

大深度立坑におけるクライムフォームを用いた 覆工コンクリートの施工

Construction of concrete lining wall for deep shaft by climbing formwork

掛川 尚郎*

Hisao Kakegawa

要 約

立坑覆工コンクリートの施工には、鋼製大型枠をクレーンでリフトアップして打設する工法が多く採用されるが、香港地下鉄南港線の香港公園換気塔立坑では、立坑全面を防音蓋で覆う必要が生じた。クレーンによるリフトアップが不可能であり、油圧システムによるリフトアップが可能なクライムフォーム（RMD社製）を採用した。クライムフォームは、馬蹄形の立坑平面形状に合わせて24分割された鋼製パネルで構成され、全高68.4mを標準リフト高3.75mで19リフトに分けて施工した。

目 次

- §1. はじめに
- §2. 工事概要
- §3. 構造上の特徴
- §4. 工事における制約条件
- §5. 施工実績
- §6. まとめ

§1. はじめに

本工事は、香港における地下鉄新線南港線工事のうち、地下鉄本線トンネル（延長3.24km）、高架部（延長0.22km）、香港公園換気塔および南風換気塔の建設工事である。香港地下鉄南港線建設工事のうち、香港公園換気塔の工事は、高級ホテル、領事館に隣接し、直径約30mの楕円形状、深さ80mの立坑を、非常に狭隘な地上スペースの中で構築する必要があった。

特殊な平面形状、大深度施工、狭隘な地上スペース等の条件下での立坑構築工における課題を克服するために、覆工コンクリート施工に「クライムフォーム工法」を採用した。本発表は、この「クライムフォーム工法」の施工内容について報告するものである。

§2. 工事概要

工 事 名：香港地下鉄南港線 南風トンネル及び換気塔
建設工事

発 注 者：香港鐵路有限公司（MTRC）

* 国際事業本部香港(支)

表-1 工事内容（香港公園換気立坑及び躯体構築）

項目	単位	数量	備考
掘削土量	m ³	130,000	
ロックボルト	本	2,940	
コンクリート	m ³	19,250	
鉄筋	t	3,170	164.7kg/m ³



図-1 当該工区位置図

工事場所：香港公園及び南風道

工 期：2011年5月18日～2015年7月20日

香港公園換気立坑及び躯体構築工事内容を表-1に示す。

2-1 現場周辺環境

香港公園換気立坑は香港島中心部の商業、住宅、官庁街である金鐘（アドミラルティ）に位置している。図-2は完成イメージのパース図であるが、英国総領事館、

シャングリラホテルを含む4軒の最高級ホテル等、重要保全施設に隣接した周辺環境であった。また、図-2右側にあるように背面は、急斜面、大規模擁壁があり、斜面を利用した多層階の駐車場もあった。このため、騒音・振動規制が非常に厳しく、発破時間、重機稼働時間が制限されたなかでの施工となり、作業サイクルを効率的に進めるための入念な施工計画が必要となった。

2-2 現場状況

発破作業を開始するにあたり発破防護カバーを地上部に設置した(図-3参照)。カバーには30~40dB低減できる防音パネルを使用し、24時間作業ができるようにした。覆工施工時は防音カバーとして継続使用した。発破防護及び防音カバー(一部作業構台兼用)は、設置スパンが30m近くとなるため、作業構台兼用部はトラス構造とした(図-4参照)。

§3. 構造上の特徴

立坑平面形状は、半径が異なる4心円の組み合わせで構成されており、覆工厚は900mm、外周長:93.5m、内周長:87.9mとなる(図-5参照)。

覆工高は地下12階スラブから地上階スラブまで68.4mとなり、標準リフト高3.75mで19リフトに分けて施工した(図-6参照)。スラブなどの内部構造物は覆工コンクリートの後追いで施工され、覆工と内部構造物の鉄筋接続はカプラーを使用した。

地下10階および9階は、別路線の引き込み線建設が予定されており、接続用のトンネル開口が3箇所あるが、クライムフォームのアンカーを設置する必要があるため、覆工コンクリート施工時にはこの開口を設けず、躯体施工完了後に立坑内部からトンネルを掘削する計画とした。

