

地下空洞のアーチ覆工型枠における工夫

Construction Detail of Underground Cavern Arch Lining Formwork

大高 邦夫 *
Kunio Otaka

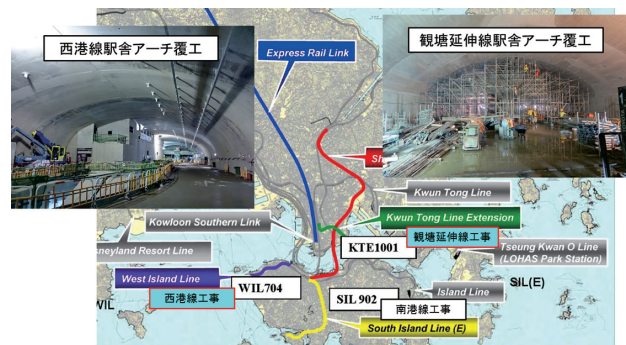
要 約

観塘延伸線工事は、香港九龍地区における既設線を新設駅まで延長するトンネル 2.1 km と、将来交差する新設乗換駅を施工する工事である。新設駅舎は 2 路線が交差する十字形状となっており、そのうち最下層のプラットフォーム及びコンコースは、土地形状の制約から両端部が地下空洞（カバーン）構造となっている。カバーンは幅 22 m、高さ 11 ～ 16 m、各両端部延長が 80 m となっている。

本稿は、駅舎用カバーンの掘削工事およびくさび型支保工を使用したアーチ覆工型枠の施工実績に関して報告するものである。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 地下空洞の掘削
- § 4. アーチ覆工
- § 5. 当初計画と対策計画との比較
- § 6. 施工方法詳細
- § 7. 本施工における効果・課題と今後の展望
- § 8. まとめ



図－1 西港線、観塘延伸線、南港線位置図

§ 1. はじめに

香港では岩盤線が高く、岩盤内に地下空洞（カバーン）を設けて地下鉄駅舎を建設することもあり、カバーンでの駅舎建設ではセントルを用いた覆工工事が一般的に採用されているが、当工事ではアーチ覆工型枠を用いて覆工工事を実施した。

本稿は、香港地下鉄（MTR）観塘延伸線工事における駅舎用カバーンの掘削工事およびくさび型支保工を使用したアーチ覆工型枠の施工実績に関して報告するものである。

§ 2. 工事概要

国際事業本部香港支店では、現在図－1 に示すように香港で建設中の地下鉄新 5 路線のうち、西港線 704 工区、観塘線 1001 工区、南港線 902 工区を施工している。

このうち、観塘線延伸工事は、香港九龍（カオルン）地区を東西に走る既設の観塘線の油麻地（ヤウマーティ）

駅から新設される黄埔（ワンポア）駅までの延伸工事である。

本工区の工事内容は、図－2、3 に示すように、既設の油麻地駅端部の将来線用トンネルから新設の何文田（ホームンティン）駅を通り、新設の黄埔駅までの発破工法によるトンネル工事（延長約 2.1 km）および何文田駅の建設工事である。その他、駅出入口、緊急避難立坑、仮設作業用立坑、連絡通路橋梁設置、既設油麻地駅改造工事が含まれる。

何文田駅は、観塘延伸線と直角に交差する将来線の沙中線用駅を配した乗換駅である。

- ・観塘延伸線駅舎：幅 22 m、高さ 16 m/11 m、延長 220 m、中間部を明かり掘削、両端をカバーン掘削
- ・沙田至中環線駅舎：幅 22 m、延長 230 m、5 階建て、掘削深さ約 50 m の開削駅舎本体の掘削量は明かり・カバーン部分を合わせて土砂：約 30.0 万 m³、転石層：約 11.9 万 m³、岩：約 27.5 万 m³、合計約 69.4 万 m³であった。

