

体育館床暖房システムの開発

澤田 哲 則

はじめに

近年、週休2日制の導入や、労働時間の短縮化が積極的に進められています。それによって余暇に当てられる時間は増え、スポーツや地域活動に参加する人が多くなってきています。そして、それらの活動の場として利用される公立体育館や、一般開放を行っている学校体育館では、利用者層の多様化（幼児から成人、高齢者や障害者の方々など）や、多目的利用化（スポーツ以外にも各種の催し物や行事などでの利用）が進み、冬季にも快適に利用できる温度環境が求められています。併わせて学校体育館においては、特に体育教育の効率的な実施という側面からも暖房設備の整備が望まれています。

道内の主な学校および体育館の数は次のとおりです^{1,2)}。

小学校：1,675
中学校：797
高等学校：340（うち道立高校：243）
大学：24
体育館：468（道営・市町村営計）
計：3,304

このうち、高等学校を例にとってみますと、道立高校は原則として暖房化されていません（市町村立から道立に移管されたものの一部には暖房設備を備えたものがあります）し、その他のものについても十分な暖房設備が整備されているとはいえないようです。皆さんの利用されている体育館や、お子様の通われている学校の体育館などはいかがでしょうか。

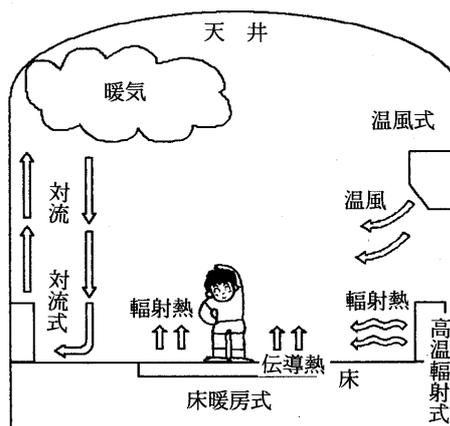


図1 体育館の暖房方式

体育館の暖房には、図1に示すような暖房方式（床暖房を除く）を用いるのが一般的です。しかし、対流式暖房では暖気が天井付近にとどまってしまう、暖房の必要な床面の付近を暖めるまでには大量の余分な空気を暖めなくてはなりません。そのためエネルギーのロスが大きく、人が暖かさを感じるまでに長時間を要します。高温輻射式暖房では暖房器付近が過熱気味になって床や壁のいたみを早めるとともに、設置位置によっては火傷の危険性があり、暖房器から離れると暖かさが伝わってきません。また、温風式暖房では、バドミントンや卓球、新体操などで、競技に支障をきたすことがあるとともに、建物内の空気全体が暖まるまでは、かえって体感温度を低下させてしまいます。

温水式床暖房では床面からの穏やかな輻射熱で床付近を集中的に暖房するため、燃料コストが少なく済み、安全性が高く、その上「頭寒足熱」

の快適な温度分布が得られます。また、床に触れる機会の多い体育館では、床自体が暖かいというのも大きな利点です。

そこで、体育館で床暖房を実施して、冬でも安全かつ快適に利用できるようにしようと取り組んだのがこの研究です。

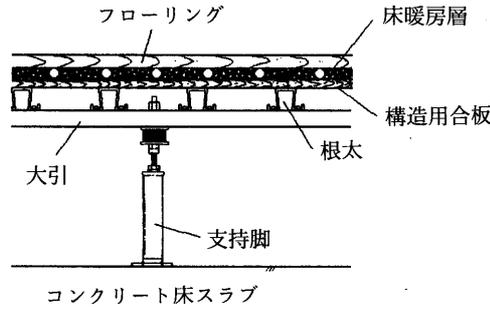


図2 体育館の床暖房構造模式図

J I Sの性能項目の中の弾力性に関する性能が変化してしまいます。そこで、弾力性の測定装置を製作し、床暖房に用いる材料・構法の開発を行うことにしました。

体育館の床

体育館ではいろいろな運動が行われるため、ケガや事故の発生を抑え、快適に運動できる床にすることが必要です。そのために日本工業規格（J I S）によって体育館の床に必要な性能が規定されています。J I S A 6519「体育館鋼製床下地構成材」³⁾では表1に示すような性能を満たすように規定されています。

体育館で温水式床暖房を行うためには、図2に示すように、フローリングと構造用合板の間に床暖房層を設けるのが暖房効率からみて最も合理的です。しかし、床暖房層を設けることによって

