

極히 얽은 未固結地山에 있어서의 CD-NATM

—札幌市地下鐵 東豐線 月寒 TUNNEL—

相馬 英敏*

1. 머리말

本市는 創建120年으로 人口160萬人을 넘는 地方圈의 據點都市로 發展하여 21世紀로 向한 國際都市로서 個性的으로 活力이 充滿한 都市 만들기를 向하고 있다.

이 都市만들기에 있어 地下鐵은 추운 겨울 철에도 影響을 받지않는 大量輸送機關으로서의 特性을 發揮하여 本市의 交通體系의 基幹 施設로서 生活의 快適性, 便利性을 높여 市政의 發展에 큰 役割을 하고있다.

1971年에 南北線(1號線)을 開通하여 온 以來, 그 延長 東北線(2 線)의 新設 및 延長과 數次 整備를 하여 1988年 12月에 東豐線(3 線)의 榮町~豐水스스기노 間을 開通하여 總延長 約 40Km에 미치는 地下鐵이 整備되었다.

現在, 東豐線의 延長에 相等하는 [豐水스스기노~福住] 間 5.5Km의 工事を 무사히 끝내어 今年 10月에 開通을 向해 最終 調整中이다.

이 工事に 있어서 月寒Tunnel工區는 本市 처음의 시도인 NATM에 依해 施工하였다. 本 Tunnel은 玉石混 砂礫層을 1.5D 以下로 住宅, 國道直下를 掘削하는 典型的인 都市NATM이 였다. 施工에 있어 地山 崩壞는 絶對로 許容할 수 없다는 것은 말할것도 없고 地表에의 影響을 最小限으로 抑制하는것이 本工事の 課題였다.

本工事に 있어서 地山變形의 拘束效果가 높고, 施工性, 經濟性에도 優秀한 CD-NATM

(中壁式-NATM)을 選定採用하여 施工하였다. 以下 本工事の 概要를 說明하면서 CD-NATM의 有效性에 對하여 記述한다.

2. 地質 概要

Tunnel 區間은 本市의 南東部에 位置하는 月寒台地에 相當하고, 火山灰와 그 下位의 火山灰質 Silt, 砂礫層에서 된다. 火山灰層의 N值는 3~29로 깊이와 같이 크게된다. 火山灰質 Silt는 N值 10~24로 硬한 Consistency를 表示된다. 掘削對象으로되는 砂礫層은 玉石混砂礫으로 粘性土를 一部 lens狀으로 싼다. 平均礫徑은 100~200mm이고, 混入率은 60~70%이다.

地下水位는 Tunnel 上部의 Silt層을 不透水層으로 하여 火山灰層에 있어 砂礫層에서는 起點附近을 除하여 Tunnel의 下方에 位置한다.

3. 工事概要

本 Tunnel은 延長638m, 掘削斷面80~90m²의 複線鐵道 Tunnel이다. 平面線形은 그림-2와 같고, 縱斷線形은 그림2.에 나타냄과 같이 32%의 上勾配로 되어있기때문에 土被가 約17~9m 千 천히 얽게되어 1D를 끝은 區間도 있다. 그로인해 設計에 있어 試驗Tunnel을 掘削하여 이 Data와 FEM解析等에서 여러가지의 檢討를 하였다. 그 結果는 다음과 같다.

