

# 變狀 Tunnel의 合理的인 補强法(上)

## 이 종 특

우리협회 비상근 전문위원  
철도전문대학 교수

### 目 次

- 1. 序 論
- 2. 터널保守에 관한 研究開發
- 3. 最近의 터널 變狀對策
  - 3.1 事例 1(塑性地壓에 의한 變狀例)
  - 3.2 事例 2(산사태에 의한 變狀例)
  - 3.3 事例로부터 본 對策工의 問題點
- 4. 터널補强對策의 模型實驗
  - 4.1 實驗概要
  - 4.2 實驗結果
  - 4.3 數值解析에 의한 評價
- 5. 結 論

## 1. 序 論

現在 우리 鐵道에는 Tunnel이 451個所, 總延長이 約 165km로 1000m 以上 되는 터널이 33個所 있다. 이중 상당수가 약 50년을 경과한 터널도 있어, 老朽化한 터널의 補修는 매우 重要性을 지니고 있다.

터널의 變狀은 構造的 要因과 함께 地壓의 作用, 漏水, 고드름의 發生에 의한 것이 적지 않다.

따라서 都市 및 그의 近郊에서는 既設터널에 近接한 工事が 積증하고 있고 地震發生에 대한

염려 등 터널 보수 方法을 檢討하는 要因도 多樣化 되고 있다.

이와 같은 狀況을 감안하여, 日本鐵道總合研究所에서는 터널 保守에 관한 研究開發을 推進하여, 이것을 manual 등의 保守基準으로 JR 各社에 提供하고 있다.

本稿는 日本鐵道總研에서 터널 保守에 관한 研究開發한 manual類를 簡單히 紹介하고, 거듭 最近의 變狀터널 對策例와 合理的인 對策工設計를 目的으로 한 實驗的 研究의 一部를 紹介한다.

## 2. 터널保守에 關한 研究開發

그림1에 Tunnel 保守의 흐름과 이에 대한 推進 研究開發課題를 보여준다.

그림에서 보는 바와 같이 터널 保守技術은, 檢査, 診斷技術과 對策工의 設計, 施工技術로 大別된다.

前者에 대해서는 「터널檢査·診斷전문가 시스템(TIMES-1)」을 開發·實用化 하였다.

그위에 터널檢査의 自動化를 目標로 光學的인 檢査手法, 또는 非破壞檢査手法을 터널 檢査내 適用性에 關해서 檢討한다.