* 国際事業本部観塘延伸線工事事務所

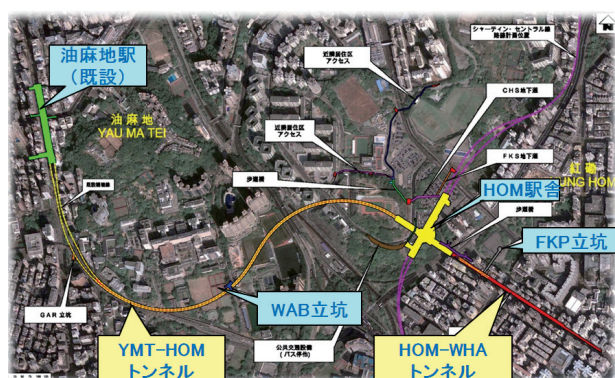


図-2 工区概要図

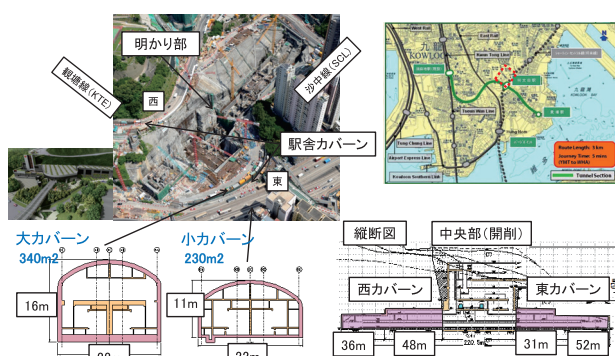


図-3 駅舎位置図

§3. 地下空洞の掘削

地下空洞の掘削，その後の覆工構築においては下記のような制約があった。

- ・2つの駅を同時施工するため，隣接箇所では発破掘削と躯体構築を行う並行作業となった。
- ・図-4に示すように，中央の明かり部分の施工のため，地下空洞部分の施工箇所が東西で分断された。
- ・掘削ズリ出し，材料搬出入は立坑（西側はWAB立坑，東側は仮設FKP立坑）に限定された。

観塘延伸線何文田駅の掘削は，中央60m区間をベンチ発破による明かり掘削で行い，両側80m区間の東西カバーンは山岳NATM工法による掘削とした。カバーン掘削は，図-5に示すように，本線トンネル（全断面発破）からカバーン断面変化箇所へ向けて駆け上がる導坑を掘削し，上半部を切り抜けた後に下半部をベンチ発破で掘削した。

当該施工範囲は岩盤状況が良好であったため，上半導坑の掘削断面を本線トンネル断面とほぼ同じ掘削形状・掘削面積（72m²）とし，下段ベンチ掘削量を削減することで工期短縮を図った。写真-1に上半導坑貫通状況を示す。

駅舎は東カバーンを先行して施工し，東カバーン躯体構築中にも，中央部の明かりベンチ発破掘削を継続した。また西カバーン掘削は，写真-2に示すように明かり部及び東側躯体工事と同時施工となった。このため，西

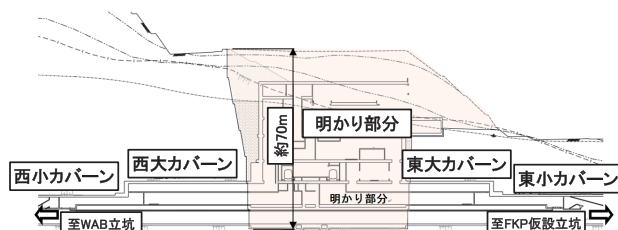


図-4 地下空洞部施工箇所と明かり部分の位置関係

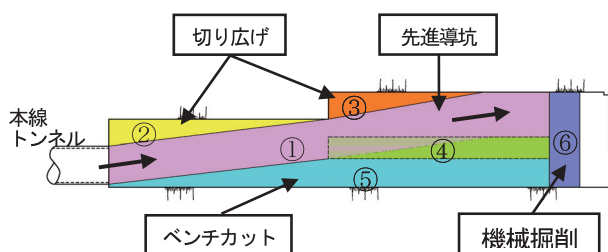


図-5 駅舎カバーン 掘削順序



写真-1 上半導坑 掘削・貫通状況

写真-2 明かり躯体部構築状況
左側に西カバーン貫通予定箇所

カバーンの掘削では明かり部の躯体構築に発破の影響を与えない配慮が求められた。発破の影響を最小限とするために，明かり部との境界の5m区間を残置した状態にて発破を実施し，最終的にこの部分を機械掘削で施工した。5mの地山部分の安定を図るために，鏡部分に対し鏡吹付けおよびパターンロックボルト打設の対策を行い，発破用防護設備も設置した（図-6）。

