

기 술 검 토 서

NO. 토질 및 기초 — 85

제 목 : 송정1터널(양양방향) 붕락대책
보고서 검토

2009. 1

춘 천 양 양 건 설 사 업 소
춘 천 ~ 동 홍 천 기 술 자 문 단

기술검토건명	송정1터널(양양방향) 붕락대책 보고서 검토		
공 구	제 4 공구	검 토 구 분	토질 및 기초
검 토 기 간	2009. 1. 16 ~ 2008. 1. 20	검 토 자	오 성 민
근 거 공 문	구 두 지 시	회 신 공 문	용마(홍천) 제 2009-004호

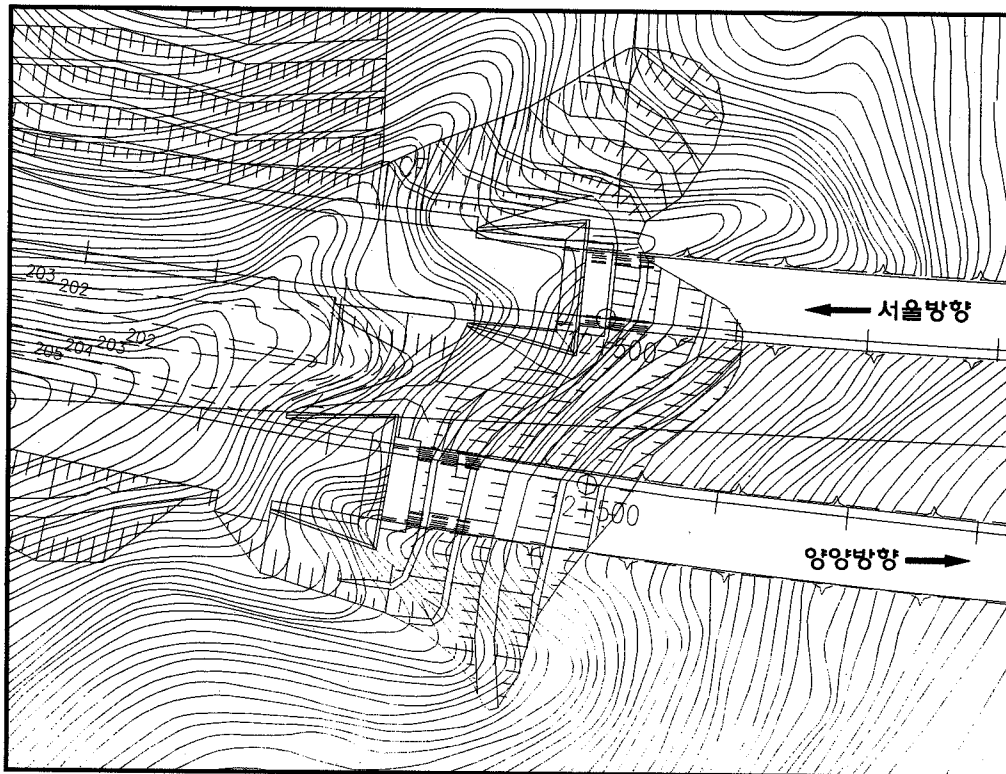
1. 검토목적

고속국도 60호선 춘천~동홍천간 건설공사를 시행함에 있어 제4공구 관내에 위치하는 송정1터널(양양방향) 붕락대책을 시공사에서 제출한 바 이에 대한 적정성을 검토하고자 함.

