

심층몰탈파일에 의한 호안구조물의 기초보강 효과

Reinforcement Effect of Marine Structure Foundation by Deep Mortar Piling

천병식* · 양형철** · 양진석***

Chun, Byung-Sik · Yang, Hyung-Chil · Yang, Jin-Suk

Abstract

In this study, for the stability analysis of marine embankment, the slope stability analysis and possibility of lateral movement with the marine embankment in ○○harbor were carried out. In order to simulate the practical site condition, the expected maximum sea water level and maximum embankment height were assumed for these analyses. For the evaluation of soil properties, field test, laboratory test, and especially chemical composition analysis were performed for the this analysis. Based on these test results, the soil parameters were determined by applying ground improvement concept under columnar stabilized ground condition and also the effect of staged backfilling was considered under the dredged ground condition. For the optimal design, the stability analyses of embankment with changed height and unchanged height were performed under unimproved soil condition. The result showed that both cases were unstable not only with slope stability but also with lateral movement. Therefore, Deep Mortar Piling was applied for stability analysis and this result was safe. As the conclusion, the deep mortar piling method was suggested as reinforced foundation design for this site.

Keywords : Marine embankment, Ground improvement, Slope stability, Lateral movement, Deep Mortar Piling, Reinforced foundation

요 지

본 연구에서는 수위상승, 호안구조물의 증고 및 배면 준설투기 등 외적조건에 따른 ○○항 호안구조물의 활동 및 측방유동에 대한 안정성 검토를 실시하고 기초보강 방안을 제시하였다. 안정성 검토를 위해 지반조사, 기본물성시험, 역학실험 및 화학성분분석을 실시하였고, 지반물성치는 주상개량체의 경우 지반개량 개념을 적용하였으며, 구조물 배면 준설매립의 경우는 단계별매립에 의한 영향을 고려하여 결정하였다. 안정성 검토는 기시공된 상태로 증고하지 않고 매립하였을 경우와 기시공된 상태로 증고하여 매립하였을 경우로 구분하여 실시하였다. 해석 결과 두가지 경우 모두 활동과 측방유동에 대해 불안정한 것으로 판단되어 기시공 공법과 동일한 방법인 심층몰탈파일에 의한 추가보강을 실시할 경우에 대하여 그 안정성을 검토한 결과 안정하였다. 따라서 본 현장에 대한 기초보강공법으로써 심층몰탈파일을 제시하였다.

주요어 : 호안구조물, 지반개량, 활동, 측방유동, 심층몰탈파일, 기초보강

* 정회원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수, 공학박사

** 정회원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

*** 정회원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

1. 서론

본 연구는 수위상승, 호안구조물의 증고 및 배면 준설투기 등 외적조건에 따른 현 시공중인 ○○지역 북항 호안구조물의 활동 및 측방유동에 대한 안정성 검토를 실시하고 기초보강 방안을 제시하였다. 해성점성토에는 염소이온, 황산염이온, 마그네슘이온, 나트륨이온 등 많은 종류의 염류와 유기물이 다량으로 함유되어 있으며, 이들은 시멘트의 고화작용에 악영향을 미치며 시멘트 그라우팅을 열화, 침식시킨다. 해성점성토지반의 지반보강을 위해서는 기존의 시멘트밀크형 공법보다는 몰탈형 공법이 일반적으로 강도열화방지 및 내구성증대효과 면에서 매우 효과적인 것으로 알려져 있다(천, 2001).

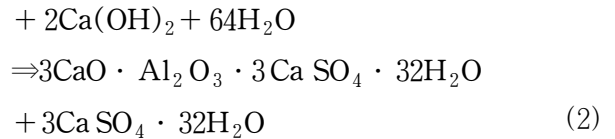
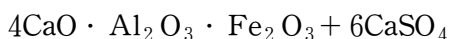
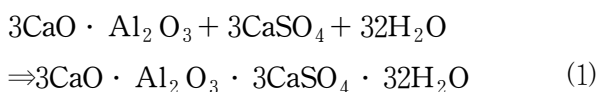
따라서 본 연구에서는 호안구조물 기초보강방안으로써 심층몰탈과일이 추가적으로 시공될 경우에 대한 활동에 대한 안정해석(SLOPE/W)과 측방유동에 대한 안정해석을 수행하였다. 안정 검토를 위해 지반조사 및 각종 실내시험, 화학성분분석 등을 실시하였다.

심층몰탈과일에 의해 발생한 복합지반효과와 호안 배면의 준설도 투기에 따른 하부지반의 강도증가율 개념을 적용하여 수년간에 걸친 단계별 매립에 따른 하부지반의 물성치 변화를 산출하였다. 활동안정해석을 위한 수치해석과 측방유동에 대한 안정해석시 입력물성치에 반영함으로써 현장상황에 근접한 안정성 검토를 하고자 하였다.

