

安全で快適な体育館のために

- 体育館温水床暖房システムの諸性能 -

澤田 哲 則

はじめに

現在、北海道においては、体育館をはじめ教育・文化、福祉施設など、大規模な公共建築物の暖房方式として床暖房の導入が積極的に推進されています。

温水床暖房は、近年一般住宅や各種公共建築物へ急速に普及してきました。図1に温水床暖房装

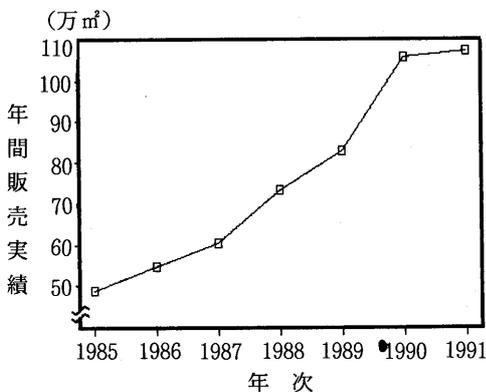


図1 温水床暖房装置の年間販売量の推移

置の販売実績を示しますが、販売量は堅調に増加しています¹⁾。これは、温水床暖房によって提供される温度環境が「頭寒足熱」の大変快適なものであることと、熱媒体が低温の温水であるため安全性が高く、ランニングコストが安価であることによると考えられます。また、北海道においては各地で温泉が湧出しており、これを熱交換によって床暖房の熱源とすることが可能で、より燃料費を抑えることができ、他の暖房では実現できないエネルギーの有効活用が図れます。

一方、近年は床に対する要求性能も多様化しています。「平坦で強度と耐久性があれば良い」と

されてきた床の時代は終わり、適度な弾力性や硬さ、すべり、歩行感の良し悪しや長期使用時の疲労感など種々の機能性の評価法が検討され、それらの性能をセールスポイントとした製品の開発が進められています。

林産試験場で開発した「ゴムチップパネル体育館温水床暖房システム」も、これら多様化する床へのニーズを先取りするものの一つとして研究を実施したものです。

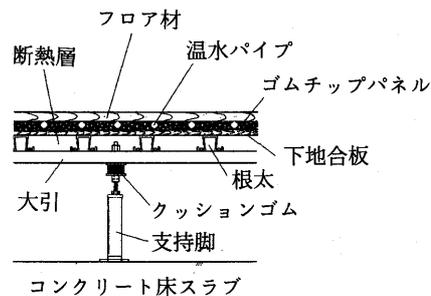


図2 体育館温水床暖房システム断面図

本システムは、図2に示すように、フロア材と下地合板との間にゴムチップパネル（分別収集された建築廃木材の粉碎小片と、廃タイヤの削小片を接着剤と混合し、熱と圧力を加えて板状に成形したもの）を敷設し、パネルに付けた凹溝にプラスチック製の温水パイプをはめ込んでいくものです（写真1）。

フロア材には体育館用の複合フローリング（写真2）を使用します。これは、一般的に体育館に用いられる単層フローリングよりも寸法安定性に優れていますが、床暖房という新たな機能に対応するために、現在も形状安定化のための研究を進



写真1 温水パイプの施工



写真2 体育館用複合フローリングの形状安定性試験
めています。

なおこのシステムは、温水床暖房を備えた床構造としては、日本で初めて体育館の床を規定した日本工業規格²⁾（以下JISと略します）に適合し、床の安全性と運動適性を備えていることが確認できました。そして民間企業に技術移転し、平成4年4月から販売が開始されました。その後着実に実績をあげてきましたので、その性能を紹介させていただきたいと思います。

体育館の床に要求される性能

体育館では種々の運動や競技が行われるため、ケガや事故の発生を抑えて、快適に運動できる床が必要とされます。このため、JIS A 6519

「体育館用鋼製床下地構成材」で体育館の床の性能を規定しています。その中でも「転倒衝突時床硬さ」と「床の弾力性」は、床の安全性や運動しやすさと密接な関係があります。この二つの性能

