

シンガポール・チャンギ新国際空港管制塔新築工事

大 皇 勝 之*

1. ま え が き

シンガポールには、現在、東南アジア有数の規模を誇るパヤレバー (Paya Lebar) 国際空港があるが、増え続ける空の便をさばくには、空港としての機能がすでに限界に達しようとしている。このためシンガポール政府は1975年、島の東端チャンギ (Changi) に第二の国際空

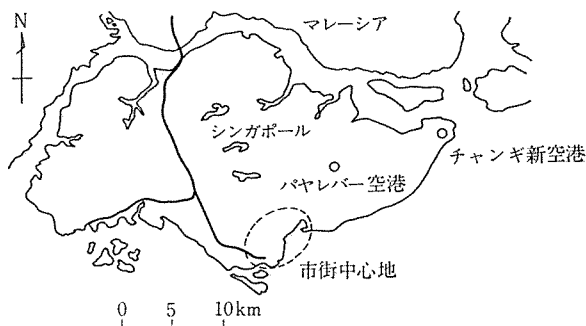


図-1 チャンギ新国際空港建設位置

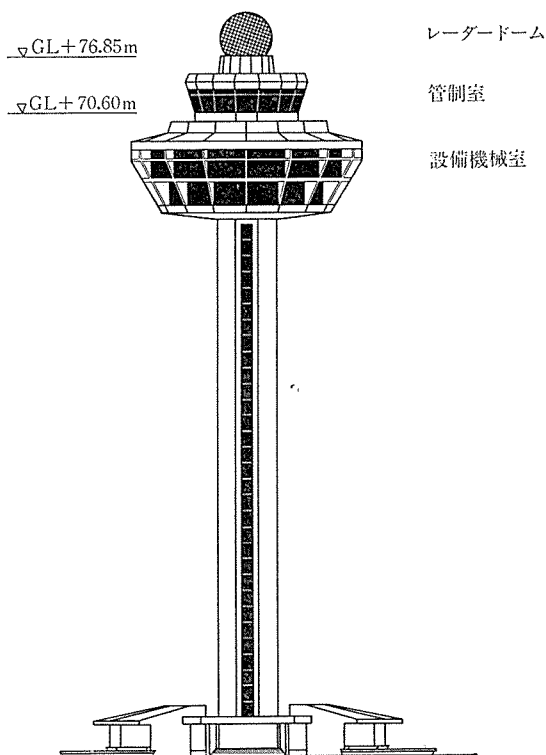


図-2 管制塔完成図

港の建設を決定し、以来工事が進められてきた。今年中には部分的に開港の予定だが、全体が完成すれば4000m滑走路2本を有し、総面積1495万m²(羽田空港の3.5倍)、現在のパヤレバー空港の5倍以上となり、東南アジア最大の規模となる。この新空港の諸施設の中で最も重要な機能を果たす管制塔は空港の入口、ターミナルの正面に位置し、そのユニークな外観と相まってシンボルタワー的存在となっている。

この管制塔は工事施工の面からもユニークなもので、スリップフォーム工法、リフトアップ工法、PC工法が有効に利用された。以下、これら特殊工法を主に当工事の報告をする。

2. 工事概要

工事名称：チャンギ国際空港管制塔新築工事 (Changi International Airport Air Traffic Control Tower)

発注者：公共事業省 (Public Works Department, Republic of Singapore, 通称 PWD)

施工場所：チャンギ国際空港シンガポール

工期：1979年7月3日～1980年11月15日

設計・管理：PWD, Changi Airport Development Division (通称 CADD) Architectural Branch

施工：大林組シンガポール工事事務所 (レーダー施設、管制施設、通信施設設備工事は別途)

3. 建物概要

この管制塔は頂部レーダードームを含め全高約80mで、地上約71mの高さに16角形をした管制室 (Control Cabin) があり、視界を確保するため外周全面がガラス張りとなっている。管制室の柱、屋根は鉄骨造、床は鉄骨大梁とRCスラブの組合せとなっており、RC造塔体の上に載った形で納まっている。

塔体は壁厚50cm、対角の長さ約7mの八角形で内部には階段室、エレベータ・パイプシャフト等があり、3.5m毎に床が設けられている。

管制室の下部には塔体から大きく跳ね出した形で、Balcony Fl., Equipment Fl., Emergency Fl. があり、

* (株) 大林組東京本社技術本部建築技術部技術課

最大出幅約 9.1 m, 最大外径 25.3 m の規模を有する。これら 3 層躯体は RC 造であるが, 各階それぞれ 16 本の放射状大梁にはプレストレスが導入されている。この 3 層躯体は後述のとおり, 塔体とは縁を切った形で地上で製作され, リフトアップ工法により一気に吊り上げられた。このため, 塔体との接続には, 塔体にブラケットを取り付け, これにより支承するという方式がとられたが, この鋼製ブラケットを塔体に取り付けるに当たって

