

主要幹線道路直下、小土被りの山岳ナトム施工報告

ー福岡市高速鉄道3号線桜坂工区ー

土木本部 土木統括部土木部 渡部利文

1. はじめに

福岡市営地下鉄3号線は、市の2割強の面積に、全市民の4割にあたる50万人もの人が生活する福岡市西南地域の交通渋滞を緩和し、効率的で利便性の高い公共交通体系の確立を図ることを目的としている。この工事は、都心の中央区天神から西区橋本に至る20工区、延長12.7kmの鉄輪式リニアモーターカー方式の小断面地下鉄建設工事である。ここでは、風化頁岩層を多種の補助工法を駆使しながら、掘削工事を完了させた桜坂工区一般部(都市NATM(New Austrian Tunneling Method))について、その施工状況、補助工法の検討内容とその評価について報告する。



図-1 福岡市地下鉄路線図

2. 工事概要

- ・工事名称 : 福岡市高速鉄道3号線桜坂工区建設工事
- ・工事場所 : 福岡市中央区六本松4丁目1番地先
～桜坂3丁目5番地先
- ・発注者 : 福岡市交通局
- ・工期 : 平成9年5月23日
～平成14年3月29日(1,772日)
- ・工事内容 : 工区延長 L=810m
駅部 全面覆工式開削工法 L=165m
一般部 山岳トンネル工法(NATM)L=645m

駅、トンネルの計画位置は、全区間にわたり、都市計画道路博多駅六本松(通称:城南線、現況幅員19m)の直下であり、線形は道路の線形に合わせ、R=270mとR=420mの反向曲線となっている。NATM区間は複線断面、単線断面(駅接続)、およびそれらをつなぐ特型断面からなっており、土被りは約8～12mと非常に小さい。沿線に民家、ビル、マンション等が密集した幹線道路(城南線)の直下を、平均土被り約10mで通過するため、トンネル自体の安定性はもとより、地表面や近接構造物に及ぼす影響に関しても細心の注意を払わなくてはならない。



写真-1 トンネル上部の幹線道路(城南線)

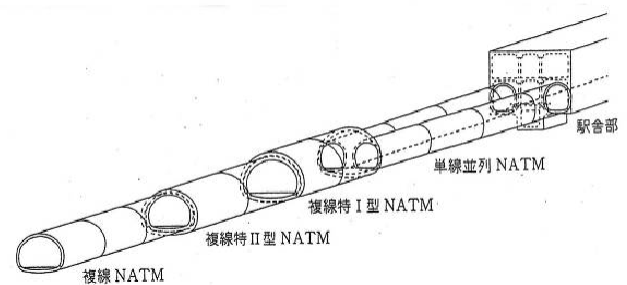


図-2 トンネル接続概要図

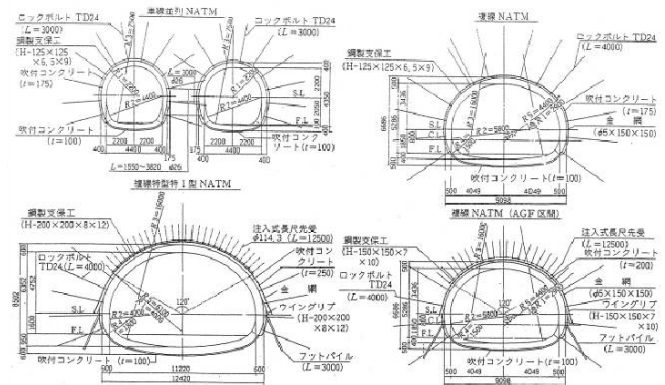


図-3 支保パターン図

3. 補助工法の選定

都市部の幹線道路直下を平均土被り10mで掘削するというNATMにとって非常に厳しい条件を可能とした要因の一つとして、信頼性の高い各種補助工法の開発がある。本工事においては、トンネル掘削の目的に応じた以下の補助工法を採用した。

- ・前方地山の地質確認および湧水対策として穿孔水平水抜きボーリング工
- ・先行変位による地表面沈下防止対策として注入式長尺先受け工法(AGF(All Ground Fasten)工法)

4. 施工経緯

平成10年8月に作業連絡坑を掘削完了し、9月から本坑掘削を開始。補助工法区間に入りながらも比較的順調に掘進したが、本坑350m付近で地表面沈下量が管理基準値(レベルIII:30mm)を越え、掘削を中止。計測結果をから当初計画の補助工法に対して以下の問題点が明らかになった。

