

冬季災害時における「紙管シェルター」のデザインと熱性能

正会員 ○廣林 大河*1
同 齊藤 雅也*2

紙管シェルター 災害 避難所
熱環境 寒冷地 仮設空間

1. はじめに

昨今、日本各地で地震や台風などの自然災害が多発し、学校の体育館などが避難所として使われている。避難所での生活は、大きな制限を避難者に強いるが、生活の質をできる限り向上させる必要がある。特に冬季発災時の避難所では防寒対策が必須とされる。

本研究では、建築家 坂茂らにより災害時の仮設建築や恒久的な建築材料として用いられている紙管に着目した。本研究は、紙管を使った冬季発災時の避難所での防寒や防音対策の一助となる仮設の「紙管シェルター」のデザイン提案を目的とし、シェルターの熱性能について2回の実地検証を行なった。

2. 紙管の熱特性

紙管の空気層による断熱効果を把握するために、気積(27.4 m³)を合わせた3種の小箱を用いた比較実験を行なった。小箱は壁一面に紙管を縦に配置した「紙管(縦)：W340×D300×H300mm」、紙管を横向きにした「紙管(横)：W300×D300×H340」と、壁・床・天井面のすべてを木材にした「木箱：W340×D240×H300」である。箱内に設置した100Wの白熱ランプを5分間点灯した後、消灯後15分間の箱内空気温度を計測した(図1)。

木箱よりも紙管(縦)・(横)の温度下降は緩やかで、最終的に紙管(横)と木箱には約5℃の差が生じている。これは紙管の空気層が断熱層の役割を果たしたため、箱内空気温度の下降を木箱よりも抑えたと考えられる。以上に加え、紙管は軽量さや施工性が良いという利点があるのでシェルターの面材料とした。

3. 紙管シェルターのデザイン提案

冬季発災直後は停電に加え、灯油・ガスが供給されずに暖房が使えないとすると、夜間の室温は外気温に近づくと考えられる。これは、避難所が一般的な学校の体育館の場合、屋根面や壁面などからの冷放射によってもたらされると考えられる。紙管シェルターは、これらの周壁面からの冷放射を防ぎ、避難者の身体からの放熱をシェルター内表面で再放射して身体を保温する機能があると考えられる。また、紙管の空気層による遮音効果も期待できる。

表1に必要資材を示す。すべての資材を市場に流通する規格品とし発災後の資材調達に時間がかからないよう

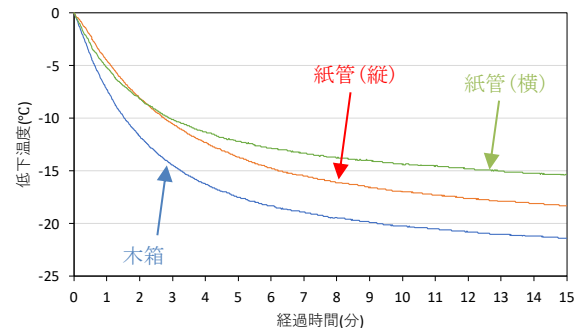


図1 各箱内空気と周囲空気の温度変化(2019/9/2)



図2 連結の様子(左)と体験会での様子(右)

表1 制作に関わる資材のリスト

紙管(長さ2000mm, 外径80mm)	113本
バインダークリップ	223個
ダンボール(1800mm×900mm)	4枚
ダンボール(900mm×90mm)	1枚
ガムテープ, スズランテープ	

配慮した。また、特別な加工や工具を使わずに大人2名が20分間で制作できる。紙管同士の連結は接点を事務用のダブルクリップで挟んで面をつくる方式とした(図2左)。天井面も壁面と同様に連結した紙管で面を作り、それを壁面に載せる構法とした。床材にはダンボールを使用し床からの冷放射を抑え、ダンボールベッド(規格品)と高断熱寝袋(札幌式寝袋)の併用とした。

紙管シェルターのサイズは、札幌市が定めている避難所における大人一人あたりに確保すべき面積(2 m²)を参考にし、二人用の4 m²として、高齢者や妊婦などの身体弱者向けのシェルターを想定した。

4. 検証①(札幌市南区)

2019年11月16~17日に札幌市の南区民センターにて、一泊二日の避難所体験会が開催された。紙管シェルター内外の空気温度・グローブ温度の計測と、シェルターの入室体験をした参加者26名向けにアンケートとヒアリングを行なった(図2右)。会場は安全管理上、暖房が運転さ

れ、センター内は室温が 22~23℃に保たれ、外気温は -3℃であった。

アンケートの質問「シェルター内は会場の室温と比べ暖かく感じるか」に対して、約 85%が「やや暖かい」、「暖かい」であった(図 3)。また、「シェルター内では会場の室温と比較し、体感としてどの程度の温度差を感じるか」は、回答者の平均で+2.2℃だった。体験者の中にいた 40 代女性 1 名に就寝してもらい、翌朝にヒアリングをした。この宿泊体験者からは「夜と朝の寒暖差をあまり感じなかった」「囲われているので安心感があった」「冷えを感じなかった」などの満足感を得られていた。

