

仙台地下鉄におけるNATMの計測と管理手法

日本鉄道建設公団 金澤 博
日本鉄道建設公団 ○上田日出男

1. まえがき

仙台地下鉄南北線は、仙台都市圏の総合交通体系の整備の一環として計画され、泉市七北田から仙台中野田までの延長14.35 km の路線であり、昭和60年度の開業を目指して現在施工が急ピッチで進められている。日本鉄道建設公団では、南北線のうち、七北田駅から北皿巻丁駅まで 5本のトンネルを含む延長5.8 km の区間について、仙台市より委託を受け建設を行っている。トンネルの総延長は3270mであり、そのうちの4割が地表までの土被りが トンネル掘削径の2倍以下の土被りの浅い(5~12m)トンネル区間となっており、すべてNATM工法により施工されている。路線上は、北皿巻駅を境に北側が新興住宅地、南側が大規模な建造物の多い中心市街地となっており、ガスパ等の地下埋設物の直下、住宅密集地あるいは幹線道路下での施工となっている。このような都市部における計測は、トンネル掘削による地山の挙動、周辺構造物への影響を正確に把握し、施工の安全性、経済性を確保するために不可欠なものとなっている。本稿では NATMにおける現場計測の概要とその管理手法について述べるものである。

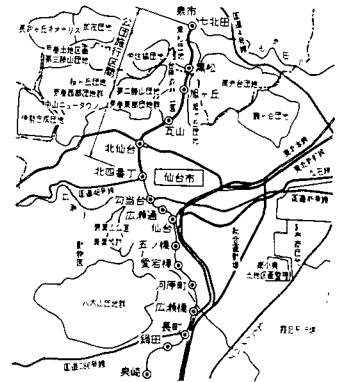


図-1 仙台市高速鉄道南北線路線図

2 計測概要

計測は目的により ①施工管理のための計測 ②設計検討のための計測 の二つに大別される。前者は、地山に適した安全な施工が行なわれているかを確認するもので、地表況下、天端況下、内空変位測定等、後者は地山の挙動の把握と、設計の妥当性をチェックし、その後の設計施工に反映させるもので、地中変位測定、ロックボルト軸力測定、覆工応力測定等があり、計測の目的、地質条件により必要な項目が選定される。表-1は北皿巻丁トンネルで行なわれている計測項目であるが、これらはトンネルの設計施工上、必要最小限のものである。

表-1 計測項目一覧表

測 定 項 目	測定内容、間隔など
地 表 況 下	トンネル横断方向5m間隔
ガ ス 管 況 下	縦断方向15m、横断方向5m間隔
ガ ス 漏 洩	携帯用ガス漏洩検知器、1日2回測定
主 要 建 物 況 下	コンクリート構造物の四隅
地 下 水 位	合計9か所
層 別 況 下	地層別況下を測定、2か所
内 空 変 位	上、下半、水平2断面を基本、10~20m間隔
天 端 況 下	内空変位測定位置
ロ ッ ク ボ ル ト 軸 力	1断面5本、6断面
地 中 変 位	1断面3か所、6断面
支 保 工 軸 力	1断面3か所、4断面

3 施工管理基準

トンネルの安全性の検討を行なう上で、計測結果を素早く分析し、いかに現場に反映させるかということは極めて重要な課題であるが、各種試験などの多くのデータから、専門的知識、総合的な検証を必要とする場合、現場で即座に対応することがむづかしい。したがって、一定の管理基準を設け、対策方法をあらかじめ設定しておく必要がある。管理手法としては ①変位速度で管理する方法 ②変位量で管理する方法 の二つがある。本稿では、地山の破壊歪に対する変位の程度により安全度の検討を試みることにする。

岩の破壊歪を ϵ_0 、トンネルの掘削半径を R とすると、最終歪量 U_0 は、 $U_0 = 2RE_0$ ……(1) ここで内空変位測定開始までに、すでに全体の歪量の30%が進行しているものとすれば、内空変位の測定値 U_0' は、 $U_0' = 0.7 \times 2RE_0$ ……