後者に 대해서는, 各種 變狀原因別 對策工의

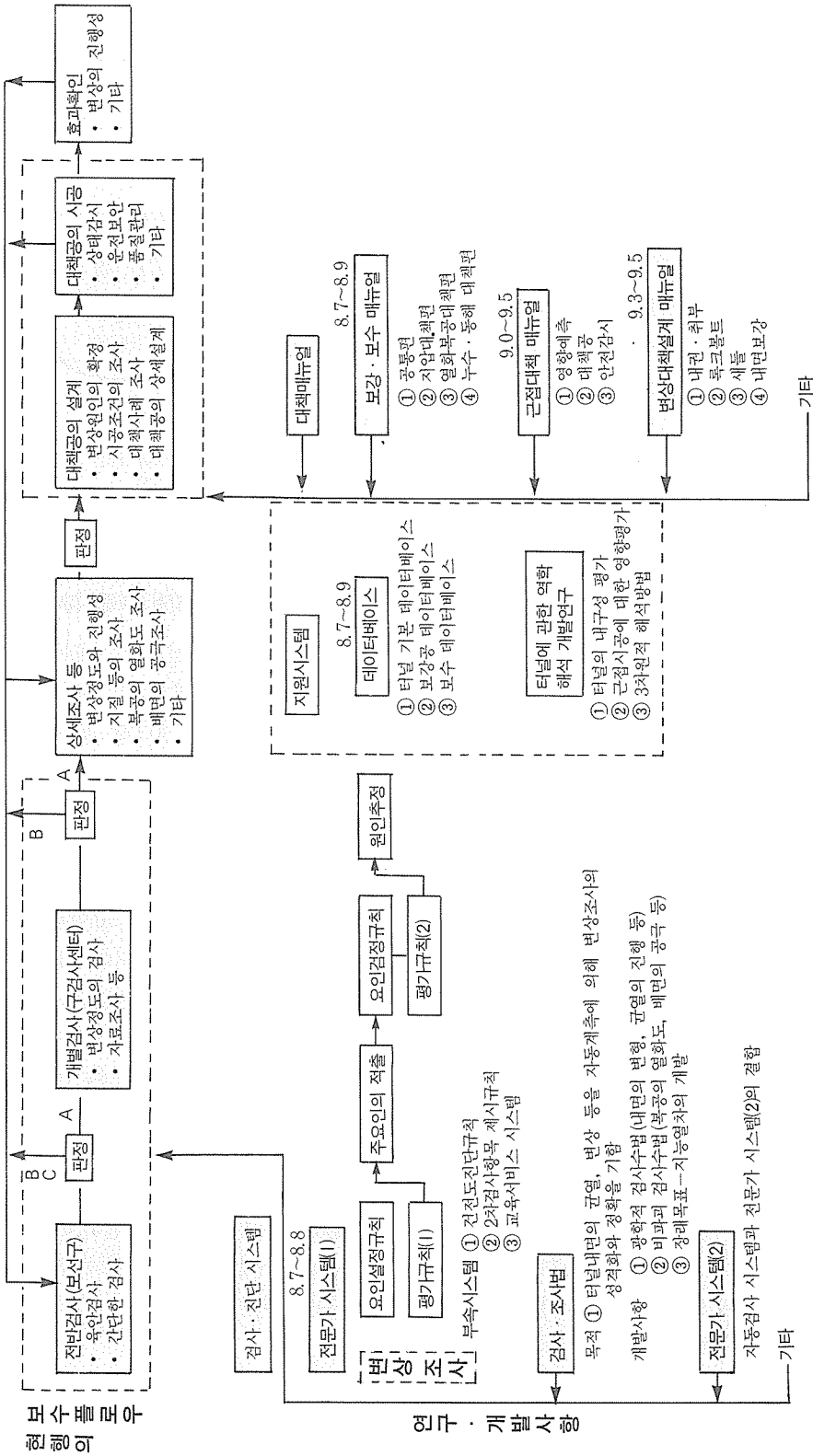


그림 1 터널 보수기술에 관한 연구·개발도

## 안전기술 4

選定法을 中心으로 한 「터널補強·補修 매뉴얼」을 우선 作成한다. 더욱 近來에 수요가 급증하고 있는 近接施工對策의 추진방법의 가이드라인을 요약하여 「既設 터널 近接施工對策 매뉴얼」을 作成했다.

다음은 「터널補強·補修 매뉴얼」에 의한 判斷을 要하는 變狀터널과 그 對策工 事例를 紹介하고, 거듭 이러한 變狀터널의 對策工設計의 基礎資料를 얻을 目的으로 實施한 實驗的 研究에 對해서 記述한다.

### 3. 最近의 터널 變狀 對策例

여기에서는 最近 地壓에 의한 變狀이 問題가 된 前記 매뉴얼을 기초로 對策을 강구한 事例를 紹介한다.

#### 3.1 事例 1(塑性地壓에 의한 變狀例)

##### (1) 터널 및 地形·地質 概要

1965年度 初에 建設된 延長 1800m의 複線터널로 新第三紀의 泥質岩(軟岩)으로부터 丘陵으로 構築되었다. 問題가 된 變狀區間의 土被는 約 70m로 覆工은 두께 50cm의 逆卷構造이다.