体育館床の弾力性測定装置の製作

体育館床の弾力性測定装置の概要を図3に示します。この測定装置はJ I S A 6519「8.4床の弾力性試験」の項目で規定されています。装置の原理は5 kgのおもりを80cmの高さから自由落下さ

表1 体育館床に要求される性能のJ I S

性能項目		J I S
鉛直載荷たわみ		1,500kg/㎡載荷時、各点の最大たわみ量は20mm以下 最大残留たわみ量は1.5mm以下
繰返し衝撃性		使用上有害な破壊・緩み・外れのないこと
弾力性	弾力性値 (Y)	最高値が1.378~0.0, 最低値が1.378~-0.2
	緩衝効果値 (U)	15~40
	振動の減衰時間 (Tvd)	0.45秒以下 ^{*1}
硬さ (Gs)		100G以下 ^{*2}
耐久性	塩水噴霧	さび・塗膜の浮き・はがれのないこと。
	亜鉛の付着量	Z12以上 ^{*3}
ボルト・ナットなどに用いる合成樹脂の強度		引張強さ：750kgf/㎠以上, 引張破断伸び：50%以上 曲げ強さ：1,000kgf/㎠以上, 圧縮強さ：750kgf/㎠以上
形状安定性	大引・根太の横曲がり (mm)	2 L/1,000以下 ^{*4}
	大引・根太の反り (mm)	2 L/1,000以下 ^{*4}
	パネルの反り	2 L/1,000以下 ^{*4}

注：*1 振動の減衰時間 (Tvd) は、できるだけ短いほうがよい

*2 Gは重力加速度で、床の最も硬い点での測定値とする

*3 亜鉛の付着量の規定は、J I S G 3302「溶融亜鉛めっき鋼板および鋼帯」による

*4 Lは各部材の製品呼び寸法とする

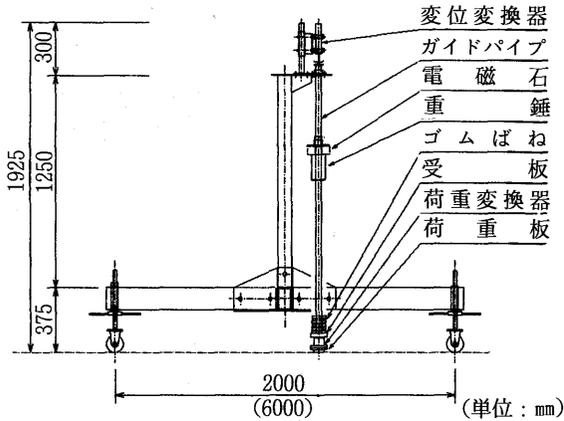


図3 床の弾力性測定装置³⁾

せ、ゴムばねを介して床に衝突させて強制的に振動を発生させるものです。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とき、最後の着地の際に床に作用する力を機械的に再現するものです⁴⁻⁸⁾。

製作に当たっては、本装置を開発された東京工業大学工学部建築学科教授、小野英哲氏のご指導を受けました。

体育館床の弾力性測定方法

弾力性の測定では、おもりを落下させて床に衝突させたときに生じる荷重の変化、および床の上下変位を1/1,000秒刻みに測定していきます。すると、図4に例を示すような2チャンネルの波形データが得られます。

図4の左上段の波形は荷重の経時変化、左下段は床の上下変位の経時変化、右中段の波形は床の変形開始から最大変形に至るまでの上下変位(X軸)と荷重変化(Y軸)との関係を示したものです。

床の弾力性を評価するための値の算出方法は図4に示すとおりです。図中のDr, Tr, Uf, Tvdの値から次の評価値が得られます。

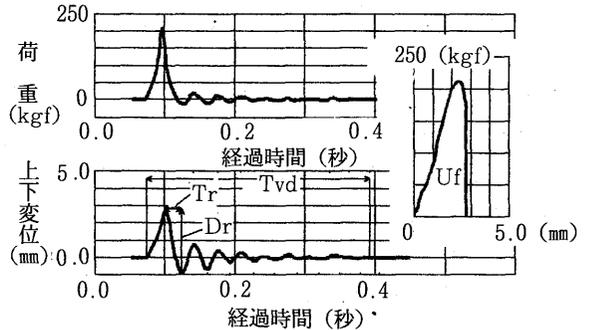
Ra : 床の反発効果値 (はね返りの感覚尺度)

U : 床の緩衝効果値 (硬さの感覚尺度)

