

大口径レーズドリルの開発と情報化施工

THE DEVELOPMENT OF LARGE CALIBER RAIZE-DRILLING MACHINE AND ITS APPLICATION TO SHAFT EXCAVATION

手塚昌信¹⁾・加藤清策²⁾・鈴木雅行³⁾・金子豊⁴⁾

Masanobu TEZUKA, Seisaku KATOU, Masayuki SUZUKI and Yutaka KANEKO

Raise-drilling is commonly used as a mechanical method for drift excavation of shaft construction in Japan. The practical application of the machine to drift excavation is from ϕ 800-1,750mm in diameter of drift to date. At the Okutataragi underground power station project, the use of small diameter drilling machine was likely to cause the blockade in the drift for the surge tank shaft excavation and become a serious construction trouble. Then, a large caliber raise-drilling (ϕ 3,412mm) machine was newly developed, and applied to drift excavation of the shaft. Prior to the reaming drilling, excavation and drilling data were intensively collected at pilot bore excavation, and analyzed. Then, the reaming drilling ϕ 3,412mm was executed based on those analysis. The paper describes the development of large caliber raise-drilling machine for shaft excavation, and demonstrates that the excavation of the shaft of $L=137$ m is successfully completed by the machine.

Keywords : shaft , large caliber raise-drilling machine, surge tank shaft, tunnel

1. まえがき

立坑の導坑掘削に関して、地質状況、施工延長、導坑の断面積や形状等に応じて各種工法が選定され施工される。特に立坑の導坑掘削に際しては下部からの掘上がりとなるため危険作業となることから、機械掘削方式が望ましい工法である。導坑を機械によって掘削する方法としてはレーズドリル工法が一般的に用いられており、小断面立坑やずり出し導坑の施工方法として用いられているが、わが国では従来より ϕ 800 ~ 1,750mm 程度の小断面のものが適用されている。

奥多々良木地下発電所の放水路サージタンク(楕円:長径 16 m、短径 11 m、 $A=130\text{ m}^2$ 、延長 $L=136.7\text{ m}$)の導坑掘削工事の施工に際しレーズドリル工法を採用することとしたが、過去の施工実績を分析した結果から、従来の口径 ϕ 2 m以下では掘削ずりの閉塞が起りやすく、トラブルが発生することが想定された。

そこで、大口径レーズドリル(BM-500A)を新たに開発し、サージタンクの立坑掘削に適用した。適用に当たっては立坑上部からの ϕ 270mm のパイロット掘削時の掘進データを把握した上で、 ϕ 3,412mm のリーミング掘削時にそのデータをフィードバックし、情報化施工により無事 $L=136.7\text{ m}$ の導坑掘削を完了した。

-
- 1) フェロー 関西電力(株) 土木建築室 土木部長
 - 2) 正会員 (株)間組 奥多々良木出張所 所長
 - 3) 正会員 (株)間組 土木本部トンネル統括部 課長
 - 4) 鉦研工業(株) 技術本部 常務取締役

本報告では、放水路サージタンクのずり出し導坑掘削工事にあたり、開発した大口径レーズドリル（φ 3,412mm）の概要と導坑掘削に当たり実施した情報化施工に関し報告するものである。

2. 放水路サージタンクの概要

放水路サージタンクライザー部は、ライザー上部に位置するサージタンク上部水室（幅 12 m、奥行き 32m、高さ 20.6 m）掘削完了後、施工を行った。ライザー部の諸元は、ドラフトゲート 2 門のゲート立坑を兼用する構造としているため、長径 16 m、短径 11 m の楕円形状で、掘削断面積 154 m²、延長 136.7 m の立坑となっている。計画地点の主要地質は流紋岩質凝灰岩で、一軸圧縮強度は約 1,600 ～ 2,000kgf/cm² の堅硬な岩盤であるが、深度 100 ～ 110 m 付近に破碎層が確認されている。

掘削はレーズドリルにより導坑掘削を行った後、発破による切掘げ工法を採用した。導坑位置としては、切掘げ時の発破効果、削孔時の重機の配置等を考慮して図-1 に示す位置に選定した。

3. 大口径レーズドリルの開発

日本国内においてはφ 1750mm 程度までのレーズドリルの施工実績は豊富であるが、本工事のように非常に硬質な地山で大口径掘削を適用し、トラブルなく施工した実績はみられない。そこで、過去の施工上のトラブル実績を調査した結果から、大口径レーズドリリング工法の問題点を分析したところ、以下の問題点が挙げられた。

