

### レイズボーリング工法による斜坑掘削に情報化技術を適用

榎奥村組 正会員 ○塚本 耕治 田浦 義真  
デンカ(株) 川田 暢崇

#### 1. はじめに

デンカ東山開発（新潟県糸魚川市）のトンネル工事では、山頂で採掘した石灰岩の搬出用の設備として、**図-1** に示すグローリーホールとなる立坑，破碎機室およびベルトコンベア坑道を掘削し，破碎機の基礎などを新設する．立坑は直径 4750mm，延長 470m，傾斜角 75° であり，レイズボーリング工法により掘削する．本工法における国内最長の大口径の斜坑工事であり，鉛直掘削に比べて施工難度が非常に高い．地盤調査の結果，地質状態の悪い箇所があることから，リーミング掘削の対象地盤の改良，ロッドやビットの強化，リーミングビットの計測による掘削管理などの対策を行い，掘削を開始した．しかし，掘削中にリーミングビットが突然落下するトラブルが発生した．パイロット孔を利用して周辺地盤を調査した結果，掘削位置に大規模空洞が確認された．そのため，空洞部の充填および空洞周辺部の孔壁補強の対策を行い，リーミング孔を無事に貫通させた．本稿では，困難な工事を情報化技術により斜坑を貫通させた施工技術について報告する．



図-1 トンネル工事の概要

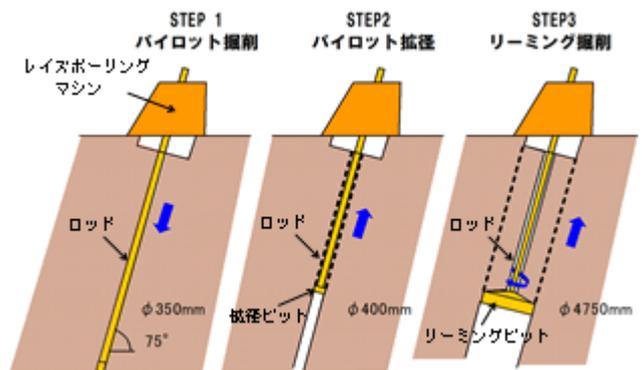


図-2 レイズボーリング工法

#### 2. 斜坑の情報化施工

##### (1) レイズボーリング工法

掘削機械は，高トルク，高スラストを有し，立坑掘削に多くの施工実績のある BM-600A（鉦研工業）を用いた．施工フローを**図-2** に示す．施工は，上部からφ 350mm のパイロットボーリングを実施し，それを下部からφ 400mm に拡径する．次に，その孔にロッドを挿入して下部で組立てたリーミングビットと接続し，ビットを引上げながらφ 4750mm に拡幅掘削する．

##### (2) グラウト注入

安定したリーミング掘削ができるようにパイロット孔から周辺の地盤改良を行った．地盤改良は掘削範囲外へのグラウトの逸走を抑えるため，プラグ材の可塑性グラウトを注入し，次にセメントベントナイトを注入して行った．注入方法は，10m を 1 ステージとして孔壁画像の亀裂開口率から求めた所定数量（5～10m<sup>3</sup> /ステージ）以上で注入できなくなるまで実施した．グラウト注入前後にボアホールカメラで撮影した孔壁画像のうち，リーミングビットが落下した付近の結果を**図-3** に示す．注入前の孔壁画像には深度 252m～260m に空洞