2. 지반개량원리 및 강도열화매커니즘

2.1 지반개량원리

연약지반 뿐 만 아니라 갯벌, 고유기질지반과 폐기물매립지반 등의 다양한 지반에서의 대규모 토목구조물을 건설할 경우 지반개량재로서 시멘트의 사용이 갈수록 증가하고 있다. 한편 연약지반에서의 시멘트계 고화재를 중심으로 그 반응기구를 알아보면 다음과 같다(천, 2001).



$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ 는 Ettringite 로 다량의 물과 결합한 침상의 결정으로써 수분이 많고, 공기의 투과가 적은 지반중에서는 탄산화가 진행되지 않아 안정성이 높은 광물이다.

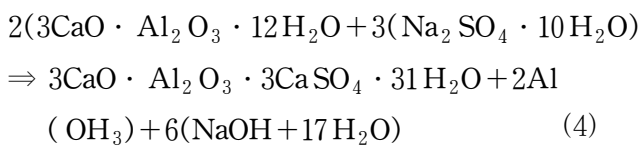
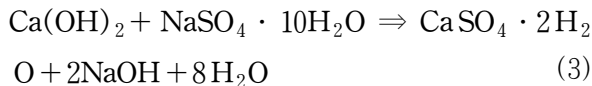
하수 오니와 연약지반에서의 Ettringite 생성량에 차가 있는 것은, 하수 오니에는 유기물이 많고 함수비가 극히 높기 때문에 Ettringite의 생성량을 어느 정도 많게 하는 것이 가능하기 때문이다. 하수 오니용 고화재를 사질토에 사용하면, 수분이 Ettringite의 생성에 소비되기 때문에 수화에 필요한 수분이 부족하여 경화불량을 일으키거나, 개량지반이 팽창하여 균열을 발생시킨다. 이러한 이유로 개량 대상지반에 적합한 고화재의 사용이 필요하다.

2.2 강도열화매커니즘

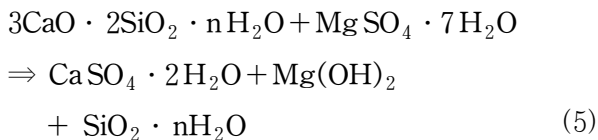
해수에는 염소이온, 황산염이온, 마그네슘이온, 나트륨이온 등 많은 종류의 염류가 다량으로 함유되어 있으며, 이 염류들은 시멘트의 고화작용에 악영향을 미치며 시멘트 그라우팅을 열화, 침식시킨다. 시멘트 그라우팅의 해수에 의한 침식기구는 지반중에 들어 있는 여러 이온들 중 특히 염소이온과 황산염이온 등이 시멘트 수화물과 반응하여 일어나는데 염소이온과 황산염이온의 침식기구는 근본적으로 다르며 해성점성토 지반중의 다른 염류들이 공존함으로써 매우 복잡하다. 그래서 황산염이나 염화물에 의한 침식작용을 검토한 연구가 많이 나와 있으며 여러 이온이 공존하는 지반에서의 침식에 대해서도 많은 연구가 진행되고 있다(천, 1998).

해수중의 염소이온에 의한 침식작용은 재령 초기에 일어나는데 시멘트 수화물과 염소이온과 반응에 의하여 생성된 가용성의 CaCl_2 의 생성 및 용출에 따른 다공화 현상에 기인하며, 이때 일부의 염화물은 침식성이 없는 Friedel's 염으로 고정된다. 또한 염소이온의 침투에 따라 다공성인 Calcium Silicate Hydrate의 침투로 수경성이 없는 Magnesium Silicate Hydrate로 전환하는 것으로 알려져 있다.

황산염에 의한 침식기구는 황산염이 시멘트 수화물인 수산화칼슘과 칼슘알루미늄하이드록사이드 수화물과 반응하여 석고와 Ettringite가 생성되고 이때 생성된 Ettringite는 체적 팽창압이 3500kg/cm²에 달하여 이 반응에 의해 시멘트 그라우팅은 팽창, 붕괴한다. 즉, 다음과 같은 반응식에 의해 석고와 Ettringite가 생성된다.



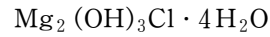
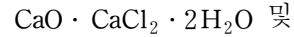
황산염중에서도 황산마그네슘은 Ettringite의 생성에 따른 팽창외에 석고와 동시에 생성되는 Mg(OH)₂의 용해도가 작고, 용액중의 pH가 낮아지므로 아래반응식과 같이 칼슘실리케이트가 분해되므로 다른 황산염에 비하여 침식작용이 현저하다.



이와 같이 해수중의 화학적 침식작용은 염소이온과 황산염이온에 따라 다르며 여러 가지 염류들이 공존함에 따라 서로 달라지게 된다. 황산염과 염화물의 혼합용액중에서도 황산염이온의 침입이 촉진되지만 염소이온의 침입은 MgCl₂ 단독용액에서 보다는 작아진다고 한다. 또한 시멘트 경화체중에서의 해수의 침식기구는 재령초기에 있어서 염소이온의 침식작용이 주원인이며, 이때 염소이온은 Ca(OH)₂와 반응하고 경화체 내부를 다공화시키며 일부는 Friedel's 염으로 고정되거나 수용성 염소로 남게 된다. 장기재령에서는 경화체 내부에 황산염이온이 침입함으로써 Friedel's 염과 Ettringite를 생성하여 경화체 표층에서부터 팽창과괴를 일으킨다. 염류에 의한 시멘트 그라우팅의 침식에 대한 내용을 정리하면 다음과 같다.

