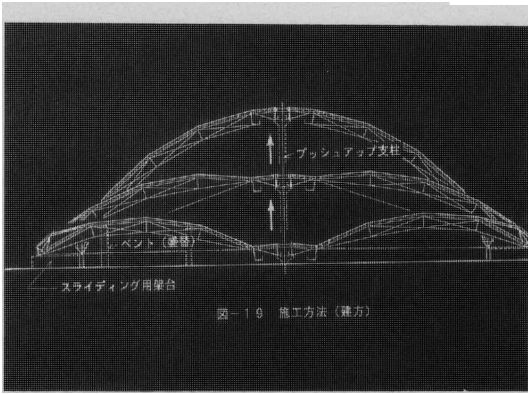


写真13

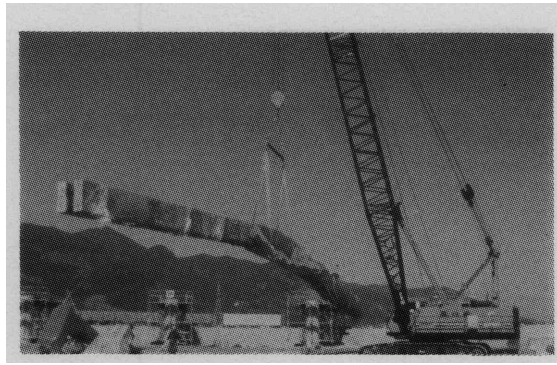


写真15

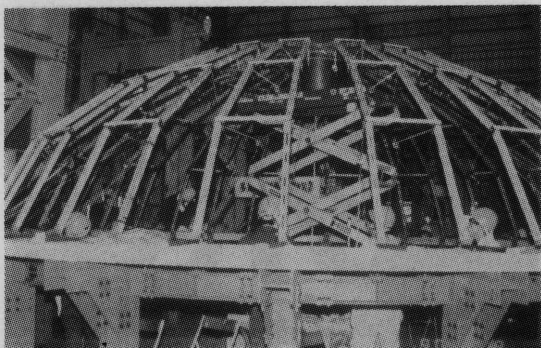


写真14

組み上げていきます。この時、ユニット間の膜やロッド類も同時に取り付けおきます。この地上での作業が終了するとプッシュアップ作業に入ります。この状態で集成材アーチの端部はRCの柱から15m外の位置にあります。中央を上げていきますと、アーチの柱脚はスライディング用架台の上を滑って、最終的にはちょうど柱の上に納まることとなります。

写真14は1990年の8月に、日本大学で、20分の1の模型をつくりまして、この工法のシミュレーションを行いました。学生さんが各ユニットに1人ずつつきまして、横揺れがないか、真っ直ぐ滑るかをチェックしてもらいました。その時の状況です。この実験から施工での問題点を抽出し、実際の施工にフィードバックしています。

写真15は仮組みヤードで組み立てられたアーチのピースをクレーンで組み上げているところです。

アーチが次々と地上で組み上げられていきます(写真16)。膜も1個おきに張られ、ロッド類も取り付けられています。右端が中央リングです。そ

1992年5月号

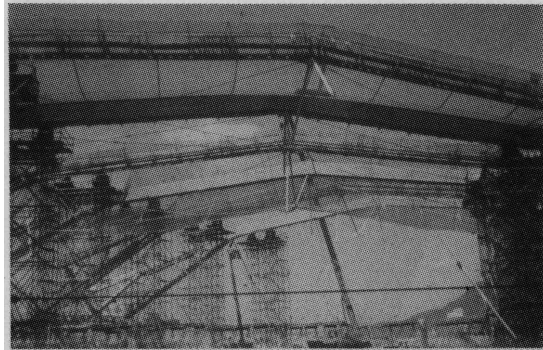
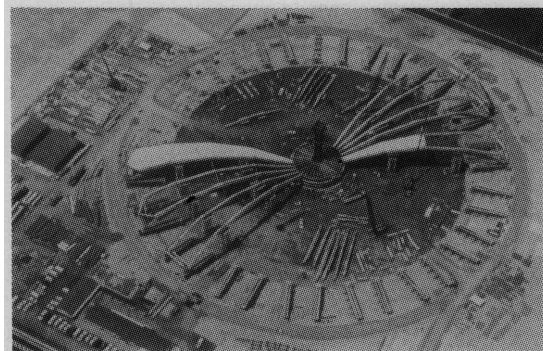


