

戸田建設株式会社 正会員 清水 博
戸田建設株式会社 鈴木道雄
戸田建設株式会社 石垣和明

1. はじめに

NATMでは、施工中の地山及び支保の挙動に関する各種計測が行われており、今後同様な地質にトンネルを掘削する場合の重要な資料となる。本文では、当社で施工を行った、神明第1トンネルの計測結果の中から、内空変位、天端沈下、地中変位に注目し、弾性パラメーター解析及び初期応力逆解析により、地山の挙動について検討し、その結果について若干の報告を行う。

2. トンネル概要

神明第1トンネルは、新第三紀三浦層群の逗子層に属する泥岩及び泥岩・砂岩の互層を主体とした地山で、岩盤を構成する岩片の強度は、一軸圧縮強度で $200\text{kgf/cm}^2 \sim 350\text{kgf/cm}^2$ 程度と堅硬であるが、背斜軸を中心に褶曲運動や断層により破碎された岩盤が、東坑口より約100mにわたって出現し、先受けボルト、鋼矢板を一部使用しながら掘進を進めた。

施工延長は241mで、掘削は当初、上半先進ショートベンチカット工法としたが、下半の岩盤が安定しており、坑口より39mから、上半先進ロングベンチカット工法を採用した。NATM工法における標準断面と地質断面を図-1に示す。

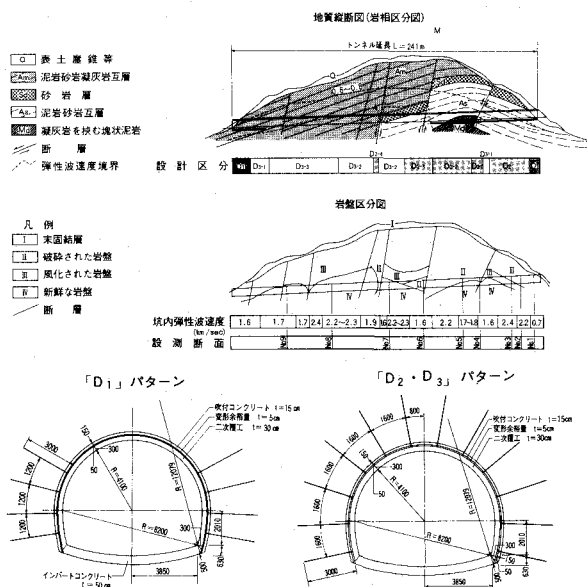


図-1 地質断面及び標準断面図

3. 弾性パラメーター解析

弾性計算ではパラメーターとして、初期地圧、弾性係数、ポアソン比が必要であるが、ここでは、変動パラメーターとして、初期側圧係数及び弾性係数を考え、変形モード、内空変位の計測値との比較を行った。結果として次のことが言える。

- 1) 初期側圧係数は $0.6 \sim 0.91$ の範囲に分布し、土被り圧との関連はほとんど見られない。
- 2) 弾性係数は、 $4481.5\text{kgf/cm}^2 \sim 7270.6\text{kgf/cm}^2$ の範囲に分布し、岩石試験の値のほぼ1/10程度となる。

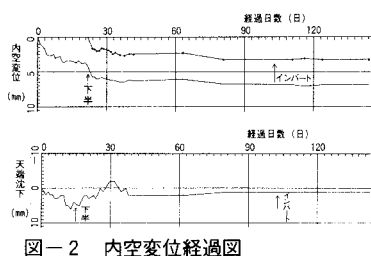


図-2 内空変位経過図

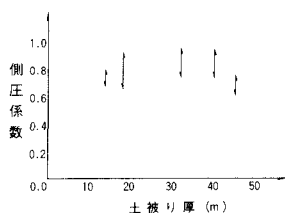


図-3 側圧係数と土被り厚の関係

表-1 内空変位と天端沈下による弾性パラメーター解析結果

計測断面	掘削状態	土被り厚 (m)	側圧係数	弾性係数 (t/m^2)	応力降下率 (%)	備考
No. 2	上半先進	13.5	0.74	45370	85.9	ショートベンチ掘削
	下半先進		0.795	44815		
	下半先進		0.67	46077		
No. 3	上半先進	18.0	0.78	51030	77.5	ショートベンチ掘削
	下半先進		0.91	49613		
	下半先進		0.65	52447		
No. 4	上半先進	32.0	0.725	60000	93.2	ロングベンチ掘削
	下半先進		0.940	40000	96.5	
No. 5	上半先進	40.0	0.725	60000	91.5	ロングベンチ掘削
	下半先進		0.930	40000	94.9	
No. 6	上半先進	45.0	0.745	70777	162.0	ロングベンチ掘削 主計測断面
	下半先進		0.60	72706	—	
No. 7	上半先進	44.0	—	—	—	ロングベンチ掘削 主計測断面
	下半先進		0.40	73646	—	
No. 8	上半先進	32.0	0.775	123775	72.1	ロングベンチ掘削
	下半先進		0.91	120520		

