

重要施設に近接した大断面・大深度立坑における発破掘削の施工報告

小塚 孝*

Takashi Kozuka

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（本線延長 3.24 km）、高架部（本線延長 0.22 km）、香港公園換気立坑および南風換気塔の建設工事である。本報告は、重要施設に隣接する香港公園換気立坑において実施した大断面・大深度の発破掘削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）

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

香港公園換気塔掘削工事内容を表－1 に示す。

表－1 工事内容（香港公園換気立坑掘削）

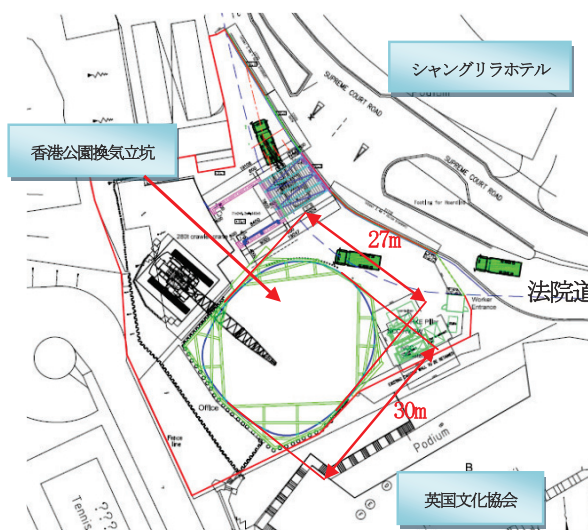
項目	単位	数量	備考
掘削深度	m	84.8	
掘削断面積	m ²	684.8	27 m × 30 m 馬蹄型
外周長	m	94.0	
掘削土量	m ³	8,000	機械掘削
		44,500	発破掘削
火薬使用量	t	38	含水爆薬、エマルジョン
ロックボルト	本	2,940	スウェレックスボルト

(1) 現場周辺環境

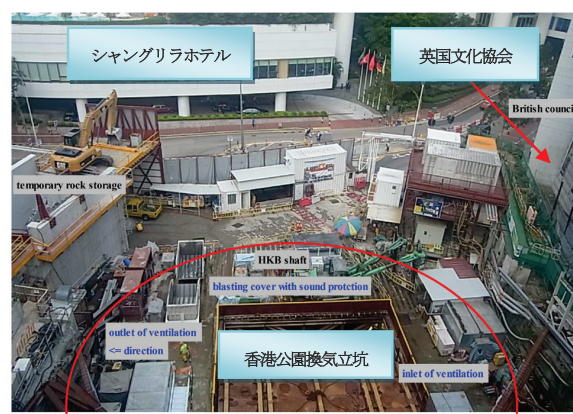
香港公園換気立坑は香港島中心部の商業、住宅、官庁街である金鐘（アドミラルティ）に位置し、英国文化協会、シャングリラホテルを含む 4 軒の超高級ホテル等、重要保全施設に隣接した周辺環境であった。そのため騒音・振動規制が非常に厳しく、発破時間、重機稼働時間が制限されたなかでの施工となり、作業サイクルを効率的に進めるため入念な発破計画が必要となった。

(2) 現場平面図、現場状況写真

現場平面図を図－1 に、現場状況を写真－1 に示す。



図－1 現場平面図



写真－1 現場状況

3. 発破防護工

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。パネルには 30～40 dB 低減できる防音パネルを使用し、24 時間の作業ができるようにした。

設置は約 3 ヶ月所要し、立坑を機械掘削により約 8 m 掘削した後に開始し、掘削深度が発破開始位置に到達するまでに完了した。

4. 発破計画および実績

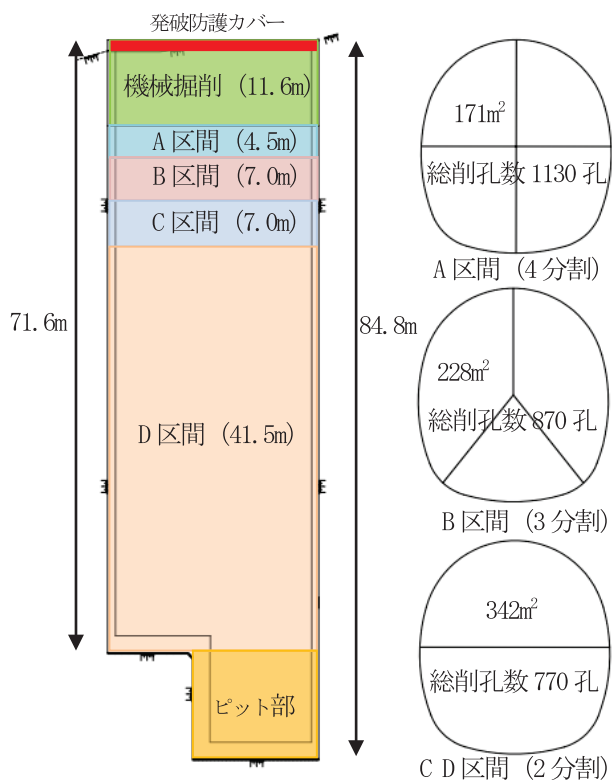
発破計画は立坑深度に応じ 4 区間に分け、それぞれの制約条件を考慮し、2 日で 1 発破のサイクルを目標とし、掘削・発破パターンを決定した。立坑側面図および各区間における掘削パターン断面図を図－2 に、また各区間における施工実績を表－2 に示す。