Y : 床の弾力性値

Tvd: 床の振動の減衰時間

このうち、特に床の緩衝効果値については、ケ



Dr : 床の振動の最大振幅 (cm)

Tr : 床の振動の最大振幅時における見かけの半周期 (秒)

Uf : 床の変形が最大に至るまでの変形エネルギー (kgf・cm)

Tvd : 床の振動が0.2mmまで減衰するのに要する時間 (秒)

Ra = $Dr \times Dr / Tr$ (cm/秒)

U = $Uf - 1.1 \times Dr \times Dr / Tr$

Y = $1.3782 - 0.0016 \times (U - 17.25)^2 - 0.0028 \times (Ra - 24.28)^2$

図4 弾力性測定例の波形データ

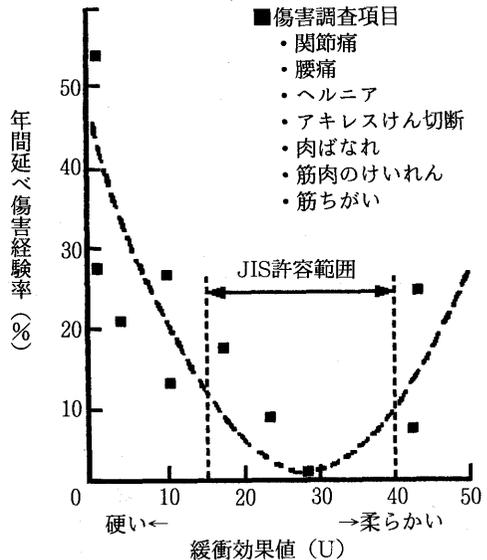


図5 緩衝効果値と傷害経験率の関係⁹⁾

ガの発生との相関があることが認められており、体育館床の設計にあたっては特に考慮を要します⁹⁾。緩衝効果値と傷害経験率との関係を図5に示します。

ゴムチップパネルの弾力性と体育館床暖房システムの試作・開発

大面積床暖房用ゴムチップパネルはサンフロア工業(株) (岩見沢市) と道立工業試験場, そして林産試験場で共同開発したものです。このパネルの製造工程の概要を図6に示します。

原料には廃タイヤと建築廃木材を粉碎・小片化したものを用い, 接着剤と混合し熱圧でパネルに成形するリサイクル製品です。写真1はパネルを成形しているところですが, 白く見えるのが木チップ, 黒い部分がゴムチップです。

表2 ゴムチップパネル(厚さ22mm)の弾力性

ゴムチップパネルの構成		弾力性			
かさ比重	原料混合比 ゴム:木:接着剤	弾力性値 (Y)	緩衝効果値 (U)	反発効果値 (Ra)	振動減衰時間 (Tvd)
0.60	75:15:10	-1.237	52.38	9.41	0.11
	80:10:10	-1.148	53.14	11.54	0.16
	85:5:10	-1.418	56.55	14.07	0.16
0.65	75:15:10	-0.178	31.69	3.65	0.08
	80:10:10	-0.591	45.43	9.05	0.10
	85:5:10	-0.797	50.23	12.26	0.12
0.70	75:15:10	-0.216	35.20	4.85	0.09
	80:10:10	-0.215	39.42	7.31	0.09
	85:5:10	-0.614	46.27	9.98	0.11

この製品を床暖房層として, 前述のJISに適合する体育館床暖房システムの開発を試みました。

このパネルの弾力性を測定してみると表2に示すような結果が得られました。この結果から, パネルの比重が大きくなるにつれ, 緩衝効果値および反発効果値は小さくなり, 同じ比重においては木チップの混入割合が大きくなるにつれて緩衝効果値および反発効果値は小さくなる傾向が認められました。これによりパネルの比重と原料混合比を変化させることによって, 弾力性のコントロールが可能であることがわかりました。

そこで, 緩衝効果値がJIS³⁾の許容範囲内に存在し, 反発効果値が最適値の24.28⁸⁾に近いかさ比重0.70, 原料混合比はゴム:木:接着剤=80:10:10のパネルを体育館温水床暖房用の床下地材にすることとしました。

