

発泡ウレタンの材料試験

発泡充填式空気膜チューブ構造を用いたパビリオンの構築に関する研究（その1）

Material Tests of Rigid Urethane Foam

Study on Construction of Pavilions by Foaming Rigid Urethane Foam inside Tubular Membrane Pneumatic Structure (part 1)

狩野 英斗¹⁾

泉谷 亜依瑠²⁾

白髪 誠一²⁾

Kano Hideto¹⁾

Izutani Airi²⁾

Shiraga Seiich²⁾

1) 大阪工業大学 大学院 2) 大阪工業大学

Abstract : This research aims to gain knowledge on the construction of pavilions by foaming rigid urethane foam inside the tubular membrane pneumatic structure. In this paper, material tests were carried out to investigate the mechanical properties of the hard urethane foam used in the structure of pavilions.

Key Word :Tubular Membrane Pneumatic Structure, Rigid Urethane Foam, Mechanical Properties

The test results were as follows, 1) The Young's modulus and strength in tensile tests were higher than those of in compression tests. 2) Stiffness and strength in bending tests agree with estimates based on tensile test results.

1. はじめに

硬質発泡ウレタンは、建築分野においては吹付けによる断熱材として、プロダクト分野では注型による成形材料として広く用いられている。一方、硬質発泡ウレタンを用いて空間そのものを造形する試みはあまり見ることができない。北川ら¹⁾は、空気で膨らませた膜素材の内部に発泡ウレタンを吹付けることで空間を創出する手法を提案しているが、その手法では開口部が少なく閉じた空間形態となる傾向がある。

本研究は、開いた空間形態を形成することを目的に、図1に示すように硬質発泡ウレタンを空気膜チューブ構造の内部で発泡させることで、その発泡ガスで空気膜を膨らませ発泡ウレタンを充填することで空間を構築することを目的としている。これを、空気膜チューブ発泡充填式構造と呼ぶ。図2はポリエチレンのチューブ内で発泡充填したプロトタイプを示している。

本報では、硬質発泡ウレタンを構造体に用いるために必要な材料の機械的性質を把握するために行った材料試験の結果を報告する。

2. 試験片

試験片を図3に示す。図3a)は圧縮試験片、図3b)は引張試験片、図3c)は曲げ試験片である。試験片はシリコン型を用いて内部でウレタンを発泡させることで製作した。材料は10倍発泡と、30倍発泡の発泡ウレタンを使用した。P液（ポリオール成分）とR液（イソシアネート成分）を1:1の割合で混ぜて発泡させている。圧縮試験では10倍発泡の試験片C10-1～C10-5の5体および30倍発泡の試験片C30-1～C30-5の5体を製作した。同様に引張試験ではT10-1～T10-5の5体およびT30-1～T30-5の5体、曲げ試験ではB10-1～B10-5の5体およびB30-1～B30-5の5体を製作した。すべての試験片の寸法を実測し、圧縮試験片については重量も測定した。

