

球体形状した演劇ホールの施工 Construction in Drama Hall consist of half-sphere

丸 寄 弘 石*
Hiroishi Marusaki

磯 部 裕*
Yutaka Isobe

武 田 克 彦*
Katsuhiko Takeda

要 約

本報告は“那須野が原ハーモニーホール”演劇ホールのRCシェルならびにガラスユニット形式アルミカーテンウォールの施工概要を述べたものである。

本建物の外形は、ラグビーボールのような立体形をしており、約半分の屋根がRCシェル、残り半分がガラスユニットカーテンウォールとなっている。この球体形状は空間座標値の算出が困難な上、コンクリート打設・サッシの取付・ジョイント部の止水等施工上多くの課題を抱えていた。施工に当って、RCシェルの屋根では特殊な形状を確保するためトラスウォール工法とネット型枠を、また、高品質の躯体コンクリートを得るため高流動コンクリートを採用した。球形のカーテンウォールでは、アルミフレームとガラスによるユニット方式の独自のカーテンウォールをモデル試作試験を経て採用した。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 演劇ホールの概要
- § 4. 建物の外形
- § 5. RCシェル
- § 6. アルミカーテンウォール
- § 7. おわりに

§ 1. はじめに

本報告は、栃木県北部に位置する大田原市と西那須野町の二つの自治体が共同で、北那須地域に初めて音楽と演劇のそれぞれの専用ホールを建設するもので、“大田原

市西那須野町共同文化会館”（後に“那須野が原ハーモニーホール”に変更）建築工事として、平成4年12月に着工した。

この建物は、公開デザインコンペ方式により、20代若手建築家の案が当選し、実施設計においても極力当選案のイメージを生かしたデザインが採用されている。この施設の中で特にユニークな形状を呈しているのが演劇ホールで、建物の規模が長さ45m、幅37m、高さ23mあり、丁度ラグビーボールが半分ほど地面に埋込まれた形をしており、表面は多面体で構成されている。建物躯体のうち舞台側の半分は、RC造のシェル構造打放し仕上げで、残りの客席側半分は、ドーム形のガラスユニット形式アルミカーテンウォールとなっている。

ここでは、その問題点を解決するために各課題についての検討、試作・試験、実施結果について述べる。

*東京建築(支)大田原文化会館(出)

§ 2. 工事概要

那須野が原ハーモニーホールの概要を写真-1、図-1に示す。当建物は、演劇と音楽のそれぞれを主体とする2つのホールと交流ホール・アートギャラリーを含むギャラリー棟より構成されており、その間にホールロビー、円形広場等が配されている。

工事名称：大田原市西那須野町共同文化会館建設事業建築工事

工事場所：栃木県大田原市本町1丁目2703-6他

発注者：大田原市

設 計 者：(有)セル・スペース

施 工 者：西松・那須土木・山和 J V

施工期間：平成4年12月14日～平成6年10月31日

敷地面積：25,226.39 m²

建築面積： 6,997.89 m²

延床面積： 8.999.67 m²

最高高さ： 23.12 m

軒 高: 17.12 m

階 数：地下1階，地上3階

構造：RC造、S造、一部SRC造

客席数：音楽ホール1275席、演劇ホール 393席

§ 3. 演劇ホールの概要

演劇ホールの平面および断面を図-2に示す。この演劇ホールは、客席数 393 席（親子席 2 席を含む）のプロセニウム型ホールであり、昇降 3 段式オーケストラ迫り、

