

日本最大口径レイズボーラーによる立坑掘削

住友大阪セメント(株) 岐阜鉱山	塚本員久
(株)熊谷組 名古屋支店	正会員 関口龍一
(株)熊谷組 名古屋支店	門前文浩
(株)熊谷組 本巢作業所	杉山千明
(株)熊谷組 本巢作業所	○川越佳人

1. はじめに

住友大阪セメント岐阜鉱山は、岐阜市の西方約20Kmに位置するセメント原料専用鉱山である。今回、隣鉱区と協調採掘する運びとなり石灰石運搬設備としてのベルトコンベヤー用水平坑道工事・立坑工事・付帯工事を行った。そのうち、レイズボーリングマシンによる国内初の大口径立坑掘削(L=203.8m, $\phi=4,740\text{mm}$)について、施工法の選定及び施工実績について報告するものである。

2. 立坑掘削施工法の選定

従来、鉱山における無支保立坑の掘削は、一般的にクライマー工法により行われるが、この工法では素堀切羽直下に人が入って作業するため非常に危険である。また、一般的に土木工事で施工される導坑先進切掘り工法・TBM工法では、安全性は確保されるが工期・経済性が満足されない。そこで今回、第一に無災害、第2に機械化、第3に工期短縮をめざし、レイズボーリング工法を採用した。

レイズボーリング工法は、国内では、直径1.5m、掘削長200m弱までの実績しか無いが、海外での最大6m径、掘削長2000mまでの実績に着目し導入した。

3. 掘削機械の選定

レイズボーリング工法による立坑掘削において、掘削長と掘削直径を決定するのは、マシン能力（スラスト・トルク）と使用するロッド耐力である。今回、マシン、ドリルロッド、リーマーヘッドとそれぞれ世界を代表するメーカーで構成した。

(1) レイズボーリングマシンの選定

レイズボーリングマシンの選定要素は、回転力、スラスト荷重の性能、コンピューター化の程度、総重量、可搬性、購入価格、製造実績等があり、能力の割に機械重量が小さく価格が妥当な、フィンランドタムロック社製の1298DCを導入した。その仕様を表-1に示す。

表-1 1298DC主要仕様

パイロット孔掘削径	311mm (12 ^{1/4} インチ)
リーミング掘削径	1500-3350mm (5-11ft)
掘削長	500m (岩質による)
回転数	パイロット掘削 0-56rpm リーミング掘削 0-17rpm
リーミングスラスト	3940KN (402t) 油圧326kgf/cm ²
掘削トルク	302KNm (31t-m) 0-10.8rpm時
瞬間最大トルク	450KNm
フィード・ドート (掘削)	パイロット時 0-12m/h リーミング時 0-6m/h
トラバース・ドート (掘削)	掘 0-12m/min 削 0-12m/min
ドリルロッド	径286mm (11 ^{1/4} インチ) 長1500mm (掘)
スタビライザー	径311mm (12 ^{1/4} インチ) 長1500mm (掘)
電源	380-660V AC 500kva (最大)
パイロット孔掘削流体	エア 18m ³ /min (掘) 11m ³ /min (削) 水 0.45m ³ /min (掘) 0.35m ³ /min (削)

1298DCの能力（スラスト有効荷重362tf）は、想定掘進率は岩盤の1軸圧縮強度を700kgf/cm²とすれば、時間30cm程度となり日掘進6mが可能と判断した。また予想される最大トルクは、26.22tf-mとなり、マシン能力の85%である。

(2) ドリルロッドの選定

ドリルロッドの選定は、ロッド耐力の他にレイズボーリング工法の最大の弱点である、パイロットボーリング時の孔曲がり対策を十分考慮しなくてはならない。パイロット孔の孔曲がりとは、構造物の設計を違えるばかりでなく、リーミング時にドリルロッドの継手部分に、曲げ応力の繰返し荷重が働き、継手の早期破損につながる。今回は、カナダドリレックス社の $\phi 286\text{mm}$ (1.5m/本 465kgf/本)のロッドを採用した。また、パイロット掘削の直進性を高めるため先端部の15m（ロッド10本）にはトリコーンビットと同径の $\phi 311\text{mm}$ のブレードスタビライザーロッドを使用した。

