

森になる建築

～生分解性樹脂を構造材として利用した大型3Dプリント仮設建築～

Foreste Architecture

～Large-scale 3D printed temporary building using biodegradable resin as a structural material～

濱田 明俊*1、増田 寛之*2、内山 元希*3、渋谷 朋典*4、杉本 涼太郎*5

1. はじめに

本建物は、大阪・関西万博（以下、万博）会場内に設置される休憩所を建設するプロジェクトである（写真-1）。生分解性[※]を有する酢酸セルロース樹脂を用いた、地球環境に配慮した建築物であり、単一素材の生分解性樹脂による世界最大の建築物としてギネス世界記録に認定されている。建設に際し、3Dプリンターによる大型一体造形に挑戦し、この度万博会場内に構築するまでの過程について、ここに報告する。なお、本建物は万博会期中にのみ利用する仮設建築物として、下記項目について構造安全審査を受審し、建築確認を受けている。

- ・酢酸セルロース樹脂の基準強度等の設定について
- ・3Dプリントの施工条件による影響について
- ・使用期間を考慮した外力の設定について¹⁾

※）生分解性・・・微生物の働きにより、分子レベルまで分解し、最終的には二酸化炭素と水となって自然界へと循環していく性質



写真：増田好郎

写真-1 建物外観

2. 建築コンセプト

万博の会期は半年間と短く、建築物の安易なスクラップ&ビルドが莫大な廃棄物を生んでいることへの問題意識から、会期後も踏まえた本建物の建築としての寿命をデザインすることが重要であると考えた。そこで、パビリオンが種となり、万博会場に森をつくるリジェネラティブな「森になる建築」を構想した。図-1に森になる建築の概念図を示す。生分解性材料でできた建築物に、植物の種をすき込んだ和紙（Seeds Paper）を貼り付け、水やり等人の手が介入することによって、その種が芽吹き、成長する。月日が経つと、建物はバクテリアによって分解され、成長した植物により倒壊し、やがて森になる建築である。

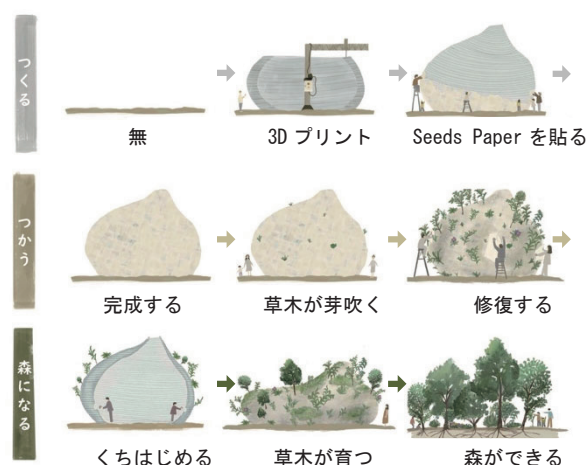


図-1 森になる建築の概念図「建築の九相図」

*1 HAMADA Akitoshi : (株) 竹中工務店大阪本店設計部
*2 MASUDA Hiroyuki : (株) 竹中工務店大阪本店設計部
*3 UCHIYAMA Motoki : (株) 竹中工務店大阪本店設計部
*4 SHIBUTANI Tomonori : (株) 竹中工務店広島支店設計部
*5 SUGIMOTO Ryotaro : (株) 竹中工務店大阪本店設計部

3. 建築計画概要

表-1に建築概要を、図-2、図-3に建物配置図及び断面図を示す。本建物は直径4.65m、高さ2.95mの半球状の建物であり、天井には直径約1.3mの穴のあいた形状を有している(写真-2)。外装材は構造材が兼ねており、表面には和紙職人や福祉作業所で作られた和紙に加え、紙すきイベントにより子どもたちが作った種入りの手すきの紙を貼っている。また、植物の種が育つ基盤として壁内部に土を設け、灌水設備により土の中に水を与えている。内部土間は三和土とし、酢酸セルロース樹脂で作成したベンチを外壁際に設置している。

また、万博の会期中に夏を迎えることから、酢酸セルロース樹脂で作られたダクトを用いたクールチューブやベンチ内に設けた氷室(氷は毎朝取替える)により、休憩所としての機能を維持するための工夫が施されている。

4. 構造計画概要

4.1 上部構造

上部構造の構造体形状俯瞰図を図-4に示す。構造材には生分解性を有する樹脂の一種である酢酸セルロース

表-1 建築概要

所在地	大阪市此花区夢洲内、大阪・関西万博会場
用途	休憩所(仮設)
建築面積	31.29㎡(2棟の合計)
延床面積	31.29㎡(2棟の合計)
最高高さ	2.95 m
階数	地上1階
構造種別	酢酸セルロース造(耐震構造)
工期	2024.8~2025.4(プリント:2024.8~10)
設計・施工	(株)竹中工務店

