

海底トンネル内部からの上向き止水注入の施工管理

北陸電力志賀原子力発電所建設所 正会員○大坂 和弘
 北陸電力志賀原子力発電所建設所 穴田 文浩
 五洋・東洋・東亜・みらい共同企業体 福興 智
 前田建設工業北陸支店 永田 健二

1. はじめに

北陸電力㈱では、志賀原子力発電所において2号機(出力135.8万kW)の増設工事を進めている。発電所で使用する冷却用海水は、海底下の放水路トンネル(水平坑及び立坑)から海底面に設置した放水口(2箇所)より水中放流する方式を採用している。放水路位置図を図1に示す。

放水口と水平坑とを結ぶ立坑工事については全てトンネル内部から施工することとしたが、土被りの小さい海底面下であり止水注入の確実な施工が本工法の重要なポイントであった。今回実施した上向き止水注入の特徴と施工管理実績を報告する。

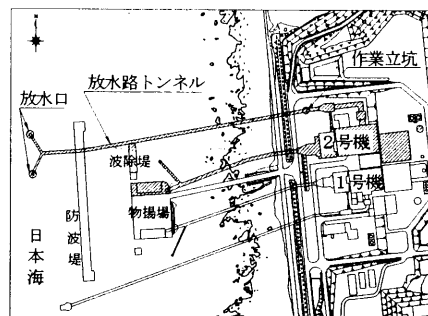


図1 放水路位置図

2. 工事概要

止水注入は掘削径6.0mに対して約3倍の範囲の岩盤(安山岩及び凝灰角礫岩)を対象として実施した。止水注入時、基礎コンクリート底面に作用する注入圧力により放水口ケーソン基礎コンクリートが岩盤面から分離すると、この分離面が新たな水みちとなるおそれがある。このため、基礎コンクリートと岩盤面の密着を保つためグラウンドアンカーを打設した。また、止水注入は放水口ケーソン近傍ステージの注入圧力を制限するなど、放水口ケーソンとの離隔距離を考慮したステージ注入とし、リアルタイムに注入状況の計測管理を行った。ステージ分割図を図2に、孔配置図を図3に示す。

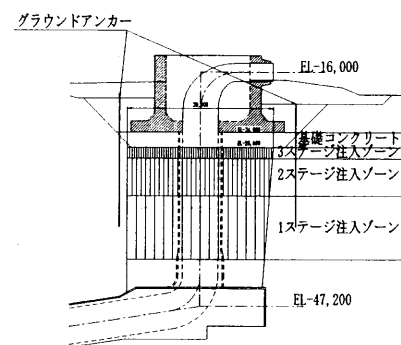


図2 ステージ分割図

2-1 注入仕様

岩盤の透水係数を 5×10^{-5} cm/sec以下(チェック孔の区間湧水量0.4L/分/m以下)にすることを目標とし、注入孔は孔先端間隔2mを基本として立坑中心からリング状に配置した。また、使用材料は、青函トンネル、当サイト1号機で実績のある(S)-1号水ガラスと高炉コロイドセメントを使用したLWであり、水セメント比600%から100%まで配合切替を行った。

2-2 ステージ注入区分：

注入圧力による放水口ケーソンへの影響を極力抑えるため、下記の圧力を限界値とするステージ注入とした。

- 1ステージ：十分な土被りを有することから、水平坑と同様の2.0MPaとする。
- 2ステージ：放水口ケーソンに影響する可能性のあるゾーンであることから、静水圧の2～3倍程度(注入効果を得るための必要注入圧力)を限界として、1.0MPaとする。
- 3ステージ：放水口ケーソン直下であり、2ステージ注入圧力の3割低減に相当する0.7MPaとする。

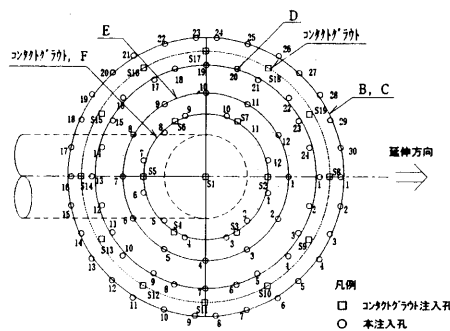


図3 孔配置図

キーワード：海底トンネル，上向き，ステージ注入，計測管理

連絡先：〒925-0161 石川県羽咋郡志賀町字赤住1 志賀原子力発電所建設所 TEL 0767-32-4690

2-3 グラウンドアンカー：

類似工事での実績から放水ロケソン基礎コンクリート直下での注入圧力（0.7MPa）が基礎コンクリート底面積の50%に作用すると想定し、放水ロケソン重量と揚圧力との差分をアンカー（降伏点荷重2,964kN）26本の緊張力（2,254kN/本）により補うこととした。

2-4 計測管理システム及び管理基準

注入圧力による放水ロケソンの挙動を監視するため、グラウンドアンカー4本の軸力を荷重計によりリアルタイムで計測するシステムを導入した。この計測データは海底面に設置した送信機から水平坑内に設けた受信機まで電磁波により地中伝送される。計測管理にあたっては以下に示す2段階の基準を設けた（図4）。

