

カラマツ集成材を利用した木造屋内運動場床の性能と課題

澤田哲則, 松本和茂^{*1}, 大橋義徳^{*1}, 戸田正彦^{*2}, 阿部龍雄^{*3}, 清水光弘^{*3},
金川 晃^{*4}, 近藤健彦^{*4}

Development of gymnasium floor using wooden girders and joists in larch glulam for structural use

Tetsunori SAWADA, Kazushige MATSUMOTO, Yoshinori OHASHI,
Masahiko TODA, Tatsuo ABE, Mitsuhiro SHIMIZU,
Akira KANAGAWA, Takehiko KONDOU

To expand the demand for glued laminated timber (glulam) from Hokkaido, it is necessary to create demand for a substitute in the non-wooden architectural market. One example is the furring components of gymnasium floors, which changed from wood to steel materials in the past. Therefore, the recovery of wood in this market is hoped for. Here, larch glulam was used for furring components (girders and joists), and the compositions of wooden floors satisfying the Japan Industrial Standards (JIS) provisions for floor performance (elasticity, absorption, hardness of collision, vertical loading, and cyclic impact load) were considered. By measuring Young's modulus of the components of the glulam and designing their dimensions so that they had bending stiffness similar to that of the steel materials, we attempted to build floors that complied with the JIS. We experimented with 6 floor types and found performance compatible with the JIS for 2. However, since Young's modulus in glulam for structural use is within the range of tolerance of the Japan Agricultural Standards (JAS,) we need to conduct detailed investigations of the influence it has on floor performance. Moreover, since furring is used in the environment under the floor, durability of wood equivalent to that of steel materials is required.

Key words: glulam for structural use, gymnasium floor, floor furring components, bending stiffness, floor elasticity
構造用集成材, 体育館床, 床下地構成材, 曲げ剛性, 床の弾力性

北海道産集成材の需要拡大の一環として、非木造分野における代替需要の創出が求められている。特に体育館の床下地材においては、過去に木造から鉄骨造に移行した経緯があり、この分野における木質系材料の再度の利活用が期待されている。そこでカラマツ構造用集成材を床の下地材（大引、根太）に用い、JIS A 6519「体育館用鋼製床下地構成材」¹⁾に規定される床の性能（床の弾力性、緩衝効果、転倒時硬さ、鉛直載荷たわみ、繰返し衝撃）に適合できる木造床構成の検討を行った。集成材のヤング係数を部材ごとに把握し、鋼材同等の曲げ剛性となるよう部材断面を設計することにより、JISに規定された性能に適合する床を提供することが可能であると考えられた。これらを考慮し、6種の床構成について試験を行った結果、2種がJISに適合する性能値を示した。構造用集成材においては曲げヤング係数にJAS²⁾の許容範囲内での幅があるため、それらが床性能に与える影響を精査しなければならない。また、床下環境に配慮した鋼材同等の耐久性の付与も、重要な検討課題として明らかとなった。

1. はじめに

現在、体育館に代表される屋内運動施設床はJIS A 6519「体育館用鋼製床下地構成材」によって材料、構法、床性能が規定されており、鋼製材による組床、あるいは鋼製支持脚と構造用木質系パネルによる置

床が一般的な運動床の下地構成として採用されている。これは建築基準法などの法令による規制ではないが、既に当該JISが広く周知されており、設計の段階でJISに適合する床が必要条件として盛り込まれていることによる。

運動床には、人間の動作に対する適度なたわみ・沈みや反発、速やかな振動の減衰が求められ、それらが安全性の確保や運動のしやすさにつながる^{3,4)}ことから、強度の安定した鋼材や合板、パーティクルボードなどが材料として規定されている。このように木質系資材は面材として用いられるが、組床における大引、根太といった軸組材料として鋼材以外を使用すると JIS に適合しないのが現状である。

