

膜構造

技術 ニュース

Membrane Structure : Technical News

No. 6

目 次

- | | |
|--------------------|------|
| 1. 欧州の膜構造との出会い | (1) |
| 2. 日本の膜構造建築—風土と技術— | (7) |
| 3. 膜構造ニュース | (12) |
| 4. 技術研究委員会報告 | (13) |

2006 年 5 月

(社団法人) 日本膜構造協会

1. 欧州の膜構造との出会い

佐藤 英治

技術系社員として建設会社に入社後、海外関連の部署に長く所属し、調達・輸出入・契約管理等と純粋な技術とは距離のある業務も多く行ってきた私には、膜構造は遠い存在であった。ある日、(社長室で)二人の英国人とアフタヌーンティーを飲んだ時から、私の建築へのかかわりが大きく変化し、膜構造への出会いとなった。

<膜構造との出会い>

膜構造との出会いは、まさに欧州の技術とデザインからだった。約10年前に最初に直接目にした欧州の膜構造は、日本におけるもので江戸東京博物館休憩施設の屋根となった。二人の英国人(一人はドイツの会社の社員)の作品である、この建築物は、複雑な形状を一体の膜で形成し、ステンレスのケーブルと金物で見事に膜の端部を収めていた。それまで、RC造と悪戦苦闘していた自分自身にある種のカルチャーショックが走った。

この後、二人の英国人だけでなく、この作品の解析や設計・加工に携わった膜構造の優雅さを追い求める面々と一緒に仕事を行い、多くの影響を彼らから受けることになる。

<大型膜構造の時代>

10年前は日本でも膜構造が脚光を浴びていた時期でもあったが、スポーツ施設等に偏った使われ方であったと記憶している。この時期欧州では、サッカー場等のスタジアム建設が一巡し、膜構造はスポーツ施設から違う用途への転換期となっていた。私が欧州に訪れたこの時期には、ドバイのホテル(膜のファサード利用)、ミレニアムドーム(最大規模のドーム)、エデンプロジェクト(ETFEクッション)、ソニーセンターベルリン(ガラスと膜との組合せ)等の歴史に名を残すような膜構造の設計が進行中で各社が競って設計提案を行ない、これらのデザインや技術はその後の膜構造に大きな影響を与えることになった。

これら大型膜構造はそれぞれ技術的・意匠的特徴を持つだけでなく、施工計画を十分に練った上での設計が行われていた。

ドバイのホテルのファサード膜では、膜の施工会社が鉄骨工事も請け負った事で、施工計画が容易になった。鉄骨に膜の片側を取り付けた状態で鉄骨を施工する事で、施工省力に成功している。欧州では、膜工事業者に鉄骨も発注するケースが多く、膜構造の設計者は施工方法を考慮し、鉄骨を含めた設計を進める事が容易である。これにより、一見困難と思われる膜の定着方法も実現することが可能となっていた。また、彼らは主膜に穴を空ける事や、屋根の途中で分割する事を嫌い、可能な限り大きな膜体による設計を進める傾向にあった。この工事の責任者であったドイツ人は自慢の髭をいじりながら、施工計画と膜の設計の大切さを力説していた(このドイツ人は、この7年後に262,000m²の膜をアジアで施工する事になる)。



写真1
ドバイホテルの膜のファサード



写真2
ドバイホテルの膜の施工中

<構造的特长>

欧州における、四フッ化エチレン樹脂コーティングガラス繊維膜の利用では、大きな初期張力を設定する事が常識化しており、最低でも 3kN/m の初期張力を設定していた。縦横の張力を同じにする事に拘りはなく（但し、縦糸方向を強くする）、膜のサグをコントロールするのに、縦糸に横糸の倍の張力を入れることもしばしば見られた。膜をフラットに張る事は、基本的にタブーとされており、押さえケーブルによる張力導入で形状を拘束するような構造は稀であり、押さえケーブルは膜の吹き上がり（反転）後の膜への補助的な要素となっていた。

段階的且つ大きな張力を施工時に与える事で、応力弛緩を初期段階で誘発でき、長期の応力弛緩をコントロール出来るとの考え方から、再緊張装置を施した膜構造は全くと言って良いほど見ることが出来ない。

<ETFE フィルム・クッション>

エデン・プロジェクト以降、アリアンツ・アリーナ、北京オリンピック・スタジアム等で脚光を浴びている ETFE フィルム・クッション構造は、欧州では既に、特定用途向けとして普及していた。ETFE フィルムの持つ全領域の光線透過の特徴は動植物の育成に適したもので、動物園での活用は盛んであった。ミュンヘン動物園では、最初に建設されたライオン・ハウスから亀の展示ハウス、猿の展示ハウスと続けて建設が行われた。短い夏を悔やみ、太陽の光をこよなく愛する欧州の人々は、透明なこの ETFE フィルムで覆われたプールはこよなく愛し、連鎖のように幾つものプールのドイツ国内で建設された。



