

變狀 Tunnel의 合理的인 補强法(下)

이 종 특
철도전문대학 교수
우리협회 비상근 전문위원

4. 터널 補强對策의 模型實驗

構造的인 缺陷이 터널覆工에 미치는 영향평가나, 變狀對策工의 效果·把握을 目的으로 하여 實施한 覆工模型實驗과 解析의 代表的 例에 관해서 概說한다.

4.1 實驗概要

(1) 實驗裝置

實驗裝置는 그림 6에서 보여주시는 것과 같은 新幹線標準斷面을 가정한 直接載荷方式의 立體模型實驗裝置(縮尺 1/30)이다.

이 裝置는 載荷用 部材(載荷板, 反力板, 地盤스프링材(硬質圓筒型 고무), 二重構造 볼트), 反力프레임, 側壁脚部 스톱마, 脚部沈下機構底板等임.

載荷用 部材는 覆工模型斷面의 法線向方으로 11組가 設置되고 이로부터 軸方向에도 11列이 配置되어 있고, 3次元 모델의 實驗도 할 수 있는 構造로 되어 있다.

볼트는 二重 스프링 構造로 되어 있고 內側의 볼트에 의한 고무의 壓縮·解放이 可能하여, 고무에 彈性力에 의한 地盤反力을 表現할 수 있다.

載荷個所는, 圓筒形고무를 鋼製圓筒 等으로 交換하여 外側 볼트를 조임으로써 載荷板을 눌러 直接覆工에 位置를 준다.

側壁脚部는, 脚部 스톱마(鋼製 또는 고무製)의 着脫에 의해 水平內側方向의 拘束條件(인버트의 有無, 道床碑石에 의한 支持)을 設定할 수 있는 構造로 되어 있다.

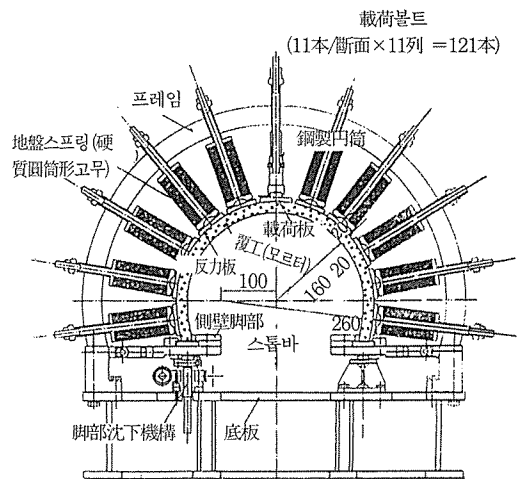


그림 6 覆工模型實驗裝置

(2) 實驗材料

實驗에 쓰이는 材料 및 特性은 表 1에서 보여 주는 것과 같다.

表 1. 실험용 재료 및 물성

種 別	實驗使用材料	材 料 物 性
覆工模型	모 르 터	一軸壓縮強度 $\sigma_c=31\text{MPa}$ 壓縮彈性係數 $E_c=1.6 \times 10^2\text{MPa}$
地盤彈性材	硬質圓筒型 고 무	스프링 定數 $K_1=0.080\text{kN/mm}$ (變位量 4.0mm까지는 0.11kN/mm)
裏入注入 軟 質 材	板 고 무	壓縮彈性係數 $E_g=3.0\text{MPa}$
裏入注入 硬 質 材	에폭시 樹脂	壓縮彈性係數 $E_r=890\text{MPa}$
鋼板接着工	브레이크板	板 厚 $t=0.30\text{mm}$ 引張彈性係數 $E_s=2.0 \times 10^5\text{MPa}$
炭素纖維 시트補強	炭素纖維 시 트	炭素纖維量 $F.A.V=50\text{g/m}^2$ 引張彈性係數 $E_{ca}=4.1 \times 10^4\text{MPa}$

(3) 實驗 케이스

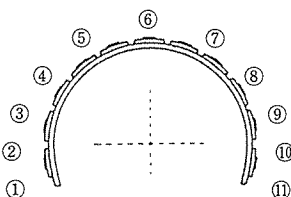
現在까지 이 裝置를 利用하여 여러가지 實驗을 實施하였으나, 여기서는 構造的 缺陷(覆工天端의 라이닝 두께 不足, 背面空洞), 變狀對策工(그라우팅 注入工, 鐵板에 의한 內面補強, 炭素 섬유시트에 의한 內面補強)의 有無에 착안하여, 2次元 모델(軸方向으로 載荷板 1枚分의 한길이를 갖는 覆工模型)을 사용하였다.

