

17. 新北陸トンネル(大桐)における清濁分離を用いた多量湧水の処理について

株式会社 熊谷組

独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構

独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構

○ 石田 和輝
高原 英彰
吉森 佑介

1. はじめに

トンネル工事において、湧水の存在はトンネル掘削工程に影響し、不可分の関係にある。湧水処理が工程管理上クリティカルとなることもあるため、湧水を適切に排水する設備(以下「排水設備」)を整えることは非常に重要である。特にトンネル工事の場合、予期せぬ異常出水により排水能力を大幅に上回る湧水が発生することもある。この場合、迅速かつ的確に排水設備の再計画を行い、通常の作業を中止して設備の増設、段取替えを行うことが求められる。

本稿では、異常出水によって大幅な設備の段取替えが発生した当現場における実績の報告を行う。また、この実績を分析し、異常出水が発生した場合にも迅速に的確な対応を行えるよう、多量湧水を最適に処理する方法について考察する。

2. 新北陸トンネル(大桐)の概要

新北陸トンネル(大桐)は現在建設が進められている北陸新幹線(金沢・敦賀間)の新北陸トンネル(全長 19,680m、図-1 参照)全 6 工区のうち、起点から 3 番目の工区で、3,605m を施工する工区である。新北陸トンネル(大桐)の工事内容を表-1 に、主要機械設備の一覧を表-2 に示す。長大トンネルの中間工区であるため、下り勾配の斜坑により本坑へアクセスする形となっている。また、断層群を通過することや、交差する北陸自動車道のトンネル施工実績より、当初から多量の湧水の発生が予想されていた。(図-2 参照)



図-1 新北陸トンネル位置図

表-1 工事内容

工事名	北陸新幹線、新北陸トンネル(大桐)
工事場所	福井県南条郡南越前町
工期	平成25年12月24日～平成32年2月25日
発注者	鉄道建設・運輸施設整備支援機構 大阪支社
請負者	熊谷・不動テトラ・梅林・轟 特定建設工事共同企業体
トンネル延長	本坑 3,605m、斜坑 483m
トンネル線形	直線、上り 8.2%
トンネル工法	NATM(発破・ベルコン方式)
掘削断面積	73.5m ² (新幹線複線断面)

表-2 主要機械設備一覧

削岩機	ドリルジャンボ	クローラ式4ブーム2バスケット 油圧ドリフタ190kg級
ずり積機	ハイールローダ	サイドダンプ式3.0m ³
ずり搬出設備	クラッシャー 連続ベルトコンベア	300t/h 本坑 w = 610mm
建込機械	エレクターー体型	定格荷重: 1000kg
吹付機械	吹付機	吐出量: 6~25m ³ 級
コンクリート製造設備	バッチャープラント	強制2軸型ミキサ1.0m ³ 60m ³ /h
濁水処理設備	シックナー 脱水機	300m ³ /h (+150m ³ /h増設を当初より計画) 1960L
換気設備	送風機 集塵機	2000m ³ /min, 4.9kPa 2300m ³ /min

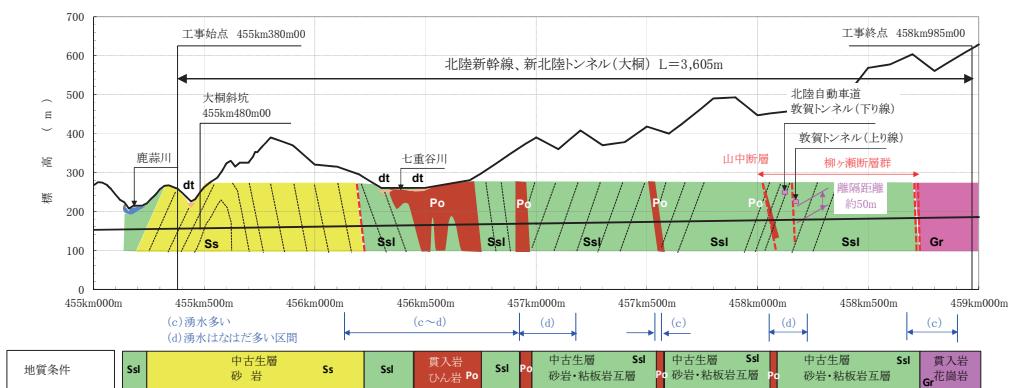


図-2 地質縦断図

3. 排水設備の計画と施工

3.1 当初排水設備

当工区は前述のように斜坑があり、図-3 のような現場配置となっている。よって、当工区の最低地点(坑底部)から坑外仮設ヤード(斜坑坑口)までの延長 583m、高低差 48m の強制排水が必須という現場環境となっている。この排水設備の不備や能力不足は現場の水没につながる恐れがあり、当初からある程度の異常出水を想定した排水設備を計画するものとした。