写真3 ミュンヘン動物園
ジャングルハウス



写真4 ミュンヘン動物園亀ハウス



写真5 キーム湖屋内プール



写真6 ドイツ国営放送
野外ステージ屋根

ドイツの国営放送では、毎週日曜日に生放送される野外コンサート向けにステージと客席を覆う、ETFE フィルム・クッションの屋根が施された。透明な素材と細い部材で形成されたこの屋根の存在感は画面上から消え、天気は雨なのに、誰も傘をささずに、濡れてもいない不思議な世界がテレビで映し出されていた。エデン・プロジェクト以降の ETFE フィルム・クッションの発展は、周知の通りであるが、日本ではアフタヌーンティー仲間の英国人達が関与した、リゾートハウスの屋根だけが施工されたのは、寂しい限りである。

<可動式膜屋根>

サッカーがメジャーなスポーツである欧州では、選手生命を縮める人工芝をスタジアムに使用する事は、設計上のオプションにはない。しかし、一日中降ることはなくとも、秋や冬に多い雨を避けて、スポーツや音楽を楽しみたい気持ちは彼らも、日本人と同じである。日本における可動式の屋根は、福岡ドームに代表されるような大型の設備で開閉に時間を要するものが多い。欧州での発想は、「常時は開いていて、雨の時に閉める程度で良い。雪の時は、開けても良いではないか。」であり、開閉の容易さ・スピードを重要視する傾向にある。また、芝生の育成に



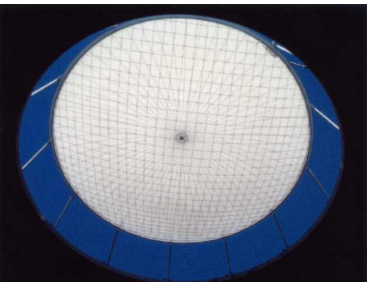
写真7 ハンブルグ
テニスアリーナ



写真 8 ハンブルグ
テニスアリーナ閉状態



写真 9 マドリッド闘牛場屋根



は、十分な紫外線と空気の循環が必要な事から、屋根に対して完璧な密閉を求めている訳ではない（観客は、多少雨に濡れても文句は言わないが、傘が邪魔で試合が観れないのは大問題となる）。ハンブルグのテニスアリーナの膜を中心に折り集める方法は、2006 年のワールドカップで世界にお披露目となる、フランクフルトのサッカースタジアムの基本となる。

この方法は、スペイン・サラゴサの闘牛場の屋根や野外音楽場等にも採用されている。

膜の軽量と言う特徴を更に活かすために、可動部分の屋根をクッションにし上下に可動させる方法もある。マドリッドの闘牛場では、この方式を採用するとともに、ETFE フィルムと四フッ化エチレン樹脂コーティングガラス繊維膜を組み合わせることで、膜の光透過率を落とさない工夫がされている。この様に、可動式の屋根は横にスライドするだけとの固定的概念が、膜の存在により壊された事になる。

写真 10 マドリッド闘牛場屋根

<移設型膜構造>

日本でもイベント向けの膜構造は、移設を考慮して設計されているが、正直な所デザイン性や仕組みの面白さに欠ける。欧州のそれは、客先の厳しい要求によるものとは言え、極めて斬新なものが多い。

メルセデス A クラス発表展示向けに製作されたイベント施設は、同じものを 2 セット製作され欧州十数か所で設営・移設された。この異様な形をした膜構造は、車に興味の無い、街行く人達を誘い、今までのメルセデスの高級車志向から全方位志向へと転換した、A クラスのデザイン・イメージ戦略に寄与をした。

トレーラーに組み込まれた、ピクトリア朝の襟を彷彿させるエアバールーンの構造は、ツールドフランスの表彰台である。フランス中を移動する競技者と一緒に、表彰台も移動し短時間で表彰の準備をしなければならない。想像以上に早い、競技用自転車のスピードについて行くには、膜の軽さも要求に合致したと言える。

同じ空気を使用した物でも、ラーメン構造の空気膜チューブで再現した構造物は、鉄骨を骨組みとした膜構造よりは、短時間での施工と撤去を実現してくれる。課題は、変形が大きいチューブの骨組みでは、重量物を吊れない事であるが、これを解消しつつ、高さを現在より 30% 程度高い構造が可能となれば、仮設膜構造としての活用も考えられるであろう。



写真 11 メルセデスベンツ
A クラス発表展示会会場



写真 12 ツールドフランス表彰台



写真 13 エアーチューブによるラーメン構造の例

<ガラスと膜>



写真 14 ウィーン地下鉄駅

ガラスと膜の組合せは、近年日本でも見られるようになったが、欧州ではごく普通に使われていた。

ウィーンの地下鉄の駅（と言っても地上にあるが）の屋根には、膜とガラスのコンビネーションが古い街並みに溶け込んでいる。雨樋は、膜面に仕込まれており、膜の作り出すカテナリーカーブとスチール製の横樋の形状不一致問題を解決している。

ミュンヘン空港のエアポートセンターは、第一ターミナルと第二ターミナルを繋げる屋外スペースを被っている。ガラスと膜の組合せが、独特な空間を作り出し、エアポートホテルの屋根とのデザインの連続性を作り出している。この空間は、ビジネスセンターや商業施設に囲まれており、オープンスペースなイベント空間として活用されたり、スタッフや来訪者の憩いの場として活用されている。