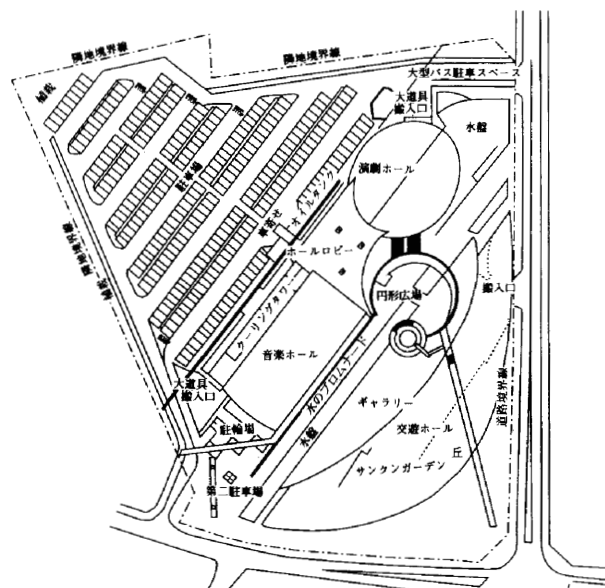


图-1 全体配置

ステージ迫り、どん帳、各種吊物および音響反射板等を備え、演劇からミニコンサート、講演会に至るまでの各種催しに対応する機能を備えている。

舞台側上部は、各種舞台機構を支持するブドウ棚が4段程設けられ、その上部に現場打コンクリートのRCシェルの屋根がある。

客席側は、舞台中央に向かって円弧状に座席が配置され、壁・天井は鉄骨を下地としてボードとアルミ音響拡散リブによる2段の楕円鉋が覆い、最も外部側にはドーム型のガラスユニットによるアルミカーテンウォールがある。

§ 4. 建物の外形

演劇ホールの外形は、長軸45m、短軸37mの楕円を、長軸（GL+4,350レベル）を中心として回転させてできる立体形でその形状は次のような三次元の式で表される。

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$$

$$a = 22,500 \quad b = 18,500$$

この立体形の長軸のまわりを6°ずつ分割する線と、長軸に垂直で長軸上を23等分する線とが表面上で交差する点を結んでできる多面体が外観デザインとなっている。

シェルの有効壁厚は 180 mm で、フカシが内部が 10 mm、外部が 30 mm とっているので、前記で求めた線上から外部へ 100 mm、内部へ 120 mm ずれた平面が形造る多面体が、それぞれ躯体の内面、外面となる。

