

호안 변위에 대한 분석 및 대책

류정수*1, 강인규*2

1. 서언

○○의 호안축조공사는 1994년 7월에 착수하여 1996년 2월에 사석제체를 완료하였으나 배면매립 시공 중 그림 1.1과 같이 일부 구간이 외해 쪽으로 변위가 발생하였다. 본 기사는 이에 대한 원인을 분석하고 보강대책을 검토한 것이다.

1.1 1차 변위발생(1995. 8)

사석제체 시공 후 EL(+)4.40 높이까지 후면매립 공사를 하던 중 STA. No. 51~59(L=160m) 구간

에서 최대 10m의 수평변위가 발생하였으며, 이에 대한 대책으로 소단길이 및 소단높이를 조정하여 보강조치하였다.

1.2 2차 변위발생(1996. 4)

1차 변위발생 후 STA. No. 32~46 (L=280m) 구간과 STA. No. 59~72 (L=260m)구간에서 2차 수평변위가 발생하였으며, 제체의 파괴없이 3.15m(STA. No. 38 지점)~9.91m(STA. No. 67 지점)의 수평변위가 외해쪽으로 발생하였다.

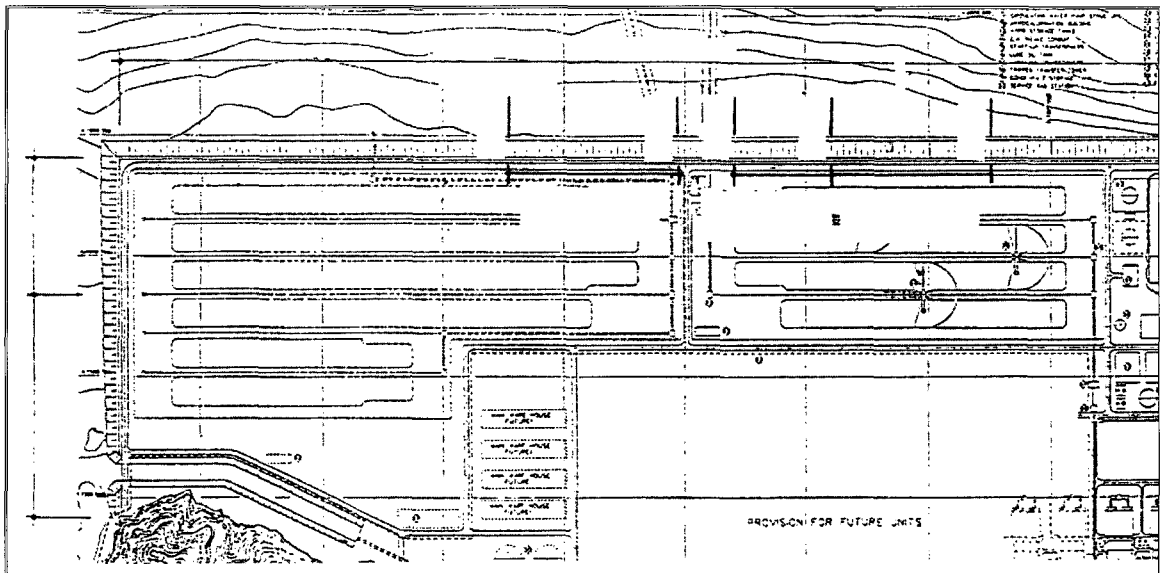


그림 1.1 변위발생 구간

*1 정회원, (주)브니엘 컨설턴트 대표이사
*2 정회원, (주)브니엘 컨설턴트 책임연구원

2. 변위발생 원인분석

STA. No. 32~46 (L=280m)구간의 대표단면은 그림 2.1과 같고 STA. No. 59~72 (L=260m)구간의 대표단면은 그림 2.2와 같으며, 변위발생의 주요인자는 다음과 같다.

- 배면성토에 의한 연약지반의 측방유동
- 연약지반에 발생한 과잉간극수압이 연약층 하부의 얇은 seam층으로 빠르게 소산되면서 seam층의 전단강도 저하
- 배면매립 방법에 따른 측방유동압의 증가 치환 깊이가 설계심도보다 작아 측방유동에 대한 저항력 감소
- 수두차에 의한 침투압(간만의 차 7.35m)

2.1 측방유동 검토

연약지반상의 측방유동은 성토로 인해 성토면 아래에서 과잉간극수압이 발생하고 이로 인해 토립자가 소성상태로 되어 측방유동이 일어난다. 일반적으로 연약지반상의 측방유동압은 제체의 형식, 연약지반의 전단강도 및 두께, 배면매립의 성토고, 성토재료의 단위중량 등에 의하여 좌우된다. STA. No. 32~46 (L=280m) 구간은 그림 2.1과 같이 배면성토