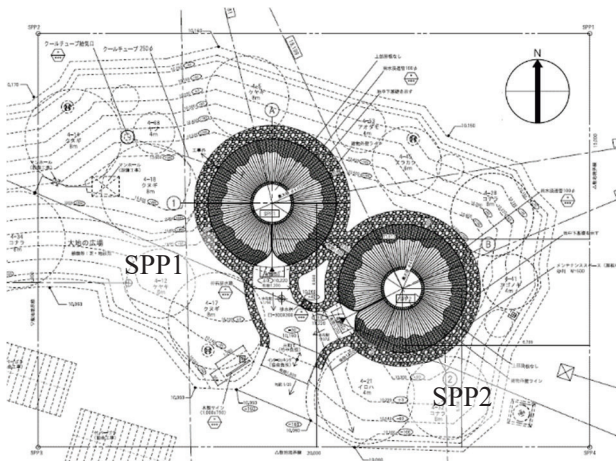


図-2 建物配置図

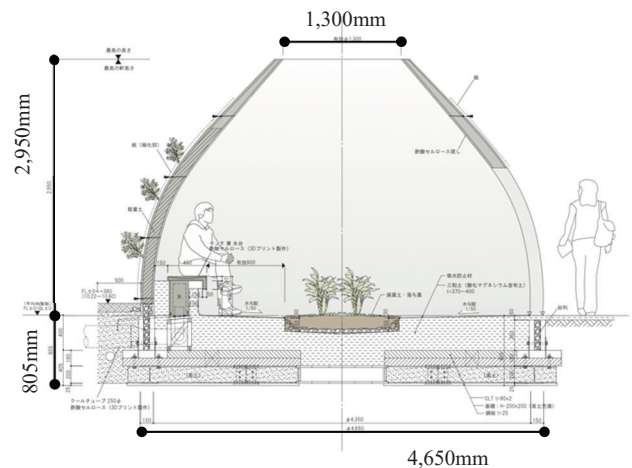


図-3 断面図

樹脂を採用し、熱融解による大型3Dプリンターによる一体造形(一筆書きにより頂部まで造形を行う)できる断面とすることで接合部のない構造を実現している。

酢酸セルロース樹脂は生分解性プラスチックに分類され、基本的にはプラスチック(合成樹脂)と同様の性質を有している。引張強度が比較的小さく、脆性的な破壊挙動を示すことから、荷重分散効果が高く、少ない体積で効率よく荷重を負担することが可能なシェル構造を採用した。一方、当樹脂はペレット状の材料を一度高温にしてゴム状となって出力された後、常温まで冷やされることで固まる際に熱収縮を起こすため、建物形状が全体に小さくなるような変形を生じてしまう。そのため、壁の面外方向にも剛性が必要であったことから、壁厚を大きくして円周方向にトラス状となる断面の壁(最下層の壁厚は約180mm)とした(写真-3)。大型造形の場合、後述の通り熱収縮による内部応力は無視できないほど大きいので、一定間隔で一体造形を中断して目地を設けることで内部応力を解放し、熱収縮の影響を緩和している。また、半球上の構造物を造形した後に、グラインダーを用いた切削によって開口部を設けている。

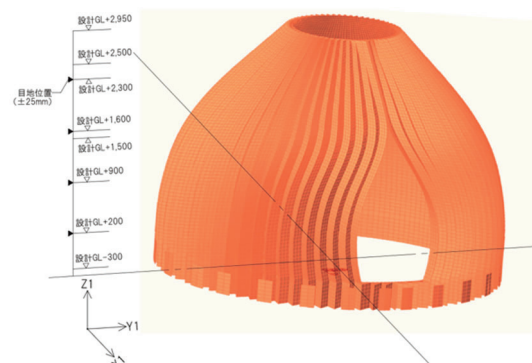


図-4 上部構造の構造体形状俯瞰図



写真-2 内部空間

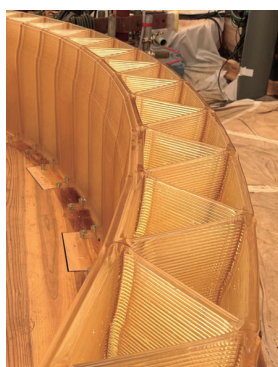


写真-3 構造壁の断面形状

4.2 基礎構造

基礎は、ロボットアーム稼働時の反力を受けること、万博会期後に自社の保有林に移設することを想定し、万博リングの仮設材をリユースしたH形鋼 (H-200×200) による直接基礎とした。3Dプリンターのベッド面となる部分にはCLTを採用した。上部躯体と基礎とはアングルを介して普通ボルトで接合しており、上部躯体とアングルは貫通ボルトにより固定している (図-5)。上部躯体と貫通ボルトとの接触面には局所的な応力が作用することから、上部躯体側の壁には30mmの増厚を行っている (写真-4)。また、風荷重時や地震時に生じる引抜力に抵抗するため、CLT板の上に厚さ400mmの土をカウンターウェイトとして設けた。