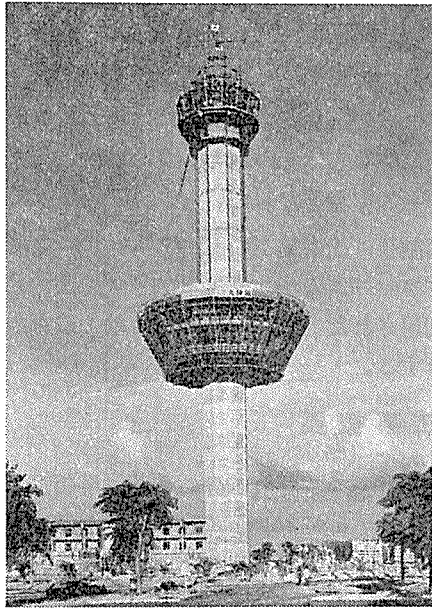


写真-1 リフトアップ中

PC 圧着工法が採用された。

塔体の脚元には噴水が設けられ, 隣合って東西 2 個所に変電・ポンプ室が地下に設けられている。

塔体および上部 RC 躯体の外壁には, イタリア製の白っぽいガラスモザイクタイルが全面に貼られ, チャンギの真青な空に美しく映えている。

4. 工法概要

着工に際しては, 工事発注と開港時期との兼合いから工期の面で特に厳しい要求がなされた。このため, 工期短縮を目指し, 種々検討を行った結果,

- 1) 塔体——スリップフォーム工法
- 2) 跳出し 3 層躯体——リフトアップ工法

の組合せが決定された。

スリップフォーム工法は, わが国ではサイロ, 超高 RC 煙突, RC 電波塔といったタワー等の施工に用いられているが, シンガポールでは数多い RC 造高層ビルにも多く用いられポピュラーな工法となっており, この塔体施工に用いるに当たっても二, 三の特殊事情を除けば技術的に問題はなかった。

跳出し 3 層躯体施工にリフトアップ工法を採用するに当たっては, 地上で型枠, 鉄筋, コンクリート工事, さらに PC 緊張工事を行えるため, 作業の安全性が増し, 品質の向上がはかれる点等も加味された。この 3 層躯体は, 原設計では一層ずつ個別であれば一応リフトアップ

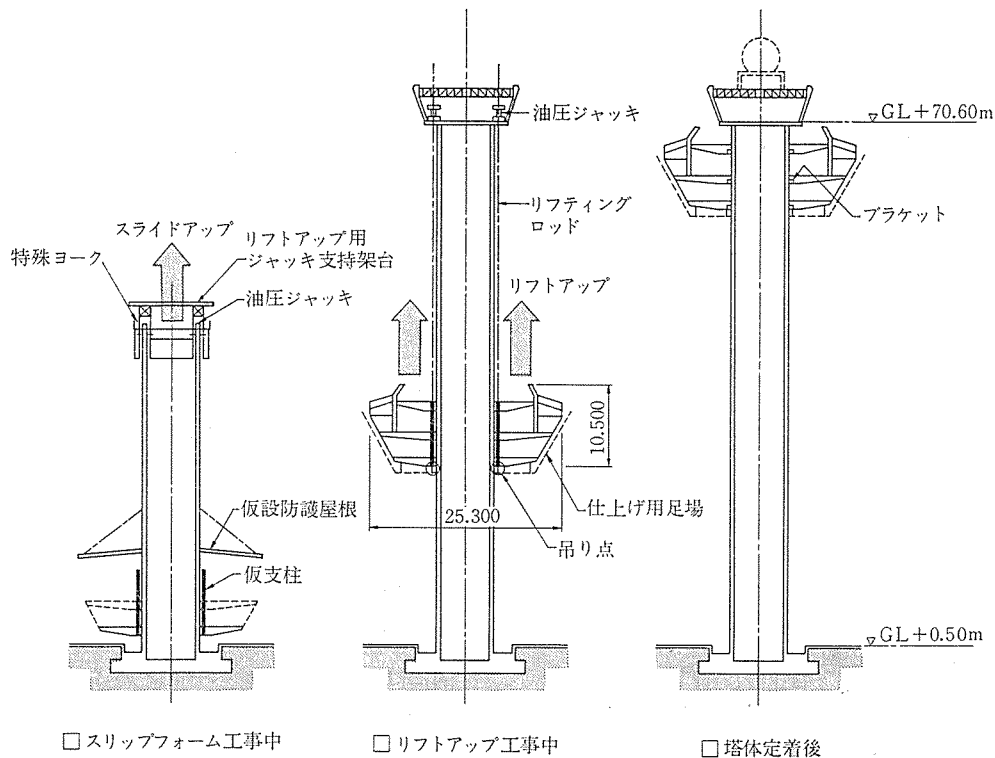


図-3 工法手順図

も可能な納りとなっていたが、工期短縮をはかるため、3層を一体にし同時に吊り上げる方式が採用された。これに伴いハードなリフトアップシステムにかかわる問題点のほかに、

