

大屋根木質立体格子架構の施工報告

Report of Construction Result of Hybrid Timber Structures

田中 昭法* 青山 芳直*
 Akinori Tanaka Yoshinao Aoyama
 斎藤 文治* 小林 裕和*
 Bunji Saitou Hirokazu Kobayashi

要 約

本工事は、埼玉県立新武道館（仮称）新築工事のうち第1工区の主道場（48.6m×62.1m）と錬成道場（24.3m×45.9m）を施工するものである。屋根架構の構造には小・中断面の集成材を用いた木質立体格子架構を採用しており、架構の仕口部は一般的なトラス構造に見られるピン接合ではなく、回転剛性を考慮した半剛接合としている。集成材には埼玉県産の杉の間伐材を有効活用しており、構造材のみとしてではなく意匠的にも木のやさしさを強調した設計としている。また、自然光を取り入れるなど自然エネルギーを積極的に活用した施設となっている。設計には県のエスキスコンペで選ばれた松田平田設計が当たっており、立体格子架構は播設計室が構造協力している。

立体格子架構の施工を行うに当たり、モックアップにより施工性の検証を行うとともに架構の施工時解析を行ってジャッキダウン時の安全性を確認したため、ジャッキダウン作業を無事完了できた。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 木質立体格子架構の概要
- § 4. モックアップと施工時応力解析
- § 5. 集成材の品質管理
- § 6. 内部金物（鋼板）の工場製作
- § 7. 現場地組・建て方
- § 8. ジャッキダウン
- § 9. おわりに

§ 1. はじめに

「埼玉県立新武道館（仮称）」は平成16年に開催される「彩の国まごころ国体」の柔道会場として利用されるもので、本工事はその内の主道場と錬成道場を施工するものである。屋根の架構はこれまでに前例のない特殊な仕口接合方式を採用した木質立体格子架構となっており、その施工方法の検討が本工事の重要な課題であった。部材の製品精度はマイナス方向の許容値を許しておらず、製品精度を確保するための品質管理を十分に行うとともに、モックアップを製作して施工性の検証を行った。

§ 2. 工事概要

工事件名：埼玉県立新武道館（仮称）新築工事（第1工区）
 工事場所：埼玉県上尾市日の出2丁目地内
 企業先：埼玉県知事
 設計監理：県土整備部営繕課
 設計監理：株式会社松田平田設計
 施 工：西松・佐伯・川村特定建設工事共同企業体
 工 期：平成13年3月26日～平成15年5月30日
 構 造：RC造地上2階+W造屋根
 用 途：武道館（観覧席）
 建築面積：6,127.00m²
 延床面積：8,538.59m²
 最高高さ：24.95m
 建物概要：主道場 1,887m²（37×51m）
 柔道公式試合6面、剣道公式試合8面
 1,510席
 錬成道場
 1階 柔道場（45×18m）200席
 2階 剣道場（45×18m）200席

*関東（支）埼玉県立新武道館（出）

§ 3. 木質立体格子架構の概要

本建物に採用している立体格子架構は、集成材の束柱・梁をジョイント金物で接合し、屋根面に沿って組み上げた、杉の美観を強調した構造システムになっている。構造上の特徴として仕口部に回転剛性をもたせるため、ドリフトピン径 $\phi 22\text{mm}$ に対して鋼板孔は $\phi 22.5\text{mm}$ ・木孔は $\phi 21.7\text{mm}$ であり、木と鋼板を 0.5mm ずらし、そこにドリフトピンを打ち込むことにより梁部材を束柱に引き寄せ、接触面に支圧力を与えている。このため、仕口部にはクリアランスがなく、高い製品精度の確保が重要となる。また、組み立て時の寸法誤差を吸収できない構造となっているため、調整スパンの採用が必要であった。

架構全体図と仕口部の接合機構をそれぞれ図-1および図-2に示す。

§ 4. モックアップと施工時応力解析

これまでに前例の無い立体格子架構を施工するに先立ち、設計要求を満たすために全ての部材を実際に使用する材料で実物大模型（モックアップ）を作成した。モックアップの完成状況を写真-1に示す。