地下12階にはナムフントネルに接続する横坑があるが、上述と同様の理由で、横坑開口部も仮覆工コンクリートを打設し、後にトンネル本坑側から開口を設けた。

§4. 工事における制約条件

4-1 騒音規制

現場位置には高級ホテルや領事館に近接しており、騒音規制が非常に厳しいため、防音対策として先述した防音カバーを設置した。クレーンによる資機材搬出入用として防音カバーに仮開口を設けたが(図-7参照)、開口位置や大きさに制限があり、クレーンで覆工用型枠をリフトアップする工法は採用できなかった。

4-2 現場用地

狭隘な環境のため、重機の設置場所が制限された。また、もともとの地形が傾斜地であり、高低差がある中に、現場事務所、クレーン(55tおよび280t)、鉄筋加工場

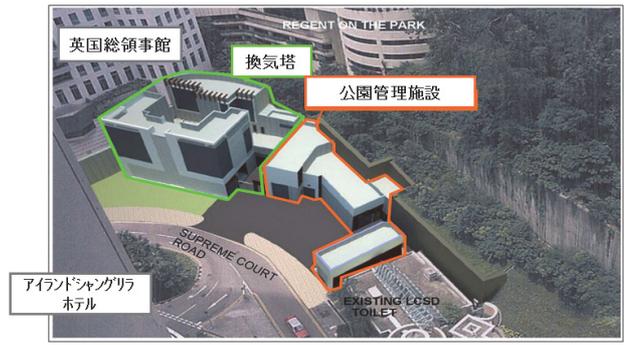


図-2 香港公園換気塔完成イメージ

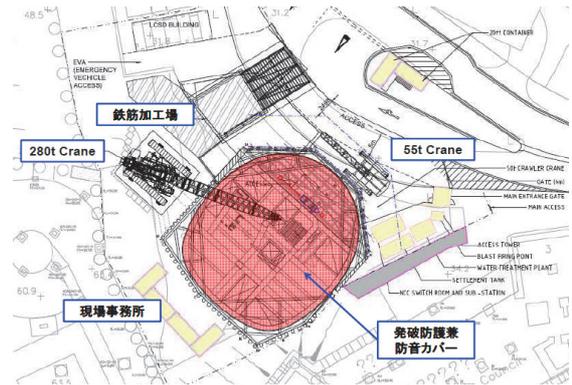


図-3 現場平面図

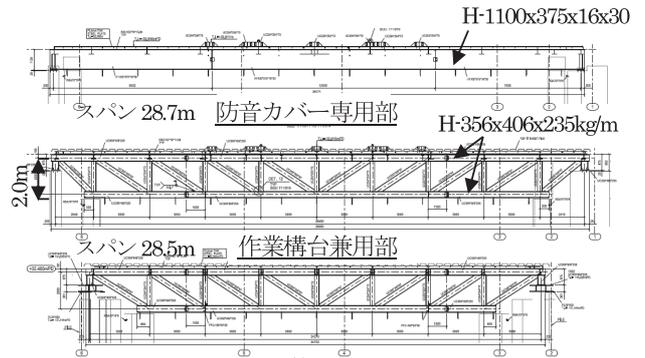


図-4 トラス断面図

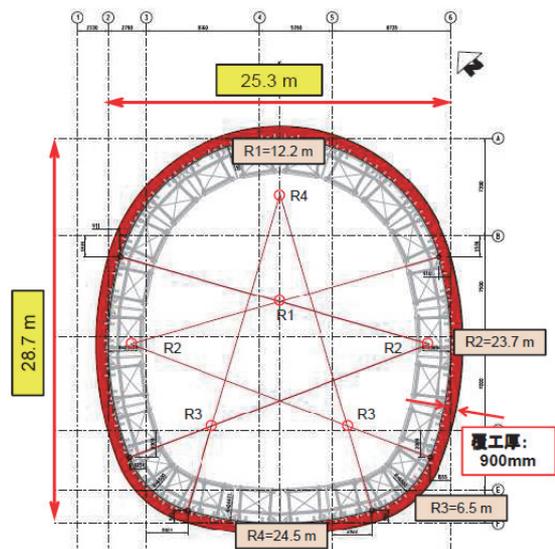


図-5 立坑平面図

など必要最低限の設備を配置した (図-3 参照)。

クライムフォーム組立エリアの確保も困難であり、地下12階スラブ上や地上部の一部、他に現場外ヤードで仮組みしたものをご搬入して組立てた。

4-3 コンクリート供給

覆工用のコンクリートは、強度 45 MPa、フロー値 550 mm を使用した。更に、カテゴリー A と規定されていたため、打ち込み温度を 25 度以下という条件で打設する必要があった。MTRC の標準仕様書では、コンクリートを 3 つのカテゴリー (A, B & C) に分類している。カテゴリー A は、主に地下構造物の外壁や水槽及び橋梁上部工に使用される。