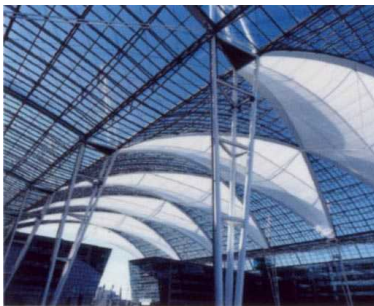


写真 15 ミュンヘン空港エアポートセンター

<木材と膜>

膜と木材との組合せも、膜の軽快さと木材の自然な風合いの組合せとして、デザイン的に相性が良い。

ハノーバー万博では、集積材のフレーム・格子に膜を貼り付けた巨大な屋根が出現させるなどの演出的な使い方がされている。仮に、このフレームに膜ではなくガラスや金属を取り付けたら、全く別の構造物になったであろう。



写真 16 バスターミナル庇



写真 17 ハノーバー博



写真 18 ハノーバー博



写真 19 キーム湖屋内プール内部

ETFE フィルムクッションとの組合せも当然の事のように、木材と組合せ、利用者に対して優しさを与えている。 ETFE フィルムクッションは透明であることから、利用者の目には木のフレームだけが浮き上がり、内部に配置された樹木と一体となり、建物の外に居るような気持ちにさせてくれる。

<新しい時代の膜構造>

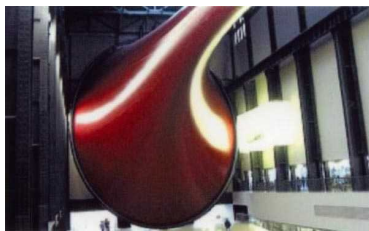


写真 20 ロンドンテートギャラリー新館（膜の彫刻）

最近の欧州デザインの膜構造には、デザイン重視と多機能の方向性が見られる。ロンドンのテート美術館の巨大な膜のオブジェはまさに、デザイナーのイメージを具現化したものであり、デザインのユニークさを規模で増幅させている。ETFE フィルムクッションで作られたアリアンツアリーナは、透明性などの ETFE フィルムの特徴を活かしただけでなく、如何に建物の色を変化させるのかに、設計の時間を費やし、ETFE フィルムの本採用となった。



写真 21 ドイツWカップ開会会場：アリアンツアリーナ(出典 アリアンツアリーナ)



写真 22 バンコック第二空港
コンコース屋根内観



写真 23 バンコック第二空港
コンコース外観

バンコック第二国際空港のコンコースの屋根も欧州のチームにより設計・施工が行われた。

この膜屋根は、三層構造となっており、四フッ化エチレン樹脂コーティングガラス繊維膜を外側に配し、中間にケーブルネットで支持をしたポリカーボネートシート、内側にアルミを蒸着させたガラス繊維メッシュを取り付けている。同膜屋根には、遮音効果・吸音効果・光透過性・低再放射率の多機能を要求されている。一つの膜屋根モジュールの一層の面積は 1,250 平米あり、このモジュールが 108 箇所、ガラスと交互に配置されている。膜屋根を複層化する事で、光・音・熱をコントロールする事が出来る事で、機能的に他の素材に対して優位性を持つことが可能となっている。デザイナーの狙いは、連続した膜の天井による独特な内部空間であろうと思われるが、空港施設の特殊性から、色々な要求が膜の屋根に付加され、実施設計者を困らせた。

<終わりに>



写真 24
ドイツ W カップ決勝会場
ベルリンスタジアム

欧州の膜構造物と多く触れてきた私は日本で多用されているフラットな膜の使われ方に対して個人的に疑問を持っている。フラットな膜の使われ方の場合、膜を使用する理由を明確に見えてこない。単純に軽量・光透過であれば、技術革新により他の素材に取って代わられる可能性も高い。幅広い分野で建築にかかわってきた私が、膜構造の世界に残っているのは膜の持つ美しさに魅せられたためであり、他の素材では出すことが出来ない優雅なフォルムを膜構造が作り出すからである。なかなか自由にコントロール出来ない難しさと素材の持つ魅力はまるで恋人のようであり、エンジニアの楽しみは深いものである。

私が欧州で仕事を一緒にしてきた仲間達は同じように膜構造の魅力に取り付かれ、世界中で作品を作り続けている。今年は、ドイツワールドカップで多くの仲間達の作品をテレビで見ることが出来、ウィンブルドンでも見れそうである。

バンコクの空港も開港する予定でもあり、2年後には北京のオリンピックがあり、欧州の膜構造のデザインが日本の建築関係者の目に触れることが多くなる。それらの作品には多様な発想とデザインがあり、それらを積極的に取り入れ、日本の構造条件に合わせる努力をする事で、日本の膜構造の市場の拡大を進める事が出来るのではないだろうか。

<謝 辞>

石井会長のお薦めにより拙文を「技術ニュース」に載せていただくことになりました。慣れない作業ゆえ筆の遅い私を根気よくご指導下さった石井会長に、心より感謝申し上げる次第です。