첫째 : 황산염과 C₃A 와 반응해서 생성된 팽창성 물질

인 Ettringite나 석고 결정분출에 따라 용적팽창, 둘째 : 염화물과 수산화칼슘이 반응하여 생성된



결정물의 분출과 그에 따른 용적팽창,

셋째 : Ca(OH)₂의 용출에 따른 다공화 현상

2.3 열화에 대한 일반적인 대책

일반적으로 바닷물에는 1kg 중에 약 35g의 각종 염류가 용해되어 있으며 시멘트 수화물의 열화에 가장 큰 영향을 미치는 성분은 MgCl₂ 및 MgSO₄로서 이들 염류에 의해서 시멘트 수화물이 열화되기 때문에 시멘트계 고화제를 이용할 경우 지반안정처리의 내구성이 문제가 된다. 즉 Cl⁻ 이온이나 SO₄⁻² 이온과 시멘트 수화물인 Monosulfate가 반응해 불완전한 결정의 Friedel's salt로 변하고, 재차 시멘트 속의 미반응석고와 반응하거나 해수 또는 토양 속의 황산염과 반응하여 팽창성 Ettringite로 변화하는 Cycle이 순환되면서 수화조직이 파괴된다. 또한 해성점토 지반의 특성은 함수비가 매우 높고(보통 70~90%), 다량의 염분을 함유하며(1~3%), 장기간 퇴적된 유기물질(보통 부식상태인 흙산으로 존재)을 많이 함유하고 있으므로 보통시멘트만을 사용해 이러한 대상도를 고화시킬 경우 이상의 특성으로 인해 충분한 고화효과가 나타나지 않고 강도 발현 성능이 매우 낮다. 따라서, 해안에 위치한 해성점토지반에서 지반개량효과를 위해서 일반적으로 시멘트에 제 2첨가제 또는 내해수성, 화학저항성이 우수한 시멘트를 사용하는 것이 매우 유리하다. 더욱, 초연약 해성점성토층에서는 열화방지, 내구성증대효과 뿐 아니라 시공성 측면에서 보아도 기존의 시멘트믹크형 공법보다는 몰탈형공법을 적용하는 것이 유리하다.

3. 현장개요 및 지반공학적 특성

3.1 현장개요

현재 시공 중인 ○○지역 호안구조물은 폭 26m, 높이 5m로 심층몰탈파일(Deep Mortar Pile)이 구조물 기초 하부에 3~4공 타설되어 있다. 또한 본 구조물은 2002년

전반기에 채질 후 2002년 하반기부터 시작하여 5~6년동안 준설, 투기할 계획으로 되어 있으며 해면수위상승에 따른 방재대책으로서 호안구조물을 0.5m 증고, 배면 성토 1.0m 증고 계획이며 이에 따른 추가적인 기초보강(土質工學會, 1994)이 필요한 상황이다. 기초보강을 위한 대책공법으로는 일반적으로 쓰여지고 있는 시멘트밀크형 공법보다는 강도열화방지 및 내구성증대효과 면에서 매우 효과적인 몰탈형 공법을 적용하였다.

3.2 역학적 특성

표준관입시험시 Split Sampler로 채취된 교란시료 및 시추조사시 채취된 불교란시료에 대하여 공학적 파라미터를 구하기 위해 시료를 채취하여 자연함수비, 비중, 입도분석, Atterberg한계 등의 기본 물성시험을 실시하였고 역학적 특성을 파악하기 위해 일축압축강도시험, 삼축압축강도시험(UU, CU), 압밀시험을 수행하였으며 그 결과는 표 1, 2와 같다.

표 3. 목포해성점토의 XRF 분석 결과

화학조성 (%)										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SO ₃	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Ig-loss
54.21	17.94	6.80	1.27	1.78	2.53	0.28	2.93	0.70	0.12	11.44

