

シドニーオペラハウスの構法の解読 ～コンピューター解析と模型制作を通して～

- 梗概 -

1 研究の目的と方法

1-1 研究目的

シドニーオペラハウスは 1957 年に着工し 14 年間の施工期間を経て完成した。主な構造体であるシェルは現在の形態に至るまで構造上、施工上の問題からその計画に 6 年が費やされた。最終的にシェルの形状は球面から切り出すという解決策をウツソン自身が導きだし、優れた構法として知られることになる。ここで記述する構法とは、構造と施工方法に合理的な関係性を持たせるための部材の構成方法である。本研究では、シドニーオペラハウスの構法がいかに優れているかを具体的に解読することを目的とする。

1-2 研究方法

研究方法としてコンピューター解析と模型制作を行う。公表されている限定的な情報を元にパラメトリックデザイン・ツールによる 3 次元化、また変数操作による検証を行い、出来るだけ正確な部材の構成を再現する。レーザー加工機でそのデータを部材単位で切り出し、組み合わせ、1:150 の全体模型を制作する。部材の構成方法が如何に構造や施工方法に関係してくるかを以上の方法によって確認する。



図1：今回の研究で制作したシドニーオペラハウス、1：150 模型

2 ヨーン・ウツソンの建築

1957 年、ウツソンはシドニーのオペラハウス建設の設計競技に 38 歳という若さで入賞した。コンペティション案の建築の形態はフリーハンドで描かれた何の幾何学的な定義もない彫刻的な形態であった。シェルと呼ばれるようになる構造体を如何に幾何学的に解決するかということが主な課題となり、建設上、政治上の困難から施工期間 14 年を費やした。シェルの構造の推移は様々な解決策が生み出されたが、どれも構造、施工方法、初期のコンセプトなどの条件を同時に満

たすことはできなかった。しかしウツソンがシェルの幾何学を球面から切り出し、構法という観点からすべての問題が解決された。シェルの構造の大部分はコンクリートをプレキャストした部材の集合で作られている。基壇上でプレキャストされたものを一つずつ躯体に積み上げ施工する。



図2：当時の施工現場の様子。基壇上でプレキャストされ、躯体に積層していく。

3 シドニーオペラハウスの構造と構法

3-1 球面ジオメトリー

シドニーオペラハウスは複数のシェルで覆われている。すべてのシェルは単一の半径を持つ球体から 3 辺を切り出した扇形のような形状を持つ。扇形のシェルが 2 枚で 1 組となり 2 組が繋がって構造上完結する。その 2 組が 3 セット配置されてコンサートホールを覆い、同じく 3 セットがオペラハウス用、1 セットがレストラン用と計 3 箇所配置される。資料から抜粋できた図面は、コンサートホール用の片面のシェルのみであった。シェルの端点の座標入力から投影までのプログラムをライノセラスのプラグインであるグラスホッパーを用いて行った。その図面から得られた 6 パターンの扇形を切り出し、その扇形からある操作を加えてコンサートホール以外のシェルを含めた全 28 種類の扇形を切り取った。

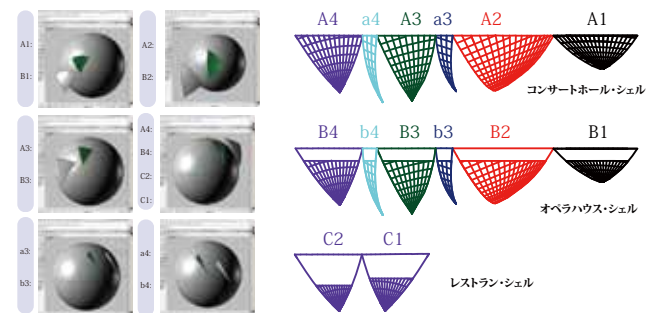


図3：図面から得た 6 パターンの扇型から計 28 個のシェルを生成した。

3-2 リブアーチ

3-2-1 リブセグメント

シェルの構造はリブアーチと呼ばれるコンクリートをプレキ

キャストした部材の集合で作られている。リブアーチの部材は大きく分けて 12 パターンに分けられ、この部材一つ一つをリブセグメントと呼ぶ。すべてのシェルにリブセグメントの配置を割り付ける作業を Grasshopper 内で作成したプログラムで行った。それぞれの扇型の外形のデータを用いてリブアーチの部材の寸法、数、配置方法をパラメトリックに操作し比較・検証しながら部材を割り付ける。リブセグメントの長さは 45.7m ですべて統一されている。



図4：Grasshopperを用いてシェルの部材の割り付けを行った。

理論的に言えば 12 パターンの型枠を用意すればリブアーチの大部分の部材を生産することが可能である。この特性を生かした効率的な部材生成方法こそがシドニーオペラハウスにおけるウツソンの最大の功績とも言われている。