当初計画においては、地質別にみた比湧水量の統計結果¹⁾を基に湧水量を想定した。当工区の地質は主に中古生層であることから、当工区の想定比湧水量を $1.0\text{m}^3/\text{min}/\text{km}$ として算出し、掘削終了時の湧水量を $3.6\text{m}^3/\text{min}$ と想定した。排水ポンプの選定にあたっては表-4 のような計算結果が得られたことから、初期設備としては表-5 に示す設備を配備した。これらの排水ポンプ電源は浸水による電源遮断を防ぐため、坑外(坑口)のトランスより給電を行うこととした。ポンプ 1 台につき 1 条の電源ケーブルを坑口から坑底部までの全線にわたって敷設した。また、停電時にもポンプが停止しないように、220kVA の非常用発電機と自発停自動切替盤を配備した。

濁水処理設備は想定湧水量 $3.6\text{m}^3/\text{min} = 216\text{m}^3/\text{h}$ の処理が可能なものとして $300\text{m}^3/\text{h}$ の設備を配備した。また、湧水量が想定を上回った場合に備え、 $150\text{m}^3/\text{h}$ のシックナー増設を当初から計画に盛り込んだ。

その後湧水量の増加に伴い、平成 28 年 8 月ポンプを増設して表-6 に示す設備とした。また、平成 28 年 9 月に当初から計画のあったシックナー増設を実施して、濁水処理能力は $450\text{m}^3/\text{h}$ となった。

表-4 排水能力（初期設備）

坑底部排水釜場 ↓ 坑外仮設ヤード 沈砂池	ポンプ容量 [kW]	排水流量 [m^3/min]	
		6B配管	8B配管
	37	1.6 ①	2.0 ②
	45	1.8 ③	2.3 ④
配管延長 [m]	600	実揚程 [m]	50

表-5 排水設備一覧（初期設備）

H27.08～		ポンプ容量 [kW]	配管	排水流量 [m^3/min]
1	常用	45	200V	6B
2	常用(予備)	45	200V	6B
3	非常用 異常出水対策	37	200V	8B
4	予備配管	なし		-
	合計			5.6

表-6 排水設備一覧（増設後）

H28.08～		ポンプ容量 [kW]	配管	排水流量 [m^3/min]
1	常用	45	200V	6B
2		45	200V	6B
3	非常用 異常出水対策	37	200V	8B
4	常用(予備)	45	200V	8B
	合計			7.9

3.2 異常出水の発生

平成 28 年 10 月、夜勤の作業を開始し本坑 TD1340m 地点にて掘削作業を開始した。発破を行はずり出し作業を開始したところ、湧水とともに切羽の崩落が継続するようになった。そこで、ずり出しを中止して切羽に対してコンクリート吹付を行ったが、湧水箇所の崩落は止まらず進行を続けた。崩落の進行と共に湧水量も徐々に増加して、明け方には切羽からの湧水量が推定で約 $5\text{m}^3/\text{min}$ となつた(写真-1 参照)。切羽後方からの湧水もあったため、坑底部のポンプ能力が限界に達し、坑底部より水位の上昇が始まった。

このままでは坑内が水没してしまうため、早朝より緊急で発電機・排水ポンプ・配管の手配を行い、全作業員総出で排水設備の設置作業に取りかかった。6B 配管を 2 条追加敷設し、それぞれに 37kW のポンプを接続。ポンプ 2 台を 220kVA の発電機にて稼働した(写真-2 参照)。応急での排水は成功し水没は免れたが、恒久的な対策には大幅な設備の段取替えが必要であり、全作業が中止することとなった。この時の濁水処理流量は最大で $512\text{m}^3/\text{h} = 8.53\text{m}^3/\text{min}$ を記録した。

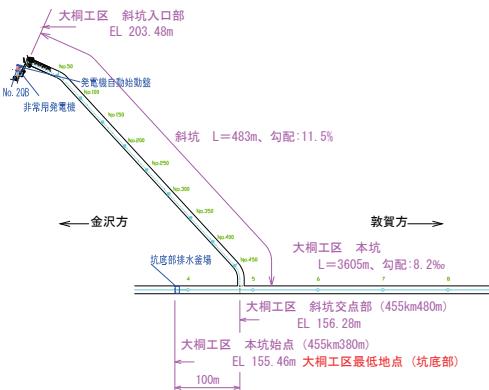


図-3 現場平面図(坑底部～斜坑坑口)