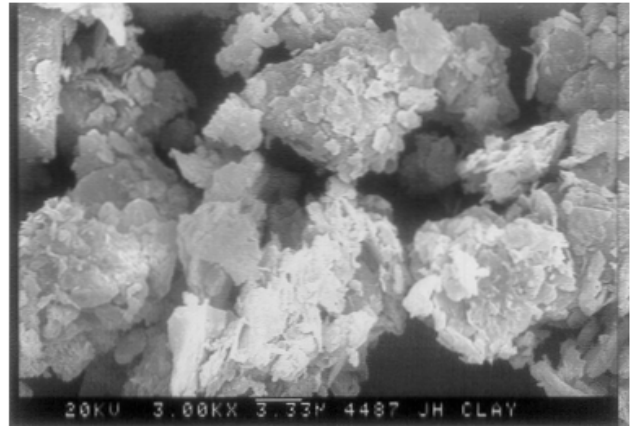


그림 1. 목포해성점토의 SEM 촬영 결과

표 1. 기본물성시험 결과

심 도	자연함수비(%)	비 중	Atterberg Limits			입 도 분 석				통일 분류
			액성한계 (%)	소성한계 (%)	소성지수	#4 통과량(%)	#10 통과량(%)	#40 통과량(%)	#200 통과량(%)	
6.0-6.8m	64.67	2.724	37.90	24.94	12.96	100	100	100	99.40	ML
15.0-15.8m	61.18	2.706	40.90	24.99	15.91	100	100	100	99.06	CL
20.0-20.8m	62.27	2.701	40.60	25.01	15.59	100	100	100	97.71	CL

표 2. 실내 역학시험 결

심 도	일축압축강도 (kg/cm ²) (교란)	삼축압축시험(UU test)		삼축압축시험(CU Test)		압 밀 시 험		
		점착력 c(kg/cm ²)	내부마찰각 φ(°)	점착력 c(kg/cm ²)	내부마찰각 φ(°)	압축지수 C _c	전체단위중량 γ _t (t/m ³)	선형압밀허중 P _c (kg/cm ²)
6.0-6.8m	-	0.08	1.6	-	-	0.418	1.63	0.26
15.0-15.8m	-	-	-	0.07	13	0.357	1.72	0.22
20.0-20.8m	0.165 (0.11)	0.12	2.5	-	-	0.434	1.69	0.29

3.3 화학조성

현장 지반에 대한 X-ray 형광분석(XRF) 및 X-ray 회절분석(XRD)결과는 표 3과 그림 2와 같다.

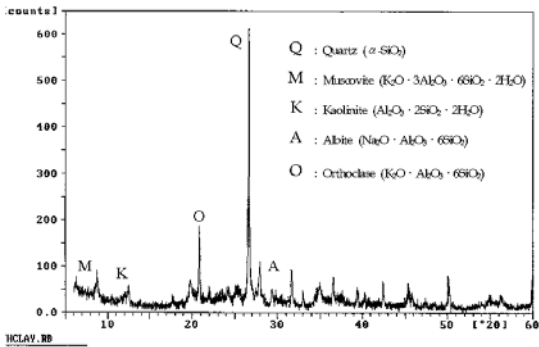


그림 2. 목포해성점토의 XRD 분석결과

목포해성점토에 의한 XRF 분석결과에 의하면, 국내 대부분의 점성토와 같이 주요 구성성분은 SiO₂와 Al₂O₃로서 약 72.2%를 차지하고 있다. 전체적으로 석영(Quartz, SiO₂)이 주를 이루고 다음으로 정장석(Orthoclase, KAlSi₃O₈), 알바이트(Albite, NaAlSi₃O₈) 순이었다. CaO의 함유량은 1.27%로 상당히 적은 것으로 나타나 회장석(Anorthite, CaAl₂Si₂O₆)은 상당히 적게 함유된 것으로 판단된다. 또한 그림 2의 XRD 분석결과에 의하면, 역시 석영의 회절피크가 가장 높게 나타났으며 다음으로 정장석, 알바이트 순이었다.

4. 호안구조물 보강 전·후의 안정해석

4.1 해석프로그램의 개요

본 연구에서는 호안구조물의 활동에 대한 안정성 검토를 위하여 한계평형해석프로그램인 SLOPE/W를 사용하였으며 한계평형 해석이론중 Bishop의 간편법을 적용하였다. Bishop의 간편법은 절편법 가운데 가장 널리 사용되고 있으며 그 결과는 이론상으로 정확한 다른 방법과 별 차이가 없다. Bishop(1955)은 원호활동면에 대한 사면안정해석법을 발표하였다. 그러나 이 방법은 가상 회전중심을 사용함으로써 비원호활동면에 대해서도 적용할 수 있다. 이 방법은 절편간 작용력이 수평방향으로 작용한다고 가정한다. 각 절편의 저면에 작용하는 수직력 P는 연직방향 힘의 평형조건에서 구한다.

4.2 호안구조물의 안정해석을 위한 지반물성치의 산출

4.2.1 단계별 준설·매립토의 물성치

본 구조물의 배면 준설토의 투기는 5~6년에 걸친 단계 시공으로 보았으며 총 5단계로 분류하여 단계별로 약 1년의 기간이 소요된다고 가정하였다. 1단계~4단계는 고탍수비(약 700%)의 준설토를 투기하는 과정이며 5단계는 단위중량 1.8t/m³의 산토를 성토하는 것으로 보았다. 단계별 함수비의 산정은 기존의 시공사례를 통하여 함수비 변화를 예측하였으며(지 외 3인, 1996) 그 결과는 표 4와 같다. 단위중량은 다음 식 (6)으로부터 산정하였다.

