

# IV. 特集：膜構造の設計のポイント

## ケーススタディで知る膜構造の設計のポイント

### 開閉式膜屋根の設計のポイント

#### 中央区立久松小学校の屋上多目的運動場

今井卓司◎(株)横河システム建築+飯塚宜広◎協立工業(株)

近年、施設の有効活用の観点から、屋上プールに開閉式屋根を設置する学校が増えている。

本稿では、東京都中央区立久松小学校の屋上多目的運動場を事例として、開閉式膜屋根の設計のポイントを紹介する。

従来の屋外プールの年間使用可能日数は、降雨などで水泳に適さない日を除くと2か月程度である。しかし、開閉式屋根を備えたプールは、天候に左右されず5か月以上の利用が可能になり、さらに可動式昇降床を設ければ、シーズン外は、第二の体育館(屋内運動場)としての使用も可能となる。

本稿で紹介する久松小学校屋上多目的運動場(久松スカイプール&グリーンアリーナ)も、プールシーズン以外は屋内運動場として利用されている。

### 開閉式膜屋根の特徴

#### ◎開閉式膜屋根構造

開閉式膜屋根構造の主な形式として、膜材を折り畳んで開閉する方法と、骨組に膜材料などを張った屋根パネルを移動する方法がある(図1)。

以下では、久松小学校で採用の膜を張った屋根パネルを開閉する方法について取り上げる。

開閉式膜屋根構造は、駆動装置とレールを備えており、開放状態と閉鎖状態の異なる両方の空間を容易につくることが可能である(写1②)。

#### ◎駆動装置とレールの特徴

開閉式屋根の心臓部にあたる駆動装置の品質は、全体の品質に大きな影響を与える。

- ①機械部品は消耗・劣化することを認識したうえで、部品交換を想定した設計を行っている。
- ②メンテナンスの容易な構造とし、定期的にメンテナンスを行うことで機構全体の耐久性向上を図っている。

レールの据付け精度の善し悪しは、開閉式建築の品質に直接影響する。

- ①品質の安定した既製の規格レールを採用している。
- ②工場製作精度に頼らず、現場で容易に精度確保できる構造となっている。

走行レールを傾けて設置することで、主フレームからの軸力(反力)を効率的に受ける構造となっている(図2)。

#### ◎制御システムの特徴

開閉式建築の構造安定性は、その運転をつかさどる制御システムの性能に左右される。そのため、安全性を重視した慎重な設計が求められる。

- ①制御盤を小型化し、写③の屋根のアルミパネル内に搭載することで、建物内に機械室を設けない。
- ②無線化により、スマートな操作と配管・配線の削減。

#### ◎外装材の特徴

学校用プール向け開閉屋根の標準仕様であったガラスカーテンウォールに替えて、透光性のある膜材料を採用した。屋根荷重が軽くなったことで、よりスレンダーなフレーム構造にすることができた。

### 設計のポイント

#### ◎設計荷重

開閉式膜屋根の設計においては、膜張力および駆動装置の走行・移動に伴う特殊荷重を考慮する必要がある。

- ①膜材初期張力  $T$ 。  
膜の支持部材の外周部の引込みで張力を導入する。本件の初期張力は1kN/m。写④⑤は、膜材の施工時の写真となっている。
- ②支点強制移動  $D$   
走行用レールと駆動部のサイドローラ(水平反力用)