- ①リーミング掘削時にリーミングビット本体が地山の不連続による偏荷重を受け、ロッド、ジョイント部が切断し、リーミングビット本体が落下する。
- ②パイロット孔の偏心によりロッドが繰返し疲労を受けて切断する。

したがって、大口径レーズドリルの開発にあたっては、上記の問題点を解決するため以下の点を改良した。

- ①パイロット径をφ 327mm と大きくし、ロッドの剛性を高めることによりリーミング時の破損を防ぐ。
- ②スタビライザーを長くすることにより、パイロット孔の孔曲がりを抑止する。
- ③リーミングビット形状を 2 段のステージタイプとし、従来のフラット型に対して偏荷重に対する応力集中を分散させるよう改良した。
- ④パイロット掘削時に、対象地山の亀裂や破碎帯等の地質状況を把握し、リーミング掘削時の施工に関しトルク値、ビット回転率、荷重掘進率等を調整し情報化施

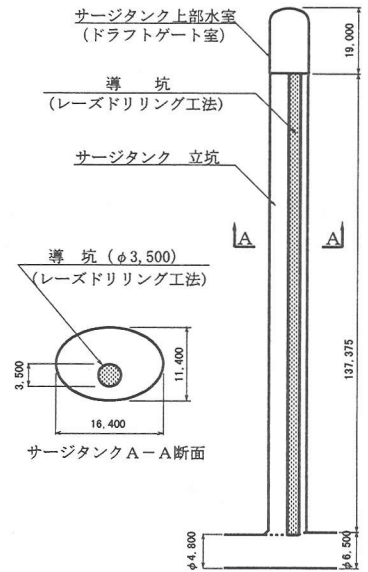


図-1 サージタンク断面図

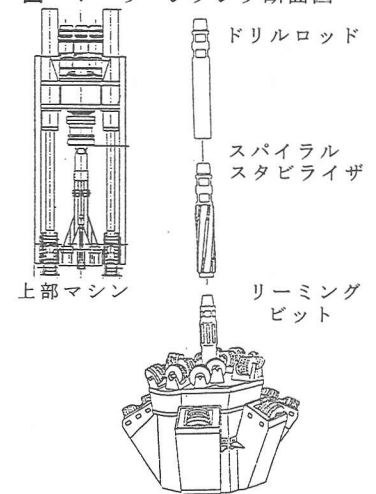


図-2 レーズドリル機械図

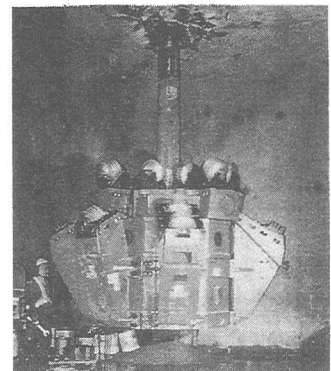


写真-1 リーミング機（φ 3,410mm）

5. 大口径レーズドリリング工法の施工結果

表－5 に大口径レーズドリルの掘削実績表を示す。掘削実績は、立坑導坑掘削延長 136.7 m に対して、パイロット（φ 270mm）が掘削実日数 9 日、パイロット切拡げ（φ 349mm）が掘削実日数 4 日、リーミング（φ 3,412mm）が掘削日数 26 日であり、レーズドリリング工法の施工開始から終了まで延べ 86 日（実働 62 日）を要した。このように大口径レーズドリルを用いて立坑導坑掘削を行ったが、施工のトラブルなく無事掘削完了した。また、切拡げ掘削時には導坑を大口径にしたことにより、ずりの閉塞等もなく、無事掘削完了した。

表－5 レーズドリル施工実績

掘 削 径 (mm)	平均日進 (m/日)	最大日進 (m/日)
パイロット φ 270	15.11	20.0
パイロット拡幅 φ 349	19.57	6.5
リーミング φ 3,412	5.27	6.8