- 1) 3層躯体全体としての構造上の安全性
 - 2) リフトアップ後の塔体との定着方法
- の二点について検討を行う必要があった。
工法手順の大きな流れは図-3 に示すとおりである。

5. 施工概要

5.1 塔体スリップフォーム工事

塔体スリップフォーム工事は、八角形の外周壁のみでなく内部のエレベーターシャフト、パイプシャフトならびに階段室間仕切壁の施工も同時に行われた。図-3 のスリップフォーム工事中の状況図にも示されるとおり、型枠装置の上部には、塔体完成後その頂部に設けられる

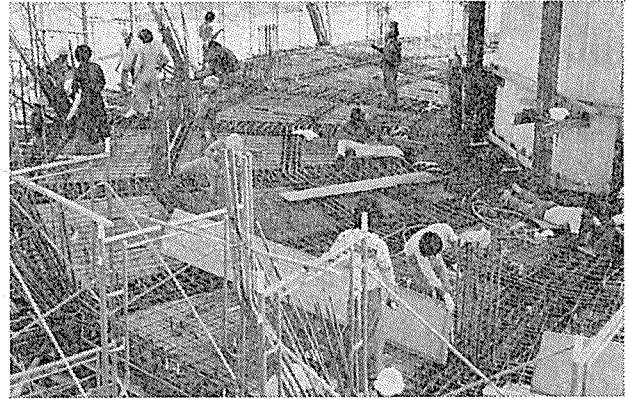


写真-2 Equipment Fl. 施工中

リフトアップ用ジャッキ支持架台が前もって組み込まれ、塔体躯体上昇と同時にせり上げられた。スリップフォーム用ヨーク、ジャッキの数と配置については、この支持架台の重量を支え、押し上げ得るようにするとともに