図7：基壇の全体図 リブセグメントの部材を施工当時のように置く

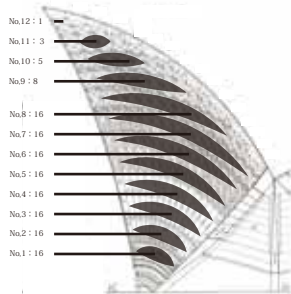


図6：A2 シェルの 12 パターンのリブセグメントの配置場所と数

各シェルに割り付けられたリブセグメントの数、種類をまとめた算出表を作成しリブセグメントの総部材数は 1508 個になった。参考資料に記載された総部材数は 1498 個であり実際のものと 10 個の差がみられた。

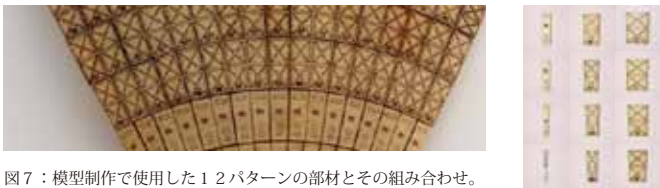


図7：模型制作でを使用した12パターンの部材とその組み合わせ。

部材番号	パターン	長さ	幅	厚さ	面積	体積	重量	個数	合計重量
1	A1	45.7	0.15	0.02	1.37	0.01	10.5	1	10.5
2	A2	45.7	0.15	0.02	1.37	0.01	10.5	1	10.5
3	A3	45.7	0.15	0.02	1.37	0.01	10.5	1	10.5
4	A4	45.7	0.15	0.02	1.37	0.01	10.5	1	10.5
5	A5	45.7	0.15	0.02	1.37	0.01	10.5	1	10.5
6	A6	45.7	0.15	0.02	1.37	0.01	10.5	1	10.5
7	A7	45.7	0.15	0.02	1.37	0.01	10.5	1	10.5
8	A8	45.7	0.15	0.02	1.37	0.01	10.5	1	10.5
9	A9	45.7	0.15	0.02	1.37	0.01	10.5	1	10.5
10	A10	45.7	0.15	0.02	1.37	0.01	10.5	1	10.5
11	A11	45.7	0.15	0.02	1.37	0.01	10.5	1	10.5
12	A12	45.7	0.15	0.02	1.37	0.01	10.5	1	10.5
合計								1508	15080.4

図8：全シェルの部材の割付表。総部材数も記載。

3-2-2 3次元リブ

リブアーチはその自重を効率良く床まで流すために複雑な断面形状を持つ。リブアーチ上部の断面構造は荷重を減らすため肉抜き Y 字型になっている。

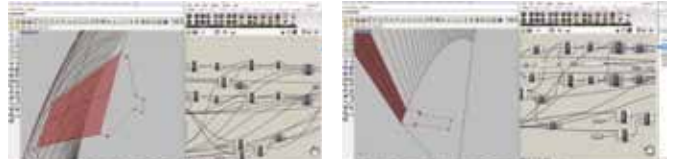


図9：プログラミングによる各層ごとの断面形状のモデリング

断面形状を層ごとに生成してつなげるプログラムを作成した。層ごとに生成したリブをつなげていくと3次元的な複雑な形状リブが生成される。シェルの強度と精度においてリブを備えることの必要性が模型制作を通して実感できた。



図10：シェル全体の3次元リブの様子

図11：模型のリブ部分の様子

3-3 タイルパネル

タイルパネルと呼ばれるシェルの仕上げ部材もプレキャストで施工される。タイルパネルはリブアーチを覆うように配置され、パネルの一つ一つに正方形の小さなタイルが並べられている。タイルパネルのパターンはリブセグメントの2倍の24パターンとなり、特殊リブセグメント部分に一部配置されるタイルパネルも含めるとその総部材数は3024枚以上であると推測される。リブアーチに直接タイルをはめ込むという手法も当時は考えられたが、躯体の精度とタイルの仕上げ面の精度の問題でプレキャストが用いられた。

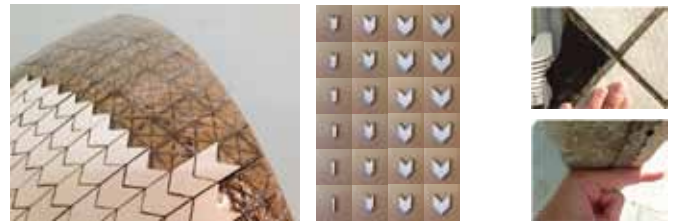


図12：模型にてリブアーチに貼り付けられる24パターンのタイルパネル

4 結

様々な部分で使用されたプレキャスト部材に関しておおよその数量が把握できた。効率良く生産できない部材も数多く存在することが確かめられたが、大量の部材を如何に効率良く生産し配置するかという問題がこのシドニーオペラハウスにとって如何に重要な問題であるかを数値をもって確認できた。ペDESTルの寸法、リブセグメントの統一された高さ寸法が部材の種類、量を大きく変動させてしまうことがわかり、現在の部材の配置が最適化されているのかどうか検証する余地があることに気付いた。2次元の板材の集合ではなくてリブを備えることでシェルの曲面の精度を保障するという事実が模型制作においてわかり、部材の構成方法が構造的に合理的であることが確認できた。