このドリルロッドの最大の特徴であるネジは、締め込み力の65%の力でネジを解除することができD122と

呼ばれる特許ネジである。ネジの構造は、山谷の接触面積を雄雌の軸線方向に変化させてある。

(3) リーマーヘッドの選定

リーマーヘッドとそれに搭載されるローラーカッターは、各社間共通性がないので特定のメーカーのローラーカッターを採用するとリーマーヘッドも特定される。ローラーカッターの表面形状にはディスク型とフラット型があり、予想される岩盤の強度で使い分けられる。今回は一軸圧縮強度 700kgf/cm^2 の石灰岩に合わせ、スウェーデンサンドビック社製のディスク型4枚リングカッター28個を搭載した。リーマーヘッドは、2240mmの基本体（プライマリーヘッド、ボトムセグメント）に延長体（エクステンションヘッド）を取り付け4740mmにしている。

4. 施工実績

(1) 資機材搬入・設置

マシン本体の重量は18tfで最小解体重量は8tfとなる。リーマーヘッドは24tfで最小解体重量は7tf、ロッドは1本465kgfで全量(150本)で70tfとなった。資機材の搬入から8日間でセッティングと調整を完了した。

(2) パイロット掘削

パイロット掘削は当初ベントナイト泥水掘削を行ったが、43m付近から逸水が増大したため、エア掘削に切り換えた。掘削時のトルクは通常0.3~0.5tf・mで推移したが最大12tf・mまで上昇した。パイロット掘削の実掘進日数は38日、平均掘進速度は60cm/hとなった。また貫通誤差は135mmで、掘削長の0.07%であった。パイロット掘削のための地質条件は非常に悪かったが、十分満足出来る結果が得られた。

(3) リーミング掘削

リーミング掘削の掘進速度は、岩盤が比較的良好な場所では当初検討したように30cm/hであった。しかし岩盤がクラッキーで、小規模崩壊・肌落ちがあった場合は、異常トルクが発生したので、トルク・スラストを低く設定しなければならず、掘進率は15cm~30cm/hと大きくばらついた。途中、リーミング50.1m地点で、スタビライザーロッド破断によるヘッド脱落があったが、リーミング掘削開始から68日間を要して無事貫通した。写真-1に1298DC設置状況、写真-2にリーマーヘッド全景を示す。

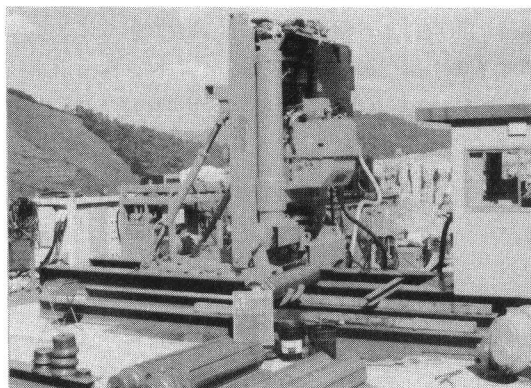


写真-2 リーマーヘッド全景

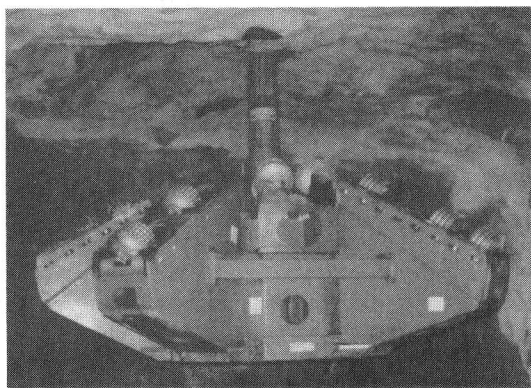


写真-1 1298DC設置状況

5. おわりに

今回の施工は、従来のレイズボーリングと比べ、いきなりその数倍規模の施工であり、全てが試行錯誤の連続であった。そのため工期は約4ヶ月を要したが、トラブル防止の手段を改善すれば、あと1ヶ月の工期短縮は充分可能である。またそれによって、クライマー工法と比べても、コスト的に優位に立つことも可能である。安全性については、クライマーの比ではない。海外の鉱山で発達してきたレイズボーリング工法は、今回の経験に基づき、大深度・大口径立坑の裸孔掘削の、安全かつローコストな方法として、鉱山はもとより一般土木の分野でも着実に定着するものと期待出来る。