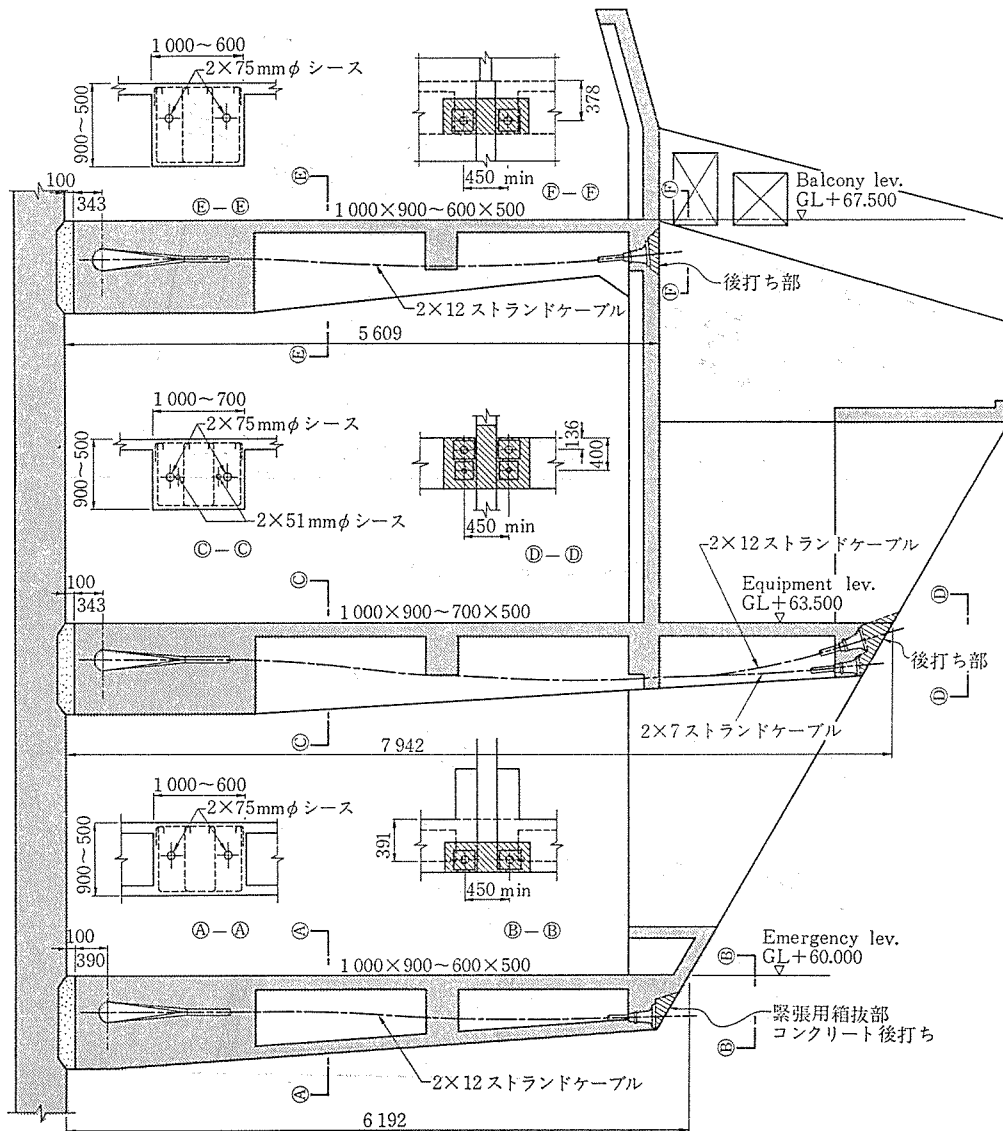


図-4 (1) ケーブルプロファイル

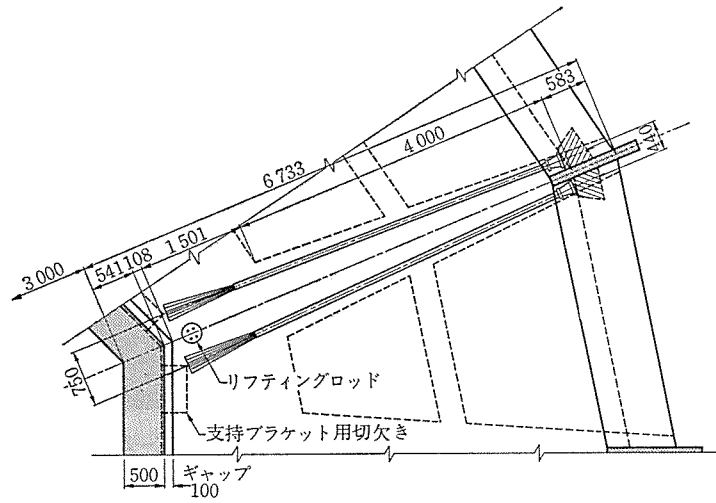


図-4 (2) Emergency Fl.

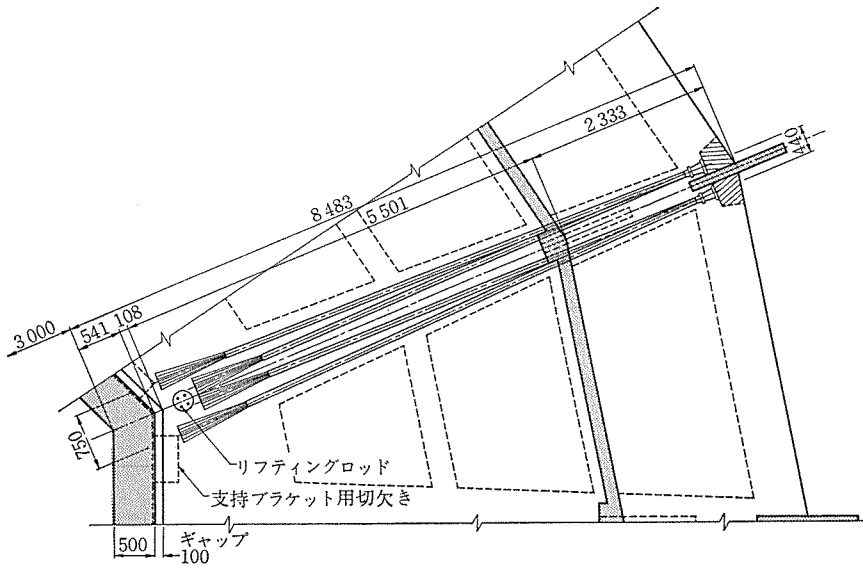


図-4 (3) Equipment Fl.

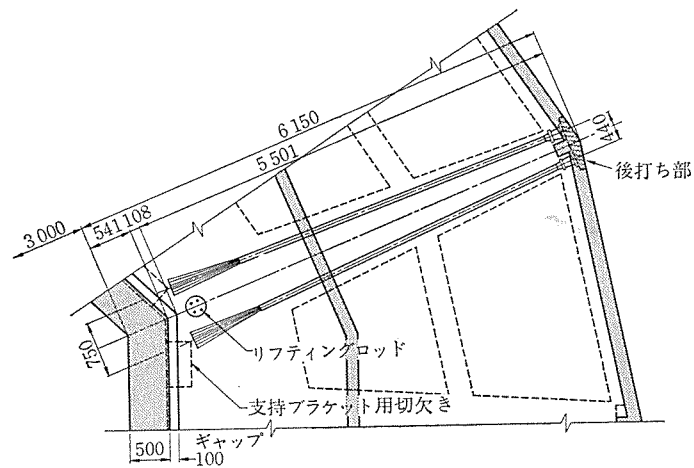


図-4 (4) Balcony Fl.