6. おわりに

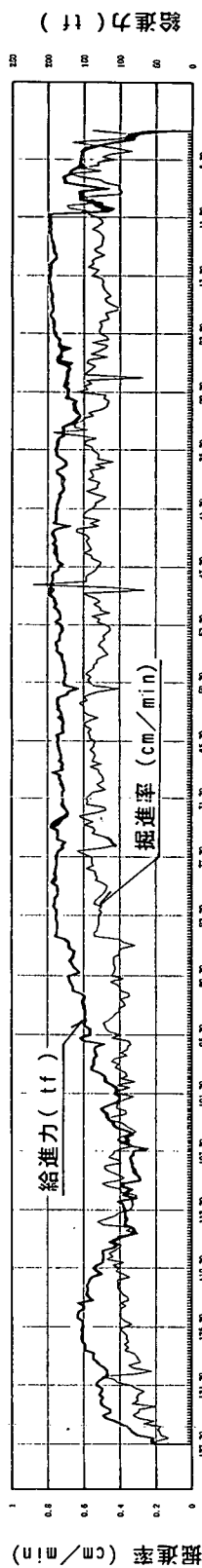
奥多々良木地下発電所サージタンクにおいて、レーズドリリング工法を用いて $qu=1,600 \sim 2,000 \text{ kgf/cm}^2$ と非常に硬質な流紋岩質凝灰岩地山に対し、無事施工を完了することができた。放水路サージタンクの拡幅掘削においても切拡げ掘削は平均日進 1.97 m/日、最大日進 2.70 m/日であり、当初工程を確保することができた。

今後、地下発電所のほか、地下廃棄物処理場、地下エネルギー貯蔵施設等において大口径立坑の需要が高まると予想され、今回開発した大口径レーズドリルによる掘削技術が今後の同種の工事への適用に当たり非常に有効であると思われる。

参考文献

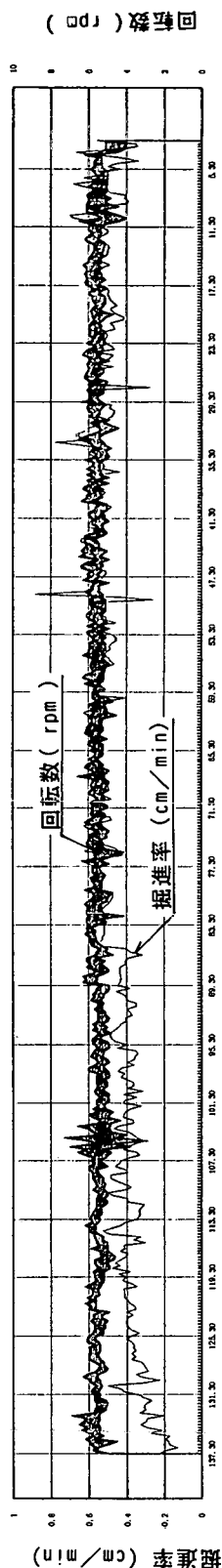
- 1) 土木学会：大規模地下空洞の情報化施工
- 2) 手塚昌信, 吉舎廣幸, 美野誠一：奥多々良木発電所工事の設計と施工, 電力土木, No.260, pp.51-59, 1995
- 3) 手塚昌信, 大西有三, 袋井 肇, 瀬岡正彦：大規模地下空洞掘削における情報化施工の適用例, 第 28 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.43-47, 1977.1
- 4) 大西有三, 手塚昌信, 田中誠, 西村毅：地下空洞掘削時におけるキープロック解析の適用について, 第 28 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.58-62, 1977.1
- 5) 加藤清策, 金子豊：リーミング掘削管理施工方法、特許：P960078

掘進長 - 掘進率 - 給進力



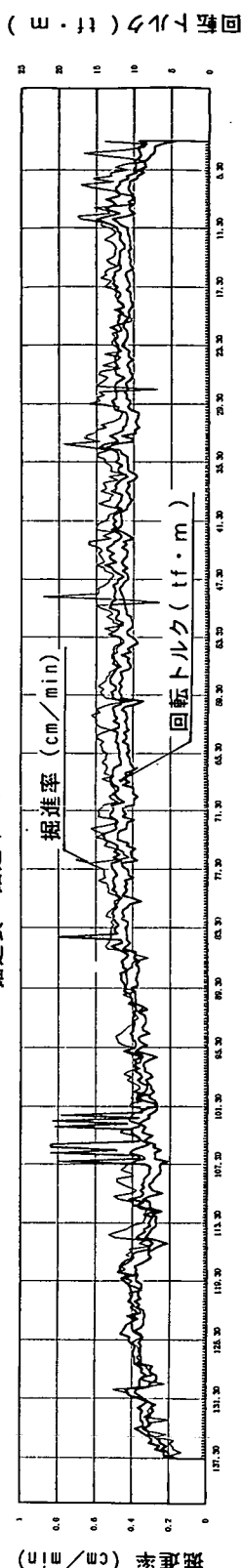
掘削m数 (m)