本研究では、過去に体育館床下地が木造であったことを踏まえ、カラマツ構造用集成材による木造組床構成で、JIS の床性能規定への適合性を検討した。

なお本研究の一部は、第 62 回日本木材学会大会（札幌，2012）で発表した。

2. 集成材の強度と断面形状・部材間隔の検討

2.1 既製品の断面

本州においては鋼製支持脚（ゴム緩衝体付）とスギ集成材を軸組材とした組床による体育館床構成の製品が JIS 準拠品として販売、施工されている。その製品における軸組材の断面および間隔は、

大引：幅 90 × 高さ 90，間隔 910mm

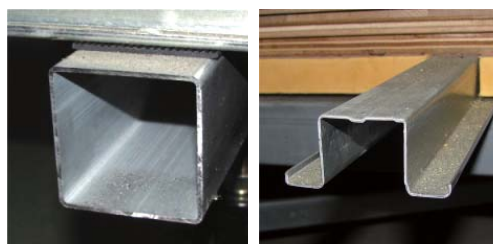
根太：幅 60 × 高さ 60，間隔 303mm

が基本仕様であったことから、カラマツ集成材を同様の断面、間隔で大引、根太に用いることとした。

2.2 鋼材の曲げ剛性による集成材の断面設計

2.2.1 鋼材の曲げ試験と曲げ剛性の測定

屋内運動床や体育館で一般的に用いられている鋼製大引（50 × 50 × 1.6mm，第 1 図・左）および鋼製根太（30 × 35 × 1.2mm，第 1 図・右）の曲げ剛性 EI を、強度試験機（島津製作所製オートグラフ DSS-10T-S，容量 100kN）を用いて、支持スパン



鋼製大引 Steel girder 鋼製根太 Steel joist

第 1 図 体育館用鋼製床下地材

Fig. 1. Steel furring components for gymnasium floor.

1,000mm の中央集中荷重で曲げ荷重を加え、比例域における荷重と変位量（たわみ）との関係から次式により算出した。

$$EI = \triangle Pl^3 / 48 \triangle \delta$$

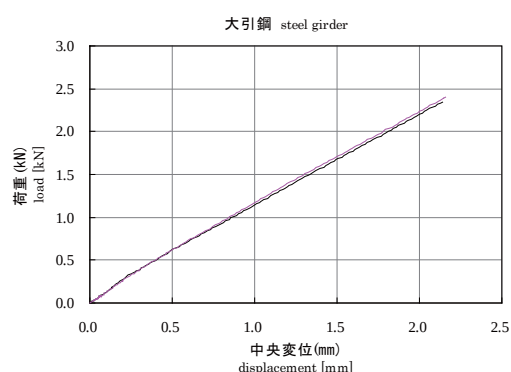
ここで、 EI ：曲げ剛性（N・mm²）

l ：支持スパン（mm）

$\triangle P$ ：比例域における荷重の増分（N）

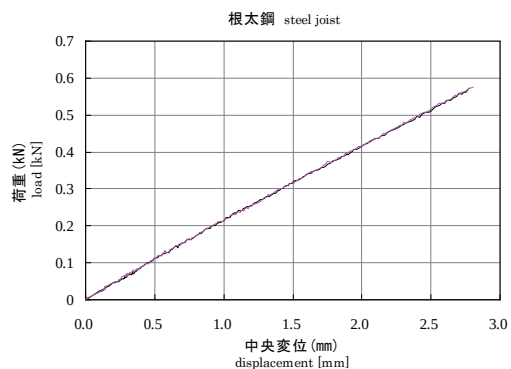
$\triangle \delta$ ：荷重の増分 $\triangle P$ に対応する中央変位（たわみ）の増分（mm）

各鋼材の曲げ剛性の測定結果を第 2 図，第 3 図および第 1 表に示す。



第 2 図 大引鋼の荷重・変位曲線

Fig. 2. Relations between load and displacement of steel girders.



第 3 図 根太鋼の荷重・変位曲線

Fig. 3. Relations between load and displacement of steel joists.

第 1 表 鋼製大引・根太の曲げ剛性

Table 1. Bending stiffness of steel girders and steel joists.