写真16



れを空から見ますと写真17のようになります。ルーレットのように見えると思いますが、アーチが組み上がってきた作業の状況がよくわかると思います。

写真18は先程、コンピュータグラフィックスで示したとおりにできています。束材のパイプが一部まだ納まっていませんが、集成材のジョイントは精度よく納まっています。

写真19は膜面です。まだ導入張力を入れてないのですが、美しい曲線の膜屋根ができています。

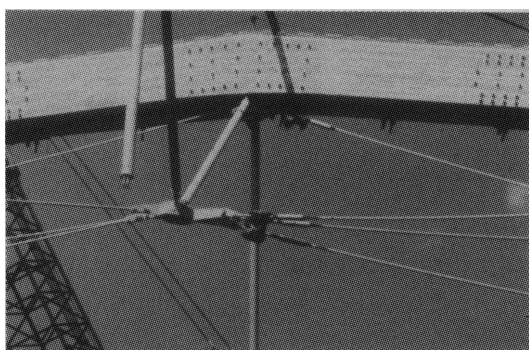


写真18



写真19

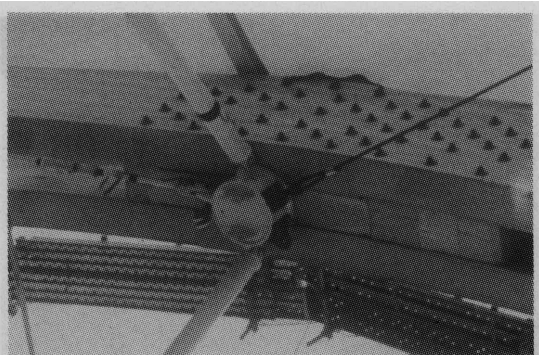


写真20

写真20はアーチの折点の部分で、ここは曲げた集成材を使っています。丸い金物はリングケーブルとアーチを結んでいる 型の束とをアーチに接合するためのものです。

写真21はアーチの地組が全部終了してルーレットが完成したところです。いよいよこれからプッシュアップ作業に入る直前の写真です。アーチにの柱脚部には架台が設置してあり、この上を滑って行きます。まず第1段階は中央支柱の上、地上から高さ20mぐらいのところまでリフトアップし

ました。

写真22は地上から20mほどリフトアップされたところです。柱脚に調整用のジャッキが設置してあり、プッシュアップは柱脚の位置を自動計測して、司令室のコンピュータにグラフで表わし、柱脚部分に設置してあるジャッキで調整しながら行きます。このジャッキは風が吹いたときのストッパーとしての役割ももっています。