写真-1 異常出水発生状況 TD1340m



写真-3 交点部濁水タンク



写真-2 坑底部緊急排水状況

3.3 排水設備の段取替え

恒久的な対策にあたって、下記の3点を基本方針として定めた。

- ① 今回と同程度の湧水でも処理できる濁水処理設備とする
- ② 現状の湧水状態に加えて、同程度の異常出水が発生しても対応可能なように、 $1000\text{m}^3/\text{h}$ の排水設備とする
- ③ 清濁分離を行う

そこで、濁水処理設備は $125\text{m}^3/\text{h}$ のシックナーを増設し、合計で $575\text{m}^3/\text{h}$ の処理能力とした。

本坑からの排水は $1000\text{m}^3/\text{h} = 16.8\text{m}^3/\text{min}$ の排水能力を確保するため表-7に示す設備を配備した。

写真-3は交点部に設置した大容量のポンプである。

また、濁水処理能力に余裕を持たせるため清濁分離を行った。詳細は後の3.5項にて説明を行う。

排水設備が大幅に変更されたことから、電気設備についても大幅な変更が発生し、トランクや非常用発電機、電源ケーブルの増設を行った。

以上のように大規模な設備の段取替えを行って、異常出水への対策を整えた後に掘削作業を再開した。異常出水の発生から掘削再開までには約3週間を要した。

表-7 排水ポンプの配置と排水能力

坑底部排水金場 ↓ 交点部濁水タンク	配管延長 [m]		70		実揚程 [m]		2	
	ポンプ容量 [kW]	配管	条数	排水流量 [m^3/min]		1条	合計	
	22	200V	6B	4	4.2		16.8	
				合計			16.8	
交点部濁水タンク ↓ 坑外仮設ヤード沈砂池	配管延長 [m]		600		実揚程 [m]		50	
	ポンプ容量 [kW]	配管	条数	排水流量 [m^3/min]		1条	合計	
	55	400V	6B	4	2.2		8.8	
	75	400V	8B	2	4.0		8.0	
				合計			16.8	

表-8 清水排水設備の配置と排水能力の変遷

	ポンプ容量 [kW]	配管	条数	排水流量 [m^3/min]		1条	合計					
				ポンプ	水泵							
H28.11～						-	-					
切羽付近～交点部清水タンク	ポンプ中継	6B	1	-	-	-	-					
交点部清水タンク～坑外ヤード給水槽	37 200V	6B	1	1.6	1.6	1.6	1.6					
	合計						1.6					
H29.05～	ポンプ容量 [kW]	配管	条数	排水流量 [m^3/min]		1条	合計					
				ポンプ	水泵							
				切羽付近～90BL清水タンク	15 200V			6B	2	1.7	3.4	
90BL清水タンク～交点部清水タンク	37 200V	6B	1	1.6	1.6	1.6						
交点部清水タンク～坑外ヤード給水槽	55 400V	6B	1	2.2	2.2	2.2	3.8					
	合計						3.8					
H30.02～	ポンプ容量 [kW]	配管	条数	排水流量 [m^3/min]		1条	合計					
				ポンプ	水泵							
				切羽付近～中央集水管	6B			2	-	-		
				中央集水升～90BL清水タンク	11 200V			6B	3	3.0	9.0	
				90BL清水タンク～交点部清水タンク	15 200V			6B	2	1.7	3.4	
交点部清水タンク～坑外ヤード給水槽	37 200V	6B	1	1.6	1.6	1.6						
交点部清水タンク～河川放流	55 400V	6B	1	2.2	2.2	2.2	3.8					
	合計						3.8					
H30.03～	ポンプ容量 [kW]	配管	条数	排水流量 [m^3/min]		1条	合計					
				ポンプ	水泵							
				切羽付近～中央集水管	6B			2	-	-		
				中央集水升～90BL清水タンク	11 200V			6B	3	3.0	9.0	
				90BL清水タンク～交点部清水タンク	22 200V			6B	3	2.0	6.0	
交点部清水タンク～坑外ヤード給水槽	37 200V	6B	1	1.6	1.6	1.6						
交点部清水タンク～河川放流	55 400V	6B	2	2.2	4.4	4.4	6.0					
	合計						6.0					