株式会社小川テック 技術本部 本部長 佐藤英治

1982 年～2002 年 不動建設株式会社(欧州駐在を含む、海外勤務を中心として活動)

2002 年～2005 年 バンコク第二空港ターミナルビル建設工事 JV 工事事務所

2006 年 4 月より現職

2. 日本の膜構造建築—風土と技術—

石井 一夫
横浜国立大学名誉教授

イタリアで出版される予定の“L'architettura delle membrane pretese e l'ambiente costruito (The architecture of pre-tensioned fabric membranes and the built environment)”：Aldo Capasso, Massimo Majowiecki 編（伊・英語併記）：「膜構造建築とその環境」への原稿の依頼を受け作成した日本人（抄）を掲載します。

（序）

膜構造はすべての建築に適用できるものではない。ある限られた適用範囲のなかで、その用途に沿って膜材料の特性を十分に引き出し、うまく設計され、うまく施工されたとき、膜構造建築の良さは限りなく発揮される。

かつて、ドイツのスツツガルト大学オットー教授が示した膜構造の基本形態は、現在では世界中に広がり、その形態が基本とされ、膜構造は発展した。その後、社会的にも明るい大空間と大架構の要求が増し、膜構造建築は内部空間を明るくすることができる特性と軽量性により必然的に大規模化した。

* * * * *

しかし、建築はその国の文化、風土、環境に大きく影響される。現在、膜構造建築はまだ本当に日本のなかで溶け込んではいないと思う。単に世界的な傾向のなかで、流行で使われているかもしれない。膜構造建築がこの日本の風土、環境のなかで、その良さを十分に発揮し、社会に受け入れられていくには、日本の風土と環境に対する根底的な思想と相容れたときであり、そのときに日本で本当に根付いていくと考えている。

* * * * *

木造架構は日本で古い歴史と技術があり日本の文化を支えてきた。木製建具に紙を貼った障子は、日本的な建築構成材の一つであり、そこに感覚的な落ち着きと美しさを見出す。

木造として最大規模の架構である大館ドームは、白い膜材料と一体となって日本的な光の空間を創出している。しかし、多雪区域に建つ大空間木造架構の実現には幾つかの技術的問題の解決は困難であったが、それらは一つ一つクリアーされて実現した。



大館樹海ドームパーク
木造と膜面（現地杉集成木材）
荷重積雪 450kg/m²の多雪区域
での集成木材ドーム架構



木の花ドーム
積雪のない地方での集成木材
ドーム架構と膜面



富山ドーム
積雪荷重 450kg/m²の多雪区域
木造架構と膜面：屋根勾配 40°
で積雪のない屋根としている。



（膜構造建築と風土）

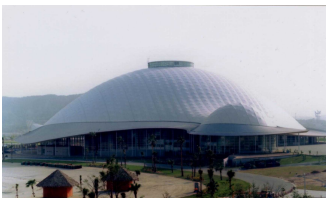
膜構造建築の形態と構造とは、地域の環境条件、荷重条件に大きく影響を受ける。日本では、春、夏、秋、冬と気候が常に変化し、気温変化、湿度変化を生み、また地震、台風、大雪など常に大きな災害の可能性をもっている。このため、膜構造建築は、砂漠の乾燥地域や夏期の快適な気候をもつヨーロッパ的なデザインがそのまま日本には受入れられるとは考えにくい。

膜構造建築をこのような日本の風土、環境のなかで成立させて行く努力は、これまで多くの人々による議論と調査と研究とに裏付けられ、その設計が模索された。これは膜構造建築のデザインばかりでなく、それを成立させている構造方法と工法にも及ぶ。日本の風景のなかで膜構造建築のデザインが考えられなければならなかった。

日本の風土、風景のなかでは、用途は満たしても単に規模の大きいだけの醜悪な膜構造形態はそれにあう風景が日本には存在しない。どのように日本の風土、風景のなかに膜構造を適合させていくかという論議は、いまだ結論のでないテーマとな

っている。

但馬ドーム
積雪深 2m の多雪区域
膜面屋根勾配 30° で長期積雪
のない屋根とし、日本的なデザ
インのなかで克雪している。



山口ドーム（山口県）
システムトラス架構と膜面

このようななかで、1990 年代、日本では膜構造建築のデザイン競技設計が多く行われ、これに多くの設計者が参加し、膜のデザインが追求され、結果として優れた膜構造が日本より世界に向けて発信されるようになった。しかし、それは形だけの、あるいは構造技術だけの発信であり、日本の風土と文化のなかでの位置づけは発信されていないように感じられる。

* * * * *

構造的には、日本では膜構造は固い骨組に支えられたものとなった。これは日本の風土がモンスーン地帯にあることへの認識と雪国での雪荷重、即ち台風に対するサスペンション構造の動的、変形の問題と雪荷重に対する変形、局部滞留の問題は、日常化した骨組構造による発想となっていく。骨組架構では構造の信頼感、わかり易さがある。骨組架構の様々な形態が提案され、構造的な不安感を残さない確実な構造で、台風も雪も乗り切ろうとした。