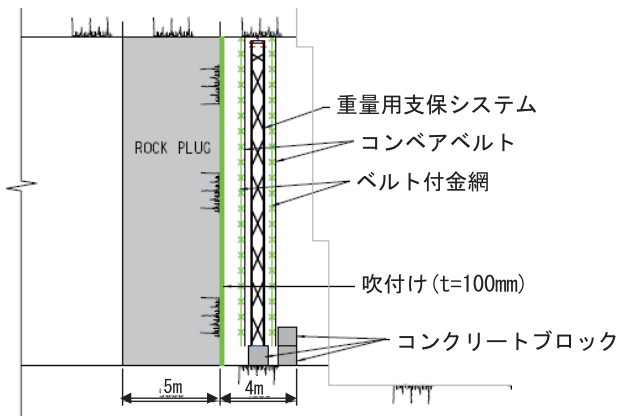


図-6 発破用防護設備

§4. アーチ覆工

4-1 コンクリート打設計画

コンクリートの供給地点は仮設 FKP 立坑の地上部であったため、コンクリート打設箇所は、供給地点から深さ 35 m の仮設立坑を経由し、平面で最大 440 m の長距離圧送となった。図-7 に圧送計画図を示す。

600 mm の高流動コンクリートを用い、凝結遅延剤を荷降ろし前に 1 m^3 当たり 1.0 l を添加した。

4-2 当初計画案および課題

覆工は企業先設計であり、岩盤状況が非常に良好であると想定されたため、アーチ覆工はスプリングラインから下の側壁が有筋構造であり、アーチ部分は無筋となっていた。また図-3 の通り、駅舎カバンの断面は途中で変化し、掘削面積は、大カバンで 340 m^2 、小カバンで 230 m^2 となっている。

このため、小断面はベーススラブから側壁とアーチを一体化して打設することとし、大断面はコンコーススラブ上にセントルを配置する計画とすることで工期短縮を図った。

大断面用セントルはコンコーススラブ上からの施工となるため高さ 7 m のセントルであるが、小断面用セントルはベーススラブからの施工となるため、図-8 及び写真-3 に示すように、セントル高さを 10.5 m として計画した。

しかし、企業先設計者が東カバンの切羽観察記録をもとに、アーチ覆工を打設する直前にアーチ部を有筋構造とする設計変更を行った。この追加鉄筋のために工期の遅延が懸念された。