はJIS認可を受けた鋼製床下地材を用いた床であっても、下地合板や仕上げ材など一部の床構成材料に変更があった場合には、認可申請用試験を受けて性能基準に達していることを確認しなければなりません。そこで、本システムにおいても、それらの認可申請用試験を受けて、性能の確認を行っています。以下にそれら試験の方法と試験結果、併せて本システムの特長である床暖房時の温度特性について説明します。

転倒衝突時床硬さ

転倒衝突時床硬さの測定、評価法はJIS A 6519「床の硬さ試験」で規定されています。

測定方法は、図3に示す3.85kgのおもり（頭部モデル）を床上20cm高さから、床面に置いた厚さ8mmのゴム板めがけて自由落下させます。これは運動時に人が転倒し、床に頭をぶつけることを機械的に再現しています³⁾。そしておもりが床に衝突した時におもりに生じる最大加速度を測定します。写真3は既存の建物で実測を行っているところです。この最大加速度が小さいほど、転倒衝突時のケガの発生率（傷害発生経験率）が小さく、また運動する人が危険性を感じる程度（傷害発生予測率）も小さくなり、より安全な床という評価になります。JISでは一般体育館床においては、最大加速度100G以下（Gは重力加速度の単位）とするよう規定しています。

本システムでJIS認可申請用試験を受けた結果を表1に示します。最大加速度は87Gで、JISに適合し、転倒衝突時の安全性を備えていることを確認しています。参考までにコンクリート床

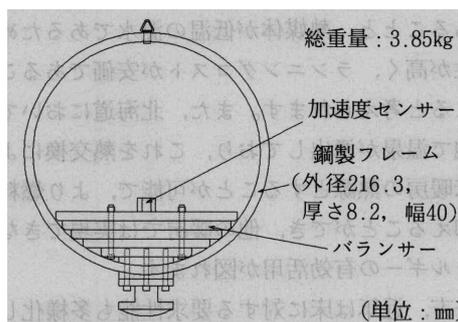


図3 転倒衝突時床硬さ測定装置の頭部モデル部分

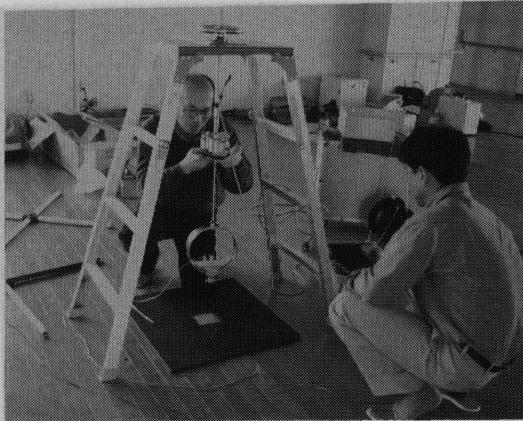


写真3 転倒衝突時床硬さの実測

表1 体育館温水床暖房システムのJIS認可申請用試験結果
(転倒衝突時床硬さ)

	転倒衝突時床硬さ (最大加速度)
ゴムチップパネル 温水床暖房式 体育館床構造体	87G
JIS規格値	100G以下

スラブなど、全く変形しない床(これを剛床と呼びます)の転倒衝突時床硬さは160G前後となります。

床の弾力性

床の弾力性の測定、評価法はJIS A 6519「床の弾力性試験」で規定されています。

測定方法は図4に示す装置を用いて、5kgのおもりを80cm高さから自由落下させ、ゴムばねを介して床に衝突させて、床に振動を発生させます。これは運動者が2~3歩の助走→垂直跳び→片足着地という一連の動作を行った時の、最後の片足着地を機械的に再現するものです⁴⁾。その際に床にかかる力の大きさ、時間による変化、また床に生じる振動の波形を測定し、床の弾力性を算出します。写真4は既存の体育館で実測を行っているところです(この測定・評価法、ならびに本システムの弾力性の詳細については林産試だより1992年11月号で詳しく説明