① 掘削工法은 施工性, 經濟性의 優位성과

*建設部門 技術士. 札幌市 交通局

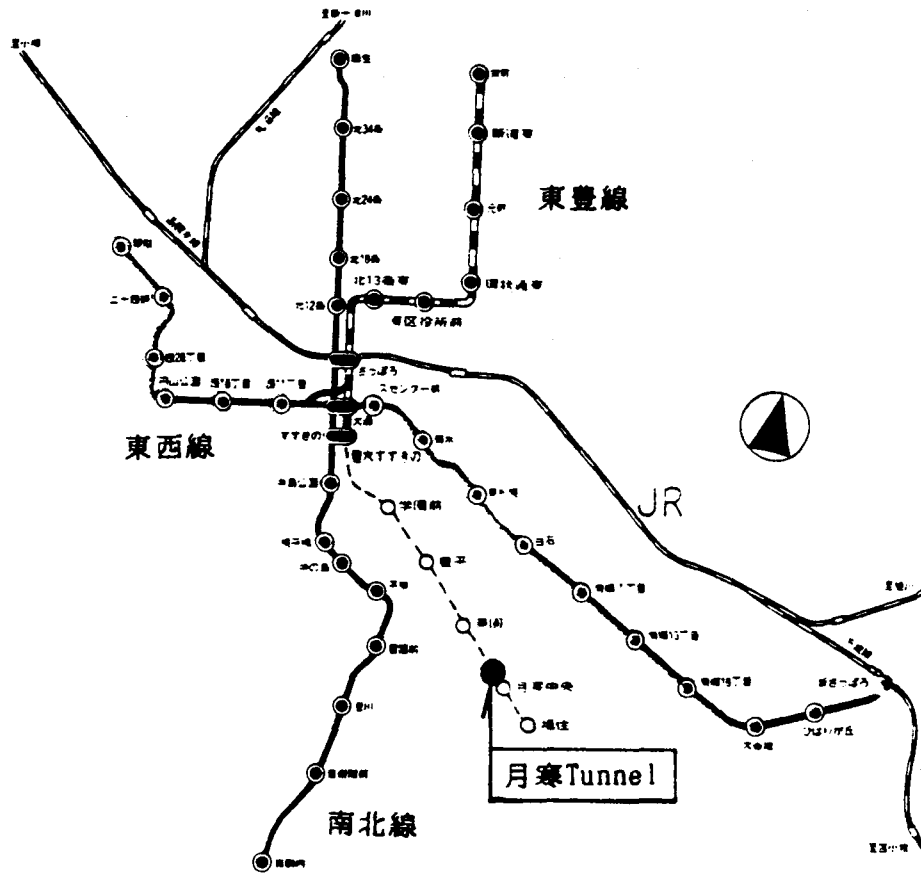


그림 1. 札幌市 地下鐵 路線圖

地山變形的 拘束效果가 큰 CD-NATM으로 하였다.

- ② 初期變形의 큰 土砂地山에서는 鋼製支保工의 荷重分擔率이 큰것이 檢證되었기 때문에, 鋼製支保工과 吹付 Concrete를 主體로 한 剛한 支保構造로 하였다.
- ③ 切羽의 安定, 先行變位의 抑制를 위한 補助工法으로서 Fore-Pilling에 依한 岩盤 固結工(Uretan)을 한다.
- ④ 將來的인 地下水의 上昇 및 地上環境의 變化를 考慮하여 二次覆工은 RC構造로 하여 다시 Watertight-Tunnel로서 全周를 防水Seet로 被膜한다. 支保 Pattern圖-3에 表示

4. 施工

施工에 段階이서는, ① 地表沈下의 抑制, ② 切羽의 自立確保, ③ 騒音. 振動을 抑制한 環境 保全, ④ 近接建物, 地下埋設物에의 惡影響 防止등을 가장 重要項目으로하여, 早期閉合, 重機의 作業性確保, 吹付콘크리트 強度의 發現時期等を 充分히 考慮하여 施工順序로 하였다.