實驗 케이스를 表2에 표시하였다.

表 2. 實驗케이스

實驗 케이스 番號	載 荷 位置	覆工 天端 卷厚	背 面 空 洞	裏 入 注 入	內 面 補 強	實 驗 狀 態 種 別	
1	橫兩側 [② ⑩]	20mm	無	無	無	健全	
2		15mm	60°	軟質材 硬質材		無	缺陷
3		10mm					對策工
4							
5							
6	鉛直 [⑥]	20mm	無	無	健全		
7					鋼 板 炭素纖維	對策工	
8							

注) 載荷位置의 [] 內의 數字는 載荷番號 表示(아래 그림 參照)



4.2 實驗 結果

그림 7~9는, 覆工龜裂 進展課程 및 載荷位置에 있어서 覆工內面의 法線方荷變位 μ 와 荷重 P(壓力 P)의 關係를 實驗 파라미터를 각각 整理한 것이다. 그림 7~9에 있어서 記號의 意味는 表 3에서 보여 준다.

이 그림으로부터 다음과 같은 것을 알 수 있다.

表 3. 實驗結果 整理 使用 記號

使用 記 號	引 張 龜 裂
○, △, ◇, □	누름 (壓縮破壞)
●, ▲, ◆, ■	內面補強材의 劣化
×	龜裂發生順序(無對策의 對策 또는 對策施工前)
A, B, C ···	龜裂發生順序(對策工施工後)
①, ②, ③ ···	載荷位置에서 覆工內面의
u	法線方向變位量(mm)
p	載荷位置에서 荷重(kN)
p	載荷位置에서 壓力(MPa)

(1) 全體의인 破壞進行課程의 傾向

初期龜裂發生까지는 彈性的 舉動을 보여주나 그 後에는 構造系 變化에 따른 새로운 龜裂 發生이나 龜裂 閉合을 보여준다.

(2) 構造的 缺陷의 影響(그림 7)

兩側型으로 側壁에 載荷하는 경우로, 覆工이 健全한 경우(케이스 1)과 構造的 缺陷, 즉 覆工天端의 라이닝 두께 不足이나 背面空洞이 있는 경우(케이스 2, 3)을 比較한다.

그림 7에서와 같이 健全한 경우는 龜裂發生 後에도 아치作用으로 얼마간의 變形量까지도 覆工耐력을 維持시켜 주지만 構造的 缺陷이 있는 경우는 脆性的인 破壞形態를 보이고, 龜裂發生에 의한 急激한 耐力低下를 일으키는 것을 알 수 있다.

(3) 裏面注入工의 效果(그림 8)

