

파압과 토압을 받는 호안구조물의 안정해석에 관한 연구

A Study on the Stability Analysis of Revetment Structure Subjected to the Wave and Soil Pressure

안 종 필 (Ahn, Jong Pil)

조선대학교 공과대학 토목공학과

요약 / ABSTRACT

본 연구는 여러 호안구조물의 안정해석에 관한 실제적인 적용성에 관련된 것으로, 호안구조물의 안정해석에는 4가지 종류의 호안단면을 고려하였다. 안정해석의 결과로서, 상치블럭의 안전율은 T.T.P.피복경사체가 모든 형식 중에서 가장 컸으며, 피복재료의 강성과 완만한 사면경사에 영향을 받는다. 제체의 직선사면활동 및 원호활동파괴에 대한 안전율은 사석경사체가 모든 형식 중에서 가장 컸으며, 완만한 사면경사와 피복재료의 강성의 증가에 영향을 받는다. 제체의 전도 및 지반지지력에 대한 안전율은 경사호안이 직립호안 보다 크며, 완만한 사면경사와 구조물 폭의 증가에 영향을 받는다.

This paper describes the practical application of stability analysis on the revetment structures, and four different sections of revetment structures are considered in this study. As a result of stability analysis, the the section of inclined revetment with T.T.P. block shows the highest safety factor against to the sliding failure of cap concrete block, while the section of inclined revetment with rubble stone shows the highest safety factor against to the straight and circular sliding failure. And the safety factors are increased by increasing of the rigidity of covered materials and by decreasing of the slope angle. For the safety factor of overturning and bearing capacity, the section of inclined revetment structures shows higher safety factors than the section of vertical structures, and the safety factors are increased by decreasing of the slope angle and by increasing of the bottom width of the structures.

서 론

해안개발의 궁극적인 목적은 연안매립과 간척공

사 및 항만공사 등을 통하여 각종 산업용지의 확충과 동시에 해양운송의 활성화를 도모하여 경제성장을 증진시키는데 있으며, 최근 우리나라의 경우도

해안개발에 대한 수요가 급증하고 있는 추세이다.

이제까지 해안개발에 있어서 임해지역에 대한 용지조성은 염전과 농지간척을 중심으로 행해져 왔다. 우리나라의 간척기술은 1970년대 초에 아산만 방조제와 남양만 방조제의 최종체질(물막이)공사를 해결함으로써 일대 혁신을 이루었으며, 현재는 그 규모가 대형화되고 개발지역도 천해에서 심해로 변화되고 있다. 근래에는 산업화와 더불어 공업용지로서 해안매립이 더욱 본격화되고 있는 실정이며, 아울러 도시의 과밀화가 이루어진 가운데 도시 재개발 등으로 인하여 해면매립이 급증하는 추세를 보이고 있다. 특히 연안매립에 의한 용지조성은 국토가 협소하고 평지가 부족한 우리나라의 입지조건에서 귀중한 생활공간을 제공하여 준다. 또한 1980년도 이후 해운 물동량과 컨테이너 물동량의 급격한 증대로 인하여 물류적체의 해소를 위한 대형 항만의 개발공사가 활발하게 진행되고 있다(대한기술단 1996).

이와 같은 시점에서 해안개발에 대한 연구 및 기술개발의 실적 또한 해안개발의 활성화와 더불어 더욱 다양하고 합리적인 측면에서 날로 발전되어 가고 있을 뿐만 아니라 수변지역(waterfront area)의 안정을 유지하기 위한 호안구조물 등의 설계방법도 다양화되어 가는 실정이다. 특히 근래에는 호안구조물의 수요증대로 인해 지형적인 입지조건이 열악한 요철지반과 심해지역 및 연약지반 등에 호안구조물을 시공해야 하는 경우가 많아져 이에 대한 보다 현실적이고 합리적인 설계방법이 요구되고 있다.

일반적으로 연안의 매립지역과 항만 등은 하천의 하구부근에 위치하는 경우가 많기 때문에 호안구조물의 기초지반은 하천으로부터 유출된 사질토와 Silt 및 점성토 등으로 두껍게 퇴적된 충적토층의 연약지반이 대부분이다. 따라서 호안구조물을 설치할 경우에는 치밀한 지반조사와 함께 연약지반 개량공법을 이용한 원지반의 개량 등이 선행되어야 한다. 호안구조물의 단면구조와 형식을 선정함에 있어서 과거에는 사석식 호안이 주류를 이루었으나, 근래에는 토목재료와 설계 및 시공기술의 발달로 T.T.P.(Tetrapod) 블럭식, Cell(Cellular) 블럭식, 소파(wave-dissipation) 블럭식, 강관말뚝식, 부벽(지지벽)식, Caisson(상자형 우물통)식 등 다양한 형태의 호안구조물이 시공되고 있다. 이들은 모두 쇠파

에 의한 파랑의 에너지를 소산(분산)시키는 소파효과에 목적을 두고 있다. 반면 우리나라의 경우 그동안의 호안구조물의 설계는 일반적으로 대상지역의 자연조건과 호안 배후지의 이용관점 등을 고려하여 호안 상부면의 천단고 및 호안의 단면치수 등을 결정하고, 구조적 안정검토를 수행하는 일련의 설계시스템으로 행해져 왔다(김남형 1994).

따라서 본 연구에서는 호안구조물의 보다 합리적인 설계를 위해 사석 경사제, T.T.P.피복 경사제, 소파블럭 혼성제, Cell블럭 혼성제의 4가지 형태의 호안단면에 대하여 동일한 설계조건을 부여하고 안정해석을 실시하여 직선활동, 원호활동, 전도 및 지반 지지력에 대한 안전율을 검토하였으며, 아울러 기존의 연구자료(박의환 1987, US Army 1985)와 시공사례(대한기술단 1996, 동아기술공사 1995, 포항제철 1982) 등을 토대로 하여 자연조건, 시공성, 경제성 및 설치 대상지역의 특성에 따라 비교·분석하여 검토하였다.

호안구조물의 기본적 특성

호안의 기본개념과 설계조건

호안구조물은 수제선 지역(waterfront area)에서 현지반을 돌, 콘크리트 등에 의해 피복하거나 매립을 위해 해저를 토사와 콘크리트 등에 의해 덧쌓여 쌓은 구조물로서, 배면지역에서의 토압에 의한 매립지반의 붕괴를 방지함과 동시에 고조, 파도, 해일 등에 의한 해수의 침입을 방지하고, 또한 해수에 의해 토사 등이 휩쓸려 내려가 침식되는 것을 방지하는 시설물이다. 이와 함께 배후지의 파괴 및 침수를 방지하고 인명과 재산을 보전하기 위한 목적으로 건설되는 호안구조물은 일반구조물과 비교해 볼때 해수로부터 전달되는 파랑의 영향을 직접 받는다라는 특수성을 지니고 있다. 이와 같은 특수성으로 인하여 이를 고려한 구조물 자체의 활동(sliding) 및 전도(overturning)에 대한 면밀한 안정해석의 수행과 함께 신중한 지반조사 및 침하량(settlement)의 검토를 통한 충분한 지지력(bearing capacity)의 확보가 필요하다(강재순 1995).

또한 전술한 바와 같이 호안구조물의 기초지반은 대부분이 하천으로부터 유입되어 퇴적된 연약한 Silt와 점성토층이 주류를 이루고 있어, 호안구

조물을 시공할 경우에 연약지반에 대한 대책이 중요하게 되고, 이를 위해 치밀한 지반조사가 병행되어야 한다.

우리나라 서해안과 남해안지역에 분포하는 해성 점토의 지반특성 및 지반정수 사이의 상호관계를 살펴본 결과 세립토가 탁월한 입도분포를 나타내고, 흙의 비중(G_s)은 (2.60~2.73)의 범위로서 무기질 점토에 속하며, 습윤밀도(γ)는 (1.50~1.90) g/cm^3 의 범위로서 자연함수비가 증가할수록 액성한계가 점진적으로 증가하는 예민성(압축성)이 높은 지반특성을 나타내고 있다(안종필 1996). 이러한 연약한 점성토층은 호안구조물의 활동파괴(sliding failure)와 침하의 원인이 되므로 안정검토 및 침하예측을 통해 적당한 호안단면을 선정하여야 한다.