48mまで無事プッシュアップが完了しました(写真23)。内部(写真24)はこんな簡単な支柱



写真21

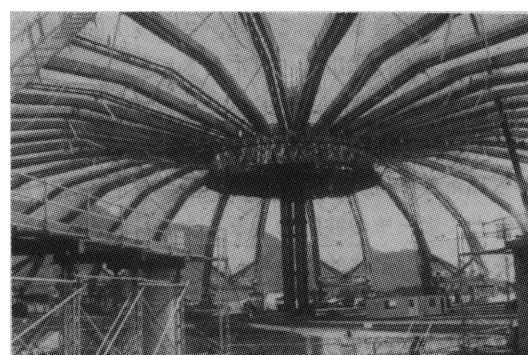


写真22

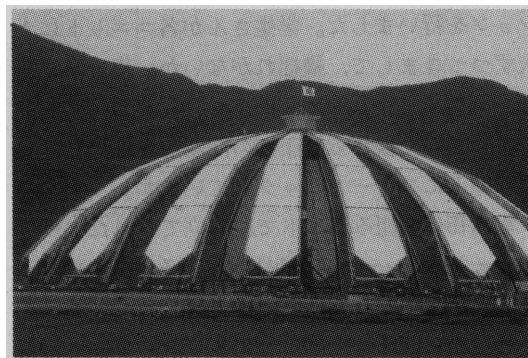


写真23

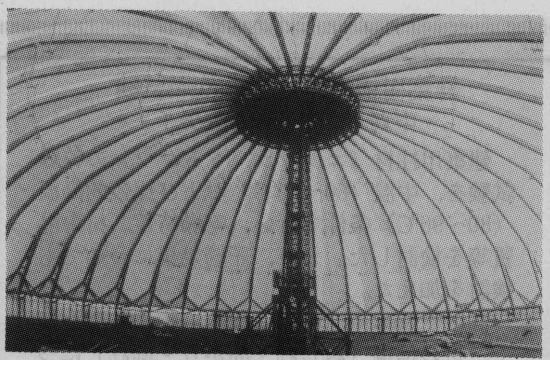


写真24

しかありません。この写真は柱脚も納まって、間の膜も全部張り終わった状態です。フラッシュをたいていない写真ですけれども、こんなに明るい空間ができ上がるわけです。

ついでに建築計画的なお話をしますと、固定の観客席ともうひとつ移動できる観客席がありまして、大体2,500人くらいは競技を見られるようになっています。野球の時はハの字にして、ラグビーやフットボールを開催する時は、片方の観客席を移動して両側に平行に配置します。テニスもできますし、ほとんどのスポーツが可能です。

写真25は魚眼レンズで上から撮った写真です。固定観客席が写っています。ドームの周囲はポリカーボネートをルーバー風に、住宅でよく使うジャロジー（よろい戸）にして、回転できるようになっています。ですからここをあけますと、風が通ります。夏はルーバーをあけて使っていただき、冬はしめて使っていただく。膜構造は、冬でもわりと暖かいのです。出雲でも寒い日がありますが、この中にいますと風をシャットするので暖かい。夏は日傘のように、膜が太陽光線のある程度（75%）カットし、ドーム周囲のルーバーを開放すれ

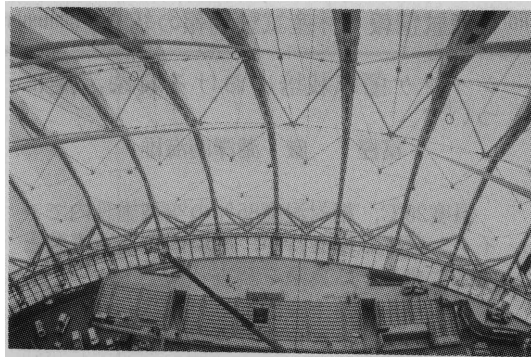


写真25

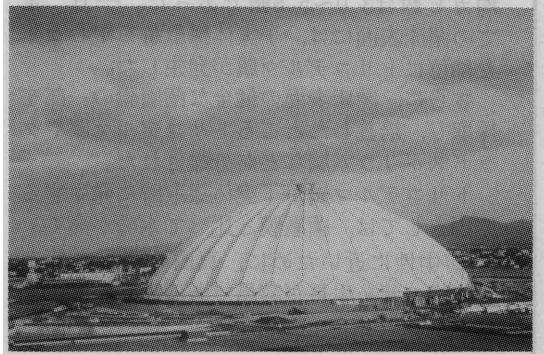


写真26

ば風が通って涼しくなります。外にいるよりはずっと涼しい。膜構造にはこのような特徴があります。

写真26は現在の状況です。折り紙細工のようなドームが田園の風景の中に浮かびあがりました。あとは、公園の整備をして、内部の仕上げをする段階に入っておりまして、今年の4月29日（みどりの日）にオープンします。オープンを記念して、早慶のラグビーの試合をここで開催する予定です。

どうも、ご静聴ありがとうございました。

大規模木質構造懇談会は、平成4年2月28日、林産試験場、道集成材工業会、道木質材料需要拡大協議会の主催で、札幌市において開催されました。本特集号は講演者のご了解を得て、講演内容を「特集大規模木質構造懇談会」として、掲載したものです。