

ダム施工に用いる防雨吊りテントの対風挙動

建設省	正 員	手塚 寛之	東京大学	正 員	藤野 陽三
東京大学	正 員	木村 吉郎	東京大学大学院	学生員	太田 匡司
前田建設工業（株）	正 員	横沢 和夫			

1. はじめに ビルディングや橋梁と同じようにダム建設においても雨による施工停止を防ぐ方法の開発が望まれている。とくにフィルダムでは雨水によりコア材の含水比が高くなると、それが乾くまで数日間施工がストップするため、その必要性が高い。

本研究で扱う「吊りテント」はこの目的で考案されたものである。具体的には長方形の防雨用膜を2本の並列ケーブルで吊るし、ダム堤体上部に張り渡すものである（図1）。施工段階に応じて膜の位置が変えられ、またダム天端の高さに応じて膜の高さが変えられる利点がある。しかし一方、軽量かつフレキシブルな構造ゆえに、強風下での対風挙動、とくにダイバージェンス、フラッターなどの不安定挙動が懸念される。

そこで、この吊りテントの対風挙動ならびに安定化対策について、3次元弾性模型を用いた風洞実験を行い検討したので、その結果を報告する。

2. 風洞実験 想定している吊りテントの諸元を表1に示す。3次元弾性模型は風洞（16m×1.9m）の大きさを考え、縮尺1/40とした。模型の吊膜としてはビニールシートを用いており、その弾性パラメータは相似されていない。しかし後述のように膜そのものの弾性変形、振動はクリティカルではなく、本質的に重要な現象は用いた模型により再現されていると考えている。

測定項目は、膜の変位、そしてケーブルの設計という点から重要なケーブル張力とした。膜の変位はビデオカメラによる非接触変位計測システム（エムテック・カラーマルチカメラトラッカー MVA-2040）を用い、張力はケーブル端部に埋め込んだ張力計によって測定した（図2）。

ダム天端部に吊テントが設置されるので、気流の傾斜角としては0°のみならず、3°、6°の場合も検討した。傾斜角は風洞床面に傾斜版を設置して作成した。また、ケーブルのサグ比は1/8.5、1/11の2種類とし、気流は一樣流を用いて実験を行った。

表1 吊膜屋根の諸元

スパン長	500 m
ケーブル間隔	25 m
膜スパン方向長さ	100 m
ケーブル質量	20 kg/m
膜質量	10 kg/m ²

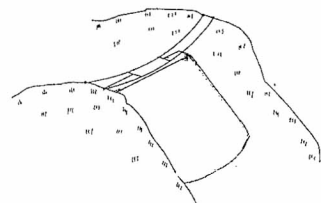


図1 防雨吊りテント

3. 実験結果 吊形式膜屋根の変形、変位（測定値、サグ比1/8.5、傾斜角0°）を図3に示す。風速の増加とともに膜は吹き流され、下向揚力により膜は下方に緊張する。風速があるレベルを越える（実風速換算で22m/sのとき）と膜が風上側から上方に変位しはじめ、上に凸の状態に近づくとともに、膜全体のねじれ（回転）変形が急激に進み、風のように浮き上がった状態となる。このときケーブル張力は著しく大きくなるので、吊形式膜屋根の限界状態はこのダイバージェンスが発生する風速ということになる。

ダイバージェンスの発生風速は、サグ比によっては変化せず、傾斜角0°のとき22m/s（実風速換算）、3°で

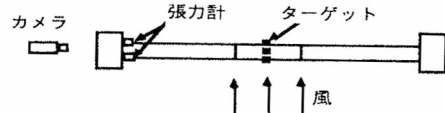


図2 測定概念図（平面図）

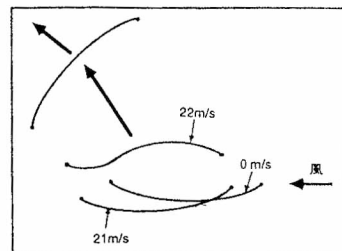


図3 吊りテント断面の風による変位

15m/s, 6° で13m/sであった。

4. ダイバージェンス発生風速の予測 膜の断面形状として平板、反転キャンバー、全面キャンバー（図4）を仮定し、それぞれについて、空気力¹⁾と重力による復元力の膜後縁まわりのモーメントのつりあいから、迎角 α （気流傾斜角とする）とダイバージェンス限界風速 U_{cr} の関係を求めたのが図5である。なお、キャンバー量 f 、反転キャンバーの λ の値は実験値（ダイバージェンスを起こす直前の値）を用いて計算を行った。実験値は、全面キャンバーを仮定したときと反転キャンバーを仮定したとき得られる予測値の中間の値となっている。