5. 計測

計測에 對해서는 本 Tunnel의 特殊性을 考慮하여, 自動計測을 主體로 하고 있어 計測管理手法은, 都市NATM에 있어 좋은 成果를 나

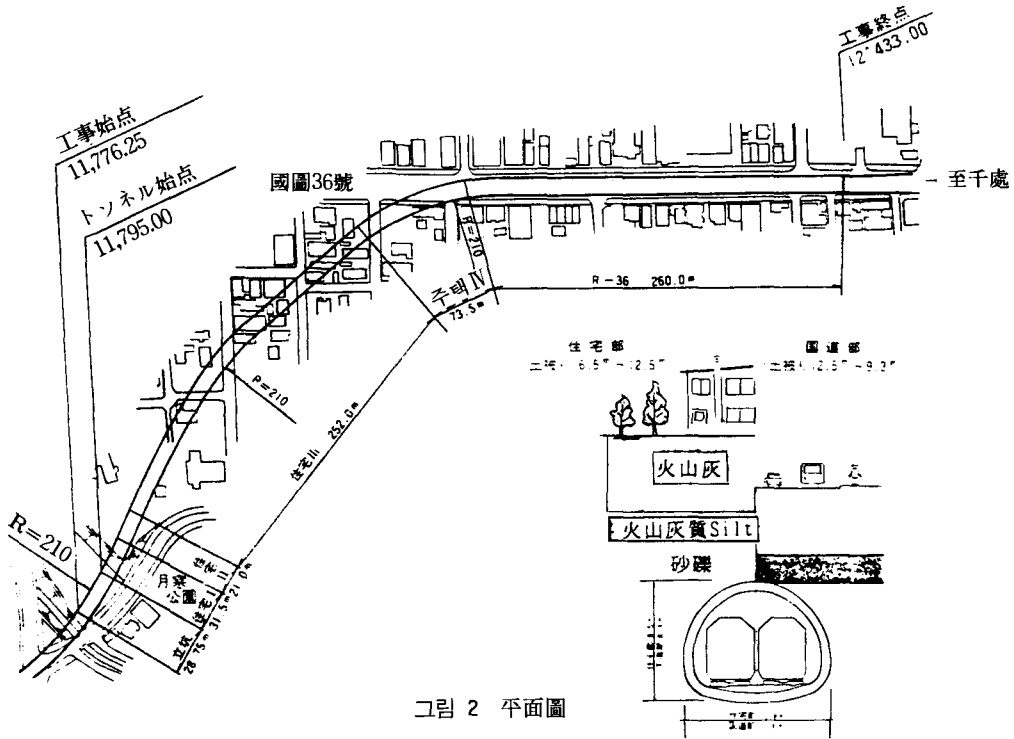


그림 2 平面圖

住宅 I 區間

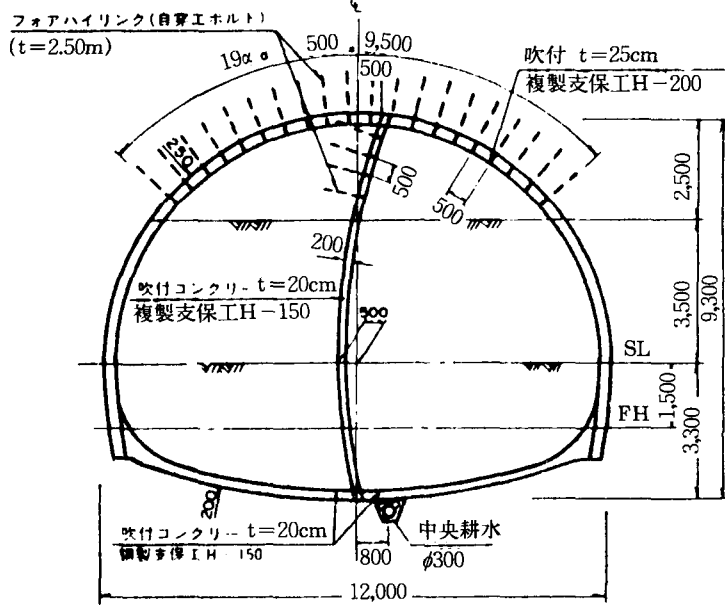


그림 3. 支保 Pattern

타내고 있다. [直接ひずみ(비뚤어짐)制御法]을 쓰기로 하였다. 砂礫層의 孔內載荷試驗結果가 $E=1250\text{kg/cm}^2$ 인것에서 表1.과 같이 管理基準値를 設定하였다.

표 1. 管理基準

管理 Level	天端沈下(m)	內空變位(m)	歪(%)
管理 Level I	~22	~44	~0.4
管理 Level II	22~33	44~66	0.4~0.6
管理 Level III	33~	66~	0.6~

또, 地表面沈下の 管理値는 FEM解析에 의한 Tunnel-Center上的 中壁撤去後의 收束値 18mm를 限界로 하며, 10mm를 管理目標値로 하였다.

6. 計測結果 및 考察

- ① 內空變化의 最大値는 30mm程度였는데 管理Level I의 約 70%에 그쳐 Tunnel 周邊의 地山自體의 安定은 確保되어 있다고 본다.

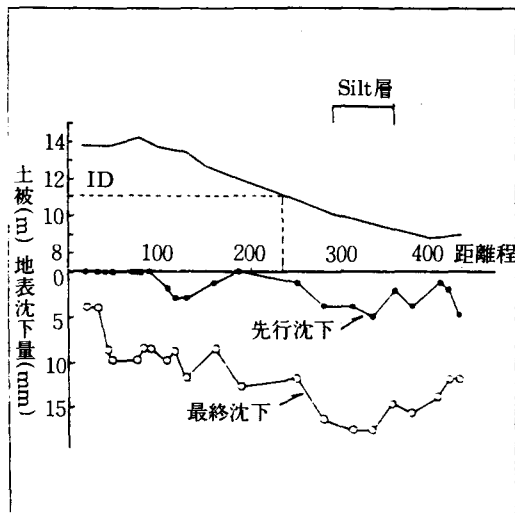


그림 4. 地表沈下縱斷分布

- ② 地表沈下와 土被의 減少에 따라 沈下量이 增大하고 있다. 特히 土被가 1D以下

로 되어 이른바 [Caprock]으로 하여 地表面沈下抑止에 寄與하였다고 생각된 Silt層을 掘削하는것 같이 되면서 先行沈下가 增加하여 最終沈下量도 增大傾向을 나타냈다.