##### (2) 變狀現象과 그 原因

開通後 塑性地壓에 의해, 側壁의 押出로 아치 天端을 누르는 등 현저한 變狀이 發生했다. 當時의 內空斷面의 縮小는, 內空變位 計測에 의하면 年間 最大 20mm 이상에 미치는 個所도 있다. 그로 인해 종래보다 인버트나 스트리트를 本體로 한 補強對策이 段階的으로 수차 시공되었다. 그 結果 變狀의 進行性은 徐徐히 억제되었다. 그러나 最近에 와서 天端部의 一部가 현저한 박리·박락이 發生하여, 새로운 補強對策의 必要性이 생겼다.

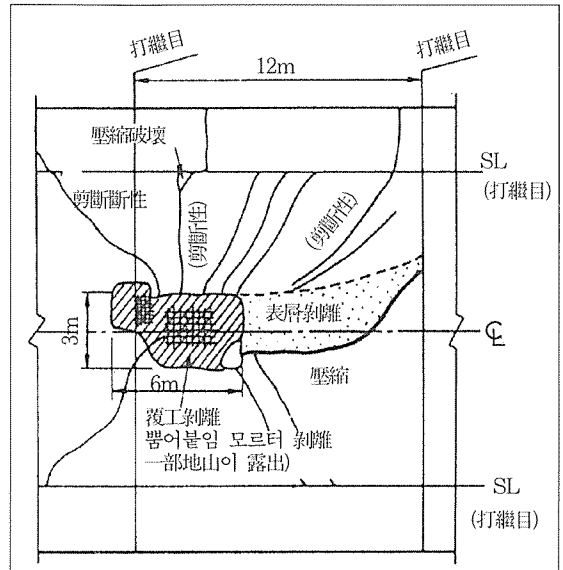


그림 2. 變狀展開圖(事例 1)

剝離는, 눌림이 發生하는 個所에서 發生되고, 그곳의 라이닝 두께는 극히 얇고, 박락한 부위는 곳곳에 濕潤狀態의 風化한 泥岩이 露出된 狀況이었다.

그림 2에 變狀展開圖에서 보는 바와 같이, 剝離個所 및 周邊의 覆工에서는 이러한 側壓이 탁월한 變狀 모드와 다른 現象이 관찰되었다. 즉, 잘못 붐으로 인한 剪斷性 균열이 박리개소를 中心으로 放射狀으로 發生되어 있고, 이러한 龜裂이 아치의 鉛直이음인 逆卷部(水平이음)에 到達한 部分에서 壓縮破壞를 일으키는 것 등이 있다.

이러한 狀況으로부터 判斷한 變狀原因은 ① 인버트 施工 後에 側壓에 대한 抵抗力이 增大하여, 覆工에 커다란 軸力이 附加되는 壓縮應力이 탁월한 狀態의 變化한 것 ② 當該部에서는 새로운 地山의 완만한 눌림이 作用한 것 ③ 天端部의 얇은 복공두께나 逆卷부 등 構造的 缺陷이 있는 것으로 생각된다.

##### (3) 對策

以上과 같은 狀況으로부터, 當該部는 이미 覆

工耐力의 限界에 達했다고 判斷되며, 早急한 對策이 실시되었다.

우선 安全運轉의 確保를 위해, 應急的인 對策으로서 剝落防止工이 施工되었고 剝落檢知 시스템을 構築하였다. 다음으로 恒久的인 對策으로서, ① 새들補強 및 剝落部의 斷面복구(폴리에스테를 板을 알거푸집으로 하여 폴리우레탄을 充墳) ② 록크볼트 補強 ③ 銅纖維補強 콘크리트(SFRC) 뿔어붙임에 의한 라이닝 補強을 시행하였다(그림 3).

이제 斷面變形으로 施工餘裕를 確保할 수 없는 個所(아치어깨部)의 建植할 때에는, 支障範圍의 覆工을 Slit狀으로 連續的으로 코아 빼기에 의해 신중히 竊트하였다.