これら骨組膜構造のデザインと形態は日本で考え抜かれた。山口ドームは、これまでのドームのイメージをさらに発展させている。ドームは構造表現が全面にでるなかで、このドームは、それを押さえ、大きな塊のデザインから脱却を目指している。デザインは構造の合理性と形態の中で試行錯誤され、互いに妥協され、やっと辿り着いた表現となった。

* * * * *

膜構造建築はかつてテントと呼ばれ、簡易な仮の建築がイメージされていた。このため、現在では、まだ社会的に膜構造は安価な建築というイメージが一般には強い。勿論このような用途と社会的な要求もあるが、膜構造を恒久建築として他の伝統的な建築に伍して考えていくとき、従来の安易な建築、仮の建築というイメージからくる品質の低下、施工精度の低下は、膜構造の安全と耐久性を脅かし、質の高い空間から遠いものとなる。膜面の透光性と軽量性は、緑豊かな国に新しい空間を提供しようとしているが、膜構造が必ずしも恒久建築物として安価な建築ではなく、ある意味では高価な、豊かさのあらわれである建築であり、贅沢な建築かも知れない。

* * * * *

現在、日本に限らずアジア諸国へは、各国の膜構造技術が入りみだれて導入され、地域とその文化による特性が考えられる前に、それまで膜構造に関わった国の技術がそのまま導入されている。安易に持ち込まれる建築とその技術は、その地域性の立場から、建築的にも、構造的にも見直しがされなければならないだろうし、熱帯、亜熱帯地方、多雨あるいは寒さという条件のなかで、さらに新しい膜構造のありかたが考えられていかなければならない。

膜構造建築をどのように受け入れていくか、新しい技術に対してそれらを咀嚼し、確認し、間違いのない導入が必要と考えている。

* * * * *

各国において、新しい空間を求めたとき、膜構造がその1つの選択肢として定着していくためには、今後、各地域の特異性を十分に考慮した解決法をもって、その国に適合した膜構造が望まれていると思う。

アジア各国にも優秀な建築家と技術者は多くいる。彼等が膜構造に眼を向けるとき、その地域に密着した新しい膜構造が生まれることとなろう。

* * * * *

一方、世界は大スパン、大空間構造に軽構造システムを取り込み、必然的にケー



白竜ドーム
集成木材アーチとケーブルによる
サスペンション膜軽構造

ブル膜構造は軽さの表現となっている。現在、世界各地域は互いに影響し合い、デザインも構造も標準化しつつあり、同一化の方向に走っている。一国の新しいアイデアは直ぐに各国に伝播し、同じような設計がその地域、風土、文化と関わりなく、直ぐに行なわれる。日本においてもその風土と環境のなかで、軽構造も見直されていかなければならないと考える。

(膜構造の安全の確保)

膜構造は構造の面でむずかしい構造である。他の伝統的な構造が、長い年月をかけ、いろいろな破損、崩壊、火災に遭遇し、その安全が次第に高まり、安全のポイントが明確になってきている。しかし、膜構造建築は歴史の浅い構造で、このような破損、崩壊との遭遇も不十分である。まだ、個別の設計を積み上げて、その中より安全に対するポイントを次第に明確にさせていく必要があるのではないだろうか。

* * * * *

日本での膜構造は、台風に対してどのように安全を確保していくかが大きな問題となる。台風に対してのこれまでの事故は、大規模膜構造で幾つか発生している。膜構造は台風の最大瞬間風速に対して安全であるよう設計されるが、日本での最大瞬間風速は 60 m/s を超える。これまで、この台風によって大規模膜構造 3 例が大きな破損を受けている。これらはいずれもスポーツ施設であり、台風時には観客はいないため、人的被害は発生していない。また、膜面の破損は、構造全体の崩壊には至らない場合が多い。

積雪に対しては、膜構造では内部空間の明るさを確保するため、屋根膜面上に長期の積雪を生じさせない設計が原則となるが、屋根膜面上の積雪を自然滑雪あるいは融滑雪によって長期間の滞留をさせないためには、設計として何を考えていかなければならないか、維持管理上何をしなければならないか、ということもまだ明確にはされていない。膜面の変形などによる長期間の滞留雪の発生は、膜材料ゆえの特殊な考慮点があり、放置できない問題でもある。

* * * * *

このような建築に対して、構造の安全をどのように考えるのか。

膜構造建築での火災発生による被害はこれまで日本ではみられない。これは膜構造建築の建設場所の制限、用途の制限、使用材料の制限等の規制によるものであると同時に、設計者が膜構造建築の防火対策に神経を注いでいることによる。

膜構造を他の構造と同じ安全レベルをもった建築とするための設計指針、施工指針、管理指針は、現在はまだ不十分でその論議も進行中である。膜構造建築の構造を誰もがわかり、設計者誰もが膜構造の安全に自信がもてるようになるには、まだ時間がかかると日本では考えられている。

この新しい建築の安全のレベルに社会が疑問をもつようになったら、膜構造のマーケットはなくなっていくと思う。

* * * * *

これまで他の構造の安全の確保は、設計者ばかりでなく、その構造に携わるすべての人の努力が積み重なっている。また事故に遭遇し、事故に至らずとも危険な状態を察知して改良が加えられ、次第に安全となり、社会に認知されてきた。事故を通してのみ改良を加え、安全性を高めていくのは避けるべきだとは思いますが、そのためには、膜構造のクリティカルな状態を予測しなければならない。大変な課題だと