호안구조물은 구조형식에 의해 일반적으로 경사제, 직립제 및 혼성제의 세가지 형태로 분류할 수 있다. 경사제는 사석 및 사면블럭 등을 통하여 사면에서의 쇄파에 의해 파의 에너지를 분산시키는 구조이고, 직립제는 전면이 연직인 벽체를 해저에 설치하여 주로 파의 에너지를 반사시키는 구조이며, 혼성제는 사석부의 상단에 직립벽을 설치한 것으로 파고에 비해 사석에서 천단이 얇은 때는 경사제의 기능에 가깝게 되지만, 깊을 때는 직립제의 기능으로 된다.

호안의 단면형식은 각 지역의 파랑, 수심, 지반 및 지형 등의 자연조건과 호안 배후의 상황 등에 따른 중요도를 고려하여야 하고, 구조물의 안정성과 조성공사비 및 현장여건에 따른 시공성 등을 충분히 감안하여야 한다. 또한 결정된 호안 제체의 필요높이에 따라 파력, 정수압, 부력, 자중 등의 외력을 산정하고, 활동과 전도 및 지지력에 대한 안정해석을 실시해야 하며, 활동 및 전도에 대한 최소안전율과 지지력에 대한 허용안전율은 Table.1의 값 이상이어야 한다(해운항만청 1993).

Table 1. Allowable safety factor in stability analysis.

item of stability analysis		FS _(allowable)
sliding	straight line sliding	FS ≥ 1.20
	circle sliding failure	FS ≥ 1.30
overturnning		FS ≥ 1.20
bearing capacity	$Q_{(max)} \leq Q_{(allow)}$	FS ≥ 1.00

호안구조물의 설계에 있어서 이상과 같은 설계 조건과 특성에 부합되는 적당한 호안단면을 선정하고, 선정된 각각의 안전을 등을 고려하여 시공지역의 자연조건과 호안배후의 상황분석 등의 종합적인 판단과 함께 구조물의 안정성 확보가 용이하고, 장래의 부지의 활용도, 시공성 및 경제성 등 다양한 측면에서 비교와 검토가 수반되는 설계와 시공이 필요하다고 할 수 있다.

호안단면의 구조특성

기존의 연구자료 및 시공사례 등을 근거로 하여 호안구조물의 경사제와 직립제 및 혼성제에서 많이 채용되는 각각의 단면특성을 분석하면 다음과 같이 요약할 수 있다.

먼저 사석 경사제는 가장 일반적인 형식으로 순수한 사석 만으로 제체를 형성하기 때문에 파압 등의 외력에 의한 단면의 안정성 확보가 충분히 검토되어야 한다. 따라서 설계파에 안전하게 유지되기 위해서는 사석제 경사면의 구배가 완만하여야 한다. 유효 항구폭을 유지하기 위해서는 항구 폭이 넓어 져야 할 뿐만 아니라, 수심이 증가되면 다량의 재료와 노력이 요구되어 많은 석재원의 개발이 필요하며, 큰 피복석을 생산하기가 곤란한 점이 있다. 그러나 파랑에 의한 반사파의 영향을 적게 받으므로 부근의 해면을 요란시키지 않는다는 점과 시공과정이 단순하고 작업이 용이한 점 등의 시공성이 양호하며, 유지보수와 피해시의 복구가 용이할 뿐만 아니라 지반의 요철이나 연약지반 및 파랑에 의한 세굴에 대해 비교적 순응이 양호하다. 또한 기상의 악영향으로 인한 부분적인 파손이 발생할 경우에 복구가 용이한 반면, 시공중 내습되는 파랑에 의해서 피해가 발생할 우려를 내포하고 있으며, 단위길이 당의 공사비가 비교적 고가라는 단점을 지니고 있다.

최근 호안단면의 시공에 많이 도입되어 지고 있는 T.T.P피복 경사제는 사석을 투하하여 mound(기반층)를 형성한 후, 해면측의 전면부에 Tetrapod 이형블럭을 거치하므로써 내습하는 파랑의 소파효과 및 월파의 저지효과를 기대하는 방법이다. 충분한 안정성의 확보를 위해서는 호안단면의 전면부 경사각을 완만하게 하는 것이 바람직할 뿐만 아니라 공사비에 있어도 비교적 저렴한 편이라 할 수

있으며, 수심이 깊을수록 사석량이 증대되어 공사비가 과다해 지고, 골재원의 확보여부도 중요한 평가요인이 된다. 그러나 외측의 T.T.P에 의한 소파효과 및 월과의 저지효과는 매우 양호하다고 할 수 있으며, 제체의 완성후 지반의 침하와 제체의 세굴 등에 유연하게 반응하는 등 유지관리 및 보수면에서 유리하고, 지반의 요철이나 연약층에도 비교적 순응이 양호한 장점을 지니고 있다. 또한 풍부한 시공경험에 의해 비교적 확실한 시공이 이루어질 수 있는 반면 T.T.P 제작장을 필요로 하고 적출장 시설 또한 갖추어 져야 하기 때문에 시공지역에 따라 제약을 받을 수가 있다.

소파블럭 혼성제는 해수측 전면에 소파효과가 큰 Igloo concrete block을 설치한 것으로 직립제의 최대 단점인 소파효과와 월과의 저지대책이 다소 미흡하지만, 대규모의 정박시설을 위해 수심이 깊은 호안단면을 설계할 때 유용한 호안단면이라 할 수 있다. 그러나 공사를 수행하기 위해서는 소파블럭을 제작할 수 있는 시설 및 적출장 시설이 요구되고 있어 번거로움과 설계시에 제약을 받는 요인이 될 수 있다. 또한 파랑의 반사 등의 문제점을 보완함과 동시에 소파블럭이 파의 에너지를 분산시키므로써 직립부에서의 파의 투과를 억제하는 효과를 살린 호안의 시공방법이라 할 수 있다. 특히 반사파를 경감하고 방파제 전면 및 우각부로의 파의 집중을 방지할 수 있으며, 반사율의 최적주기에서 반사율이 (20~30)% 정도까지 저하시킬 수 있는 등의 특징을 지니고 있다. 반면 파압해석이 불확실하여 수리모형 실험을 통한 파압강도와 제체의 안정성 및 월파특성 등의 검토가 필요하며, 갑작스런 해일 등으로 부분적인 피해가 있을 경우에 복구가 곤란한 점 등의 단점을 들 수 있다. 직립형의 혼성제에 있어서 지반 지지력의 확보가 어렵기 때문에 연약지반의 경우에는 면밀한 검토가 선행되어야 하며, 기존의 시공경험이 비교적 적은 편에 속해 확실한 시공의 보장이 어렵다는 점을 지적할 수 있다.

Cell블럭 혼성제는 Cellular block을 이용한 구조 형식으로, 기본적인 개념은 상자형 케이슨식과 유사하지만 케이슨식에 비해 작은 유니트(unit)를 사용하기 때문에 시공설비가 비교적 간단하다. 먼저 사석마운드(mound)를 형성한 후 콘크리트 Cell블럭을 엇갈리게 배치하여 제체를 형성하므로 월과의

영향을 최대한 억제시킬 뿐 만 아니라, 기중기선도 특별히 큰 능력을 필요로 하지 않으며 채움재에 모래를 이용할 경우 Cell블럭을 겹겹히 쌓은 이음부에서 채움재가 빠져 나가기 때문에 일반적으로 채움재로서 돌을 이용해야 하기 때문에 시공비의 절감효과를 기대할 수 있다. 또한 Prepack Concrete 또는 수중톤크리트의 속채움재를 이용하면 벽체의 상하방향의 일체성이 보호되고, 현장타설 콘크리트에 비해 시공이 용이할 뿐만 아니라 소파블럭 혼성제와 마찬가지로 대형 정박시설에 적당한 구조이다. 반면 반사파의 발생으로 인한 시공중의 피해 우려가 있고, 수심이 깊어지면 안정성 확보에 곤란한 점이 있다. 또한 블럭 제작장 및 적출장 시설이 필요하고 소파효과 및 월파저지에 대한 효과면에서 불리하며, 시공중 반사파에 의한 피해발생의 우려와 지반지지력의 확보가 법선방향의 일체성 결여로 인한 부등침하로 곤란한 점 및 피해시 복구가 곤란한 점 등의 결점을 지적할 수 있다.