レベルⅠ：最終注入完了時点でアンカー降伏点荷重以内に抑えるための管理レベル

レベルⅡ：レベルⅠで管理するアンカー降伏点荷重に10%の余裕を見込んだ管理レベル

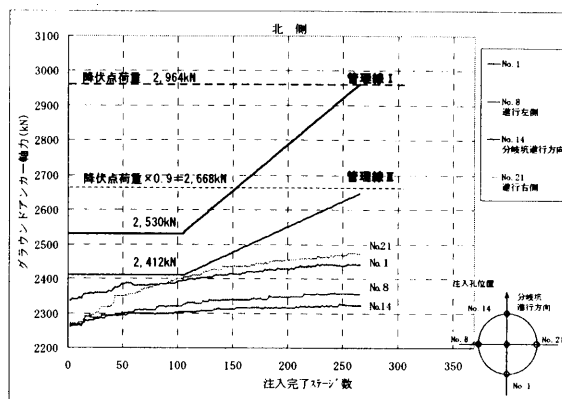


図4 グラウンドアンカー軸力管理図

表1 リング毎の平均注入量及び平均湧水量

リング		平均注入量 (ℓ/m)		平均湧水量 (ℓ/分/m)	
		北	南	北	南
本注	コンタクトグラウト	201	71	4.27	3.64
	B	96	24	0.40	0.90
	C	46	63	0.56	1.61
	D	23	25	1.26	0.93
	E	21	17	0.29	0.59
	F	20	15	0.22	0.36
	追加, CH	28	8	0.15	0.23

表2 リング毎の注入量とグラウンドアンカー変位増分

リング	北		南		
	注入量 (率)	変位増分 (率)	注入量 (率)	変位増分 (率)	
コンタクトグラウト	64.4 (51%)	2.30 (46%)	29.0 (30%)	0.51 (29%)	
本注	B	16.1 (13%)	0.19 (4%)	4.2 (4%)	0.02 (1%)
	C	29.0 (23%)	1.60 (32%)	37.8 (39%)	0.57 (32%)
	D	8.6 (7%)	0.56 (11%)	10.9 (11%)	0.55 (31%)
	E	3.8 (3%)	0.26 (5%)	10.5 (11%)	0.01 (1%)
	F	3.5 (3%)	0.09 (2%)	5.0 (5%)	0.08 (5%)
	追加, CH	2.0 (2%)	0.03 (1%)	0.7 (1%)	0.02 (1%)

(単位 注入量：m3, 変位増分：mm)

3. 止水注入実績

コンタクトグラウトは、最初に放水ロケソン基礎コンクリートと岩盤の境界面及び顕在的な亀裂への充填を目的に19孔を内側から外側に施工した。その後、本注入を外側リングから内側リングに向かって湧水マップ等により注入効果を確認しながら進めた。リング毎の平均注入量及び平均湧水量を表1に示す。止水注入先端部にある基礎コンクリートが遮水効果となり、外側から内側へ注入が進むにつれて平均注入量、平均湧水量ともに低減が顕著となった。また、表2に示すように、注入量に比例してグラウンドアンカーの変位も増加する傾向がみられた。

4. 考 察

当地点の地質を対象とした止水注入について、得られた種々のデータを比較検討した結果、次のことが言える。

(1) 注入量と湧水量及びルジオン値との関係では、注入量は湧水量よりもルジオン値との相関が高い。

(2) 注入量とルジオン値との関係を最大注入圧別にみた場合、注入圧力が1.0MPa

以下では高い相関を示すが、注入圧力が1.5MPa以上になるとばらつきが大きくなる。これは注入圧力が大きくなると、岩盤が初期の状態から変化する可能性があることによるものと推定される（図5、図6）。

5. おわりに

今回、海底に向けた上向き止水注入において湧水圧、土被り等を考慮したステージ注入とし、ステージ毎に設定した限界注入圧の下で綿密な注入管理を行うことにより、直上の放水ロケソンと岩盤との密着面に影響を及ぼすことなく効果的な止水注入を行うことができた。同様な工事の実施にあたり、本報告が参考になれば幸いである。

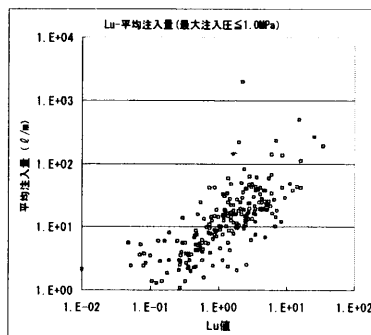


図5 Lu値と平均注入量
(最大注入圧≤1.0MPa)

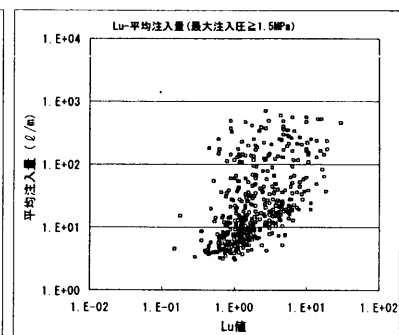


図6 Lu値と平均注入量
(最大注入圧≥1.5MPa)