

空気膜構造物の形状測定

— 測定法の提案及び解析結果との比較 —

布川 安彦*1
小竹 達也*1

梗概

これまで幾つもの空気膜構造物が建設されているが、その建設後の形状について確認された例は少なく、100mクラスのドームにおいては、現状が設計されたものと比較してどのように建設されているのかを確認することは興味深いテーマである。中規模（直径47m）のドームでは屋根から水糸を垂らしてその長さを図ることによって測定した例もあるが、大規模のドームではそれも難しく、ドーム内部で建設作業をしていた場合は不可能であろう。そこで今回は、100mクラスのドームにおいて、ドーム内部で建設作業中に実用的な精度で形状測定をする方法を提案し、その結果から、設計されたものと比較して実際の構造物がどのように建設されているか、その現状をここに報告する。

1. 建物概要

建築名称：神戸アーバンスポーツドーム

建築場所：神戸市灘区日出町5丁目—1

建築面積：ドーム…7,756.72m²

管理棟… 404.24m²

機械棟… 91.24m²

構造：一重空気膜構造

膜材：PVCコーティング*ホリエステル繊維布（厚0.75mm）

ケーブル：構造用スパイラルロープ

短辺方向25本（φ32,34mm）

長辺方向4本（φ36mm）

屋根荷重：平均3.4kg/m²

送風機：830m³/min×95mmAq×22kw×4台
（内、非常用エンジン付3台）



神戸アーバンスポーツドーム（めろんドーム）

2. 測定方法

2-1 測定日及び工程

測定日：平成4年12月19日（土）～20日（日）

*1 大成建設(株) 技術開発部

表2-1-1 測定工程表

	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
エア・アップ														
膜養生														
測定準備														
測定(30mmAq)														
測定(75mmAq)														

注) 膜養生: 膜材料の縮小率が完全に開放されるのに要する時間

2-2 測定項目

図2-2-1に示した測定点を以下の2項目について測定する。

常 時 (内圧=30mmHg) の形状確認 (座標測定)

非常時（内圧=75mmAq）の形状確認（座標測定）

(ただし、現場の状況及び作業時間などにより一部測定不可能な点有り)

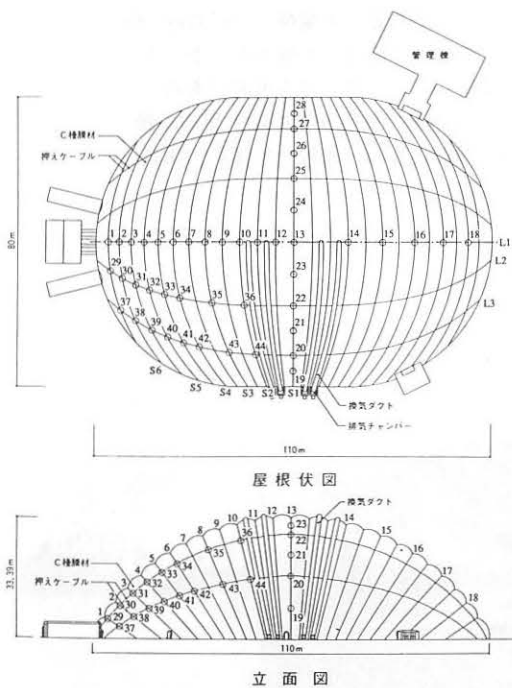


図2-2-1 測定点の位置

2-3 測定方法

図2-3-1のT₁,T₂,T₃,T₄の各点にトランシットを設置し、その内の2台を使用して測定点を図る。測定用ポインター（電子レーザー光線）を測定点の膜位置にセットし（照らし）、2台のトランシットによる三角測量で、平面位置、地上高さを求める。

測定する項目及び算出する項目は図2-3-1において以下の記号とする。

 θ_{h1}, θ_{h2} : 2台のトランシットの水平角度 θ_{v1}, θ_{v2} : 2台のトランシットの鉛直角度 h_1, h_2 : 2台のトランシットの機械高さ

