

PSR공법의 설계·시공

하에도마리어항 경사판식방파제

〈南風泊〉

〈외지에서〉

본고는 「시공기술참고자료」는 수산토목기술자의 기술력 향상과 어항관계 각 사업의 원활한 수행에 기여할 것을 목적으로 도도부현과 시정촌 등에서 시공된 기술적으로 가치 있는 것에 대하여 신공법, 창의 연구 등 구체적인 사례를 정리하여 소개하는 것으로 일본 전국어항협회가 발간한 '수산토목기술자를 위한 시공기술참고자료' 제15호에서 발췌, 게재했다 <편집자 주>

서 언

나가사키(長崎)현 다카시마(高島)정, 나가사키시의 앞바다 약 15km에 위치하고, 明治 이래 석탄채굴을 기간산업으로 하여 발전하여 온 정(町)인데 1986년 11월의 폐산이후는 '석탄을 생선으로 바꾸어서 섬 일으키기'를 캐치프레이즈로 하여 마리노베이션 거점어항 어촌종합정비계획을 책정하여 풍부한 해양자원에 혜택을 받은 섬의 특성을 활용한 수산업의 진흥, 관광 레크리에이션의 진흥을 도모해왔다. 본고에서 보

고하는 하에도마리 어항 서쪽 방파제도 이 마리노베이션계획의 일환으로 정비되는 것이고, 배후수면의 유효활용에 배려하여 해수교환성이 뛰어난 경사판식방파제(Pile Supported Reef공법)를 채택하였다.

PSR공법은 ①제체에 작용하는 수평파력이 작다. ②연약지반에서의 지반개량이 불필요하다. ③해수교환성이 뛰어나다. ④반사파가 작은 등의 특징을 갖는 신형식의 방파제로서 개발되어 이때까지 북해도 아바시리(網走)시 요비토(呼人)어항, 야마구치(山口)현

도쿠야마(徳山)시 오쓰시마(大津島)어항 등의 내만, 내해로서 비교적 온화한 해상조건이고 연약층이 두터운 장소에서의 방파제로 채용되어 왔다. 근래, 환경보전의 관점에서 어항이나 항만의 정비에 있어서 항내의 수질보전이 중요시되어 있고, 또 어항에 있어서는 항내에서의 어류의 중간육성이나 방파제 배후에서의 양식 등의 수요도 높아지고 잠제에 구멍 있는 방파제 등 해수교환에 주안을 둔 노력이 각지에서 이루어지고 있다. 하에도마리 어항의 서쪽 방파제는 외양에

면한 일선 방파제이고 이때까지 PSR공법이 적용되었던 해역에 비하여 장주기(長周期), 고파랑등 냉엄한 해상조건이지만, 수산청수산공학연구소, (재)어항어촌건설기술연구소 등의 협력을 얻어 수리모형실험·검토를 거듭하여 안전하고도 경제적인 방파제 단면의 설계가 실현되었다. 1997년도부터 체제자켓의 제작, 1998년 5월부터 거치공사를 실시하고 있고, 1998년도중에 63.5m가 완성되었다. 본고에서는 그 설계와 시공내용에 대하여 보고한다.

사업의 개요

하에도마리어항의 서앞바다

방파제는 수심 약 20m에 건설되는 전장 250m의 앞바다 방파제이고 서측 110m에 경사판식방파제(PSR공법)를 채택하였다. 동측 140m는 슬릿이 붙은 케이슨과 사석마운드의 혼성제이다. 방파제 단면의 선정에 있어서는 소파공부케이슨식 혼성제, 슬릿이 붙은 케이슨식 혼성제, PSR에 대하여 경제성을 비교하여 슬릿이 붙은 케이슨식 혼성제 및 PSR이 소파공부 케이슨식 혼성제보다도 약 18% 경제적이라고 판단되었다. 배치에 대하여는 갯바위 낚시공원과의 연휴를 고려한 이용면에서 동측을 슬릿부 케이슨식으로 하고 또 배후수역의 양식수면으로서의 이용면에서 서측에 해수