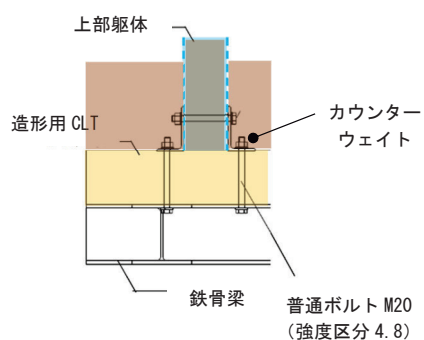


図-5 基礎の詳細

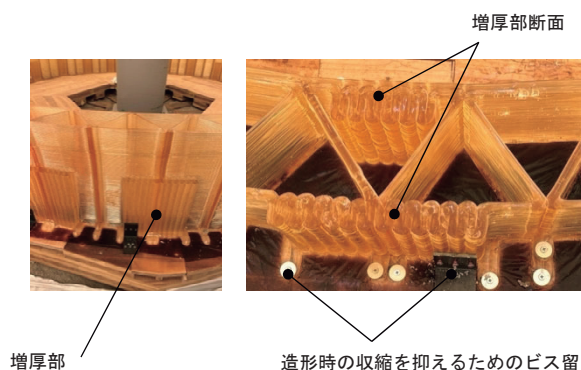


写真-4 基礎増厚部

5. 技術的な課題

5.1 材料の選定

コンセプトの実現に必要な生分解性材料の選定は、万博での実装化を目指すにあたって重要な課題であった。材料選定にあたって建築設計から求められた条件を下記に示す。

- ・植物由来の生分解性を有する
- ・光透過性を有する
- ・構造体として採用可能な剛性、強度を有する
- ・大型3Dプリント造形への適性を有する

材料の候補は一般に販売されているものや、開発中のものなどいくつかあったが、今回は市販のもので、かつ、当時ベンチ程度の3Dプリント造形に成功していた酢酸セルロース樹脂を採用した。

図-6に酢酸セルロースの分子構造を示す。酢酸セルロース樹脂は、主に木材や綿花などから抽出された非可食性植物由来のセルロースを原料とし、その水酸基を酢酸で化学修飾 (エステル化) することで得られるバイオマス素材である。海水は土壌やコンポスト (堆肥) に比べて微生物が少なく、温度が上がりにくいなどの理由で、プラスチックの生分解は進みにくいとされるが、その中で酢酸セルロースは海水中においても生分解性が比較的高いとされている。

酢酸セルロース樹脂を3Dプリンターに活用する際には、樹脂の柔軟性を高め、加工を容易にするために微量の可塑剤を添加する必要がある。今回採用した3Dプリンター用の材料である酢酸セルロース樹脂フィラメント (写真-5) では、可塑剤も生分解性のあるものを使用している。

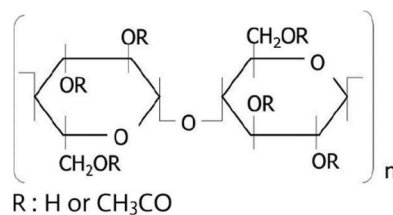


図-6 酢酸セルロースの分子構造



写真-5 酢酸セルロース樹脂フィラメント

今回採用した酢酸セルロース樹脂の基本特性を表-2に示す。材料選定にあたっては、材料の強度だけでなく、弾性係数（応力－歪関係）や温度依存性、耐候性、クリープ特性、吸湿性など様々な観点から判断した。とりわけ、酢酸セルロース樹脂は生分解性プラスチックの中でも耐衝撃性に優れ、ノッチ感度が低い（わずかな形状不連続点や傷から破壊しにくい）点も選定における重要なポイントであった。

表-2 酢酸セルロース樹脂の基本特性（代表値）

特性	値	試験方法・条件
引張強さ	: 42 MPa	ISO527
曲げ強さ	: 49 MPa	ISO178
曲げ弾性率	: 2,100 MPa	ISO178
密度	: 1.27 g/cm ³	ISO1183
ガラス転移温度	: 160～180℃	
線膨張係数	: 150ppm/K	
出荷時含水率	: 2,000ppm以下	

※上記物性値はドライ状態において射出成形した試験結果

5.2 大型造形のための3Dプリンター方式の選定

3Dプリンターの造形方式には光造形や粉末焼結等、様々な方法がある中で、前節で述べた材料に適したプリンター方式として熱溶解積層方式を採用した。また、プリンターシステムは、初期導入のしやすさや開発初期段階には決まっていなかった建物サイズに対する可変性などを総合的に判断し、ロボットアーム式を選択した。写真-6に当社技術研究所に導入した大型造形用3Dプリンターを示す。本3Dプリンターは6軸のロボットアームと温度調整コントロールが付いたスクリーン径30mmの押出ヘッドで構成されている。技術開発期間を十分に確保できなかったため、部材間にジョイントを設けない構造形式を可能とする3Dプリンターによる一体造形は、プロジェクトの実現に向けて必要不可欠な施工方法であった。

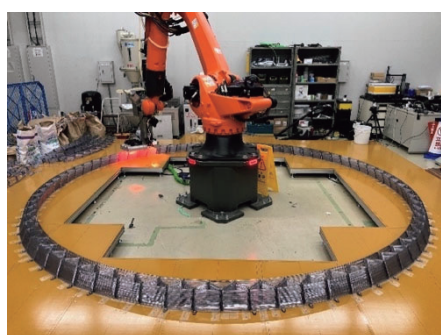


写真-6 技術研究所に導入した3Dプリンター

5.3 大型3Dプリント出力に関する検討

テストプリントを重ねていく中で、様々な課題が明らかとなった。以下に課題と対策について述べる。

①プリント時の樹脂温度および材料管理

酢酸セルロースはガラス転移温度が約180℃と他の汎用樹脂よりも高く、吸湿性のある材料である。本材料のプリント条件においては温度が高すぎる場合や保管条件が悪い場合、加温時点で吐出物が発泡することや内部で焦げ付くことによる吐出不良が確認できた。また、温度が低すぎる場合も粘度が高すぎて同じく吐出状況が悪化するため、非常にシビアな温度設定が求められた。