안정해석의 기초이론

천단고 및 외력계산

호안구조물의 안정해석에 있어서 기본적인 설계 조건으로는 파랑, 천단고(crown height), 외력, 상재 하중 등을 생각할 수 있다.

파랑은 상당한 장기간의 파랑 실측치를 실측자료로 보정한 값에 적절한 통계처리를 실시하여 심해파의 제원을 결정한 후에 이 심해파에 굴절 또는 회절 등의 효과를 가하여 환산 심해파고를 산정하며, 천수변형 및 쇄파 등에 의한 파고의 감쇠효과를 고려하여 설계 대상지점의 설계파고의 제원을 결정하게 된다(Oda 1969).

호안의 천단고는 설계조위에 의해 추정된 파랑의 처오름높이(wave runup)에 약간의 여유고를 더한값 이상이 되도록 계획한다. 이때 처오름높이는 파의 제원 및 호안의 형상, 피복공의 형태 등에 따라 많은 차이를 발생시키므로 결정된 천단고에 대해서는 배후지역의 이용조건 등을 고려한 월파의 허용여부에 대해서도 검토하여야 한다. 설계파랑에 대한 제체의 필요높이는 파의 처오름높이를 구한 다음 그에 따른 월파방지에 필요한 소요높이 만큼 높아야 한다. 부득이 월파를 허용할 경우 배후구조

물의 이용방안 및 제체의 형상에 따른 월파유량의 기준치 및 배후지역의 이용관점에서의 허용월파량(김남형 1994, 畠田 1975) 등을 참고로 하여 호안의 월파량에 대한 검토를 시행한 후 천단고를 결정하게 된다.

일반적으로 천단고는 (1)식의 항만시설물 설계기준서(해운항만청 1993)(이하 설계기준서)의 기준값 및 (2)식의 구조물의 안전을 고려한 허용월파유량에 대한 방법 등으로 결정할 수 있으며, 설계조위는 HWOST(대조평균만조위) EL(+).2518m를 채용하였으며, 허용월파유량은 $0.05\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{sec}$ 로 가정하였다(건설부 1971).

$$\begin{aligned} \text{천단고} &= \text{설계조위} + \text{설계파고}(H_{1/3}) \\ &\times a + \text{여유고} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{천단고} = \text{설계조위} + \text{허용월파고} \quad (2)$$

여기서, 설계조위는 HWOST(대조평균만조위)를 채용하였으며, a는 조건계수로 (0.6~1.25)의 범위의 값을 갖는다.

외력계산에 따른 요소로서 파력, 정수압, 부력, 자중 등을 고려할 필요가 있다. 구조물에 작용하는 파력은 구조물의 형태, 해저지형, 수심 및 단면의 제원 등을 고려하여 적절한 모형실험 혹은 산정식에 의해 계산할 수 있으며, 이때 파의 불규칙성에 대해서도 충분히 배려할 필요가 있다. 구조물의 형태에 의한 파력으로서의 연직벽식 구조물에 작용하는 파력, 해중부체에 작용하는 파력, 수면부근의 구조물에 작용하는 파력 등이 있고 각각 파의 취급방법이 다르기 때문에 주변상황과 조건에 따른 적절한 산정방법에 기초를 둘 필요가 있다. 파력의 산정식은 일반적으로 畠田(1975)에 의한 방법을 사용하고, 제내외의 정수면의 차이가 있는 경우는 그 수위차에 상당하는 정수압을 고려해야 하며, 양측의 수위를 연결한 정수면 이하의 제체에는 부력이 작용하는 것으로 한다(해운항만청 1993, 임중철 외 14인 1995).

파압이 작용할 경우에는 직립제에는 전면 수심과 설계파고의 관계에 따라 중복파와 쇄파가 작용한다. H.W.L에서 피복석 천단까지의 높이(h), 설계파고를(H)라고 할 경우, $(h/H) > 2.0$ 이면 중복파, $(h/H) < 2.0$ 이면 쇄파를 적용하는 것이 원칙이며,

여기서는 $(h/H)=1.07 < 2.0$ 이므로 쇄파압을 적용하였다. 쇄파압은 (3)식의 Hiroi공식에 의해 결정할 수 있으며, 쇄파압의 작용범위는 H.W.L에 설계파고를 합한 높이로 한다(해운항만청 1993).

$$P_b = 1.5a \gamma_o H \quad (3)$$

여기서, P_b 는 쇄파에 의한 파압강도(t/m^2), γ_o 는 해수의 단위중량(t/m^3), H는 제체 설치위치에서 진행파고에 의한 최대파고(m), a는 파압의 감쇄정수로 0.80을 갖는다.

자중에 의한 연직모멘트는 부력을 고려하고, 파압에 의한 수평력과 모멘트를 산정하고, 양압력을 고려시 양압력은 쇄파압강도와 같은 값이 전면에서 작용하여 배면에서 "0"이 되는 삼각형분포라고 생각하며, 직립면에 작용하는 양압력은 (4)식으로 결정할 수 있다.

$$P_u = (1/2)P_a B \quad (4)$$

여기서, P_u 는 전면에서 작용하는 양압력(t), P_a 는 양압력 강도(t/m^2), B는 직립체의 유효폭으로 6.0m를 나타낸다.

제체의 자중결정에 있어서는 혼성제의 경우 직립부 및 경사부의 해석을 달리하여 검토한다. 먼저 경사부에서 T.T.P 피복재의 소요중량은 (5)식의 Hudson공식(건설부 1971, 김남형 1994)을 사용하여 산정할 수 있으며, 안전계수(K_D)는 설계기준서(건설부 1971, 해운항만청 1993)에 표시된 값을 적용한다.

$$W = (\gamma_r H_{1/3}^3) / [K_D (S_r - 1)^3 \cot a] \quad (5)$$

여기서, W는 피복재의 단위체적중량(t), γ_r 는 피복재의 공기중 단위체적중량(t/m^3), S_r 는 피복재의 해수에 의한 비중, a는 사면이 수면과 이루는 각으로 (1 : 1.5)를 나타내며, $H_{1/3}$ 은 사면위치에서의 진행파의 설계파고(m), K_D 는 사석이나 인공블럭 등 피복재의 형상 및 적재방법에 따라 결정되는 안전계수로 Shore Protection Manual(US Army 1985)에서 제시한 값 8.0을 적용한다.

한편 혼성제에서 기초부의 사석의 소요중량은

(6)식의 Brebner & Donnelly(1962)의 실험식을 이용하여 결정할 수 있다.

$$W = (\gamma_r H^3 / \gamma_w) / [N_s^3 (S_r - 1)^3] \quad (6)$$

여기서, W는 사석 또는 인공블럭의 평균중량(t), H는 설계파고(m), γ_r 은 사석 또는 인공블럭의 공기중 단위중량(t), γ_w 은 사석 또는 인공블럭의 해수에 대한 비중(= γ_r / γ_w), N_s 는 파랑의 제원과 마운드의 형상 및 피복재의 특성으로 결정되는 안전계수이다.

중간피복재와 사석의 소요중량은 설계기준(서(건설부 1971, 해운항만청 1993)에 따라 (7)식 및 (8)식을 이용하여 결정할 수 있다.

$$W_1 = (1/10 \sim 1/15)W \quad (7)$$

$$W_2 = (W / 200) \quad (8)$$

여기서, W는 피복재(T.T.P)의 소요 단위중량(t/ea), W_1 은 중간피복재의 소요 단위중량(t/ea), W_2 는 사석의 소요 단위중량(t/ea)이다.

토압이 작용할 경우의 안정점도에서 활동에 대한 안정성은 (자중+토압)의 연직력을 (토압+잔류수압)의 수평력에 대해서 검토하고, 전도에 대한 안정성은 (자중+토압)의 연직력의 호안전면에 대한 모멘트를 (토압+잔류수압)의 수평력의 전면에 대한 모멘트에 대해서 검토한다. 토압의 계산시는 $W=1.0t/m$ ϕ (angle of internal friction)= 40° δ (angle of wall friction)= 15° K_a (coefficient of earth pressure)=0.192이며, 해수의 단위중량 $\gamma=1.03t/m^3$ 으로 하여 (9)식의 Coulomb공식으로 계산한다(임종석 외14인 1995).

$$P_{ai} = (\sum \gamma h + W_a) \cdot K_a \cdot \cos\phi \quad (9)$$

안정해석의 방법

호안구조물이 파랑과 외력 및 상재하중 등의 작용력으로 부터 안정하기 위하여서는 호안구조물이 체체의 활동(sliding)과 전도(overturning)에 대하여 안정해야 하며, 지반의 지지력(bearing capacity)과 침하(settlement)에 대한 안정성에 대해서도 검토해야 한다(강재순 1995, 해운항만청 1993).