種別 Type	試験体 No.	$\triangle P / \triangle \delta$ [kN/mm]	EI [10^3 kN・mm ²]
鋼製大引 steel girder	G1	1.0603	22,090
	G2	1.0630	22,145
鋼製根太 steel joist	J1	0.1980	4,124
	J2	0.2002	4,171

2.2.2 集成材の断面寸法

曲げ試験結果から、鋼製大引、根太の曲げ剛性が明らかとなったため、その値を参考に、入手のしやすさや施工時の取扱いを考慮して、断面寸法を決定した。第2表に主な参考値を示す。

これらから、使用するカラマツ集成材の断面、構成、強度、寸法等を以下のように設定した。

大引：幅 75 × 高さ 75 × 長さ 3,600 mm

同一等級構成集成材，E95，3 層

根太：幅（高さ）50 × 高さ（幅）45 × 長さ 3,600 mm

同一等級構成集成材，E95，2 層

2.3 集成材の動的ヤング係数

試験体に用いた E95 等級のカラマツ集成材大引、根太について打音による動的ヤング係数（ E_{fr} ）の測定を行い、曲げ剛性の値が鋼材の値に近いものから選抜した。結果を第3表および第4表に示す。な

お動的ヤング係数の算出は次式によった。

$$E_{fr} = 4f^2 l^2 \rho / 10^9$$

ここで、

E_{fr} ：動的ヤング係数

[kN/mm²]

f ：固有振動数 [Hz]

l ：材長 [m]

ρ ：密度 [kg/m³]

3. 試験体

3.1 試験体の寸法・仕様

試験体の大きさは JIS で縦 3,600 × 横 3,600mm 以上で高さは実際の仕様に従うこととされており、本研究において作成した試験体はその規格に適合するものとした。第4～6図に示す3種類の支持脚を用い、各2体の試験体①～⑥を作製した。試験体の基本構成を第7図に示す。

第2表 カラマツ集成材の設計値と断面別曲げ剛性

Table 2. Reference values of larch glulam for structural use and bending stiffness of section size.

種別 Type	JAS 強度等級 JAS strength grade	曲げヤング係数平均値 MOE(average) [kN/mm ²]	設計幅 width [mm]	設計高さ height [mm]	設計曲げ剛性 EI [10 ³ kN・mm ²]	適否 propriety
大引 girder	E95-F285	9.5	75	75	25,049	○
			74	74	23,739	
			73	73	22,482	
			72	72	21,275	
根太 joist	E95-F285	9.5	45	50	4,453	○*
			46	49	4,284	
			48	48	4,202	
			47	48	4,115	
			(50)	(45)	(3,607)	

* 材料は平置き・立置きで利用できる点と、生産における寸法歩留まり等を協議して決定した。

*Material size that can be used in the horizontal and vertical directions considering the size of the production yield.

第3表 カラマツ集成材大引の動的ヤング係数

Table 3. Dynamic MOE (E_{fr}) of girders made of larch glulam for structural use.

大引 No.	幅 width [mm]	高さ height [mm]	長さ length [mm]	重量 weight [g]	密度 density [kg/m ³]	固有振動数 eigenfrequency [Hz]	動的ヤング 係数 E_{fr} [kN/mm ²]	曲げ剛性 EI [10 ³ kN/mm ²]	選抜 selection
g1	75	75	3,640	9,901	484	591	9.0	23,730	○
g2				9,753	476	597	9.0	23,730	○
g3				9,973	487	602	9.4	24,785	○
g4				10,463	511	701	13.3	35,068	
g5				9,682	473	646	10.5	27,676	○
g6				10,409	508	687	12.7	33,486	
g7				10,280	502	680	12.3	32,432	

第4表 カラマツ集成材根太の動的ヤング係数

Table 4. Dynamic MOE(E_{fr}) of joists made of larch glulam for structural use.