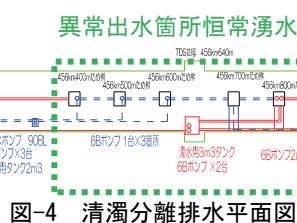
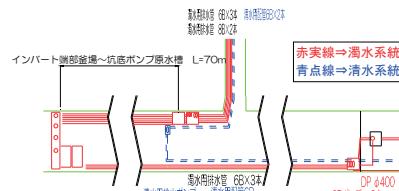


図-4 清濁分離排水平面図

3.4 送電容量の超過とデマンド抑制

負荷電気容量の増加による影響は現場内にとどまらず、電力会社の送電線の容量も足りなくなることが判明した。すでに許容値に近づいており、送電線の工事を行うまでは最大需要電力(以下「デマンド」)を 1240kW まで抑制する必要に迫られた。そこで、非常用発電機を常用運転し、 75kW ポンプ 2 台分の電力消費を発電機でまかうこととした。約 4 か月にわたり、休日等を除いてこのデマンド抑制対策を実施した。送電線の張替えにあたっては、更なる湧水量増加でポンプや濁水処理設備を増設する可能性を考慮し、最大 1700kW に対応するよう電力会社へ依頼した。平成 29 年 8 月に送電線張替えが完了し、発電機によるデマンド抑制対策を終了した。

3.5 清濁分離の実施と清水系統の変更

清濁分離に関する湧水状況の変化や切羽・インバート・覆工の進捗に応じて都度見直しを行い、排水設備の盛り替えを行ってきた。表-8 に清水排水設備の配置と排水能力の変遷を示す。

当初の清濁分離は異常出水によって発生した切羽付近の湧水を清水として排水するものであり、水抜きボーリングや鋼管を用いた水抜き孔からの湧水をホース等で導水し(写真-5 参照)，空のドラム缶や水槽によりポンプを中継して排水している(写真-6 参照)。

平成 30 年 2 月には清濁分離に関する排水設備の大幅な見直しを行った。異常出水が発生した TD1340m 付近はインバート・覆工まで施工完了しているが、この付近からは継続して多量の湧水が発生しており、この湧水が中央集水管に流れている。しかし、中央集水管に流れた水は濁水として排水していたため、多量の湧水が全て濁水として処理されていた。そこで、中央集水管の集水升にて堰をつくり、中央集水管を濁水区間と清水区間に分けることで、切羽湧水のみならず恒常化した多量の湧水を清水として排水した。図-4 に清濁分離排水の平面図を示す。



写真-5 切羽湧水導水状況



写真-6 交点部清水タンク

TD1340m

4. 考察

図-5に濁水処理、濁水・清水の各排水、及び電力消費についての推移をまとめたグラフを示す。ここからは、このグラフにより当現場における多量湧水の処理に関する考察を行う。

4.1 湧水量と排水設備の関係について

今回最も注目すべき点が平成30年3月、4月である。全体湧水量が濁水処理能力を上回った。しかし、清水排水能力を増やして $3.3\text{m}^3/\text{min}$ 以上(最大 $5.5\text{m}^3/\text{min}$)を清水として排水したことにより、 $575\text{m}^3/\text{h}$ という濁水処理能力に対して、濁水処理量を $417\text{m}^3/\text{h}$ ($7.0\text{m}^3/\text{min}$)に抑えることができた。もし、清濁分離を行っていなければ、掘削を中断して濁水処理設備の増設を行わなければならなかつたはずである。平成30年2月に行った清水排水設備の段取替えでは、既存の中央集水管を活用したことにより、2日間で作業完了しているが、もし濁水処理設備を増設した場合には1週間程度は掛かると考えられる。よってその損失は大幅に小さいものであり、清濁分離の実施が有効であったことを証明する結果となった。

4.2 湧水量と電力消費の関係について

掘削距離の増加によっても電力消費は増加するが、特に異常出水後の湧水量の多い時期には湧水量とデマンド・電力使用量のグラフが似た変化をしており、湧水量と電力消費は密接に影響する。

デマンド抑制のために発電機を使用した時期には、湧水量の増加に対してデマンドはほぼ横ばいであり、発電機がデマンド抑制に有効であったと言える。しかし、この発電機が消費した燃料代は、抑制された電気代を遥かに上回るものであり、恒久的なデマンド対策とはならない。本来であれば、