4-3 対応策

東カバンの小断面に関しては、設計変更前に既に施工を開始していたため、写真-4 のようにセントルの直前へ配筋架台を追加設置して鉄筋組立を行うこととした。

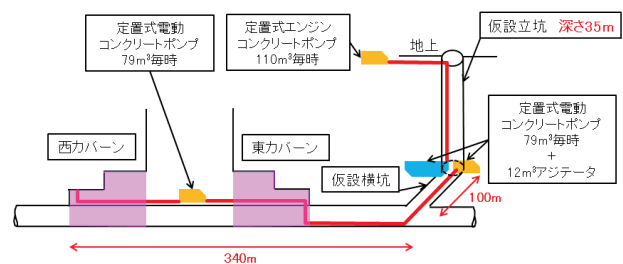


図-7 コンクリート圧送計画

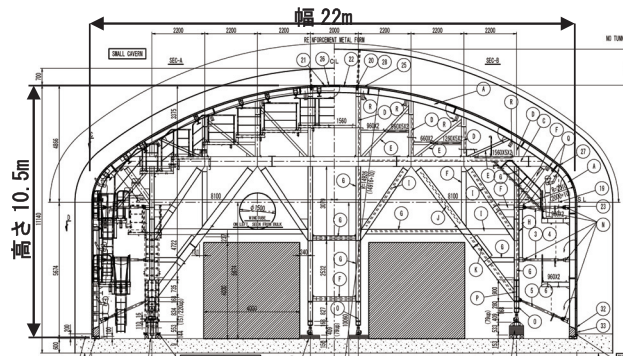


図-8 小断面用セントル

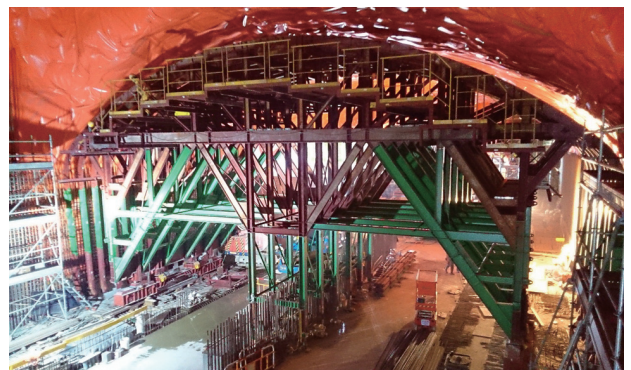


写真-3 セントル組立状況



写真-4 追加鉄筋架台

このため作業スペースが減少し歩掛り低下を招いたため、大断面のアーチ覆工施工では抜本的な対策が求められることとなった。この時点で、反対側の西カバンは掘削中であり、東側のみではなく将来の西側施工にも活かせる対策を考慮する必要がある。

まず、写真―5で示すようにアーチ覆工の鉄筋足場を支保工と兼用させることにより、足場の組立解体作業を低減した。また、1回の打設延長をセントルより長くし、カバーン内で鉄筋・型枠工を並行作業とすることにより工程を促進する計画とした。

§ 5. 当初計画と対策計画との比較

5－1 作業フローの比較

図―9に示すように、作業フロー比較により、くさび式支保工の場合、鉄筋作業用足場解体工が必要ないことが理解できる。

セントルの解体作業は、ミニクレーン、高所作業車を使用することから作業占有面積が大きく、付近の作業効率に多大な影響を及ぼす。

本工法の場合、支保工の解体は後方から連続して行うことができ、さらに機械を用いず人力による施工のため、作業中の占有面積を少なくできる。また、解体した資材を前方に先送りして再使用するため、後続施工の中央壁を並行して作業できるメリットがある。

5－2 施工実績

表―1に施工実績日数を示す。

5－3 工程の差異に対する考証

観塘延伸線の支保工施工箇所をセントルで施工した場合、東大カバーンは延長31mに対し39日を要することとなり、支保工での施工に要する40日と大差が無いように思われる。しかし、表―2に示すように、解体したセントル部材のベースからコンコースレベルへの荷揚げ、狭い作業空間となるコンコーススラブ上での組立、コンコーススラブの補強支保工の設置・撤去により、セントル組立期間の約1ヶ月に加え、更に時間を要することとなる。