根太 No.	幅 width [mm]	高さ height [mm]	長さ length [mm]	重量 weight [g]	密度 density [kg/m ³]	固有振動数 eigenfrequency [Hz]	動的ヤング 係数 E_{fr} [kN/mm ²]	曲げ剛性 EI [10 ³ kN/mm ²]	選抜 selection
j1	45 (50)	50 (45)	3,640	4,182	511	584	9.2	4,313(3,493)	○
j2				4,024	491	584	8.9	4,172(3,379)	○
j3				4,125	504	617	10.2	4,781(3,873)	○
j4				4,134	505	591	9.3	4,359(3,531)	○
j5				4,392	536	609	10.5	4,922(3,987)	○
j6				4,399	537	665	12.6	5,906(4,784)	
j7				4,539	554	666	13.0	6,094(4,936)	
j8				4,025	491	631	10.4	4,875(3,949)	○
j9				4,222	516	646	11.4	5,344(4,328)	
j10				4,328	528	618	10.7	5,016(4,063)	○
j11				4,423	540	634	11.5	5,391(4,366)	
j12				4,176	510	603	9.8	4,594(3,721)	○
j13				4,120	503	585	9.1	4,266(3,455)	○
j14				3,940	481	594	9.0	4,219(3,417)	○
j15				4,541	554	637	11.9	5,578(4,518)	
j16				3,969	485	638	10.5	4,922(3,987)	○
j17				4,263	521	593	9.7	4,547(3,683)	○
j18				4,741	579	644	12.7	5,953(4,822)	
j19				4,178	510	655	11.6	5,438(4,404)	
j20				4,412	539	573	9.4	4,406(3,569)	○

3.2 試験体の作製

試験体の作製は次の手順に従って行った。

3.2.1 支持脚の位置決め・固定・レベル合わせ

支持脚の中心位置を決めて、墨出しを行い、支持脚の止め付け方法に従ってアンカーを設け、支持脚を基礎に鉛直に固定した。クッションゴムの上部でレベルを調整し、大引の支持部分を一定の高さに合わせた。

