

**投稿論文** (和文報告)

**TECHNICAL  
REPORT**

# 不連続性岩盤のトンネル交差部におけるゆるみ領域の計測結果について

石塚与志雄\*・斎藤 章\*\*・泉谷泰志\*\*\*

不連続性岩盤のトンネル交差部において、掘削による空洞周辺のゆるみ・物性変化の把握を目的として、各種の原位置計測（孔内載荷試験、孔内透水試験、PS検層、坑壁弾性波速度測定、岩盤内変位計、ひずみ計など）を実施した。その結果、坑壁弾性波速度測定はトンネル壁面近傍に発生するゆるみ領域の簡易測定としては有用であるが、透水性や変形性などの物性変化は不連続面に大きく影響することなどの知見を得た。

**Key Words:** jointed rock, loosened zone, field measurement, borehole test

## 1. まえがき

岩盤掘削に伴う空洞周辺のゆるみ・物性変化は、空洞の長期的安定性、透水性の評価や掘削工法、支保方法の選定などの観点から従来から重要な課題である<sup>1)</sup>。また、新エネルギー貯蔵施設であるライニング方式の圧縮空気貯蔵<sup>2),3)</sup>や超電導エネルギー貯蔵施設<sup>4)</sup>では変動する高圧空気や電磁力を岩盤で支持するため、空洞周辺の岩盤の長期的な耐久性の評価が課題となっている。そのため、より一層、掘削に伴う空洞周辺のゆるみ・物性変化を定量的に測定する技術が必要となってきている。

“ゆるみ”は、不連続面などの地質構造や岩盤の強度、初期地圧とともに空洞の規模、掘削・支保方法などに依存するが、発破による硬質岩盤の掘削では(1)発破による岩盤への直接損傷（新たな亀裂の発生）や、(2)空洞の半径方向応力の減少による既存割れ目の開口などにより岩盤の弾性係数が低下する状態である。これに対して、軟岩では、強度不足が原因で発生する塑性化が主であり、せん断剛性が低下する状態である。原位置でゆるみ領域を測定する方法には以下のような方法がある<sup>1),5)</sup>。

- ① 弾性波速度による方法
- ② 透水試験による方法
- ③ 孔内載荷試験による方法
- ④ ポアホールTVによる亀裂開口の直接観察
- ⑤ 岩盤内変位計などによる変位分布測定

従来、ゆるみ領域の測定は、弾性波探査により得られる弾性波速度構造から推定されるケース<sup>6)~8)</sup>が多く、池田・桜井<sup>6)</sup>は岩盤強度とトンネル断面寸法に着目して、

弾性波速度からゆるみ領域を求める式を提案している。しかし、長期的な強度や耐久性の評価のためにはより実際の物性（変形性や透水性）の変化としてゆるみを測定する必要がある。透水性については、揚水式発電所の地下空洞において幾つか測定されており<sup>9)~11)</sup>、空洞周辺では亀裂の開口により数10倍から100倍と透水性が増加することが報告されている。また、本島<sup>9),10)</sup>は透水試験と合わせて空洞周辺の亀裂の開口をポアホールTVで直接観察し、亀裂開口幅と岩盤の透水性との関係を示している。孔内載荷試験の適用としては三木・宮川<sup>12)</sup>の測定例が報告されており、ゆるみによる岩盤の劣化を孔内載荷試験で得られる変形係数で表している。

海外においても放射性廃棄物地層処分の核種移行評価に関連して、空洞周辺の透水性変化の測定が行われてきている<sup>13)~16)</sup>。一般的には、掘削により空洞周辺の透水性は上昇する。しかし、その変化量は既存不連続面の密度、卓越方向、連続性や応力状態などにより異なり、掘削前の透水性と比較してほとんど変化しない岩盤から数百倍に増加するものまで大きくばらつく。また、その範囲も空洞によって様々である。このように不連続性岩盤におけるゆるみ領域における透水性変化は極めて複雑であり、ゆるみ領域における物性変化やその範囲を理論的に説明するには至っていないのが現状である。

不連続性岩盤の空洞掘削に伴う岩盤のゆるみ・物性変化を定量的に測定し、設計に反映させていくには、原位置岩盤の計測データに基づいて調査・解析技術を検討していく必要がある。このような観点に立って、今回、不連続性が卓越するトンネルの交差部を利用して掘削前後に各種の原位置岩盤計測を実施して岩盤のゆるみ・物性変化を測定したので、その結果を報告する。

\* 正会員 工博 清水建設㈱総合企画室 主査  
(〒105-07 港区芝浦1-2-3 シーパンスS館)