체체의 활동 및 전도에 대한 안정해석은 구조물

기초 설계기준 및 해설(건설부 1986)에 따라 (10)식 및 (11)식을 이용하여 검토할 수 있다(지반공학회 1995, 해운항만청 1993).

$$FS = (W \times \mu) / P \text{ (sliding)} \quad (10)$$

$$FS = (W \times \ell) / (P \times t) \text{ (overturning)} \quad (11)$$

여기서, FS는 활동 및 전도에 대한 안전율, W는 체체의 중량(t/ea), μ 는 체체 저면의 마찰계수(coefficient of friction), P는 외력의 수평압력(파압의 합력)(t/m²), ℓ 은 연직합력의 작용점까지의 거리(m), t는 수평합력의 작용점까지의 거리(m)이다.

파압이 작용할 경우의 안정점도에서 활동에 대한 안정성은 (12)식과 같이 자중에서 양압력을 감소한 값을 파압에 대하여 검토할 수 있으며, 전도에 대한 안정점도는 (13)식과 같이 자중에 의한 저항모멘트(moment)를 수평파압에 의한 모멘트(moment)에다 양압력에 의한 모멘트를 합한 값에 대하여 검토할 수 있다(건설부 1971, 해운항만청 1993).

$$FS = (W - P_u) \mu / P \text{ } (\mu=0.70) \text{ (sliding)} \quad (12)$$

$$FS = (WX) / (PY + P_u X) \text{ (overturning)} \quad (13)$$

여기서, X는 자중 및 양압력의 합력점까지의 수평거리(m), Y는 파압의 수평합력의 작용점까지의 높이(m)이다.

호안단면의 체체사면의 직선활동(straight sliding)에 대한 안정성은 구조물기초 설계기준 및 해설(건설부 1986)에 따라 (14)식을 이용하여 검토할 수 있다(해운항만청 1993).

$$FS = [(W \cos a - P \sin a) / (P \cos a - W \sin a)] \times f \text{ (sliding)} \quad (14)$$

여기서, W는 활동토피의 유효중량(t), a는 파괴면의 경사각, P는 파압의 수평합력(t), f는 마찰계수로 0.8을 갖는다.

체체의 경사부의 안정점도에 있어서 활동에 대한 검토는 항내측의 법면을 투과하는 모든 직선 활동면에 대해서 검토하며 안전율은 1.20 이상으로 한다. 이때 외력으로서 파력, 정수압, 부력, 자중

등을 고려한다. 피복재는 파력에 대해 충분히 안전한 중량을 가져야 하고, 내부의 재료가 빨려나가지 않도록 하는 두께로 하지 않으면 안된다.

지반의 지지력에 대한 안정성 검토의 경우에는 사석마운드와 원지반의 지지력을 검토해야 하며, $a = (\Sigma M / \Sigma W)$ 및 $e = (b/2)a$ 에서 지반반력을 계산하고 허용지지력보다 적은가를 검토한다. 수평방향 및 연직방향의 힘을 받는 혼성제 직립부의 안정성은 편심 및 경사하중에 대한 얇은기초의 지지력 검토 방법에 의해야 하지만, Janbu(1957)의 방법이나 Meyerhof(1953)의 방법 등을 조합해서 이용하여 검토하는 것이 일반화되어 있는 실정이며, (15)식으로 계산한 최대지반반력(q_{max})은 지반의 허용지지력(q_{all})을 초과하지 않아야 한다(건설부 1986, 강제순 1995).

$$q_{max} = (\Sigma W/B) [1+(6e/B)] > q_{all} \text{ (OK)} \quad (15)$$

여기서, q_{max} 는 최대지반반력(t/m^2), W 는 호안제체의 중량(t), B 는 호안제체의 저폭(m), L 은 호안제체의 길이(m), e 는 전체하중의 합력의 편심거리(m), q_{all} 은 지반의 허용지지력(t/m^2)이다.

또한 연약지반 위에 호안구조물을 설치할 경우 재하중의 크기가 지반의 비배수 전단강도(shearing strength)(C_u)의 (3.0~5.5)배를 초과하면 소성침하가 발생하게 되며, 제체의 자중 및 상재하중 등으로 인하여 지반내에 발생하는 연직하중(ΔP)과 점성토층의 극한지지력(q_{ult})이 평형 즉 ($q_{ult} = \Delta P$)을 이루는 깊이까지 침하한다고 보아 소성침하량을 측정하게 되며, 이를 이용하여 지반지지력을 검토하기도 한다. 지중응력의 결정은 해성퇴적층을 완만한 강성 및 등방성 그리고 균질한 재료로 간주하여 (16)식의 Osterberg의 방법에 의하여 산정할 수 있으며, 지반의 강도증가량은 (17)식 및 (18)식에 의하여 산정할 수 있다(건설부 1986).

$$\Delta P = (q_0/\pi) [(b+a)(\alpha_1+\alpha_2)/a - (b/a)\alpha_2] \quad (16)$$

$$\alpha_1(\text{radian}) = \tan^{-1}[(b+a)/z] - \tan^{-1}(b/z)$$

$$\alpha_2(\text{radian}) = \tan^{-1}(b/z)$$

$$(C/\Delta P) = a = 0.11 + 0.0037L_p \quad (17)$$

$$C' = a \gamma_1 UHL_0 \quad (18)$$

여기서, a 는 사면의 수평폭(m), a 는 지반의 특성 계수, b 는 제당폭(m), U 는 압밀도로 100%로 가정하며, h 는 성토고(m), γ_1 는 성토재료의 단위중량(t/m^3), H 는 성토재료의 높이(m), I_σ 는 Osterberg의 영향계수, ΔP 는 지중응력의 증가량(t/m^2), C' 는 증가된 점착력(cohesion)(t/m^2)이다.

또한 연약지반에 호안구조물을 축조할 경우는 제체에 의해서 저면지반의 원호활동(circle sliding) 및 소성변형(plastic deformation) 즉 측방유동(lateral flow)에 의한 손상여부를 검토해야 하며(해운항만청 1993), 안정성이 부족한 경우에는 필요에 따라서 지반개량을 할 필요가 있다. 제체로 인한 지반의 원호활동에 대한 안정성은 (19)식의 Bishop의 간편법이나 유효요소법(F.E.M)에 의하여 검토할 수 있다(지반공학회 1995).

$$FS = \Sigma[C\ell + (P-U\ell)\tan\phi] / \Sigma(Wsina) \quad (19)$$

여기서, C 는 활동면(sliding surface)의 점착 저항력(t/m^2), ℓ 은 절편 저면 호의 길이(m), U 는 활동면의 간극수압(pore water pressure)(t/m^2), W 는 분할면의 전중량(t), a 는 분할면 저면의 경사각, ϕ 는 흙의 내부마찰각, P 는 활동면에 대한 수직하중(t)이다.

호안단면의 안정해석

해석조건 및 강도특성

호안이 설치되어 있는 해석지반은 우리나라 서해안의 지반조건과 유사한 상부로부터 해성퇴적층, 잔류토층, 풍화암층, 연암층의 순서로 구성되어 있는 것으로 가정하였으며, 해성퇴적층(CL, ML)의 상부는 쉘트질 모래(SM)로서 (0~9)m 까지는 N치가 (7~30)으로 비교적 양호한 지질상태로 판정되며, 지표면으로부터 9m 이하에는 N치가 (6~22)로 비교적 연약한 점토층으로 구성되며, 각 재료의 물리적 성질은 Table.2와 같다.

사용재료의 강도기준으로 콘크리트 블럭 및 호안의 상치(Cap)콘크리트, 몰양장의 상치콘크리트는 $\sigma_{ck} = 180kg/cm^2$, 이형 콘크리트 블럭(T.T.P)은 $\sigma_{ck} = 210kg/cm^2$, 슬라브 등 기타의 중요 구조물은 $\sigma_{ck} = 240kg/cm^2$ 으로 한다. 사용된 철근은 SD 30을 적

용하고, 철근의 항복응력(yield stress)은 $\sigma_y=3000\text{kg/cm}^2$, 허용인장응력은 $\sigma_{sa}=0.5\sigma_y=1500\text{kg/cm}^2$ 을 적용한다.