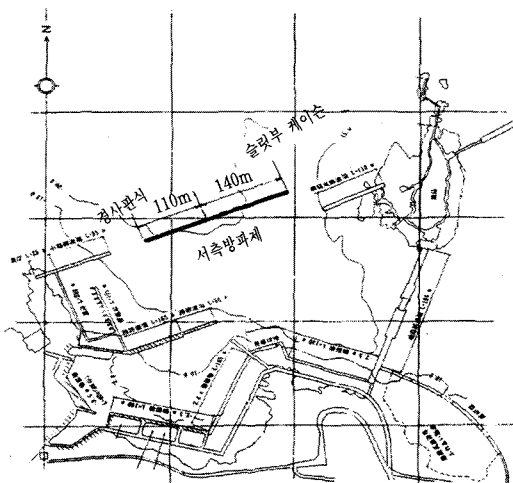
교환이 뛰어난 PSR을 채용하기로 하였다. <그림-1>에서 앞바다 방파제의 배치도를 제시한다. 또, <그림-2>에 하에도마리어항에서 채택한 경사판식방파제의 개요도를 제시한다.

경사판식 방파제는 2기의 자켓(jacket)(J 1자켓 63.5m, J 2자켓 46.5m)로 구성된다. 방파제 각부의 주요수량을 <표-1>에 제시한다.

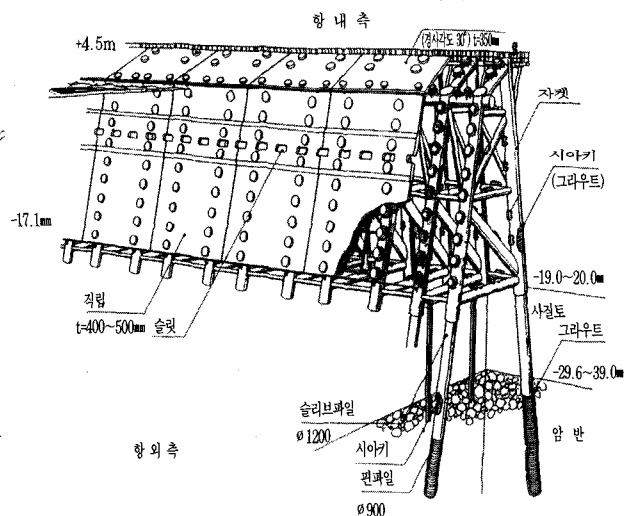
설계

설계조건

본방파제의 설계조건은 수심 20m, 조위차 3.3m, 구조설계과는 30년 확률파이고, 파고 $H1/3=5.5m$, 주기 $T1/3=$



<그림-1> 서측 방파제 배치도



<그림-2> 경사판식 방파제 개요도

〈표-1〉 하에도마리어항 경사판식 방파제 주요수량

	J 1자켓	J 2자켓
제체자켓 연장 중량	63.5m 900t	46.5m 700t
슬리브(Sleeve) 파일	20개 540t	16개 370t
핀파일	20개 165t	16개 180t
경사판	5매 152m ²	4매 113m ²
직립판	5매 420m ²	4매 335m ²

성인 파랑이고, 소요전달률을 얻기 위하여는 수심 미터에 이르는 경사판폭이 필요하게 되어 구조도 거대하게 된다. 이 때문에 해면부근의 경사판에 더하여 해중부에 직립판을 설치하는 개량을 하여 그 적용성을 수리실험에 의하여 검토하였다.

15.2초이다. 소요전달률은 30년 확률파에 대하여 0.5, 1년 확률파에 대하여는 0.4이다. 지반조건은 해저면에서 GL-19m까지가 N치 13~18의 모래층 GL-19이상 깊이는 사암층이다. 설계조건의 일람을 〈표-2〉에 제시한다.