3.2.2 大引の固定

支持脚への大引の固定方法に従って、大引を固定した。その際にクッションゴムを必要以上に締め付けないよう注意し、大引がゴムの弾力で可動できることを確認した。

3.2.3 根太の固定

根太と大引が直角に交差していることを確認した上で、根太と大引が密着するように止め付けた。

3.2.4 下地合板の止め付け

下地合板の短手方向接合部が一直線上にそろわないよう、千鳥に止め付けた。固定時に根太との間に隙間ができないように留意した。

3.2.5 フローリング張り

フローリングの接合部が、下地合板の接合部と同じ位置で重ならないように留意し、フローリングの施工仕様に従って固定した。



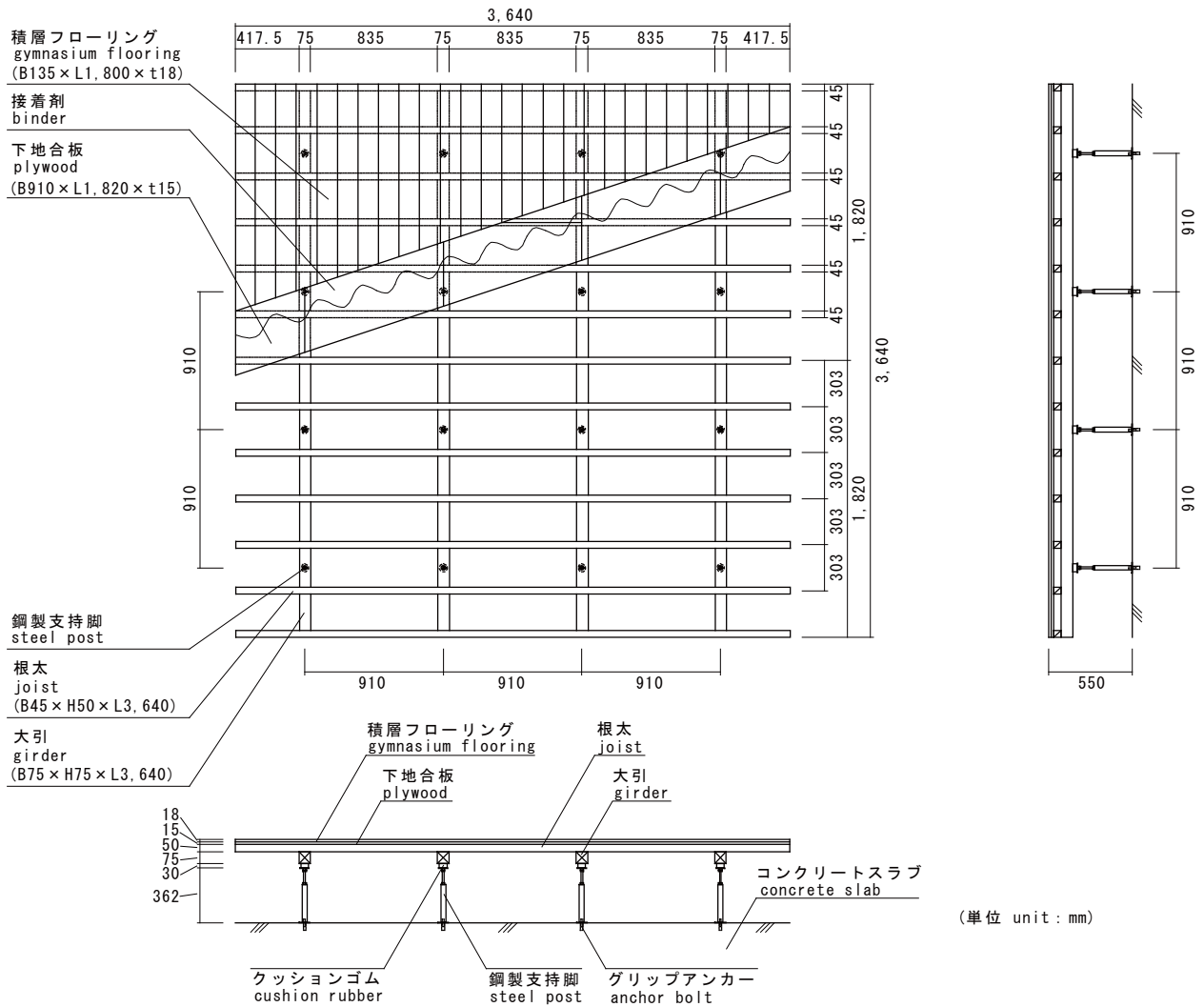
第4図 鋼製支持脚 A
Fig. 4. Steel post type A.



第5図 鋼製支持脚 B
Fig. 5. Steel post type B.



第6図 鋼製支持脚 C
Fig. 6. Steel post type C.



第7図 床性能試験体の基本構成

Fig. 7. Standard structure of specimen for the floor performance test by JIS.

4. JIS 床性能試験

床性能試験は各試験体について JIS に規定される弾力性試験、転倒衝突時硬さ試験、鉛直載荷試験、繰返し衝撃試験を行った。

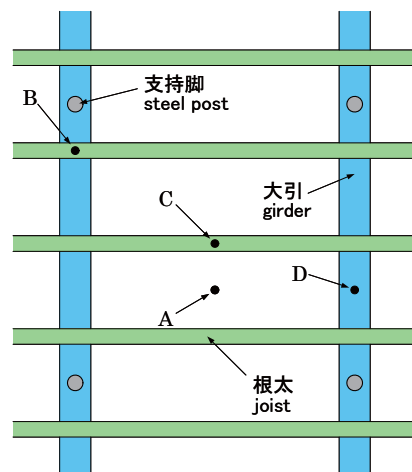
4.1 測定点

測定は試験体の中央を含む支持脚で囲まれた矩形範囲を対象とし、第8図に示すA～Dを測定点とした。ただし転倒衝突時硬さ試験に関してはB点の値のみをもって評価した。

4.2 弾力性試験

第9図に示す床の弾力性試験機を用い、質量5kgの重錘を落下距離80cmで自由落下させ、規定のゴムばねを介して床に衝突させた際に発生する床の応力、および縦振動から、弾力性値（Y）、緩衝効果

値（U）、振動減衰時間（Tvd）を算出した。



第8図 床性能の測定点

Fig. 8. Measurement points for floor performance.



第 9 図 床の弾力性試験
Fig. 9. Test of floor elasticity.



第 11 図 鉛直載荷試験
Fig. 11. Test of vertical loading on floor.