図 4 は当日夜間(22:00~6:00)のシェルター内外における空気・グローブ温度と外気温である(シェルター内の空気温度は欠測)。グローブ温度の内外温度差は 0.3~0.5℃であったが、宿泊体験者は実際の温度差以上の保温性を感じていたようである。会場の空気温度がシェルター内のグローブ温度を上回っているが、暖房の吹出口が会場上部にあり、その温風をシェルターの天井面で遮っていたためと考える。

また、体験会にて防災専門家から遮音効果について助言があり、後日、大学に持ち帰って簡易実測をしたところ、紙管シェルターの内部が外部よりも約 3dB 低く、体感できる程度の遮音性が確認できた。

5. 検証②(北見市)

2020 年 1 月 25~26 日に北見工業大学の体育館で行なわれた北海道防災訓練にて、検証①と同様に紙管シェルター内外の空気温度・グローブ温度を計測した。外気温は -14~-11℃で、会場は夜間のみ無暖房(一部、機器発熱あり)、室温は 11~13℃であった。

図 5 は筆者自身がシェルター内で就寝した 23:00~6:00 のグローブ温度と外気温で、検証①からの改善点は、シェルター入口にダンボールの簡易ドアを設けたことである。シェルター内の空気温度は外部よりも約 1.5℃高い状態を保っている。

図 6 は 1/26 の朝 5:00 の紙管シェルターとその周辺の熱画像である。シェルター周辺の壁面温度は約 6~7℃に対して、紙管シェルター内の壁面温度は約 9~10℃で約 3℃の差がある。これは図 5 に示した 5:00 時点での内外グローブ温度差(1.2~1.3℃)より大きい。筆者はシェルター内で朝まで寒さを感じることなく眠ることができたが、このシェルター内の壁面温度(MRT)の高さが「温もり」をもたらしたと考えられる。

6. 熱損失係数の試算

紙管シェルターの熱損失係数を求めるために、札幌市立大学キャンパス内(室温 15℃)にて電気ストーブを用いて、450~1800W を 10 分間隔で段階的に加熱し、シェルター内

外の熱環境実測を行なった。

ドアを開けたときの熱損失係数は約 34W/(m²・K)、閉めたときでは約 28W/(m²・K)であった。以上より、空気温度が 15℃程度の避難所内に紙管シェルターを設置し、中にヒト 2 名(約 200W)がいるとき、シェルター内の空気温度は外よりも 4℃ほど高くなると予想される。

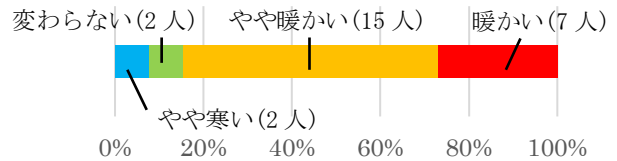


図 3 防災訓練の参加者の温冷感評価 (N=26)

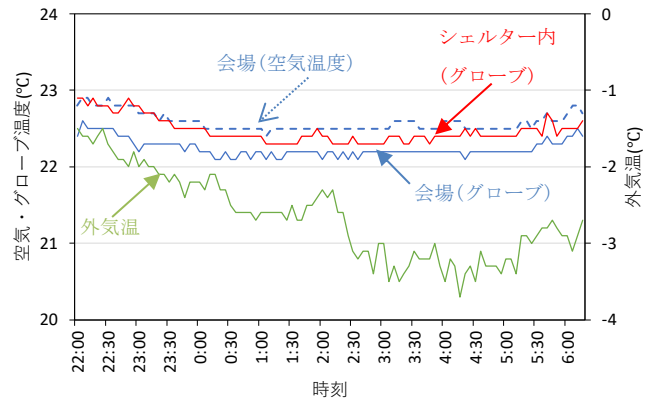


図 4 就寝中の空気・グローブ温度(2019/11/16~17 札幌)

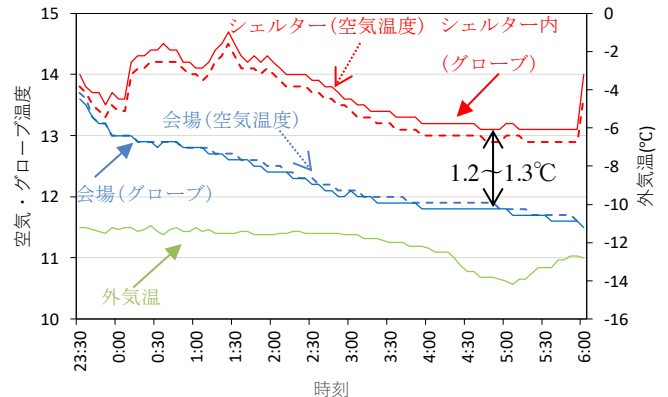


図 5 就寝中の空気・グローブ温度(2020/1/25~26 北見)



図 6 紙管シェルターとその周辺の熱画像(5:00 撮影)

謝辞 本研究は以下の 4 名にご協力頂いた。日下部有紀氏(札幌市南区 真駒内まちづくりセンター)、高田如英氏(当時、札幌市危機管理対策室)、秋吉道雄氏(北海道 総務部危機対策局危機対策課防災グループ 主査)、根本昌宏氏(日本赤十字北海道看護大学 教授)

*1 札幌市立大学大学院デザイン研究科 大学院生
*2 札幌市立大学デザイン学部 教授・博士(工学)

Graduate Student, Sapporo City University
Professor, Sapporo City University, Dr.Eng.