수리모형실험
경사판식 방파제는 해면부근에 설치된 경사판으로 파랑을 제한하는 구조이며, 수심과 파장의 비(h/L)가 0.3정도의 내만, 내해에서 종래 이용되어 왔다. 본 방파제의 해상은 수심파장비가 0.15정도의 해양

1) 실험방법

축률 1/20의 모형을 사용하여 2차원 조파수조(길이 68m, 폭 2.5m, 수심 1.0m)에 있어서 파랑전달특성실험 및 파력특성실험을 하였다. 모형의 설치상황은 〈그림-3〉에 보이는 바와같이 수로상에 고정된 강관제 지시가대에 로드

〈표-2〉 설계조건일람

수 심	20m			
조 위	H. W. L. DL+3.3m, L. W. L. DL+0.0m			
내 용 년 수	30년			
파 랑 조 건		유의파고	유의파주기	소요전달률
		H 1/3	T 1/3	K t
	30년 확률파	5.5m	15.2초	0.5
	1년 확률파	2.6m	11.2초	0.4
지 반 조 건	표 고		토 질 조 건	
	DL-20.0m~-21.5m		세굴을 고려 N=0	
	DL-21.5m~-32.5m		사층 N=13.55	
	DL-32.5m~-39.0m		사층 N=18.24	
	DL-39.0m~		사암층 N>50	

셀을 개재하여 경사판모델을 고정하였다. 경사판모델은 해면부근에서 수평면과 30도의 경사각을 이루는 「경사판모델」과 해중부에서 연직면과 14도의 경사각을 이루는 「직립판모델」로 구성된다.

전달특성실험은 불규칙파를 이용하여 방파제 바다측, 기슭 쪽에 각각 2대 설치한 파고계에 의하여 전달률을 계측하였다. 파력특성실험은 최대파고 상당의 규칙파를 이용해서 행하고 경사판모델의 3개소, 직립판모델 8개소에 부착한 로드셀(load cell)에 의하여 파력을 계측하는 동시에 경사판 표리면에 부착한 파압계에 의하여 5개소의 수위레벨에 대하여 파압을 계측하였다.

경사판모델의 경사각도는 출어한계파고시의 파가 판상에서 쇄파하고 반사파를 저감할

수 있도록 30도로 하고 있다. 직립판은 자켓의 레그에 부착되므로 강관말뚝이 무리없이 타설할 수 있는 범위의 경사각으로서 1:4(76도)의 경사각으로 하였다. 직립판에는 해수교환의 촉진과 직립판에의 충격적 파압을 피할 목적으로 슬릿을 배치하고 있다. 경사판의 폭, 직립판의 몰수심도, 슬릿의 위치, 크기 등은 모두 설계조건의 소요전달률을 만족하고 방파제에 작용하는 파력이 최소가 되도록 모형의 형상을 변화시켜 결정하였다.