設備の大幅な増強を行った時点で今後の電力消費を見直し、電力会社との協議を行うべきであった。

続いて、清濁分離と電力消費の関係に着目する。清水 $0\text{ m}^3/\text{h}$ の平成30年1月に対して、5月は $160\text{m}^3/\text{h}$ を清水として排水し全体でも $79\text{m}^3/\text{h}$ 多く排水しているが、そのデマンドはほぼ同じ値となっている。これは、清濁分離により濁水処理設備の電力消費を抑制できることを示すものである。

4.3 考察のまとめ

多量湧水の処理に関する、上記の考察をまとめると以下のようなになる。

- ① 清濁分離を行えば濁水処理量を低減できる
- ② ①は濁水処理の薬品や電力の消費低減になる
- ③ 本設の中央集水管等を活用することで段取替えによるロスを抑制できる
- ④ 排水設備の稼働増により電力消費も増加する
- ⑤ ④より、電力消費についても都度見直しを行い、電力会社と協議する必要がある

5. おわりに

異常出水による水没の危機などを経て、大規模な設備の増強と清濁分離という貴重な経験をしてきた。しかし、これから工事においても予想しない問題と直面する可能性は十分にある。これまでの経験を生かして工事の完工を実現すると共に、経験を蓄積して、今後も効率的かつ安全な施工を実現できるよう日々研鑽していく所存である。

参考文献

- 1) 日本道路公団委託(社)日本トンネル技術協会:「トンネル工事に伴う湧水渇水に関する調査研究(その2)報告書」、昭和58年2月

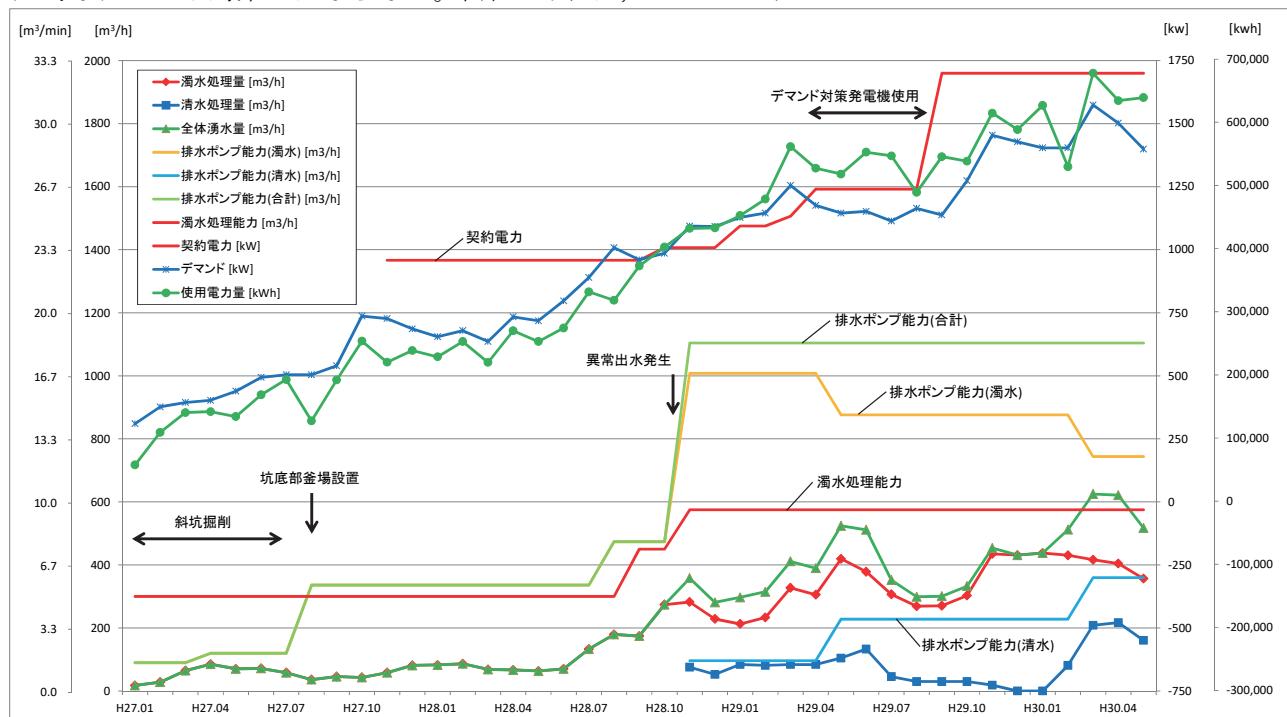


図-5 排水設備能力・排水量・電力消費の推移