P: 測定点

H: 測定点高さ

X: 測定点X座標

Y: 測定点Y座標

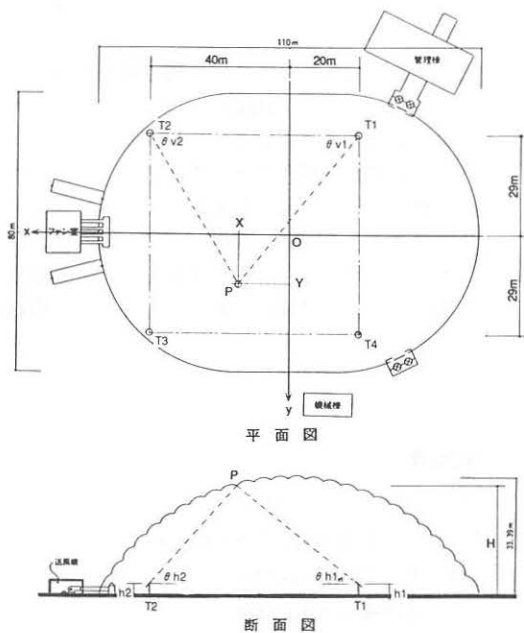


図2-3-1 トランシット設置位置

○測定点の座標値の求め方

いま、測定により $\theta_{h1}, \theta_{h2}, \theta_{v1}, \theta_{v2}, h_1, h_2$ 及びトランシット間隔(L)は既知の値として得られているものとする。

図2-3-2より

$$a_1 + a_2 = L \cdots (1)$$

$$b = a_1 \cdot \tan \theta_{h1} \cdots (2)$$

$$b = a_2 \cdot \tan \theta_{h2} \cdots (3)$$

(2)(3)より

$$a_2' \tan \theta_{h2} = a_1' \tan \theta_{h1}$$

・測定時風速

H4.12.19 PM3:00～5:00: 0.5～3.5m/sec

H4.12.21 PM3:00～5:00: 0.0～2.5m/sec

3-2 測定値と解析値との比較

実際の膜構造物は解析結果をもとに裁断図を起こし、施工されているわけであるが、ここでは、その解析結果と今回測定した形状を比較することによって、現状の膜構造物がどのように施工されているのかを把握する。

測定点の実測値と解析値の比較を、表3-1-1～2において数値により、また、図3-1-1～4において座標図により示す。

4. 考察

まず、今回の測定で最も問題となったのが、風である。膜構造物は風による変形が大きいので、無風状態あるいは弱風状態でなければ、各測定点にポインターを合わせることが困難となる。そして、今回は幸にもほとんど無風に近い状態で測定できたわけであるが、それでも微妙ではあるが、変形していたのである。三角測量で座標値を求めた場合、測定点が固定されている時は、2つのトランシットの読み値（Z座標）は一致するわけであるが、今回の場合、決して一致することはない（と思われる）。そこで、ここでは2つの読み値の平均をとってZ座標値とした。そして、各Z座標値の読み値の差の絶対値を求めたが、ほとんどの測定点で5cm以下となっており、ドームの高さが約33.2mであったことから、比率にして約0.15%の誤差であり、全体形状を掴む上ではほとんど問題はないと思われる。また、内圧30mmAq時の測定点30と内圧75mmAq時の測定点10と11においては許容範囲外の誤差が出ているが、これはどちらかのトランシットで測量ミスがあったと思われる、そしてどちらの方にミスがあったのかが明らかに判断できるのでその値は不採用とし、他方の値をその測定点の高さとした。