寸法精度、施工性および安全性を検証し、構造、意匠両方の品質を確保するため、下記の項目を確認した。

4-1 モックアップ

- ①集成材の断面寸法を ± 0 から $+1\text{mm}$ の誤差精度で加工組立できるかどうかと、鋼材の寸法精度、特に束柱をプレート（プラズマ加工）ではなく、安価なワイドフラットバーを使用し、溶接組立てで十字の直角精度が取れることを確認できた。
- ②束柱と梁の接合部のドリフトピン穴を 0.5mm ずらした時の作業性と仕口部の密着性および木部材への割れ等の影響については問題なく、施工可能であることが確認できた。
- ③ドリフトピン形状を原設計も含めて5種類試作し、部材への打込みを行い、その結果両テーパ型が木の損傷もなく最も適していることを確認した。本工事で使用したドリフトピンを図-3に示す。
- ④地組時の組み立て手順を検証し、仮設台と支保工位置の確認をした結果、安全性と施工性を確保できた。地組時と架設時の寸法精度を測定した結果は 1mm 以下の誤差であった。
- ⑤ドリフトピン打込みにより梁を束柱に引き寄せることで面圧（ウッドタッチ）を作用させた結果、接合部に回転剛性が発揮されることが確認できた。

4-2 施工時応力解析

モックアップの施工結果を踏まえ、仮設支保工位置と

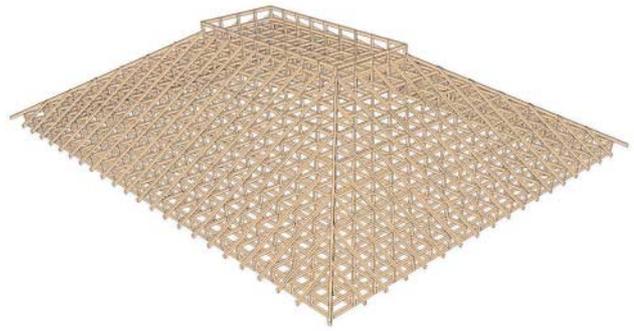


図-1 架構全体図

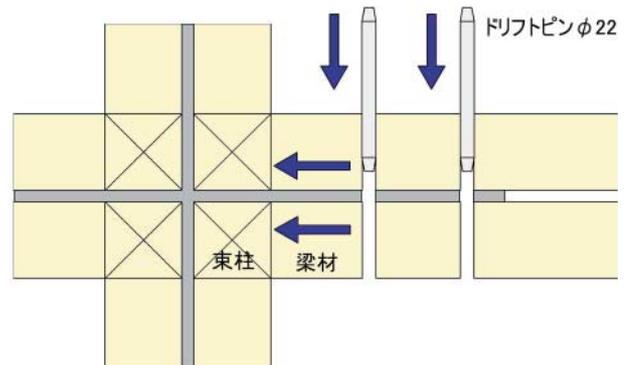


図-2 仕口部の接合機構



写真-1 モックアップの完成状況



図-3 ドリフトピン

ジャッキダウンの手順を決定した。架構の受け点は架設時に変形量を抑えるためにスパンの中央部分とトップライト廻りのジャッキダウン位置に設けた。各施工段階毎に応力解析を行い、部材応力・仕口部の応力が許容応力度以下となることを確認した。支保工とジャッキ位置を図-4に示す。

(1) 建て方時とジャッキダウン前の応力解析

7スパン分の架構架設時には格子架構が固まっていな
いため、部材の変形量が大きくなることが予想された。
変形量と支点反力の解析結果から変形防止の補強部材を
決定した。次に、屋根架構を設置する架設部材を決定す
るために、各支点に作用する支点反力の解析を行った。
中間点の仮受け点には枠組み支保工を、ジャッキダウン
位置の支点には四角支柱を用いた。

(2) ジャッキダウン時の応力解析

ジャッキダウン完了時の架構の変形量を解析し、
ジャッキの最大ダウン量を決定した。ジャッキの最大ダ
ウン量は過去の経験値から解析値の3倍とした。1回の
ジャッキダウン量は、ジャッキ支点一箇所が何らかの不
具合で下がらなかった場合を想定して解析を行い、部材
の応力が許容応力度以下になるように設定した。解析の
結果をもとに、ジャッキダウン時の1ストローク下げ幅
は主道場1cm、錬成道場0.5cmとした。ジャッキダウ
ンの概要を図-5に示す。

