

III-355

岩盤掘削に伴う空洞周辺の緩み、物性変化について

清水建設機技術研究所 正会員 ○石塚与志雄・斎藤 章

1. はじめに 岩盤掘削に伴う空洞周辺の緩み、物性変化の測定および評価は、空洞の長期安定性、透水性の評価や掘削方法、空洞支保方法の選定において非常に重要となる。空洞周辺の緩みは、弾性波速度測定や岩盤内変位計測などで評価する場合が多いが、物性変化（変形性、透水性）との関係については測定例も少なく、十分な検討が行われてきていない。そのため、今回、トンネル掘削の前後とトンネル掘削時に各種の原位置試験（孔内載荷試験、孔内透水試験および弾性波速度測定）と計測（岩盤内ひずみと岩盤内変位）を行い、空洞周辺の緩み域の形成と物性変化との関係について検討した。

2. 調査地点と試験、計測の概要 図-1に調査地点の概要と各試験、計測器埋設位置を示す。本トンネルの掘削後に分岐トンネルの掘削を行うため、本トンネル掘削後に各種計測器の埋設と孔内試験用のボーリングを行った。調査位置の深度は約180mである。調査地点の岩盤は、新第三紀中新世の安山岩で、岩石の力学特性は、一軸圧縮強度が約1300kgf/cm²、弾性係数が 4.68×10^5 kgf/cm²程度の硬岩である。岩盤の割れ目性状は、連続性があり開口性のものが1～3m間隔で、また、密着し連続性に乏しい割れ目が板状に10～30cm間隔で分布している。RQDは60前後である。

今回実施した試験、計測項目とその目的、内容をまとめて表-1に示す。No.3,4の調査孔（図-1参照）では、分岐トンネル掘削前後の2回、同一の試験位置で同じ孔内試験を実施した。試験は、岩盤の変形性を調べるための載荷試験、透水性調査のための透水試験および岩盤中の弾性波速度分布を調べるPS検層の3種類である。また、緩み状態を変位、ひずみから調べるために、2本の岩盤内変位計（No.2とNo.5）と1個の岩盤内ひずみ計（No.1）を埋設した。また、弾性波による緩み域の推定のために、トンネル壁面で坑壁弾性波速度測定を行った。

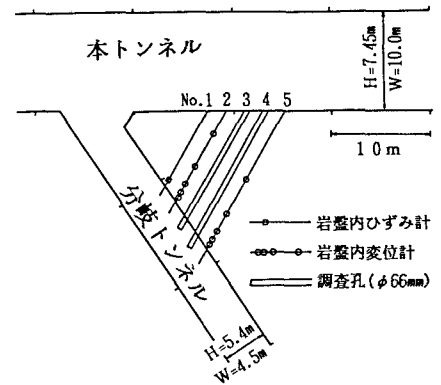


図-1 試験・計測位置

3. 試験・計測結果 主な試験・計測結果を以下に示す。

(1) 孔内載荷試験： No.3孔における弾性係数Eと変形係数D

の測定結果を表-2に示す（参考のために試験箇所のRQDを併記する）。

弾性係数は 2.60×10^5 kgf/cm²程度ある。掘削前後で岩盤の変形性を比較すると、壁面から1.0 m以内の範囲では変形性が大きく低下（表-2で下線を施した値が大きく低下した値）するところがあり、空洞掘削の影響が認められた。これに対して、1.0 m以深ではデータのばらつきがあるもののほとんど変化はなく、掘削の影響はないものと考えられる。

(2) 孔内透水試験： 表-3に注入圧7 kgf/cm²に対する透水係数を示す。透水係数は岩盤の割れ目状態により大き

表-1 各試験項目とその内容

試験・計測項目	目的	内容
①孔内載荷試験	掘削前後の岩盤の弾性係数、変形係数を調べ、力学的観点から物性変化、緩みを調べる。	壁面から0.5, 1.2, 4.8m(5点)の地点で、掘削の前後に載荷試験を実施。
②孔内透水試験	掘削前後の岩盤の透水性を調べ、水理学的観点から空洞周辺の物性変化、緩みを調べる。	壁面から1.2, 4.6, 8m(5点)の地点で、掘削の前後に透水試験を実施。
③PS検層(孔を利用)	掘削による緩み域の発生をPおよびS波速度の変化で調べる。	掘削前後で、弾性波速度(受振点間隔50cm)を測定。
④坑壁弾性波速度測定	空洞壁面周辺の緩み域発生状況を弾性波速度構造より把握。	本トンネル、分岐トンネル壁面の2測線で弾性波速度測定を実施(測線長30m)。
⑤岩盤内ひずみ計	分岐トンネル掘削に伴う空洞壁面近傍のひずみの値、方向の変化を調べる。	分岐トンネル掘削前にひずみ計を埋設して(壁面から1m地点)ひずみ変化を測定。
⑥岩盤内変位計	分岐トンネル掘削に伴う空洞壁面近傍の変位状況を調べる。	分岐トンネル掘削前に多段式変位計を設置して掘削時に変位を計測。