地表面から立坑掘削底盤までは 82.6 m の高低差があり、品質を保持したままコンクリートを供給するために、ドロPPERエース (東海ゴム) を使用した。ドロPPERエースは偏平加工されたゴムホースで、コンクリートの落下速度を低減し、材料分離を防ぐ効果がある。更に、設置方法が、基本的に吊上げるだけでホース途中の固定が不要であるため、クライムフォームから離れた処に設置が可能となり、リフトアップする度に配管を盛替える作業を省略できた。

コンクリートの供給方法は進捗に応じて 3 段階のステップを踏んだ (図-8 参照)。

Step 1 : 7 リフトまでは、地上に据えたポンプからドロPPERエースで地下 12 階に設置した再練り機に落とし、再練り機の隣に据えたポンプで打設箇所まで再圧送した。

Step 2 : 7 から 13 リフトまでは、再練り機と打上げ用のポンプを地下 12 階から 10 階に移動し、地上から地下 10 階までは Step 1 と同様に打設した。

Step 3 : 14 リフトから上部は地上に据えたポンプから直接圧送した。

コンクリート供給に関しては、コンクリートプラントからの供給量が日最大 300 m³ という制約があった。覆工 1 リフト分の設計コンクリート量が 306 m³ であり、実打設量は余掘り部の充填を含み更に増えるため、覆工 1 リフトを 2 ブロックに分割して打設した。

§5. 施工実績

5-1 クライムフォーム諸元

型枠パネルは馬蹄形の立坑形状にあわせて 24 分割とし、所定の曲面に整形された 4 mm 鋼板を用い、高さ 3.8 m、幅は場所により 3.2 m から 4.2 m である。

型枠パネル上部には、先行作業である防水シート貼りおよび鉄筋組立用の作業足場、下部にはアンカーブラケット回収用の作業足場が付属され、1 パネル当りの重量は概ね 4 t、全高は 13.8 m である。

