

低強度帯水地山トンネルにおける先進ボーリング効果

愛知県東三河建設事務所

井上 浩志

清水建設(株)名古屋支店

正会員 ○山本 将

清水建設(株)地下空間統括部

正会員 楠本 太

1. はじめに

県道東三河環状線牛川トンネル（仮称）は、愛知県豊橋市多米町に位置し、トンネル延長630m、内空断面積73m²の二車線トンネルである。地質は粘板岩主体の混在岩で、トンネル延長の約1/2は、土被りが2D（Dは掘削幅）以下で、地下水位が高い粘板岩破砕帯の出現が予想された。このため、坑口部の50mを除き、切羽前方への先進ボーリングを実施するとともに地表からの鉛直ボーリング孔を用いた地下水位モニタリングを実施した。その結果、地下水位の高い破砕帯におけるトンネル周辺地下水挙動や先進ボーリングの水抜き効果、切羽前方地山性状の推定精度などについて知見を得た。

2. 先進ボーリング概要

水抜き先進ボーリングは、穿孔径φ64mmのパーカッション方式ノンコアボーリングである。穿孔長30mのものを20m毎に、断面当たり3孔を施工する（図-1）。トンネル中心天端から2m下がりの1孔は、スライム観察とともに、穿孔速度、フィード圧、回転トルクなどを1秒間隔に測定、単位体積の地山を穿孔するのに要した穿孔エネルギーEd（J/cm³）として換算、地山の硬軟変化、地質不良位置や規模などを特定する。同時に、ボーリング孔湧水量Q（ℓ/min）を測定し、切羽前方地山内地下水状況を調べる。

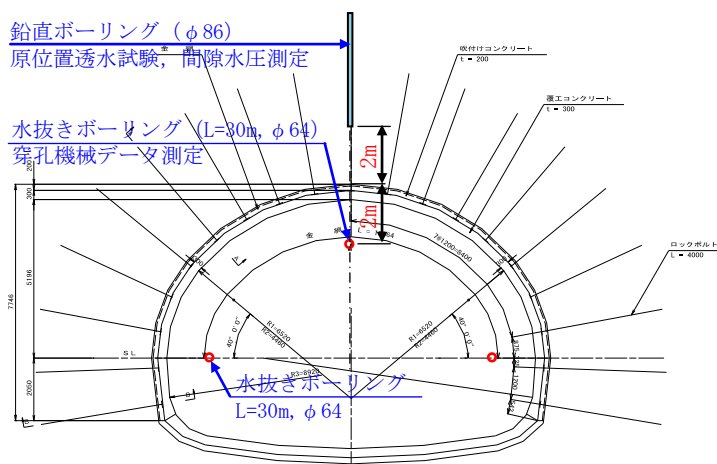


図-1 先進ボーリング位置（DII）

3. 地下水位観測

天端+2m位置をボーリング孔底とする5箇所の鉛直コアボーリングをトンネル中心地表から実施した（図-2）。

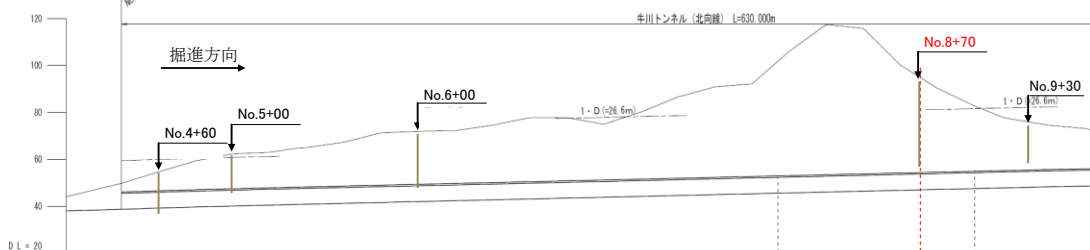


図-2 鉛直ボーリング位置

φ86mmボーリング孔を用いて、原位置透水試験（回復試験法）を実施し、周辺地山の地下水利特性を調べる。鉛直ボーリング坑内水位は、ボーリング孔内に間隙水圧計を設置し、1時間毎に自動測定する（表-1）。

表-1 透水係数と孔内水位（天端周辺）

ボーリング位置	透水係数 k (cm/sec)	孔内水位 (m)	天端周辺地山透水性
No. 8+70	5.48×10^{-6}	40	不透水層
No. 9+30	2.83×10^{-4}	15	透水層

4. トンネル施工法

掘削方法は、上半先進ベンチカット工法の上下半同時併進、機械掘削である。上半掘削の主要機械は、200kWブームヘッダーの使用を基本とする。計測工A断面は10m間隔に設け、自動測定し、トンネルの安定性を予測、評価する。地山等級DIIでは、早期下半掘削、早期閉合を実施して、トンネルの安定を確保する。

