

(4) 岩盤空洞周辺の緩み領域の調査について

三井建設(株)技術研究所 正会員 中田 雅夫
三井建設(株)技術研究所 小瀬 幸雄
サソココンサルタント(株) 正会員○佐々木勝司
サソココンサルタント(株) 福間 敏夫

Examination of loose zone in rock around underground openings

Masao Nakata , Yukio Kose
(Technical Research Institute of Mitui Construction Co.,LTD.)
Katsuji Sasaki , Tosio Fukuma
(Suncoh Consultants Co.,LTD.)

For estimation purpose of loose zone in rock around underground openings, in-situ tests were made in the three boreholes and in the new openings extended from an old tunnel existing in 450 m below surfaces.

Various examination results are as follows:

1. Wall observation results showed that the loose zone was presumed 1 meter thick around the openings.
2. 2 meters thick of loose zone were indicated by the results of the effective porosity measurements.
3. Observation results on the wall of boreholes using BIP System showed that a long numbers of open cracks was in the zone of 1 m from the wall and hair cracks tend to increase in the zone of 1 to 3.5 m from the wall. These results showed the loose zone was the range of 1 to 3.5 m around the openings.
4. From the results of cell velocity by the Seismic Geotomography and of P-wave velocity change with depth on the boring core samples, the loose zone was estimated less than 2 meters thick.

On the basis of results of above-mentioned examinations, it is considered that the loose zone exists in the range of 2 to 3 m around the openings.

1. はじめに

トンネル及び地下空洞周辺の緩み領域と緩みに伴う二次地圧は古くから問題となっている。変動圧型圧縮空気貯蔵空洞建設を前提として、深度 450mの既設坑道に於て、試験坑道掘削と水平ボーリングとを行い、これらを用いてサイスマックジオトモグラフィー、ボアホールTV、孔内水平載荷試験、岩石試験を実施し、各試験・測定法毎に緩み範囲を求め、これらの結果と各々の関係について報告する。

2. 地質ならびに試験状況

試験サイトは、北海道空知郡上砂川町の古第三紀石狩層群若鍋層上部の砂質頁岩分布地域で標高約-250 m深度450mの地点である。

若鍋層は石狩層群の構成層であり、汽水～海成層でその厚さは約200mである。若鍋層全体の走行傾斜は

NS70°Wである。若鍋層は、下部（茂尻炭部層）と上部（若鍋砂岩部層）に区分される。試験サイトは上部に該当し、層厚は110～150mである。試験サイト付近の地質断面図を図1に示す。#8下（下部8番層）から上位は稼行炭層であり、#7（7番層）より下位は未採掘である。

試験は、既存の標高-250mの坑道（250L南大坑道）から直角にL=10mの試験用坑道（C42規格）を掘削し、又、250L南大坑道側壁よりL=20mのφ66～86mmの水平ボーリングを行い、試験サイトとした。原位置調査試験及びコアサンプル孔の配置図は、図2のとおりであり、以下の項目を実施した。

- ① 試験坑道壁面調査、 ② 岩石試験、
- ③ 孔内水平載荷試験、 ④ ボアホールテレビ、
- ⑤ サイスマミックジオトモグラフィー

3. 試験坑道壁面調査

試験坑道（L=10m）では、壁面の観察（縮尺1/20）を行い、地質は固結良好な砂質頁岩ではぼ一様であり、層理面の走行傾斜は、NS～N5E70～80°Wであった。亀裂面の測定は1m間に5～10個をランダムに測定し、ステレオネットで整理し、図3に示す極密度コンター図を得た。その結果、亀裂面は層理面にはぼ平行でありNS70～80Wであった。一方目視観察による緩み範囲（亀裂面の開口・亀裂面間のズレ等）は、250mL南大坑道側壁より1m程度と想定された。