§ 5. 集成材の品質管理

強度が比較的低く、大スパン建築物の構造材としての
利用が不利な杉材を使用する上で、品質管理には特に気
を使った。管理で重要な項目は、異等級対称構造集成材
(E65-F225)のひき板材を一枚毎にヤング係数を測定し
て使用場所を決定すること、寸法・孔明け管理とともに
構造材のやせ、くるいを防止するための含水率を管理す
ることである。含水率はラミナでの出荷時8%まで乾
燥させ、現場では含水率計を用い12±2%となるように
管理を行った。この数値は他の基準と比べ非常に低い値
であるが、一度乾燥しておけば雨水等で一時的に上がっ
ても戻ることが確認されている。含水率の変動を抑える
ため、工場において撥水材兼防腐材(長油性アルキド樹
脂塗装)を1回塗、柱の小口には吸水とひび割れ防止を
兼ねてエポキシ樹脂を塗装した。

§ 6. 内部金物(鋼板)の工場製作

6-1 ドリフトピン

屋根を構成する束柱・梁・登り梁は集成材の間に鋼板
を挟み込み、ドリフトピン(繋ぎ金物)で接合している。

前述の通り、ドリフトピンの形状はモックアップによ
る施工実験を行い、両テーパ型に決定した。原設計で
はドリフトピン両端に落下防止キャップがつく仕様で
あったが、施工性等を考慮して設計変更を行った。この
ため、ドリフトピンが経年後も落下しないかの確認のた
め、長野県森林試験センターで引き抜き実験を実施した。
試験は乾燥前および1%近くまで乾燥させた試験体そ
れぞれ15体について引き抜き試験を実施し、経年変化
しても地震力等で抜け落ちないことを確認した。試験結
果を表-1に示す。

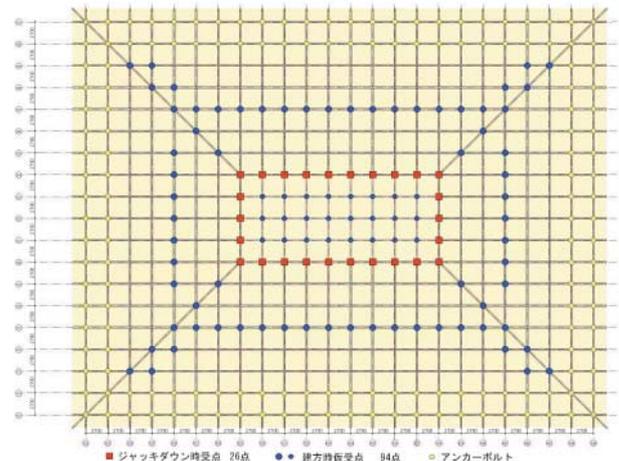


図-4 支保工とジャッキ位置

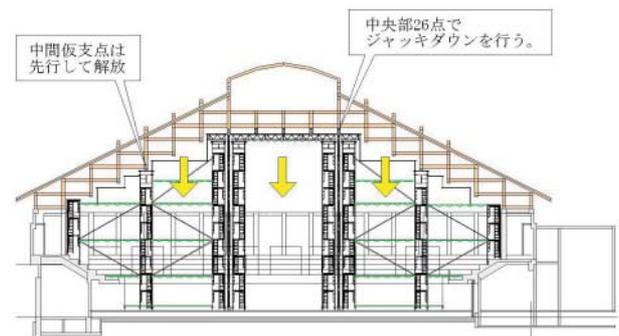


図-5 ジャッキダウン概要

表-1 ドリフトピン引抜試験結果

		乾燥試験体		非乾燥試験体	
		板目	積層目	板目	積層目
変形量が20~40の平均値	*1 短期許容耐力	816.9	486.4	574.7	324.6
	*2 短期許容耐力	740.4	446.2	541.3	228.5

*1: 5% 下限値は最大値と最小値を除いたものの平均値より計算 (単位: N)
*2: 5% 下限値は最大値を除いたものの平均値より計算

6-2 内部金物（鋼板）

東柱と梁の接合部は、鋼板と集成材の孔位置を0.5mmずらすことにより梁と東柱の接合面が押し付けられ、面圧（ウッドタッチ）により応力の伝達を行い半剛性接合となる。構造設計の回転剛性には、設計時に実験を行った数値結果の75%を採用している。