キーワード：透水係数、穿孔エネルギー、孔内水位、早期下半掘削、早期閉合

連絡先：愛知県名古屋市中区錦1丁目3-7, Tel. 052-203-1498, Fax. 052-202-0125

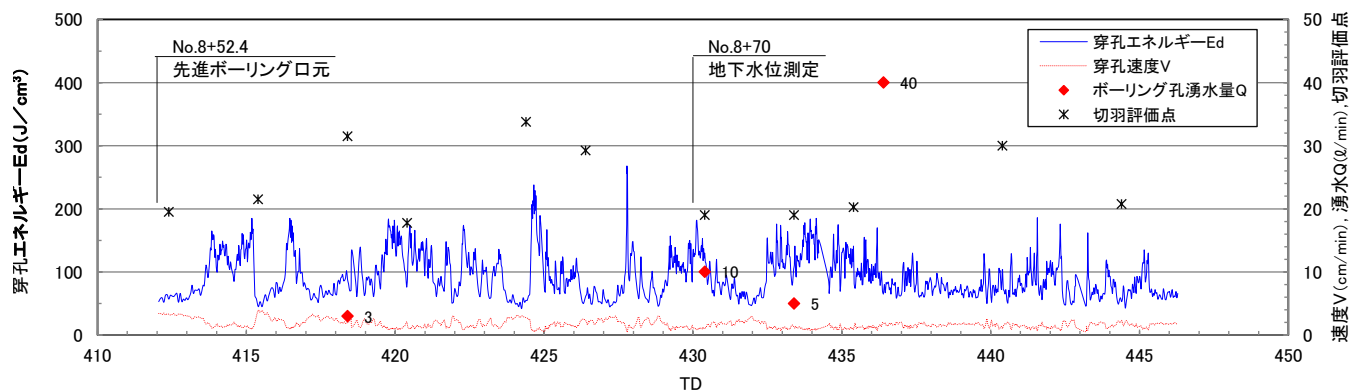


図-3 先進ボーリングデータと切羽評価点 (No. 8+52.4 先進ボーリング)

5. 施工結果と考察

土被り高が最も大きい No. 8+70 鉛直ボーリング直下を通過する水抜き先進ボーリング No. 8+52.4 とこの区間のトンネル掘削について考察する。

(1) 破碎帯 DII 地山の先進ボーリング結果

先進ボーリング No. 8+52.4 の穿孔エネルギー E_d (J/cm^3) とボーリング孔内湧水量 Q (l/min)、この区間のトンネル切羽観察からの切羽評価点を図-3 に示す。これから、以下のことがいえる。

- 穿孔速度 V を概ね $2m/min$ とするノンコアボーリングを実施した。穿孔エネルギー E_d (J/cm^3) は、地山等級 D I 以下とする $200N/mm^2$ を大きく下まわり、変動するので、地山の硬軟変化が激しい DII 地山が継続するが予想された。トンネル掘削時切羽観察から、先進ボーリングで予想したとおり、切羽評価点は概ね 20 以下の DII 地山となり、早期下半掘削、早期閉合でトンネルの安定を確保した。

- ボーリング孔湧水量 Q (l/min) は、口元から 7m で $30l/min$ 、深度 20m で $10 l/min$ 、深度 24m 付近では $40 l/min$ となり、帯水破碎状地山の水抜きボーリングであった。深度 24m 付近の E_d は $100 J/cm^3$ 以下で継続するが、この E_d と Q に相関はみられない。

(2) 粘板岩破碎帯 DII 地山の地下水挙動

鉛直ボーリング No. 8+70 孔内水位変化と水抜きボーリング、トンネル掘削の関係から以下のことがわかる。

- No.8+70 周辺地山の透水性は低く、不透水層と推定された (表-1)。鉛直ボーリング孔内水位低下は、水抜きボーリング No. 8+34.4 の 35m 手前から現れ始めた。

- No.8+70 鉛直ボーリング孔内水位低下は、No. 8+34.4 からの延長 18m のトンネル掘削と No. 8+52.4 の水抜きボーリングによるものが大きく、多亀裂破碎帯における水抜きボーリングの効果が顕著に現れた (図-4, 表-2)。

- No. 8+52.4 から延長 6m を掘削しても、鉛直ボーリング孔内水位は 10m 位置にあった。No. 8+58.4 水抜きボーリングを追加実施、その後トンネル掘削を再開し延長 12m を掘削、No. 8+70 鉛直ボーリング直下を通過すると孔内水位は 1m に低下した。この地下水環境において、切羽崩壊などなくトンネル施工を確実にできた。

6. まとめ

先進ボーリングの地山性状調査精度と水抜き効果が確認できた。今後は、データを蓄積し、一般化したい。

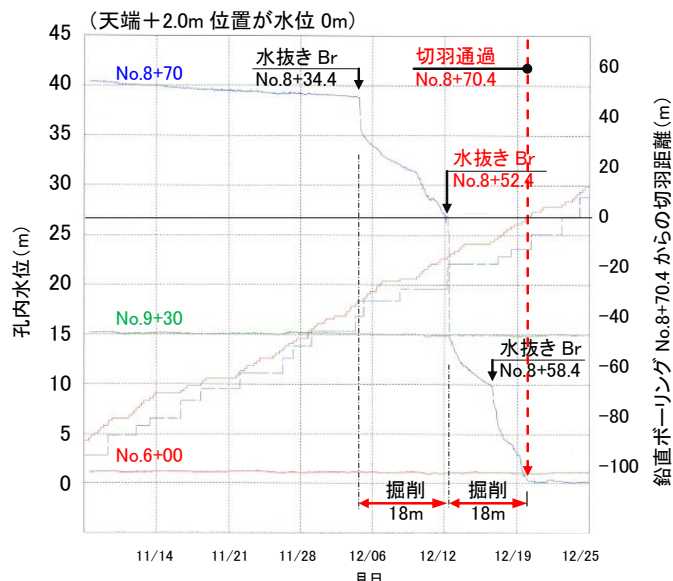


図-4 鉛直ボーリング孔内水位変化

表-2 鉛直ボーリング (No. 8+74) 孔内水位変化

施工ステップ	施工延長 (m)	孔内水位 (m)	水位低下量 (m)
No. 8+34.4 水抜き Br	33.1	39.0→35.5	3.5
トンネル掘削	18.0	35.5→27.0	8.5
No. 8+52.4 水抜き Br	33.1	27.0→15.0	12.0
トンネル掘削	6.0	15.0→10.0	5.0
No. 8+58.4 水抜き Br	30.0	10.0→7.5	2.5
トンネル掘削	12.0	7.5→0.2	7.3

(天端+2.0m 位置が孔内水位 0m である)