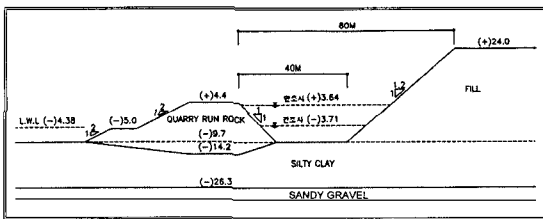


그림 2.1 STA. No. 38지점의 단면

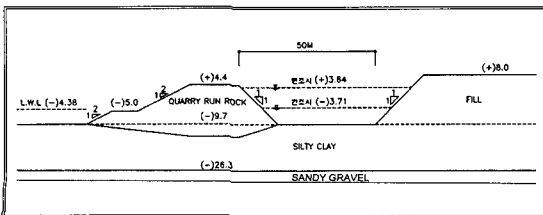


그림 2.2 STA. No. 67지점의 단면

의 높이가 E.L.(+)24.0m로써 제체보다 20.0m 정도 높게 성토함으로써 호안 제체에 측방유동압이 작용하였을 것으로 판단되었다. STA. No. 59~72 (L=260m) 구간은 그림 2.2와 같이 배면성토의 높이가 E.L.(+)8.0m로써 STA. No. 32~46 구간보다는 성토높이가 낮아 배면성토에 의한 측방유동압은 작게 발생되었을 것이지만 그림 2.3과 같은 매립 방법에 의하여 측방유동압을 가중시켰을 것이다.

측방유동을 판별하기 위하여 다음과 같은 방법으로 측방유동을 검토하였다.

(1) 측방유동 판정지수(I)

일본 건설성 토목연구소(1981)에서 적용하고 있는 방법으로 다음과 같다.

$$I = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \frac{\gamma H}{C_u}$$

여기서, μ_1 : 연약층 두께에 관한 계수 (=D/L)

μ_2 : 제체기초의 저항폭에 관한 계수 (=b/B)

μ_3 : 연약층의 두께 및 제체의 길이에 관한 계수(=D/A)

D : 연약층의 두께

L : 제체의 치환깊이

b : 제체 치환층의 폭

B : 제체의 폭

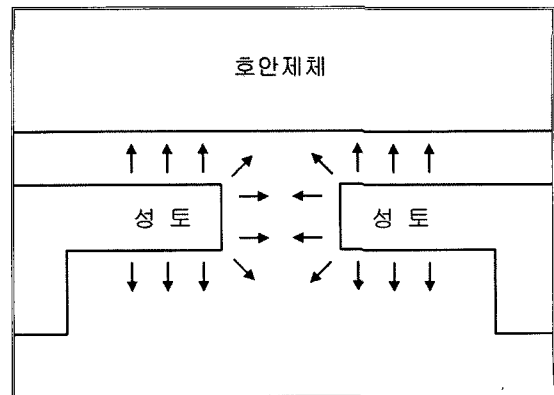


그림 2.3. STA. No. 59~72 (L=260m) 구간의 배면매립

【 기술기사 】

- A : 체체의 길이
- γ : 성토재의 단위중량
- H : 성토고
- c_u : 연약층의 비배수전단강도

측방유동 판정지수 I를 이용한 측방유동의 판정은 다음과 같다.

- I > 1.2 : 측방유동 발생
- I < 1.2 : 측방유동 없음

측방유동 판정지수 I를 이용하여 각 구간별로 검토하면 표 2.1과 같다.

표 2.1 측방유동 판정지수(I)에 의한 검토

구간	측방유동 판정지수(I)	판정
STA. No. 32~46 (L=280m)	$\frac{16.6}{4.5} \cdot \frac{50.9}{69.6} \cdot \frac{16.6}{280} \cdot \frac{1.8 \times 33.7}{2.94} = 3.30$	> 1.2 (측방유동 발생)
STA. No. 59~72 (L=260m)	$\frac{16.6}{4.5} \cdot \frac{50.9}{69.6} \cdot \frac{16.6}{260} \cdot \frac{1.8 \times 17.7}{2.89} = 1.90$	> 1.2 (측방유동 발생)

(2) 측방유동지수(F)

일본 도로공단(1979)에서 제시한 지침으로 다음과 같이 판정한다.

$$F = \frac{1}{D} \cdot \frac{c_u}{\gamma H} \quad (m^{-1})$$

측방유동지수 F를 이용한 측방유동의 판정은 다음과 같다.

- F > 0.04 : 측방유동 없음
- F < 0.04 : 측방유동 발생

측방유동지수를 이용하여 각 구간별로 검토하면 표 2.2와 같다.