\*\* 正会員 工修 清水建設㈱技術研究所

\*\*\* 正会員 清水建設㈱土木本部技術第二部

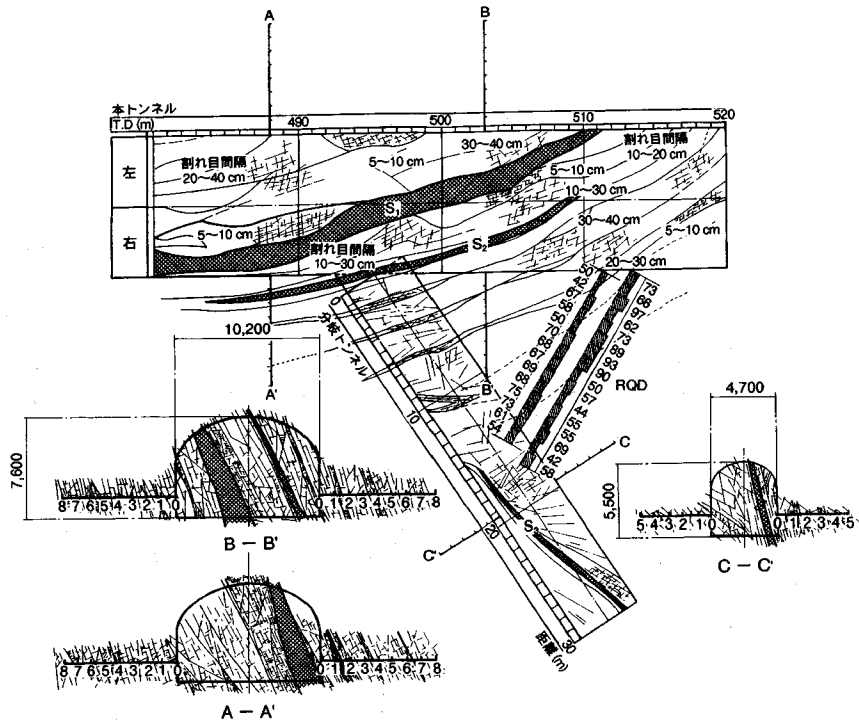


図-1 調査トンネル交差部付近の地質平面図と断面図，水平ボーリングコアのRQD

## 2. 調査地点の地質状況と調査内容

### (1) 調査地点の地質状況

調査したトンネル交差部地点の地質平面図と断面図を図-1に示す。施工順序は、本トンネル（幅10.2m×高さ7.60m）の掘削後、分岐トンネル（幅4.70m×高さ5.50m）が掘削された。施工方法は発破による全断面掘削NA TM（1発破当たりの掘進長は約2m）である。なお、交差部の深度は土被り深度で約163mである。

調査地点は、新第三紀中新世の安山岩で新鮮堅硬な岩盤である。岩石コアの物性値は表-1に示すようであり、一軸圧縮強度 128 MPa、弾性係数 45.9 GPa、P波速度 5.02 km/sである。物性値は水平調査ボーリングコアの室内岩石試験から求めたものであり、それぞれ6供試体以上の試験結果を平均したものである。不連続面は図-1に示すように高角度で南東に傾斜する割れ目と3本の弱破砕帯（S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>）が存在する。主節理の見掛け上の傾斜は本トンネルで切羽面で50~80°となっているが、分岐トンネルでは節理面とトンネル方向がほぼ直交している。また、連続性があり開口性のものが1~3m間隔で、密着し連続性に乏しい節理が板状に10~30cm間隔で分布している。なお、水平に近い割れ目は極めて連続性に乏しい。RQD（本トンネルから分岐トンネルに行

表-1 調査地点の岩石物性（室内岩石試験結果）

一軸圧縮強度 (MPa)	圧裂引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)	
128	10.6	45.9	
ポアソン比	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)
0.21	2.72	5.02	2.80

表-2 調査地点の岩盤等級

岩盤分類	クラスまたは評点
電中研分類	C <sub>H</sub> 一部 C <sub>M</sub>
CSIR分類 (RMR)	60 一部 55
NGI分類 (Q)	6.2 一部 5.8

った水平ボーリングコアから評価、図-1参照)は65前後である。S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>の弱破砕帯は粘土は伴わないが鏡肌を有する岩片の集合体よりなる。S<sub>1</sub>は底盤で約2mの幅を持つが、上方に行くに従って薄くなる。S<sub>2</sub>は約40cm幅である。走向傾斜は周囲の割れ目と同じ走向N20E~N30E, 傾斜50~80Eである。S<sub>3</sub>の走向はN80E~N90E, 傾斜は80Sである。