外形の形状を図-3に示す。

§ 5. RCシェル

5-1 概要

RCシェルの屋根は、前述の全長約45m、最大幅37m、

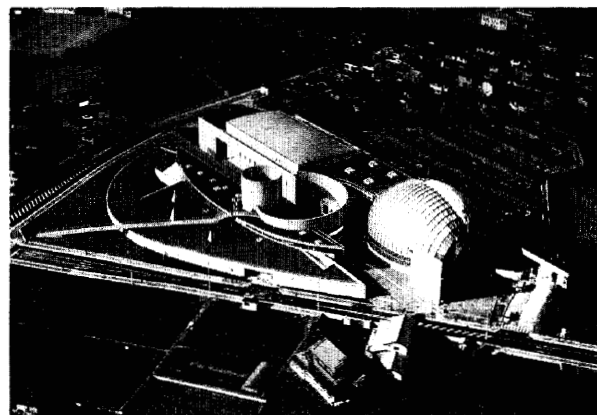


写真-1 完成した那須野が原ハーモニーホール

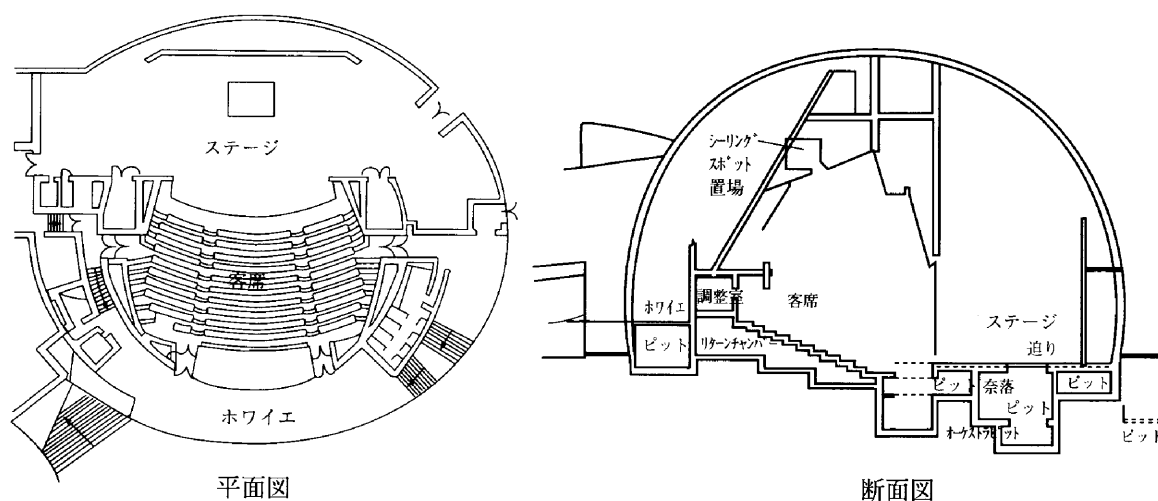


図-2 演劇ホール断面図

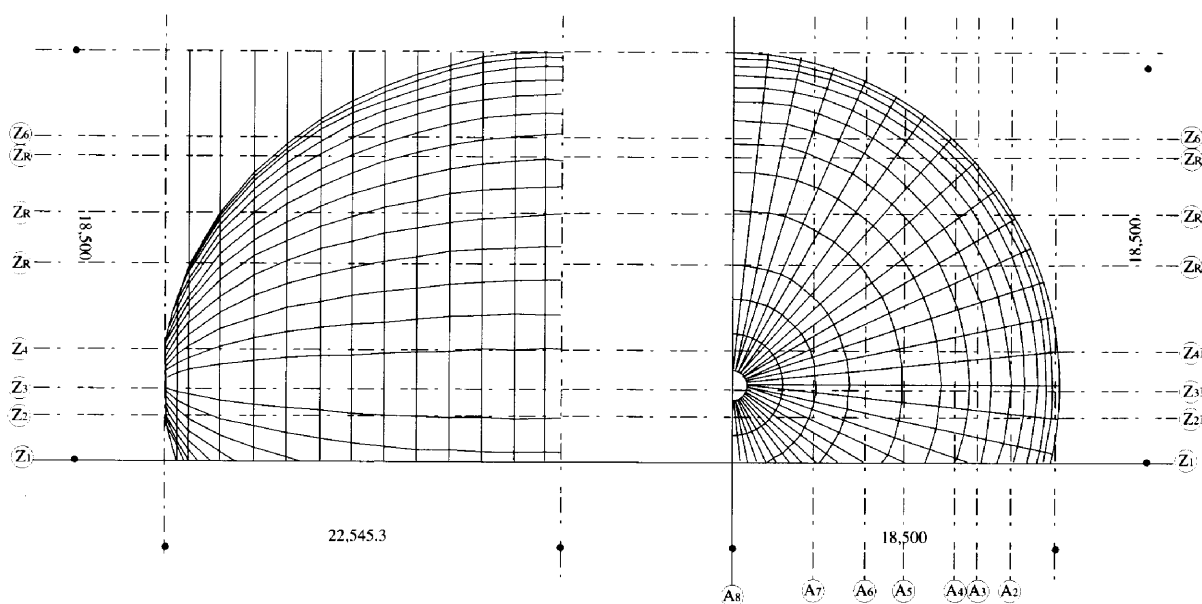


図-3 多面体外形立面座標

最高高さ約23mの楕円球体を多面分割したうちの半分の形状である。

構造的には、2列の垂直壁が一体となって固定端を形成し、GL部分の基礎梁との間でシェルを架け渡す構成となっているが、一部舞台吊物の綱元部分が欠損したり、大道具搬入口等の開口があり、構造的に均一なシェルとはなっていない。

5-2 問題点

この屋根は球体形状をしていることから、雨水に対しては防水層を設けず躯体で処理する仕様となっている。施工に当たってはコンクリートの品質むらを無くすためにGL+4.350の回転心レベルより上部は打継ぎなしでコンクリートを施工する必要があった。