$$\gamma_t = \frac{G_s + S \cdot e}{1 + e} \cdot \gamma_w \quad (6)$$

- 여기서, G_s : 준설토의 비중 (G_s=2.7적용)
- e : 준설토의 간극비 (간극비의 추정은 e = 0.027w 을 적용)
- S : 준설토의 포화도 (포화도는 100%로 가정)
- γ_t : 해수의 단위중량 (1.03 t/m³적용)

각 단계별 점착력의 산정은 함수비의 변화에 따른 전단강도의 변화율로 추정하였는데 함수비가 700%, 250%, 150%, 125%로 변화함에 따라 점착력은 0.00t/m², 0.03t/m², 0.05t/m², 0.15t/m²로 증가한다고 가정하였으며 내부마찰각의 산정은 일반적인 고탍수비 흙의 토질특성을 고려하여 0°로 가정하였다(송, 1998).

표 4. 매립토의 단계별 지반강도정수

토 층	함수비(%)	단위중량 (t/m ³)	c(t/m ²)	φ(°)
매립4단계	700	1.12	0.00	0
매립3단계	250	1.26	0.03	0
매립2단계	150	1.38	0.05	0
매립1단계	125	1.43	0.15	0

4.2.2 기초 하부 점토층의 물성치

점토층은 개랑체를 중심으로 해안측의 점토와 육지측의 점토의 2개 구역으로 구분하였다. 해안측 점토의 경우 원지반의 토질조사보고서를 참조하여 지반강도 정수를 적용

시켜 주었으며 육지층 점토의 경우 산출 방법은 다음과 같다(홍, 1998 ; 부산지방국토관리청, 1995).

$$c_u = c_0 + \left(\frac{S_u}{P'} \right) \cdot \Delta P' \quad (7)$$

여기서, S_u : 비배수 전단강도 (t/m^2)

P' : 유효응력 (t/m^2)

$\Delta P'$: 유효응력 증가분

여기서, 압밀이 진행중이므로 평균압밀도 (U)를 고려하면,

$$c_u = c_0 + \left(\frac{S_u}{P'} \right) \cdot \Delta P' \cdot U \quad (8)$$

$$\frac{S_u}{P'} = 0.11 + 0.0037PI \quad (Skempton) \quad (9)$$

여기서, PI는 소성지수

평균압밀도의 계산은 양면배수로 가정한다.

$$T = \frac{C_v t}{H^2} \quad (10)$$

여기서, C_v : 압밀계수(cm^2/s)

t : 실시시간(365일)

H : 배수거리(cm)

$$U = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times T} \quad (11)$$

4.2.3 복합지반의 전단강도

지반내에 강도증진이나 기타목적으로 개량체가 주입된 경우 개량된 지반의 전단강도는 원지반의 전단강도보다 증가한 값을 가지게 된다. 이러한 강도의 증가를 개량율과 평균전단강도의 개념을 이용하여 다음 식 (12)와 같이 산출할 수 있다(土質工學會, 1998).

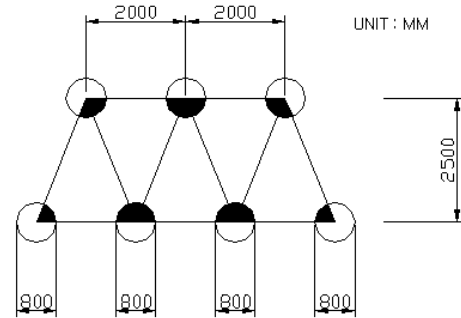


그림 3. 당초단면에서의 개량율 산정

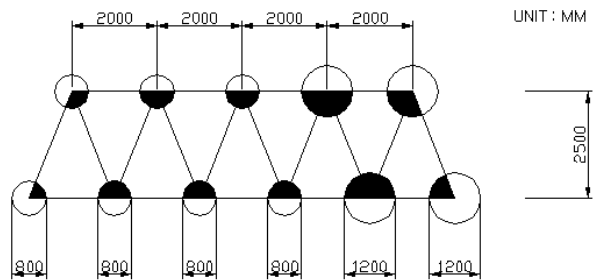


그림 4. 보강단면에서의 개량율 산정

$$\bar{c} = a_p \cdot c_p + (1 - a_p) \cdot c_0 \quad (12)$$

여기서 \bar{c} : 평균전단강도

a_p : 개량율(개량체의 면적/원지반의 면적)

c_p : 개량기둥의 전단강도

c_0 : 원지반의 전단강도

표 5. 점토2층 지반의 강도 증가

단계별 성토고 (m)	소성지수 PI(%)	압밀계수 c_v $10^4 cm^2/s$	점착력 c_v (t/m^2)	강도증가비, S_u/P	평균압밀도, U (%)	증가점착력 c_{uv} (t/m^2)
0.75	14.82	6.70	0.8	0.1648	18.8	0.92
1.0					18.2	0.96

식 (12)로부터 DMP의 전단강도를 산출하였다(한국지반공학회, 1999 ; (주)서영기술단, 1999 ; (주)한국항만엔지니어링, 1989).

$$\tau_p = \frac{1}{3} q_u, \quad q_u = \frac{1}{8} \sigma_{ck} \quad (13)$$

위에서 결정한 개량율과 개량체의 전단강도를 이용하여 복합지반의 강도정수를 산출하였다.

