

歴史的建造物改築工事の記録

ヴィクトリアシアター&コンサートホール（シンガポール）

加藤 純

築百年を超える歴史的建造物改築工事の記録である。既存レンガ造壁の一部をアンダーピニングで保持して直下に地下躯体を新たに築造し、構造体へのダメージを最小限に抑えながらレンガ壁をくり抜き、全長 20 m の鉄骨柱を屋根の開口部から挿入。また、既存建物への損傷を最小限に抑えるために雨避けの移動式仮設テントを設ける等、多岐にわたって斬新な工夫を凝らして遂行した工事の詳細を紹介する。

キーワード：歴史、保存、修復、改修、レンガ、アンダーピニング、浮き床

1. はじめに

シンガポール共和国にて施工したヴィクトリアシアターおよびヴィクトリアコンサートホール改築工事の記録である。本工事は国家遺産に登録された歴史的建造物を改修・修復するもので、壁延長 40m にわたって高さ 23 m の既存レンガ造外壁をアンダーピニングで保持しつつ地下 2 階・地上 3 階の躯体工事を行い、最新の音響設備を有する劇場・コンサートホールに改築するものである。

ヴィクトリアシアター（以下、VT）は 1856 年から 1862 年にかけて市役所として建設され、ヴィクトリアコンサートホール（以下、VCH）は 1906 年に英国ビクトリア女王を追悼してメモリアルホールとして建設された。今回の改築工事では、VT は既存外壁のみを残し内部を地下 2 階・地上 3 階の RC 造（一部 S 造）に建て替える。言わば「外壁は約 150 年前と同じだが、内部は最新の建築技術による劇場施設」に生まれ変わるもので、改修の要素が大である（写真—1）。対して VCH は既存の木造床を S 梁 + RC 床に造り替えて



写真—1 全景写真（着工前）

遮音性能を高め、かつ屋根鉄骨をより強度の高い構造に替えて空調・劇場設備を保持できるように改修するが、建物の内外観とも既存のモチーフをそのまま残すことから、保存修復の要素が大である。

意匠面では、可能な限り外観をオリジナルの仕様で維持し、新規に構築した構造部材は仕上げ面に現れないように配慮されており、歴史の重みと世界水準の音響性能を合わせ持つ劇場とコンサートホールとなる。

2. アンダーピニング

VT では、直接基礎の上に自立した既存レンガ造の外壁の直下を掘って地下を構築するため、仮設のアンダーピニングによって外壁を保持するよう、あらかじめ施工手順が設計図書に示されていた。また、VCH では増大する自重と積載荷重を支持するため基礎補強のための本設アンダーピニングが計画された。

(1) アンダーピニングに関する請負範囲

アンダーピニングに関しては、入札時にコンセプト図面のみコンサルタントから提示を受け、実施構造設計や関係官庁との許認可手続きを含む実施工が請負者の工事区分と規定された。コンセプト段階での荷重設定などはあくまでも概算であったため、施工に先立ち詳細な構造設計と検証を行った。

(2) 事前計画

工事契約締結後に、既存建物形状や先行杭の測量を行い、荷重条件等を詳細に検討し、現状に合わせて大梁、小梁の設計を行った。アンダーピニングを行うに

あたり、支持フレーム構造体のうち大梁を既存壁に貫通させるために開口部を設ける必要があった。振動を抑え、かつ施工性・経済性の高い解体工法として、開口部周囲に十分な空間がある VT にはワイヤ・ソーを用いて切断する工法を、地盤面より下の掘削後の狭い空間での施工となる VCH では連続コア抜き工法を採用した。

工事を円滑に進める上で最も重要な点は、アンダーピニング施工時の躯体および周辺地盤の変位を正確に把握し、異常値が認められた場合に直ちに対応できる体制を整えることであった。変位の測定項目と管理値を表一に示す。

表一 測定項目と管理値

項目・計器	警告値	工事中止値
建物沈下	-11.0 mm	-15.0 mm
傾斜計	1 : 1500	1 : 1000
光学プリズム	10.0 mm	15.0 mm
電光傾斜計	1 : 1500	1 : 1000