RCシェルを施工する上で、次の問題点があげられた。

①多面体形状の保持方法

楕円球体をした多面体であるので平面相互の角度が多様に構成され、型枠組立時とコンクリート打設時の変形防止対策。

②多様な角度を持つコンクリート打放し仕上

外部の垂直から水平面まで、コンクリート打放し面の仕上り状態。

③上部躯体の打継ぎなしコンクリート打設

打放し仕上げで躯体防水を確保するため、打継ぎなしでコンクリートを打設する手段。

④防水性能とメンテナンス

躯体防水が指定されているが、コンクリートの性質から

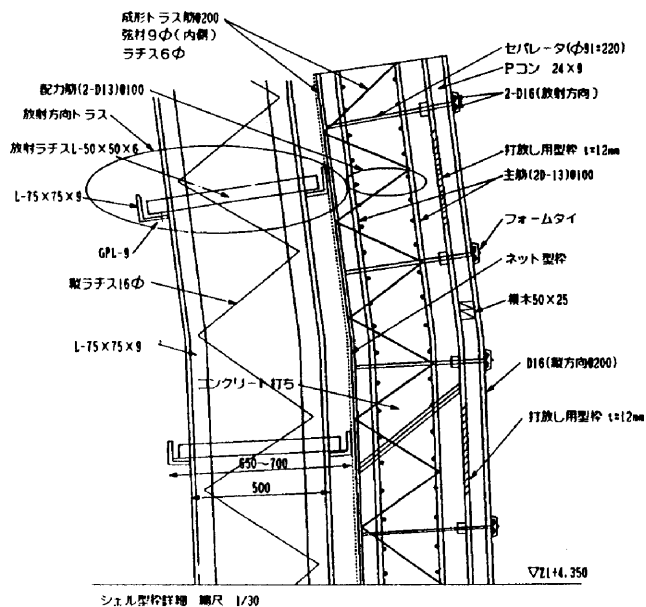


図-4 トラスウォール工法略断面

長期間のメンテナンスの対応。

⑤鉄筋・型枠・打設作業のための仮設計画

楕円球体の上半分を一日で打設する必要があるため、内外部での同時併行作業を可能にする足場組み。

⑥各断面における座標・寸法等の算出

各部位における空間座標値と墨出し方法。

5-3 工法の選定

前節における問題点に対応するために、現場サイドと本・支店各部の協力を仰いで種々検討の結果、形状保持性能、複雑な形状成形への適応性、部材部品のプレキャスト化、三次元CADの応用能力等の観点より、シェル部分にはトラスウォール工法およびネット型枠を採用することとした。

トラスウォール工法は、三次元CADにて形状を規定して成形したトラスをガイドとして鉄筋をセミプレファブユニット化し、それを現場にてジョイントおよび補強して組立て、ネット型枠を用いてコンクリートを打設する工法で、自由な造形が可能である。

当建物では、コンクリート打放し仕上げのため、ネット型枠は内面のみとし、外面は打放し用合板パネルを使用した。また、1回で打設するコンクリート数量が多い上、打設高さも高く、形状も多様なため、内部の仮設支保工はゲージ兼用として鉄骨ラチスを水平垂直ジョイント一つおきのピッチで組むようにした。そして、この仮設の鉄骨ラチスは、シェルから支持される舞台や空調の設備部品の支持アンカーとしても利用するようにした。図-4に、今回の工法の略断面を示す。

5-4 打放し仕上げ面に対する検討

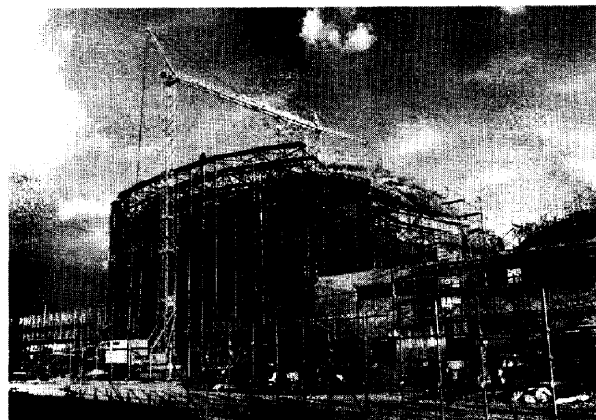


写真-2 外部足場全景

シェルの形状は多面体を持つ楕円球体であるため、垂直から水平までの角度を持つ面が存在し、当初より打放し面の仕上がり状態のバラつきが心配された。シェル内面のコンクリート廻り込みを確認するため、ネット型枠を採用したが、水平に近い傾きの面においては打上り状態の悪化が予想された。

そのため、事前に各種の水平角度を設定した面のコンクリートの試験打ちを行ったが、予想通り水平に近い角度では、あばた、気泡、余剰水の流下跡等の欠陥が多く見られた。そこで対応策として、コンクリートの圧入打設を検討し試験打ちを繰り返してみたが、鉄筋量が多いこともあって、コンクリートでは充填性が思わしくないため、高流動コンクリート（フローイングコンクリート）を採用することとした。このフローイングコンクリートは日本大学笠井教授が考案し、西松建設と混和剤メーカー他数社と共同で開発したものである。

5-5 仮設計画

内部側の仮設足場は、基本軸に平行に配置し、楕円球体とのギャップはハネ出し足場でカバーした。外部側の足場は、楕円球体を取り囲むように配置し、ハネ出し足場は、地上に打ち込んだH鋼からワイヤーロープにより控えをとりバランスを持たせた。(写真-2参照)

5-6 鉄筋・型枠工事

鉄筋工事は、トラス筋によりハーフプレキャスト化されて現場に搬入された鉄筋を、ゲージ兼用の支保工鉄骨ラチスをガイドとして所定の位置にセットし、ジョイント部で補強・緊結するようにした。鉄筋の組立ては搬入・ストック・揚重機の調整に重点を置くことで、合理的に進めることができた。