载荷試験は精密万能試験機（50kN）を用いて行った。圧縮および引張試験は単調载荷とし、曲げ試験は支点間距離200mmの3点曲げの単調载荷とした。

3. 圧縮および引張試験結果

図4に圧縮試験および引張試験の結果得られた応力度-ひずみ度関係を示す。応力度は圧縮側を正としている。同図に示すように、圧縮側では、载荷開始からなじみが確認された

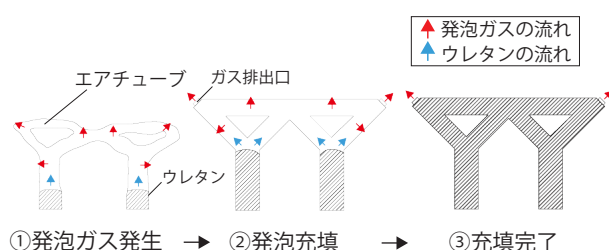


図1 空気膜エアチューブシステム構造

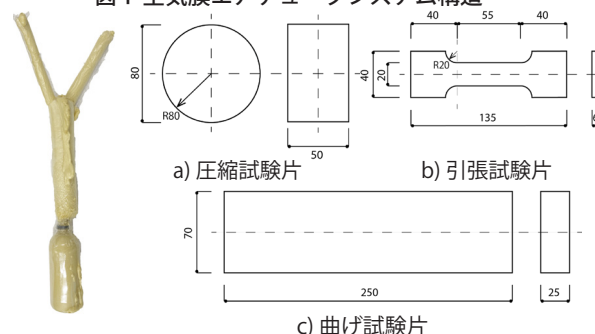
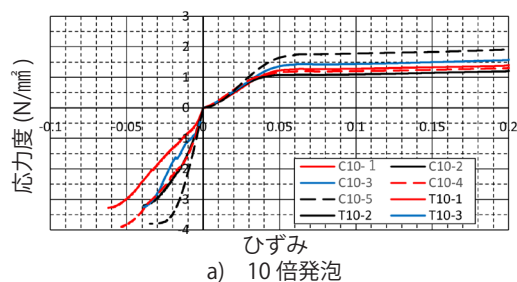
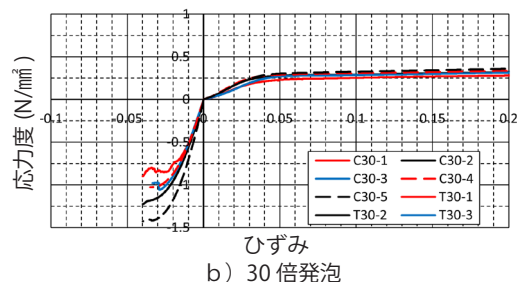


図2 空気膜に充填した発泡ウレタン

図3 試験片



a) 10倍発泡



b) 30倍発泡

図4 応力度-ひずみ度関係

表1 圧縮試験結果

	E(N/mm ²)	σ_y (N/mm ²)	σ_m (N/mm ²)		E(N/mm ²)	σ_y (N/mm ²)	σ_m (N/mm ²)
C10-1	27.5	0.85	1.28	C30-1	6.05	0.17	0.25
C10-2	28.2	0.73	1.1	C30-2	8.46	0.19	0.29
C10-3	30.0	0.96	1.44	C30-3	6.36	0.19	0.29
C10-4	30.8	0.80	1.2	C30-4	8.56	0.21	0.31
C10-5	35.1	1.19	1.79	C30-5	8.05	0.22	0.33
平均値	30.3	0.91	1.36	平均値	7.49	0.20	0.29
標準偏差	2.66	0.16	0.24	標準偏差	1.07	0.02	0.02
変動係数	0.09	0.18	0.18	変動係数	0.14	0.08	0.08

後に応力度とひずみ度に比例の関係がみられ、その後、剛性が緩やかに低下する。ひずみ度が約5%に達した後は、応力度は緩やかに上昇している。引張側では、応力度とひずみ度に比例関係がみられた後に剛性が緩やかに低下し、最大応力度に達した後、破断が生じている。T10-1, T10-3 および T30-1 では、試験片のつかみ部分のすべりによるものと思われる挙動が確認された。

表1に圧縮試験結果を示す。圧縮強さは10%変形圧縮応力度 σ_m を採用した。降伏応力度 σ_y は σ_m の2/3とした。表2に引張試験結果を示す。試験片T10-1, T10-3 および T30-1の結果は除いている。降伏応力度 σ_y は0.2%オフセット法による値とした。

表1および表2より、T10のヤング係数Eは130N/mm²でありC10の30.3N/mm²より4.3倍大きく、T30は48.6N/mm²でありC30の7.49N/mm²より6.5倍大きい。T10の降伏応力度 σ_y は1.88N/mm²でありC10の0.91N/mm²より2.1倍大きく、T30は0.89N/mm²であり30の0.20N/mm²より4.5倍大きい。T10の引張強さ σ_u は3.42N/mm²でありC10の圧縮強さ σ_m の1.36N/mm²より2.5倍大きく、T30の1.19N/mm²はC30の0.29N/mm²より4.0倍大きい。

図5は圧縮試験でのヤング係数および10%変形圧縮応力度と比重の関係を示している。比重に関して線形関係があり、比重の影響を受けている。また10倍発泡の値にばらつきが大きいのに対し、30倍では小さい。

4. 曲げ試験結果

図6に曲げ試験の曲げモーメント-回転角関係と、圧縮強さおよび引張強さから求めた曲げ耐力 cM_y , cM_u および tM_y , tM_u を示す。

$$tM_y = c\bar{\sigma}_y \cdot Z \quad \dots 1) \quad tM_u = c\bar{\sigma}_y \cdot Z \quad \dots 2)$$

$$tM_y = c\bar{\sigma}_m \cdot Z \quad \dots 3) \quad tM_u = c\bar{\sigma}_u \cdot Z \quad \dots 4)$$

