

概要

工事名称：Esplanade-Theatres on the Bay
 工期：1998年9月28日～2002年7月15日 ※別発注の地下工事除く
 発注者：Ministry of Information & The Arts(シンガポール情報芸術省)
 施工者：Penta-Ocean Construction
 施工場所：シンガポール、Lots TS10 Situated Along Raffles Avenue
 主な工事内容：劇場(2000席)、コンサートホール(1800席)、屋外施設、
 商業施設、駐車場、受変電棟の建設



エスプラネード・シアターズ・オン・ザ・ベイ

世界の芸術・文化の拠点

鼓動音も聞き取れる静寂空間を実現

Esplanade-Theatres on the Bay
エスプラネード・シアターズ・オン・ザ・ベイ

愛称は「ドリアン」。屋根の仕上げがこの南国の果物に似ていることから、そう呼ばれる。2002年10月にシンガポールの芸術・文化の拠点としてオープンした国家的なプロジェクト「Esplanade-Theatres on the Bay」だ。中核施設は、1800席のコンサートホールと2000席の劇場。2つの空間では、世界最上級の音響環境が求められた。

キーン——。頭の中で甲高い音が響く。2002年初夏、当現場で主に工務を担当していた国際建築本部の長尾剛は、あまりの静けさに耳鳴りを覚えた。そこは、竣工を控えたコンサートホール最上階の客席。長尾はシートに腰を下ろしていた。

客席は4層構造。最上階の客席はステージを遠く正面に見下ろす位置にある。それでも、ステージ上で交わされるごく普通の声量の会話まで明瞭に聞

き取れる。「これが、『PNC-5』の静寂空間なのか」。長尾はうなった。

「PNC」とは、室内騒音の評価尺度。日本では国内最高レベルのコンサートホールで「PNC-15」から「PNC-20」という。「PNC-5」はそれを上回る、心臓の鼓動も聞き取れるほどの静寂空間だ。

シンガポール情報芸術省(当時、現・文化コミュニティ青年省)は、「Esplanade-Theatres on the Bay」



「ハ」の字に開く2棟の建物が、「リリックシアター」と呼ばれる劇場（左）とコンサートホール（右）。この2棟が交わるエリアには店舗が配置されている。そのさらに奥には、受変電棟。固定伝播音の影響を避けるため、劇場やホールからあえて遠ざけている

のコンサートホールと劇場に、世界最高水準の静けさを求めた。

音響設計は、この分野の第一人者で「神」と^{あが}認められた米国の建築家、ラッセル・ジョンソン率いるArtec Consultants Inc。^{たくみ}匠の設計した「PNC-5」水準の静寂空間を、当社は造り上げたのである。

◎コスト削減へ、地下工事で掘削法提案

「Esplanade-Theatres on the Bay」は最大1800席のコンサートホールと2000席の劇場のほか、合計250席を数える3つのスタジオ、店舗で構成する芸術・文化の拠点。1970年代から開発されてきたウォーターフロントのマリーナ・ベイ地区の一角にある4haの敷地に立地する。

シンガポールにおいて国を挙げた芸術・文化振興策の一環として建設計画が練られ、第5代大統領オン・テンジョンになって、工事にこぎ着けた国家的プロジェクトである。2期工事として地下工事が1996年7月に始まり、当社がこの地下2期工事を受注したことが上部工事の受注につながった。

シンガポールでは建築の地下工事と上部工事は分離発注が一般的。地下工事を受注しても、上部工事を受注できるとは限らない。ただ地下工事での一定の評価を得れば、上部工事を受注できる可能性は高まる。



地下2期工事の掘削区域は半円に近い形状で、面積は1万7400㎡にも及んだ

当社が地下工事の競争入札時に評価された点の一つは、基本設計時の想定より工期を短縮し、コスト減につながる工法の提案だ。

基本設計では、山留め用の地中連続壁を半円状に巡らせ、切梁を渡しながら内部を掘削する工法を想定していた。当社ではこれに対して、地中連続壁を同じように半円状に巡らせるものの、その内側18mの線に沿って仮設シートパイルを施工。その間を、切梁を渡しながら深さ10mまで掘り下げ、地下2階床と地中連続壁の控え壁になるバットレスウォールを打設したうえで、シートパイルの内側を掘削する、という工法を提案した。

この工法は外周をまず自立させるため、シートパイル内部を掘削するときには切梁を必要としない。切梁などに必要になる鋼材の量を削減できるうえ、工期の短縮を図ることもできる。