Table 2. Physical properties of revetment materials.

material	depth(m)	C(t/m ²)	$\phi(^{\circ})$	$\gamma_1(\text{t/m}^3)$	Cc	e_0
T.T.P	-	0.00	40	1.175	-	-
Cap Con'c	-	200.0	45	2.350	-	-
R.Con'c	-	200.0	45	2.450	-	-
rubble	-	0.00	35	1.800	-	-
banking	-	1.50	25	1.800	-	-
dredging	-	0.50	0	1.700	-	-
sand	7.0	0.00	35	1.904	-	-
clay1	14.0	5.63	0	1.845	0.297	0.839
clay2	20.5	15.62	0	1.845	0.274	0.642
weathering	5.0	5.00	35	2.100	-	-

remark : C=cohesion, ϕ =angle of internal friction, γ_1 =wet unit weight, Cc=compression index, e_0 =original void ratio

하중조건으로는 항만설계기준(건설부 1971, 김남형 1994)에 의한 값을 적용하여 단위중량은 강재는 7.85t/m^3 (수상)과 6.85t/m^3 (수중), 철근콘크리트는 2.45t/m^3 (수상)과 1.42t/m^3 (수중), 무근콘크리트는 2.30t/m^3 (수상)과 1.27t/m^3 (수중), 사석 및 피복석은 1.80t/m^3 (수상)과 1.00t/m^3 (수중)으로 하며, 활하중은 1.0t/m^2 의 상재하중을 고려하였으며, 지반의 허용지지력은 사석지반에 있어서 $(40\sim 50)\text{t/m}^2$ 으로 계산하였다.

또한 내부마찰각으로 사석은 35° , 피복석은 40° 로 하였으며, 마찰계수는 사석과 사석은 0.8, 콘크리트와 콘크리트는 0.5, 콘크리트와 사석은 0.6, Cell블럭과 Cell블럭은 0.7로 하였으며, 소요안전율

은 직선활동에 대해서는 1.20, 전도에 대해서는 1.20, 원호활동파괴에 대해서는 1.30으로 한다.

호안구조물 안정해석에 있어 설계파고는 단면 비교시 EL(-)5.00m의 수심과 파고 4.75m를 적용하였고, 허용월파랑과 제체의 천단고의 결정은 전술한 바와 같이 항만시설물 설계기준서(해운항만청 1993)에 따라 결정하였으며, 그에 따른 결정값은 Table.3과 같다.

Table 3. General criterion of crown height.

distribution	T.T.P.Block	Igloo Block	Rubble	Cell Block
reserved height	EL(+7.00)	EL(+8.00)	EL(+7.00)	EL(+8.50)
overwave amount	EL(+6.38)	EL(+7.96)	EL(+6.38)	EL(+8.50)
crown height	EL(+7.00)	EL(+8.00)	EL(+7.00)	EL(+8.50)

점토층에 대한 지중응력의 산정을 위한 I_p 와 a 를 (17)식에 의하여 산정한 값은 Table.4와 같다.

Table 4. Plastic index(IP) & increased ratio of strength(a).

distribution	I_p	a
clay1	20.57	0.186
clay2	17.35	0.174

안전율의 산정

호안단면의 안정해석에 따른 소요중량의 계산에서 T.T.P피복 경사제의 피복재와 중간 피복재 및 사석 경사제의 사석재는 (5)식의 Hudson공식(건설부 1971), 소파블럭 혼성제의 피복재와 Cell블럭 혼성제의 피복재는 (6)식의 Brebner & Donnelly공식(건설부 1971, 해운항만청 1993)에 의해서 계산하면 Table.5와 같은 값을 얻는다.

Table 5. Needed weight of covering material in each revetment section.

T.T.P Block type		Igloo block type	rubble stone type	Cell block type
covering	middle	covering	rubble	covering
10.95t	1.15t	3.04t	2.46t	3.04t

파압과 토압을 받는 호안구조물의 안정해석에 관한 연구

호안구조물의 단면형식에 따른 안정해석에서 안전율에 대한 계산은 전술한 조건에 따라서 수행되었다.

T.T.P피복 경사제

① 단면개요

Fig.1과 같은 호안단면의 안정검토에서 호안의 천단고는 (1)식 및 (2)식에 의해 EL(+7.00m로 하고, (5)식에 의한 피복재의 소요중량은 12.5t T.T.P를 2층으로 쌓는 것으로 하며, 중간피복재는 0.5m³/ea급의 피복석을 사용하고, 사석은 0.03m³/ea급 정도를 사용하며, 사면의 허용경사도는 (1:1.5)로 한다. 또 파고는 H_{1/3}=4.75m를 적용하고, 허용율파량은 0.033m³/sec·m를 적용하였다.

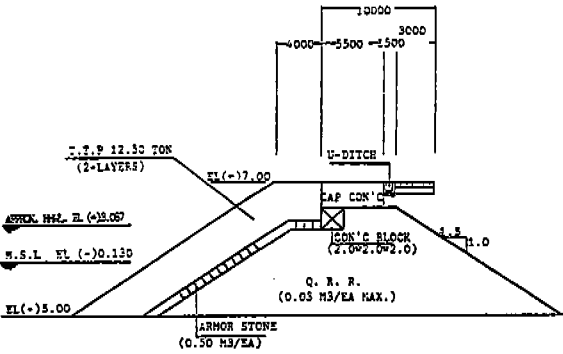


Fig. 1. Section type of Inclined revetment with T.T.P block.

② 안정검토

호안단면에 대한 안정검토에서 상치콘크리트의 활동과 직선사면활동 및 전도에 대한 안전율은 (10)식과 (11)식에 의해 계산한 결과는 Table.6과 같이 최소안전율인 (FS≥1.20)으로 안정성을 나타내고 있으며, 배면의 매립토압을 적용하였을 경우가 파압의 경우보다 더 큰 안정성을 나타내며, 특히 상치콘크리트와 전도에 대해 큰 안정효과를 나타내어 피복재료의 강성과 사면의 완만한 경사가 안정효과에 큰 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다.

제체의 원호활동에 대한 안정검토에서는 제체의 압력으로 인한 점토층의 강도증가를 고려해야 하며 (해운항만청 1993), (18)식에 의해 점토층의 증가강도를 계산하면 Table.7과 같다.

경사제의 경우는 재하면적의 증가와 자중의 감소로 인한 하중분산이 크게 되어 지반반력이 작아 지므로 지반의 지지력에 대한 안정문제는 걱정할 필요가 없으므로 검토하지 않는 것이 보통이지만, (15)식에 의해 검토한 결과 매우 안정함을 나타내고 있다.

제체의 원호활동파괴에 대한 안전율을 (19)식에 의해 계산한 결과는 Table.8과 같으며, 파압을 적용한 경우나 배면의 매립토압을 적용한 경우 최소안전율인 (FS≥1.30)으로 안정함을 나타내고 있으나 피복재의 강성(rigidity)과 사면경사가 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

Table 6. Stability analysis of revetment section.

distribution		cap sliding	overturning	straight sliding	remark
wave	wave pressure	P _H =17.12t/m	M _H =29.96tm/m	P _H =17.12t/m	μ=0.70,f=0.80 α=19.66°
	body weight	P _V =34.15t/m	M _V =93.91tm/m	P _V =72.65t/m	
	safety factor	1.40	3.14	1.24	FS ≥ 1.20(OK)
soil	soil Pressure	P _H =9.26t/m	M _H =18.52tm/m	P _H =9.26t/m	μ=0.70,f=0.80 α=17.41°
	body weight	P _V =73.06t/m	M _V =763.48tm/m	P _V =204.28t/m	
	safety factor	5.52	41.22	2.20	FS ≥ 1.20(OK)
contact pressure		q _{max} =12.35t/m ² ≤ q _{all} =40.00t/m ²			(OK)

remark : PH & MH=horizontal pressure & moment, PV & MV=vertical pressure & moment, μ=coefficient of wall friction, f=coefficient of internal friction, α=vertical angle of failure surface, qall=allowable bearing capacity.