4.3 보강전 구조물 활동에 대한 안정검토

본 연구에서 활동에 대한 검토는 지반조사결과에 따라 BH-1, BH-2 단면의 경우 기시공된 상태로 증고하지 않고 매립하였을 경우와 기시공된 상태로 증고하여 매립하였을 경우의 2종류로 분류하여 실시하였고, 그 결과는 그림 5 ~ 그림 8과 같다.

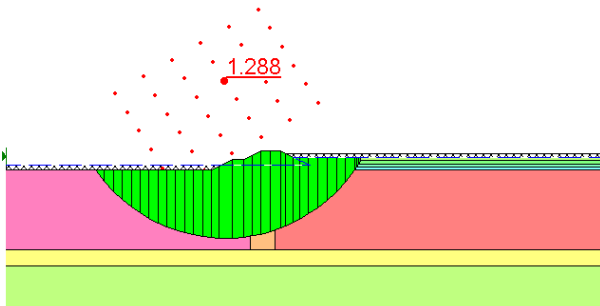


그림 5. BH-1 당초단면에서의 활동에 대한 안정 해석결과

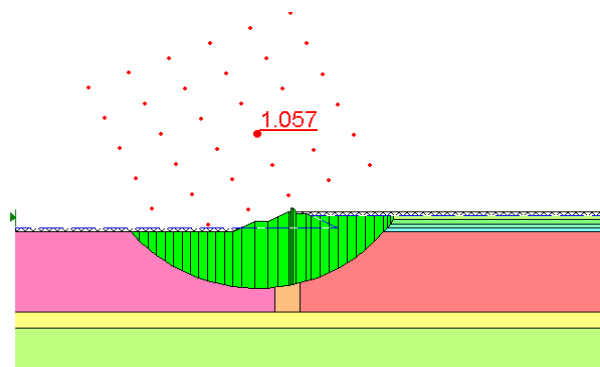


그림 6. BH-1 비보강증고단면에서의 활동에 대한 안정 해석결과

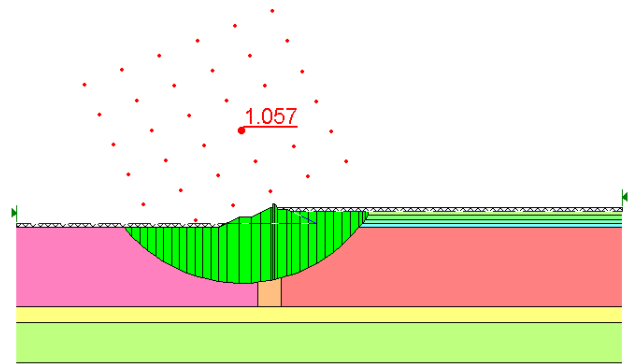


그림 7. BH-2 당초단면에서의 활동에 대한 안정 해석결과

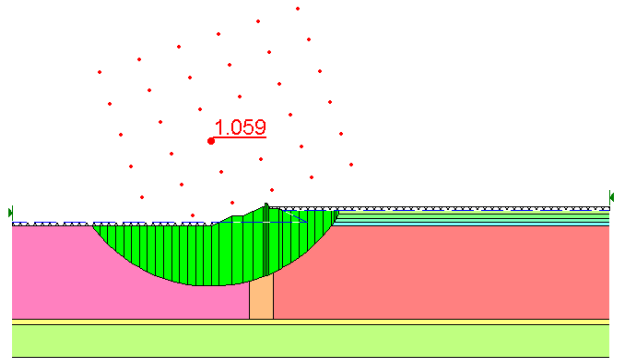


그림 8. BH-2 비보강증고단면에서의 활동에 대한 안정 해석결과

표 6. 비보강단면에서의 활동에 대한 안정 해석결과

	구 분	최소안전율
BH-1	당초단면	1.288
	비보강증고단면	1.057
BH-2	당초단면	1.296
	비보강증고단면	1.059

활동에 대한 안정해석 결과를 살펴보면 표 6과 같이 현 상태 그대로 보강을 하지 않고 증고 한다면 F.S.=1.05의 안전율을 보여 모두 기준치인 1.3에 미달되는 것으로써 증고전에 추가적인 보강이 필요하다고 판단되었다.

4.4 보강된 호안구조물의 안정 및 측방유동

4.4.1 기초보강단면의 활동에 대한 안정해석 결과

기시공 기초공법과 동일한 공법으로 2열을 보강하는 것으로 하여 활동에 대한 안정을 검토한 결과는 그림 9 ~ 그

림 10과 같다.