②層間結着力の確保

積層時に下層の温度が低下してしまうと層間結着力が小さくなり、構造体としての引張強度を満足しない事が明らかになった。そこで、構造体として必要な引張強度を有するための下面温度と下面温度の時間的変化を実験的に確認し、(ハロゲン)ヒーターを用いて、積層前に下面温度をヒートアップする事で、層間結着強度を高める方法を採用した（写真-7）。

③冷却時の材料収縮

プリントされた樹脂は、常温までの温度低下の過程で熱収縮が生じる。特に出力高さが高くなると熱収縮による平面位置のずれ量が大きくなっていくため、印刷を長時間停止すると、積層面がずれ、予定位置にプリントできなくなることが明らかになった。そのため、なるべく連続してプリントを続けることを前提とした24時間稼働する計画とした。ただし、不純物混入によるパスの品質低下の防止のため、計画的に停止、清掃を行うこととした。

④内部応力の解放

熱収縮により、積層するほどに内部応力が蓄積し、ある程度の高さになると内部応力が材料強度を上回ることで、円周方向に水平に割れが生じる現象が確認された。そこで、前項③の収縮も考慮の上、鉛直方向高さ700mm



写真-7 ハロゲンヒーターによる予熱

ピッチごとに円周方向に目地を設けることで、目地部の変形により内部応力を解放し、意図しない破壊を防ぐ計画とした。

⑤傾斜部の造形

傾斜部は階段状に積層することになる。ある程度の角度を超えると、プリント直後の樹脂が下層に支持されずに重力により沈み込んで想定した造形形状を保つことが困難となる。そこで、造形可能な角度を実験的に確認するとともに、最外層にある外壁面は非構造体とすることで、部分的に重力による沈み込みを許容する計画とした。

上述①～⑤の課題解決を行うことで、2024年4月末に実大モックアップの出力に成功し、2024年5月上旬に審査を予定していた構造安全審査前に、担当委員の先生方に実物を確認していただくことができた(写真-8)。



写真-8 実大モックアップの視察状況

5.4 基準強度F値の設定

3Dプリントされた材料は表面に層ごとの凹凸が生じる。この凹凸形状に由来する断面欠損または応力集中等の影響を受けることで強度が低下することから、3Dプリント材の積層方向の引張強度をもとにF値を設定した。

本材料のF値を設定するにあたっては、「CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル」²⁾に示される完全弾塑性モデルへの置換方法に準じて平均降伏応力度 σ_y を算出し、 σ_y に対して、「木質構造設計規準・同解説」³⁾を参考に、75%信頼区間に対する5%下限値を基準強度Fとすることとした。完全弾塑性モデルへの置換結果の一例を図-7に示す。なお、用いた引張強度は実大のモックアップから切り出した試験片によるものであり、試験体数は17体である。断面積の評価に当たっては、凹凸を有する断面であることから、凹部の断面積とした。

検討の結果、本材料の基準強度F値は8.31MPaを採用した。この数値は、今回想定した出力速度や温度環境といった施工条件下における引張強度である。

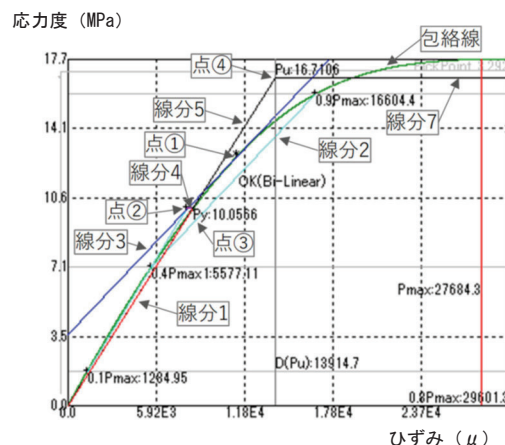


図-7 完全弾塑性モデルへの置換結果の一例

6. 構造設計上の工夫

6.1 材料特性に応じた構造計画の立案

4.1節でも述べたように酢酸セルロース樹脂はプラスチックに似た特性を有し、建築構造材料として使用された実績がないことから、個々の性質を把握するための材料試験を実施した。一例として、図-8に引張強度試験を、図-9に温度ごとの引張試験結果を示す。平時の室温23℃に対し60℃まで上昇すると最大引張応力度は43%、ヤング係数は27%低下することが確認できる。また、図-10に含水率別強度試験結果を示す。試験片は、屋外にて風雨、日照下で約4ヶ月間(2023.12～2024.4)暴露した大型試験体から切り出した。切り出した状態を「気中」試験片とし、他の試験片についてはそこから更に含水させた。