また、型枠工事においては、三次元CADによる寸法算出によって加工作業が合理化され、効率よく作業を進めることができた。

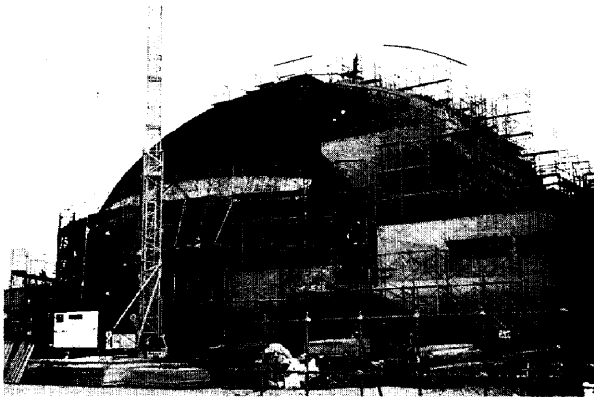


写真-3 鉄筋型枠作業状況



写真-4 コンクリート打設状況

表-1 コンクリートの調合

呼び名称	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
270-21-20	50.0	48.3	172	344	833	902
						混和剤
						6.19

写真-3に作業状況を示す。

5-7 コンクリート工事

コンクリートの打設は圧入工法で行うため高流動コンクリートを使用した。(写真-4 参照) 高流動コンクリートの基本調合を表-1に示す。

コンクリート打設に先立ち、10 t ロングブーム車2台および8 t 大型ブーム車1台を建物周囲の3ヶ所に配置し、内部で使用するコンクリート圧送管の配管および圧入器具は事前にセットしておいた。打設はポンプ車のホースを屋根頂部の打設口から内部の配管とつなぎ、1次打設として水平スリット状に開けたネット型枠のジョイント部よりコンクリートを投入した。上部まで打ち上がった段階で2次打設に移り、内部ネット型枠に設けた圧入器具にホースの筒先を接続し、圧入打設した。ただし最上部は外部から圧入により打設した。締固めには、外振型枠バイブレータや木づちを使用した。特殊形状の建物ということもあって段取り替えの作業に手間取り、実際の打設は計画通りの作業性が得られず長時間を要した。

5-8 打放し面の防水工事

今回のシェル打設においては、躯体のみで建物屋根の防水処理をするための打放し面の仕上がり状態が懸念された。

防水は、生コンに躯体防水剤を混入して打設し、コンクリート硬化後浸透性防水材を組み合わせた塗膜防水材を全面に塗布した。そして、さらに表面に薄く顔料を混入した耐候性コーティング材を塗り重ねた。

5-9 総括

RCシェル側完成時全景を写真-5に示す。RCシェ

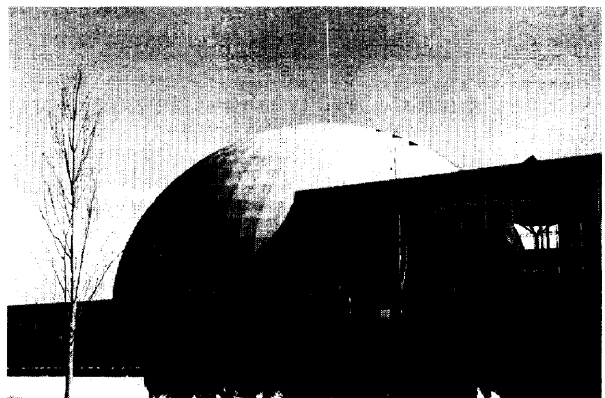


写真-5 RCシェル側完成時全景

ルの工事は、そのシェルの規模、形状の特異さ、内部に要求される機能の重大さより、当初より施工上の困難が予想され、特殊工事の多い当建物においても最大の難関とされた。いろいろな課題に対して、鉄筋、型枠、コンクリート打設、防水等で事前に検討を加え、思い切って新しい工法を採用するなどの努力をした結果目標とする“現場打コンクリート打放しによる多面の楕円球体”の構築に成功し、舞台部の天蓋としての機能を十分に果たすものとなった。

§ 6. アルミカーテンウォール

6-1 概要

アルミカーテンウォールは楕円球体した演劇ホール屋根の約半分の面積を占め、前述のRC躯体とガラス面の座標を合わせるようになっている。下地として基本の楕円球体と相似の鉄骨平面トラスが組まれ、その外側にアルミフレームとガラスのユニットが取付いている。1ユニットは約1.8 m角のものから全長3.6 mにおよぶ細長いものまで存在する。