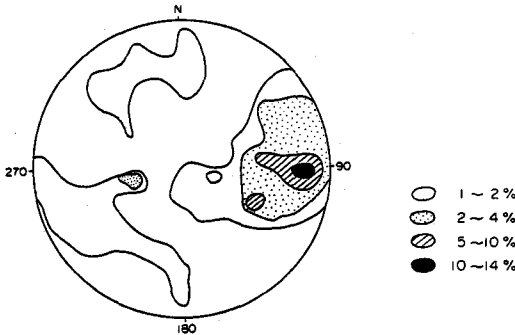


図3 壁面観察による極密度コンター図

4. 岩石試験結果

ボーリングコア及びブロックサンプルを用いた岩石試験による若鍋層の岩石物性は表1のとおりである。岩石試験はKDK基準に準拠し、熱伝導率の測定はBox Probe法により、熱膨張率はLamp & Scale法による。

次に、250mL南大坑道の側壁部を基点として、各試験の側壁部

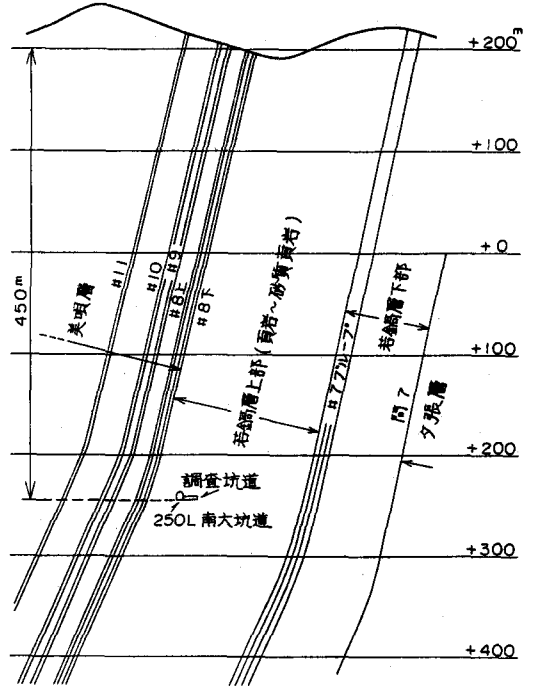


図1 試験サイト地質断面図

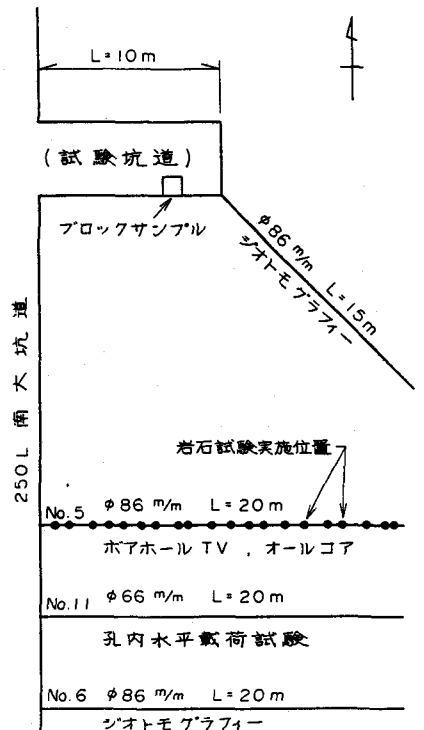


図2 原位置調査・試験配置図

からの離れに対する測定値の変化をプロットし、図4に示す。

表1 岩石試験結果

岩石試験値の変化図から、トンネル周辺の緩みの影響は、物理特性である有効間隙率に顕著に認められ、見掛け比重でもその影響が若干認められる様である。しかし、密度、超音波伝播速度、圧裂強度、及び熱伝導度、熱膨張率には緩みの影響による物性の変異点は認められなかった。

よって、トンネル周辺の緩み範囲を岩石物性の面から推定すれば2 m程度と考えられる。

5. 孔内水平載荷試験

No.11ボーリング孔でエラストメーターを用いて孔内水平載荷試験を、繰り返し載荷によりほぼ2 m毎に実施した。深度方向の変形係数のバラツキ(図5)から、側壁部より少なくとも1 m迄は緩みの影響により変形係数が低下していると判断される。孔内水平載荷試験実施箇所付近のコアのP波速度と変形係数との散布図を図6に示す。