2. 검토내용

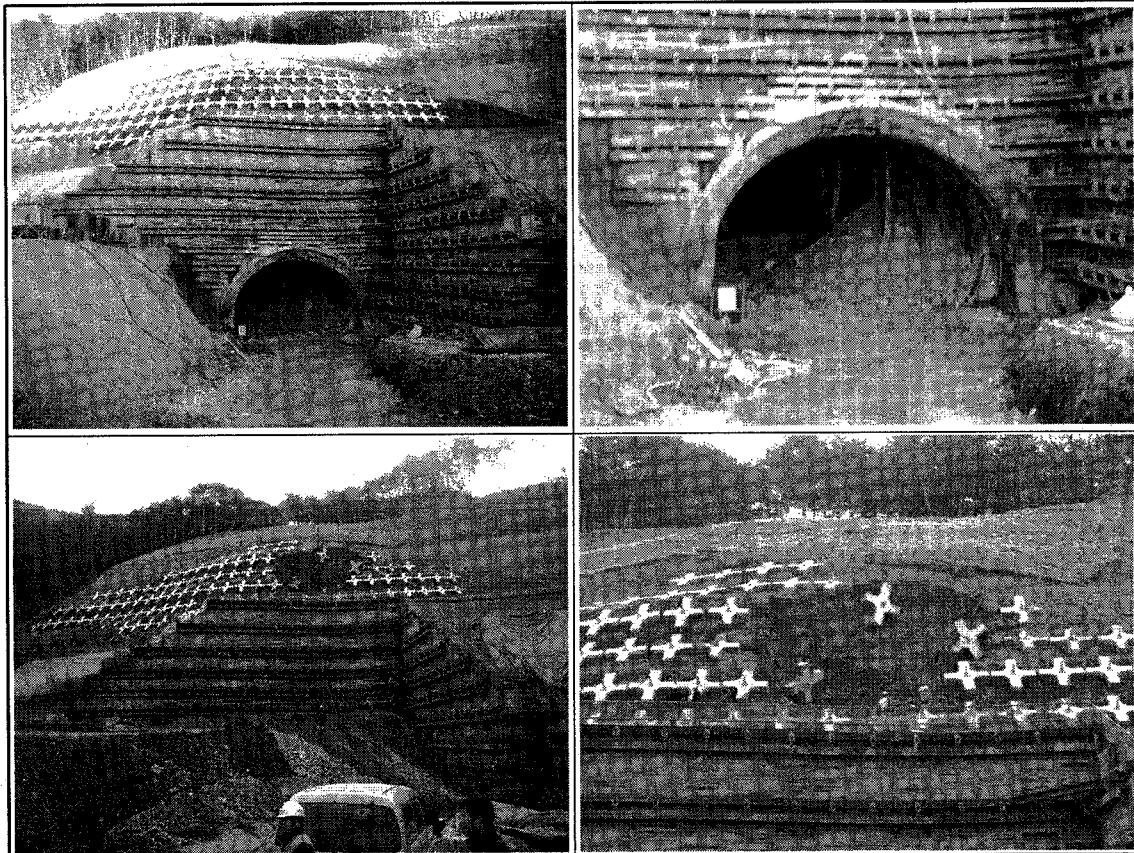
가. 현황

1) 위치도 : 송정1터널(양양방향)



[그림-1] 위치 평면도

2) 붕괴 현황



· 송정1터널의 시공현황 및 붕괴현황은 다음과 같다.

1. 송정1터널 양양방향은 상부 반단면 굴착을 안전하게 완료함.
2. 시점에서 종점방향으로 하부 반단면 굴착중(약 10m굴진) 터널 우측 어깨부에서 붕락 시작.
3. 터널내로 붕락이 발생됨에 따라 이완영역이 상부로 확대진전되어 갱구부 상단의 사면에서 함몰이 발생에 따라 사면보강공(앵커) 기능 상실.
4. 추가 붕락방지를 위해 사면 붕락부는 토사메움 및 가시설 전면부는 압성토 실시하여 응급복구 완료.