표 2.2 측방유동지수(F)에 의한 검토

구간	측방유동 판정지수(I)	판정
STA. No. 32~46 (L=280m)	$\frac{1}{16.6} \cdot \frac{2.89}{1.8 \times 33.7} = 0.003$	> 0.04 (측방유동 발생)
STA. No. 59~72 (L=260m)	$\frac{1}{16.6} \cdot \frac{2.89}{1.8 \times 17.7} = 0.005$	> 0.04 (측방유동 발생)

2.2 수치해석에 의한 검토

(1) 지반강도정수

FLAC-2D 프로그램을 사용하여 체체의 시공과정 및 조수간만의 차에 의한 침투압의 영향으로 발생하는 체체의 횡방향 변위를 검토하고 체체의 기초 연약지반의 측방유동압과 측방유동변위와의 관계를 분석하였다. 해석에 사용한 지반강도정수는 표 2.3과 같다.

표 2.3 지반강도정수

구분	습윤 단 위중량 (t/m ³)	수중 단 위중량 (t/m ³)	내부마찰각(°)	탄성계수 (t/m ²)	점착력 (t/m ²)	포아손비
연약지반	1.80	0.85	0	1.49~4.39	500	0.45
호안체체	1.80	1.00	40	0	5000	0.35
매립토	1.80	1.00	30	0	4000	0.37

(2) 해석결과

체체의 시공과정 중에 추가로 발생한 횡방향 변위는 표 2.4와 같이 12~32cm 정도이며, 조수간만의 차에 의한 침투압의 영향으로 체체에 발생하는 횡방향 변위량은 33cm 정도로서 호안의 수평이동에 직접적인 원인은 아닌 것으로 판단되었다.

표 2.4 해석결과 요약

구분	횡방향변위 추가 발생량	비고
체체 시공완료 후	(-)32cm	
체체 배면매립 후	(-)12cm	
조수간만의 차에 의한 침투압의 영향	(-)33cm (+)33cm	H.W.L(+4.308m) L.W.L(-4.380m)
(-) 외해방향, (+) 내해방향		

체체가 파괴없이 수평으로 3.15~9.91m 이동한 직접적인 원인을 규명하기 위해 체체 기초 연약지반의 우측 경계부에 측방변위를 일정하게 증가시키면서 측방변위 10m까지의 측방유동압과 측방유동변위와의 관계를 도시하면 그림 2.4와 같다.

그림 2.4에서 보는 바와 같이 측방유동변위가

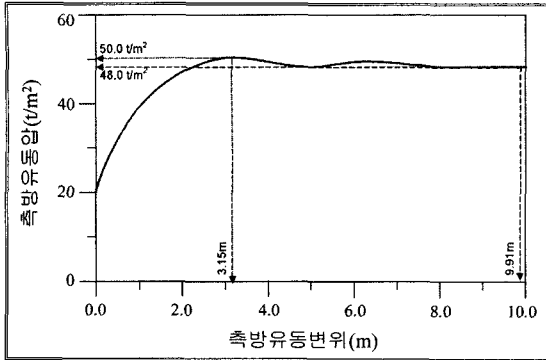


그림 2.4 측방유동압-측방유동변위의 관계(당초단면)

3.15m가 발생한 STA. No. 38지점의 측방유동압은 53t/m²로 나타났으며, 측방유동 변위가 9.91m 발생한 STA. No. 67 지점은 52t/m²로 평가되었다.

따라서 측방유동압이 53t/m² 부근에서는 체체의 기초 연약지반이 소성상태에 도달하여 미소한 측방유동압에도 측방유동 변위가 크게 발생하였을 것이다.

3. 대책

3.1 한계평형해석에 의한 검토

그림 3.1과 같이 당초 설계된 호안체체의 소단을 33m로 보강하고, 소단을 2m높게 보강한 단면의 배

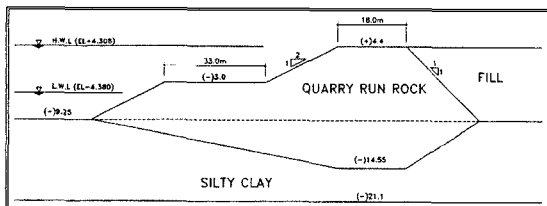


그림 3.1 보강단면

표 3.1 STABL 프로그램 해석결과

구 분		안전율	비 고
STA. No. 38	배면 매립시	1.786	> 1.3 (O.K)
	석탄하중(16m) 재하시	1.563	> 1.3 (O.K)
STA. No. 67	배면 매립시	1.809	> 1.3 (O.K)
	석탄하중(16m) 재하시	1.550	> 1.3 (O.K)

면을 매립하였거나 석탄을 16m높이로 적재하였을 경우 Bishop의 간편법에 의한 사면활동에 대한 안정성을 검토한 결과 표 3.1과 같이 안정한 것으로 검토되었다.