表-3 各調査・試験項目の目的と方法

調査・試験項目	目的	方法
① 地質調査	岩盤の地質状況(不連続面)を調査し、物性および挙動評価時の基礎データを得る。	切羽、側壁の地質観察により岩盤等級の評価と地質展開図の作成。
② コア観察, 室内岩石試験	ボーリングコアの観察により割れ目状況を調査。岩石試験により岩石物性を評価。	コア観察, RQDの評価。 室内岩石試験(強度, 弾性波速度)
③ 孔内載荷試験	掘削前後の岩盤の変形性を測定して、力学的な観点から物性変化, ゆるみを調査。	壁面からの0.5, 1, 2, 4, 8m(5点)の地点で, 掘削前後に載荷試験を実施。
④ 孔内透水試験	掘削前後の岩盤の透水性を測定して、水理学的な観点から物性変化, ゆるみを調査。	壁面からの1, 2, 4, 6, 8m(5点)の地点で, 掘削前後に透水試験を実施。
⑤ PS検層	掘削によるゆるみ域の発生程度をPおよびS波速度の変化で調査。	調査孔を利用して分岐トンネル掘削前後に, 弾性波(P, S波)検層を実施。
⑥ 坑壁弾性波速度測定	空洞周辺のゆるみ域発生状況を壁面近傍の弾性波速度構造により把握。	本トンネル, 分岐トンネル壁面の2測線(測定長30m)で弾性波速度試験を実施。
⑦ 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値, 方向の変化を調査。	分岐トンネル壁面近傍にひずみ計を埋設して, 掘削によるひずみ変化を測定。
⑧ 岩盤内変位計	本, 分岐トンネル掘削に伴う空洞周辺の岩盤内の変位変化を調査。	トンネル周辺に合計11本の岩盤内変位計を設置して, 逐次, 変位を測定。
⑨ 内空変位, 天端沈下	本, 分岐トンネル掘削に伴う空洞の変形性状を調査。	本, 分岐トンネルに測点(岩盤内変位計に対応)を設置し, 逐次, 変位を計測。

各切羽毎に行った岩盤等級を電中研分類, CSIR分類, NGI分類の3分類で整理すると表-2のようになる。本トンネルの T.D.492.5m 付近で  $C_M$  となる以外は  $C_H$  である。

## (2) 調査内容

トンネル交差部で実施した各調査・試験の実施位置, 計測機器設置位置を図-2に, 各調査・試験の目的と内容を表-3にまとめて示す。

空洞掘削前後のゆるみ領域と物性変化の把握を目的として, 本トンネル掘削直後に, 分岐トンネル掘削予定位置に向けて, 岩盤内ひずみ計(No.1, 共和電業製の8成分ゲージひずみ計), 岩盤内変位計(No.2, No.5), 調査孔( $\phi 66\text{mm}$ , No.3, No.4)を設けた。調査孔では, 分岐トンネル掘削前後の2回, 同一位置で同様の孔内試験を実施した。試験項目は, 岩盤の変形性把握のための孔内載荷試験, 透水性把握のための孔内透水試験および岩盤の弾性波速度分布を調べるためのPS検層の3種類である。

孔内載荷試験は, 測定区間長 520mmの等圧分布載荷方式(エラストメータ)で4.9, 9.8, 19.6MPaの段階載荷とした。透水試験はダブルパッカー方式により測定区間を1mとして0.098, 0.294, 0.490, 0.686MPaの注水圧で試験を行った。各々の壁面からの測定位置は表-3に示すようである。PS検層は, 受振点間隔を0.5mとし, P波振源は鉄棒を壁面と垂直方向に強打する方法, S波振源は坑壁に角材を固定して, 角材の端部を強打することにより壁面にせん断力を与える方法で実施した。

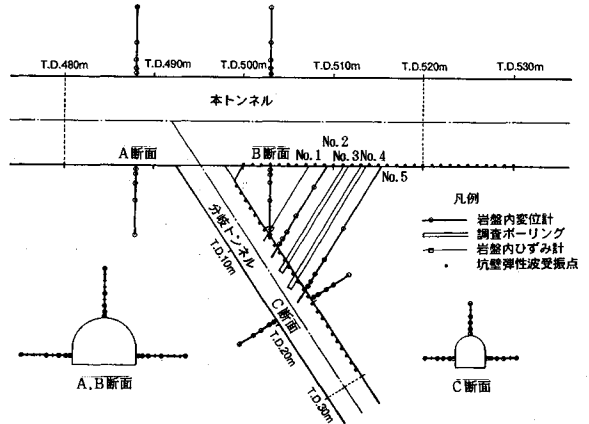


図-2 調査・試験位置および計測機器設置位置

また, ゆるみ範囲の一般的な測定方法である屈折法による坑壁弾性波速度測定(測定長30m, 底盤からの高さ1.5m, 受振点間隔1m)も実施した。本トンネルの坑壁については分岐トンネルの掘削前後の2回測定を行った。