表-1 ケーブルの種類

階 別	PC鋼線	使用本数 (梁1体当り)	長さ (m)	シース径 (mm)	設計導入力 (梁1本当り) (t)	アンカー形式	デッドアンカー形式	使用ジャッキ, ポンプ
バルコニー	12T12.7	2	5.9	75	270	CCL U-3	ループ状付着定着	ジャッキ: CCL SOM 16t JACK ポンプユニット: OWA TONNA Y26E PUMP
設備機械室	12T12.7	2	7.85	75	472	CCL U-3		
	7T12.7	2	7.85	51		CCL U-2		
緊急予備室	12T12.7	2	5.7	75	270	CCL U-3		

に、リフトアップされる3層躯体を支持するためのブラケット締付け PC 鋼棒用スリーブの埋込み位置、外周壁と内部の壁との取合い位置、壁に設けられる窓、出入口開口部の位置等を考慮して決められた。

コンクリートはポンプ圧送で打設された。鉄筋の揚重は、スリッフォーム装置頂部に設置された特殊クレーンにより塔外部から行われた。工程的には、内部床の梁下より次の階の梁下まで 3.5m 毎に、スライドアップ(コンクリート打設) 1日、梁筋組立て・開口部箱抜き型枠セットほか 2日、計 3日のピッチを基本に進められていった。

5.2 3層躯体 PC 工事

原設計では、この3層躯体は床スラブ・梁から成る円盤状の躯体を一層ずつリフトアップし、外周部にある円周方向の壁や三角形のフィン壁は後打ちとする方式が意図されており、放射方向大梁については中間の Equipment Fl. のみにプレストレスが導入される納りであった。これに対し、3層全体を三次元立体骨組として解析した結果、各層にプレストレスが導入されることとなった。各層 16本の放射方向主梁の PC ケーブルのプロファイルが図-4 (1), (2), (3), (4) に、その種類が表-1に示されている。

緊張に当たっては、都合によりマルチストランド用のジャッキを使用できず、CCL SOM 16t ジャッキを用いストランドを一本ずつ緊張することとなった。アンカー部の納りがマルチストランド方式であり、定着グリップ間のスペースが狭く、通常の姿にジャッキをセットすることができなかった。このため特別に治具を用いて緊張が行われたが、ロックオフによる自動緊張ができないため、緊張導入力の管理に当たっては十分な検討がなされ、実施に際しても慎重な作業がなされた。

5.3 リフトアップ工事

地上で製作され PC 緊張された 3層躯体の重量は、仕上げ用外部足場その他の仮設材等を加えると 1350t に達したが、これを能力 600t の油圧ジャッキ 4台を用いて、Balcony Fl. が地上 67.5m の高さまで約 60m 吊り上げられた。このリフトアップ工事の原動力となったジャッキシステムには当社の「大容量リフトアップシス

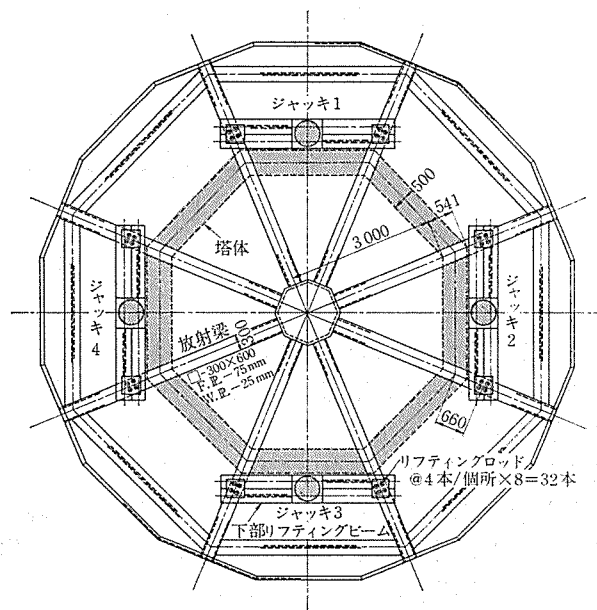


図-5 ジャッキ配置図

テム」が用いられた。

(1) 装置概要

塔体スリッフォーム工事中にせり上げられたジャッキ支持架台は、8本の放射状大梁からなっているが、この大梁2本ずつに1本、計4本の梁(下部リフティングビーム)が渡され、それぞれの梁の中央にジャッキがセットされている。このジャッキの上にさらに梁(上部リフティングビーム)が載せられ、この梁の両端部からロ