- (1) 水抜きボーリングによる地下水位低下が原因で、切羽前方5D(D:掘削径=約10m)程度から地表面沈下が約10mm程度発生した。
- (2) 掘削の影響による先行沈下量および切羽通過後の後行沈下量が当初予想(10mm)より大きく、全体沈下量として許容量を超えた。(地山物性値が設計値よりも小さい)
- (3) 地質縦断面図から判断すると、到達部に向かって掘削天端に風化～強風化頁岩層が次第に出現すると考えられ、さらに、トンネル天端と洪積世の基底である透水性の大きいdAs層(滞水砂層)までの厚さが約2mと非常に近接する地質状態であることから、到達部においては、設計値(24mm)より大きな沈下が発生し近接構造物(横断既設水路・ガス管等)に有害な影響を及ぼすことが懸念された。

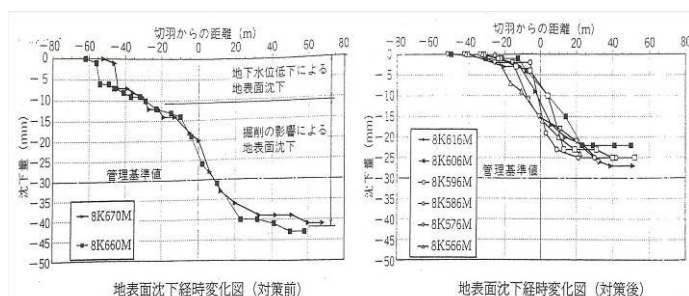


図-4 地表面沈下経時変化図

5. 対策工の検討

問題点に対し下記の対策工を検討した。

- (1) 水抜きボーリング長を40m→12.5mへ短縮。(切羽に湧水を出さない最小限の水抜きとする)
- (2) AGF打設範囲を120°→180°へ拡大。トンネル外周にプレアーチゾーンを形成させ先行変位と後行変位を抑制する。(FEM(Finite Element Method)解析による効果確認)
- (3) AGF先受け長を12.5m→15.5mへ延長。先行緩み制御とトンネル横断面内でAGF鋼管を2重に配置し剛性増加による変位抑制効果を増大させる。(FEM解析による効果確認)

6. まとめと今後の提言

桜坂工区では一部の区間で30mm以上の地表面沈下が発生し、また、薬液注入施工時に道路路面が隆起する現象が生じたが、全般的には変位も少なく、補助工法を適所に用いるとともに管理基準の見直し・検討を行いながら厳密な管理のもとで合理的な施工を進めた。その結果、埋設管などの近接構造物に有害な影響をほとんど与えずに、工事を完了することができた。(平成14年4月に本坑工事は完了)

以下にまとめと今後の提言を示す。



写真-2 掘削完了全景(早期閉合)

(1) 変位の発生状況と対策工

当工区の特徴として、坑内変位が小さく、なかでも内空水平変位はほとんど無いことがあげられる。これは頁岩層が比較的安定しておりトンネルの挙動自体が小さかったことが大きな要因として考えられる。しかし、地表面沈下に一部大きな沈下が発生した。これは切羽から先行水抜きボーリングで地下水位を低下させたことにより切羽前方(4～5D)から地表面沈下が発生しているという点に特徴がある。

対策工により切羽の安定性確保ならびに坑内の変形に対しては完全にコントロールできたが、地下水の動きによる沈下挙動も含め、地表面沈下に対して完全に制御することはできなかった。

(2) 地表面沈下抑制対策工に関する考察

一般的なトンネル掘削に伴う地表面沈下には、先行沈下・切羽通過時の沈下・後行沈下に分けられる。切羽前方2D程度手前から発生する沈下抑制についてはAGF工法が有効だが、さらに前方に先行沈下を抑制するためには、地山を事前に可能な限り緩ませない鏡補強工の長尺化が有効である。

また、後行沈下を抑制するためには全断面掘削による早期閉合が最も有効であり、当工区の地下水低下による沈下(10mm)の対策としては、地盤強度改良も兼ね備えた薬液注入工法が有効だと考えられる。

(3) 今後の施工法に関する提言

今後ますます厳しくなる条件下での山岳工法による施工方法は、切羽前方への長尺補強を施し、インパートの早期閉合をねらった全断面掘削工法が地表面への影響を最小限に抑え込む有効な方策ではないかと考えられる。



写真-3 覆工コンクリート完了全景

Key words: 小土被り, 都市 NATM, 地下水, FEM 解析, AGF, 鏡補強, 早期閉合