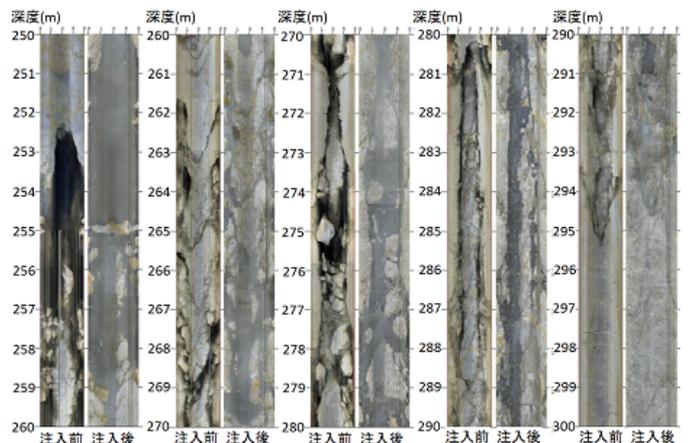


図-3 グラウト注入前後の孔壁画像（深度250m～300m）

キーワード：レイズボーリング工法，斜坑，情報化施工，ボアホールカメラ，レーザースキャナー

連絡先：〒300-2612 茨城県つくば市大砂387 (株)奥村組 技術研究所 TEL029-865-1521

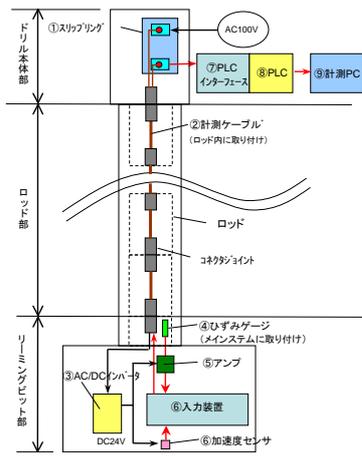


図-4 リーミングビットの計測システム

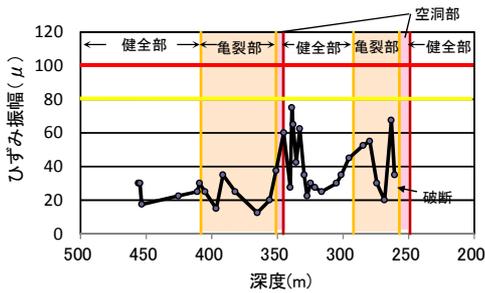


図-5 リーミングビットねじ部のねじりひずみ

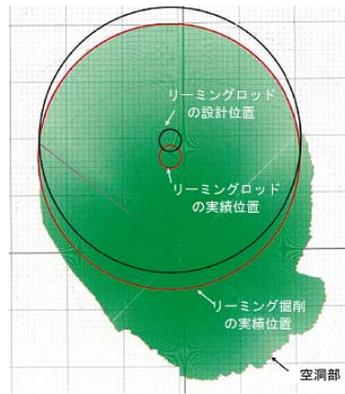


図-6 深度264m付近の空洞断面形状



図-7 深度256mから下方の状況

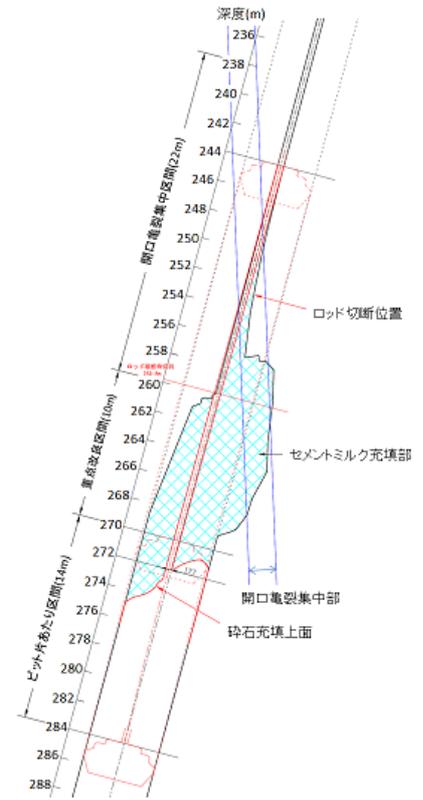


図-8 対策工の概要  
(深度236m～288mの斜坑断面)

が確認され、深度 260m～295m においても開口亀裂が確認される。しかし、グラウト注入後には空隙部や亀裂部が充填されており、この調査時点では孔壁背面の空洞の存在を把握することができなかった。

(3) リーミングビットの落下とビットねじ部の発生ひずみ

これまでの施工実績から切断が予想されたリーミングビットねじ部で発生するひずみを長期間の繰返し荷重を受ける部材耐力をもとに上限管理基準値を 100 $\mu$  に設定し、図-4 に示す計測システムを用いてひずみによる掘削管理を行った。しかし、深度 260m 付近を掘削中、当初想定されていたビットねじ部から 9m 上方のスタビライザーと呼ばれるロッドのねじ部が切断し、ビットとともに堆積した掘削ずり上に落下した。

掘削開始からビット落下までの計測期間に、ビットねじ部で発生したねじりひずみ振幅を図-5 に示す。ハッチング部分は空洞や開口亀裂が存在する区間である。深度 340m～360m および深度 260m～290m 付近の亀裂の多い位置では、ひずみが増加している。特に、亀裂部から健全部の境界付近のひずみが大きくなっているが、管理基準値の 70% 程度であり、慎重に掘り進めている状況であった。

(4) 空洞調査と対策工事

画像撮影とレーザースキャナーを用いて孔内の状況を確認する調査を行った。その結果、深度 258m～270m のインバート側に空洞が確認された。レーザースキャナーによる深度 264m 付近の空洞断面を図-6 に、深度 256m から下方の状況を図-7 に示す。これらの結果から、空洞は下方に 2m 以上、幅 4m 以上の広がりがあることがわかる。また、ロッド切断の要因として、空洞上部の脆弱地山がロッドとの接触で摩耗し、ロッドの中心が下方に偏心してビットが地山に片当たりの状態になり、長期にわたりビットやロッドに損傷を与えていたと推察された。空洞の処理については、空洞直下まで斜坑内に砕石を投入し、空洞をセメントミルクで充填した。リーミング掘削を再開後、孔壁補強が功を奏し、空洞のあった 260m 付近を無事に通過することができた。

3. おわりに

様々な対策を行い斜坑の掘削工事を行ったが、リーミングビットの脱落を防止することができなかった。掘削中に周辺の地山状況を確認できる計測装置の開発が必要であると考えている。また、斜坑の工事を通じて、数多くの知見や貴重な計測データが得られた。同様のトンネル工事に活かしていきたい。