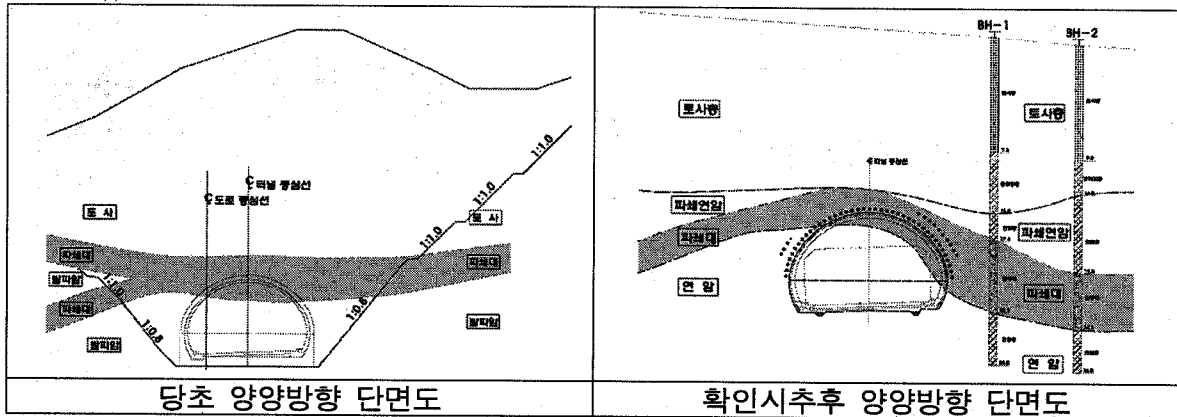
나. 붕락원인 검토

1) 자료 검토

- (1) 제출된 검토 보고서에 의하면 원설계시 2개소, 보강설계시 1차, 2차, 3차에 걸쳐 총 8개소에 대하여 시추조사를 수행함.
- (2) 시추조사와 병행하여 전기비저항탐사, BIPS 등을 활용하여 단층대의 심도 및 규모

확인 및 보강설계에 반영하였다고 기술되어 있음.

- (3) 붕락 발생 후 추가 지반조사(시추조사 2개소)를 수행한 결과 예측치 못한 추가 단층대가 출현되었으며 단층파쇄대의 분포위치 및 파쇄대성분을 확인함.



2) 붕락원인 추정

지표지질조사 및 제출된 보고서를 근거로 터널 붕락원인을 추정하면

- (1) 하부 반단면 굴착에 따른 이완영역의 증대 및 이완하중 증대
- (2) 이완영역부에 예상치 못한 단층파쇄대가 존재함에 따라 이완하중이 단층대쪽으로 응력이 집중적으로 작용하여
- (3) 설계시 추정한 지반조건보다 불량한 상태에서 하부반단면 굴착에 따른 취약층으로의 응력집중 및 상대변위차에 따른 횡방향 Arching이 정상적으로 형성되지 않았을 가능성이 높은 것으로 판단됨.

다. 보강대책 검토

1) 지반보강 그라우팅

터널붕락구간 보강방안으로 제안된 시멘트 밀크 주입공법 + 강관다단 그라우팅공법은 터널 붕락현장의 보강공법으로 널리 이용되고 있는 공법으로 공법 선정에는 근본적으로 문제점이 없는 것으로 판단됨. 다만, 보강영역에 대한 이견이 있을 수 있으나 이 경우 보강범위에 대해 정량적인 기준 수립이 어려운 상태이므로 지반조건, 붕락규모, 이완영역, 보강효과, 장기적인 안정성 등을 고려하여 보강범위를 산정하는 것이 일반적인 방법이며 본 현장은 약 $0.5D(7m, D:굴착폭)$ 로 결정하였음.

2) 프리그라우팅 및 강관다단그라우팅

프리그라우팅은 기 굴착 터널 구간중 상부 시멘트 그라우팅 보강시 보강이 부족할 수 있는 터널벽면 5.0m 정도의 영역에 대하여 실시하고 주입공은 1m 간격으로 방사상으로 배치함. 강관다단그라우팅은 터널 천단부에서의 보기능과 Arching효과에 의해 천단부의 이완을 억제하고 동시에 차수 및 터널 주변지반을 보강할 수 있는 공법으로 본 현장과 같이 붕락부위에 적용이 많은 공법으로 보강영역은 180° (천단 및 상반측벽부까지 보강), 천공길이는 12m, 중첩장은 6m로 결정하였으며, 보강범위는 조건에 따라 변화가 가능하며, 중첩장은 일반적으로 천공길이의 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$ 정도이며 상황에 따라서는 $\frac{2}{3}$ 의 중첩장도 적용함.