くばらつき $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ cm/sec}$ の範囲で測定された。壁面近傍（1.5m以内）では測定できなかったため、その変化を評価することができなかったが、1.5 m以深の岩盤では掘削前後で大きな変化はなく、この範囲では掘削による岩盤の透水性への影響はないものと言える。

(3) 弾性波速度測定： P S 検層の P, S 波の走時曲線から得られる緩みは壁面から1.5m程度である。また、坑壁弾性波速度測定で得られた分岐トンネル掘削後の壁面周辺の緩みの範囲は図-2のようである。緩み域と推定される壁面からの平均的な範囲は、本トンネル側で 1.0~1.2m, 分岐トンネル側で 0.7~1.0m である。

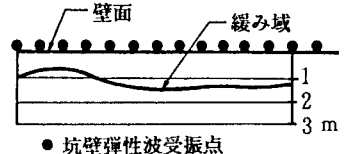
(4) 岩盤内ひずみ： 壁面から1m地点の岩盤内ひずみ（図-3に切羽通過に伴うひずみの推移を示す）は、切羽が通過するまでは大きな変動はないが、通過後、大きな影響を受けて大きなひずみ値となる。特に、空洞半径方向成分は、弾性論によるひずみ増加をはるかに超えた値となった。これは、発破による直接損傷や応力解放による不連続面の開口などが原因と考えられる。

(5) 岩盤内変位： 分岐トンネル掘削に伴う空洞周辺の変位は、ひずみに換算して壁面から2m以内の範囲で、0.05~0.14%程度発生したが、それ以深の範囲ではほとんど変位が観測されず、変位の測定からは掘削の影響範囲は壁面から2 m以内と推定される。

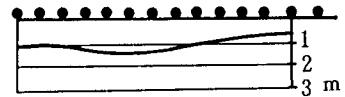
4. まとめ 今回の試験・計測結果から空洞周辺の緩みと物性変化の関係をまとめると以下ようになる。

- ①変位の測定、孔内試験から評価されるひずみ分布、物性変化から評価される緩み域（空洞周辺のひずみまたは物性変化から推定）は、弾性波速度測定から推定される範囲にほぼ対応している。
- ②掘削に伴う空洞周辺の岩盤の変形性、透水性の変化は、緩み域内でのみ生じ、それ以深ではほとんどないと推定される。緩み域内の透水性の変化は今回測定できなかったが、変形性については、弾性係数で最大50%程度低下する可能性がある。

なお、緩みの発生や物性変化は、当該岩盤の地質状況に大きく依存するため、今回得られた緩みの範囲や物性変化特性が一般的とは言えない。そのため、今後、異なった原位置で今回実施したような試験・計測を実施し、地質の関係を整理していくことにより、岩盤の緩み、物性変化の特性がより明らかになっていくものとする。



(a) 本トンネル壁面部分



(b) 分岐トンネル壁面部分

図-2 坑壁弾性波速度測定による壁面近傍の緩み域

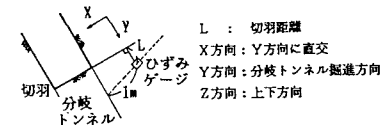
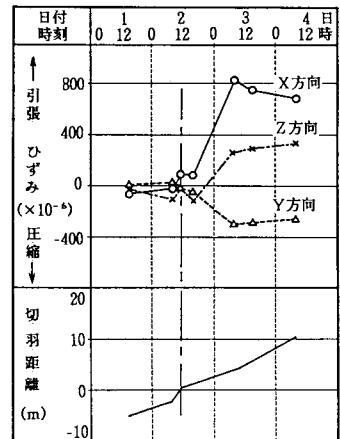


図-3 切羽通過前後の岩盤内ひずみの推移

表-2 孔内载荷試験結果

測定位置 壁面からの 距離 (m)	R Q D	弾性係数 (kgf/cm ²)		変形係数 (kgf/cm ²)	
		掘削前	掘削後	掘削前	掘削後
0.5	39	3.96×10^5	1.78×10^5	2.20×10^5	1.32×10^5
1.0	59	2.32×10^5	1.77×10^5	1.80×10^5	1.80×10^5
2.0	52	2.26×10^5	2.14×10^5	1.98×10^5	2.20×10^5
4.0	68	2.20×10^5	2.04×10^5	1.98×10^5	1.98×10^5
8.0	62	2.20×10^5	2.29×10^5	1.98×10^5	2.20×10^5

表-3 孔内透水試験結果

測定区間 壁面からの 距離 (m)	R Q D	透水係数 (cm/sec)	
		掘削前	掘削後
0.0~1.0	39	3.6×10^{-4}	実施せず
1.5~2.5	52	1.2×10^{-4}	7.9×10^{-5}
3.5~4.5	68	2.4×10^{-4}	1.9×10^{-4}
5.5~6.5	54	8.9×10^{-5}	9.4×10^{-5}
7.5~8.5	62	1.0×10^{-5}	0 *

* 流入水量が微量のため透水係数が算定できず