各区間の特徴を以下に示す。

(1) A 区間 深度 11.6 m ～ 16.1 m 区間

地上の近接構造物との離隔が十分に確保できないことから、発破による振動制約より斉発量が 0.2～0.6 kg に制限され、削孔長を 0.6～1.1 m とした。削孔長が短く

* 国際事業本部南港線地下鉄(出)



図－2 立坑側面図、断面図

表－2 区間別掘削実績

区間	区間長 (m)	発破当り進行 (m/ 発破)	稼働日当り進行 (m/ 日)	発破サイクル (日)
A	4.5	0.18	0.09	2.1
B	7.0	0.47	0.22	2.1
C	7.0	0.88	0.35	2.5
D	41.5	0.94	0.42	2.2

バルクエマルジョンが使用できないため、カートリッジタイプ含水爆薬の使用を必要とした。また火薬運搬許可の規制により装薬量が120 kgと制限されたため、切羽を4分割にする必要があった。さらに発破時間は鉱山局立会の下16時～17時と制限された。

(2) B 区間 深度16.1 m～23.1 m 区間

バルクエマルジョンの使用が可能となり、1発破当り装薬量が増加できたため切羽を3分割とした。このため斉発量を0.8～1.1 kg、で削孔長1.5～1.7 mとした。

(3) C 区間 深度23.1 m～30.1 m 区間

斉発量が1.2～1.4 kgに増加できたため、削孔長を1.7～2.0 mとし、切羽を2分割とした。発破時間は16～17時としていたが、騒音規制のため19時～翌7時までクレーン作業ができず、装薬、ズリ出し作業に大きく影響し、目標とする発破サイクルを達成することができなかった。

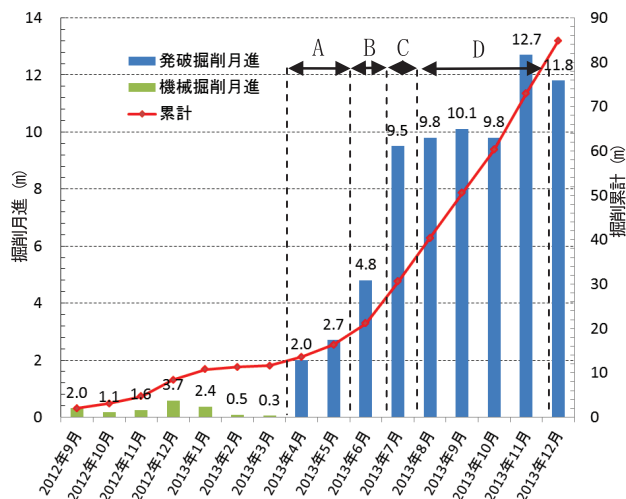
(4) D 区間 深度30.1 m～71.6 m 区間

発破パターンはC区間と同じく削孔長2.0 m、切羽を

2分割とした。ただし、C区間にて問題となっていた装薬、ズリ出し作業の効率化を考え、発破時間を20～21時に変更した。その結果目標としていた2日で1発破のサイクルを概ね達成することができた。

2日で1発破の目標サイクルに対しては、全区間の平均で1発破/2.2日の実績となった。C区間においてはズリ出しサイクルの遅れによる影響で、1発破/2.5日であったが、その後のD区間においては発破作業を夜間を実施することにより改善できた。稼働日当たりの進行に関しては、A区間において火薬使用量の制限が大きく進行に影響した。その後は、切羽を3分割から2分割に変更することにより、稼働日当たりの進捗が60%改善され、また発破を夜間に行うことにより施工サイクルを効率化し、20%改善された。

以下に、機械掘削および発破掘削の月進グラフを示す。



図－3 掘削月進グラフ

香港では非電気式雷管の使用が主流であり、秒時差の管理および結束が容易なベンチ発破に適したDual Delay雷管を使用し、装薬作業の簡素化を図った。

また、立坑掘削において深度が深くになるにつれ、揚重作業がクリティカルとなりサイクルの低下が懸念された。当現場では、施工サイクルに最適な発破計画（分割数、削孔数、削孔長）を検討し実施した。さらに、飛石方向を考慮した発破順序を計画することにより、発破時における重機の地上への退避を極力減らし、ズリ出しサイクルの向上を図った。

5. おわりに

都市部における立坑発破は日本ではあまり前例がなく、また香港においても鉱山局、環境局および発注者が注目する工事となった。発破計画から日々のサイクルを検討、改善することにより掘削開始から無事故で完了することができ、発注者からの信頼を得ることができた。