リフトアップは油圧シリンダーによって行った。シリ



図-6 立坑断面図

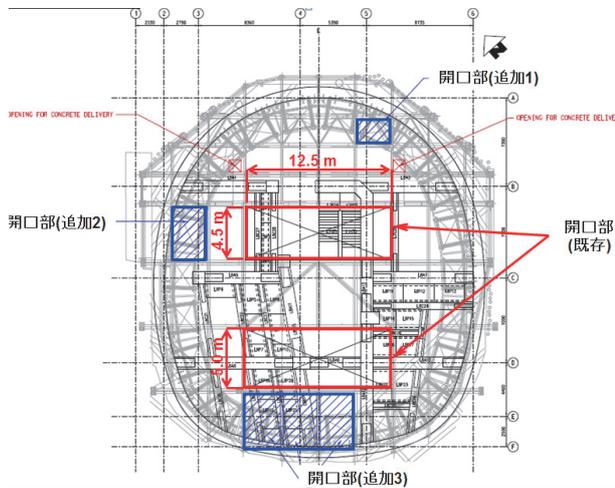


図-7 防音カバー開口部

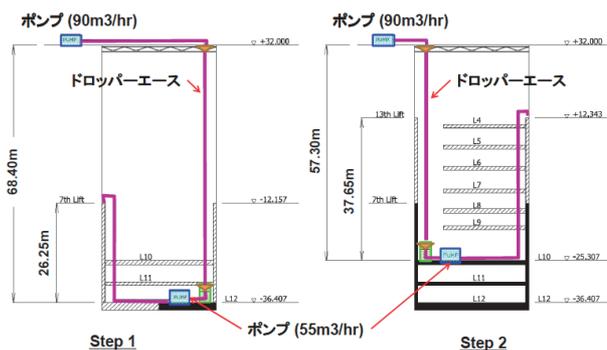


図-8 コンクリート打設方法

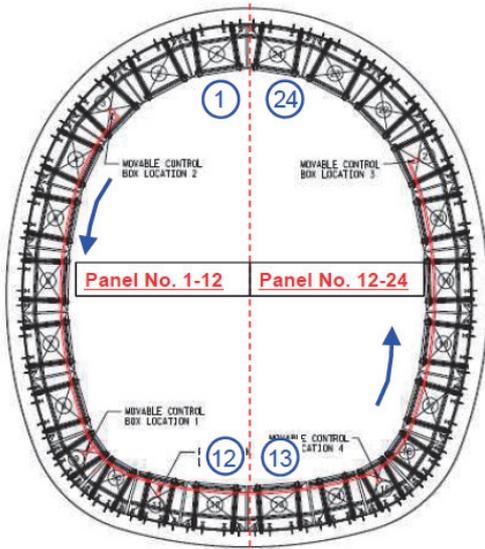


図-9 クライムフォーム分割図

ンダーは、1パネル当り2本取付けられ、ストロークは2.0mであった。

5-2 施工フロー

施工フローを以下に示す。

- Step 1：地下12階スラブ上に、防水シート貼り及び鉄筋組立用の足場を設置する (Step 1～3は、図-10参照)
- Step 2：1リフト分の防水シート貼り及び鉄筋組立
- Step 3：鋼製パネル据付。地上の280tクレーンで部材を地下12階スラブ上に下ろし、スラブ上に設置した25tクレーンでパネル毎に組立後、所定の位置に据付ける。パネルは上部の地山に設置したアンカーと、下部の打設済みコンクリートに埋め込まれたアンカーで固定し、1リフトのコンクリートを打設する。この際、次ステップで使用するアンカーを埋め込む (図-11参照)
- Step 4：1リフトで使用した打設後にクレーンでパネルを脱型し、埋め込みアンカーに主構台を取付ける (Step 4～6は、図-12参照)
- Step 5：主構台上に組み込まれたトロリーに1リフトで使用したパネルを取付けた後、トロリーでパネルを所定の位置に移動する。パネルは上部の地山に設置したアンカーと、1リフトコンクリートに埋め込まれたアンカーで固定。2リフトのコンクリート打設と次ステップで使用するアンカー埋め込み
- Step 6：パネル上部の作業足場を使用して3リフトの防水シート貼り及び鉄筋組立
- Step 7：主構台上のトロリーでパネルをスライドさせて脱型する。更に、下部作業足場を主構台に取付 (Step 7～9は、図-13参照)
- Step 8：主構台に装着された油圧シリンダーで、パネル、

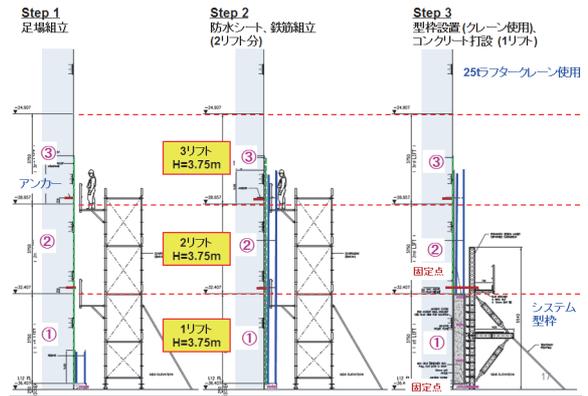


図-10 施工フロー図 (Step 1 - 3)