掘進長 - 掘進率 - 回転数



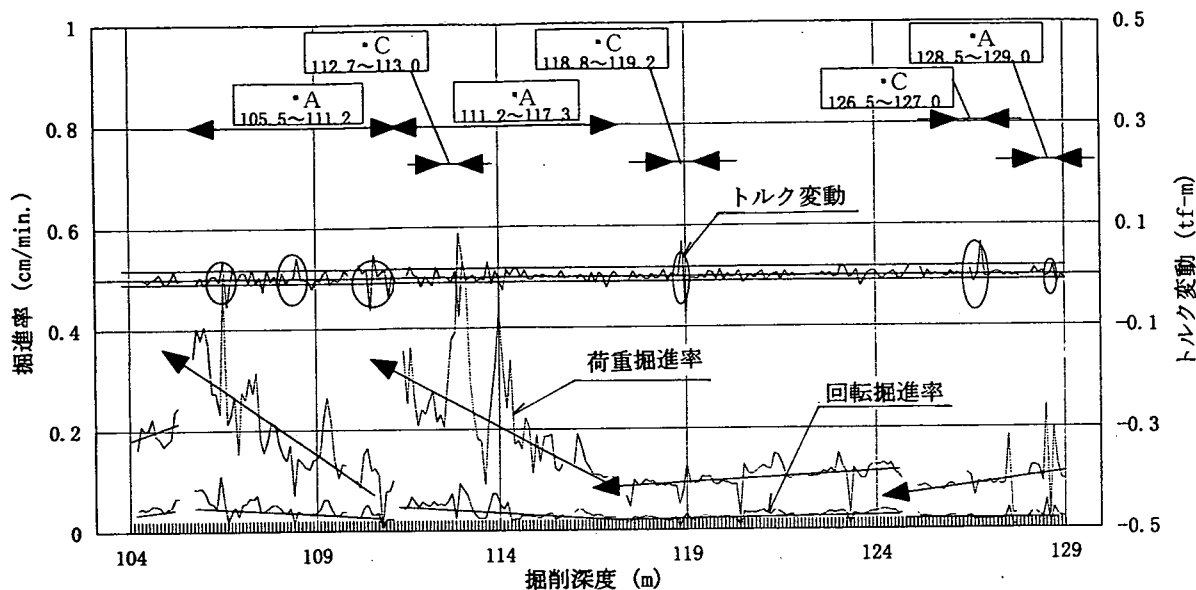
掘削m数 (m)

掘進長 - 掘進率 - 回転トルク



掘削m数 (m)

図-6 リーミング掘削結果



図－５ パイロット孔掘削時の掘削データと地山不均一推定箇所

表－４ リーミング掘削時に推定されるトラブルと制御方法

パイロット掘削データ	リーミング施工時に推定されるトラブル	リーミング掘削制御方法
(タイプA) ・継続的に回転トルクが変動し、掘進率も大きく変動している。	・破砕帯の可能性がある、ビットに偏荷重が作用してビットのメインステアに繰り返し曲げモーメントによる疲労破壊が起きる。	・ビット荷重を通常の 60 % 程度にし、回転数も 90 % 程度に抑制して偏荷重に備え、回転ムラを最小限にする。
(タイプB) ・断続的に回転トルクが変動し、掘進率が上昇している。	・亀裂が発達し、大きなブロックで掘削面の剥離が予想される。また、回転ムラによるトルク変動でバイブレーションが発生してパイロット孔壁の崩壊を招く。	・回転数を低減すると共に、ビット荷重も低減してバイブレーションを抑制する。
(タイプC) ・突発的に回転トルクが変動しているが、掘進率にはあまり変化がない。	・狭い範囲で亀裂が存在すると予想され、一時的な回転トルクの上昇によるドリルパイプのねじ締まりが生じる。	・回転トルクの最大値を通常の 80 % に抑制してドリルパイプのネジ締まりを予防する。
(タイプD) ・掘進率が上昇しているが、回転トルクは余り変動していない。	・岩盤が軟質に変化しているので、ビットに偏荷重が作用することがあり、メインステアの疲労破壊が起きる。	・ビット荷重を通常の 60 % 程度にし、回転数も 90 % 程度に抑制して偏荷重に備え回転ムラを最小限にする
(タイプE) ・掘進率が低下しているが、回転トルクは余り変動していない。	・岩盤が硬質に変化しているので、ビットに偏荷重が作用することがあり、メインステアの疲労破壊が起きる。	・ビット荷重を通常の 60 % 程度にし、回転数も 90 % 程度に抑制して偏荷重に備え、回転ムラを最小限にする。