合計日数の比較により、当初計画のまま施工した場合、64日間、約2ヶ月工程が延伸し、それに伴うコストも増大することとなる。

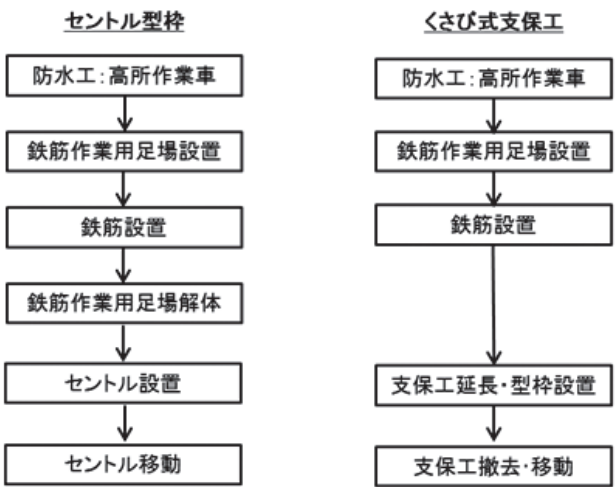
§ 6. 施工方法詳細

6－1 支保工

型枠用支保工材は、海外で一般的なりングロック（くさび緊結式、RMD社）を使用した。支柱は1.2mスパンで配置し、1.8m長の部材を用い最大4段、7.2m高とした。アーチ状の型枠のため端部に水平成分荷重が作用する。これを抑止するために、5箇所にアーチの左右を接続する水平つなぎ材を設置した。さらに水平つなぎ材の座屈を防止するために、図―10に示すように奥行方向の単管継材を支柱へクランプ止めし、この単管上に水平つなぎ材をクランプで緊結した。



写真―5 支保工兼用鉄筋架台



図―9 覆工施工フロー

表―1 施工実績日数

項 目	延長m	開始	終了	期間 (日)	日当り (m)	摘 要
東小カバーン	52	2014/1/5	2014/3/9	63	0.8	セントル1基 組立期間を含む
東大カバーン	31	2014/9/21	2014/10/31	40	0.8	支保工 組立期間を含む
西小カバーン	36	2015/5/15	2015/6/5	21	1.7	同上
西大カバーン	48	2015/4/16	2015/5/28	42	1.1	同上
合計日数				166		

表―2 当初計画での予想工期日数

項 目	延長m	開始	終了	期間 (日)	日当り (m)	摘 要
東小カバーン	52	2014/1/5	2014/3/9	63	0.8	セントル1基 組立期間を含む
東大カバーン	31	2014/9/21	2014/10/28	52	0.6	荷揚げに 2週間を追加
西小カバーン	36	2015/5/15	2015/6/27	44	0.8	
西大カバーン	48	2015/4/16	2015/6/13	72	0.7	荷揚げに 2週間を追加
合計日数				230		

支保工を設置するコンコーススラブはアーチ覆工の施工荷重に耐えうる構造として設計されていないため、コンコーススラブの下に図-11に示す支保工を設置した。アーチ覆工支保工と同様に、リングロック支保工材を1.2 m スパンで設置したが、コンコーススラブ下での作業アクセスを維持するため、通常は2スパン2段(2.4 m × 2.4 m)の開口部を2箇所設け、アーチ覆工打設時に開口部を閉じることとした。

6-2 型枠

リングロック支保工上に大引き材の支保としてアーチ状H鋼を設置した。長さ約25 mのアーチ状H鋼を1部材が2 m以下80 kg以下になるように14分割し、人力で容易に設置できるようにした。部材同士の接続はボルトで行い、受けジャッキに乗せる受け材を配置した。

大引き材はRMD社のGTX木梁を採用し、250 mm ピッチで配置し18.5 mm 厚ラワン合板を支持することとした。根太の大引きへの固定は、写真-6および図-10に示すように、GTX 木梁専用に用意されている固定クランプを大引きにボルト止めした。

6-3 資機材搬出入

本施工においては、観塘延伸線駅部が東・西カバーン、中央明かり部に分断され、厳しいアクセスの制約があった。特に、資機材の搬出入に関しては、関係者間でスケジュールを綿密に調整し作業を進めた。

- ・東カバーンの施工はFKP立坑を搬出入路としたが、トンネル本線構築工と同時並行作業となったため、資機材の搬入・搬出、コンクリート打設優先順位の綿密な調整が必要となった。
- ・西カバーン構築工では、何文田駅舎スラブに設けた仮開口を物流路とし、タワークレーンを用いて資機材の搬入・搬出を行ったが、駅舎本体構築工との作業調整が必要となった。
- ・補助的にFKP立坑を構築完了後の資材搬出路としたが、トンネル本線内では既に軌道業者が施工を開始しており、詳細な作業間調整が必要であった。