2) 실험결과

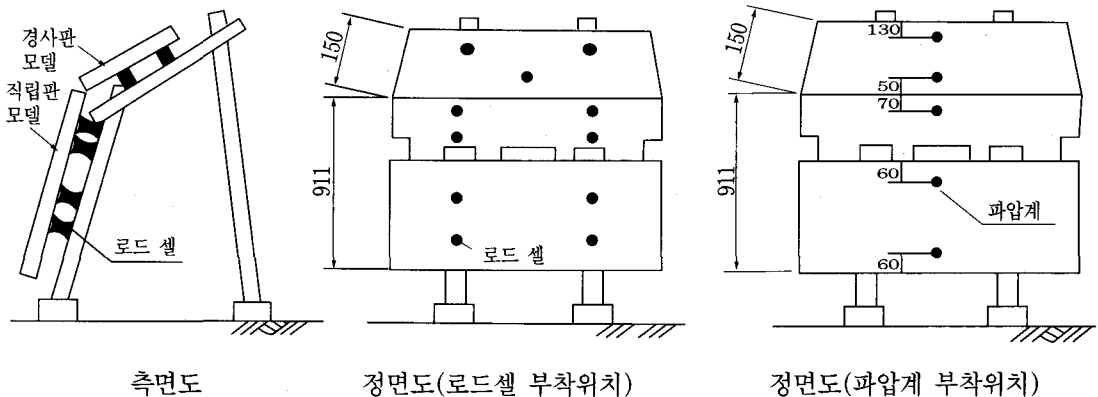
① 파랑전달특성

〈그림-4〉는 직립판을 설치하지 않는 종래의 경사판식 방파제의 전달특성의 그래프에 금회직립판을 배치하는 개량을 가한 전달특성의 값을 플롯

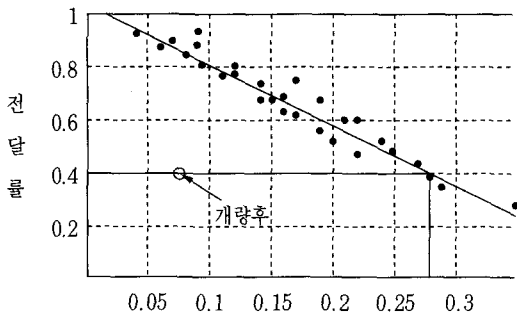
(plot)한 것이다. 종래형의 경우 소요전달률(0.4)을 충족시키는데는 B/L이 0.28이고 제체폭은 약 40m 필요하게 된다. 한편, 금회 얻어진 단면의 제체폭은 10.6m이고 개량에 의하여 대폭적으로 경제적인 구조가 얻어졌다.

② 파력특성

〈그림-5〉는 실험으로 얻어진 파압의 수심방향분포를 나타낸 것이다. 참조치로서 직립벽에 작용하는 파압분포를 파선으로 제시하였다. 파압의 적분치인 수평파력은 93tf/m이고 직립벽의 수평파력(179tf/m)의 52%로 되어 있다. 이와같이 수평파력을 대폭으로 저감할 수 있었던 이유로서 소요전달률이 0.5이고 마루가 낮아졌다는 것, 또 해면부근의 경사판에 의하여 파압의 수평성분이 작아졌다는 것을 들 수 있다.

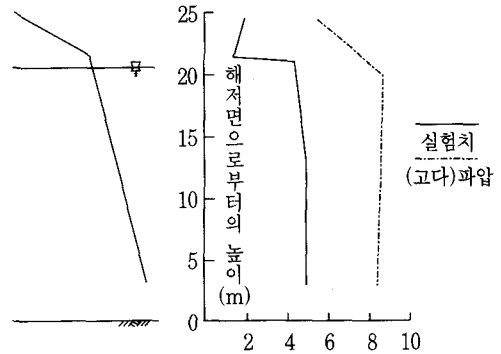


〈그림-3〉 수리모형과 설치상황



제체폭 B와 파장L의 비 (B/L)

〈그림-4〉 파랑전달특성



모형형태

파압강도(t/m)

〈그림-5〉 파력특성

구조개요

방파제의 구조는 〈그림-2〉의 개요도에 보이는 바와같이 방파판, 제체자켓 및 강관말뚝으로 구성된다. 방파판은 해면부근의 경사판(경사각도 30도)과 해중부의 직립판(경사각도 76도)으로 구성되며, 경사판은 두께 35cm, 폭 7m, 직립판은 두께 40cm 폭 18.15m의 철골철근 콘크리트판이다. 제체자켓은 경사각도 1:4의 레그(Ø1320)와 그것을 잇는 강관트러스로 구성되어 있다. 강관말뚝은 레그마루에서 암반면까지 근입되는 슬리브파일(Ø1200)과 슬리브파일 내부에서 암반중으로 7m에서 19m 근입되는 핀파일(Ø900)로 구성된다. 방파판, 자켓, 강관말뚝은 각각 공장에서 제

작되어 현장에서 일체화된다.

설계방법

1) 제체자켓 및 강관말뚝의 설계

제체자켓과 강관말뚝은 일체화된 3차원 골조구조모델로 해석한다. 수리모형실험에서 얻어진 파력(압파, 인파)을 방파판 접합부에 집중하중으로서 재하하고 각 부재의 발생응력이 허용응력내가 되도록 부재단면을 결정하였다. 자켓의 강관트러스 격점용접이음매부는 API(미국석유협회)의 지침RP-2A에 따라 압발전단내력의 조사를 하고 있다. 강관말뚝 토중부의 횡방향 지반스프링은 전국어항협회의 어항구조물표준설계법(1990년)에 따라 선형스프링(횡방향