「シンガポールで地中連続壁を施工するのは、初めて。国内の土木部門や専門工事会社の技術協力を得ながら施工した」。執行役員、国際部門担当の田口治宏は振り返る。

上部工事では、冒頭のような静寂空間の施工が、最重要課題に挙がった。外部から伝わる音を消し去ったり遮ったりするための対策や工夫を確実に施工する必要がある。

外部から伝わる音は大きく2つ。振動の形で伝わる固定伝播音と空中を伝わる空気伝播音である。これを共に、封じなければならない。

固定伝播音の遮音策として考えられていたのは、「Box in Box」と呼ばれる構造。一次遮音層になる「アウターボックス」と呼ばれる構造体の内側上下に防振ゴムを挟んで二次遮音層になる「インナーボックス」と呼ばれる静寂躯体を造り上げ、音を遮る。基本設計では、コンサートホールで約1000個、劇場で約1100個の防振ゴムを用いる想定だった。

技術を駆使し世界最上級の音響環境を実現

◎防振ゴムで縁切りした静寂躯体を施工

構造上の課題は、静寂躯体を構造上問題なく施工できたか否かは、その作業を終えてからでないと評価できない、という点だ。当社はそこで、基本設計を基に防振ゴムの変位を3次元構造解析し、許容範囲の3～7mmに収まらない箇所は防振ゴムの配置や個数を見直し、その範囲に収まることを確認したうえで、施工に入った。

実際の変位は静寂躯体の施工を進めながら随時計測。その結果、計測値は解析結果より抑えられたことが分かった。執行役員、国際部門担当（建築）の伊原成章は「実際には防振ゴムの剛性が安全側に働いた」とみる。

空気伝播音への対策では、空調ダクトのルートに気を配る必要があった。ダクト内で余計な音を生じさせずに最適な室温を提供できるようにすることを考えると、ダクトは効率良いルートをできるだけ曲げずに通したい。一方で、躯体との取り合いにも留意しなければならない。

空調ダクトのルート決めは3次元CADの図面上で検討し、躯体と設備のどちらを優先するか、整理していった。長尾は「場合によって躯体の形状を見直し、それに伴い、意匠上模様替えの必要が生じることもあった」と回想する。当時、こうした作業に人手を投入する必要から、設備担当を12人配置。日本人職員の半数以上を占めた。

音響設計上、インナーボックスに求められたのは静寂空間の実現だけではない。音響設計者である「神（ラッセル・ジョンソン）」が狙った音響効果を確実に発揮できる造りも求められた。

例えばコンサートホールは、ホールそのものが楽器ともいえる造り。それを特徴づけるのが、残響調節室と可動式音響反射板である。

残響調節室は、ステージ脇から客席にかけての

壁面に設けられた84カ所の空間。最大高さ10.5mで最大重量7.2tのPC製パネルを用いた「リバレーション・チャンバー・ドア」の開閉によって、ホールの容積を増減させ、残響時間を調節する。可動式音響反射板はステージ上部に設置し、高さを変えることで、演奏者に最適な音を確認してもらう。

このPC製パネルは高さがある割に厚さは205mm。クレーンで吊り上げると、構造上の問題はないものの、たわむ。伊原は「設置の際には細心の注意を払わなければならなかった。仮設のガイドフレームを用いて、1日2～3ピースを施工するのがやっとだった」と明かす。

◎外装材の施工に潜むクリティカルパス

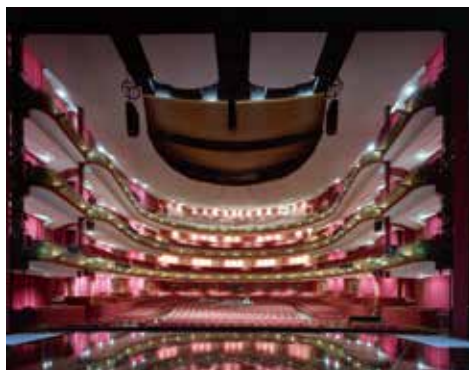
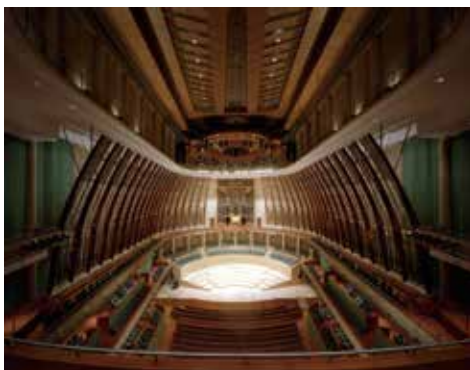
「神」の洗礼も受けた。

現場の一角には、音響設計者のデザインを基にバルコニー席やチャンバー・ドアのモックアップ（原寸模型）を作り込んでいた。「神」はそこに2時間ほど一人で籠もり、出てくるとこう嘆いた。「コンセプトと違う……」。指摘を受け、バルコニー席のフロント部分の仕上げであるGRG（ガラス繊維強化石膏）製の模様が見直された。