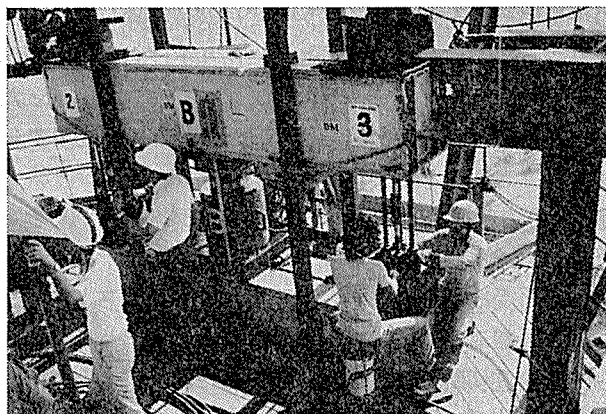


写真-3 リフトアップ架台

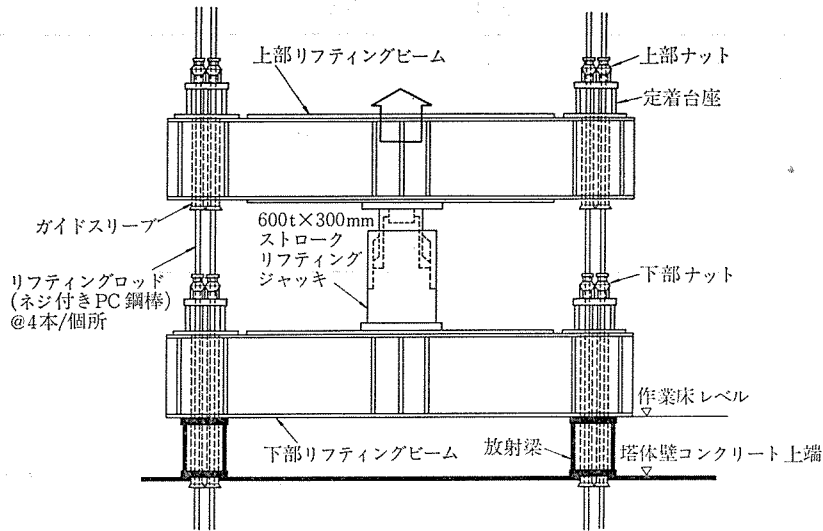


図-6 リフトアップ装置図

ッドが吊り下げられている。このロッドはそれぞれ上部リフティングビーム、下部リフティングビーム、放射状大梁を貫通してセットされており、1個所に4本ずつ一組で8個所、計32本が用いられた。これはねじリブ付きPC鋼棒で、直径36mm、材質はSt110/125（降伏点荷重112t、引張荷重128t）となっている。3層躯体の吊り点は最下層Emergency Fl.の下端で、したがってロッドは3層躯体の塔体側リング梁を貫通して設けた鋼管仮支柱の中を通り、最下部で定着プレート、定着ナットを用いて止められている。この定着部の納りは通常のPC工法の場合と同じである。ロッドは全長約70mを必要としたが、これは標準長さ13.72mのものを専用のカップラーを用いてジョイントされた。

(2) リフトアップ作動概要

上昇はジャッキのストローク300mmピッチで行われるが、この作動は、まず上部リフティングビームの定着台座部でロッドに取り付けてあるナット（上部ナット）を締め付け、ジャッキを作動させるとジャッキラムの上昇につれ上部リフティングビームが上昇し、これにつれてロッド、したがってこれに吊り下げられた3層躯体が上昇する。ジャッキラムが1ストローク伸びきったところで下部ナットを締め付け、ジャッキラムをリターンさせはじめると、下部ナットがききロッドは下がり、3層躯体も下らない。こうしてラムが下がりきったところで上記の手順を繰り返す、荷重を上下のナットで交互に受け持たせながら尺取虫のようにリフトアップを行う仕組みである。上昇につれ上部に突出してくるロッドは適宜切断され地上に降ろされた。

(3) 作業管理

このリフトアップ工事実施上のポイントは、3層躯体

のレベルコントロールにあった。このため、ジャッキ4台のストローク差、3層躯体の傾き、塔体外壁と3層躯体のギャップ寸法の変化、ロッド張力、上部リフティングビームの傾き等を常時測定、監視し、安全な作業を行う体制が取られた。ロッド張力測定には全ロッドにストレイナージを貼りチェックする方法がとられたが、これに要したストレイナーター、スイッチボックス、ゲージ、リード線等一切は日本より運ばれ、すべての作業が当社スタッフの手で行われた。