構造的 缺陷을 갖는 覆工에 대해서 兩側型 側

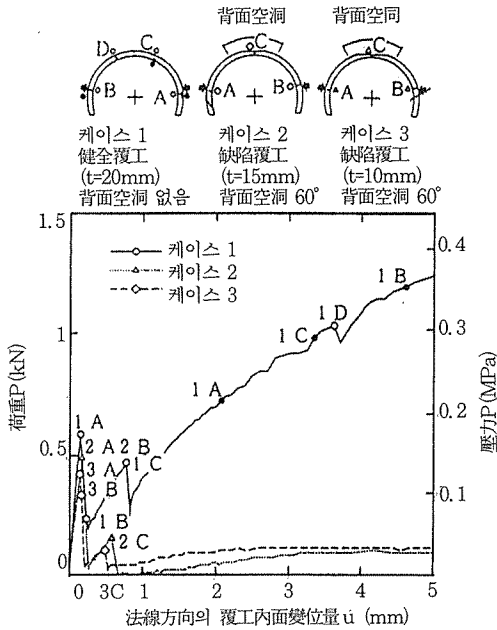


그림 7. 載荷位置에서 荷重(壓力)과 變位の 關係
天端라이닝두께 不足, 背面空洞의 影響

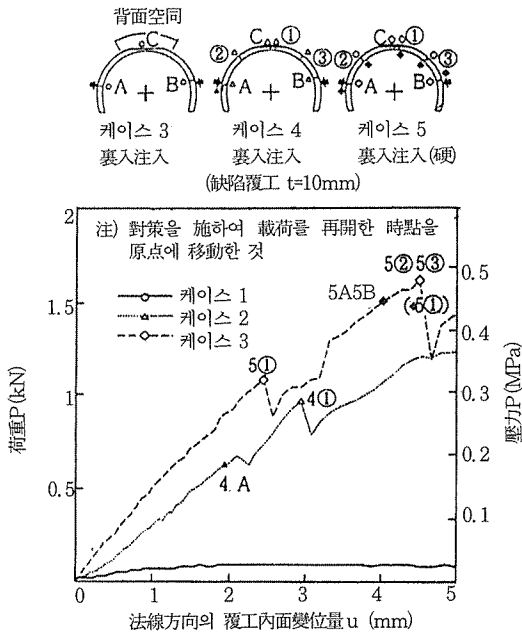


그림 8. 載荷位置에서의 荷重(壓力)과 變位の 關係
—背面空洞에 裏面注入工의 效果—

壁에 載荷하는 경우는 龜裂(載荷點位置 內側 및 아치 天端外側) 發生 後에 裏面注入을 施工한 경우(케이스 4) 軟質의 注入材, 케이스 5(硬質의 注入材)와 시공하지 않은 경우(케이스 3)에 관해서 比較했다. 그림 8에 의하면, 裏面注入의 施工에 의해 覆工耐力은 大幅 回復되었으나 그 效果는 裏面注入材의 剛性에는 크게 依存하지 않는 것을 알았다.

(4) 內面補强工의 效果(그림 9)

健全覆工에 대해서 鉛直方向으로부터 아치 天端에 載荷한 경우로서, 載荷位置 內側에 引張 龜裂이 發生한 後에, 覆工內面에 補强材를 接着하는 內面補强을 施工할 경우(케이스 7(鋼板), 케이스 8(炭素纖維시트)와 施工하지 않은 경우(케이스 6)을 比較하였다. 그림 9에 의하면, 內面補强工은, 覆工의 變形抑制效果가 크고, 覆工耐力을 大幅 改善된 것을 알 수 있다.

그러나, 剛性이 높은 鋼板을 施工한 케이스 7

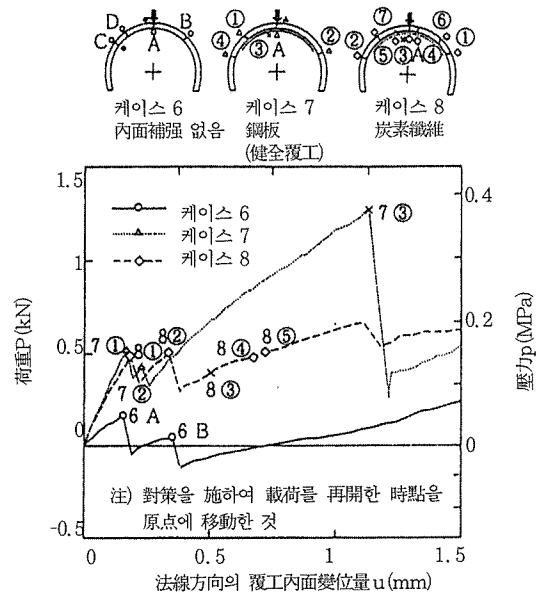


그림 9. 載荷位置에서의 荷重(壓力)과 變位の 關係
—內面補强工의 效果—

에서는, 鋼板의 剝離에 따른 脆性的인 舉動을 보여주는 것에 대해, 鋼板보다 鋼性이 낮은 炭素纖維시트를 施工한 케이스 8에서는, 破斷이 서서히 發生하므로 延性的인 舉動을 보여주고 있다.

