

都市 NATM における二次覆工コンクリート計測結果

Measurement results of tunnel lining at urban NATM

栗山廣志¹⁾・緒方隆哉²⁾・中村秀光³⁾・猪口光行⁴⁾・野城一榮⁵⁾
Hiroshi KURIYAMA, Takaya OGATA, Hidemitsu NAKAMURA,
Mitsuyuki INOKUCHI and Kazuhide YASHIRO

Tunnel lining at NATM has a general idea who count out functions mechanics. Ground stability is obtained with effect of tunnel support, rock bolts, shotcrete and other supports, and bearing capacity what the ground has itself, the tunnel lining has a function for interior decorations. In urban NATM, there are some impacts assumed, for example, pressure of ground water and eccentric load by neighboring construction, in consequence, at design of tunnel lining consider loads for tunnel lining.

Design of tunnel lining in urban NATM haven't built standard method yet, as loads to tunnel isn't provided, and tunnel support effect consider or not. Also tunnel support may deteriorate influences ground water and the years, it is necessary that long term measurement grasp about durability of tunnel support.

Since we have the occasion of measurement about stresses on tunnel lining and tunnel support, and we report some results and considerations.

Key words: urban NATM, measurement, tunnel lining, tunnel support

1. はじめに

山岳工法(NATM)における二次覆工は、力学的機能を付加しない場合が一般的である。これは、トンネル掘削後の一次支保と地山の相互作用により、安定が得られるためであり、二次覆工には内装的な機能を期待しているといえる。しかし、都市部における施工(都市 NATM)では、地下水の影響や地山状況の変化が予想されるため、二次覆工への荷重が想定され、力学的機能を付加した設計がされている。

都市 NATM における二次覆工コンクリートの設計は、鉄筋コンクリート構造を標準としているが、想定される荷重や一次支保との荷重分担に対して様々な考え方があり、統一されていない状況にある。これは、二次覆工打設後の一次支保の状況や、トンネル竣工後の二次覆工コンクリートの挙動が把握されていないほか、作用する外力が特定できていないことに原因があると考えられる。また、一次支保については、支保材料の経年劣化により、地山支持力の低下が予想され、永久構造物としてのトンネルの安定性を検証し、二次覆工コンクリートの設計を適正化するためには、一次支保を含めた長期計測が必要と考えられる。

今回、福岡市交通局主体による高速鉄道3号線工事において、トンネル竣工後の二次覆工コンクリートおよび一次支保の応力を計測する機会を得たため、これまでの計測結果について報告するものである。