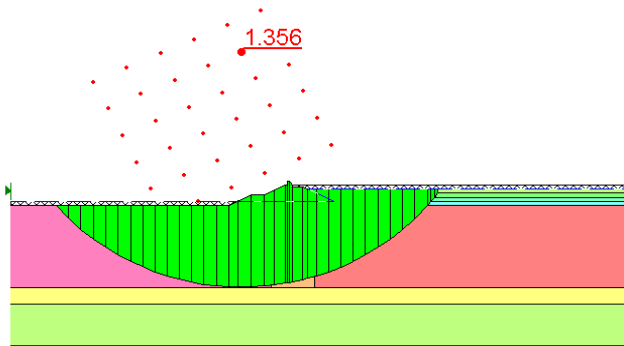


그림 9. BH-1 보강 후 증고단면의 활동에 대한 안정 해석결과

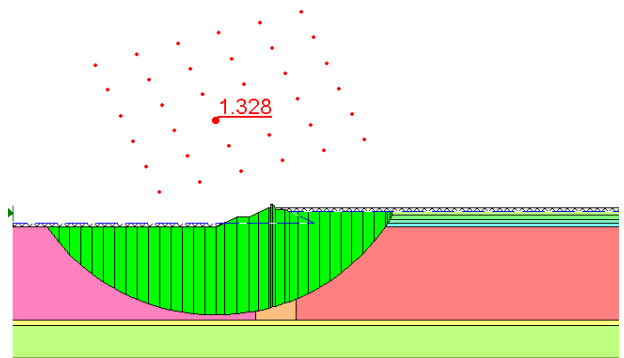


그림 10. BH-2 보강 후 증고단면의 활동에 대한 안정 해석결과

기초보강 단면의 활동에 대한 안정을 검토한 결과 표 7과 같이 F.S.=1.32~1.35의 값을 보여 복합지반 효과에 의하여 활동에 대한 안정성이 확보됨을 확인할 수 있었다.

표 7. 보강단면에서의 활동에 대한 안정해석 결과

	구 분	최소안전율
BH-1	보강 후 증고단면	1.356
BH-2	보강 후 증고단면	1.328

4.4.2 측방유동에 대한 검토

본 연구에서는 원지반(무보강) 설계단면과 보강단면에 대한 측방유동 가능성을 연약지반의 측방유동지수, F를 이용하여 판정하였다. 측방유동지수, F는 다음의 식(14)로 계산할 수 있으며, 일반적으로 $F \geq 4 \times 10^{-2} m^{-1}$ 을 만족하면 구조물은 측방이동에 대하여 안정한 것으로 볼 수 있다

(土質工學會, 1994).

$$F = \frac{c}{\gamma \cdot h} \cdot \frac{1}{H} \quad (14)$$

여기서, F : 측방향 이동지수($\times 10^{-2} m^{-1}$) (4기준)

$F \geq 4$: 측방향 이동이 예상되지 않을 때

$F \leq 4$: 측방향 이동이 예상될 때

c : 연약층의 평균점착력(t/m^2)

γ : 성토재료의 단위체적중량(t/m^3)

h : 성토고(m)

H : 연약층의 두께(m)

본 연구에서는 연구대상부지의 기초지반의 평균전단강도는 원지반에서는 해석점토층의 평균전단강도를 그대로 사용하였고, 보강후 증고단면에 대해서는 개량지반의 증가전단강도를 이용하였다. 또한 제체 배면 준설토의 단위체적중량은 배면의 준설토 투기를 5~6년간에 걸친 단계시공으로 보아 각 단계별 매립층의 단위체적중량을 평균하여 계산하였다. 원지반(무보강 단면)과 보강 후 증고단면에 대한 측방유동지수 계산결과는 표 8과 같다.

표 8. 원지반과 보강 후 증고단면에서의 측방유동지수

	구 분	측방유동지수 F ($\times 10^2 m^{-1}$)
BH-1	원지반	0.586
	보강 후 증고단면	5.64
BH-2	원지반	0.502
	보강 후 증고단면	4.825

측방유동지수에 의한 판정 결과 원지반(무보강단면)에 대해서는 $F = 0.50 \sim 0.58 (\times 10^{-2} m^{-1})$ 로 4 이하로 나타나 측방유동에 대해 불안정한 것으로 판단되었으며, 보강 후 증고단면에 대해서는 $F = 4.82 \sim 5.64 (\times 10^{-2} m^{-1})$ 로 4 이상으로 나타나 측방유동이 발생하지 않을 것으로 예상되었다.

5. 결론 및 제언

본 연구는 ○○지역 북향 호안구조물의 수위상승 및 준

설·투기에 따른 활동 및 측방유동에 대한 안정검토를 행하여 그에 대한 기초지반 보강대책을 제시한 것으로서 연구결과를 요약, 정리하면 다음과 같다.