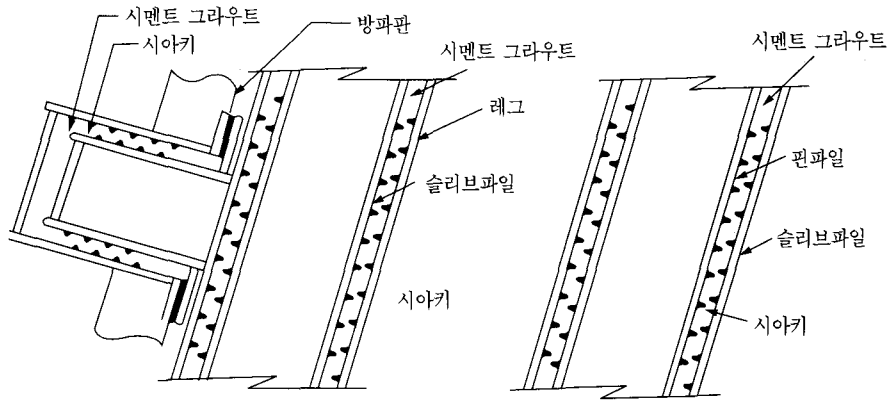
지반반력계수 $K_h = 0.15N$)으로 하였다. 또, 말뚝 선단은 편지지로 하였다. 기타 시공시의 검토로서 자켓을 달 때, 가수시, 수송시의 검토를 하고 있다.

2) 방파판의 설계

방파판은 자켓에의 부착부로 지지된 판으로서 단면력을 구하고 콘크리트 표준시방서에 따라서 설계하였다. 또 자켓과 같이 시공시의 검토로서 매다는 검토를 하고 있다.

3) 방파판 자켓-강관말뚝 접합부의 설계

방파판과 자켓, 자켓과 슬리브파일 및 슬리브파일과 핀파일의 접합은 모두 2중관의 틈새에 시멘트 그라우트를 충전하고 그 부착력과 변형방지(시



〈그림-6〉 시아키 접합개념도

아키)에 의하여 일체화하는 시아키 접합법으로 설계되어 있다. 시아키 접합의 허용부착력은 API의 RP-2A등으로 규정되어 있는 것을 참조하였다. 〈그림-6〉에 시아키 접합의 개념도를 제시한다.

4) 방식설계

방파제등 연안역의 시설에 강관구조를 적용할 경우 특히 유지관리면에서 방식설계가 중요하다. 본 방파제에서는 간만대(DL-1.0m)이상의 범위에 스테인레스 라이닝과 중방식도장을 적용하였다. 중방식도장은 동경만항단도로나 관서국제공항연락교등에서 실적이 있는 초후막형 에폭시 수지도장(2300 μ)을 적용하였다. 간만대 이하의 범위는 알루미늄 양극에 의한 전기방식을 적용하였다.

