III-284　市街地・砂礫地山における中壁式ＮＡＴＭ（月寒トンネル）の施工・計測管理について

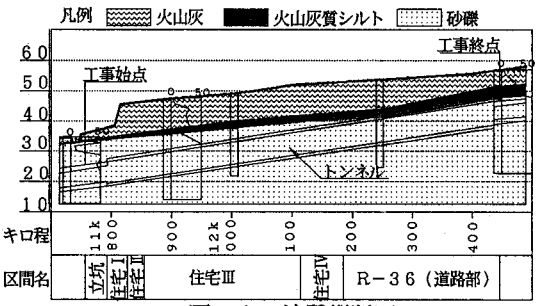
札幌市交通局　大森喜三雄
三井建設株式会社　正会員○岡野　成敏
三井建設株式会社　正会員　角丸　義浩

１．はじめに

月寒トンネルは，札幌市の東豊線延長工事に伴う鉄道トンネルである．本トンネルは延長638.0m，掘削断面積90㎡の複線トンネルであり，工区前半の約330m区間は密集した民家の下を掘削し，後半は札幌市の主要幹線道路である国道36号直下を掘進する典型的な都市トンネルである．地質は上層から火山灰，火山灰質シルト，砂礫層で構成される未固結地山であり，掘削はこのうちの砂礫層を主体に行う．また，土被りは 9.4m～16.6m(0.8D～1.4D)と非常に薄く，地下水は下位のシルト層を不透水層として上位の火山灰層中に存在する．このように厳しい条件下のトンネル施工となるため，掘削工法として地山変形の拘束効果が大きく，安全性，経済性に優れた中壁式ＮＡＴＭを採用した．

現在（平成3年3月）の進行状況は先進坑で約250m，後進坑で約220m掘削が進んでいる．

本報は月寒トンネル施工の第１報として，施工および計測管理の概要を報告するものであり，今後は，中壁ロックボルトの打設効果，先進・後進切羽の離れによる変形量の違い等，中壁式ＮＡＴＭの設計・施工上の検討課題についても報告する予定である．



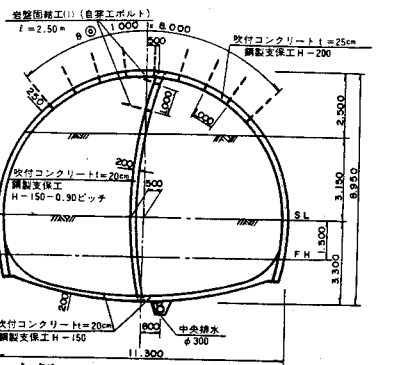
図－１　地質縦断図

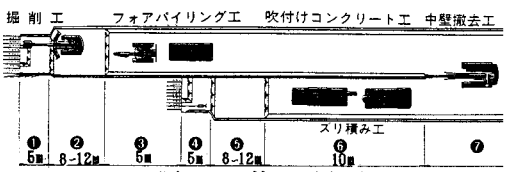
２．地形および地質

トンネル区間は月寒台地にあたり，火山灰とその下位の火山灰質シルト，砂礫層からなる．（図－１）火山灰層のＮ値は 3～29で深さとともに大きくなる．火山灰質シルトはＮ値10～24で硬いコンシステンシーを示す．掘削対象層となる砂礫層は玉石混じり砂礫で，粘性土を一部レンズ状に挟む．事前調査で確認された最大礫径は48cmでありＮ値は50以上である．

３．設計

試験施工の結果，以下のような設計思想とした．
a)応力解放の早い土砂地山では，鋼製支保工の荷重分担率が大きく，ロックボルトの効果はあまり期待できない．[1)]　b)将来的な地上条件の変化に追従できる構造としたい．支保パターン図を図－２に示す．


図－２　支保パターン図（覆工 t=60～70cm）



図－３　施工順序図

４．施工

施工にあたっては，①地表沈下の抑制．②切羽の自立確保．③騒音・振動を抑制した環境保全．④井戸・樹木の枯渇防止，近接民家・地下埋設物への悪影響防止を最重要項目とし，早期閉合，重機の作業性確保，吹付けコンクリート強度の発現時期等を十分考慮して図－３に示すような施工順序とした．

５．計測

日常の施工管理（Ａ計測）については，その計測ピッチを5～10mとした．Ｂ計測については，地山の安定

性評価，管理基準値の設定・見直し，構造物への影響評価を主目的として９ヶ所の計測断面を計画している．

５．１計測管理基準

当トンネルでの管理手法は以下のようである．

a)変位計測については，限界ひずみによる管理．

b)支保部材については，許容応力度による管理．

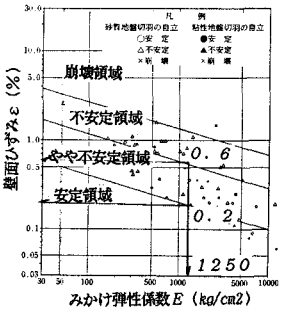
c)地上構造物については，不同沈下量（傾斜角）による管理（絶対沈下量で18mm）．