3.2 수치해석에 의한 검토

그림 3.1과 같은 보강단면에 대한 측방유동압과 측방유동변위와의 관계 및 배면매립 후 석탄하중(h=16m)재하시 체체의 측방유동변위를 검토한 결과, 석탄하중(h=16m) 재하시 체체에 발생하는 최대횡방향변위는 외해방향(-)으로 20cm정도 발생하였으며, 보강단면에 대한 측방유동압과 측방유동변위와의 관계는 그림 3.2와 같다.

그림 3.2에서 보는 바와 같이 당초 설계단면에 대한 한계측방유동압 53t/m²에 해당하는 보강단면의 측방유동변위는 50cm 정도로서 안정한 것으로 판단되었다.

4. 결어

호안 변위발생에 대한 원인분석 및 대책에 대한 결론은 다음과 같다.

- (1) 사석체체의 완성 후 후면매립 시공 중 1995년 8월에 STA. No. 51~59(L=160m)구간에서 최대변위량 10.0m의 1차 변위가 발생하였으며, 1996년 4월에 STA. No. 32~46(L=280m, 최대변위량 STA. No. 38지점에서 3.15m)구간과 STA. No. 59~72(L=260m, 최대변위량

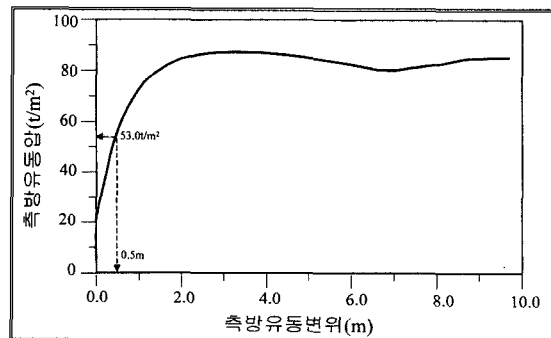


그림 3.2 측방유동압-측방유동변위의 관계(보강단면)

【 기술기사 】

STA. No. 67지점에서 9.91m)구간에서 2차 변위가 발생하였다.

- (2) 변위발생의 원인은 여러가지가 있을 수 있으나 주된 원인으로는 배면성토 아래의 연약지반에서 과잉간극수압이 발생함으로 주변의 연약지반이 소성화되었으며, 배면성토에 의한 측방유동압이 제체에 작용하여 변위가 발생한 것으로 판단된다. 또한 연약지반에 발생한 과잉간극수압이 연약층 하부의 얇은 seam층으로 빠르게 소산되면서 seam층의 전단강도가 저하되어 제체가 파괴없이 수평이동한 것으로 생각된다. 따라서 이와 같이 연약층 하부에 seam층이 존재할 경우에는

제체의 배면성토시 시공에 주의를 기하여야 할 것이다.

- (3) 배면매립에 의한 과잉간극수압, 조수간만의 차에 의한 침투수압 등에 의하여 제체하부의 연약지반의 강도증가는 거의 발생되지 못하였다.
- (4) 대책공법으로는 강도증가를 고려하지 않은 상태로 단면을 가정하여 소단을 2.0m 높이고 소단의 연장을 33.0m로 결정하였다. Bishop 간편법에 의한 보강단면의 사면활동에 대한 안전율은 배면매립시는 1.786~1.809이고, 저탄하중을 고려할 시에는 1.550~1.563으로 검토되었다.

터널기술위원회 발파분야 워크샵 개최 안내

터널기술위원회에서는 "발파분야"에 대한 주제를 가지고 다음과 같이 워크샵을 개최하오니 회원 여러분의 많은 참여를 바랍니다

• 다 음 •

1. 일 시 : 1999년 12월 10일 (금) 14:00~18:00
2. 장 소 : 고려대학교 공과대학 공학동 대강당(5층)
3. 회 비 : 일반 15,000원, 학생 10,000원
4. 발표논문 :

- ① 터널발파하중 산정 및 손상영역 평가에 관한 연구: 이인모(고려대)
 - ② 뇌관 발파초시가 파단면 형성에 미치는 영향에 관한 연구: 윤지선, 노상림, 남천우(인하대)
 - ③ 도심지 지하철터널 및 개착구간에 대한 발파설계의 개선방안: 황현주(협승엔지니어링)
 - ④ 호남선 5공구 광암제2터널 SUPLEX-CUT 적용 시공사례: 이규식(SK건설)
- ※ 이외에도 2편정도 추가 예정임

문 의

간 사 이인모 교수(3290-3314), 문상조 상무(555-7132)
지반공학회 강현옥 과장(3474-4428)