この面圧を確保するため、仕口部の製作精度を高める必要があった。集成材の加工精度はゼロ管理が可能であるが、鋼板の加工精度確保のためには製作方法の検討が必要であった。穴あけ精度については、集成材との誤差が0から2mm未満の精度になるように品質管理を行った。東柱の十字型金物のワイドフラットバーによる製作においては、溶接後の角度管理が重要であり、製品精度を高めるために溶接用治具と検査用治具を開発した。また、集成材も同じ検査治具で検査をして製品精度の確認を行った。東柱の組み立ては集成材加工工場で行い、製作金物の不良品発生による現場での手戻りを防止した。

§ 7. 現場地組・建て方

7-1 建て方方法

主道場の建方は、敷地の形状より三方向からの施工が可能であるが、東面は敷地に余裕が無く建方重機が配置できない。最大作業半径は東側中央で57.5m必要であった。建て方計画と工区分けを図-6に示す。

立体格子架構は部材のスパン2.7m、高さ1.35mのグリッドで構成されている。これを単材で建て方していく場合には揚重回数が非常に多くなり、東柱下に全て仮受け支柱が必要となる。このため、地組ユニットの形状を検討した結果、一流れ7スパンで建て方する計画とした。

この工法によりモックアップで平組3スパンの施工実験を行うことで施工性を確認した。この地組ユニットの場合では最大7スパンで5.1tとなり、最大42.0mまでは施工可能であったが、A・Cブロックの各3ユニットは2分割する必要があった。

この工法の選定理由としては、

- ①内部支保工に使用する仮設材の省略
- ②高所作業の低減（特にドリフトピン打込み）

のためであった。揚重機は150tクローラクレーン（LS248RH-v）とし、相番用の油圧レッカー（10tまたは25t）を常に配置する計画とした。

屋根建て方を行うにあたって、屋根四隅部分のA~Dブロックの4分割およびトプライト部分（Eブロック）の分割を行い、全部で5分割した。寸法誤差の吸収のために、各ブロックの接続部を調整スパンとした。

建て方は、各ブロックのXY方向位置が拘束される屋根四隅の稜線下部より開始してXY2方向に広げていき、隣り合うブロックを固めた後に調整スパンの施工を行った。斜め屋根部分の施工完了後にEブロックのトプライト廻りの建て方を行った。

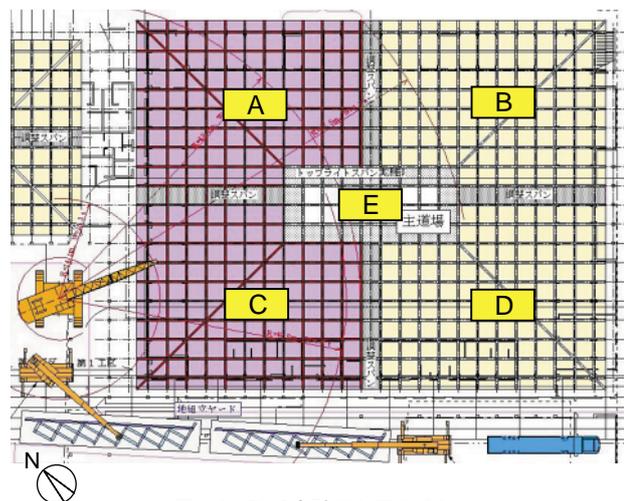


図-6 建て方計画と工区分け



写真-2 地組状況

7-2 建方手順

(1) 地組

敷き鉄板上に山留材200Hで架台を組み、面材スパンの地墨を出した後、東柱材を水平に設置した。次に梁、登梁の内部金物（鋼板12mm）を柱間につなぎ、スパンと斜め距離を実測後ボルト本締めを行い、錆止めでタッチアップした。その後、梁集成材を各スパンに取付け仮ボルトで締めた後ドリフトピンを打込み、再度実測して各スパンを2mm以内に納めた。地組状況を写真-2に示す。