以上の分岐トンネルの壁面近傍の各種計測に加えて, トンネルの施工管理計測として行われる岩盤内変位, 内空変位, 天端沈下の計測を切羽の進行に合わせてA, B, C断面(図-2参照)で行った。

### 3. 試験・計測結果と考察

#### (1) ゆるみ領域における物性変化

##### a) 岩盤内変位

岩盤内変位計の変位計測で得られたひずみ分布を図-3, 4に示す。符号は引張を正としている。図-3の本トンネルA, B断面のひずみ分布は、掘削直後に変位計を設置しているため、それ以降の切羽進行に伴う応力解放から得られたものである。これに対して、図-4の分岐トンネル近傍の結果は掘削前から本トンネルから変位計を設置しているため、掘削による全応力解放に対応するひずみである。

A断面では、右側壁の0~2m範囲で0.6~0.8%と大きな値を示す。2m以深ではほとんど変位がないため、壁面近傍の変状は破碎帯 $S_2$ の影響と推定される。一方、左側壁・天盤では、左側壁の0.5m以内で0.2%程度のひずみが発生しているが天盤ではほとんど変位していない。この違いは割れ目の卓越方向に関係しているものと考えられる。また、B断面では、破碎帯 $S_2$ が横切っている天盤付近と右側壁の0.5~1.0m間で約0.2%のひずみが発生している以外は大きな値は示さない。

分岐トンネル壁面近傍のひずみは、No.2では0.5~1.0m間で-0.07%の圧縮、1.0~2.0m間で0.08%の引張が生じるが、2m以深では変位しない。これに対して、No.5では0.5~1.0m間で0.14%の引張、1.0~2.0m間で-0.06%の圧縮が生じるが、2m以深では±0.01%と小さなひずみとなる。壁面近傍の変位は割れ目の影響を受けて圧縮と引張が共存する複雑な挙動を示すが、変位計測のデータからは掘削によるゆるみ範囲は2m以内と考えることができる。

##### b) 孔内载荷試験

No.3, 4孔における分岐トンネル掘削前後の変形係数Dと弾性係数Eの測定結果を表-4に示す。参考のために試験箇所RQDを併記する。掘削前の平均的な変形係数は18.4GPa、弾性係数は22.8GPaである。掘削前後の弾性係数の変化を分岐トンネルの壁面からの距離を横軸にとって整理すると図-5のようになる。No.3孔の0.5m地点では、掘削前の変形係数は21.6GPa、弾性係数は38.8GPaと他の地点より高い値を示すが、掘削後はそれぞれ12.9GPa、17.5GPaと共に大きく低下する。1m地点では弾性係数が24%するが、1m以深では大きな変化は認められない。これに対して、No.4孔では壁面から8mの範囲まで10~18%低下する。変形係数の測定結果も考慮すると掘削の影響は壁面から4~8mの範囲にまで及んでいるものと推定される。このように、No.3孔とNo.4孔では掘削による影響が大きく異なる。