ここで、Z: 断面係数

$c\bar{\sigma}_y$, $c\bar{\sigma}_m$: 圧縮試験による σ_y および σ_m の平均値

$t\bar{\sigma}_y$, $t\bar{\sigma}_m$: 引張試験による σ_y および σ_u の平均値

曲げ試験では、緩やかに剛性が低下し、引張側から破断が生じた。曲げ剛性および曲げ耐力は、引張側の特性を用いた計算値に近い傾向があることが分かった。

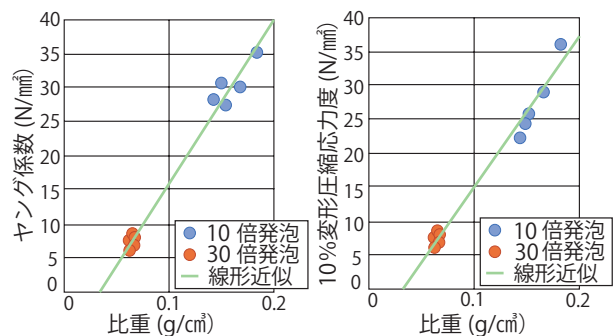
5. おわりに

硬質発泡ウレタンを構造材に使用するために必要な材料特性を把握することを目的に材料試験を実施した。試験の結果、引張側のヤング係数と強度が圧縮側に比べて高い異方性を有すること、圧縮特性において材料の比重に比例してヤング係数と強度が上昇することが分かった。

今後は、チューブ内で発泡・硬化してチューブと一体となったウレタンの材料特性を把握すること、試験で得られた材料特性を用いて構造デザインを行い、図7に示すようなパビリオンを制作することを目指す。

表2 引張試験結果

	E(N/mm ²)	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)		E(N/mm ²)	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)
T10-2	103	1.55	3.20	T30-2	51.3	0.82	1.24
T10-4	118	1.53	3.25	T30-3	45.6	0.82	1.06
T10-5	170	2.55	3.80	T30-4	46.3	0.74	1.02
平均値	130	1.88	3.42	T30-5	51.3	1.18	1.43
標準偏差	28.6	0.48	0.27	平均値	48.6	0.89	1.19
変動係数	0.22	0.25	0.08	標準偏差	2.70	0.17	0.16
				変動係数	0.06	0.19	0.14



a) ヤング係数と比重関係 b) 10%変形圧縮強度 σ_m と比重の関係

図5 圧縮試験での比重の影響

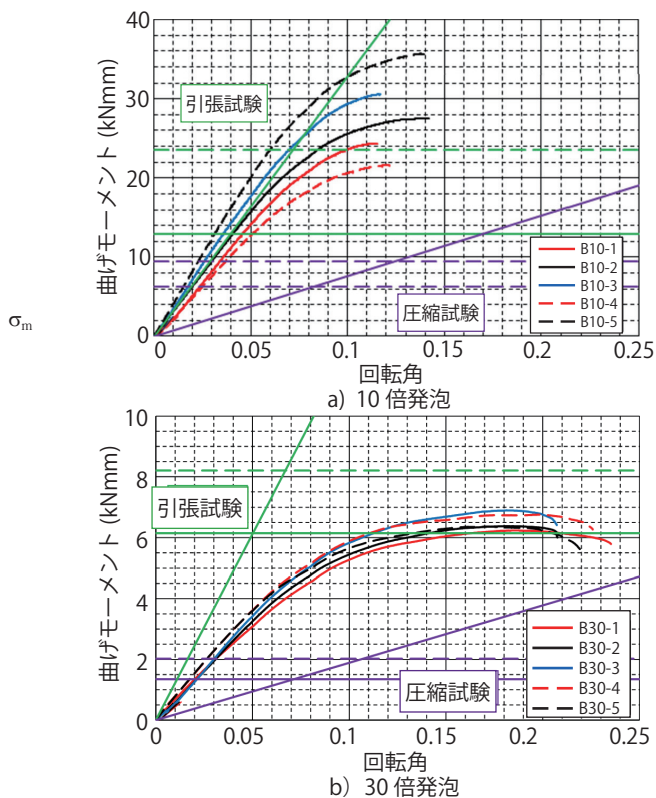


図6 曲げモーメント-回転角曲線のまとめ

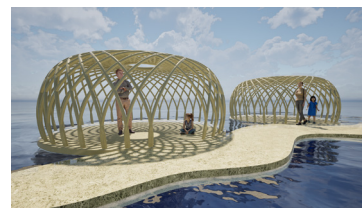


図7 エアチューブ充填式パビリオン

【参考文献】

1) 北川啓介: 地球上のどこでも誰でも数時間で建てられて酷暑でも極寒でも快適なインスタントハウス, 日本音響学会誌, 80巻, 2号, pp.97-102, 2024.