Table 7. Increased strength of clay layer by consolidation.

distribution	U=90%		U=100%	
	center	end	center	end
C'(t/m ²)				
clay1	2.475	0.442	2.750	0.491
clay2	2.095	0.661	2.327	0.735

remark : U=degree of consolidation, C'=increased cohesion

Table 8. Stability analysis on circle sliding & bearing capacity.

safety factor(FS)	wave	soil	remark
circle sliding	1.37	1.36	FS ≥ 1.30(OK)
bearing capacity	3.24		(OK)

소파블럭 직립제

① 단면개요

Fig.2와 같은 호안단면의 안정검토에서 호안의 천단고는 (1)식 및 (2)식에 의해 EL(+).8.00m로 한다. 소파블럭은 (6.0×1.4×3.0)의 크기의 Igloo Block을 사용하며, 혼성제 기초부의 근고사석(피복석)의 소요수량은 (6)식에 의해서 3.04t/m의 1.0m³/ea 급 정도를 사용한다. 또한 파고는 H_{1/3}=4.75m를 적용하고, 허용월파량은 0.036m³/sec·m를 적용하였다.

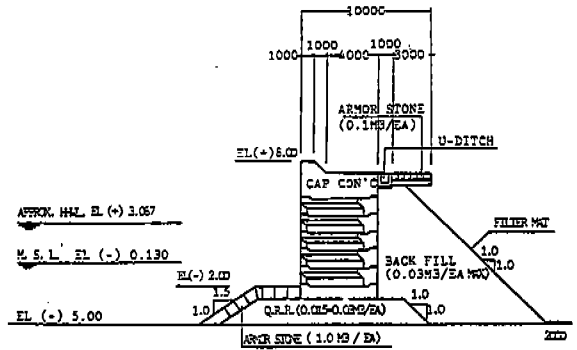


Fig. 2. Section type of vertical revetment with Igloo block.

② 안정검토

호안에 파압을 적용한 경우와 배면의 매립토압을 적용한 경우의 상치콘크리트와 직선사면활동 및 전도에 대한 안정성을 (12)식과 (13)식에 의해서 검토해 본 결과 Table.9와 같이 안전율은 (FS ≥ 1.20)으로 안정함을 나타내고 있으며, 지지력에 대해서도 안정성을 나타냈다.

원호활동파괴에 대한 안정검토의 경우는 체체로부터의 압력으로 인한 지반의 강도증가를 고려해야 하며, (18)식에 의한 지반의 강도증가는 Table.10과 같다.

체체의 원호활동파괴에 대한 안전율을 (19)식에 의해 계산한 결과는 Table.11과 같으며, 파압을 적용한 경우나 뒷채움 매립토압을 적용한 경우 모두

Table 9. Stability analysis of main body.

distribution		sliding	overturning	straight sliding	remark
wave	wave pressure	P _H =75.35t/m	M _H =408.40tm	P _H =75.35t/m	H _{1/3} =4.75m μ=0.70
	body weight	P _V =139.64t/m	M _V =689.29tm	P _V =148.64t/m	
	safety factor(FS)	1.30	3.33	1.05	FS ≥ 1.20(OK)
soil	soil+water pressure	P _H =27.37t/m	M _H =77.27tm	P _H =27.37t/m	soil pressure μ=0.60
	weight+pressure	P _V =91.54t/m	M _V =301.81tm	P _V =91.54t/m	
	safety factor(FS)	2.01	3.91	1.69	FS ≥ 1.20(OK)
contact pressure		q _{max} =23.57t/m ² ≤ q _{all} =40.00t/m ²			(OK)

파압과 토압을 받는 호안구조물의 안정해석에 관한 연구

최소안전율인 (FS≥1.30)으로 안정성을 나타냈다.

Table 10. Increased strength of clay layer by consolidation.

distribution	U=90%		U=100%	
	center	end	center	end
C'(t/m ²)				
clay1	2.475	0.486	2.570	0.540
clay2	1.645	0.681	1.828	0.756

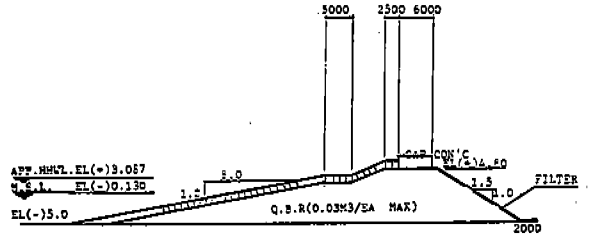


Fig. 3. Section type of inclined revetment with rubble stone.

Table 11. Stability analysis on circle sliding & bearing capacity.

safety factor(FS)	wave	soil	remark
circle sliding	1.45	1.32	FS ≥ 1.30(OK)
bearing capacity		1.70	(OK)

사석 경사제

① 단면개요

Fig.3과 같은 호안단면의 안정검토에서 호안의 천단고는 (1)식 및 (2)식에 의해 EL(+)-7.00m로 한다. 피복재는 콘크리트블럭 대신 소요중량이 (5)식에 의해 2.46t인 사석(피복석)을 사용하며, 사석의 크기는 최대 1.0m³/ea 급 정도로 하며, 사면의 허용경사도는 (1 : 8)로 한다. 또 파고는 H1/3=4.75m를 적용하고, 허용율파량은 0.033m³/sec·m를 적용한다.

② 안정검토

호안단면의 상치콘크리트와 직선사면활동 및 천도에 대한 안정검토에서 안전율을 (10)식과 (11)식에 의해 계산한 결과 Table.12와 같으며, 모두 최소 안전율인 (FS≥1.20)으로 안정함을 나타내고 있으며, 파압의 경우보다 매립토압의 경우에 더욱 현저함을 나타내어 완만한 사면경사가 안정효과에 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이는 단면폭의 증가와 자중의 감소로 인하여 지반의 강도를 증가시키는 것에 기인한다고 사료된다.

제체의 원호활동에 대한 안정검토에서는 제체로부터의 압력으로 인한 점토층의 강도증가를 고려해야 하며, (18)식에 의한 점토층의 증가된 강도는 Table.13과 같다.

제체의 원호활동파괴에 대한 안전율을 (19)식에 의해서 계산한 결과는 Table.14와 같으며, 파압을 적용한 경우나 배면 매립토압을 적용한 경우 모두 최소안전율인 (FS≥1.30)으로 안정함을 나타냈으며,

Table 12. Stability analysis of main body.

	distribution	cap sliding	overturning	straight sliding	remark
wave	wave pressure	P _H =7.34t/m	M _H =11.01tm/m	P _H =7.34t/m	μ=0.60, f=0.80 α=24.30°
	body weight	P _H =17.16t/m	M _V =51.48tm/m	P _H =51.46t/m	
	safety factor(FS)	1.40	4.68	1.26	FS ≥ 1.20(OK)
soil	soil pressure	P _H =4.11t/m	M _H =4.52tm/m	P _H =4.11t/m	μ=0.60, f=0.80 α=6.76°
	body weight	P _V =22.56t/m	M _V =112.8tm/m	P _V =227.96t/m	
	safety factor(FS)	3.29	24.96	5.85	FS ≥ 1.20(OK)
bearing capacity		q _{max} =7.90t/m ² ≤ q _{all} =40.00t/m ²			(OK)

안중필

경사제의 경우 재하면적의 증가와 자중의 감소로 인한 하중분산이 크게 되어 지반반력이 작아지므로 지반지지력에 대한 안정검토는 무의미하므로 하지 않는 것이 보통이지만, (15)식에 의해서 검토하면 안전함을 나타내고 있다.

Table 13. Increased strength of clay layer by consolidation.

distribution	U=90%		U=100%	
	center	end	center	end
C' (t/m ²)				
clay1	2.631	0.302	2.923	0.336
clay2	2.191	0.427	2.435	0.475

Table 14. Stability analysis on circle sliding & bearing capacity.

safety factor(FS)	wave	soil	remark
circle sliding	3.64	2.36	FS ≥ 1.30(OK)
bearing capacity		5.06	(OK)

Cell블럭 혼성제

① 단면개요

Fig.4와 같은 호안단면의 안정해석에서 호안의 천단고는 (1)식과 (2)식에 의해 EL(+8.50m)로 하고, Cell블럭을 7층으로 쌓는 것으로 하며, 근고사석은 (6)식에 의하여 소요중량이 3.04t인 1.0m³/ea 급을

사용한다. 또 설계파고는 H_{1/3}=4.75m를 적용하고, 허용월파량은 0.047m³/sec·m로 가정한다.