(3) VT のアンダーピニング

(a) 概要

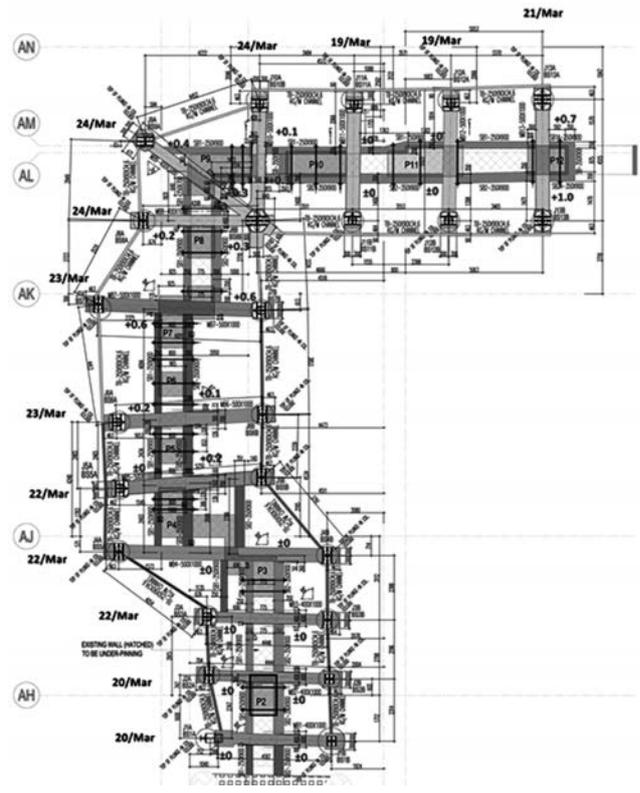
工事契約を締結した時点では VT 既存内部の解体工事はすでに完了し、既存外壁のみが残り鉄骨支柱で支えられた状態であった。VT のアンダーピニングは、場所打 RC 杭 (600 mm φ および 800 mm φ) 施工時に埋め込んだ H 型鋼 (350 mm × 350 mm × 106 kg) を所定の高さまで継ぎ足し、ベースプレートとロードセル (許容荷重 25 ton/個) を設置し、大梁、小梁およびつなぎ梁からなる仮設構造物を築造し、壁延長 40 m にわたって最大壁厚 1.1 m ・高さ 23 m の既存レンガ造外壁を支えるというものであった。荷重条件に合わせ、13 台ある大梁断面は 400 × 1000 mm または 500 × 1000 mm の 2 種類とした。実施工したアンダーピニングの施工図を図一に、3 次元図 (BIM) を図二に示す。

(b) 実施

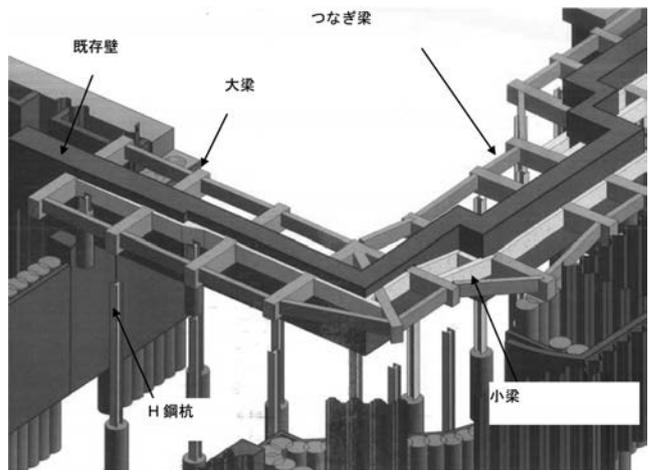
時系列に沿って施工手順を示す。

① 仮設鉄骨柱にベースプレートを設置

先行設置された H 型鋼の先端は地中 2 m 程度の位置にあったので、一旦掘削をして実施設計したベースプレートレベルまで柱を延伸した (写真一2)。柱毎に異なる作用荷重に合わせてロードセル個数を決定したため、実施工にあたってはロードセル個数に合わせて、形状の異なる 5 タイプのベースプレートを設置した。



図一 VT アンダーピニング実施施工図



図二 VT アンダーピニング BIM 図

② 大梁の施工

実施設計と測量結果をもとに外壁に開口を設けた。最初に開口の四隅をコア抜きし、孔と孔にワイヤを通して、開口の四辺をワイヤ・ソーで切断した (写真一3)。外壁のカドにあたる箇所では壁に対して斜めに開口を設ける必要があったので、特注の固定治具を準備した (写真一4)。ワイヤ・ソーで切断し既存壁と縁を切った後は、切断片をブレイカーで破碎して除去した。一箇所に集中して、同時に大梁貫通開口を複数箇所設けることは、構造壁の欠損箇所が集中することになり既存外壁を損傷する原因になる恐れがあったた