- (1) 본 구조물은 4~10년 전 몰탈형 심층파일인 DMP공법으로 기초지반개량되었는 바, 장기간에 걸친 압밀이 진행되었다고 보아 현 시점에서의 개량된 물성치를 구하기 위하여 새로이 지반조사 및 관련 토질역학실험, 화학성분분석 등을 시행하였다.
- (2) 본 구조물 하부의 두께 약 20m 전후의 초연약층 (Silty Clay)에 적용된 주상개량체에 대해 지반 개량개념으로 보아 관련 물성치를 산정하였다. 한편, 본 구조물 배면의 준설토 투기는 5~6년간에 걸친 단계시공으로 보았고 준설투기 직후를 최악 조건으로 보아 물성치를 적용하였다.
- (3) 복합지반효과를 고려한 호안의 활동에 대한 안정 해석결과, 증고시 F.S.=1.05로 나타나 기준치 1.3에 미달되어 추가보강이 필요한 것으로 판단된다. 기존에 적용한 것과 동일한 공법으로 2열을 추가 보강하여 증고시 F.S.=1.32~1.35로서 안전한 것으로 나타났다. 측방유동에 대한 안정검토 결과 무보강 원지반에서는 불안전하나 기초보강 지반의 경우는 안전한 것으로 판정되었다.

(4) 호안구조물 증고시의 대책은 가급적 기존에 적용한 것과 동일 또는 유사 공법을 적용하여 균질한 지반개량이 되도록 하며 더욱 기존 열과 열 사이에 설치하는 것이 측방유동억제 측면에서 보다 유리할 것으로 판단된다. 준설투기시 호안구조물에 Over Flow 되지 않도록 반드시 여유고를 두어야 하고, 준설패립토 표면수의 제거가 용이하도록 배사관의 토출구를 호안 상부가 아닌 준설투기장 내 중앙부에 설치하여 표면에 자연구배가 형성될 수 있도록 해야 한다.

(5) 해성점성토에 다량으로 함유되어 있는 염류와 유기물은 시멘트의 고화작용에 악영향을 미치며 시멘트 그라우팅을 열화, 침식시키므로 해성점성토 지반의 지반보강을 위해서는 슬래그시멘트 및 제2첨가제를 사용하고 기존의 시멘트밀크형 공법보다는 몰탈형 공법이 일반적으로 강도열화방지 및 내구성증대효과 면에서 매우 효과적이다.

감 사 의 글

본 논문은 2000년 한양대학교 건설연구소 지원에 의하여 이루어졌음을 밝히며 이에 깊은 감사를 드립니다.

(접수일자 : 2001. 5. 16.)

참 고 문 헌

1. (주)서영기술단(1999.4), "목포북항 물양장(2단계)축조 및 기타공사 실시설계보고서(추가)", 목포지방해양수산청, pp.3~61
2. (주)한국항만엔지니어링(1989.10), "목포북항 호안 실시설계용역", 목포지방해양수산청, pp.3~133
3. 부산지방국토관리청(1995.12), "국도7호선 유강외팔교 4차선 이설공사 토질조사보고서", pp.181~238
4. 송만순(1988.12), "우리나라 해성점토의 제토질계수의 상관관계에 관한 연구", 한국항만협회지, 제 12권, 제 4호, p.69
5. 송만순(1988.9), "우리나라 해성점토의 제토질계수의 상관관계에 관한 연구", 한국항만협회지, 제 12권, 제 3호, pp.56~71
6. 지성현, 이승원, 이영남(1996), "울촌지역 준설패립토의 침강·압밀특성에 관한 연구", 한국지반공학회, '96 가을학술발표회, pp.227~284
7. 지성현, 최상순, 이승원, 이영남(1997), "울촌지역 준설패립토의 침강·압밀특성에 관한 연구(II)", 한국지반공학회, '97 가을학술발표회, pp.111~116
8. 천병식(1994), "基礎地盤改良工法", 건설연구사, pp. 154~159

9. 천병식(1996.6), “영종도 신공항 고속도로 연육교 1공구 논골교 교대 측방유동 대책공 연구보고서”, 한양대학교 부설 건설연구소, pp.12~131
10. 천병식(2001.5), “해성점성토지반에서 그라우팅공법의 최적배합산정에 관한 연구보고서”, 한양대학교 토목공학과, pp.13~18, pp.34~35
11. 천병식(1998), “최신지반주입-이론과 실제-”, 원기술, pp.297~300
12. 한국지반공학회(1999), “준설매립과 환경매립”, 지반공학시리즈10, 구미서관, pp.296~297
13. 현대건설연구소(1995), “울촌공단 준설성토지반 쾌속처리공법 연구”, 95-GEO-S02/100, pp.119~137
14. 홍원표(1998), “연약지반상 교대의 측방이동과 그 대책공법”, 대한토목학회 기술강좌 Vol.3, No.1, pp.1202~1203
15. 土質工學會(1998), “軟弱地盤對策工法-調査・設計から施工まで-”, 現場技術者のための土と基礎シリーズ -NO.16, pp.165~166
16. 土質工學會(1994), “海の構造物と基礎”, 土質基礎工學ライブラリ-NO.39, pp.203~238
17. 土質工學會(1994), “地盤の側方流動”, 土質基礎工學ライブラリ-NO.38, pp.59~102