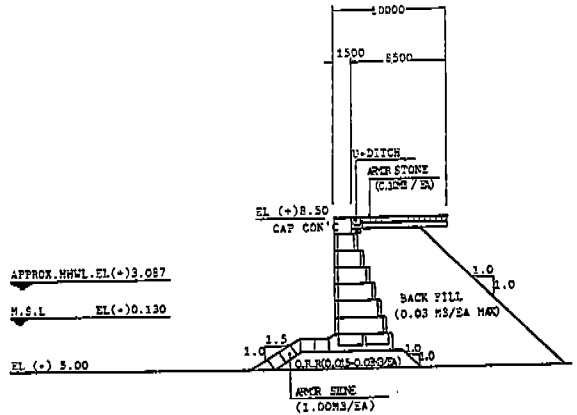


Fig. 4. Section type of vertical revetment with Cell block.

② 안정검토

호안단면의 안정검토에서 상치콘크리트와 직선 사면활동 및 전도에 대한 안전율을 계산한 결과는 Table.15와 같으며, (FS ≥ 1.20)으로 안정함을 나타내며, 파압의 경우보다 매립토압을 적용한 경우에 더 큰 안정성을 나타내고 있으며, 지반반력의 검토에서도 허용지지력 이하로 안정함을 나타내었다.

원호활동에 대한 안정검토의 경우에는 체체로부터의 압력에 의한 점토지반의 강도증가를 고려해야 하며, (18)식에 의한 점토층의 증가된 강도는 Table.16과 같다.

Table 15. Stability analysis of main body.

	distribution	cap sliding	overturning	straight sliding	remark
wave	wave pressure	P _H =70.44t/m	M _H =422.64tm	P _H =70.44t/m	H _{1/3} =4.75m μ=0.70
	body weight	P _H =155.22t/m	M _H =607.16tm	P _V =161.22t/m	
	safety factor(FS)	1.54	1.44	1.18	
soil	soil+water pressure	P _H =35.87t/m	M _H =80.95tm	P _H =35.87t/m	soil pressure μ=0.60
	weight+soil pressure	P _V =103.65t/m	M _V =197.80tm	P _V =103.65t/m	
	safety factor(FS)	1.73	2.44	1.52	FS ≥ 1.20(OK)
contact pressure		q _{max} =37.25t/m ² ≤ q _{all} =40.00t/m ²			(OK)

Table 16. Increased strength of clay layer by consolidation.

distribution	U=90%		U=100%	
	center	end	center	end
C'(t/m ²)				
clay1	1.988	0.612	2.209	0.680
clay2	1.342	0.572	1.491	0.636

제체의 원호활동에 대한 안정검토에 대한 안전율을 (19)식에 의해 계산한 결과는 Table.17과 같으며, 파압을 적용한 경우나 매립토압을 적용한 경우 모두 최소안전율인 (FS≥1.30)으로 안정함을 나타냈다.

Table 17. Stability analysis on circle sliding & bearing capacity.

safety factor(FS)	wave	soil	remark
circle sliding	1.37	1.31	FS≥1.30(OK)
bearing capacity	1.07		(OK)

Table 18. Results of stability analysis on each revetment section.

safety factor(FS)		Rubble type	T.T.P type	Igloo type	Cell type
cap concrete	wave	1.40	1.40	1.30	1.54
	soil	3.29	5.52	2.01	1.73
straight sliding	wave	1.26	1.24	1.05	1.18
	soil	5.85	2.20	1.69	1.52
circle sliding	wave	3.64	1.37	1.45	1.37
	soil	2.36	1.36	1.32	1.31
overturning	wave	4.68	3.14	1.69	1.44
	soil	24.96	41.22	3.91	2.44
bearing capacity		5.06	3.24	1.70	1.07

Table 19. Increased strength center soil in main body by consolidation.

C'(t/m ²)	T.T.P. type	Igloo type	Rubble type	Cell type
clay1	2.750	2.570	2.923	2.209
clay2	2.327	1.828	2.435	1.491

결과분석 및 고찰

연약지반상에 설치된 호안구조물의 설계에 있어서 제체의 안정성의 확보는 호안단면의 선정에 의한 안정해석시 충분한 검토가 이루어져야 한다. 특히 제체의 측방유동에 의한 소성변형의 가능성은 항상 내재되어 있기 때문에 충분한 안전율을 갖는 설계가 필요하다. 본 연구에서는 경사호안과 직립호안의 4가지 유형의 호안단면에 대해 유사한 해석조건을 부여하고 안정해석을 수행하여 보았다. 다만 현재로서는 사석 등의 소요증량의 산정시에 정확한 신뢰성의 검증이 없는 상태로 적용되어 지고 있는 실정이므로 이 점은 차후 보완되어 져야 할 것으로 사료된다.

또한 사석 경사제와 T.T.P.피복 경사제에 대한 안전율은 소요증량의 계산시에 Hudson공식에 의해 결정하여 검토하였으며, 소파블럭 혼성제와 Cell블럭 혼성제에 대한 안전율은 소요증량의 계산시에 Brebner & Donnelly의 실험식에 의해 결정하여 검토하였다(건설부 1971, 해운항만청 1993).

이상과 같은 조건에서 각각의 호안단면에 대하여 안정해석 및 지반의 강도증가의 효과에 대하여

검토한 결과를 나타내면 Table.18 및 Table.19와 같다.

상치(cap)콘크리트의 활동성(sliding)에 대한 안정검토에서 파압이나 토압을 받을 경우 모두 최소 안전을 이상인 (1.30~5.52)의 범위로 T.T.P피복 경사제의 안전율이 가장 큰 반면 그 다음이 사석 경사제이었으며, 소파블럭 혼성제와 Cell블럭 혼성제는 비슷한 경향으로 가장 작은 값을 나타냈다. 이는 경사제가 직립제보다 사면안정의 효과가 훨씬 우수하게 됨을 나타내며, 특히 강성이 큰 T.T.P에 의한 사면피복의 정도가 완만한 사면경사도에 비해 안정성에 더 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있으며, 직립제는 쇄파에 대한 위험성이 상존하고 있으며, 특히 Cell블럭 혼성제는 천단고의 증가로 인하여 파랑에 대한 안정효과가 있으며, 소파블럭 혼성제는 직립부의 폭원과 재료의 강성증가로 인하여 토압에 대한 안정효과가 있음을 나타내고 있다.

또 직선사면활동(straight sliding failure)에 대한 안정성은 파압이나 토압의 경우 모두 최소안전을 이상인 (1.05~5.85)의 범위로 사석 경사제가 가장 크고, 그 다음이 T.T.P피복 경사제, 그리고 소파블럭 혼성제와 Cell블럭 혼성제는 비슷한 경향으로 가장 작은 값을 나타내었으며, 역시 경사제가 직립제보다 사면안정의 효과가 아주 우수하게 됨을 알 수 있다. 특히 사석제가 T.T.P피복제에 비하여 직선사면안정의 효과가 훨씬 큰 것은 T.T.P블럭의 피복재료의 강성보다 사면경사를 완만하게 함으로써 전단파괴면의 길이의 증가에 따른 전단저항의 증가에 기인한 것으로 생각되며, 직선사면활동에는 사면경사도가 피복재료의 강성보다 더 큰 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다. 또한 직립제는 큰 쇄파압이 작용할 경우에 제체에 대한 붕괴 위험성이 상존하고 있음을 알 수 있으며, Cell블럭제는 천단고와 설치폭의 점진적인 증가로 인하여 파압에 대한 안정효과를 보이고 있는 반면, 소파블럭제는 직립부의 폭원 및 강성의 증가로 인하여 토압에 대한 안정효과가 있음을 나타내고 있다.