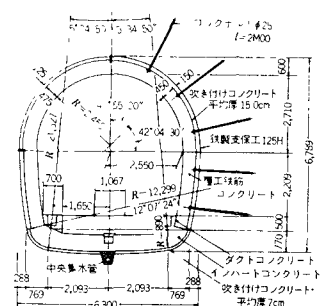


図-2 標準断面図

----- (2) トンネル掘削径 $R = 3.15\text{m}$ 、岩の破壊率 $\varepsilon_0 = 0.9\%$ とすると、内空変位の測定値 U_0 は $U_0 = 40\text{mm}$ となる。測定点と切羽との距離を $L\text{m}$ 、目標とする最終変位量を $C\text{mm}$ とすると、内空変位の経時変化曲線は

$$U = C(1 - e^{-\alpha L}) \quad \text{----- (3)}$$

ここで α : 定数

トンネル直径の2倍の距離だけ切羽が進行した時点で最終変位量の90%が終了するものと仮定すると、 $0.9C = C(1 - e^{-\alpha \times 3.15 \times 4})$ これを解くと $\alpha = 0.183$ 。これより、切羽からの距離が $L\text{m}$ の地点での内空変位の変位量 U は

$$U = C(1 - e^{-0.183 L}) \quad \text{----- (4)}$$

(4) 式の経時曲線に 3段階の注意レベルを設定すると、

- 安全領域 $C_1 = 10\text{mm}$, $U_1 = 10(1 - e^{-0.183 L})$
- 警戒領域 $C_2 = 20\text{mm}$, $U_2 = 20(1 - e^{-0.183 L})$
- 危険領域 $C_3 = 40\text{mm}$, $U_3 = 40(1 - e^{-0.183 L})$

図-4は これらの管理経時曲線を表わしたものである。トンネルの1日の掘削進行を4mとすると、初期最大変位速度は、曲線 U_1, U_2 でそれぞれ 5mm%、10mm% となり 最終変位量が 10mm、及び 20mm と推定される。これより、累計変位量 10mm、変位速度 5mm% までは、安全に施工がされているものとみなされ、累計変位量 20mm、変位速度 10mm% を警戒値とし この値を越えるような場合は 緊急に対策を施さなければならない危険な状態と考えられる。北回番丁トンネルでの実測値をまとめると以下のことがいえる。①最終変位量は、5~20mm、最大変位量は 0.8~5mm% の範囲にある。②インバート打設(切羽との距離が 20m)以後の変位は小さい。③変位速度の最大値は、必ずしも切羽通過直後に発生していない。実測値が初期の段階で、管理値より小さい値となっている。これは、ショートヤンチ工法(ヤンチ長10m)により 掘削が上半、下半に分割して行なわれていることや 掘削直後の初期値判定の遅れによるものと考えられる。以上のことから、北回番丁トンネルでは 表-2 のような施工管理基準を設定し、現場計測結果の評価の目安として活用している。

4 おわりに

本稿で紹介した施工管理指標は 素早く処理ができ、誰にもわかりやすく、現場での安全性の把握 異常事態の発見、早期対策に大いに役立つものと思われる。今後、他の計測データとあわせて分析し、より適確な管理指標の検証を行な、てゆきたい。

参考文献 金澤博 鈴木匡 市街地中心部道路下をNATMで掘る

トンネルと地下 vol15-1 P37~44

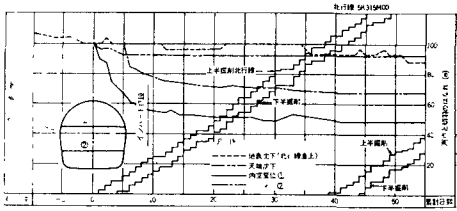


図-3 計測経時変化

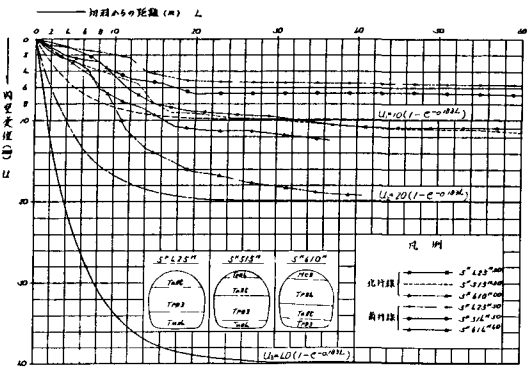


図-4 内空変位管理曲線

表-2 北回番丁トンネル施工管理基準

施工状態	安全	警戒	危険
切羽滴水	30%未満 節理管理が5の滴水と認められる場合	30%以上の程度 比較的確い範囲からの滴水である場合	50%以上 切羽全面に滴水 箇所が多い場合
切羽自立	切羽は自立し 崩落し 押し出し 流砂の兆候 なし	切羽に崩落し 局部的 的な流砂現象が認め られる	切羽での深い崩落し 流砂現象は押し出 し がみられる
計測	天端沈下 内空変位が 5mm未満、累計10mm未満	天端沈下 内空変位が 5mm以上 累計10mm以上 地表沈下 10mm以上	天端沈下 内空変位が 10mm以上 累計20mm以上 地表沈下 20mm以上
対応	慎重に施工	切羽観察、計測頻度を 多くし 状況に応じて 対策工を行う	直ちに中断し 緊急 に対策を講じる