No.3孔は変形性低下が壁面近傍にのみ限定されているため、当地点のゆるみは発破による直接損傷が主要原因

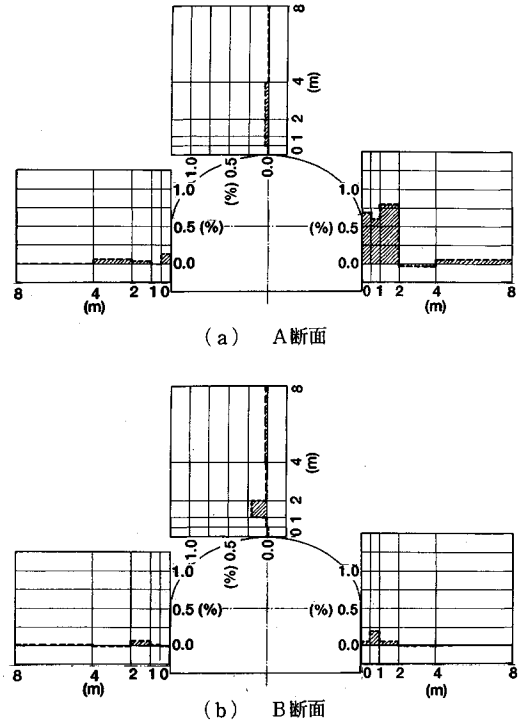


図-3 本トンネル掘削による本トンネル周辺のひずみ分布

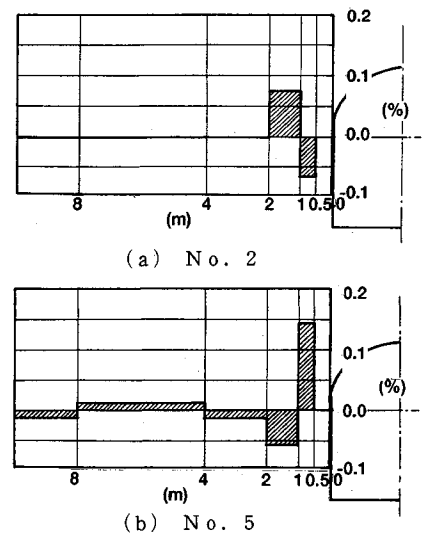


図-4 分岐トンネル掘削による分岐トンネル側壁部分のひずみ分布

と推定される。これに対して、No.4孔は掘削の影響がトンネル幅と比較して深いため弾性論的考察だけでは説明できない。そのため、これは掘削による岩盤の不連続面の変形（開口、すべり）の影響と推定される。

表一 4 孔内載荷試験結果一覧表

孔番	測定位置 壁面からの距離	RQD	変形係数 (GPa)			弾性係数 (GPa)		
			掘削前	掘削後	変化率	掘削前	掘削後	変化率
No.3	0.5m	39	21.6	12.9	-0.40	38.8	17.5	-0.55
	1.0m	59	17.7	17.7	0	22.8	17.4	-0.24
	2.0m	52	19.4	21.6	+0.11	22.2	21.0	-0.05
	4.0m	68	19.4	19.4	0	21.6	20.0	-0.07
	8.0m	62	19.2	21.6	+0.11	21.6	22.5	+0.04
No.4	0.5m	57	17.7	17.7	0	22.8	19.8	-0.13
	1.0m	71	17.7	19.4	+0.10	22.4	21.7	-0.03
	2.0m	55	19.4	17.7	-0.10	21.5	19.3	-0.10
	4.0m	35	18.3	14.9	-0.19	19.3	17.1	-0.12
	8.0m	94	13.5	12.2	-0.10	15.4	12.7	-0.18

表一 5 孔内透水試験結果一覧表

孔番	測定位置 壁面からの距離	RQD	ルジオン値	
			掘削前	掘削後
No.3	0.5~1.0m	39	35.4	—
	1.5~2.5m	52	12.9	9.5
	3.5~4.5m	68	26.8	16.3
	5.5~6.5m	54	8.4	9.2
	7.5~8.5m	62	0.9	3.3
No.4	0.0~1.0m	57	----	—
	1.5~2.5m	55	8.2	9.9
	2.5~3.5m	35	----	400以上
	5.5~6.5m	46	6.2	5.8
	7.5~8.5m	94	2.4	36.1

—: 分岐トンネルの掘削により試験できず  
 ----: トンネル壁面からの漏水のため試験できず

c) 孔内透水試験

表一 5 に掘削前後のルジオン値をまとめて示す。掘削前のルジオン値は0.9 ~ 35.4 とばらつくのに加えて、No. 4孔では注入時にトンネル壁面より漏水するものもあり、弾性係数以上に岩盤内部の不連続面の影響を大きく受ける。掘削後の透水試験は、装置のパッカーのために壁面近傍では測定できず、壁面から1.5 m以内の透水性の変化を測定できなかった。弾性係数と同様にルジオン値の掘削前後の変化を図一 5 に示す。

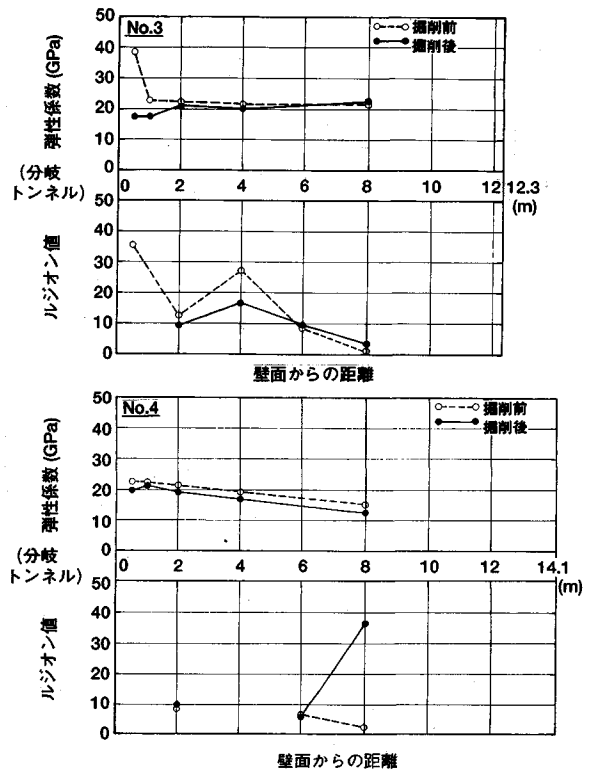
No.3孔では、7.5~8.5 m間で透水性が4倍近くに増加するのを除外すれば2 m以深ではほとんど変化なしと判断される。また、No.4孔でも7.5~8.5 m間で約15倍に増加する以外は大きな変化はないと推定される。

