

世界に類を見ない展望タワーの免震化手法の開発

大阪本店

設計部 山田晃平／作業所 津高達哉／営業部 山田知彦

1. 序論

初代通天閣が戦時中に火災焼失した後、戦後復興のシンボルとして2代目通天閣は1956年に当社意匠設計、他社施工で再建された。登録有形文化財にも指定され、景気の変動を受けながらも年間入場者数130万人を超える名実ともに大阪のシンボルに成長した。

通天閣が今後も大阪と共に繁栄するため、南海トラフ大地震や直下型地震に対する耐震安全性の確保と魅力向上による集客力アップを目指す「通天閣レトロフィットプロジェクト」に挑戦し、世界に類を見ない既存鉄塔の免震改修を提案実現し、竹中ブランド向上に大きく貢献した。営業から施工まで全社的協業により、その手法を開発したので報告する。

2. 本論

2.1 建物概要

所在地：大阪市浪速区恵美須東1丁目18-6

延床面積／建築面積：3,063m²／881m²

階数／高さ：地下1階、地上6階／100m

構造：地下RC造、地上S造(一部RC被覆)

建物用途：道路上建造物



初代



2代目

写真1. 歴代通天閣外観

2.2 解決すべき課題（企画・設計段階）

【課題1】他社元施工の競合案件に対する適正利益を確保した受注

1-1)コスト:川上の創り込みにより事業規模拡大を図り、建築主予算の拡充にも参画する。

1-2)組織的対応:大阪本店全員の力を集結させる仕組みを構築する。

【目標水準1】目標利益を確保しつつ、圧倒的技術と集客提案を融合し、顧客の感動を得る。

【課題2】外観の維持ならびに通常営業を継続しながら、耐震性能を向上させる。

2-1)有形登録文化財として外観を維持しながら、南海トラフ大地震や上町断層帯地震にも耐え得る耐震性能を確保する。

2-2)既存部材切断など免震構造移行時においても構造安全性を確保し、工事中の営業継続を実現する補強方法を開発する。

【目標水準2】大阪のシンボルである通天閣のイメージを損なわず、既存柱切断工事中でも営業を継続できる構工法を実現する。

【課題3】塔状比の大きいタワー構造物への免震構造適用

免震構造が不適とされる塔状比の大きいタワーの地震時応答性状の把握と強風対策

【目標水準3】免震化により現行法規の大臣認定と同等の耐震安全性能を確保する。

免震ストッパーなどにより、風揺れを耐震構造と同等程度に抑える。

2.3 解決方策および実施内容（企画・設計段階）

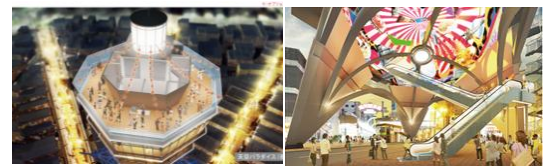
【解決 1】川上の創り込みと早期の全社的体制構築

顧客技術アドバイザーに働きかけ、耐震提案と共に顧客の大きなニーズである集客提案を入札要綱に取入れることで事業規模を拡大し、目標利益を

確保できた。また、文化財補助金の積極獲得、協賛企業獲得により建築主予算拡充に貢献した。コンペ取組み初期に大阪本店内アイデアコンペを開催することで、様々なアイデアの集結と共に、大阪本店全員の通天閣への想いを喚起した。免震化という圧倒的技術提案に加え、143 件に及ぶ集客提案は顧客の感動を呼び起こし、受注獲得につながった。

【解決 2】耐震改修工法の選定

耐震改修工法として耐震・制震・免震の 3 つの工法を比較した(図 2)。一般的な耐震補強の場合、既存構造体の弱点である地上 80m 付近のくびれ部分に対する新規部材の追加や、既存部材の入れ替えによる大断面化が必要になる。高所作業が発生し、外観にも影響する。また、地震時においても、改修前と変わらない激しい揺れが発生する。制震構造は、タワー構造によく採用されているが、通天閣では構造体内部に取り付ける場所がないため、建物の外側に制振フレームを付け加えることとなり、外観が著しく損なわれる。これらに対し、免震改修は基壇部のみの工事とすることができ、展望棟には手を加える必要がない。地震時もタワー全体がゆっくりと揺れるため、来館者に対して 3 つの構法の中では最も安心感を与える。「世界初」としての話題性も高く、高さ 100m の鉄塔建造物に対する免震改修に挑戦することを決意した。