§7. 本施工における効果・課題と今後の展望

7-1 本工法採用における効果

以下に、くさび支保工を用いた覆工施工の効果を列挙する。

- ・想定していなかった鉄筋工が増加したにも関わらず、当初工程を確保することができた。
- ・高さ12 mのセントルに要する組立・解体の時間を、合計約2ヶ月短縮することができた。
- ・工期達成のためにクリティカルとなった鉄筋組立を、支保工部材を追加し打設延長を伸ばして対応したが、

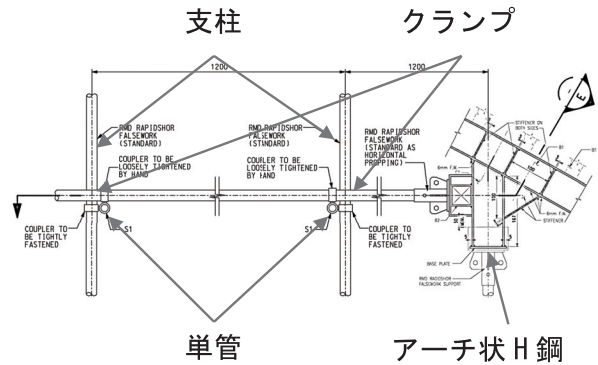


図-10 水平つなぎ詳細

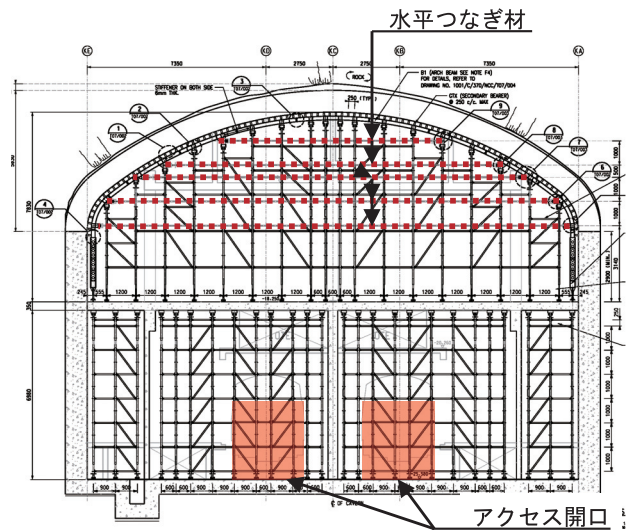


図-11 コンコース支保工配置図



写真-6 駅舎地上部全景

そのまま覆工の支保工材として利用できるように計画し、さらに効果的な対策となった。

- ・セントルを増やすのは製作に長時間を必要とするのに対し、支保工材の追加は作業人員を増加させることで迅速に対応可能であった。

7-2 本工法採用における課題と今後の展望

以下に、くさび型支保工を使用した覆工施工を通じて得られた課題と将来への展望を述べる。

- ・鋼材・重量支保工等との組み合わせで通路の確保は可能である。打設時に通行止めが可能であれば、くさび型支保工に仮開口部を設けることで対応が可能である。
- ・実際に足場組立、重量作業を担当していたのは、インド・パキスタンの非熟練工であり、香港人熟練大工の大幅な増員は不要であった。非熟練工でも作業可能である。
- ・工費に関しては、セントルと比較して施工延長 100 m 程度までの場合は安価であった。それ以上の場合、スライドセントルによる反復作業の効率性が活かされるが、別途防水・鉄筋足場が必要になる。
- ・施工に時間を要する非標準断面への応用が想定され、スライドセントルを併用した同時施工により、工期短縮が可能である。国内においては、非常駐車帯や機械室等の特殊断面・断面変化部で適用可能と考える。

§8. おわりに

現在、觀塘延伸線工事は 2016 年の開業に向けて建築仕上げ、機電、設備工事が最盛期を迎えている。写真一 6、7 に 2016 年 2 月時点の工事状況を示す。



写真一 7 カバーン内プラットフォーム状況

最後に、本工事を進めるにあたり、ご指導、ご協力を頂いた関係者各位様に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 清水達郎・岩田修：香港地下鉄西港線 704 工区工事市街地における岩盤地下空洞の掘削及び構築，建設機械化施工，P70，2013 年 6 月号。