隣接するホールロビー部とは、三日月形状のトップラ

イトやスチールカーテンウォールとEXP. Jを介して取合い、サッシ頂部や下部ではRCシェルの多面体をした躯体と面を連続させて取合っている。

当初の設計においては、ガラスカーテンウォールはガラスの押え枠を表面に出さず、構造シールによってのみガラスを固定する4辺SSG（ストラクチャシールグレージング）工法を採用し、ガラスの落下防止のためのアルミのツメが4周に廻り、ガラス側にもそれに合わせて面取カットする仕様となっていた。

6-2 問題点

施工上の問題点として、次の項目が上った。

①4辺SSG工法を採用した場合の安全性と保証

4辺SSG工法は国内では実例が少なく、採用された場合でも厳しい制約がある。今回のように規模が大きい公共建築では、解決すべき問題が多い。

②ガラスユニットの支持および取付方法

面の角度構成が多様であり、足元も悪い場所での取付作業となるので、シンプルで確実性が高い仕様が必要。

③止水・排水対策

各種の面の角度対応が幅広く、確実な止水方法と、浸入水、結露水の安全な排水方法。

④外力による変形に対する追従性

下地が剛性に乏しい構造で強風時地震時における変形が予想されたため、サッシ側で十分な追従性が得られるか。

⑤下地鉄骨との取合調整

ゲージとなるものが少なく、空中での構築となるので、下地鉄骨とのアジャスト機構をどうするか。

⑥各部特殊部のディテール検討

楕円球の多面体が任意に切断された形状で各部と取合うので、納まりをどう処理するか。

⑦特殊形態に対応した作業効率の良い仮設足場

楕円球体は完全な球体に比べて構成が複雑であり、しかもユニットガラスの施工に合わせた対応が可能な仮設足場が必要。

6-3 工法性能に関する協議

前節にあげたいくつかの問題点に対して、当現場ではアルミサッシ、ガラス両業界のメーカー各社が参加して検討提案のプレゼンテーションを行った。

その結果、最終的にサッシの基本条件として次の項目が設定された。

①4辺SSG工法は採用せず、ガラスの押え枠を4辺共つける。但し、押え枠は極力小さくする。

②アルミフレームとガラスによるユニット方式とする。

③変位は下地フレームと鉄骨ブラケットの間で吸収する。

④汚れ防止のため、外部側には不定形シールを施さない。

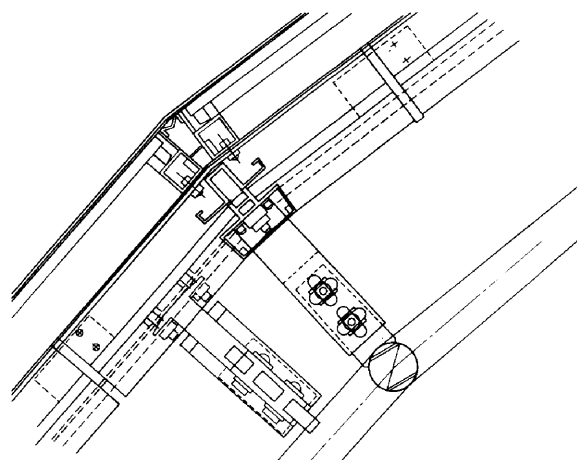


図-5 サッシ基本断面詳細

⑤特定メーカーの特許等に拘束される仕様は避ける。

6-4 サッシの基本断面

前節の基本方針決定後、意匠構造施工等の観点より検討が加えられ、図-5に示す基本断面が決定したが、決定までは10ヶ月近くの時間を要した。

改良点としては、①ガラス廻りはシリコンガスケットへ変更 ②ユニットの取付仕様の改善 ③ユニットジョイント部の止水方法 ④下地アルミフレームの樋形状変更 ⑤鉄骨ブラケットと下地アルミフレームとのジョイント仕様と位置改良 ⑥取付部の意匠上の調整（カバー等）であった。

なお、4辺SSG工法は採用していないが、ユニットの剛性確保のため、高モデュラスシールを採用することとした。

6-5 止水・排水対策

ガラス廻りの止水は、枠の見付幅と厚みを極力小さくし、ウェザーシールによる汚れを防ぐため、定形シリコンガスケットを使用した。ガスケットの若干の浸入水が想定されるが、その浸入水も枠の端部の水抜穴よりユニット間の排水経路に排水するように処理した。