思う。また、わかっていても、事故が実際に起こらないと、この構造に対する安全

の認識が設計者や施主に起こらない。

一般には、膜構造建築においても、事故に至る直前のものの例が多くある。そのような例をしっかりと観察すべきだと思う。それから先は、偶然にも事故発生を防げた例もあるし、不運な事象が重なって事故発生となってしまう例もある。膜構造設計時には、あらゆる破損、事故の可能性についての検討をしてみる必要があると思う。

* * * * *

構造の安全について、常にバックアップする仕組みが必要なことはわかっているが、経済性の問題はいつもそれを阻害する。社会的にも、フェールセーフという考えは誰でも認めるが、実際にそれに基づいた設計はコスト面から敬遠される。膜構造の事故はそれほど重大な事故に結びつかないという概念があるのも事実だし、建物の崩壊に繋がるような、あるいは航空機の墜落というような全生命に係わる事故は膜構造ではないだろう、という先入感が設計者にはあるようにも思える。膜構造建築に対し、このような安易な考えは許容されるのかどうかについても検証されていない。

守るべき安全のポイントが明確であれば、その範囲でのコストダウンへのアプローチは可能となる。しかし、その安全のポイントがまだ確立してはいないという状況において、膜構造建築のコストダウンのみを考えていくことは危険であることを関係者は認識して欲しいと思う。

（新しい技術に向かって）

膜構造の新しい技術は世界的に模索されている。それは新しい性能をもつ膜材料であり、新しい構造法であり、新しい施工法である。

新しい膜材料は、現在、脱塩ビ、リサイクル使用というテーマに向かって、幾つかの新材料が生まれた。現在このような材料が積極的に使われ始めている。膜材料の汚れ防止のための酸化チタン塗布あるいは PVDF コートは、素晴らしい性能をみせ、汚れに悩まされた膜面は常に初期状態を保つようになった。

恒久建築用膜材料は、取替えは想定しない膜材料で、耐久性と不燃性が要求され、現在では PTFE コーティングガラス繊維織布が主な材料となっている。ガラス繊維基布は施工時の折り曲げ傷による強度低下に悩まされているが、この材料に代わる新しい材料の開発はまだ進んでいない。折曲を回避しつつ行う運搬、施工の難しさが、安易な施工ではその強度を大きく失う。

* * * * *

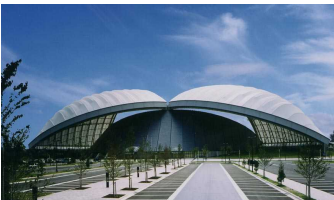
膜材料の折りたたみ性を利用した開閉屋根は歴史上古くより利用されてきた。トヨタスタジアムでは膜面を、空気を利用して折りたたみ、開閉中にも、屋根面の展張時にも膜面の張力を発生させるようにしている。二重膜による空気圧は膜面の雨水、融雪水によるポンディング現象を防ぐ一つの技術提案となっている。天然芝のグラウンドをもつ施設では、開閉屋根は必須のものとなっている。

多雪区域の膜構造の例では、積雪深 2m、積雪荷重は 600 kg/m² となるところもある。このような区域に建つ津軽ドームは、冬期は屋根を閉じ住民のスポーツ・イベント施設として計画されたが、積雪深 2m に対する技術的、経済的な困難さから、これを膜面に振動を与えることによる滑雪で、設計積雪荷重を 150 kg/m² に低減し、多雪区域での大規模膜構造ドームを実現している。

* * * * *



トヨタスタジアム：
空気膜構造面折りたたみによる
屋根の開閉



津軽ドーム
多雪区域での開閉屋根膜構造
屋根膜面振動による滑雪方式
による積雪制御を行う。



パークドーム熊本
ケーブル補強二重空気膜構造

パークドーム熊本は、二重空気膜構造という、これまでにない発想を持っている。二重空気膜構造という難しい構造は、その挙動、性能がまだ明確にされていない部分が多い。この構造方式が今後どのように発展していくのか、どのようなデザイン性を秘めているのか、まだ未知の分野でもある。様々なスケッチと、様々なデザインの可能性が探られるべき構造で、無視できない可能性を秘めていると考える。この構造の安全を確保するための構造計画はどのようにしてよいのか、今後も設計者は慎重に考えねばならない。

* * * * *

また、膜材料の薄さは、膜材料の透光性により内部空間を明るくするが、断熱、遮音、飛来物に対する抵抗力は少なくなる。膜面の引裂伝播は膜面の破損を一層拡大する。新しい膜材料への要求性能あるいは膜構造の構造法に対する要求は過大であるかも知れないが、これらがクリヤーされるとき、膜構造は一層の発展を遂げていくであろう。

* * * * *

膜構造は建て替えの自由な簡単な仮設建築、使用期間を限定した期限付き建築、さらに他の伝統的な構造と同等の長期間建築のいずれにも、膜構造の特性をつかって各々の目的に対応できるメリットを持っている。