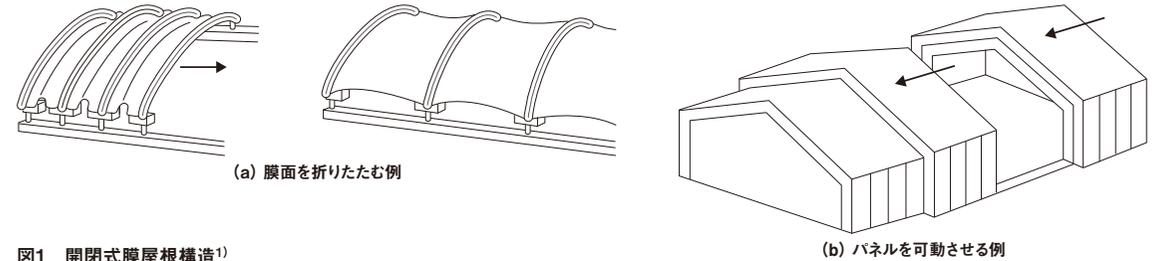


図1 開閉式膜屋根構造<sup>1)</sup>



①開放状態



②閉鎖状態

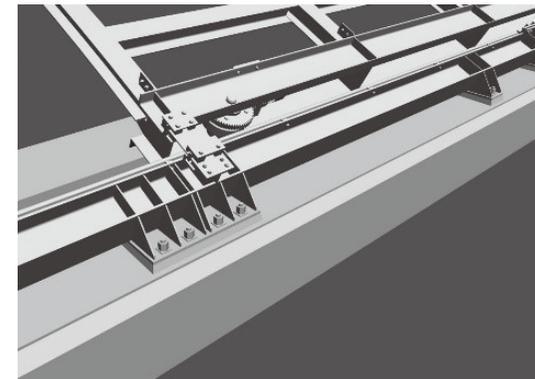


図2 駆動装置とレールのイメージ図

のクリアランス、レールの敷設精度、固定建物の精度を考慮し、水平方向10mmの強制移動について検討する。

#### ③慣性力 $I$

クレーン構造規格(JIS B 8821)により、下記の値を用いて検討する。

- 鉛直： $M \cdot G = 1.05 \cdot G$
- 水平： $M \cdot G \cdot \beta = 0.018 \cdot G$
- 作業係数： $M = 1.05$
- 自重： $G = DL$
- 慣性力： $\beta = 0.008 \cdot \sqrt{V}$
- 走行速度： $V = 5\text{m/分}$

#### ④風荷重 $W$

風荷重は、開放状態と閉鎖状態の両ケースの検討



③屋上(屋根・レール)

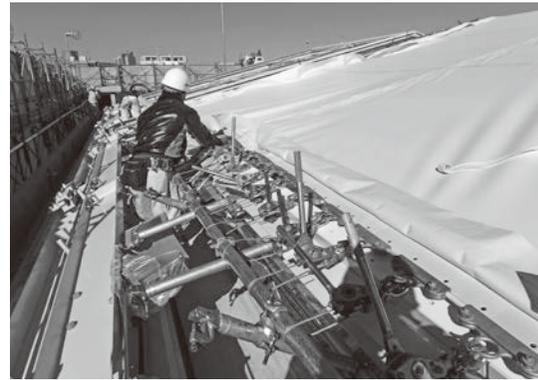
表1 組み合わせ応力

荷重の状態		一般地域
長期	走行時	$G+I+T+D+T_0$
	停止時	$G+P+T+D+T_0$
短期	積雪時	$G+S+T+D+T_0$
	暴風時	$G+W+T+D+T_0$
	地震時	$G+K+T+D+T_0$

注) 1. 記号  
 $G$  (DL) : 固定荷重による応力  
 $P$  (LL) : 積載荷重による応力  
 $S$  (SL) : 積雪荷重による応力  
 $W$  (WL) : 風荷重による応力  
 $K$  (EF) : 地震荷重による応力  
 $T$  : 温度応力  
 $D$  : 支点強制移動による応力  
 $I$  : 慣性力による応力  
 $T_0$  : 膜材初期張力  
2.  $T$ および $D$ は特別な場合(正, 負の限定)の他は, 最大応力の組合せとなるようにする。  
3. 短期時は走行しないものとする  
4. 積載荷重は, 停止時(長期)にのみ考慮する



④膜展張状況



⑤膜端部施工状況 (張力導入)



⑥膜定着部 (鉄骨骨組ボルト接合部)



⑦膜定着部 (中間定着部)



⑧膜定着部 (外周定着部)

をして、より不利な状況を考慮する必要がある。

ただし、運用上は、風速計を設置し、風速管理をすることで、暴風時には屋根を開放状態にしないことになっている。

#### ◎安全装置

開閉屋根には、駆動機構に起こりうる危険な状況を想定し安全装置を設けている。それぞれの装置の耐力の考え方を示す。

暴走防止装置は、板状ピン・支持箱・台車梁およびレール付き反力板を主要な構成部品とし、必要耐力は桁方向拘束支点に生じる反力(短期)および桁方向必要保有水平耐力(終局時)としている。

吹上防止装置は、台車付きT形板・台車梁およびレール付き反力板を主要な構成部品としている。必要耐力は鉛直支点の引抜反力としている。

ストッパー装置は、台車側ストッパー、レール側ストッパー・台車梁、および緩衝ゴムを主要な構成部品とし、必要耐力は、桁方向拘束支点の生じる反力(短期)および桁方向必要保有水平耐力(終局時)とする。

躯体(本体支持構造物)の設計に際しては、上記

装置を介して、伝わる荷重を考慮する必要がある。

#### 膜定着部および可動屋根部分詳細

開閉式屋根の可動部の雨仕舞の程度は、建物の目的、用途などによって異なる。ここでは、参考文献②において示される小規模開閉プールでの屋根の取合い部を参考に膜屋根に適用した本件の納まりを示す(図3~6)。