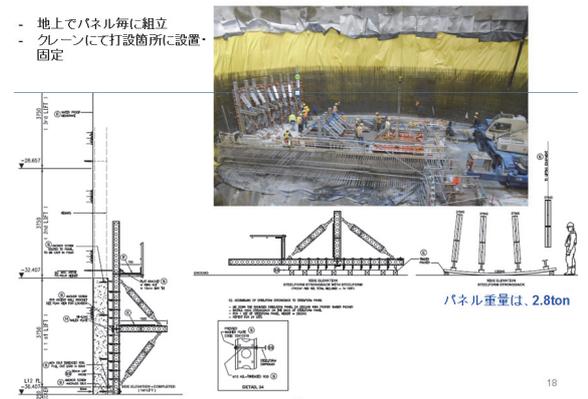


図-11 クライムフォーム組立状況

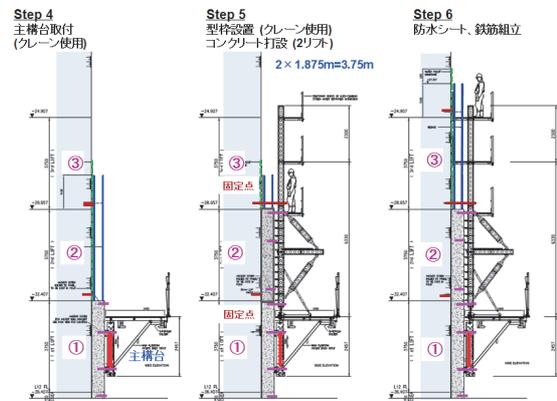


図-12 施工フロー図 (Step 4 - 6)

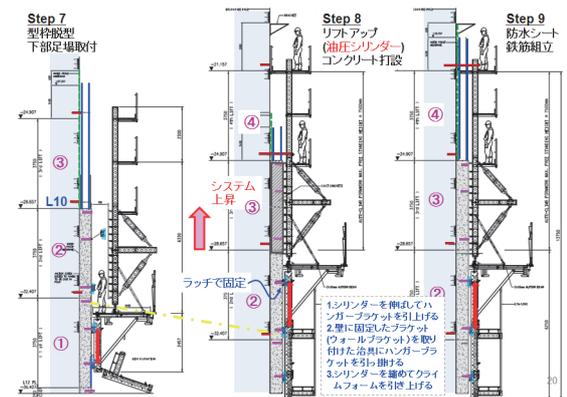


図-13 施工フロー図 (Step 7 - 9)

上下作業足場、主構台を含むシステム全体を上昇させる。シリンダーは2リフトに埋め込んだアンカーに取り付けた専用ブラケットから反力をとる。所定高さ上昇後、主構台上のトロリーでパネルをスライドさせ、所定の位置に固定する。パネル固定方法は前述同様で、埋め込みアンカーを設置した後に3リフトのコンクリートを打設する

この段階で、クライムフォームシステム全体が完成形となる。Step 9以降はStep 6からStep 8のサイクルを繰り返す。

5-3 リフトアップ方法

型枠パネルには、リフトアップ用のメインマストが2本ずつ取り付けられている(図-14, 15参照)。メインマストが通過する軌道線上に埋め込みアンカーを設置し、このアンカーに専用のウォールブラケットを取り付ける。ウォールブラケットはメインマストを挟み込み、上昇する際にガイドレールの役割を果たすため、埋め込みアンカーの設置精度が、直接型枠の設置精度に反映される。

各々のメインマストに1本ずつ油圧シリンダーが装着されており、24セットある型枠パネルは独立して上昇できる。2本の油圧シリンダーは上端をハンガーブラケットに固定・接続される。上昇の際は、油圧シリンダーを伸ばして、ハンガーブラケットを直上にあるウォールブラケットに引掛けて仮固定し、シリンダーを縮めることでシステム全体を上昇させる。シリンダーのストロークが2.0mで打設高は3.75mなので、1度リフトアップするのに、シリンダーの伸縮作業が2回必要となる。上昇完了後は、メインマストに取付けたLatch(ラッチ)をウォールブラケットに引掛けてシステムを固定する。