ユニット間の止水は、二重の定形ガスケットによる止水バリアを用意し、3つ目のガスケットを最終バリアとした。また、このガスケットは排水のための樋としても使用し、浸入水をサッシ最下部まで導く役目を果し、外部へ排水するようにした。ガスケットのジョイント部は、十字形の役物をシール接着することで対応した。

結露水については、方立・無目に受樋の役目を任せ、やはり最下部で外部に排水するようにした。

6-6 特殊部のディテール

ホールロビーのジョイント部においては、挙動が異なる棟の接点であるため、幅60mmのエキスパンションジョ

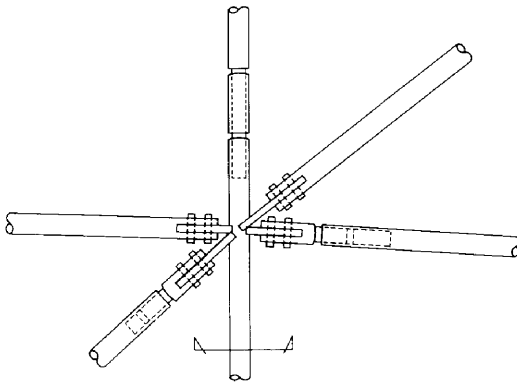


図-6 下地鉄骨組立詳細

イントを設けているが、楕円球の多面体に矩形のものが貫入する形状となり、面相互の角度が複雑に変化する。そこで現実には三次元CADを利用して変位を求め、アジャスト幅を大きめに設定することで対応した。

収束部においては、幅のあるものを1点に収束させることになるので、3つの台形の平面を1つの平面に接続させることにより処理したが、面のズレはシーリング幅にて吸収させた。また、先端部の納め方も部材を一点に

6-7 下地鉄骨およびブラケット取合い

集中させることは難しく、多角形の平面にて終端とした。

下地鉄骨は、 $\phi 50\text{cm}$ のスチールロッドで組まれ、斜材の補強が入った楕円球体形状の平面トラスである。

鉄骨のロッド心は、サッシのガラス外面より350中へ入った位置であり、ロッドで作るフレームは全体では基準の楕円球体と相似の形状を造る。

サッシの部材と接合するブラケットの形式は、原設計においては接点が固定され、アジャスト機能が不充分であったが、改良を加え三次元のアジャストが可能な機構に変更し、そのアジャスト幅を $\pm 10\text{mm}$ に設定した。

鉛直方向の主材はアール形状のねじ込みジョイントで結合される。横材・斜材は工場主材に溶接されたフラットバーに2本のピンで結合し、その隙間を点溶接で固定した。

6-8 試作・試験

計画のサッシの施工性および性能を確かめるために試作体検査、性能実験を行った。

(1) 試作体検査

9ユニット分の鉄骨下地を含んだ試作体を組立て、①目視検査 ②膜厚検査 ③寸法検査 ④水密性および排水経路 ⑤変位追従性 ⑥施工性についての検査確認を行った。その結果、性能および耐久性においては問題なかったが、意匠性、施工性の観点より鉄骨仕上加工方法ユニットフレーム取付金具の改善提案がなされた。

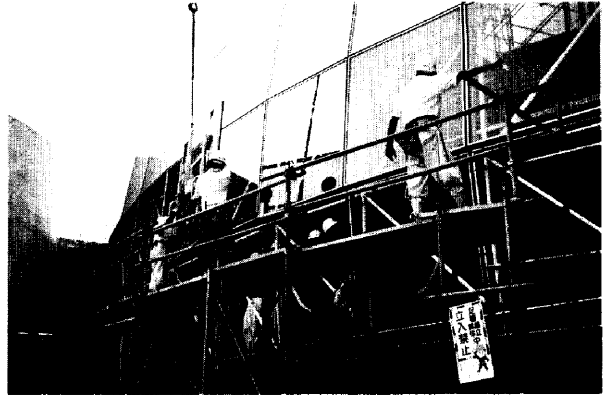


写真-6 ガラスユニット取付状況

(2) 性能実験

実物の90%大の供試体4ユニットを製作し、水密性実験と層間変位追従性実験を行った。その結果、性能的には規定を十分満足するものが得られていることが確認できた。特に層間変位実験においては、1/100の変位にまでも対応できることが判明した。