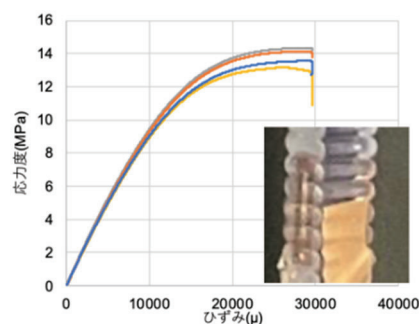


図-8 実機から採取した試験体の引張試験結果の一例

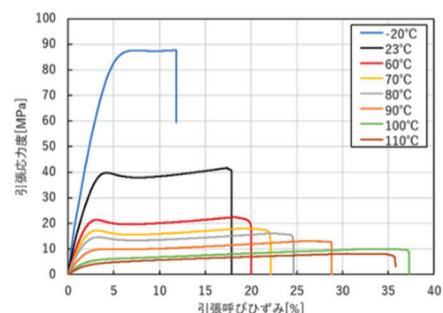


図-9 温度ごとの引張試験結果（射出成形による試験片）

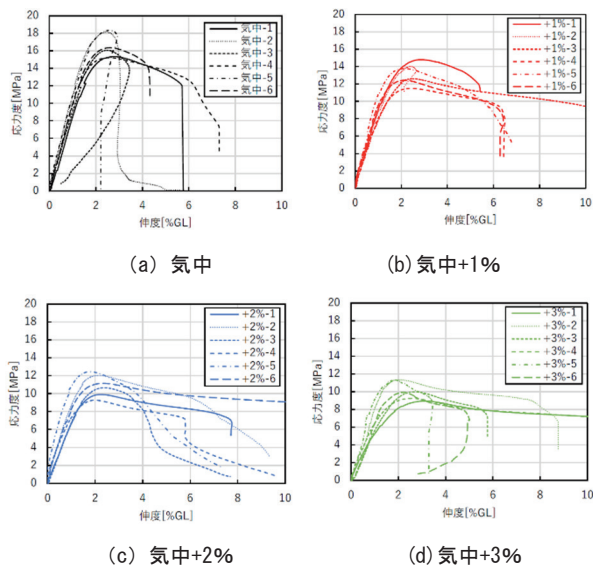


図-10 含水率別強度試験結果

得られた試験結果をもとに表-3に示す材料特性に応じた構造計画・設計方針とした。とりわけ、温度および含水による強度・剛性への影響が大きいため、表-4に示す低減係数 α を用いて部位ごとに、基準強度 F 値をもとにした下式により部材の許容引張応力度 σ 、許容せん断応力度 τ を設定した。

$$\sigma_{ai} = \alpha \times \phi_i \times F \quad \text{..... (1)}$$

$$\tau_{ai} = \alpha \times \phi_i \times F / \sqrt{3} \quad \text{..... (2)}$$

ここで、 $\phi_L = 1/3$ ($i=L$: 長期荷重用)

$\phi_m = 1.6/3$ ($i=m$: 中期荷重用)

$\phi_S = 2/3$ ($i=S$: 短期荷重用)

表-3 材料特性と設計方針

材料特性		設計方針
PVT 特性	冷却時に体積減少	トラス形状の断面 残留応力を考慮
温度依存性	高温時に剛性・ 耐力が減少	温度荷重の設定 高温時に剛性・耐力を低減
吸水性	湿潤時に剛性・ 耐力が減少	湿潤範囲を実験により確認 湿潤部の剛性・耐力を低減
耐候性	紫外線による劣化	2年間では強度低下無し 耐候層設定：外皮は非構造体
耐クリープ性	小さい	部材の応力度を抑えるため、 シェル構造を採用
生分解性	部材断面が減少	6ヶ月間では変化が無いこと を確認し、部材断面低減なし
破壊性状	脆性的	弾性設計
規格降伏点	なし	木質構造を参考に設定
層間結着強度	下部温度が低いと 強度が低下	下層を温めるヒーターの設置 出力速度を最適化し、層間結 着強度の低減なし

表-4 温度および含水による強度・剛性低減係数

(a) 常時土に接する部位

温度	低減係数 α			適用部位
	温度依存[a]	含水起因[b]	[a]×[b]	
25℃	0.98	0.60	0.588	・地下内外壁 (非構造体含) ・地上トラス
30℃	0.91	0.60	0.546	・地上外壁 (非構造体) ・地上トラス
35℃	0.85	0.60	0.510	
40℃	0.79	0.60	0.474	
45℃	0.73	0.60	0.438	
50℃	0.66	0.60	0.396	

(b) 常時土に接しない部分

温度	低減係数 α			適用部位
	温度依存[a]	含水起因[b]	[a]×[b]	
25℃	0.98	0.80	0.784	・地上内壁 (非構造体含)
30℃	0.91	0.80	0.728	
35℃	0.85	0.80	0.680	
40℃	0.79	0.80	0.632	

※内壁は灌水による温度制御を行うため、40℃までの設定とする

6.2 3Dプリント造形に応じた構造計画の立案

3Dプリンター樹脂造形は、一筆書きによる形状とする必要がある上、出力時の200℃近い温度から常温まで冷やされることにより、内側に熱収縮（体積減少）する性質を有している。そのため、壁の面外方向にも十分な剛性が必要であったことから、壁厚の内部にトラス形状の壁を設ける計画とした。図-11に断面計画図を示す。