採取方法	項目	試験回数	分布範囲	平均値	
ブロッグ	見掛け比重	自然	5	2.37~2.53	2.46
		湿潤	5	2.45~2.56	2.51
		乾燥	5	2.30~2.46	2.38
コア	有効間隙率 %	5	11~15	12.9	
	密度 g/cm ³	20	2.47~2.58	2.54	
	P波速度 km/s	19	3.20~3.97	3.60	
	S波速度 km/s	19	1.64~2.02	1.88	
	軸圧縮強度 kgf/cm ²	0°	2	310~490	400
		30°	2	250~270	260
		90°	2	300~320	310
	軸的係数 kgf/cm ²	0°	2	36,000~42,000	39,000
		30°	2	33,000~40,000	36,500
		90°	2	39,000~50,000	44,500
圧裂強度 kgf/cm ²	19	16~35	26		
熱伝導度 kcal/mh°C	7	1.7~2.1	1.9		
熱膨張率 ×10 ⁻⁶ /°C	7	6.3~11.7	8.8		

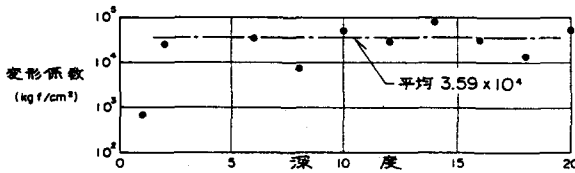


図5 変形係数の深度変化図

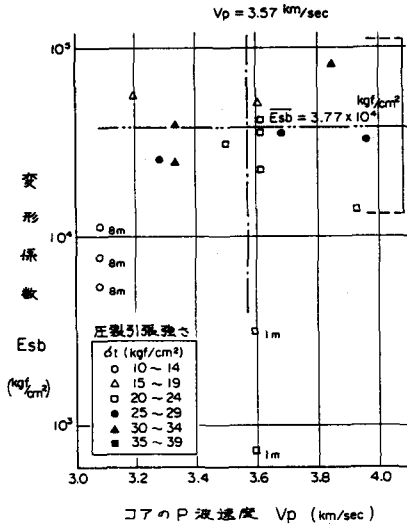


図6 コアのP波速度と変形係数

本図より250 L南大坑道より深度1 m間は岩塊部は劣化していないが、岩盤として変形特性が低下している。これは掘削時の亀裂の発達による緩みであると考えられる。一方深度8 mでは、岩塊のP波速度、岩盤

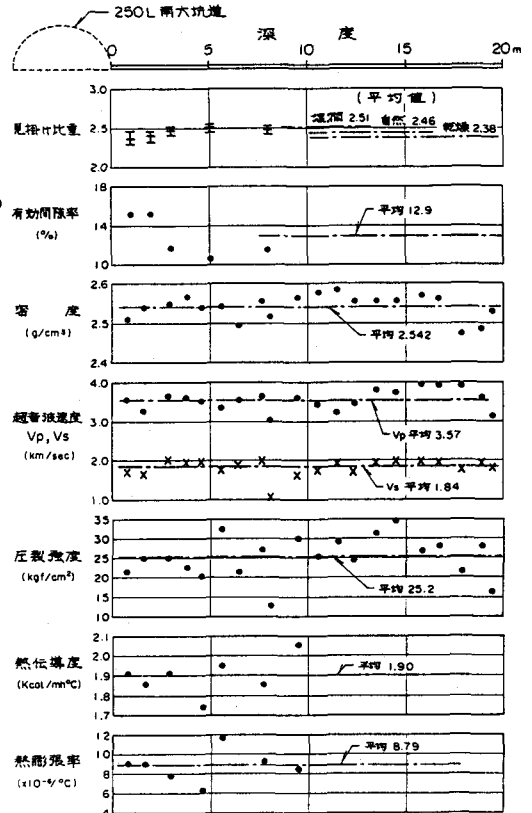


図4 岩石試験値深度変化図

としての変形係数共に低下しているので、岩石物性自体が劣化しているものと考えられる。

6. ボアホールテレビによる緩み範囲

No. 5 ボーリング孔において、BIPシステム (Borehole Image Processing System) を用いて孔内観察を行った。ボアホールテレビ画像から、亀裂方向、開口幅を抽出し、亀裂方向はシュミットネットに整理して図7に示し、開口幅はクラックチャートとして図8に示している。ここで開口幅1mm以下をヘアクラックとし、1mm以上を開口亀裂としている。