4.3 転倒衝突時硬さ試験

第 10 図に示す転倒衝突時硬さ試験機を用い、質量 3.85kg のリング形重錘を落下距離 20cm で自由落下させ、規定のゴム板を介して床に衝突させた際に重錘に作用する減速の最大加速度 (G) を計測し、その値を床の硬さ (Gs) とした。



第 10 図 床の転倒衝突時硬さ試験
Fig. 10. Test of floor hardness at collision.

4.4 鉛直載荷試験

試験体中央部近傍の大引間中央かつ根太間中央を中心とした $1 \times 1\text{m}$ の区画に、まず 500kg の初期荷重を掛け、それを除荷した時点の床位置を 0 とした。次に第 11 図に示すように 1,500kg の荷重を加え、A～D の各点における最大たわみ量を測定した。除荷後 15 分経過時のたわみを残留たわみ量として測定した。

4.5 繰返し衝撃試験

第 12 図に示す繰返し衝撃試験機を用い、30kg の砂袋を 90cm 高さから試験体中央近傍の A 点に向



第 12 図 繰返し衝撃試験
Fig. 12. Test of cyclic impact force on floor.

けて 10 回落下させた。終了後、目視によって各構成部材、接合部等に有害な破損、緩み、外れ等の無いことを確認した。

5. 試験結果および考察

5.1 床性能

床性能の試験結果および各試験体の床構成の概要を第 5 表に示す。大引、根太の断面寸法を既製品と同じとした試験体①、②においては、緩衝効果値、および転倒衝突時硬さの値が JIS 規定値より床が硬いと示し、性能規定に適合しなかった。これはカラマツの平均的な曲げヤング係数がスギのそれよりも大きく、加えて既製品の断面寸法が設計断面より大きくなったことによる。支持脚 A を用い、根太を平使い(幅 50 × 高さ 45mm)としたもの(③)、および、支持脚 C を用い、根太を立使い(幅 45 × 高さ 50mm)としたもの(⑥)が JIS の床性能規定

第 5 表 床性能の測定結果と試験床の概要

Table 5. Performance values of floors and overview of the test floors.

試験体 Floor No. 適否 Propriety	弾力性値 Y Value of elasticity		緩衝効果値 U Value of shock absorbing	振動減衰時間 T_{vd} Time of vibration decrease (sec)	転倒衝突時 硬さ G_s Hardness of collision (G)	鉛直載荷 Displacement of vertical loading		繰返し衝撃 Cyclic impact force
	最低値 Min. value	最高値 Max. value				最大たわみ Max. value (mm)	残留たわみ Remained value (mm)	
JIS規定値 Specified value of JIS	-0.2以上 More than -0.2	0.0以上 More than 0.0	15～40	0.45以下 Less than 0.45	100以下 Less than 100	20以下 Less than 20	1.5以下 Less than 1.5	異常のない こと No abnormal
① Not adaptable × 仕様 Components	-0.2144	-0.1008	12.49～15.93	0.09	104.6	6.0	0.3	異常なし Normal
鋼製支持脚A, 大引B90×H90mm, 根太B60×H60mm, 下地合板t15mm, 積層フローリング t18mm Steel post type A, Girders B90×H90mm, Joists B60×H60mm, Plywood t15mm, Gymnasium flooring t18mm								
② Adaptable × 仕様 Components	-0.2232	-0.1239	13.12～17.52	0.06	109.0	11.8	1.4	異常なし Normal
鋼製支持脚B, 大引B90×H90mm, 根太B60×H60mm, 下地合板t15mm, 積層フローリング t18mm Steel post type B, Girders B90×H90mm, Joists B60×H60mm, Plywood t15mm, Gymnasium flooring t18mm								
③ Not adaptable ○ 仕様 Components	-0.1034	0.0785	15.60～28.84	0.21	99.2	8.5	0.3	異常なし Normal
鋼製支持脚A, 大引B75×H75mm, 根太B50×H45mm, 下地合板t15mm, 積層フローリング t18mm Steel post type A, Girders B75×H75mm, Joists B50×H45mm, Plywood t15mm, Gymnasium flooring t18mm								
④ Not adaptable × 仕様 Components	-0.0416	0.0200	21.63～28.74	0.10	105.0	15.3	1.2	異常なし Normal
鋼製支持脚B, 大引B75×H75mm, 根太B50×H45mm, 下地合板t15mm, 積層フローリング t18mm Steel post type B, Girders B75×H75mm, Joists B50×H45mm, Plywood t15mm, Gymnasium flooring t18mm								
⑤ Not adaptable × 仕様 Components	-0.3374	0.0449	28.20～42.77	0.14	95.6			
鋼製支持脚C, 大引B75×H75mm, 根太B50×H45mm, 下地合板t15mm, 積層フローリング t18mm Steel post type C, Girders B75×H75mm, Joists B50×H45mm, Plywood t15mm, Gymnasium flooring t18mm								
⑥ Adaptable ○ 仕様 Components	-0.1512	0.0266	26.17～37.06	0.14	95.7	14.6	0.8	異常なし Normal
鋼製支持脚C, 大引B75×H75mm, 根太B45×H50mm, 下地合板t15mm, 積層フローリング t18mm Steel post type C, Girders B75×H75mm, Joists B45×H50mm, Plywood t15mm, Gymnasium flooring t18mm								