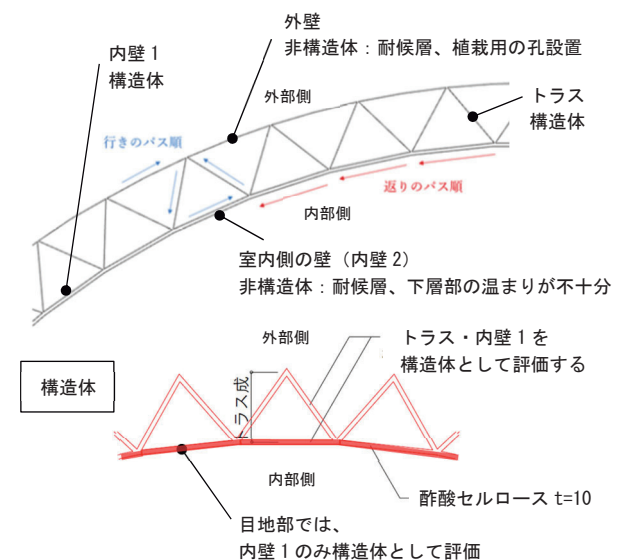
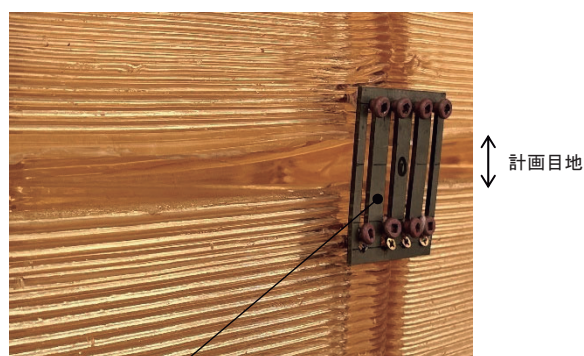


図-11 構造断面計画

前述した通り、大型造形における熱収縮の影響を緩和するために、鉛直方向高さ700mmピッチごとに円周方向に目地を設けており、目地部では図-11に示す「内壁1」のみを構造体として評価する構造計画としている。計画目地部における割れが「内壁1」まで進展することを防ぐために、写真-9に示す割れ制御金物（仮設材）を設け、目地幅が一定値以上にならない施工計画を採用した。



内壁1まで割れが進展しないよう、
割れ幅を制御するための金物（仮設材）

写真-9 計画目地

6.3 荷重設定と構造目標性能

本建物は先に述べたように温度による影響が大きいことから通常の建物で設定する風荷重、地震荷重に加えて、温度荷重を「木質構造設計規準・同解説」に示される中期荷重として設定した。

温度荷重の作用荷重図を図-12に示す。地上部の南面半分は50℃で設定し、南面→北面、GL±0→GL+500mmへと段階的に温度を5℃刻みで下げて温度荷重を作用させている。地中に埋まる基礎部分は一律25℃で設定している。

本建物における荷重の組み合わせケースを表-5に示す。開口位置、温度荷重分布がそれぞれ異なることから2棟ごとに荷重を設定する必要があり、2棟それぞれに対して、建物中心から開口側を+X方向とし、X軸に対して

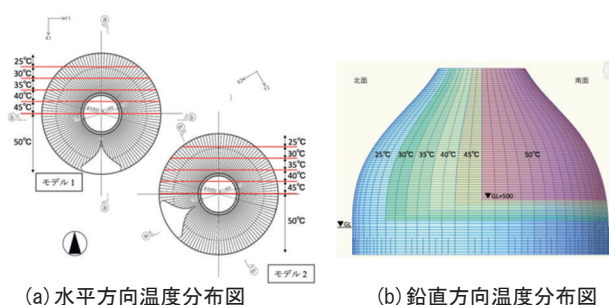


図-12 温度荷重の設定

時計回りに+45°、+90°（+Y方向）、+135°を荷重軸として設定した。なお、鉛直方向をZ方向と定義している。

表-6に構造目標性能を示す。表以外には、台風等によって設計荷重を超える風荷重に対しては、設計基準風速42.5 m/s時に許容引抜き耐力以下であることとした。

表-5 荷重の組み合わせ

No	荷重	荷重の組み合わせ		
1	長期	固定+土圧	-	-
2	中期	固定+土圧	温度	-
3~6	短期L1	固定+土圧	温度	地震 X, Y, 45°, 135°
7~10	短期L1	固定+土圧	温度	風 X, Y, 45°, 135°
11~14	短期L2	固定+土圧	温度	地震 X, Y, 45°, 135°
15~18	短期L2	固定+土圧	温度	風 X, Y, 45°, 135°

地震荷重¹⁾ L1 : $C_0=0.12$, L2 : $C_0=0.60$ 風荷重¹⁾ L1 : $V_s=26\text{m/s}$, L2 : $V_s=31\text{m/s}$

表-6 構造目標性能

荷重ケースNo			1	2	3~10	11~18
目 標 性 能	壁	部材応力	長期許容 応力以下	中期許容 応力以下	短期許容 応力以下	
		層間 変形角	-	-	1/200 以下	1/100 以下
	基礎梁	部材応力	長期許容応力以下		短期許容応力以下	
	基礎	部材応力	長期許容応力以下		短期許容応力以下	
		支持力	長期許容支持力以下		短期許容支持力以下	