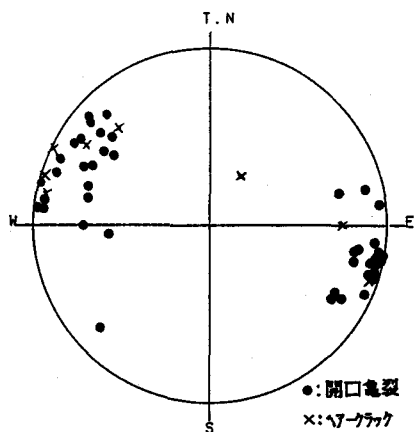


図7 ボアホールテレビによる亀裂方向

図7から、亀裂方向は地層とほぼ平行なものと、これに共役な方向の2種類が認められ、試験坑道の壁面調査と若干異なる結果であった。これは坑道掘削時の発破・掘削による緩みにより、亀裂が発生した可能性が高い。

図8の累積開口量の折点は、深度1.5m, 3.8m, 11.8m, 14.4m, 18.9m に認められ、各区分毎の特徴を表2に示す。深度1.5m迄は単位長さ当りの亀裂数、最大開口幅、および平均開口幅の値が大きく、緩み範囲と考えられる。1.5m~3.8m区間は上記項目の数値が深部に於いても認められるので、緩み範囲か否かの判断はボアホールテレビのみでは困難である。

7. サイスマックジオトモグラフィ

250mL南大坑道、試験坑道、およびボーリングNo. 6およびNo. 9孔で囲まれる範囲を測定対象とした。振源には発信周波数を高めるために雷管のみを束ねて用い、受信器は坑壁用に2成分加速度型受信器を、ボーリング孔内用にハイドロフォンタイプ多連式孔内受信器を用いた。共に加速度タイプの受信器であり、1~10 KHzの波動を想定してシステムを決定した。記録はデジタル探針器を用いた。解析は直線波線を仮定し、SIRT法により実施した。解析に用いた波線図を図9に示し、解析結果をコンター表示して図10に示している。

トモグラフィにより求めたセル速度 (V_{pt}) とコアのP波速度 (V_{pc}) の比をC_Tとすれば、

$$C_T = v_{pt} / v_{pc} \quad \text{で示される。}$$

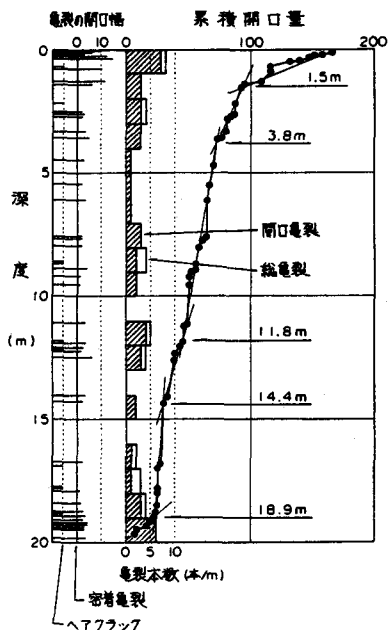


図8 クラックチャート

表2 区分毎の亀裂状況

区 間	区間長 (m)	亀裂本数 (本)	単位長さ当りの亀裂数 (本/m)	最大開口幅 (mm)	平均開口幅 (mm)
0.0~1.5m	1.5	11	7.3	14	7.3
1.5~3.8m	2.3	7	3.0	5	2.5
3.8~11.8m	8.0	15	1.9	4	1.7
11.8~14.4m	2.6	8	3.1	6	3.1
14.4~18.9m	4.5	8	1.8	2	1.0
18.9~20.0m	1.1	7	6.4	4	3.1