工程的には、縁切りアップ（上昇量約2m）後、総点検、吊足場架設後、GL+12.3mから67.5mまでアップするのに要した日数は9日間で、1日平均6m強であった。

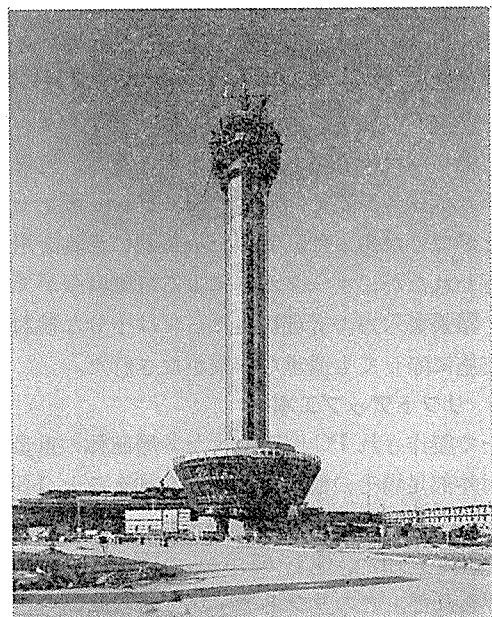
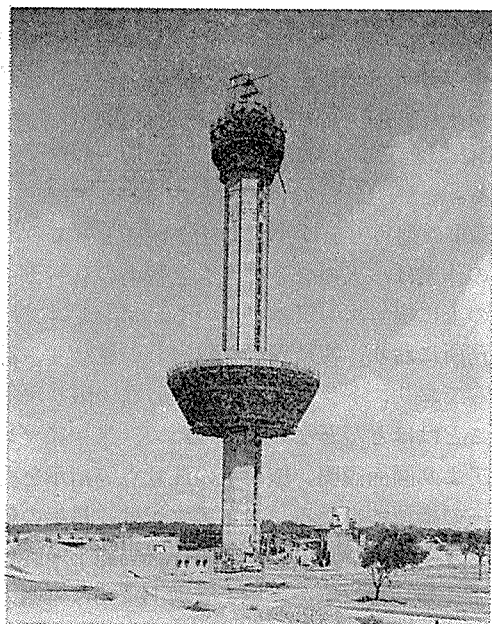


写真-4 縁切り終了、リフトアップ開始



写真—5 リフトアップ中

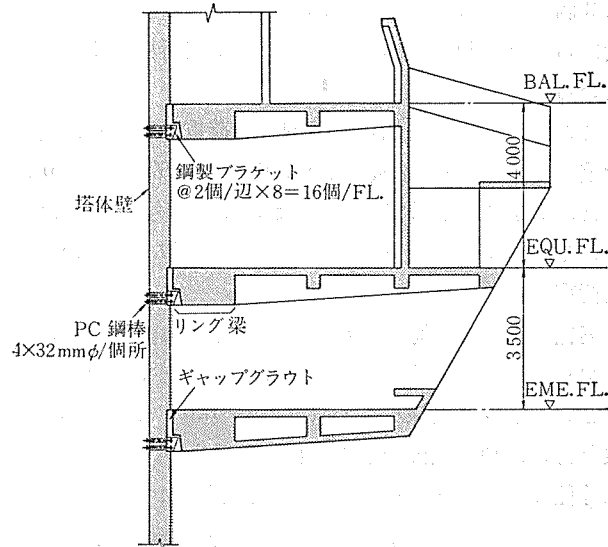


写真—6 リフトアップ完了

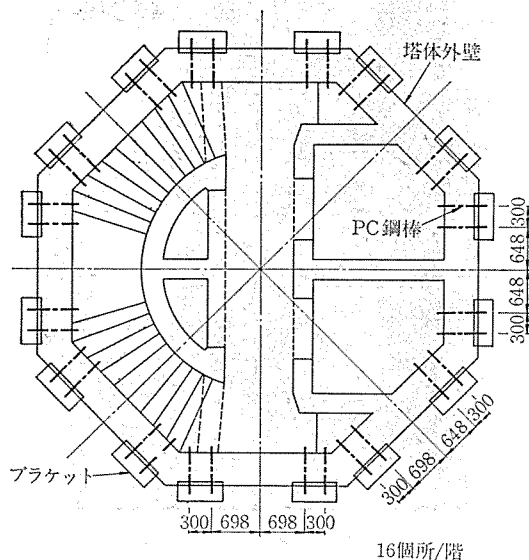
5.4 ブラケット圧着工事

一層の床スラブ、梁円盤躯体の個別リフトアップを意図した原設計では、塔体外壁とリング梁とのギャップ部に高強度コンクリートを打設した後、ポストテンションにより圧着せしめる納りとなっていたが、塔体の円筒に近い剛性と3層躯体側の床面剛性がともに大きく、圧着効果が得られるかどうか信頼性に疑問が生じ、当社設計部等で検討の結果、ブラケット方式が採用された。