め、大梁の施工はランダムに行った。

③小梁の施工

小梁断面は250 mm × 900 mm と 350 mm × 900 mm の2タイプとし、既存壁自体の荷重が既存柱、小梁、大梁、仮設鉄骨柱と円滑に伝達されるように、小梁天端に既存壁が100mmの幅で載るように既存壁をハツリ込んだ後、小梁を施工した(写真一5)。

④貫通ボルトの設置

さらに既存壁を小梁ではさみ込むように、直径30 mmの高張力ボルトで締め上げて既存壁保持力を高めた(写真一6)。なお、トルクレンチを使用してボルトには230 kNの軸力を導入した。

⑤鉄骨つなぎ梁の設置

大梁先端を溝型鋼でつなぎ、アンダーピニング構造体の変形を防止した。

⑥無収縮グラウト注入

アンダーピニング構造体と既存壁の間に隙間がある

と、ジャッキアップ荷重が既存壁に有効に作用しない。対策としてコンクリートを充填しきれずに生じたRC大梁・小梁天端と既存壁との隙間に無収縮グラウトを注入した。

⑦ジャッキアップ

円盤状のロードセルは底盤と上蓋で構成されており、内部にエポキシを注入することにより上蓋が上昇する仕組みになっている。この上蓋の上昇圧力をアンダーピニング梁のジャッキアップ力として利用している。エポキシの硬化が数十分後に始まるため、失敗は許されず、慎重に作業を行った。またポンプによるロードセルへの加圧は一度に7つまでとしたため、一回につき大梁1台の両端を加圧した。各セル毎に荷重条件が異なるため、個別にチェックリストを作成して、段階的に加圧した。加圧メーターの読みと共に、実際の外壁の上昇量をモニターし、上昇量が計画値の+1.5 mmを超えないことも確認した(写真一7, 8)。



写真一2 H鋼柱(延伸後)



写真一3 大梁貫通開口



写真一4 ワイヤ・ソーと固定用治具



写真一5 施工状況



写真一6 貫通ボルト



写真一7 加圧メーター



写真一8 レベル測量



写真一9 掘削開始前



写真一10 掘削後、梁に支持された既存壁

⑧掘削および水平つなぎの設置

13台の大梁のジャッキアップが完了後、掘削を開始した。また掘削の進捗に伴いH型鋼柱に水平つなぎを設置した（写真—9～11）。

⑨新設地下RC壁との接続

既存外壁直下に新設地下RC壁を施工する際は、型枠を漏斗状にして打設し、余分なコンクリートを打設後は取り取った。既存壁とRC壁の相互の隙間は0mmから100mm程度で、無収縮グラウトを充填して構造体を完全に一体化させた。

⑩仮設大梁、小梁の解体除去

無収縮グラウト注入後に、大梁・小梁の解体に伴う既存壁沈下が無いことを計測機器で確認し、ひび割れ等の不具合が発生していないことを目視で随時確認しながら実施した。

(4) VCHのアンダーピニング

(a) 概要

VCHのアンダーピニングは前述の通り、改修により増大する自重および積載荷重に対し既存の基礎を補強するという目的で、本設としてアンダーピニングが設置された点がVTとは異なる。施工手順は、マイクロパイルの施工、掘削、アンダーピニング基礎梁施工、基礎梁天端と既存壁の隙間への無収縮グラウトの注入、ジャッキアップ、埋め戻しであった。

(b) 実施

時系列に沿って施工手順を詳述する。

①マイクロパイルの施工

柱の四周に杭打機アクセスが可能な箇所は、柱の四隅にマイクロパイルを施工した。杭打機のアクセスが限られる柱については、片持ち梁で支持するなど変則的なアンダーピニング構造となった（写真—12）。

②アンダーピニング基礎梁貫通開口の設置

既存壁に連続してコア抜きをし、基礎梁貫通用の開口を設けた（写真—13）。

③アンダーピニング基礎梁の施工

マイクロパイルの頂部にベースプレートおよびロードセルを設置した後、基礎梁を施工した。

④無収縮グラウト充填とジャッキアップ

コンクリート打設時に塞ぎきれなかった基礎梁天端と既存壁との隙間に無収縮グラウトを充填した。その後、基礎梁とベースプレートの間に設置したロードセルにVTの場合と同様にエポキシを注入し加圧することにより、柱毎にジャッキアップを行った。ロードセルは全て埋め殺しとなり、本設構造体の一部として残置した。