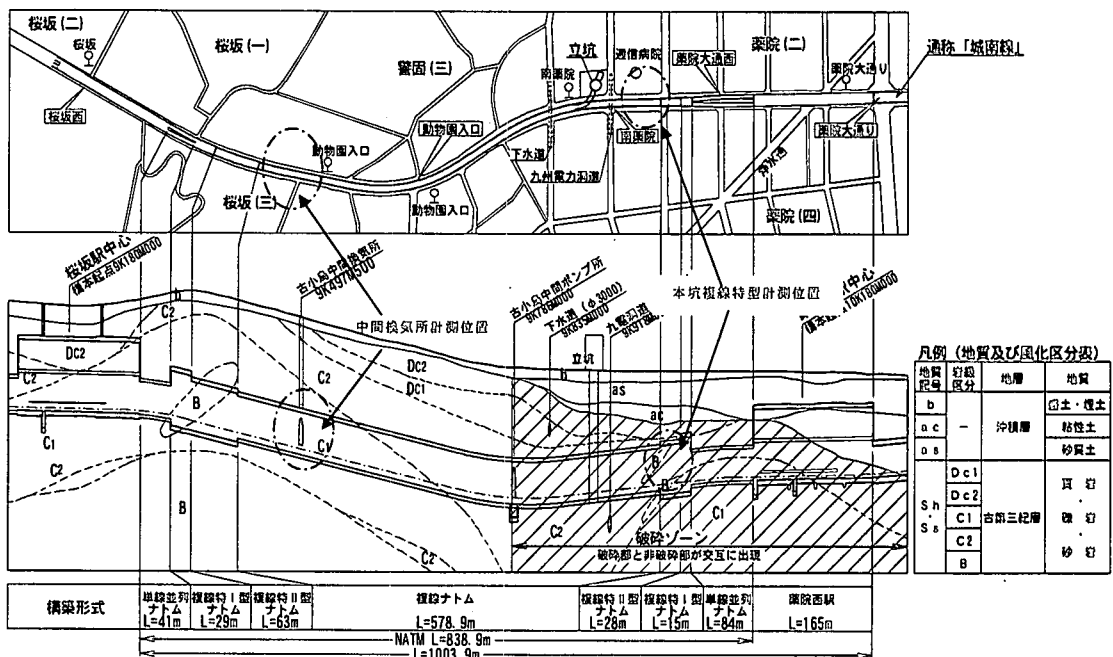
1)正会員 中央復建コンサルタンツ(株) 総合2部

2)福岡市交通局 建設部 建設設計課 課長

3)正会員 福岡市交通局 建設部 建設設計課 係長

4)福岡市交通局 建設設計課

5)(財)鉄道総合技術研究所



2. 施工概要

福岡市地下鉄 3 号線は、都心部の天神から郊外に向けて、放射状にのびる建設延長 12.7km の新設路線である。

本路線の駅間部施工法は、地質及び立地条件等を勘案して、開削工法 4.2km、シールド工法 2.9km、及び NATM 2.8km で計画し、他の地下鉄に比べ NATM を多く採用しているところが特徴的である。

今回計測を行った「薬院西工区」は、対象地山が古第三紀層の砂岩頁岩の互層であることから、駅間部トンネルに NATM を採用した。重要構造物との近接施工時には対策工を併用し、平成 12 年 12 月に二次覆工を含む工事が無事竣工した。

本トンネルは供用時の維持管理と周辺環境に対する配慮から、完全防水型トンネルを採用している。このため、二次覆工コンクリートに用いる鉄筋については、防水シートからの漏水を防止するため、鉄筋組用支保工(H-125)を採用したほか、配力筋を連続とした。

項目	条件
土圧	全土被り、ゆるみ土圧の大きい方。

表-1 設計条件

項目	条件
土圧	全土被り、ゆるみ土圧の大きい方。
水圧	考慮する。
一次支保	応力分担を考慮しない。
設計方法	慣用計算法＋許容応力度法

3. 計測概要

本計測は、二次覆工コンクリートに作用する外力を推定し、発生している断面力から、現設計の妥当性を評価検証するほか、二次覆工後の一次支保の地山支持効果について、把握を行うものである。

表-2 計測内容

項目		計測内容	方法（計測器）
二次覆工	主筋	二次覆工（断面）に発生する応力	鉄筋計
鉄筋応力	配力筋	二次覆工（縦断）に発生する応力	
コンクリート内部応力		二次覆工コンクリートのクリープ	無応力計
地中間隙水圧		トンネルに作用する水圧	間隙水圧計
ロックボルト軸力		一次支保に発生する応力 （一次支保の荷重分担）	ロックボルト軸力計
吹付コンクリート応力			有効応力計
鋼アーチ支保工応力			ひずみゲージ

このため、計測に加えて、トンネル覆工厚、設計条件、設計手法についても調査を行った。設計条件および計測内容を表-1、2に示す。

計測は工事区間内で地山の硬軟および内空断面の大きさを考慮するため、軟岩部は「複線特型 NATM 断面」の大断面部と、中硬岩部は「中間換気所横坑」の小断面の2断面を対象とした。

計測器の設置位置を図-2に示す。

4. 計測結果

トンネル二次覆工コンクリートは、打設直後に大きな圧縮ひずみが発生しているが、これはコンクリートの水和熱による膨張が、型枠などにより拘束を受けたことにより、見かけ上の圧縮応力が発生していると考えられる。この影響はコンクリートの硬化後に若干低減されるが、完全には解消されず、残留ひずみ(クリープ)となっている。この影響は鉄筋にも作用していると考えられ、計測された鉄筋応力からクリープを考慮し、正確な発生断面力の把握に努めた。