- ③ 中壁의 吹付Concrete應力의 變化를 그림-5. 에 表示. 先進坑 Arch部(A點)의 應

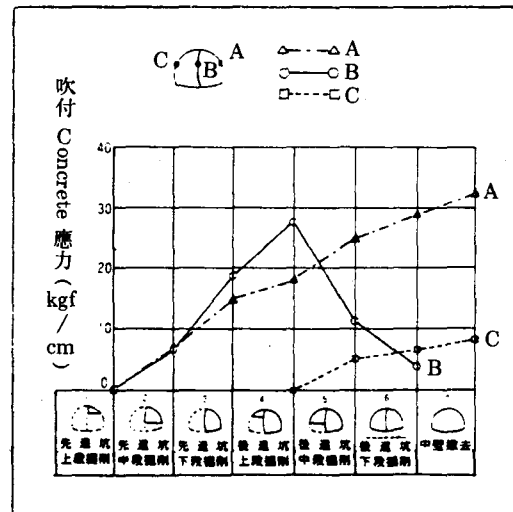


그림 5. 中壁의 吹付 Concrete 應力

力과 中壁部(B點)의 應力은 掘削에 따라 兩者 모두 均等히 增加하여 後進坑 上段掘削時에 最大値를 나타냄. 그後 後進坑 中段의 掘削에 依해 A點의 應力은 더욱 增加하는데 中壁部의 應力이 줄어들어 거의 Zero에 가깝게 하였다. 이것에 對하여 後進坑 Arch部 C點의 應力은 增加하여 全斷面閉合에 依해 A點과 같이 收束하였다. 鋼製支保工의 軸力의 變化도 같은 舉動을 나타내고 있어 中壁部材의 經時變化過程에서 CD-NATM가 Arch形成까지의 間, 鉛直方向變位의 抑制에 有效함을 알 수 있다.

- ④ 類似條件아래에서의 Tunnel의 土被와 地表沈下量의 關係를 그림-6.에 表示. 그림에서 地表沈下量이 土被의 減少와 같

이 증가하는 傾向은 CD-NATM도 같다. 그러나 地山條件等の 相違가 있어 같이 말할 수는 없으나 Short-Bench-Cut 工法 쪽이 土被의 減少에 따른 地表沈下量의 增大傾向은 크다고 말할 수 있다. 이일로 인해서 CD-NATM은 地表沈下에 對한 抑制效果가 크고, 地上의 制約條件이 嚴한 Tunnel에의 適用性이 높은 것이 本 工事に 있어서도 立證되었다고 말할 수 있다.

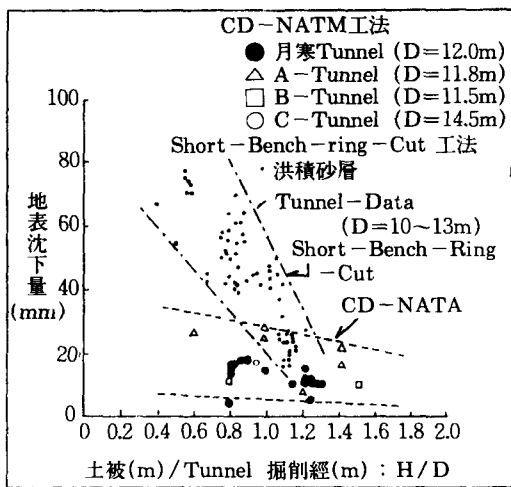


그림 6. 土被와 地表沈下量의 關係

7. 結論

本工事は 市街地直下에서 또한 土被가 極히 얽은 未固結地山을 CD-NATM으로 施工한 典型的인 都市Tunnel이었다. 어려운 條件에서 施工이 되기때문에 試驗Tunnel을 掘削하고, Tunnel諸元을 決定하여 施工하였으나 施工途中 複雑한 地山舉動等 많은 技術的 課題가 있었다. 그러나, 關係者가 一體로 되어 그 課題를 克服한 結果, 所期의 目的은 充分히 達成하였다고 생각한다.

最後에 本 報告가 今後의 都市NATM의 施設. 施工에 있어 一助가 된다면 多幸으로 생각한다.

參 考 文 獻

1. 大森, 中田, 相馬: 玉石混砂礫層을 CD-NATM에서 掘, Tunnel地下, Vol. 22, No. 6, 1991
2. 相馬, 岡田, 岡野: 市街地直下の 未固結地山에 있어 CD-NATM, 土木學會北海道支部 論文報告集, 第48, pp.999~1004, 1992
3. 相馬, 岡田, 岡野: CD-NATM에 있어 補講 Rock-Bolt의 效果에 對하여, 土木學會第47回 年次學術講演會概要集第3部, pp.674~675, 1992