3. 仮設屋根テント（雨避け）の設置

VCHの工事に際しては、既存屋根の撤去後から新設屋根による止水が整うまでの期間、雨水の浸入を極力



写真—11 水平つなぎの設置



写真—12 マイクロパイル用杭打機



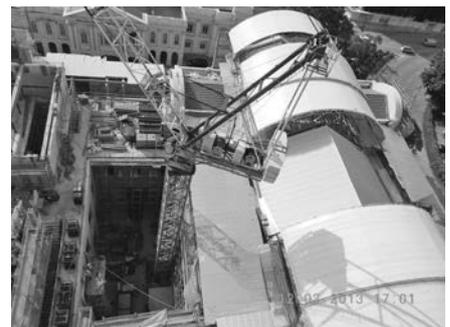
写真—13 貫通開口と梁



写真—14 テントを移動してのトラス建方



写真—15 新設屋根鉄骨施工中



写真—16 屋根テントと新設屋根

防止する必要があった。これは雨水による汚損防止のほか、雨水がレンガ壁にしみ込んで壁内部に存在する塩化物が溶出し、溶出した塩分が壁表面部で再結晶化することにより引き起こされる塩害を防止するためでもある。検討の結果、VCHの既存天井および既存屋根を解体する際に使用する足場をベースにして、可動式テントを設置することとした。原価低減のためテント本体は建設地で既製品として調達可能なものを探し出し、テントの柱部分を改造して柱脚部にキャスターを取り付けた。足場上に溝型鋼を固定してテントが移動する際のレールとなるようにし、テントのキャスターがレール上を転がることにより、可動式テントを実現させた。結果、実際に数名の作業員のみで容易に移動させることが出来、非常に有用であった（写真—14～16）。

4. 既存レンガ壁内に鉄骨柱を設置

VCHでは、改修前と比較して大幅に増大する屋根鉄骨構造物を支持するため、鉄骨柱が新設された。ただし国家遺産に登録されている建物であり、増改築時に追加された構造物は竣工後には見えない意匠とするという制約条件があるため、鉄骨柱をレンガ壁に埋め込む設計になった。レンガ壁に柱設置のための欠き込みを作ることは、すなわち柱設置までの期間に既存構造物に断面欠損が生じるということである。鉄骨柱がアーチ開口の端部に位置する場合には、アーチ開口を

サポートで仮に支持した後、柱設置用の欠き込みを設けた（写真—17）。

また、欠き込みを設ける際には、丸ノコでレンガ壁に切り込みを入れて、構造的に縁を切り、はつり工事等の振動による既存構造物への影響を最小限に留めるよう配慮した（写真—18, 19）。

施工を迅速に行うため、全長20mの柱に鉄骨工場で鉄筋を取り付けし、現場に搬入し建て方を行った（写真—20, 21）。

5. フローティングフロア（浮き床）

VTおよびVCHは築百年を超える建物の外観を維持したまま、つまり建物の絶対容積を変えないまま、建物内部に最新の劇場・舞台・音響設備を設けるといふ、建築家にとっては頭の痛い要求事項があった。この平面計画上の問題の解消策としてVT客席部や2階ホワイエの上部にクーリング・タワー（以下、CT）、ダンス・ドラマ・リハーサル・ルーム（以下、DDRR）およびミュージック・リハーサル・ルーム（以下、MRR）等振動が発生する諸室を設けるといふ、音響上問題が発生しやすい諸室の配置とならざるをえなかった。

音響面での配慮として、CT、DDRRおよびMRRの床にはフローティングフロア（浮き床）が施工された。施工にあたっては、上部の雨仕舞いがととのった段階



写真—17 アーチ開口部の補強状況



写真—18 丸ノコによる壁切断



写真—19 平滑な切断面



写真—20 鉄骨建方状況



写真—21 鉄骨建方状況



写真—22 配筋状況

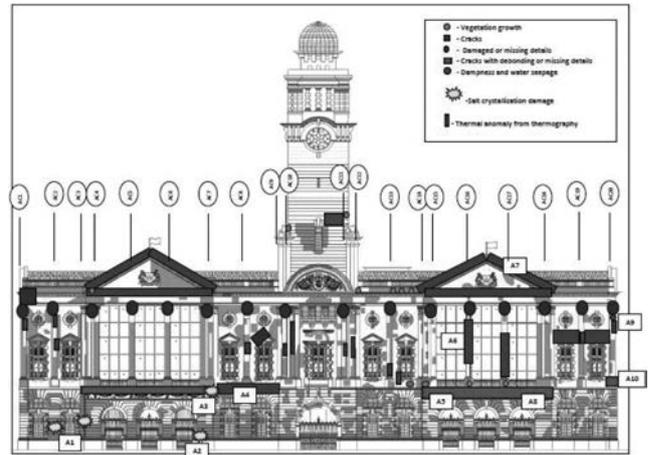
で浮き床のコンクリート打設を行うため、工数の多さから、これらの諸室の施工がクリティカル・パスにならないように、工程計画上也注意が必要であった。フローティングフロアの施工手順を写真で振り返る(写真—22～24)。