3) 터널 지보패턴 및 굴착공법

원 설계 지보패턴은 상하반 분할굴착 갱구타입(Type-VI)을 적용하되 그라우팅 효과가 국부적으로 부족한 구간이 확인될 경우 붕락이력에 따른 이완, 추가붕괴 등을 고려하여 링컷(Ring-Cut) 또는 다단(분할)굴착을 실시하는 것이 타당할 것임.

4) 강지보재 규격 및 설치간격

붕락구간에 대해서는 일반적으로 격자지보 대신 강지보를 설치하여 터널의 안정성을 도모하는 경우가 많으며, 본 현장의 경우 강지보재(150×150)를 설치간격 0.8m 정도로 변경하는 것으로 검토되었으며, 시공사례에 의하며 강지보재 200×200규격도 적용되며, 설치간격도 0.5 ~ 0.8m 정도를 많이 적용하고 있음.

5) 라이닝 및 계측 실시

붕괴구간에 대해서는 철근콘크리트라이닝의 적용이 타당하며 계측은 현장조건에 부합하는 계측계획을 수립하여 계측기 설치간격, 계측빈도, 계측기간 등을 결정하고 계측성과를 검토하여 각종 보강공법의 시공과정과 시공완료후 장기적인 안정성을 확인 및 검증하는 것이 필요함.

6) 기타 사항

사면앵커, 가시설 추가앵커, 강관다단그라우팅 등이 시공되는 부위는 간섭이 없게 정밀시공이 요구되며, 그라우팅부위는 반드시 제반시험을 통하여 효과를 확인하여야 함.

3. 검토결론

송정1터널 시점부(양양방향) 붕락대책에 대해 현장에서 제출된 보고서를 검토한 결과는 다음과 같음.

- 1) 붕괴원인으로는 설계시 예상치 못한 단층파쇄대 및 추정한 지반조건보다 불량한 상태에서 하부반단면 굴착에 따른 취약층으로의 응력집중 및 상대변위차에 따른 횡방향 Arching이 정상적으로 형성되지 않았을 가능성이 높은 것으로 판단됨.
- 2) 붕괴대책으로 제시된 내용을 검토한 결과 적절한 것으로 판단되며 세부내용을 정리하면 아래와 같다.

구 분	보 강 대 책	비 고
붕락구간	시멘트 밀크 그라우팅 + 강관다단그라우팅	
프리그라우팅	기굴착 터널 구간중 터널벽면 5m영역에 실시	
강관다단그라우팅	보강영역 180° , 굴착길이 12m, 중첩장 6m	
지보패턴	6-Type적용하되 취약구간은 링컷, 다단굴착	
강지보재 규격 및 간격	강지보재(150×150) 및 0.8m간격으로 설치	
라이닝	철근콘크리트라이닝	
계측	내공변위, 슛크리트응력, 락볼트 축력 측정	

3) 시공시 유의사항

- 시멘트 밀크 주입공법 시공시에는 공동이 잔존하지 않고 이완된 지반에 균질한 주입이 되도록 품질관리하여야 하며 강관다단그라우팅공법 시공시에는 그라우팅 범위를 측정하여 터널의 천단 및 측벽부에 미고결 부위가 발생하지 않도록 확인 필요함.
- 보강그라우팅 구간은 제반시험을 통하여 반드시 효과를 확인하여야 하며 필요시 추가보강이 이루어져야 할 것임.
- 각종 보강공법은 계측을 통하여 공법의 유효성 및 안정성을 확인 또는 검증하여야 함.