油圧を制御するパワーパックは、主構台に1台設置され、コントローラーを介して1度に6セットの型枠パネルを上昇させることができる。

覆工コンクリートの施工状況を、写真-1に示す。

5-4 施工サイクル

3リフトまではクライムフォームの組立・設置・改造作業も平行して行ったため17週間を要した。リフトアップも3リフトまでは地下12階に据えた25tクレーンで行い、4リフトへの上昇から油圧で行った。

覆工コンクリートは全周を2分割し、パネル12枚ずつリフトアップさせて施工した。計画時は片側1リフトを8日サイクルで打設する工程とし、各工種が作業箇所を交互に無駄なく移動できるように計画した(図-16参照)。

実施サイクルは色々な遅延要因が重なり平均約2週間であった(図-17参照)。主な遅延要因は、下記3点であった。

- ①あたり取り作業

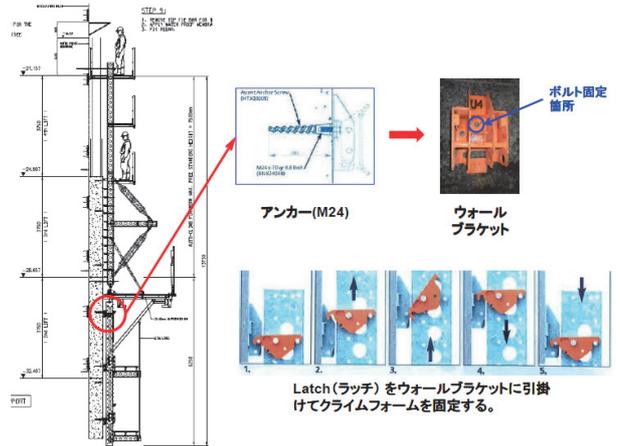


図-14 クライムフォーム固定方法

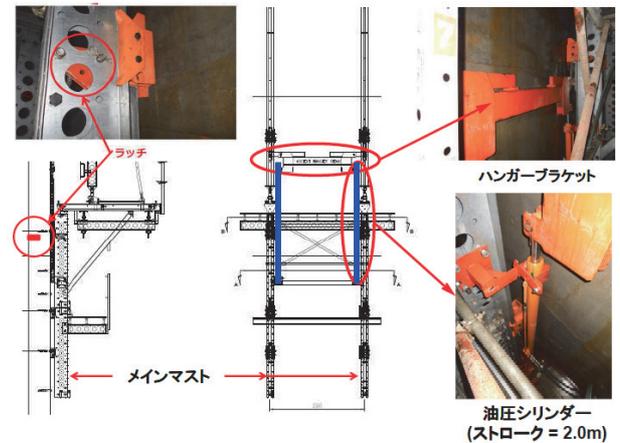


図-15 リフトアップ概略図

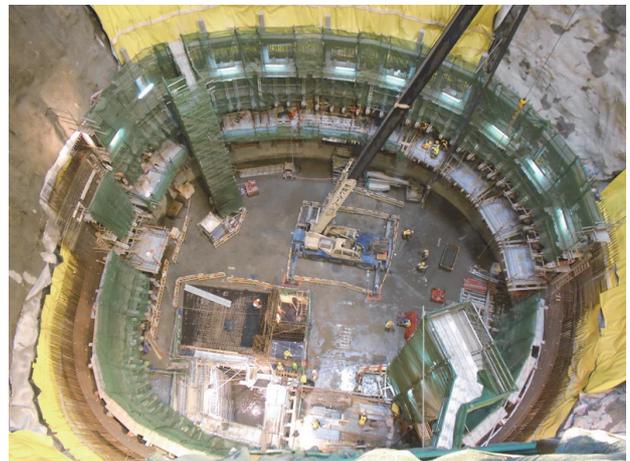


写真-1 覆工コンクリート施工状況

作業内容	作業日											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
コンクリート打設		リフト N										
鉄筋組立												
型枠リフトアップ											リフト N+1	
裸型枠												
コンクリート打設												
防水シート貼り												
アンカー設置					リフト N+2							
鉄筋組立												