天空パラダイス

仰天パレス

図 1. 集客提案の例

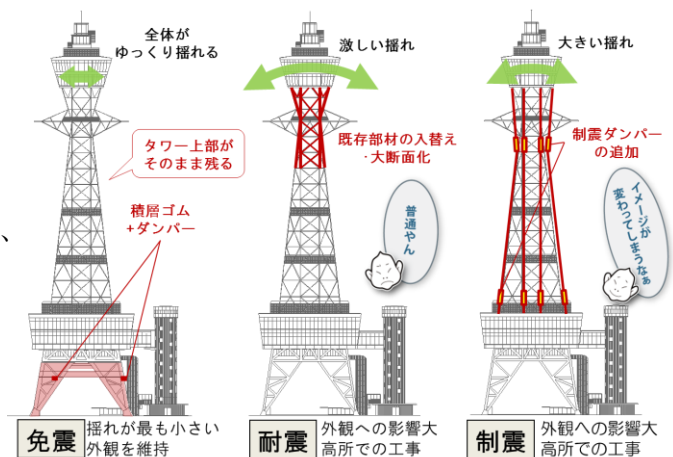


図 2. 免震／耐震／制震の比較

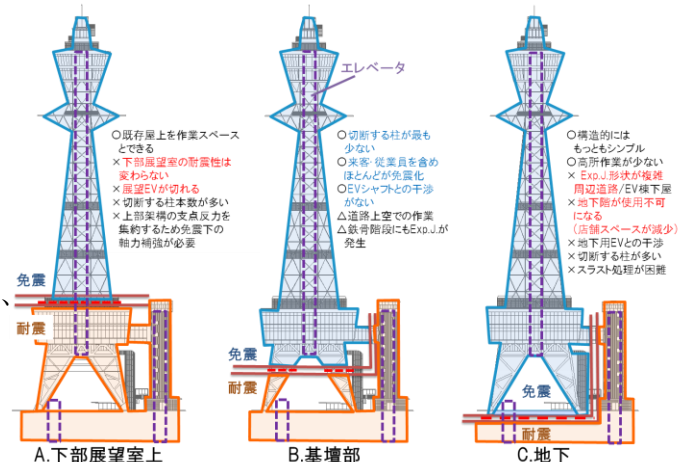


図 3. 免震切替位置の比較

免震切替位置は、力学的には荷重が集中している柱脚部(図 3 の C)とするのが望ましい。しかし、通天閣は公道上に建っているため免震エキスパンションが公道を横切ることになる。さらに地下(店舗として使用)に補強が必要となり、店舗面積が減少する。そこで、地上約 10m の基壇部(B 案)に免震層を設定し、店舗床面積を維持しながら、下部展望室を含めた展望塔全体を免震化することとした。EV シャフトとの干渉がなく、来館者動線との交錯は渡り廊下のみとしたことで、工事中の通常営業への道筋をつけた。

【解決 3】塔状比の大きいタワー建造物への免震構造適用

免震構造は剛性の高い建物に適している。既存構造体は立体トラス形状で高い剛性を

図 6. ダンパー制御機構概念図

2.5 解決方策および実施内容（施工段階）

【解決 4】全面防護構台

公道の通行および歩道を最大限確保するために、通天閣の下部をほぼ全面カバーする防護構台を採用した。地上約 8m の高さに広さ約 700m²、許容総荷重 210t の全面防護構台を設置することで、通天閣の来場者動線および地域の生活動線と安全を確保した。

構台を道路上部に設けたことで、営業時間にとらわれず、昼間の通常時間での作業を可能とする事ができた。資材搬入は公道上の開閉式荷揚げ開口から、既存躯体を利用した天井クレーンを用い、トラックから直接資材を揚重することで、第三者と分離した動線を確保することができた。また構台柱脚元には、歩行者への配慮として衝突を防ぐため、化粧プリントを施した円形ボイトで養生した。さらに近隣および周辺環境への配慮として、構台部材は全て白色で塗装を行い、工事中の圧迫感を低減させた。施工中の様子を写真 2 ～ 6 に示す。



写真 2. 構台外観



写真 3. 構台上部



写真 4. 天井クレーン



写真 5. 構台下部



写真 6. 通天閣周辺の賑い

【解決 5】既存柱切断計画

既存柱切断時には上部構造の荷重に対し十分な能力を有する油圧ジャッキで荷重を受替え、自動計測装置で建物の変位を管理・確認しながら工事の建物の傾き・位置等を制御する計画した。

各脚部において計画荷重 900t に対し、2 倍の 1,800t まで支持を可能とするため 450t ジャッキを 4 台設置した。脚部詳細および柱の切断順序を図 7 に示す。施工時の異常に対応できるよう、ジャッキ軸力導入・既存柱切断・ジャッキ除荷期間中には、免震層の上架台・下架台で水平変位・鉛直変位の 24 時間常時計測を行った。管理値は構造解析値と 8 日間の事前計測によって求めた温度や風による日変動誤差から設定した。