C_T の深度変化図を図11に示し、 C_T と各セル速度との散布図を図12に示す。深度変化図における C_T は、深度0mから5m迄深度の増加と共に C_T も増加し、深度5m以深はばらつきながら0.95~1.23に分布している。よって、深度5m以深のばらつきが試験サイトの若鍋層が本来有している不均一性に起因すると考え、 $C_T < 0.9$ が緩み範囲とすれば、深度2~3m以浅が緩み範囲となる。

C_T とトモグラフィーによるセル速度の散布図でも同様に $C_T < 0.9$ が緩み範囲とすれば、3.4Km/sec以下が緩み範囲となり、その境界を図10に太線で示している。

図10より室内岩石試験およびボアホールテレビを実施したボーリングNo. 5では、1.8m迄、孔内水平載荷試験を実施したボーリングNo. 11孔では、2.9mが緩み範囲に相当する。

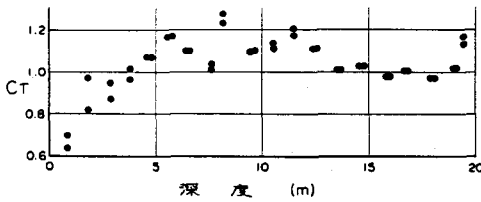


図11 C_T の深度変化図

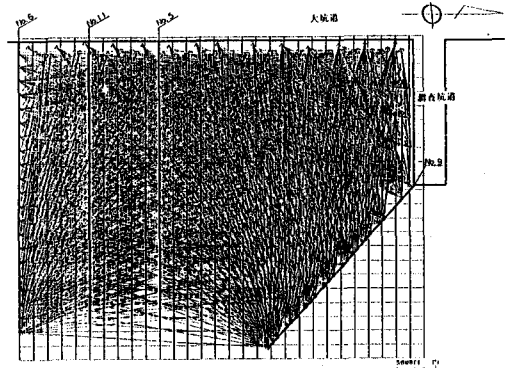


図9 波線図

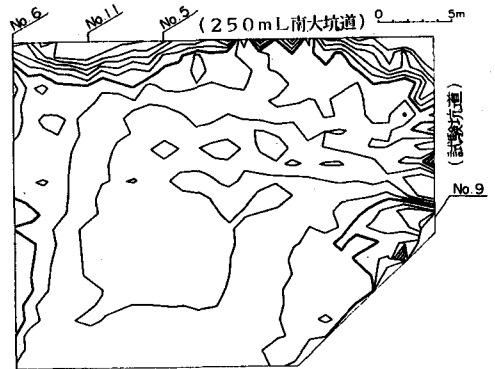


図10 トモグラフィー解析結果

8. おわりに

各種調査法による緩み範囲は空洞周辺のどのような緩み形態を示しているか問題点はあるが、本調査ではボアホールテレビとサイズミックジオトモグラフィーにより求めた緩み範囲がほぼ合致し、また岩石の有効間隙率の変化とも類似の値が得られた。岩盤に於ける緩み範囲のポイントの調査としてはボアホールテレビが有効であり、広範囲については本調査結果に見られるように、空洞周辺の緩み範囲が一律でないと考えられるので、サイズミックジオトモグラフィーが有効であると考えられる。

9. 謝辞

本調査に際し、北海道大学工学部石島洋二教授に全般に渡り貴重な御意見を頂き、三井石炭鉱業(株)には測定現場の提供と各種便宜を図って頂き大変お世話になりました。ここに記して心から感謝致します。

<参考文献>

- 1) 亀和田他：BIPシステムの装置とその能力について、第21回岩盤力学に関するシンポジウム、1989年
- 2) 石島他：内圧を受ける岩盤空洞建設のための岩石力学的調査について、第8回岩の力学国内シンポジウム、1990

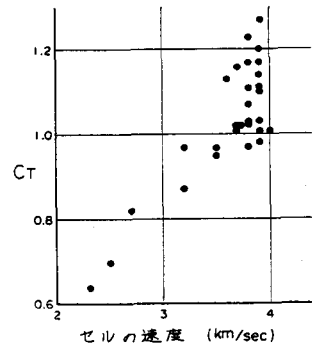


図12 C_T とセルの速度