していますので、そちらを参照願います)。合
これについてもJIS認可申請用試験を受けた結果、表2に示すようにJISに適合する値が得られ、弾力性においても安全性と運動適性を備えていることを確認しました。

また、床暖房を稼働させて構造体を加熱した場

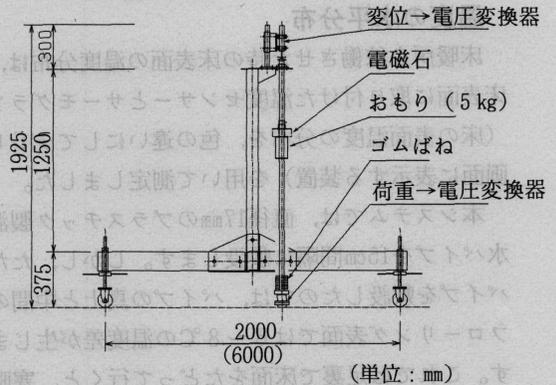


図4 床の弾力性測定装置

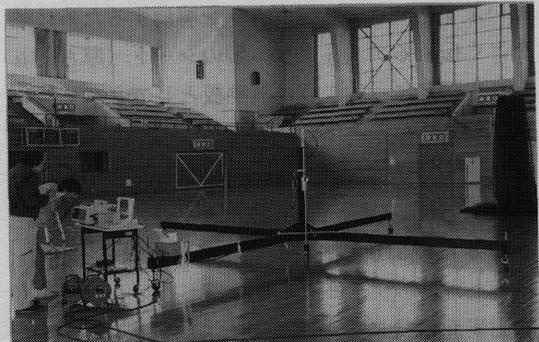


写真4 床の弾力性の実測

表2 体育館温水床暖房システムのJIS認可申請用試験結果
(床の弾力性)

	弾力性値	緩衝効果値	振動減衰時間
ゴムチップパネル 温水床暖房式 体育館床構造体	-0.09~0.02	19.5~27.2	0.05~0.21
JIS規格値	許容値 -0.2~1.378 安全値 0.0~1.378	15~40	0.45以下

- 注) ・弾力性値は、床の安全性と運動適性を総合的に評価するための目安となる値。
・緩衝効果値は傷害発生率との相関があり、床の安全性を判断するための目安となる値。
・振動減衰時間は運動しやすさ、競技性を判断するための目安となる値。

合（床表面温度30℃以上）と、構造体が冷えきった場合（構造体内部の温度が5℃以下）の床の弾力性に差が無いことも確認していますので、床暖房の稼働の有無によって床の弾力性が変化することはありません。

温度の水平分布

床暖房を稼働させた時の床表面の温度分布は、床表面に取り付けた温度センサーとサーモグラフ（床の表面温度の分布を、色の違いにしてテレビ画面に表示する装置）を用いて測定しました。

本システムでは、直径17mmのプラスチック製温水パイプを15cm間隔に敷設します。しかし、ただパイプを敷設したのでは、パイプの真上と中間のフローリング表面では6～8℃の温度差が生じます。これでは足裏で床面をたどって行くと、寒暖の差でパイプのある部分がはっきりとわかってしまいます。そこで、温度ムラを解消するために熱をよく伝えるアルミニウム製のシート（厚さ50μm）を図5に示すように放熱板としてフロア材の裏に敷き込むことにしました。これによって温度差は3℃以下となり、触感では温度差を感じない、ほぼ均質な床表面の温度分布が得られました。写真5は縦3.6×横3.6mの実大床モデルを、斜め上方からサーモグラフで撮影したものです。右側半面は特に熱の均質化に関する処置を行わず、左側半面はフローリング裏面とゴムチップパネルの間にアルミニウムシートをはさみ込んであります。アルミニウムシートを敷き込んだ方がは