4.3 數値解析에 의한 評價

裏面注入材의 剛性 및 內面補强材의 板두께가 覆工의 變形性에 주는 영향에 관해서 들보·스프링모델에 의한 2次元 骨組解析에 의해 檢討했다.

解析에 사용한 프로그램은, 터널覆工의 精造解析用으로 開發된 骨組解析 프로그램[ASP]이다. 解析모델의 例를 그림 10에서 보여준다.

우선, 實驗結果의 시뮬레이션을 하고, 實驗結果를 보다 잘 表現할 수 있도록 確認한 다음 파라미터 解析을 實施하였다.

解析은 彈性的 舉動을 보이는 初期 龜裂 發生까지, 다른 것은 對策工 施工 後에 새로운 龜裂이 發生할 때까지 段階的으로 시행하여 覆工의 變形性 u/p 에 착안하여 整理하였다.

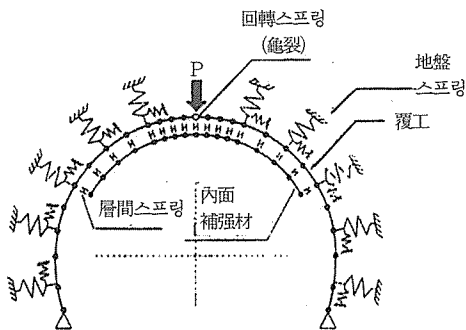


그림 10. 骨組解析 모델의 例

(1) 裏面注入材의 剛性的 影響(그림 11)

그림 11에 의하면, 裏面注入材의 剛性이 크면 變形은 억제되지만, 剛性이 어느 程度 以上 되면 현저한 변형억제효과 의 向상을 얻을 수 없는

것을 알았다.

이것은 模型實驗의 結果와 一致하였고, 軟質의 地盤에서는 地盤反力을 어느 程度 傳達할 수 있는 材料라면, 裏面注入의 效果를 충분히 발휘할 수 있는 것을 보여주고 있다.

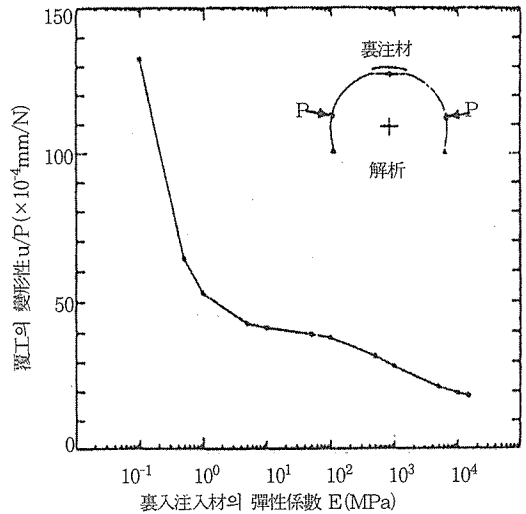


그림 11. 裏面注入材의 剛性에 관한 파라미터 解析 結果

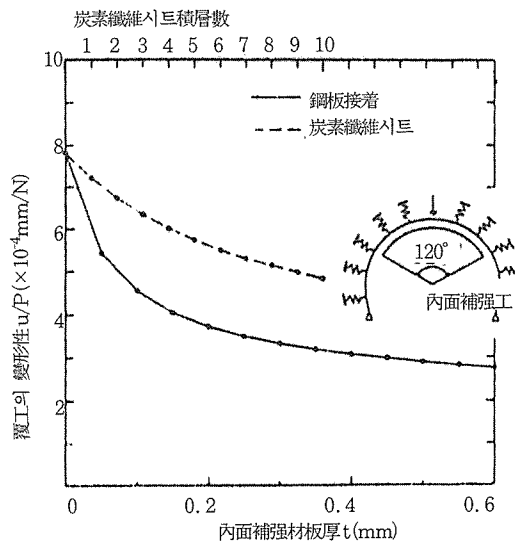


그림 12. 內面 補强材의 剛性에 관한 파라미터 解析 結果

(2) 內面補强材의 板두께 影響(그림 12)

그림 12에 의하면 板두께(剛性)이 작은 경우는 변형억제효과가 현저하게 나타나지만, 어느 만큼의 一定의 補强量을 초과하면 변형억제효과는 그만큼 개선되지 않는 것을 把握할 수 있다.