No.4孔の7.5~8.5 m間は弾性係数も18%低下しているのに加えて、岩盤内変位(図一 4(b)参照)も8 m点で変位しており、分岐トンネル掘削によって8 m付近の既存の割れ目が開口またはすべったものと推定される。

このように、不連続面の挙動が物性変化に大きな影響を与えるが、その挙動は複雑でどの不連続面がどの程度影響するかを事前に予測するのは非常に難しい。

d) 弾性波速度測定

P S 検層から求めた走時曲線の勾配から決定された岩盤の速度層構成からトンネル壁面近傍の弾性波速度の低下領域を評価すると、その範囲はP波、S波でほとんど差がなく、No.3, No.4孔で約1.5m程度となった。つぎに、坑壁弾性波速度測定で得られた壁面からの弾性波速度低下領域を図一 6 に示す。応力集中および重複発破の影響が予想される分岐部を除いて、健全部のP波速度が4.42~4.44km/sに対して、壁面部分では2.40~2.66 km/sに低下する。その範囲は、本トンネル側で1.0~1.5m、



図一 5 掘削によるトンネル周辺の弾性係数、ルジオン値の変化

分岐トンネル側で0.7~1.0mとなる。これらの結果は、岩盤内変位で得られた空洞周辺のひずみ分布とより対応を示す。このように、坑壁弾性波速度測定は空洞周辺に発生するゆるみ範囲を簡単に把握するには有用と思われる

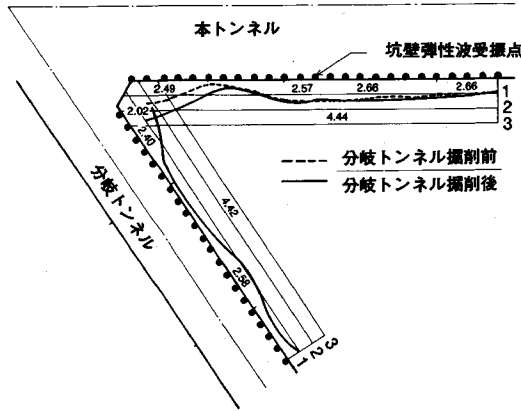


図-6 坑壁弾性波速度測定 (P波速度) によるトンネル壁面近傍のゆるみ領域

るが、孔内試験で生じたNo.4孔の8m付近の変化を捉えることはできない。そのため、不連続性岩盤の空洞周辺の透水性や変形性などの変化を議論するには、弾性波速度測定や岩盤内変位測定だけでは限界があると言える。

(2) 分岐部の変形状

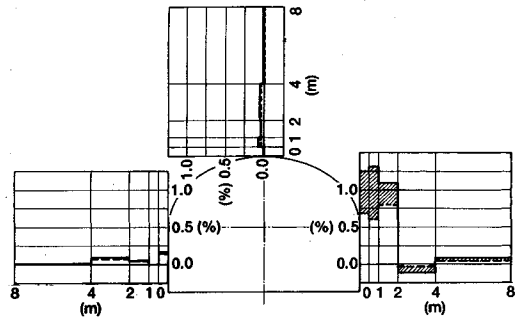
本トンネルと分岐トンネルの交差部は、応力集中や発破の重複などの影響で、ゆるみ領域が拡大するものと予想される。図-7はA, B断面の分岐トンネル掘削によるひずみ増加である。本トンネル掘削では弱破砕帯の影響でA断面の右側壁で大きなひずみが発生したが、分岐トンネル掘削では、この部分は更に変位するが、それ以上にB断面の右側壁部分で約0.90%と大きなひずみが生じる。

また、壁面近傍の弾性波速度の分布は図-6に示すように分岐トンネル掘削により本トンネルと分岐トンネルで挟まれた部分の弾性波速度が2.02km/sまで低下するとともに、その範囲も拡大する。分岐トンネルの掘削前後の弾性波速度分布の差から分岐トンネル掘削の影響範囲は、トンネル交差部の6m程度と推定される。