工を実施することとした。

図-2にレーズドリル機械図を、写真-1にリーミング機を、表-1に能力表を示す。

4. 大口径レーズドリリング工法の情報化施工について

レーズドリルによる導坑掘削については図-3示す順序で行った。パイロット孔の施工は、パイロット口径を太くし、かつパイロット孔の掘削精度を確保するため2段階パイロット掘削方式を採用した。また、パイロット孔の掘削管理基準は孔曲りを極力少なくするため表-2のように設定した。ビット荷重は10tfを維持するようコントロールし、掘削速度を抑え孔曲り対策を優先させた。その結果、パイロット孔貫通時の誤差は27cmと0.2%以下に抑えることができた。

リーミングの掘削にあたり、パイロット掘削時の掘削データを解析し地山評価した上で、図-4に示す情報化施工フローにより掘削を実施した。

パイロット掘削のデータのうち、ビット荷重・回転数・回転トルク・掘進速度の関係についての実測値として深度104～129m区間のデータを図-5に示す。図-5の中に記述した4つのデータについて急変している箇所は地山が不均一な箇所と考えられることから、これらの箇所をリーミング掘削時の重点管理区間として設定した。

表-3にリーミング掘削時の管理基準値を示す。不均一な区間と想定される区間のリーミング掘削については、特に掘削データに注意し、ビット回転数・ビット荷重およびトルクが管理基準内に収まるように制御しながら掘削した。

パイロット掘削データから推定されるリーミング掘削時のトラブルとそのときの制御方法を表-4に示す。

また、図-6にリーミングの掘削結果を示す。上述したようにリーミングを制御した結果、トラブルなく掘削することができた。

表-1 レーズドリル能力表

パイロット径	φ 349mm
リーミング径	max φ 5,000mm
回転数	0～22rpm
トルク	max 58tf・m
スラスト	475tf
総重量	25tf

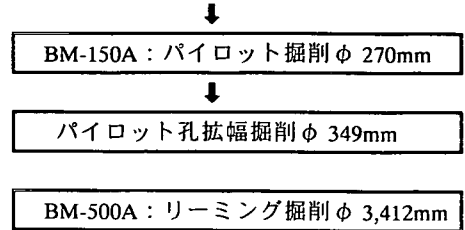


図-3 立坑導坑掘削の施工順序

表-2 パイロット孔掘削時の管理基準値

ビット回転数	35 rpm 10 tf
ビット荷重	
トルク	0.2～1.5 tf・m
泥水量	800～900 l/min

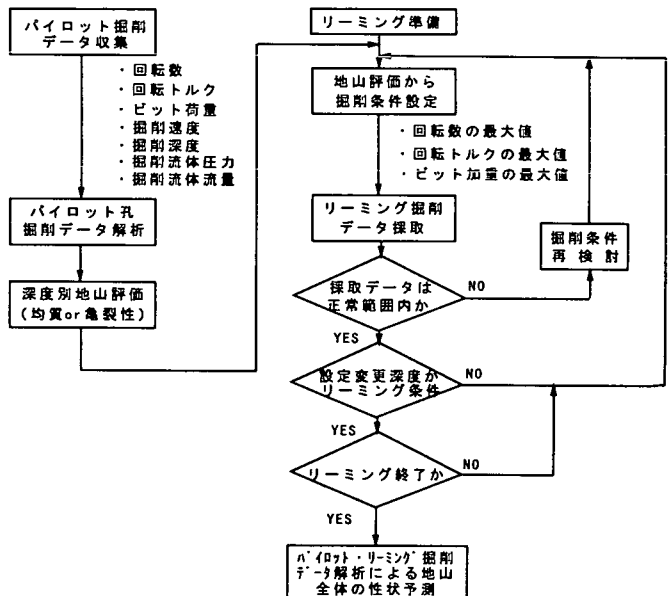


図-4 レーズドリリング情報化施工フロー

表-3 リーミング掘削時の管理基準値

ビット回転数	5～6 rpm
ビット荷重	100～200 tf
トルク	10～20 tf・m