表－１　管理基準値

管理レベルⅠ［安定領域］	$\varepsilon=0.2\%$ $\gamma=0.27\%$
管理レベルⅡ［やや不安定領域］	$\varepsilon=0.4\%$ $\gamma=0.54\%$
管理レベルⅢ［不安定領域］	$\varepsilon=0.6\%$ $\gamma=0.82\%$

γ：せん断ひずみ

上記のうち，限界ひずみによる管理法は、当トンネルのように地山が未固結で一軸圧縮試験が不可能な場合には孔内載荷試験により変形係数を求め、それが図－４に示すみかけ弾性係数と同等とみなして壁面ひずみレベルをランク分けして管理基準を設定することができる．[2] 当地山の場合，孔内載荷試験の平均値が1250kg/cm^{2}であることより、表－１のように管理基準値を設定した．

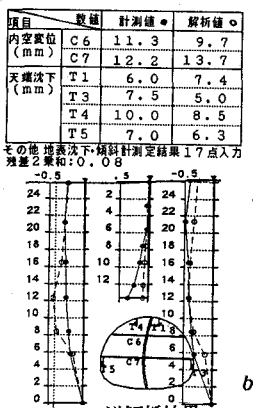


図－４　歪と弾性係数の関係

５．２計測結果と考察

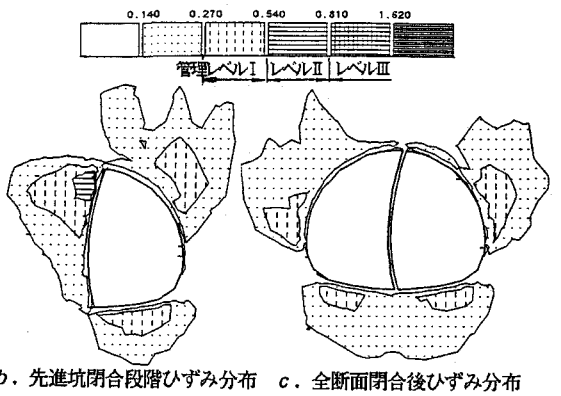
Ａ計測：各計測断面における内空変位水平測線の最大値は10～30mmであり，平均値(20mm)でのトンネル周辺地山のひずみ分布状態は図－５に示すとおりである．図より先進坑閉合段階でのひずみ分布は，比較的大きな値（管理レベルⅡ）を示し，不安定な状態が予想されるが，全断面閉合後のひずみ分布状態は 0.54%（管理レベルⅠ）以下であり，極めて健全な状態と判断できる．これは先進坑閉合段階では中壁側にのみ大きなひずみが発生しており，この部分が後進坑により掘削され，ひずみが残らないためと考えられる．地表沈下については，施工が進に連れ土被りが16m～13.5mへと漸次浅くなっているが，その値は，管理値の30～40%程度であり，地表構造物への影響はない．

Ｂ計測：鋼製支保工応力測定結果としては，中壁の軸力が後進坑閉合の３～４基前方で最大となり，その後低下し，応力は抜ける．吹付けコンクリート応力測定結果としては，初期段階での発生応力が大きく，鋼製支保工よりも応力の分布が一様であり，付着モデルとしての効果が大きいものと考えられる．



項目	数値	計測値 ●	解析値 ○
内空変位（mm）	C6	11.3	9.7
	C7	12.2	13.7
天端沈下（mm）	T1	6.0	7.4
	T3	7.5	5.0
	T4	10.0	8.5
	T5	7.0	6.3

その他 地表沈下・傾斜計測定結果１７点入力
残差２乗和：０．０８



a．逆解析結果　b．先進坑閉合段階ひずみ分布　c．全断面閉合後ひずみ分布

図－５　トンネル周辺地山のせん断ひずみ分布図

６．おわりに

本トンネルでは主にひずみ分布による計測管理を行ってきた．その結果，中壁式ＮＡＴＭのように加背の多い掘削工法の計測管理手法としては，各施工段階でのトンネル周辺のひずみ状態が的確に把握でき，精度の高い管理が可能な，この逆解析によるひずみ分布管理が非常に有効な手段であると判断できた．

残り区間の施工については，土被りが１Ｄ以下となり，ルーフ層としての役割を果たしてきたシルト層をトンネルが切ることになる．従って，今後の施工は現状よりも危険な状況になることが予想されるため，これまでの計測結果を踏まえ十分注意して施工・対処していきたい．

［参考文献］ 1)浜塚康宏，若原嗣男，高橋章，林憲造：土かぶりの浅い土砂地山における都市トンネルの設計，土木学会北海道支部論文報告集，平成元年度

2)桜井春輔，足立紀尚：都市トンネルにおけるＮＡＴＭ：鹿島出版会