に適合した。⑤と⑥の床構成により、根太の断面寸法が、横使いか立使いかの違い、すなわち、根太の曲げ剛性が異なることによって床性能に大きな差異が生じたことから、これらは一定の範囲内に納めなければならないことが推察される。

ここで用いた大引、および根太は、市販品から選抜したもので、同じ強度等級の集成材であるが、鋼材に比較すると曲げ剛性のバラツキは大きく、同じ

床構成で同等の床性能が得られるとは限らない。少なくとも、許容範囲の下限の強度を有するもののみで構成された床、逆に上限の強度のみを有するもので構成された床の性能を確認する必要がある。

また、これらの床性能は、運動時の安全性確保と密接な関係を持つことから⁵⁾、提供される床の全数が規定値を満たす必要があることを念頭に置いて、さらに様々な組合せで性能確認を行う必要がある。

5.2 集成材に求められる性能

大引、根太に用いる集成材の曲げ剛性が、床性能に与える影響が大きいことを確認した。これらの用途に用いる集成材の曲げ剛性を一定の範囲内に納めるためには、非破壊手法による曲げ剛性の全数検査が望ましく、さらに適正な範囲での材料選抜が必要であると考えられる。

また鋼材と同等に利用されるためには、強度面の安定性は言うまでもなく、床下環境を考慮した耐久性の付与や、木材の乾湿による伸縮を考慮した工法の開発が不可欠であると考えられる。耐久性に関しては、床下の温湿度環境に応じて、適切な防腐処理が求められる。寸法変化に関しては、集成材の含水率管理とともに、伸縮目地やクリアランスの設定など、設計や施工上でのノウハウの積み上げが必要だと考えられる。

6. おわりに

構造用集成材の JAS により、曲げヤング係数の許容範囲が設けられ、一定の範囲内での強度安定性は確保できるものの、体育館床が求める軸組材の曲げ剛性は、構造用集成材の規定より、さらに限定的である。この研究を契機に、例えば「運動床下地材用集成材」といった区分で、より高度な要求に応えられる製品の開発と、用途に適した材料の選定方法の確立が、業界全体で進められることを期待する。

参考文献

- 1) 日本規格協会：JIS A 6519 “体育館用鋼製床下地構成材”，2004.
- 2) 農林水産省告示：構造用集成材の日本農林規格，2003.
- 3) 小野英哲，吉岡 丹：日本建築学会論文報告集，227，1-11(1975).
- 4) 小野英哲：Japanese Journal of Sports Sciences 6(9)，574-579(1987).
- 5) 小野英哲，三上貴正，渡辺博司：日本建築学会論文報告集 321，9-16(1982).

—技術部 製品開発グループ—

— *1：技術部 生産技術グループ—

— *2：性能部 耐久・構造グループ—

— *3：企業支援部 技術支援グループ—

— *4：物林株式会社 北海道建築資材部—

(原稿受理：12.11.21)