間隙水圧計による水位変動は、近接工事の影響によるもので、段階的に水位回復している。

二次覆工コンクリート(鉄筋)の応力は、復水開始から変動しており、水圧による影響が確認できる。中間換気所横坑、複線特型(本坑)でも同様の傾向が見られ、水圧による影響は地山条件に関係無く発生すると考えられる。

しかし、鉄筋応力だけでなくコンクリートの内部応力(クリープ)も変化していることから、復水によるコンクリート温度の変化(温度収縮)も想定される。また一次支保の応力も、復水開始から減少傾向にあるが、減少量が小さく、季節変動などの温度影響も考えられるため、現段階では計測値に変化は無いと考えるべきである。

5. 考察

計測期間が、トンネル竣工後の復水完了後から一年未満でもあり、現段階は季節変動などの計測誤差も把握できていない状況といえる。このため、今後の継続的な計測により、詳細を把握するべきと考えられる。

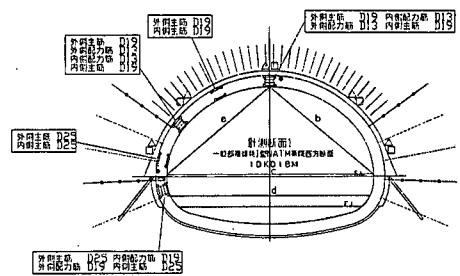


図-2 複線特I型(本坑)

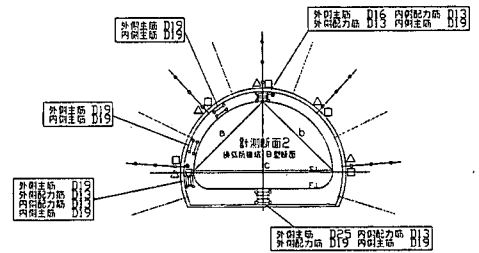


図-3 中間換気所横坑

表-3 凡例

測定項目	記号	数量	測定項目	記号	数量
鉄筋応力(主筋)	○	5カ所	二次覆工コンクリート応力	△	5カ所
鉄筋応力(配筋)	×	3カ所	コンクリート弾力	□	4カ所
間隙水圧	●	3カ所	鋼アーチ支保工応力	◇	5カ所
コンクリートアーチ	○	1カ所	トンネル内設置位置	—	2箇所

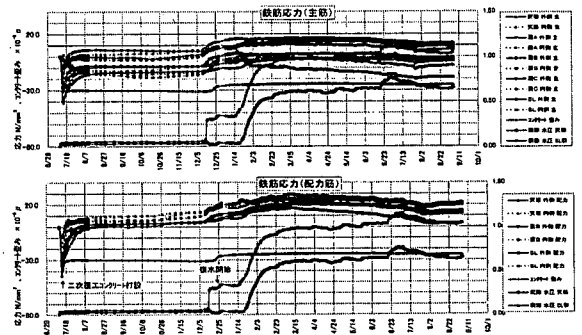


図-4 本坑二次覆工計測結果

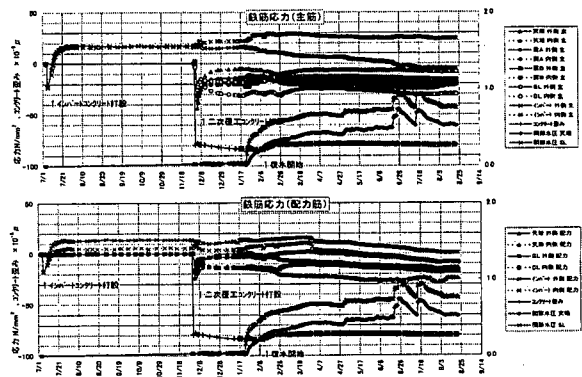


図-5 中間換気所横坑二次覆工計測結果

現段階では、計測結果が不十分であるが、以下のことが確認できる。

- ① 都市 NATM における二次覆工コンクリートに作用する外力は、水圧である。
 - ② 一次支保は掘削時の地山は支持するが、水圧に対する抵抗力は無い。
 - ③ 一次支保は復水後においても土圧を支持している。
- また、設計の妥当性を検証するためには、解析(逆解析)の手法による定量的な判断が必要と考えられる。