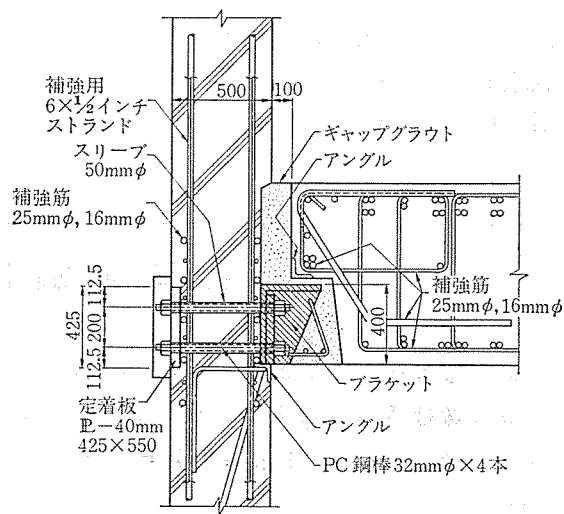
3層躯体が所定の高さまでリフトアップされた後、直ちにブラケット取付け作業が行われた。締付け用にはPC鋼棒、SBPR 95/110、直径32mmが用いられた。図—7、8に示されるとおり、各階層ごとに八角形の一边



図—7 支持部断面図



図—8 ブラケット配置図



図—9 ブラケット支持部詳細

報 告

に2個所、計16個所、全体で48個所にブラケットが設けられた。PC鋼棒はブラケット1個所当り4本ずつ用いられた。

このブラケットに加わる長期設計荷重は約46t、終局荷重(自重 \times 1.4+積載荷重 \times 1.6)は約67tであり、これに対する設計PC導入力は1本当り約43tとなっている。種々のロスを含めた緊張力は70.6t(0.8 \times 引張荷重)であった。

実施に先立ち、写真-7に示されるとおり、一対のブラケットを上下に取り付け、中間にジャッキをセットするという装置で実験が行われた。約120tまでの加力実験を行い、PC鋼棒の張力変化、ブラケットの変形、変位等種々のデータを得、安全性の確認がなされた。



写真-7 ブラケット耐力試験

6. シンガポールにおけるPC工事の一端

シンガポールにおけるPC工事の市場は、日本円にして年間約15億円程度である。施工業者としては、L&M社、PSC社、VSL社の3社があり、このうちL&

M社がCCL工法、BBRV工法、およびDYWIDAG工法の実施権を持っており、シェアも70~75%と最大手である。PSC社、VSL社はそれぞれフレシネー工法、VSL工法で施工しており、シェアは10~15%ずつとなっている。

PC工事の進め方をL&M社を例にとってみると、現場での作業は一人のフォアマンと数名のワーカーが行い、その上に担当エンジニアがいる。エンジニアは通常本社事務所にあり、複数現場を担当し、見積り、計画業務をやっており、トラブルでも発生しない限り現場へ出かけることはほとんどない。そのため、フォアマンがエンジニアより図面説明、施工上の注意点等指示を受け、ワーカーの指揮に当たる。フォアマンは、長年の経験によりジャッキ・ポンプの取扱い等作業実施上の詳細についてはよく知っているが、施工管理上重要な緊張力管理に関連するプレストレスそのものについて理解の足りないうらみがある。したがってゼネコン側で細かい点まで指示し、十分に施工管理を行う必要がある。橋桁の落下といった施工管理の手落ちとみられるトラブルも発生している。

7. あとがき

この管制塔新築工事は構造設計、施工両面にわたってユニークなもので注目を浴びた。ことにハイライトは3層躯体のリフトアップ工事で、重量1350tのRC造の立体的構造物を地上70mの高さまでリフトアップするという工事は、シンガポールではもちろん初めて、世界的にみても数少ない工事の一つで、短期間の作業中、多くの見学者が訪れ、現地の新聞、テレビ等でも一度ならず報道された。

施工を担当した我々としては、この種の作業は一つの小さなミスも大事故につながる難しさがあることを念頭に、何よりも安全な作業を行うよう心掛けてきた。

チャンギ空港が無事開港し、この管制塔がその機能を発揮する日が楽しみに待たれる。

会員増加についてお願い

会員の数はその協会活動に反映するもので、増加すればそれだけ多くの便益が保証されています。現在の会員数は2600余名ですが、まだまだ開拓すべき分野が残されています。お知合いの方を一人でも多くご紹介下さい。事務局へお申し出下されば入会申込書をすぐお送りいたします。