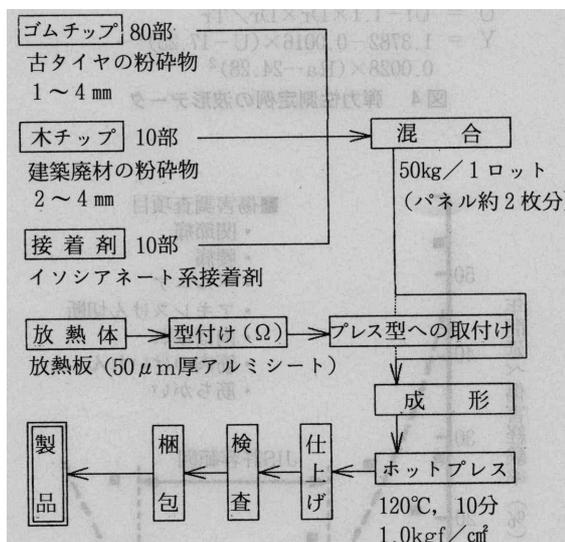


図6 ゴムチップパネルの製造工程

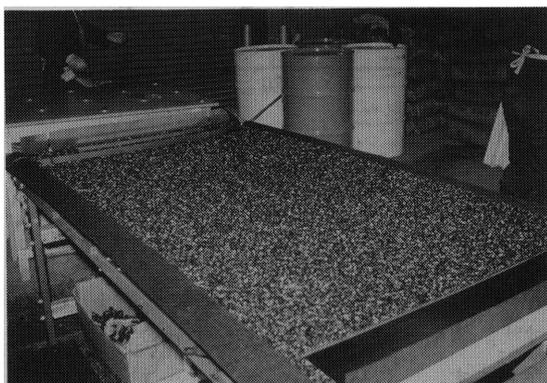


写真1 ゴムチップパネルの成形

ゴムチップパネルを用いた体育館温水床暖房システムにおける周辺技術

このパネルを体育館の床暖房用床下地材として用いるためには, 断熱方法, 放熱板の材質, 温水パイプの材質およびその取付け方法など, 周辺技術の検討も必要となりました。断熱は, 実大モデルフロアを作製し, 冬季に実際に床暖房を行って温度測定した結果から, 厚さ100mmのグラスウールを床裏面にネットで固定する方法を標準とすることとしました。放熱板は実大モデルフロアの表

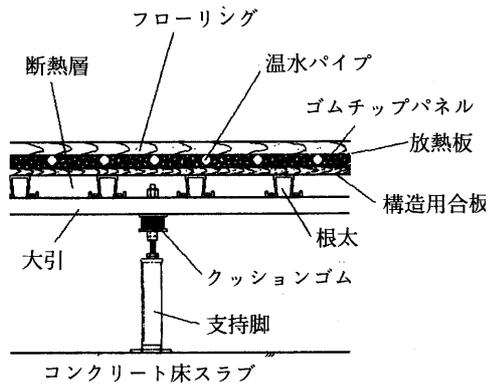


図7 体育館床暖房システム概要図

面温度分布をサーモグラフで測定した結果、厚さ50 μ mのアルミシートが適していることがわかりました。温水パイプは、一般住宅用の床暖房用ゴムチップパネルではパネル内に銅管を埋め込んでありますが、これを衝撃力に強く耐久性に優れ、床下をジョイントなしで配管できる架橋ポリエチレン製のものに変更しました。また、配管方法も従来のパネル内埋め込み方式から、パネルに配管用の溝をつけ、パネル敷設後に配管する方式としました(図7)。

この床構法でJIS認可申請用試験を受けたところ、規格に適合できる弾力性値($Y = -0.092 \sim -0.020$)、緩衝効果値($U = 19.47 \sim 27.20$)、および硬さ($G_s = 87.36G$)が得られ、JIS認可を受けることが可能となりました。

このゴムチップパネルを用いた体育館の床暖房

構法はサンフロア工業株、サンポット株(本社・埼玉県川越市)、および日本木材工業株(旭川市)に技術移転し、平成4年4月より製品が販売されています。

参考資料

- 1) 北海道企画振興部統計課：北海道勢要覧平成3年(1991)
- 2) 北海道統計協会：第21回北海道市町村勢要覧平成3年(1991)
- 3) 日本工業標準調査会：日本工業規格(JIS A 6519)「体育館鋼製床下地構成材」, 日本規格協会(1989)
- 4) 小野英哲：日本建築学会論文報告集, 第181号(1971)
- 5) 小野英哲, 吉岡 丹：日本建築学会論文報告集, 第187号(1971)
- 6) 小野英哲, 吉岡 丹：日本建築学会論文報告集, 第188号(1971)
- 7) 小野英哲, 吉岡 丹：日本建築学会論文報告集, 第226号(1974)
- 8) 小野英哲, 吉岡 丹：日本建築学会論文報告集, 第227号(1975)
- 9) 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)