図-16 計画施工サイクル

②横坑部との取り合い箇所にて内部及び背面型枠が追加された。また、中間スラブ及び梁位置で打継ぎ箇所が追加された。

③コンクリートプラントからの供給が不安定で、計画数量を1日で打設完了できなかった。

クライムフォームのリフトアップ作業は、鳶工6人で6枚/1方ずつ上昇させ、次方で上昇させた6枚の型枠固め作業を行った。つまり、覆工片側半分のクライムフォームをリフトアップさせて、次リフトの型枠固めまでに4方を要した。

5-5 施工上の課題と今後の展望

まとめとして、課題と今後の展望を以下に示す。

1) クライムフォーム組立時間短縮

現場用地が狭く、材料仮置き場や組立場所の確保が困難であった。更にクレーン専有時間も多く、他作業への影響も甚大である。現地組立時間を節約するため、工場などの現場外で組立てたものを搬入し、現場では設置作業のみとした方が効率的である。但し、トラックに搭載できるサイズにパネル割りも調整する必要がある。

2) 作業足場の荷重制限についての考察

クライムフォーム上部作業足場の荷重制限が100 kg/m²として設計されたため、防水シートや鉄筋の仮置きに制約を受け、クレーンでの荷卸しの回数を増やすといった悪循環であった。荷重制限を大きくすることは可能であるが、部材やアンカーのサイズアップによるコスト増も考慮する必要がある。

3) 型枠設置精度の確保

施工手順上、鉄筋組立後にパネルを設置して埋め込みアンカーを設置するため、鉄筋との取り合いによってアンカー位置に微妙にズレを生じる。最終的には19リフトを打設する際に、水平方向に180 mmのズレを生じた。前述のように、パネル設置位置はアンカー設置精度に支配され、一度位置ズレを起すとクライムフォームはズレたなりに上昇し、軌道修正はほぼ不可能である。アンカーの設置精度の確保が非常に重要である。

§6. まとめ

以下に、まとめを示す。

- ・狭隘な環境やクレーンの使用に制約があり、リフト数(施工延長)が多い条件では、クライムフォームによ

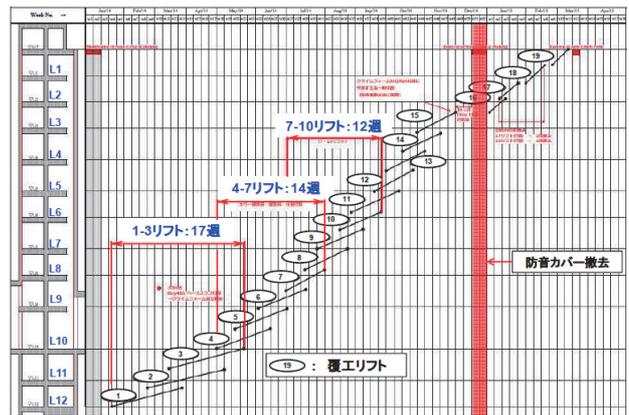


図-17 実施工程



写真-2 香港公園換気塔現状

- る覆工コンクリート施工は有用である。
- ・クライムフォームの設置や移動作業はシンプルなため、作業に慣れれば施工は非常にスムーズである。外的問題がない場合は計画サイクルで施工できた。
- ・覆工コンクリートと内部躯体構築作業を平行して行えるため、工事全体の工期短縮にも繋がる。ただし、上下作業や高所作業になるため、徹底した安全設備の設置と管理が重要である。

現在、換気塔躯体構築は完了し、最終引渡しに向けて内部仕上げ工事及び設備工事を行っています。現場の現状を、写真-2に示す。

本報文の作成にあたり、終始適切な助言を賜り、また丁寧に指導して下さいました関係者各位に感謝の意を表します。