「図面を描き直し、部材を発注し直した。工期が限られる中で振り出しに戻るようになったが、『神』の言葉なら仕方ない、と周囲は皆、納得していた」。長尾は苦笑する。

コンサートホールと劇場に共通の特徴でもある外装は、建物の周囲を上下2層で巡るPC製パネルの樋の間にまずスペースフレームを組み上げ、そこに3層ガラスとアルミ製の日よけを組み込んだもの。建物を覆うこの無数のアルミ製の日よけが、遠目には「ドリアン」を思わせる。外装の施工は、前工程が完了しなければ次に進められない工程が多く、綿密に組んだ工程の下で作業を進めた。

全体のカギを握っていたのは、下層の樋である



左：コンサートホール内部。ステージの真上、天井に設置されている装置が、可動式音響反射板。これを昇降させることで、演奏者に最適な音を確認してもらう

右：劇場内部。馬蹄形の客席をステージから望む。天井や壁では比重の大きいGRG（ガラス繊維強化石膏）パネルを躯体に密着させ、音を反射させる一方で、表面には下地との間に空気層を挟むようにタイシルクを張り、高周波音を吸収させる

「Lower Gutter (ローワーガーター)」の施工だ。V字型の柱で支えるこの樋は構造体として機能するようになるまで支保工が欠かせない。一方で、支保工を解体しないと手を付けられない作業がある。「工程を綿密に組み、それを縫うようにして作業を進め、工程のどこにも遅れが生じないように心掛けた」。長尾は苦勞を語る。



「Lower Gutter」とそれを支えるV字型の柱。「Lower Gutter」は工場生産のPC製パネルだが、V字型の柱は高流動コンクリートを用いて現場で打設した

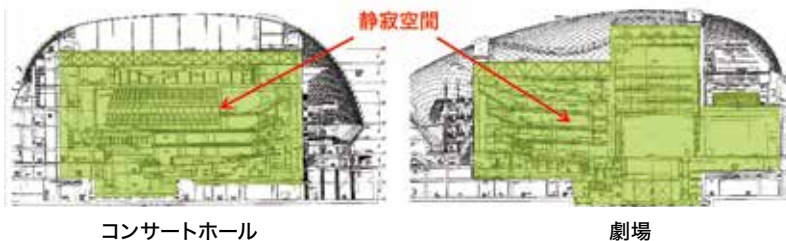
そこを乗り切り、スペースフレームを組み上げれば、残るは3層ガラスの設置とアルミ製日よけの設置だ。スペースフレームは人力で一つひとつ取り付けるのは時間も手間もかかるため、当初は、地上で組み上げた縦3×横4グリッドのモジュールをクレーンで吊り上げ、取り付ける想定だった。ところが実際に施工していくと、思うようにいかない。

「最初の1段は設置できたものの、別の段になると3次元上のため形状が変わるなどして、うまく設置できなくなってしまった」。長尾は当時を思い起こす。結局、通常の吹き付け部高所作業同様、棚足場を外装形状に合わせて組み、スペースフレーム資材と3層ガラスの荷取りステージを必要に応じて設けたうえで、作業員が一つひとつ取り付けていく方法をとらざるを得なかった。

竣工は、2002年6月。音響の良さで世界有数のコンサートホールと劇場の施工を手掛けたことは、当社の建築面での実績がシンガポールの内外で広く知れ渡る契機になった。

TEC 01 Box in Box

鼓動音も聞き取れる静寂空間を生み出す



防振ゴムの設置風景。基礎の上に並べる。静寂躯体の施工時には防振ゴムの変位を随時計測し、それが許容範囲に収まることを確認しながら作業を進めた。壁側は建物の構造体との間に50mmの空間を確保し、固定伝播音を遮断している

コンサートホールと劇場は、心臓の鼓動も聞き取れる「PNC-5」という高水準の静寂空間を生み出すために、「Box in Box (ボックス・イン・ボックス)」と呼ばれる構造を取り入れ、ホールや劇場のステージと客席を構成する静寂躯体を建物の構造体の内側に造り上げた。図は、コンサートホールと劇場それぞれの断面図。静寂躯体の床と天井は、建物の構造体との間に防振ゴムを設置し縁を切り、地盤や屋根からの固定伝播音が静寂躯体に伝わらないようにしている。

TEC 02 残響調整室／音響反射板

最適な音を演奏者が確認できる

コンサートホールの音響技術として特筆したいのが残響調整室と音響反射板。ステージから客席部にかけて残響調整室(リバレーション・チャンバー)が置かれ、壁面に設けられた84枚に及ぶ最大高さ10.5mで最大重量7.2tのPC製パネルを用いたリバレーション・チャンバー・ドアの開閉によって残響時間を調節する。また、音響反射板(アコースティック・キャノピー)はステージ上部に設置。高さの可変によって、指揮者や演奏者にとってより良い演奏環境を作り出す。