6.4 構造解析

解析プログラムには有限要素法汎用構造解析プログラムを用い、基礎との緊結部より上部をモデル化している。解析モデル図を図-13に示す。内壁、トラス、外壁をシェル要素でモデル化しており、1要素あたり50mm角程度の大きさとなるよう分割している。

6.2節に示す通り、構造耐力上評価するのは内壁1とトラス部であるため、外壁は剛性を1/1,000倍にしてモデル化している。また、目地をモデル化するにあたって、目地位置におけるトラスの剛性も1/1,000倍にしている。

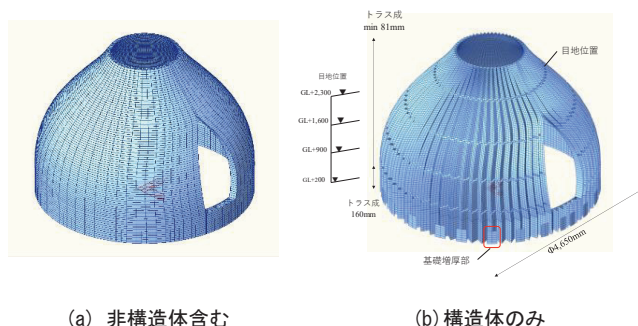


図-13 解析モデル

解析モデル上は厚み10mmとしており、実際の出力上の凹凸はモデル化していないが、凹凸部の重量を考慮して比重を1.1倍とした。

基礎支点位置を増厚しており、増厚部の厚さは30mm、高さは300mmとしている。基礎増厚部のモデル詳細図を図-14に示す。また、図-15にモデルの支点位置を示す。支持条件はピン支持とし、内壁側・外壁側のそれぞれ25支点ずつ計50支点を設定した。

レベル2地震時および風荷重時に許容応力度設計とするため全部材弾性とする線形解析とし、材料のヤング係数は $1,000 \text{ N/mm}^2$ とした。なお、温度荷重に対する検討については、応力算定時には剛性低下を考慮せず、変形算出時には剛性を低下させたモデルにより検討を行った。

荷重入力条件を表-7に示す。

断面検定用応力は各シェル要素におけるミーゼス応力の有効応力度 σ_v とし、下式によって算出する。算出式中の応力を図-16に示す。

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{xx}^2 - \sigma_{xx}\sigma_{yy} + \sigma_{yy}^2 + 3\sigma_{xy}^2} \dots\dots\dots (3)$$

局所的な応力が生じている箇所については、周囲の応力状況を鑑み、要素座標系のX方向・Y方向の主応力を平均化した応力度によるミーゼス応力が許容応力度以下であることを確認することとした。なお、面外せん断力については、別途検討を行っている。

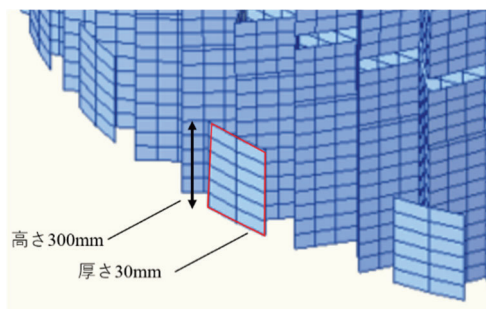


図-14 基礎増厚部詳細図

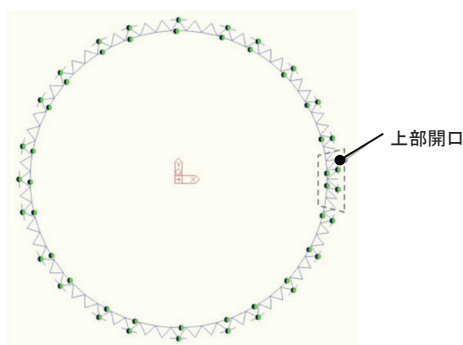


図-15 モデル支点位置図

表-7 荷重入力条件

長期荷重	・自重を1Gの物体力として鉛直下向きに作用 ・仕上荷重を面荷重として鉛直下向きに作用
土圧荷重	・壁内の土および地中の土について、それぞれ面荷重として要素の法線方向に作用
風荷重	・面荷重として要素の法線方向に作用
地震荷重	・各節点に集中荷重として水平方向に作用
温度荷重	・図-12に示す荷重分布を想定

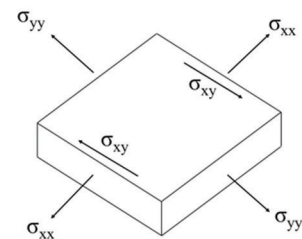
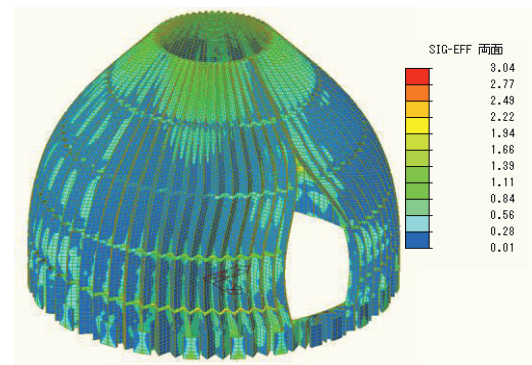
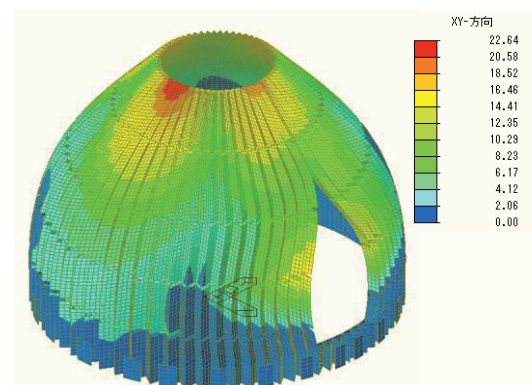