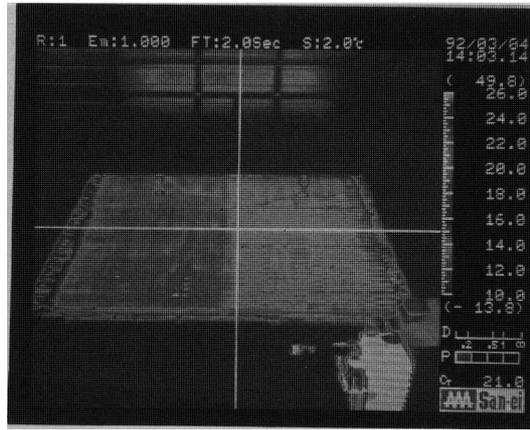


写真5 実大床モデル床暖房時のサーモグラフ画像
（左半面はアルミシート有、右半面はアルミシート無）

るかに温度差が小さくなっていることがわかります。そこで、実際の製品化においては、ゴムチップパネルとアルミニウムシートを一体成形するようにしています。

温度の垂直分布

床から垂直方向の温度分布は、輻射温度を計る温度センサーの高さを変えて設置して測定します。そして各センサーからの温度データを、一定時間ごとに測定します。この測定では縦2.8×横2.8mの実大床モデルに、厚さ30mmのポリスチレン保温板（発泡プラスチックの板）で壁と天井を作り、床モデルの中央部分で温度測定を行いました。

図6は時間経過に伴う各高さの温度変化を示しています。暖房開始後1.5～2時間で実用温度に到達させることができ、2時間前後で各部の温度が安定することがわかります。図7は各高さの温度が安定して横ばいになった時の垂直温度分布を示しています。

ちなみに高校の体育館の温度環境の目安としては床から120cmの高さで13℃前後が好ましいとされています。これは、体育の授業で適度に運動を行った際に、多量に汗をかかない温度とされています。高校にはシャワーや風呂の設備がありませんので、保健衛生やカゼの防止などの面から、この温度が推奨されています。

本システムでこの温度環境を作るには、床の表

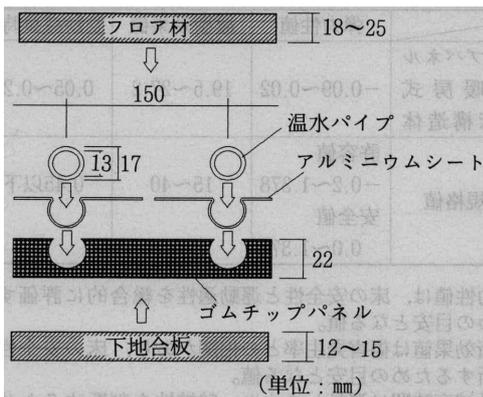


図5 床暖房層の断面構成

表3 大空間の暖房方式の比較

暖房方式の名称	温風暖房 (ダクト式)	赤外線 (高温輻射) 暖房	温水パネル暖房 (壁面設置)	温水床暖房
暖房方式の模式				
熱源	熱源供給機器	温風暖房機	赤外線輻射暖房機	温水ボイラー又は熱交換器
	機器設置場所	屋外	屋内壁面	屋外
室内温度	伝熱方式	温風熱による熱伝達	赤外線輻射熱 (近赤外線>遠赤外線)	遠赤外線輻射, 接軸による熱伝導, 対流
	熱媒体	空気	排気ガス	温水 (不凍液)
室内環境と使用感	機器発熱温度	20~50℃	400~500℃	20~50℃
	主な使用燃料	重油	90~110℃前後	10~30℃ 灯油
暖房感など	吹出し温度が高くと強制循環による上下の温度差が大きい。	温風暖房機	赤外線輻射暖房機	温水ボイラー又は熱交換器
	低温	吹出し温度が高くと強制循環による上下の温度差が大きい。	赤外線輻射暖房機	温水ボイラー又は熱交換器
その他の主な特徴	室温	吹出し温度が高くと強制循環による上下の温度差が大きい。	赤外線輻射暖房機	温水ボイラー又は熱交換器
	湿度	吹出し温度が高くと強制循環による上下の温度差が大きい。	赤外線輻射暖房機	温水ボイラー又は熱交換器
その他の主な特徴	結露の発生	吹出し温度が高くと強制循環による上下の温度差が大きい。	赤外線輻射暖房機	温水ボイラー又は熱交換器
	暖房感など	吹出し温度が高くと強制循環による上下の温度差が大きい。	赤外線輻射暖房機	温水ボイラー又は熱交換器