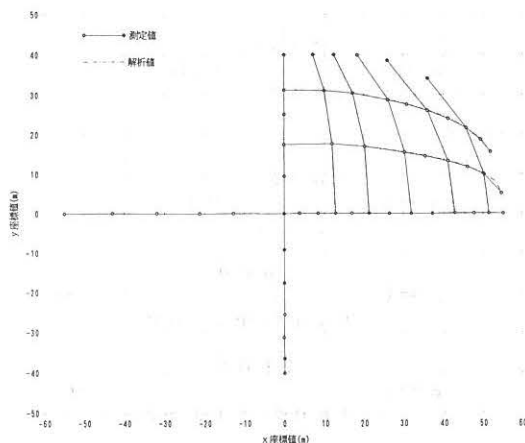


図3-1-1 30mmAq時のX-Y平面上での比較

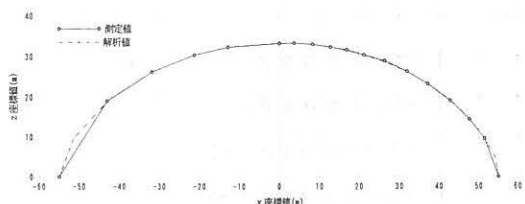


図3-1-2 30mmAq時のX-Z平面（L1）上での比較

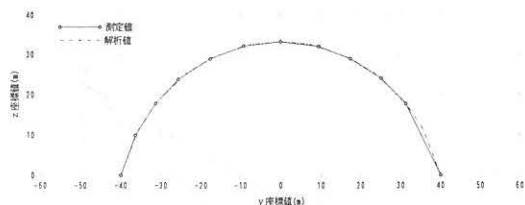


図3-1-3 30mmAq時のY-Z平面（S1）上での比較

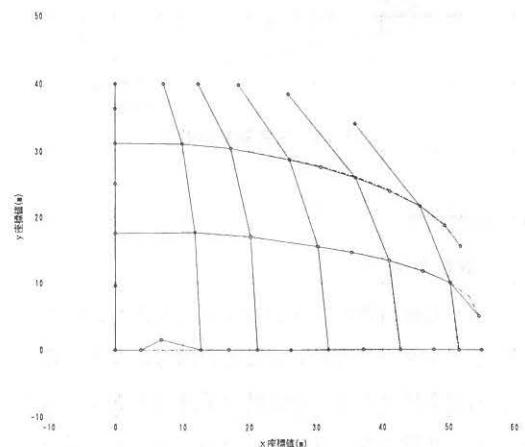


図3-1-4 75mmAq時のX-Y平面上での比較

次に測定値と解析値の比較、施工精度の検証であるが、ここではX,Y方向スパン及びZ方向高さに対する2つの値の差で検証することにする。

つまり、

X方向の施工精度＝

$$\frac{\text{絶対値（X座標の解析値－測定値）}}{110\text{m}}$$

Y方向の施工精度＝

$$\frac{\text{絶対値（Y座標の解析値－測定値）}}{80\text{m}}$$

Z方向の施工精度＝

$$\frac{\text{絶対値（Z座標の解析値－測定値）}}{33.4\text{m}}$$

その結果を表4-1-1に示す。

これによると、ラインS1上の測定点で数カ所(内圧30mmAq時の点21,23,24,26,28及び内圧75mmAq時の点19,21,23) 1%を越える差が見られるが、図3-1-3を見ると、各測定点は解析ライン上に載っていることが確認できる。そこで、数値的にこのような差が見られる原因として考えられるのは、他の測定点についてはケーブル交点位置にポイントを当てて測定したのに対して、この測定点位置にはケーブル交点がないため膜の溶接による影を目安に（ケーブルとケーブルの真ん中を狙って）ポイントを当てたため、解析のポイントに合わせる事が出来なかったためと思われる。

また、他の測定点についてであるが、大きな差でも0.1～0.2%前後であり、かなりの精度で施工されていることが確認できる。また、全体形状については、今回測定した結果から見ると現状は解析値よりやや下がっていることが確認できる。

5. 終りに

今回の測定計画は現場での作業の妨げにならぬよう行なうことを前提に立てられたものであり、測定に十分な作業時間を取ることができなかった。そのために作業員を急かすなどしたためか、何箇所か好