図-16 シェル要素の応力図

図-17に解析結果の一例を示す。荷重ケースNo.15は表-5に示す通りレベル2風荷重時（Y方向加力）である。最大応力度は内壁のみ有効としている目地部となっている。



(a) ミーゼス応力度図（単位：N/mm²）



(b) 変形図（単位：mm）

図-17 解析結果（荷重ケースNo.15）

7. 大型3Dプリンター施工

7.1 現地施工

現地での3Dプリンター施工を実施した。3Dプリンターは風雨や温度による影響を受けやすいため、仮設テントによる素屋根を設けている。写真-10に施工状況写真を示す。また、本工事における3Dプリンターの標準施工フローを図-18に示す。出力に要した時間は1棟あたり24時間稼働で3週間であった（ヘッド部の清掃等による計画停止時間を含む）。

7.2 実大加力試験

出力後の造形物に対して、実大加力試験を実施し、所定の耐力を有していることを確認した（写真-11）。図-19に得られた水平荷重-頂部水平変位関係を示す。水平荷重は加力するワイヤーに取り付けたロードセルにより計測し、頂部水平変位は4頂点の平均値をもとに算定した。おおむね弾性的な挙動を示しているほか、試験中においても躯体の損傷等は観察されなかった。



写真-10 大型3Dプリンターによる施工状況



写真-11 出力後の実大加力試験状況

8. おわりに

大型3Dプリンター造形による酢酸セルロース樹脂建築という、これまでに前例のない挑戦は、技術開発から設計、施工者を含め、多くの関係者の熱意と努力によって、万博に実装することができた。今後は、万博閉幕後に当社保有地に移設し、「森になる建築」が森に還っていく過程を継続して観察する予定である。大阪・関西万博という世界から注目を集める場で広く社会に周知し、リジェネラティブ建築について考える契機となることを期待したい。

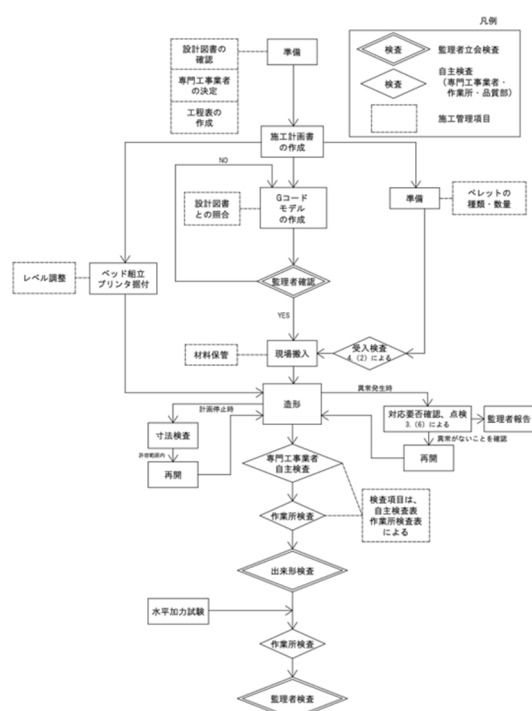


図-18 3Dプリンター標準施工フロー

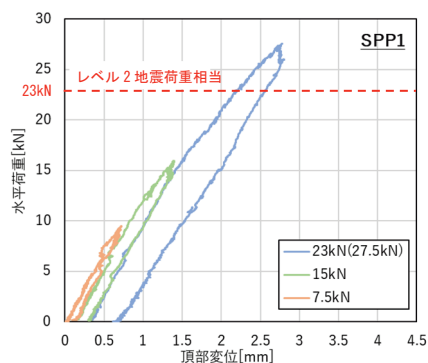


図-19 水平荷重-頂部水平変位関係

【謝辞】

本稿で紹介した酢酸セルロース樹脂は株式会社ダイセルの CAFBLO®Pellet を採用し、材料試験の開示や材料提供等多数の協力を得た。ここに記し、感謝の意を表する。

【参考文献】

- 1) GBRC：2025大阪・関西万博 期限付き建築物の設計荷重について（改訂），2022.9.20.
- 2)（公財）日本住宅・木材技術センター：CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル，2021.
- 3)（一社）日本建築学会：木質構造設計規準・同解説，2006.

【執筆者】



*1 濱田 明俊
(HAMADA Akitoshi)



*2 増田 寛之
(MASUDA Hiroyuki)



*3 内山 元希
(UCHIYAMA Motoki)



*4 渋谷 朋典
(SHIBUTANI Tomonori)



*5 杉本 涼太郎
(SUGIMOTO Ryotaro)

当施設の確認検査及び建築技術安全審査は、（一財）日本建築総合試験所が実施しました。