6. おわりに

今回の計測結果から、NATM における一次支保が、永久構造物として機能する場合、二次覆工コンクリートは水圧のみを考慮して設計することが、妥当と考えられる。しかし、ロックボルトについては、腐食や近接工事による破損等が予想されるため、永久構造物としての取り扱いには、現場条件等に十分留意すべきである。NATM では、地山と一次支保の相乗効果により、地山を支持するため、ロックボルトの劣化は、応力の再配分につながると予想される。二次覆工打設後の応力再配分は、剛性の高い二次覆工コンクリートが受け持つと考えられ、土圧を含む荷重状態を考慮して、二次覆工コンクリートの設計をすべきである。

このような場合、一次支保は掘削期間中の仮設として取り扱うことも可能と考えられ、許容応力度の割り増し等により、支保の軽減を行い、経済性の向上が期待できる。しかし、都市 NATM では、近接構造物の保全も重要な条件であり、一次支保の設計はこのような現場条件を考慮し、安全性に十分配慮したものとすべきである。

これらのことから、都市 NATM では、トンネル掘削中および供用中の現場条件を想定した設計が重要であり、今後の合理的な設計・施工に向けて、地山、標準支保、対策工と二次覆工の役割分担を明確にすべきである。そのためには現場計測による実挙動把握が重要と考えられ、今後の計測データに大きな期待をよせるものである。

また、都市 NATM では、これら特有の問題があり、これまでの山岳トンネルの応用では対応困難といえ、専用の設計・施工の指針となる、基準の制定が望まれる。

参考文献

- 1) 緒方隆哉ほか：扁平断面の地下鉄を NATM で掘る、トンネルと地下 第 30 巻 10 号
- 2) 栗山廣志ほか：併設トンネルにおけるピラー部補強の設計と施工、トンネル工学研究論文・報告集第 10 巻 2000 年 11 月報告 (6)

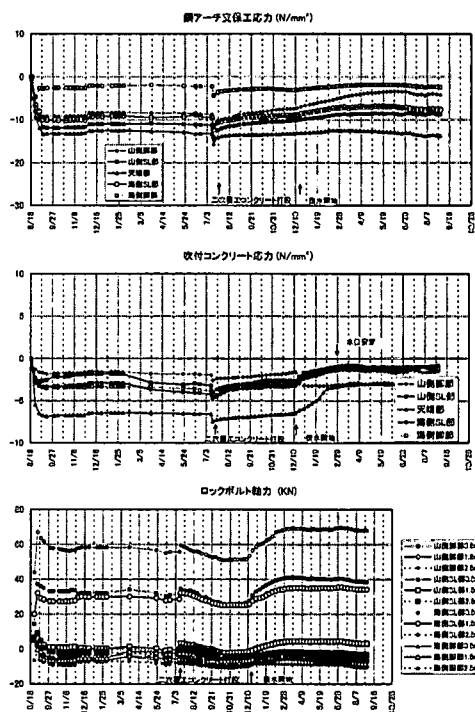


図-6 本坑一次支保応力

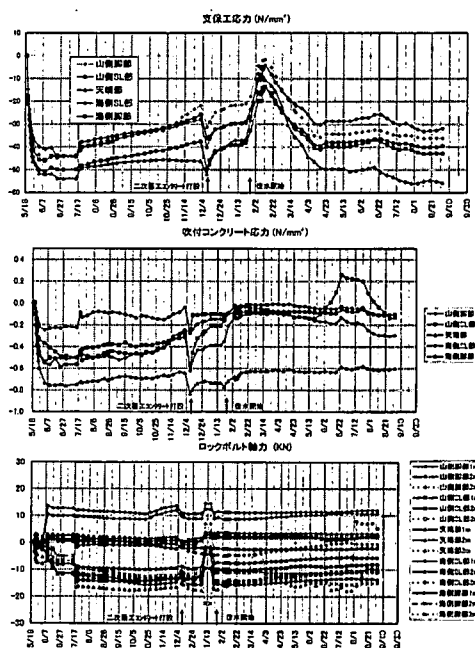


図-7 中間換気所横坑一次支保応力