また膜面のもつ軽量性、耐久性といった特性は、必然的に大空間架構に使用されるようになる。このためには、他の構造との複合が必須となり、そのなかに膜構造の発展が得られる。膜はケーブル構造の変形特性に良く追従できるので、様々なケーブル架構と組み合わせることが可能となる。ケーブルで補強された膜面は、膜構造として新しい展開をみせる。膜構造は排他的な構造ではなく、他の構造と複合されることによって一層のメリットを生むと考える。しかし、このような軽構造への試みは、日本ではまだ未熟であり、膜面の大架構への適用は、暴風、台風に対しての不安感が先行している。

* * * * *

膜構造を単なる流行に終わらせない努力を今後とも我々は続けていかなければならない。そのための新しい技術開発とともに用途開発は重要であり、同時に膜構造建築を日本に定着させていくためには、日本の風土と文化のなかでの位置づけが重要となっている。

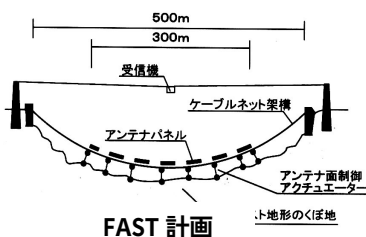
注)

大館樹海ドームパーク 1997 (秋田県): 設計 伊藤豊雄設計事務所/竹中工務店
木の花ドーム 2003 (宮崎県): 設計 大建設
岩瀬スポーツドーム 1992 (富山県): 設計 アルセッド建築研究所/富山県設計監理協同組合
山口ドーム 2001 (山口県): 設計 日本設計 (技術指導: 斎藤公男)
但馬ドーム 1998 (兵庫県): 設計 仙田満+環境デザイン・大建設共同企業体
白竜ドーム 1992 (広島県): 設計/構造 竹中工務店
トヨタスタジアム 2001 (愛知県): 設計 黒川紀章建築都市設計事務所
津軽ドーム 2001 (青森県): 設計 佐藤総合計画 設計協力三菱重工業
パークドーム熊本 1997 (熊本県): 設計 第一工房/フジタ共同体

3. 膜構造ニュース



実験棟



直径 500m スパンのケーブルネット構造 (中国)

中国で、大口径 (直径 500m) のケーブルネット構造による電波望遠鏡建設計画がある。直径 500m のアンテナ面形状はケーブルネット曲面であり、この曲面形状をリアルタイムで制御することにより、高性能化を狙う。

カルスト地形の窪地を利用し、ケーブルネット架構とその上に装置するアンテナアルミパネルにより、アンテナ面を構成する。アンテナ面を構成するケーブルネットの各交点から、引き込み用ケーブルで最適なアンテナ曲面をつくる。

アンテナ面の精度は 2mm 以内に制御する。

ケーブルネット面は 3 方向の Geodesic layout としている。ケーブル径約 30mm、形成される三角形メッシュは一辺約 12m。

現在直径 30m の実験棟を建て、受信実験、構造実験をおこなっている。

(FAST Project National Astronomical Observatories : Chinese Academy of Science)

Horst Berger 氏の膜材料についての講演

現在、恒久建築用としてもっとも一般的な膜材料は PTFE コーティングガラス繊維基布であろう。不燃性であること、比較的長期間使用できること、などである。一方、高価なこと、取扱いがむずかしいこと、構造的には折れ曲がりに対して脆く、形態と応力について極めて正確さを要求する材料である。このため非常に高い材料安全率を荷重に対して与えなければならず、また耐久性は 25 年 (多分 30 年) では、恒久建築用としては十分ではない。

Dow Corning 社が開発したようなシリコンコーティングガラス繊維基布は耐久性では優秀な候補であろう。シリコンラバーコーティングのガラス繊維基布では、ガラス繊維が受け易い吸湿を保護するので、現在の他の膜材料より、耐久性のあるもの期待がある。シリカから抽出するコーティング材料及び基布は同じような丈夫さの指標を示し、結果として高透光性 50% は達成できよう。しかし、Dow Corning 社はその膜材料事業を中止したのは 1986 年ごろであり、どうにもならない問題として、膜表面が灰色にまばらに変色し、表面は極めて汚くなってしまうことであった。

(Poughkeepsie Mall) は 1986 年ごろに建てられたモールであり、この材料によっている。また火に対して非常の抵抗性があり、柔らかい表面コーティング材は、取扱いを容易にしており、コーティングもファブリケートも経済的にできる。

* * * *

もっと一般的な、小規模建築に使う PVC コーティングポリエステル繊維基布では、基布のポリエステルは、破断までの伸びがよく (鋼材の降伏後の伸びがあるように同じように)、ガラス繊維基布より安全である。また、膜材料の強度上の重要なファクターである引裂強度がよい。表面に防汚コーティングの塗布により、屋外暴露で汚れの少ない外観がずっと綺麗な状態を保つことができるようになった。またこれは耐久性を向上させることともなる。Shelter-Rite と Ferrari の製品は高性能をもち、取扱い易く、20 年は使える材料であろう。