(2) 建起し

建方用150tクローラクレーンと相番用油圧レッカーで合吊りし、地切をした。その後、150tクレーンを巻き上げ建て起こし、チェーンブロックで屋根勾配に合わせた。

杉は唐松などに比べ軟らかく傷つきやすい樹種であるため、施工中にも取扱に注意を払った。建方時には玉掛けする部分をL型アルミ材で養生し、ナイロンシュリンクベルトで巻きつけた。

(3) 建て方

150tクローラクレーンで所定の仮設支柱位置にセットした。そして次のスパンの面材を同様にセットし、横つなぎ梁の内部金物（鋼板）を仮締めし、スパンを実測した後ボルトの本締めを行った。最後に梁集成材を仮付けし、スパンを実測してからドリフトピンを打込んだ。

その後、この作業を繰り返していくが、ここで重要だったのは各スパン毎の寸法管理であった。部材自体の寸法

がマイナス方向の誤差を許容していないため、調整スパンでの誤差の累積が懸念されたが、各スパン毎の寸法管理を十分に行うことで大きな問題もなく施工することができた。建て方状況を写真-3 および写真-4 に示す。

7-3 調整スパン

本建物に採用した立体格子架構では、各部材寸法のマイナス方向の許容誤差は認めておらず、組み立て時の寸法誤差を吸収できない構造となっている。このため、計画段階で調整スパンの必要性が考えられた。

調整スパンはできるだけ多く設定した方が施工精度が確保できるが、工期への影響が懸念されるため、屋根の斜め部分については4分割にブロック割し、その接続部分の十字方向を調整スパンとした。また、トップライト廻りにも調整スパンを設定した。

調整スパンの部材は現場寸法実測の後に製作し、取り付けを行った。調整スパンでの寸法誤差を小さくするために、各スパンでのスパン長の施工誤差を1mm、11スパンで10mm以内になるように施工管理を行った。また、調整スパン部の部材長の変更により仕口部の剛性低下が懸念されたため、繫梁方向には基本的に鋼板が入っていなかったが、調整スパンの部分については鋼板を追加して剛性の確保を図った。

7-4 内部支保工及び足場

内部支保工を計画するにあたって施工時解析を行い、仮受け点、ジャッキダウン点の反力および屋根架構の変形挙動を解析した。

支保工の配置計画では、当初トップライト廻りの束柱下に四角支柱を配置してジャッキダウンを行うことを考えていたが、架構組み立て時に支点間中央部での変形量が大きく、それによってトップライト周りの束柱の傾きが大きくなり、次部材取り付けに影響が出るため、スパン中央部についても枠組み支保工で仮受けすることとした。ジャッキダウン支点は主道場で26点、練成道場で28点とした。

内部足場は、中間仮受け点の枠組み支保工と四角支柱の廻りに設置した枠組み足場を斜めに梁枠でつなぎ、その間を鋼製足場板と水平ネットで敷き詰め作業床とした。

§ 8. ジャッキダウン

ジャッキダウンに先立ち、構造用合板・防水シート・トップライト鉄骨まで組立て完了後、仮受け支点を解放した。本工事の屋根立体架構を受ける支保工の上げ起こしは行っていない。ジャッキダウンの施工手順は施工時解析の結果に基づいて行った。

屋根架構ジャッキダウン位置での最大変形量は一般的な木質屋根の場合、設計値の3倍程度の値になることが

ら、本工事に使用するジャッキストロークは解析値の3倍の100mmのものを使用した。想定値を超える場合は、ジャッキを盛替える計画とした。

ジャッキダウン作業の設定条件を以下に示す。

(1) ジャッキの設置

トップライト廻りに設置した四角支柱(主道場26点・練成道場28点)の上部にセットした解体ジャッキに油圧ジャッキを各1基設置する。

(2) 地切・ジャッキアップ

解体ジャッキのハンドルがフリーになるまで油圧ジャッキでジャッキアップする。

(3) ジャッキストロークの設定

フリーになった解体ジャッキのハンドルを設定した1回のジャッキダウン量に合わせる。

ジャッキダウンの1ストローク量の設定は、ジャッキダウン時にジャッキの不具合が生じ、1点だけジャッキが下がらなかった場合を想定して架構の応力解析を行い決定した。主道場は解析上10mmとした場合でも応力上問題がなかったが、1回のダウン量を5mmに設定した。練成道場は5mmを3mmとした。