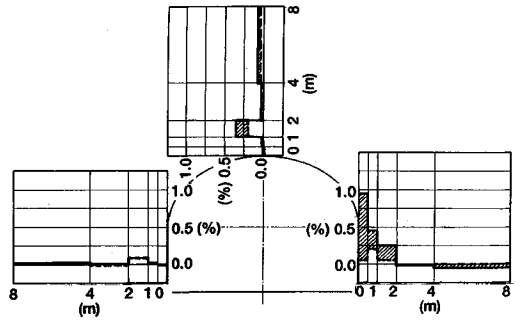
以上のように、トンネル交差部の隅角部ではゆるみ領域が大きく発生することになるため、支保材の選定には十分注意する必要がある。

(3) 切羽進行に伴う空洞周辺のひずみ変化

分岐トンネルの側壁1m点に設置したひずみ計の分岐トンネル掘削に伴うX, Y, Z方向のひずみ変化を図-8に示す。ここで、トンネル半径方向がX, トンネル進行方向がY, 上下方向がZである。また、図-9にXY平面内における主ひずみの変化を示す。切羽がひずみ計設置点を通過し1.5mに至るまでは各ひずみとも100μ以下のわずかな変動であるが、切羽の通過とともに大きな変動を示す。特に、トンネル半径方向では弾性範囲を



(a) A断面



(b) B断面

図-7 分岐トンネル掘削に伴う本トンネル周辺のひずみ増加

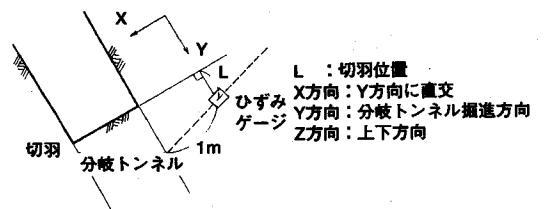
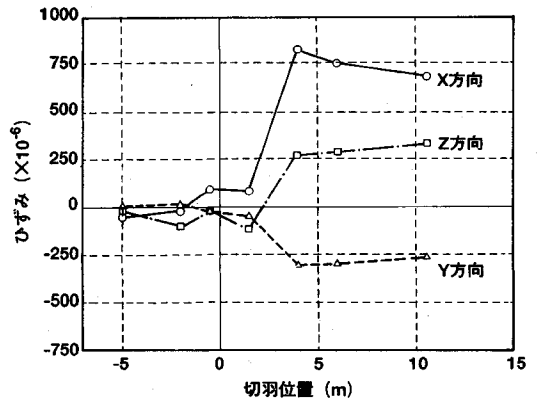


図-8 分岐トンネルの切羽通過に伴うトンネル側壁近傍(1m地点)の岩盤内ひずみの推移

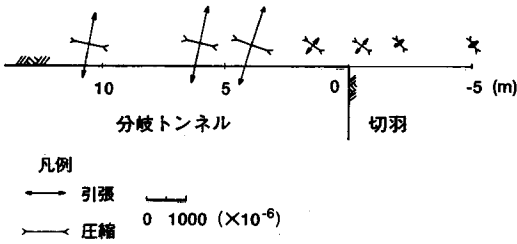


図-9 XY平面内における切羽通過に伴う主ひずみの変化

を超えた約  $800\mu$  の大きな引張ひずみが発生した。ひずみ計の設置位置は、壁面から 1m であり、弾性波速度測定や岩盤内変位などの測定結果からゆるみ領域と判定される領域内にある。このことから、 $800\mu$  のひずみは、応力解放によるゆるみ領域内の不連続面の開口が原因と考えられる。

#### 4. 結 論

岩盤のゆるみと物性変化の把握を目的として、不連続性が卓越する岩盤のトンネル交差部で各種調査・試験を行った。その結果、以下のような知見が得られた。

(1) 坑壁弾性波速度測定で得られるゆるみ範囲は、岩盤内変位計の結果とよい対応を示す。ロックボルト長の決定など空洞周辺に発生するゆるみ範囲を簡単に把握するには、坑壁弾性波速度測定が有用と思われる。

(2) 掘削による岩盤の変形性、透水性の変化は発破による直接損傷と岩盤の不連続面の影響を大きく受ける。発破による直接損傷により壁面部分では弾性係数が約 50% 低下する。一方、ルジオン値は壁面より 8m 離れた地点でも約 15 倍も増加し、不連続面の挙動が透水性の変化に大きな影響を与える。この挙動を弾性波速度測定で推定するのは困難であった。

(3) 岩盤内変位計測と坑壁弾性波速度測定から、トンネル交差部の隅角部は応力集中や重複発破の影響で、ゆるみ領域が拡大するため、支保材の選定に注意する必要がある。

以上のように、空洞周辺のゆるみ領域の簡易な測定として坑壁弾性波速度測定は有用である。しかし、透水性や変形性などの物性変化は岩盤内の不連続面の挙動に大きく影響され、8m 地点において大きな変化を示す。そのため、定量的に不連続性岩盤のゆるみ・物性変化を把握するには、不連続面を考慮した解析が必要であろう。