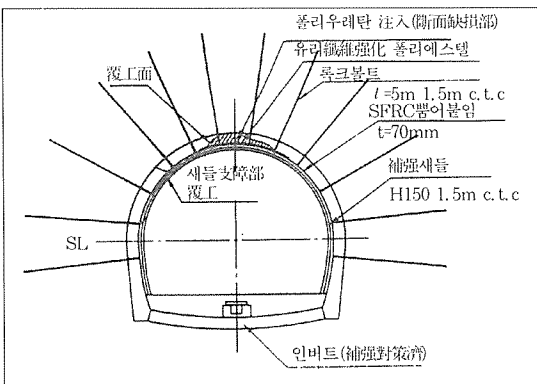


그림 3 補強對策(斷面圖) (事例 1)

### 3.2 事例 2(산사태에 의한 變狀例)

#### (1) 터널 및 地形·地質概要

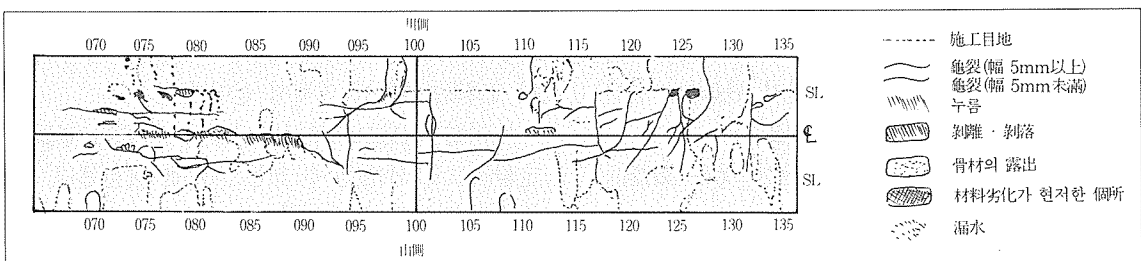


그림 4 變狀展開圖(事例 2)

延長 350m의 單線 터널로 河川의 側方浸食으로 形成된 山腹에 비교적 좁은 段丘~段丘崖 아래쪽을 貫通한 터널로 全體가 偏壓地形이다.

地質은, 新築三紀의 變質된 角礫凝灰岩으로 基質은 느슨하다. 또한, 터널 上部를 포함한 地表部에서는, 土留壁의 變狀이나 消落崖 등이 곳에 따라 관찰되고, 산사태가 推定되었다. 電鐵化에 따를 路盤低下를 위해 側壁全面改築을 하였다.

#### (2) 變狀現象과 그 原因

그림 4의 變狀展開圖에서 보는 바와 같이 全體的으로 아치部의 龜裂이 현저하게 發生되어 있고 材質不良, 材料劣化가 심하고, 覆工의 剝離 個所가 산발적으로 발견되었다. 또한 全體的으로 누수가 많고, 覆工全面이 습윤한 상태이다. 특히 80m 부근에 아치 天端軸方向에 連續하여 압축된 點이 발견된다든가, 125m 부근의 아치部 눈틀림에 따른 기러기가 날아가는 상태의 斜方向龜裂(剪斷性)이 발달해 있는 것이 特徵이다.

地形·地質條件을 고려하여, 이러한 복잡한 龜裂 패턴으로부터 判斷하여 當該部는 終點方向의 山側으로부터 起點方向側(그림 4 右下~左上)으로 向해 軸方向의 偏壓性的 地壓이 作用하고 있는 것으로 想定되었다.