4. 初期応力逆解析

主計測断面における地中変位の計測結果から逆定式化法により、初期応力の逆解析を行い、弾性パラメーター解析結果と比較するとともに、その後の順解析による変位予測値の適合性の検討を行った。また、計測変位及び計算変位より周辺地山のひずみを算出し、管理基準値との比較検討も行った。結果として次のことが言える。

- 1) 初期側圧係数は、No.6断面で0.40、No.7断面で0.30となり、内空変位の計測結果から得られた値に比べて小さくなる。
- 2) 弾性係数は、No.6断面で10851.1kgf/cm²、No.7断面で11501.2kgf/cm²となり、岩石試験の値のほぼ $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ 程度となる。

- 3) 主応力方向の傾きは、No.6断面で-4.86°、No.7断面で2.67°となり、初期応力状態による掘削相当外力は、ほぼ対称と考えられる。

- 4) 周辺地山の最大軸差ひずみは、No.6断面で0.201%、No.7断面で0.177%となり、岩石試験による限界ひずみの値0.34%～0.65%と比較して、周辺地山は十分に弾性域として保たれていると考えられる。

5. 内空変位計測値による最終変位予測

トンネル壁面の変位Uを次式で仮定し、内空変位計測値に対し非線型最小自乗法による近似を行い、最終変位予測値の検討を行った。

$$U = A(1 - e^{-B \cdot L})$$

U：壁面の変位、A：最終変位収束値、B：収束係数、L：切羽距離、結果として次のことが言える。

- 1) 切羽との距離が10m～15m程度で収束の傾向が表われ、この時点で最終変位量の予測がある程度可能である。
- 2) 岩質が堅硬で変位の近似式にのりにくい場合でも、初期の変位が速く、最終変位予測値は安全側となる場合が多い。

6. あとがき

本文での検討により、弾性パラメーター解析及び初期応力逆解析から得られる変位量を初期値として最小自乗法を用いれば、計測断面と同様な地質について、変形の推移がある程度予測でき、また、最大軸差ひずみの管理によって、周辺地山を良好な状態に保つことが可能と思われる。

7. 謝辞

神明第1トンネルでのNATM施工について、適切な御指導を頂きました、横須賀市清掃部に対し、心から感謝の意を表します。

8. 参考文献 土木学会論文報告集：トンネル掘削時における変位計測結果の逆解析法：桜井春輔・武内邦文

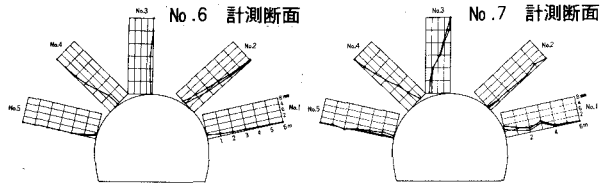


図-4 地中変位分布図

図-5 地中変位分布図

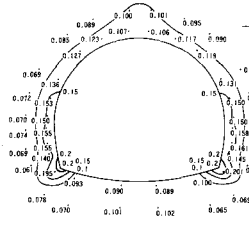


図-6
計測断面No.6の周辺ひずみ分布

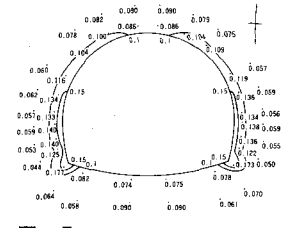


図-7
計測断面No.7の周辺ひずみ分布

表-2 初期応力逆解析結果

	初期 応 力			弾性係数	最大軸差 ひずみ
	最大主応力	最小主応力	傾 き 角		
No.6断面	94.91t/m ²	38.11t/m ²	-4.86°	108511t/m ²	0.201%
No.7断面	92.54t/m ²	27.62t/m ²	2.67°	115012t/m ²	0.177%

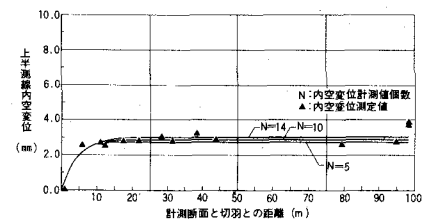
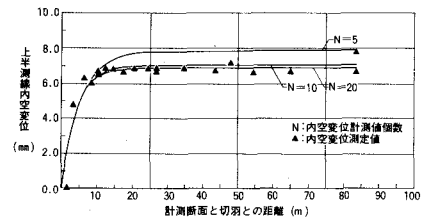
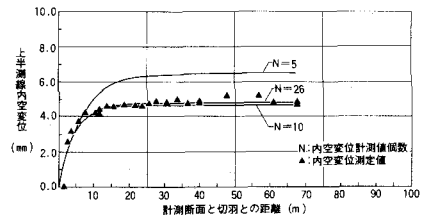


図-8 上半測線内空変位と切羽距離の関係