시공방법

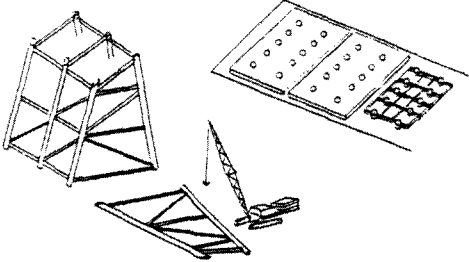
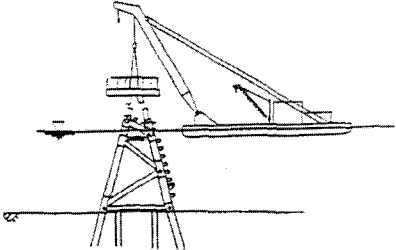
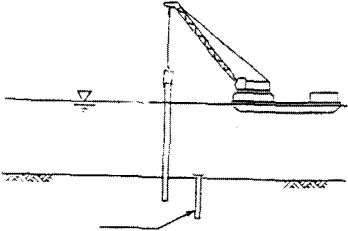
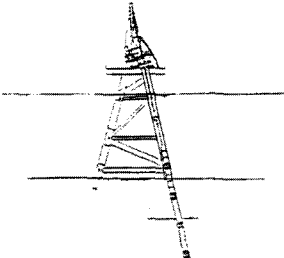
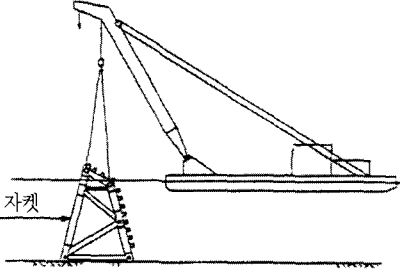
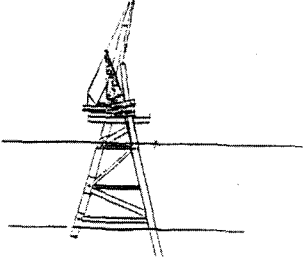
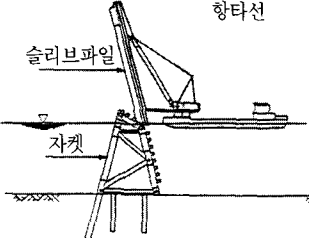
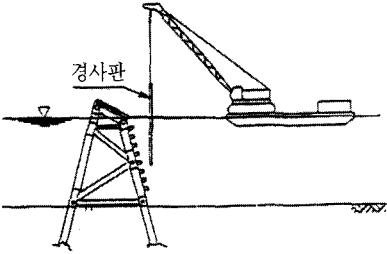
〈그림-7〉에 본 방파제의 시공흐름을 도시한다. 공장에서 제작된 자켓은 공장해역까지 대선으로 수송되고 미리 타설된 가수말뚝위에 기중기선으로 설치한다. 자켓설치후 슬리브파일을 타설하여 자켓의 레그와 슬리브파일의 틈새에 그라우트를 충전한다. 그 후 슬리브파일 상단을 소정의 레벨로 절단하고 착공을 위한 가설가대를 탑재한다. 가대상에 착공기와 클롤러 크레인을 탑재하여 착공 및 편파일의 타입을 한다. 모든 착공과 편파일의 타입이 끝나면 가대를 철거하고 최후에 방파판을 기중기선으로 설치한다.

본 방파제는 1997년도부터 1999년도에 걸쳐서 자켓, 방파판, 강관말뚝의 제작, 자켓

의 거치가 순차로 실시된다. 〈표-3〉에 개략의 공정표를 제시한다.

자켓의 공장제작

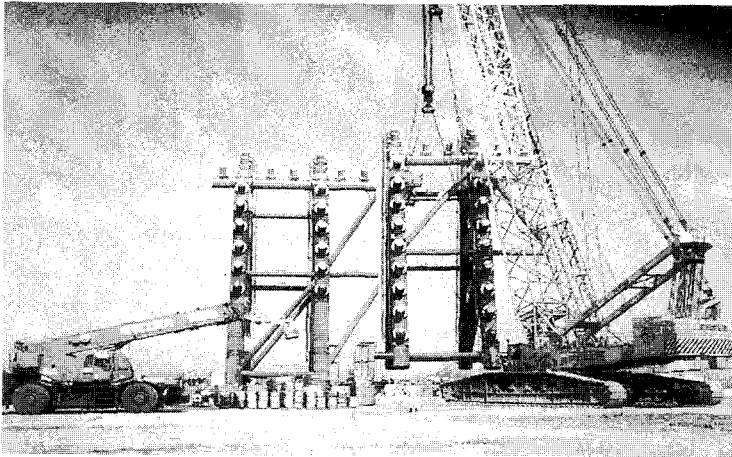
자켓의 제작에는 1000t급의 중량물을 출하할 수 있는 안벽과 자켓의 조립, 부재의 보관에 무리가 없는 넓은 야드 및 대형의 크레인이 필요하게 된다. 또 강관이음매의 용접부의 품질은 구조의 품질에 있어서 가장 중요한 점이므로 강관이음매부의 NC절단기가 불가결하다. 이들 조건을 충족하고, 또 자켓의 제작실적이 풍부한 공장으로서 이번은 키타규슈시의 공장에서 제작하기로 하였다. 제작은 1997년 9월에 발주하여 1998년 3월에 완공하였다. 〈사진-1〉은 자켓의 공장제작상황이다.