※冷感・体感の向上のために

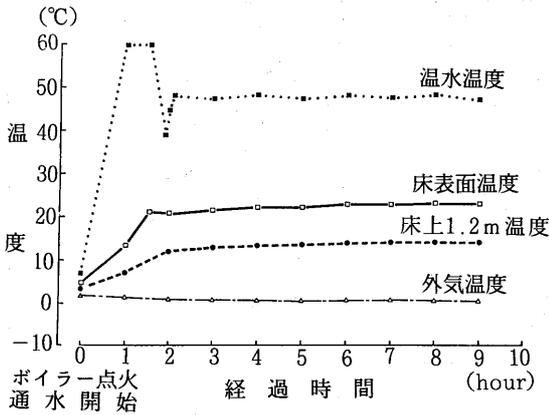


図6 時間の経過と温度変化との関係

面温度を20前後(建物の断熱の程度によって変化します)に保てるようにしてやります。そのためには、40~50の温水を循環水とするだけの能力を備えたボイラーを導入します。温泉水を熱源とする場合には、熱交換装置と、必要に応じて補助加熱用ボイラーを準備します。

まとめ

体育館の暖房を、暖房方式別に比較すると表3のようになります。それぞれに長所と短所がありますので、対象となる体育館ごとに、建物の大きさ、断熱構造、熱源などを個別に検討して、最も適した暖房方式を選択することが必要だと考えます。

林産試験場で開発した体育館温水床暖房システムは、初期の設備投資が他の暖房方式と比較して1.5倍程度と割高になります。しかしながら、燃料コストやメンテナンス費用を含めた運転経費が安価なため、7~10年で初期設備投資金額の差額分が償却できると試算されます。よって、長期的にみると、温水床暖房の方が暖房経費を節約でき

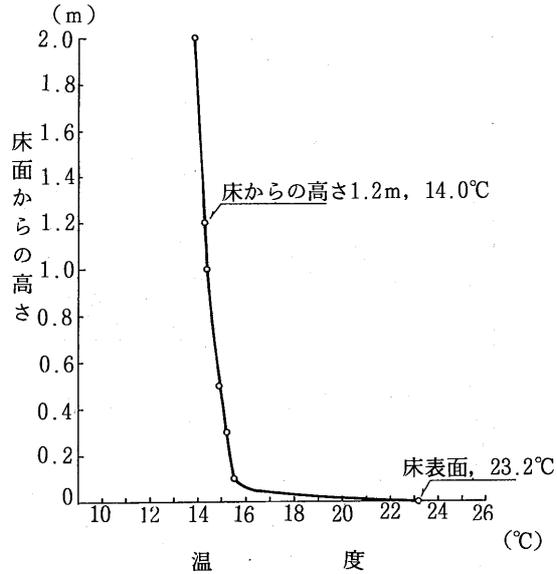


図7 垂直方向の温度分布

ることになります。

床暖房の快適さは、すでに皆さんもどこかで体験されたことがありでしょうし、また、冬の体育館の寒さもご存じのことと思います。本システムにご理解をいただき、一棟でも多くの体育館に導入されることを願っています。

参考資料

- 1) 日本床暖房工業会資料
- 2) 日本工業調査会：日本工業規格(JIS A 6519)「体育館用鋼製床下地構成材」, 日本規格調査会(1989)
- 3) 小野英哲, 吉岡 丹：日本建築学会論文報告集, 第227号(1975)
- 4) 小野英哲, 三上貴正, 横山博司：日本建築学会論文報告集, 第321号(1982)

(林産試験場 成形科)