5. ダイバージェンスの発現可能性と安定化対策

ダムサイトでの風環境を知る目的で、強風で知られるあるダム建設現場のダム天端中央の下流側端付近において風速を3成分ギル型風速計により計測した。1994年11月～12月のデータを、評価時間3秒として風速と迎角の関係をまとめ、全面キャンバーを仮定した安全側の解析値と比較したのが図6である。低い風速では非常に大きな迎角になりうるが、風速が10m/sを越えるような強風では迎角は概して小さくなっている。

図6には併せて、ダイバージェンス限界風速の実験値および予測値を示している。ダイバージェンスの発達時間をどのように考えるかによるが、仮に評価時間である3秒と考えると、ダイバージェンスの起こる頻度は小さい。

しかし、ダイバージェンスがひとたび生ずれば、ケーブルの破断につながる可能性が大きく、何らかの安定化対策を考えておく必要性は高い。安定化対策として、ケーブルに重りをつける、補助翼をつける、あるいは補助ケーブルで反力をとる、などの方法を試みたが、大きな傾斜角の風に対して有効でない、膜そのもののフラッターが生じるなどの問題があることが実験により判明した。有効であったのは、膜を主流方向に小さく折りたたみ、形そのものを変えてしまう方式であった。

6. まとめ ダムの防雨施工を目的とした吊形式膜屋根の対風挙動の検討を行ない、ダイバージェンスが最もクリティカルな現象であること、その限界風速はある程度予測可能であることを示した。本システムは架設時のみに用いること、強風が予想される場合にはあらかじめ膜屋根をたたんでおくことができることなどを考えると、実際のダム現場に用いた場合の、ダイバージェンス発生確率は高くなく、何らかの安定化対策が見出せば、採用可能と考えられる。しかし、簡便な安定化策を見出すこと、強風の予測に基づいた吊屋根の運用計画（operation）など、安全なシステムとして確立するためには課題も多い。

参考文献：1) 牧野光雄：航空力学の基礎，産業図書

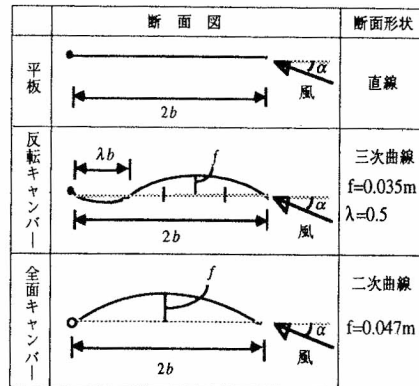


図4 膜の断面形状の仮定

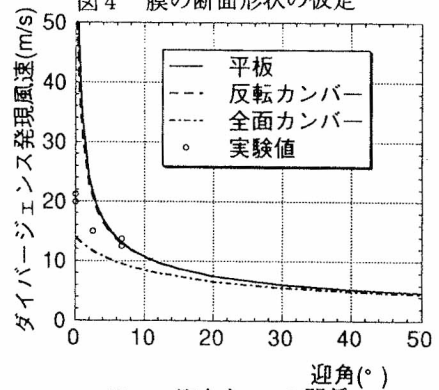


図5 迎角と U_{cr} の関係

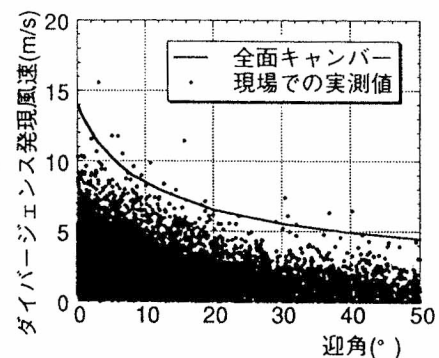


図6 迎角と風速の関係