<p>1. 자켓, 방파판등의 제작</p> 	<p>5. 착공 가대의 탑재</p> 
<p>2. 가수말뚝의 타설</p> 	<p>6. 착공공</p> 
<p>3. 자켓의 거치</p>  <p>자켓</p>	<p>7. 편파일의 타입</p> 
<p>4. 슬리브 파일의 타설</p>  <p>항타선</p> <p>슬리브파일</p> <p>자켓</p>	<p>8. 방파판의 부착</p>  <p>경사판</p>

〈그림-7〉 시공흐름

〈표-3〉 하에도마리 어항 서쪽 방파제 (경사판식) 시공공정표

공종	연도		
	1997년도	1998년도	1999년도
자켓제작	J1	J2	
강관말뚝제작		J1	J2
방파판제작		J1	J2
자켓 거치		J1	J2
강관말뚝타설		J1	J2
착공공		J1	J2
방파판 부착		J1	J2



〈사진-1〉

가수말뚝의 타설

자켓의 거치에 앞서 가수말뚝(H-400)을 해저에 타설한다. 가수말뚝은 해저면의 경사나 요철을 흡수하고 자켓을 소정의 레벨로 거치하기 위한 받침이고 자켓 1기당 8개소 타설하였다. 타설은 바이브로해머로 하고 미리 해저에 강재의

프레임을 설치하고 이것을 템플릿(templet)으로 하여 타설 위치의 정밀도를 확보하였다.

자켓의 거치

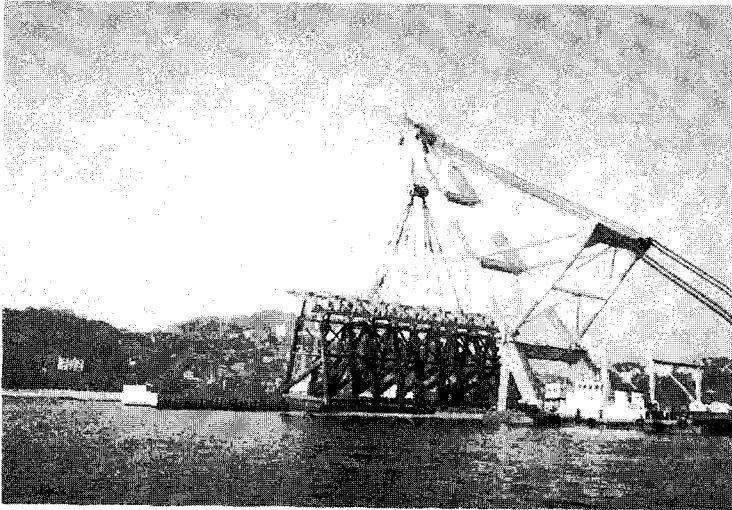
자켓의 중량은 본체강재 약 850t에 전기방식 애노드(anode) 비계, 스텝 등을 더

하여 약 910t이다. 1,300t달기 고정식 기중기선에 의하여 해상이 온화한 날을 선택하여 거치를 실시하였다. 거치는 법선방향 및 법선직각방향에서 트랜시트로 유도하는 동시에 해저의 가수말뚝위에 정확히 들어가는 것을 다이버에 의하여 확인하면서 진행시켰다. 거치의 정밀도는 법선직각방향 출입이 동측+30mm이고 정밀도가 좋게 거치가 완료하였다. 〈사진-2〉는 자켓의 거치상황이다.

슬리브 파일의 타설

슬리브 파일의 타설은 말뚝의 치수, 토질조건에서 타설능력을 검토하고 유압해머 H-150을 이용하여 실시하였다.

