

III-317 CD-NATMにおける補強ロックボルトの効果について

札幌市交通局

正会員 相馬 英敏

北海道開発コンサルタント(株)

正会員 ○岡田 正之

三井建設(株)

正会員 岡野 成敏

1. はじめに

札幌市地下鉄東豊線月寒トンネルは、住宅地および国道直下において、玉石混じり砂れき層中を山岳トンネル工法で掘削する、いわゆる都市NATMである。CD(中壁式)-NATMを採用し、施工および計測管理手法については既に報告のとおりである¹⁾。

国道部に入り土被りが1D(D:掘削幅=約11m)以下に減少するとともに上部にシルト層が出現し、地表沈下と内空変位が増大傾向を示した。これに対し自穿孔型ウレタン注入式ロックボルト(以下補強ボルトと称す)を用いた補助工法を適宜施工し地上への影響を最小限に抑えた。さらに、ボルトひずみ計を用いて、補強ボルトの軸力を測定するとともに、これまで比較的報告例が少なかった曲げモーメントも合わせて計測し、補強効果の検討を行った。

本報文では、国道直下での計測結果と補強ボルトの効果について考察する。

2. 国道部計測結果

国道部での計測結果の概要を以下に示す。

- ① 内空変位、天端沈下および地表沈下の計測値はいずれも土被りの厚い住宅地よりも、土被りの薄い国道部の方が値が大きい。特に地表沈下ではこの傾向が強かった。
- ② 地表沈下と土被りの縦断分布を図-1に示す。土被りの減少にともない沈下量が増大している。特に土被りが1D以下となりキャップロックの役目をしてきたシルト層を掘削するようになってからは、先行沈下が増加し、最終沈下量も増大傾向を示した。
- ③ 最大地表沈下量は、次のような関係にあることが判明し、共下がり現象が確認された。

$$[\text{最大地表沈下}] = [\text{先行地表沈下}] + [\text{天端沈下}]$$

- ④ 地表沈下 G_s の変形要因を重回帰分析し、内空変位 C_1 、 C_2 および土被り厚 H による次の予測式を求め、この予測値を目安にして施工管理を行った。

$$G_s = -1.1H + 0.04C_1 + 0.12C_2 + 20.9 \quad (\text{単位: mm})$$

3. 補強ボルト

3.1 施工経過

計測結果から補助工法として、ウレタン注入式補強ボルトを以下の(a)~(d)の順に打設した(図-2)。

- (a) 上段脚部補強ボルト:シルト層下部地山の補強により、天端・地表沈下を抑制し周辺地山を改良する。

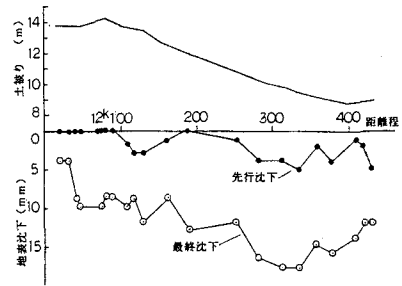


図-1. 地表沈下および土被りの縦断分布

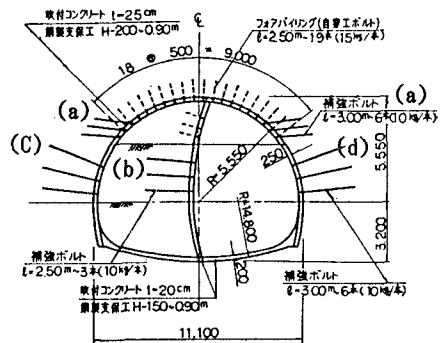


図-2. 支保パターン図



図-3. ボルトひずみ計位置図

- (C₁が減少し、天端・地表沈下が抑制された。)
- (b) 中壁補強ボルト：中壁の押し出し変形を抑制し、先進坑全体の安定性を確保する。(C₂が減少し地表沈下が抑制された。)
- (c) 後進坑中段外周補強ボルト：後進坑掘削時の地表沈下抑制により全体沈下量を小さくする。(後進坑施工時の地表沈下が抑制された。)
- (d) 先進坑中段外周補強ボルト：土被りの減少に伴う先進坑側の地表沈下抑制により全体沈下量を小さくする。(全体沈下量の増加が微小であった。)