今回実施した孔内試験では線上の物性変化しか捉えることができないのに加えて、孔内試験の結果は測定箇所局所的な影響を大きく受ける。そのため、空洞周辺の面的な物性変化を把握するには新たな測定技術の開発が

必要と考える。

最後に、今回の原位置調査・試験に際しては応用地質(株)の協力を得ました。ここに、感謝を表します。

#### 参考文献

- 1) 桜井春輔：トンネル掘削に伴うゆるみ領域の研究，トンネルと地下，Vol.14, No.1, pp.35~41, 1983.
- 2) 土木学会エネルギー土木委員会編：圧縮空気貯蔵発電システム (CAES) と土木技術—その現状と技術課題—，土木学会，1990.
- 3) 石塚与志雄・熊坂博夫・小野勇司・八田敏行・木下直人・若林成樹：ライニング方式圧縮空気貯蔵における岩盤の安定性に関する検討，清水建設研究報告，第54号, pp.21~32, 1991.
- 4) (財) エンジニアリング振興協会：超電導エネルギー貯蔵システムに関する調査研究報告書 (ENAA 1985- P3)，エンジニアリング振興協会，1986.
- 5) (社) 日本トンネル技術協会：トンネル掘削によるゆるみ領域の調査報告書，133p., 1982.
- 6) 池田和彦・桜井孝：トンネル周辺のゆるみ領域と評価，第5回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.163~167, 1977.
- 7) 島昭治郎・谷本親伯・西原晃・刈谷敬三・岸田豊：和泉層のゆるみ現象，第13回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.106~110, 1980.
- 8) 吉岡直人・鍋岡昭三：弾性波検層による今市地下発電所周辺岩盤のゆるみの評価，電力中央研究所報告・研究報告：382028, 1982.
- 9) 本島勲：地下空洞掘削に伴う周辺岩盤における透水性の変化に関する一考察，第12回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.121~125, 1979.
- 10) 本島勲：地下空洞掘削に伴う周辺岩盤における透水性の変化に関する計測，第6回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.199~204, 1984.
- 11) 世一英俊・蓮井昭則・山下亮：地下空洞掘削時における周辺岩盤の物性変化に関する計測結果とその評価について，第6回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.193~198, 1984.
- 12) 三木幸蔵・宮川純一：ポアホールジャッキによる岩盤のゆるみ測定例について，第16回土質工学研究発表会講演集, pp.1357~1360, 1982.
- 13) P.A. Lang : Room 209 Excavation Test, Proc. Workshop on Excavation Response in Deep Radioactive Waste Repositories-Implications for Engineering Design and Safety Performance, No.19, Winnipeg, CANADA, April 1988.
- 14) D.J.Borns and J.C.Stormont : An Interim Report on Excavation Effect Studies at the Waste Isolation Pilot Plant : The Delineation of the Disturbed, Proc. Workshop on Excavation Response in Deep Radioactive Waste Repositories-Implications for Engineering Design and Safety Performance, No.24, Winnipeg, CANADA, April 1988.



- 
- 15) R.L.Beauchem and G.J.Saulnier, Jr. : Evaluation of Excavation Effects on Rock mass Permeability around the Waste-Handling Shaft at the WIPP Site, Proc. Workshop on Excavation Response in Deep Radioactive Waste Repositories-Implications for Engineering Design and Safety Performance, No.25, Winnipeg, CANADA, April 1988.
- 16) T.E.Blejwas, R.M.Zimmerman, et al. : Excavation Effects on Tuff-Recent Findings and Plans for Investigations at Yucca Mountain, Proc. Workshop on Excavation Response in Deep Radioactive Waste Repositories- Implications for Engineering Design and Safety Performance, No.12, Winnipeg, CANADA, April 1988.

(1992.6.10 受付)

---

## RESULTS OF FIELD MEASUREMENT OF A LOOSENED ZONE AT THE INTERSECTION OF TUNNELS IN JOINTED ROCK MASS

Yoshio ISHIZUKA, Akira SAITO and Yasushi IZUMIYA

To investigate a loosened zone and its characteristics surrounding the underground opening caused by excavation, various kind of field measurements, which are dilatometer, permeability test, borehole seismic survey, seismic refraction method, extensometer, strainmeter and so on, have been carried out and installed at the intersection of tunnels in jointed rock mass. Results of field measurements showed that seismic refraction method would be useful as a simple one of evaluating the loosened zone. discontinuities in rock had the great effect on changing of permeability and mechanical properties of rock mass and the loosened zone at the intersection was extended due to stress concentration and an added blasting.

---