既存柱の切断は夜間に行い、繁華街に位置する建物であるため、切断には低騒音で切削泥水の

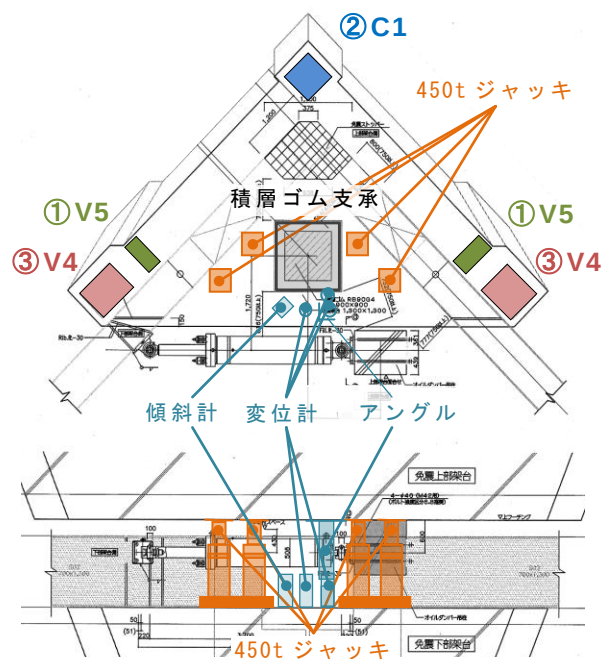


図 7 脚部詳細・柱の切断順序

ほぼ発生しない乾式ワイヤーソーを採用した。工事中に発生する地震に対しても安全性を確保して施工するため、切断時は免震装置の拘束鉄板とオイルダンパーをロックした。施工時の様子を写真7～8に示す。

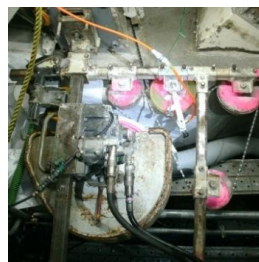


写真7. 乾式ワイヤーソー



写真8. 計測監視指令室

2.6 成果および水平展開

圧倒的技術提案に加え、企画段階で社内を盛り上げて全社員に意識付けをすることは、当社の想いを顧客に伝え、他社優位案件に対する一つの営業手法の開発となった。お客様予算拡充のための補助金の活用や協賛企業の誘致により、工事予算を健全化し、Win-Win の関係を築くことができた。

基壇部免震を採用することで外観を維持しつつ、来館者への影響が最も小さい改修案を考案した。当社開発のジャッキ&ロックダンパーに地震検知システムと連動したロック解放機構を組み込み、風揺れ対策を実現した。

全面防護構台の採用により、地域の生活動線ならびに来館者動線と安全を確保した。

綿密な切断・計測計画により、既存柱切断工事の全日程において建物の変形を一次管理値以内に収め、安定した構造体を保ちながら免震構造への切替えが完了できた。



写真9. 竣工後風景(夜景)



写真10. 竣工後風景(昼景)

3. 結論

営業から施工まで全社的協業により、世界に類を見ない既存鉄塔の免震化手法を開発した。

今回の工事はマスコミへの技術アピール、工事イベントの記者発表により、全国版での特集が生まれ、数億円の宣伝効果と共に当社ブランドイメージ向上を実現した(表1)。

社内コンペによる社内一体感の創出提案手法、お客様を巻き込み、マスコミを利用した広報活動は、付加価値が求められる商業施設の改修ならびに新規提案に展開できる。

表1. 報道実績

2014年5月7日	NHK- WEB
2014年5月7日	読売新聞夕刊
2014年7月4日	毎日新聞 WEB
2014年7月4日	産経新聞 天井画再現
2014年7月4日	日経新聞 揺れに強く
2015年3月30日	読売新聞 天井画
2015年4月5日	毎日新聞 (大阪新世界)
2015年5月1日	NHK ニュースウォッチ9
2015年5月1日	読売テレビ
2015年5月24日	通天閣天井画復刻 (日経/毎日/読売/産経)
2015年7月3日	朝日新聞・読売新聞 点灯式

開発実施者 (大阪本店)

青木志朗(技術部)、松原由典(設計部)、芦塚泰三(作業所)、中井章雄(営業部)、野方康次(機材センター)、松原拓平(技術部)

間接的参画者

西崎隆氏(大阪本店設計部)、植田道則(同左)、三船浩太郎(機材センター)、大竹和夫(技術研究所)、濱口弘樹(同左)、鴨下直登(同左)、大畑勝人(エンジニアリング本部)、杉内章浩(同左)