膜の定着部プレートは、アルミ押し型材、定着ボルトはSUSM10ボルトを採用している(写⑥~⑧)。

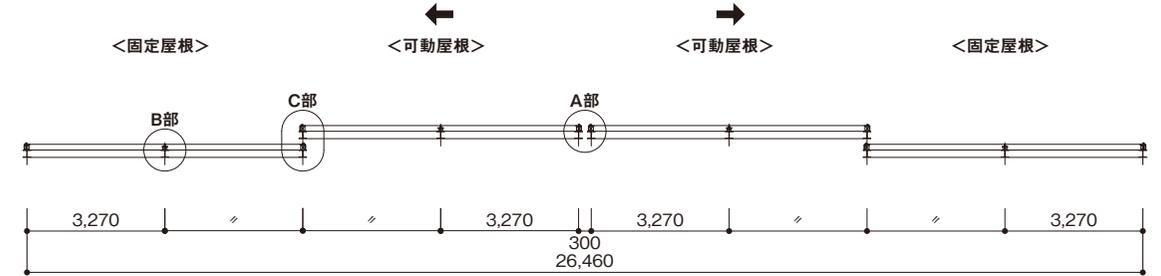


図3 膜定着部と屋根取合い部 S=1:180

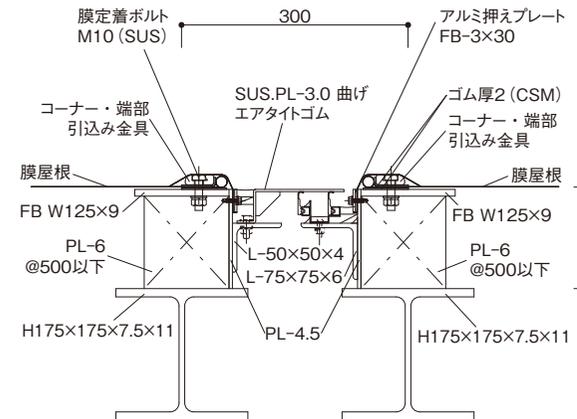


図4 A部詳細 S=1:10

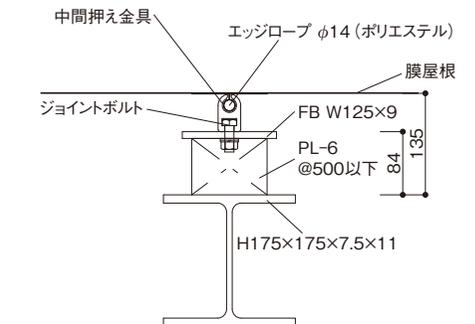


図6 B部詳細 S=1:10

#### 今後の可能性

屋外プールの老朽化などにより、学校プールを新設する場合、校舎の地下にプールを設け屋内化するケースでは、密閉空間とならないように、換気や採光への配慮が必要となるうえに、水温管理の燃料コストがかかる。屋上開閉式膜屋根の場合、以下に示すような屋外と屋内の両方のメリットを得ることができるため、需要はさらに高まるものと思われる。

- 施設の有効利用(施設利用期間の長期化)
- 土地の有効利用(屋上利用)
- 通風、太陽光による室内衛生環境の向上
- プライバシー保護(目隠し効果)

また各地域の生涯スポーツ用プールや競技用プールに採用した場合も同様のメリットが得られる。

(いまい たくじ, いいづか たかひろ)

#### 【参考文献】

- 1) 日本建築センター：膜構造の建築物・膜材料などの技術基準および同解説2020年版
- 2) 日本建築学会：開閉式屋根構造設計指針・同解説および設計資料集

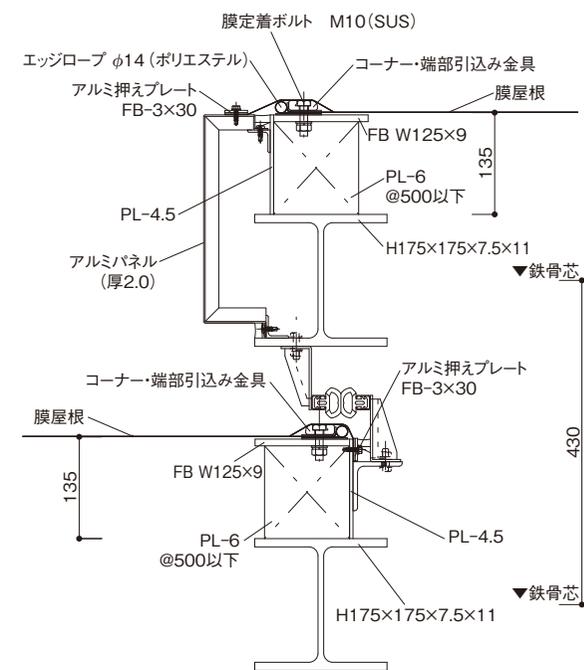


図5 C部詳細 S=1:10