ましくない結果を残してしまった。また、ドーム形状全体を十分に掴むだけの測定点を設定できなかったのは残念なことである。しかし、測定点の数を減らしたのは、この方法により1箇所のポイントを読み取るのに要する時間を正確に押えることができなかったためであり、実測する点を必要最小限に抑えたからである。実際に作業したところ、予想以上のペースで測定することができ、そのことを考えるともう少しゆとりを持って作業をすべきであった。

今回の測定の目的は、こうした条件下で、実用的な精度で100mクラスのドームの形状測定を行なう方法を提案することであり、今回の結果からは十分有効的な方法として提案できると思われる。また、測定までの準備などを含めた作業性の面からも、水糸を垂らす方法などに比べて、優れた方法であるといえる。

表4-1-1 測定値と解析値の比較（施工精度）

単位：%

測定点	内圧30mmAq時			内圧75mmAq時		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1						
2	0.09	0.01	0.45	0.12	0.01	4.95
3	0.10	0.04	0.60	0.11	0.03	0.47
4	0.13	0.13	0.77	0.10	0.06	0.59
5	0.18	0.06	0.71	0.17	0.10	0.58
6	0.05	0.03	0.26	0.00	0.13	0.29
7	0.08	0.05	0.60	0.04	0.00	0.21
8	0.02	0.08	0.08	0.02	0.06	0.15
9	0.10	0.06	0.53	0.04	0.07	0.56
10	0.09	0.06	0.15	0.02	0.08	0.05
11	0.13	0.05	0.13	1.35	1.89	0.13
12	0.09	0.02	0.05	0.08	0.03	0.12
13	0.03	0.02	0.19	0.08	0.02	0.04
14	0.05	0.05	0.19			
15	0.02	0.03	0.04			
16	0.02	0.01	0.11			
17	0.27	0.05	0.87			
18						
19				0.01	0.92	4.14
20	0.00	0.00	0.38	0.04	0.02	0.24
21	0.01	1.92	3.70	0.03	1.95	3.69
22	0.06	0.01	0.40	0.05	0.00	0.14
23	0.02	2.69	1.72	0.04	2.79	1.57
24	0.01	2.26	1.29			
25	0.02	0.01	0.26			
26	0.08	2.40	4.43			
27	0.12	0.00	0.29			
28	0.02	0.88	3.90			
29						
30	0.06	0.04	5.12	0.04	0.01	4.74
31	0.04	0.12	0.60	0.03	0.10	0.36
32	0.05	0.16	0.61	0.06	0.06	0.53
33	0.01	0.17	0.57	0.01	0.07	0.36
34	0.00	0.11	0.19	0.03	0.02	0.15
35	0.05	0.03	0.18	0.01	0.02	0.02
36	0.02	0.00	0.36	0.01	0.05	0.14
37	0.01	0.17	0.56	0.02	0.10	0.57
38	0.06	0.12	0.57	0.06	0.09	0.52
39	0.04	0.22	0.40	0.07	0.21	0.32
40	0.03	0.22	0.39	0.07	0.23	0.22
41	0.03	0.22	0.36	0.04	0.14	0.27
42	0.01	0.11	0.38	0.02	0.11	0.13
43	0.04	0.05	0.22	0.04	0.00	0.11
44	0.00	0.06	0.21	0.01	0.01	0.14

Report on a measuring method for air-supported structures

Yasuhiko NUNOKAWA *1

Tatsuya KOTAKE *1

SYNOPSIS

Although a number of air-supported structures have been built , there are few studies of the shapes of these structures after construction . For mid-sized domes , the final shape has been measured by using plumb bobs hung from the roof to measure the height . This method is difficult in large scaled domes (diameter : more than 100m) especially when construction work is being done within the dome . In this paper , we propose a measuring method for large scaled domes which can be used even when construction work is being done inside . Results are given as well as a comparison with an analysis .

*1 Technology Development Department , Taisei Corporation