6-9 製作・搬入・取付計画

ユニットの寸法許容差としては、対角寸法差3mm以内、目標値2mm以内とし、下地鉄骨の誤差を10mm以内に設定した。

6-10 仮設計画

仮設足場は、全体の形状が楕円球体であるので、先に構築された楕円錐の躯体の上に楕円球体の外形に沿って階段状に組立て、外部側に作業床を設けるよう計画した。また、外部側の作業床の横つなぎは、下地鉄骨およびサッシの方立無目の組立の支障とならぬよう配置し、ユニットの取付作業に合わせて先行しながら解体するようにした。

6-11 組立・取付工事

(1) 下地鉄骨建方

当初は、地上で地組をしたものをクレーンで吊り上げセットする計画であったが、部材のメンバーが大変細く自重によって変形してしまうため、地組をせずに単品ごとに吊り上げ、空中で組んでいく方法をとった。しかし、空中での主材のねじ込み作業は難しさがかなり大変苦労を要した。

(2) サッシ方立・無目取付

中央部より左右に振分けて取付を進めたが、ファスナー取付角度の誤差による方立の取付精度への影響が予想外に大きく現れた。

(3) ユニット取付

揚重用吸盤にて吊下げたガラスを中央の頂部から下方へ、次に右左2スパンずつ進めて取付けていった。作業

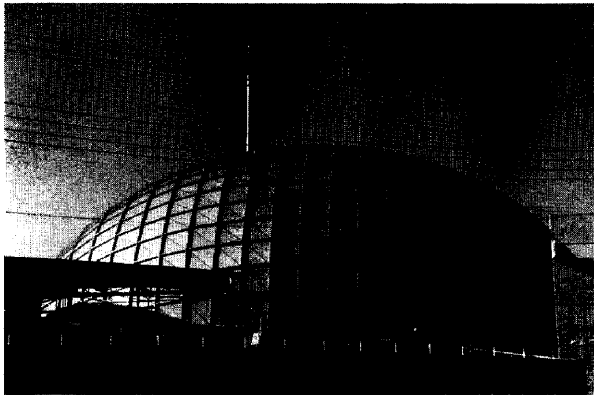


写真-7 工事完了時全景

効率を高めるため、ユニット固定用のワッシャーやナットは両面テープで仮付けしたうえで固定していったが。作業状況を写真-6に示す。

6-12 総括

カーテンウォール側完成時全景を写真-7に示す。楕円球体のドーム状アルミカーテンウォールということで、今までに前例のない工事であったため、当初より予期せぬ難題が続出し、現場での取付作業が進んでいる段階でもまだいくつかの検討事項が残されているという状況が繰返された。形状の予測も三次元では容易に推定し難く、カーテンウォールを組立ててみて初めて対応策が明確になるというケースも多かった。

また、止水排水においても実験を含めた予想の性能通りのものが得られ、基本機構の選択の妥当性が検証された形となった。

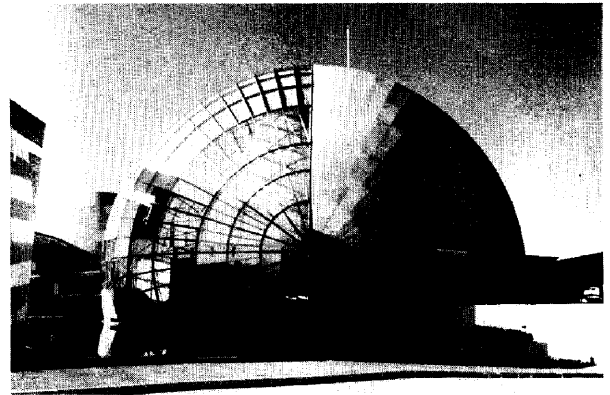


写真-8 RCシェルとカーテンウォールを眺める

§ 7. おわりに

当初より難工事が予想された当工事（写真-8参照）も、平成6年10月31日に、無事引き渡しを終えることができた。着工時においては、外観上他に例を見ない特殊な形態をした建物であり、これから工事に取り組むという不安感と高揚感とを覚えたものであったが、このような高い目標に無事到達できたことは所員全員が一丸となって難問難題に取り組んだ成果の賜物であると思っている。今後は今回採用した新技術、新工法に取り組んで得たものをさらに発展させるべく努めていきたい。

最後に、今回の施工に当り、御協力、御指導頂きました建築部、技術部、建築設計部、技術研究所など関係各位および資料提供頂いた方々には深く感謝の意を表する次第です。