전도(overturning)에 대한 안정성은 파압 및 토압의 경우 모두 최소안전을 이상인 (1.44~41.22)의 범위로 사석경사제와 T.T.P피복 경사제가 비슷한 경향으로 가장 큰 값을 나타냈으며, 소파블럭 혼성

제, Cell블럭 혼성제의 순서로 작은 값을 나타내고 있다. 이는 역시 경사제가 직립제보다 전도에 대한 안정성이 훨씬 크게 되며, 제체의 강성과 사면의 경사도가 안정효과에 큰 영향을 미치게 되며 그 효과는 서로 유사함을 알 수 있다. 또한 직립제에서 소파블럭제가 Cell블럭제보다 더 큰 값을 나타낸 것은 직립부의 폭원 및 강성의 차이에 큰 영향을 받는 것으로 사료된다.

원호활동파괴(circle sliding failure)에 대한 안정성은 파압 및 토압을 고려하였을 경우에 모두 최소 안전을 이상인 (1.31~3.64)의 범위로 그 중 사석 경사제가 가장 큰 값을 나타내고, T.T.P피복 경사제와 소파블럭 혼성제 및 Cell블럭 혼성제는 서로 비슷한 경향을 나타내고 있다. 이는 사석제가 재하면적의 증가에 따라 지반반력의 감소로 인하여 지반의 안정성을 증가시키는 것에 기인함을 나타내며, 다른 세형식은 설치폭의 감소와 제체자중의 집중화 및 편심화에 의한 지반의 불안정성에 기인함을 알 수 있으며, 원호활동파괴에 대해서는 재하면적의 증가와 자중의 경량화에 의한 지반반력의 감소와 지반의 강도증가에 있음을 알 수 있다.

호안구조물의 자중에 의한 지반의 강도증가(increase of strength)에 대한 효과는 사석 경사제, T.T.P피복 경사제, 소파블럭 혼성제, Cell블럭 혼성제의 순서로 증가량이 작게 나타났으며, 이는 사면의 경사도가 완만하고 하중분산의 정도가 증가할수록 지반의 강도증가도 크게 되어 지반의 안정성이 증가하는 것으로 사료된다.

지반의 지지력(bearing capacity)에 대한 안정검토에서는 모두 최소안전을 이상인 (1.07~5.06)의 범위로 사석 경사제가 가장 크고 다음이 T.T.P피복 경사제, 그리고 소파블럭 혼성제 및 Cell블럭 혼성제의 순서로 작은 값을 나타내고 있다. 특히 경사제는 직립제에 비하여 월등한 안정효과를 나타내고 있으며 또한 사석제가 T.T.P피복제에 비하여 더 큰 안정효과를 나타낸 것은 호안재료의 강성증가보다 구조폭의 증가에 따른 자중의 분산정도 및 지반의 강도증가에 크게 영향받고 있음을 알 수 있다. 또한 직립제에서 소파블럭제가 Cell블럭제보다 안정효과가 큰 것은 역시 설치폭과 강성의 증가에 따른 하중분산의 효과에 기인한 것으로 사료된다.

결 론

본 연구에서는 호안구조물의 단면설계에 있어서 사석 경사제, T.T.P피복 경사제, 소파블럭 혼성제 및 Cell블럭 혼성제에 대한 안정해석을 유사한 해석조건 아래에서 실시하고, 기존의 연구자료 및 시공사례 등을 근거로 하여 안정성, 설계조건 및 시공조건 그리고 경제성 등을 고려하여 비교 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

가. 경사제는 지반요철이나 연약지반에의 순응성이 양호한 반면, 직립제는 지반지력력의 확보가 불리하고 지반의 상태에 크게 영향을 받게 되며, 소파효과 및 월파의 저지효과는 경사제가 양호한 반면, 심해에서의 안정성은 혼성제가 유리하다.

나. 상치콘크리트의 활동에 대한 안정성은 T.T.P 피복 경사제가 가장 크고, 사석 경사제가 그 다음, Cell블럭 직립제와 소파블럭 직립제는 비슷한 경향으로 가장 작은 값을 나타내어, 경사제의 안정성이 우수하며, 특히 피복제의 강성과 사면경사에 크게 영향을 받는다.

다. 직선사면활동에 대한 안정성은 사석 경사제가 가장 크고, T.T.P피복 경사제가 그 다음, 소파블럭 혼성제와 Cell블럭 직립제는 비슷한 경향으로 가장 작은 값을 나타내어, 경사제가 혼성제보다 안정성이 우수하며, 역시 사면의 경사도와 피복제의 강성에 크게 영향을 받으며, 소파블럭제는 파랑에 대한 위험성이 상존함을 나타낸다.

라. 전도에 대한 안정성은 사석 경사제와 T.T.P 피복 경사제가 비슷한 경향으로 가장 큰 반면, 소파블럭 혼성제, Cell블럭 혼성제의 순서로 작은 값을 나타내어, 경사제가 직립제보다 안정성이 크며 특히 사면경사와 피복제의 강성의 안정효과가 비슷함을 알 수 있다.

마. 원호활동파괴에 대한 안정성은 사석 경사제가 가장 큰 반면 T.T.P피복 경사제와 소파블럭 혼성제 및 Cell블럭 혼성제는 비슷한 경향을 나타내어, 경사제가 직립제보다 더 큰 안정성을 나타내어 사면의 경사도에 큰 영향을 받고 있으며, 피복제의 강성이나 설치폭의 증가에는 별로 영향받지 않는다.

바. 지반지력력과 강도증가에 대한 안정성은 사석 경사제, T.T.P피복 경사제, 소파블럭 혼성제,

Cell 블럭 혼성제의 순으로 작은 값을 나타내어 경사제가 혼성제보다 큰 안정성을 나타내며, 단면적과 사면경사, 피복제의 강성 및 자중의 분산정도에 크게 영향을 받는다.

사 사

이 논문은 1994년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었으며, 본 연구기간 동안 협조해준 조선대학교 대학원 토목공학과 박주원군에게 감사한다.

참 고 문 헌

강재순, 1995, 기초구조물의 해석과 설계, 엔지니어즈, 137-205.

건설부, 1986, 구조물기초 설계기준 해설, 한국지반공학회, 353-460.

건설부, 1971, 외곽시설, 항만설계기준, 건설부, 32-258, 341-397.

김남형, 1994, 방파제 및 호안의 설계, 항만구조물의 내파설계, 구미서관, 51-166.

대한기술단, 1996, 명천항 기본계획 실시설계 보고서.

동아기술공사, 1995, 중마 공유수면 매립공사 실시설계 보고서.

박의환, 1987, 경사 방파제의 단면안정에 관한 연구.

안종필·박종호, 1996, 우리나라 서남해안지역 해성점토의 지반특성, 생산기술연구, 조선대학교 생산기술연구소, Vol.18, No.1, 289-320.

임종철·신민호·박영목·장용채·양태선·박춘식·전성곤·류연택·고용일·류기송·김화중·박승진·김찬기·박홍규·장정욱·권무남·정귀석·도덕현, 1995, 토질공학 핸드북, 항만·해안 및 해양구조물, 새론, 1387-1477.

포항제철, 1982, 광양제철소 부지조성공사 설계 보고서.

한국지반공학회, 1995, 사면안정(지반공학 시리즈5), 한국지반공학회, 27-121.

해운항만청, 1993, 항만시설물 설계기준서(상권), 해

안종필

- 운항만청, 51-184, 232-282.
- 해운항만청, 1993, 항만시설물 설계기준서(하권), 해운항만청, 4-42.
- 合田良實·岸良安治, 1975, 不規則波에 따른 防波護岸 越波流量的 實驗的 研究, Vol.14, No.4, 3-44.
- Brebner, A. and Donnelly, D., 1962, Laboratory study of rubble foundations for vertical breakwaters, Proc. of 8th conference in coastal engineering, New Maxico City, 408-429.
- Janbu, N., 1957, Earth pressures & bearing calculations by generalized procedure of slices, Proc. of 4th International conference, S.M.F.E, Vol.2, 207-212.
- Meyerhof, G.G., 1953, The bearing capacity of foundations under eccentric & inclined loads, Pro c. of 3rd international conference, S.M.F.E, Vol.1, 440-445.

- Oda, Y., 1969, Reanalysis of laboratory data on wave transmission over breakwater, Rept. PHRI, Vol.8, 56-75.
- US.Army Coastal Engineering Research Center, 1985, Shore protection manual, Planning and design, U.S. Government Printing Office, 56-97.

안종필

조선대학교 공과대학 토목공학과
광주광역시 동구 서석동 375번지 501 - 759
TEL : (062) 230-7086, 672-9460
FAX : (062) 230-7083