以上の結果、地表沈下を管理値以内(18mm)に収めることができるとともに、沿道構造物への影響も全く認められなかった。

3. 2 補強ボルトの効果

12k290m~12k355m間ではシルト層が上段盤付近まで下がり、切羽は砂れき層とシルト層の複合地盤となった。このため、砂れき層の単一地山とは違った効果を示すものと考えられた。そこでボルトひずみ計を用い補強ボルトの効果を把握することとした。(図-3)

ボルトに作用する軸力と曲げモーメントの経時変化を図-4, 5に示す。軸力はボルト打設直後引張力が生じ、その後圧縮側に推移した。また曲げモーメントから推定される変形モードは図-6に示すとおりで、図-7のようなトンネルの変形に対応して曲げが生じているものと推察される。

以上から、打設当初ボルトは初期変形を拘束する内圧効果を発揮しているが、掘削段階が進むに従い変形性の異なるシルトと砂れきの地山を、吹付コンクリートの1次支保に縫付けるとともに、上段脚部を補強する効果へと移行し、有効な支保構造の一部として機能していることが明かとなった。なお最大発生応力は1710kgf/cm²で本数・長さとも妥当と考えられる。

4. おわりに

当トンネルは厳しい条件下での施工であったが、計測データをできるだけ活用しながら、多くの技術課題を克服し、平成3年12月無事貫通することができた。特に、補強ボルトについては軸力と曲げの両方で評価することにより補助工法としての効果が、ある程度確認できたと考えている。

最後に、本報文が今後の都市トンネル工事の参考になれば幸いに思う。

- 【参考文献】1)大森喜三雄, 岡野成敏, 角丸義浩：市街地・砂れき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, 土木学会第46回年次学術講演会講演概要集(Ⅲ), 1991。
- 2)大森喜三雄, 相馬英敏, 岡田正之, 岡野成敏：極めて土被りの薄い未固結地山におけるCD NATM, '92トンネル技術の特別講演と技術発表会論文集, 1992。

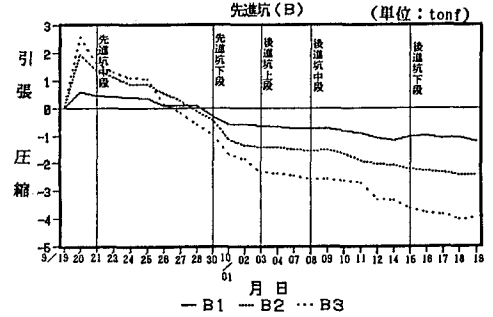


図-4. 補強ボルト軸力経時変化

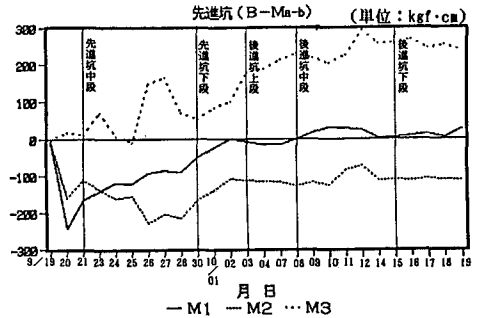


図-5. 補強ボルト曲げモーメント経時変化

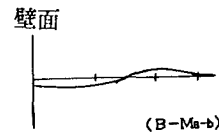


図-6. 推定変形モード

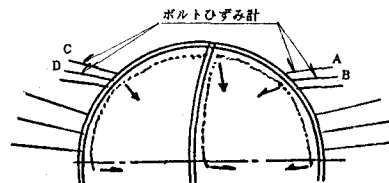


図-7. トンネルの変形模式図