(4) ジャッキダウン

油圧ジャッキを一斉に解放しジャッキダウンを行う。ジャッキダウン完了後にアンカーボルト・屋根架構に異常がないか点検を行う。油圧ジャッキの反力を読み取って記録し、ジャッキダウン後に解放された支点がないかの確認を行う。



写真-3 建て方状況



写真-4 建て方状況全景

表-2 ジャッキダウン後の変形量計測結果

位置 X Y	計測諸元	JD 時降 下計算値	9/6	9/6	9/7	9/20	10/10	10/17	12/25
			JD 直後 11:00	当日終了 17:00	1日後 10:00	14日後	27日後	34日後	102日後
34 24	降下量 (mm)	-----	28.0	2.0	0.0	1.0	3.0	3.0	0.0
	トータル降下量 (mm)	-30.0	-28.0	-30.0	-34.0	-36.0	-40.0	-43.0	-54.0
38 22	降下量 (mm)	-----	13.0	3.0	0.0	4.0	2.0	3.0	
	トータル降下量 (mm)	-30.0	-13.0	-16.0	-17.0	-23.0	-26.0	28.0	
33 20	降下量 (mm)	-----	24.0	2.0	3.0	1.0	3.0	2.0	2.0
	トータル降下量 (mm)	-30.0	-24.0	-26.0	-29.0	-34.0	-38.0	40.0	-56.0
29 20	降下量 (mm)	-----	14.0	1.00	0.0	1.0	2.0	1.0	
	トータル降下量 (mm)	-30.0	-14.0	-15.0	-16.0	-17.0	-20.0	-21.0	
29 22	降下量 (mm)	-----	18.0	0.0	1.0	1.0	2.0	1.0	
	トータル降下量 (mm)	-30.0	-18.0	-19.0	-20.0	-21.0	-23.0	-24.0	
						トプライト取付け	屋根下地施工中	TP ガラス付け	金属屋根完了
							金属屋根施工中		

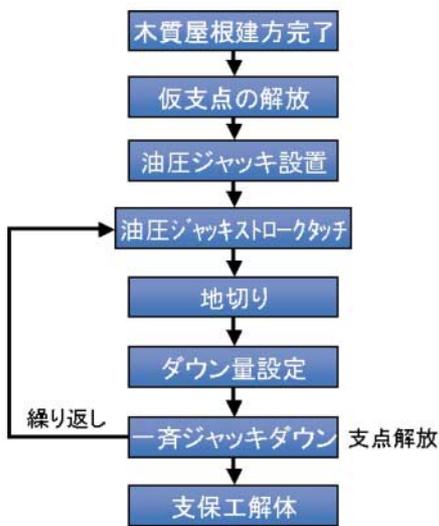


図-7 ジャッキダウン作業フロー



写真-5 ジャッキ設置状況



写真-6 建て方完了状況

ジャッキダウン作業は以上の作業を全ての支点が解放されるまで繰り返し行った。ジャッキダウン作業フローを図-7に、ジャッキ設置状況を写真-5に示す。

ジャッキダウン後の架構変形量の測定は、始めの1週間は毎日行い、その後は1週間毎に測定した。その結果、金属屋根施工完了時で主道場56mm、錬成道場7mmのたわみ量となった。主道場ジャッキダウン後の変形量計測結果を表-2に示す。

§ 9. おわりに

本工事は、屋根の架構に国内最大級の木質立体格子架構を用い、仕口部は回転剛性を考慮に入れた構造形式となっていた。

工事を進めるに当たり、モックアップを製作して施工性の検討を行うとともに、製品精度を確保するために十分な品質管理を行った。

この結果として、ジャッキダウン直後の架構の変形量

が解析上の値とほぼ一致した理由として、設計時の仕口部バネ剛性の仮定が適切であったとともに、部材の品質管理が十分に行われたためであると考えられる。

内部支保工足場を解体した現在、天井の木質立体格子架構を見ると、意匠と構造を兼ね備えた杉集成材の木肌のやわらかさが表れていることが確認できた。内部支保工解体後の木質立体格子架構を写真-6に示す。

現在、仕上げ工事を進めており、竣工は平成15年5月末の予定である。

謝辞：ご指導ご協力を頂いた関係各位に深く感謝する。