* * * *

最近数年間に新しい膜材料に、ポリエチレン繊維基布にポリエチレンコーティングのものがある (NovaShield)。これは Intertape 社によって製造されているもので、強度的に恒久建築用に使われることができる。驚くことにそのコストは 2~3 ドル /m² である。通常の PVC ポリエステル膜材はこの価格の 6~8 倍であり、テフロンコーティングガラス繊維膜材では 20 倍の価格となる。しかし性能を向上させる余地はあろう。

(IASS 2005 ルーマニア "Fabric Structures for Permanent Buildings - Their Past and Future- より)

4. 技術研究委員会の活動状況

当協会の技術研究委員会では、膜構造に関する各種の委員会を設け、膜構造の技術的、法的問題点の解決のため、また膜構造の品質と安全確保の問題に取り組み、一層の健全な発展を目指して積極的な作業を行っている。

現在の委員会の活動概要を示す。(技術研究委員会委員長 石井一夫)

膜構造における 地震時刻歴応答 解析法委員会	本委員会は、告示 1461 号（超高層に代表される時刻歴応答解析の計算規準告示）に基づく大臣性能評価機関としての膜構造協会の業務方法書の整備と合わせて、告示第 666 号(膜構造の告示)に規定された範囲を超える膜構造の設計に使用できる、内規としての簡便な地震応答評価法の整備およびオーソライズを目標とし、設計法の提案・技術的検証および国土交通省との折衝を行い、業務方法書および内規の考え方についての国土交通省との協議はほぼ終了したが、2005 年 7 月には告示 666 号および 1461 号改正のパブリックコメントが出されたため、これらに対応した評価業務方法書の修正および検証法についての検討を、現在までの検討と合わせて整備を行っている。
膜構造仮設建築物 委員会	改正される予定の告示第 666 号は、パブリックコメントも終了しその施行の期日を待つばかりであるが、本委員会では施行と同時にその運用が速やかに図れるよう、国土交通省建築指導課の助言を得て「空気膜構造その他の膜構造を用いる仮設建築物の設計規準(案)」をまとめた。本規準は、施行と同時に技術的助言として国土交通省から交付される予定ではあるが、現在本委員会ではこのガイドラインとも言うべき「規準(案)の解説」を各委員が分担して執筆している。
膜構造品質委員会	昨年度の一連の大型台風、予想を超えるような大雪により膜構造建築物の被災例が一部で発生しており、他の構造にくらべ被災確率が高かったため問題視されている。このまま放置すれば、膜構造の安全性への信頼が低下する恐れもある。協会として、膜構造の信頼を確保向上していくためには、これらの被害の原因を究明して、その対策を検討し、今後、同様な事故の発生のないようにする必要がある。 膜構造品質委員会は、ABC 種膜構造品質委員会及びテント倉庫品質委員会に分け、各々の立場より被災事例を会員からのアンケート報告を受け、各被災例の分析と安全な膜構造の確保のための設計上の考慮点、維持管理における特記事項がまとめられた。また、被災例より、新たに問題となった膜材料の性能については、試験を行いその性能を確認している。 これらの結果が、膜構造についての報告書「膜構造品質委員会報告書：2005 年 2006 年台風・大雪による膜構造の被災 原因と対策」として本年 3 月に会員に配布された。
任意評定委員会	協会内に臨時に設けられた任意評定委員会において、横浜市 MM 地区に 2006 年 3 月 17 日より約 6 ヶ月間供用されるコンサート会場膜構造仮設建築物の技術審査が行われた。骨組膜構造であり、建築面積約 5000m² 平成 14 年国交省告示第 666 号（膜構造の構造方法）により、その技術的安全性、その他安全性上必要となる事項についての技術審査である。提出された資料を基に任意評定が行われた。 現在、よこはま MM 地区において開催中。
膜構造研究論文集 委員会	2005 年度膜構造研究論文集は、研究論文 12 編の他に、協会フィルムパネル構造委員会で作成された「ETFE フィルムパネル設計・施工指針（案）」を載せている。今後、ETFE フィルム材料が、外装材、屋根材につかわれることが予想されるので、これへの対応として 2004 年度に作成されたが、まだ正式にはこの構造は一般には国交省の認可が得られていないので、案としている。

編集後記

(社)日本膜構造協会より、定期的に「膜構造：技術ニュース」を刊行します。内容は、膜構造を中心としたものになりますが、広い立場で膜構造をとらえ、いろいろな角度で、ニュースを会員に流していく予定です。会員各位の原稿も積極的に掲載の予定としていますので、ご希望がありましたら事務局にお知らせ下さい。

原稿の募集

膜構造技術ニュースに原稿を寄せて下さい。内容は自由で、例えば下記のようなもの。

- ・膜構造作品紹介
- ・製品紹介（膜材料、その他関連材料）
- ・工事報告
- ・委員会報告
- ・膜構造事情
- ・会社、事務所、研究室紹介
- ・紀行文、随筆、感想文
- ・膜構造その他建築の写真

発行 (社)日本膜構造協会 〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-13-5

Tel : 03-3501-3535

Fax : 03-3501-3548

e-mail : info@makukouzou.or.jp

ホームページ <http://www.makukouzou.or.jp>