이제, 이 地壓이 산사태를 일으키는 원인이라고 생각되며, 地表調査나 坑內檢査, 內空變位計測을 斷續 시행하여, 現在 위치에서 현저한 進行

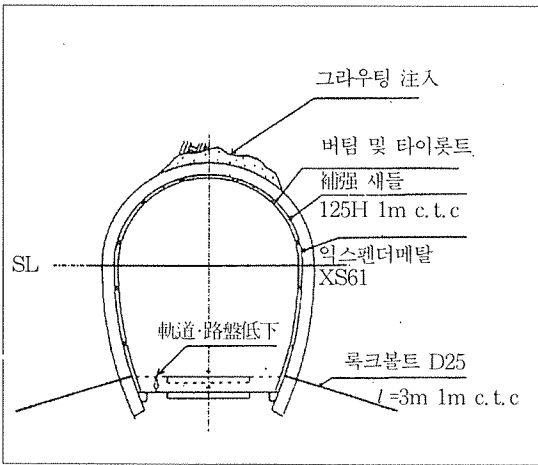


그림 5 補強對策(斷面圖)(事例 2)

성을 確認해야 한다.

(3) 對策

근본적인 산사태 대책은 현실적으로 困難하며, 터널內를 補強하여 降雨時 등에 龜裂의 進展, 內空變位 計測을 포함한 計測監視를 하는 것을 基本으로 對策을 강구하였다.

아치의 覆工耐力이 相當히 低下되고, 覆工片의 剝落에 의한 列車支障이 屢러되므로 覆工의 補強對策 외에 아치全面의 剝落防止가 必要했다.

우선, 內空斷面의 餘裕가 없는 곳에서는, 建築限界를 抵觸하지 않는 對策으로 아치部의 록크볼트 補強에 의한 內壓 效果를 높이기 위한 工法이 가장 적당하다고 判斷되어, 特히 變狀이 屢러한 個所에 適用을 도모하였다.

다시, 그림 5에서 보여주는 것과 같이 새들 補強工에 의한 覆工剛性을 높이기 위하고, 병행하여 落下防止網(net)을 施工하였다.

새들에 의한 內空斷面이 不足한 것은 路盤低下를 할 必要가 생겼다.

路盤低下에 의한 變狀이 促進되지 않도록 미리 脚部에 록크볼트 또는 軌道밑에 스트러트 補

強을 하는 것이 檢討되든가, 록크볼트의 기능이 기대되는지 試驗施工에 의해 確認되어야 하며, 側壁脚部에 록크볼트를 施工한 위에 路盤低下가 이루어졌다. 또한 터널 전체의 安定性을 改善하기 위해, 覆工背面의 그라우팅 注入이 施工되었다.

새들補強工 및 落下防止 net는 施工後 計測結果에 의하면, 새로운 록크볼트 補強으로 될 수 있는 構造로 되었다.

3.3 事例로 본 對策工의 問題點

以上の 두 터널의 補強對策은, 어느 것도 覆工耐力이 限界에 達했다고 보여지는 事例이다. 平素 이러한 應力狀態에 있는 터널에 있어서, 補強對策을 하기 위하여는 現覆工斷面을 확대하기 위하여 路盤低下를 하는 것은 대단히 위험하다. 그러므로 斷面變形·縮小에 의한 限界를 저촉하는 경우나, 建設 당시 보다 內工斷面이 狹小하게 건설된 터널의 경우는 防護策을 강구하여 위에서 기술한 것과 같은 對策을 세우는 것이 이익이라고 생각된다.

따라서, 內側으로 라이닝을 보강 새들에 의한 현재의 一般的 대책을 바꾸어 適合한 剛性을 갖는 대단히 얇은 內面補強工을 적용한다면, 이 문제를 해소할 수가 있다.

다시 地壓의 特定이나 覆工의 應力狀態를 定量的으로 파악하는 것은 現상태로 困難하므로, 위에서 든 事例를 포함한 對策工의 設計는 다른 有事한 事例나 簡單한 調査·計測을 基本으로 한 工學的 判斷에 의해서 얻어진다.

이러한 現象으로부터, 터널의 力學的 舉動을 定量的으로 評價할 수 있는 方法을 發見했다. 對策工의 合理的인 設計를 하기 위한 것은 다음 章에서 보여주는 것과 같은 基礎的인 實驗·解析 전개한다. <다음호에 계속됩니다>