따라서, 內面補强工의 施工에 있어서는, 가정 地壓 許容變位를 고려하여 適切한 剛性이 있는 것을 選定할 必要가 있다.

5. 結 論

터널의 變狀이란 力學上 또는 機能的으로 列車을 安全 確實하게 運行시키기 위한 機能이 沮害되어 있는 狀態 또는 放置하면 그 可能性이 있는 狀態를 말한다.

많은 터널이 每年 해를 거듭할수록 老朽化 되는 것을 피할 수는 없다. 그러므로 터널의 保守技術을 向上시키는 것은 매우 重要한 일이다. 本稿가 터널補修技術 向上에 조금이라도 도움이 되었으면 한다.

參 考 文 獻

- 1) 鐵道總合技術研究所 : 터널補強 · 補修매뉴얼, 研友社, 1990. 10.
- 2) 朝倉俊弘, 小島芳之 : 터널覆工의 力學舉動解析, 鐵道總研報告, Vol. 5, No. 7, 1991. 7
- 3) 朝倉俊弘, 河田博之 : 터널의 經濟的 補強 · 補修法의 開發, 鐵道總研報告 Vol. 4, No. 10, 1990. 10
- 4) 朝倉俊弘 外 3人 : 既設터널 近接施工對策의 研究, 鐵道總研報告, Vol. 7, No. 6, 1993. 6
- 5) 安東豐弘 外 2人 : 터널 覆工의 力學舉動解析 - 單線터널覆工模型實驗 - 鐵道總研報告, Vol. 6, No. 9, 1992. 9
- 6) 朝倉俊弘 外 4人 : 缺陷이 있는 터널覆工의 變形舉動과 內面補强工의 效果, 土木學會論文集 No. 493/Ⅲ-27, 1994. 6.

<사보 쪽지>

삼삼(33)한 전화 예절 알고 계십니까?

하루에도 수십 통씩 걸려오는 전화, 정말 짜증나는 일입니다. 그렇다고 전화를 뱉아 버릴 수는 없지 않습니까? 삼삼(33)한 전화 예절. 알고 나면 우리의 기분을 삼삼하게 만들어 줍니다. 알아보면 어렵지 않은 전화 예절. 상대방의 기분도 나의 기분도 삼삼해 지는 것을 느낄 수 있을 겁니다.

■ 전화 벨이 세번 이상 울리기 전에 받도록 합니다. 시끄럽게 울려 퍼지는 전화 소리, 듣기도 싫지만 전화를 건 사람도 짜증이 납니다. 자리를 비운 동료의 관심을 가지고 전화 벨이 더 이상 사무실의 공해 요인으로 떠오르지 않도록 합니다.

■ 세가지의 기본적인 갖춤을 잊지 않도록 합니다. "감사합니다. 000부 000 일입니다." "자리에 안계십니다. 메모를 남기시겠습니까?" "감사합니다. 수고하십시오."

전화를 받은 순간부터 끊을 때까지 상대방에게 결코 불쾌하지 않도록 대하며, 다른 사람의 전화도 친절히 받는 습관을 갖도록 합니다. 가장 기본적인 세가지 요소, 잊지 맙시다.

■ 전화를 끊을 때는 상대방보다 3초 늦게 끊도록 합니다. 조금 인면이 있다고 해서 바쁘다는 핑계로, 때로는 무의식 중에 전화를 끊어버리는데, 이런 경우에 상대방은 쉽게 마음을 다치게 됩니다.

아무리 바쁘더라도 상대방 보다 3초 늦게 전화를 끊는 여유를 보인다면 저절로 전화를 받는 여유로움이 생겨날 것입니다.

-「LG 엔지니어링」 '95. 7월호에서-