6. レンガ壁の保存修復工事

本建物で最も目を引く点は、何と言っても築百年を超える多様なモチーフを持つ外観であろう。築百年以上の劣化したレンガ壁を補修しつつ、モチーフ部分も含めた修復を行うため、基本的な施工手順を設計者側と確認し、以下の通りとした。

- ① Pre-Condition Survey (施工前調査)
- ② Paint Removal (既存塗装除去) (写真—25)
- ③ Rising Damp Treatment (湿気防止)
- ④ Biocide Treatment (防カビ剤, 下地)
- ⑤ Salt Inhibitor (耐塩害処理) (写真—26)

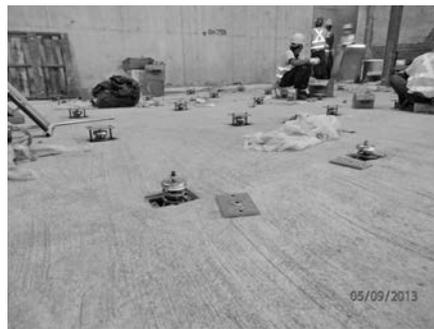
- ⑥ Consolidant (表面強化剤塗布)
- ⑦ Rendering (左官塗り) (写真—27)
- ⑧ Biocide Treatment (防カビ剤, 表面)
- ⑨ Painting (塗装)
- ⑩ Water Repellent (撥水处理)



図—3 調査立面図



写真—23 コンクリート打設後



写真—24 防振装置の設置



写真—25 既存塗装除去



写真—26 耐塩害処理剤塗布



写真—27 左官仕上げ塗り状況



写真—28 上空より全景



写真—29 正面ファサード



写真—30 ヴィクトリアシアター



写真—31 コンサートホール

このうち施工前調査は特に重要であり、調査は専門コンサルタントに発注し細部まで行い記録を作成した。建物前面の調査結果図を図-3に示す。壁面に根付いた植物の状況、ひび割れ、破損状況、モルタル層の浮き、湿気による損傷、塩害の状況等を記録した。

最後に、完成したヴィクトリアシアター&コンサートホールを写真-28～31で紹介する。

7. おわりに

謝 辞

近年、国内外において歴史的建造物の保存・修復工事例が多数報じられている。実際の工事に際しては、

立地環境に適した材料や工法の選定を行うことが大変肝要である。当該工事は日本国内とは異なる気象環境にあるシンガポールにおいての工事だが、施工方法・手順の記録が将来工事の施工計画策定の踏み石となることを願うものである。この場をお借りして、ご助力頂いた関係者の皆さまに、改めて感謝申し上げたい。

JICMA

[筆者紹介]

加藤 純 (かとう じゅん)
佐藤工業(株)
シンガポール支店
作業所長



「建設機械施工ハンドブック」改訂4版

建設機械及び施工の基礎知識、最新の技術動向、排出ガス規制・地球温暖化とその対応、情報化施工などを、最新情報も織り込み収録。

建設機械を用いた施工現場における監理・主任技術者、監督、世話役、オペレータなどの現場技術者、建設機械メーカー、輸入商社、リース・レンタル業、サービス業などの建設機械技術者や、大学・高等専門学校・高等学校において建設機械と施工法を勉強する学生などに必携です。

建設機械施工技術の修得、また1・2級建設機械施工技士などの国家資格取得のためにも大変有効です。

[構成]

1. 概要
2. 土木工学一般
3. 建設機械一般

4. 安全対策・環境保全
5. 関係法令
6. トラクタ系機械
7. ショベル系機械
8. 運搬機械
9. 基礎工事機械
10. モータグレーダ
11. 締固め機械
12. 舗装機械

●A4判／825ページ

●定 価

一般：6,480円（本体6,000円）

会員：5,502円（本体5,095円）

※送料は一般・会員とも沖縄県以外は600円、沖縄県1,050円

●発行 平成23年4月20日

一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>