슬리브 파일은 공용시의 기초로서의 역할뿐만 아니라 후



〈사진-2〉

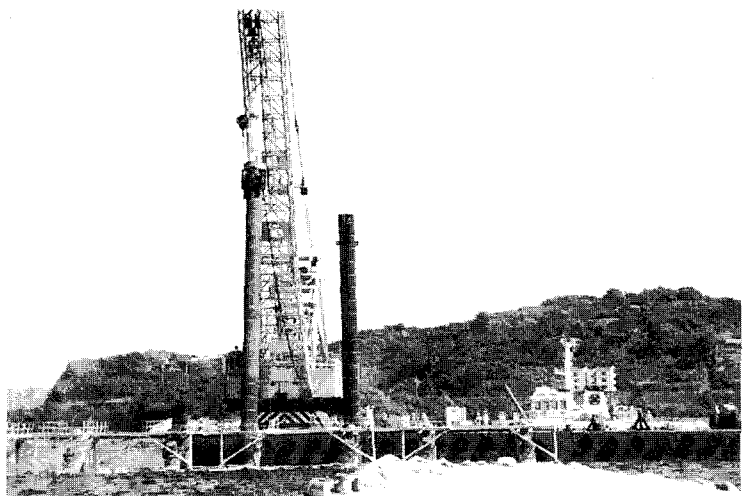
공정인 암반착공시의 공벽을 보호하는 케이싱으로서도 중요한 역할을 가지고 있다. 따라서 암반층으로 관입할때까지 단단히 타설하여야 한다. 암반에의 관입이 불충분하면 퇴적층부터 공벽이 붕괴할 위험성이 생긴다. 한편 암반에의 관입을 너무 중요시하여 말뚝 하단이 암반에 도달한 뒤에도 큰 타격 에너지를 계속 주면 말뚝 하단부가 좌굴하여 착공에 큰 지장을 초래하게 된다. 따라서 타설시에는 타격에너지, 1타격당의 관입량, 리바운드 및 타격음 등을 신중히 관리하여 일의 끝을 판단하여야 한다. 본 공사에서는 미리 조사된 보링데이터에서 1타격당의 관입량 2mm를 표준으로 하여 관리한 결과 모든 말뚝에 대하여

양호한 타설을 할 수 있었고 다음 공정의 착공에서는 모든 말뚝에 대하여 공벽붕괴, 말뚝 선단의 좌굴의 발생은 없고, 순조로이 공사를 진행시킬 수 있었다. 사진-3은 슬리브 파일의 타설상황이다.

착공 및 핀파일의 타입

슬리브 파일의 타설완료후 슬리브 파일상(床)에 착공작업상으로서의 가설가대를 탑재한다. 작업상(床)의 높이는 DL+6.5m이다. 탑재완료한 가대상에 착공기기 및 크롤러 크레인을 탑재하고 착공작업을 개시한다.

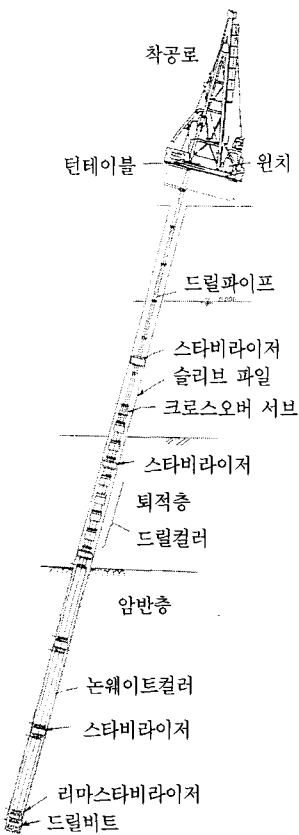
본 공사에서 적용한 착공 공법은 드릴파이프 선단에 부착한 로울러 비트에 드릴가컬러로 하중을 걸고 로타리 테이블로 드릴 스트링그스를 회전시킴으로써 암반을 굴착하는 공법으로 로타리 굴착 공법이라 불리우는 것이다. 본 공법은 착공지름이 자유롭게 선별되고 이때까지 지름 4.4m의 실적을 지닌다. 물을 이용하여



〈사진-3〉

착공 리즘을 회수하기 위하여 수상시공에 적합하고 대심도 굴착도 가능하다. 또, 저소음, 저진동이라는 등의 특징을 가지고 있다. 이때까지의 시공예로 사말뚝 각도에서의 대구경 착공실적은 극히 희소하다.

이 때문에 로울러비트와 드릴컬러의 중간에 부력을 갖게 하는 논웨이트컬러를 짜넣고

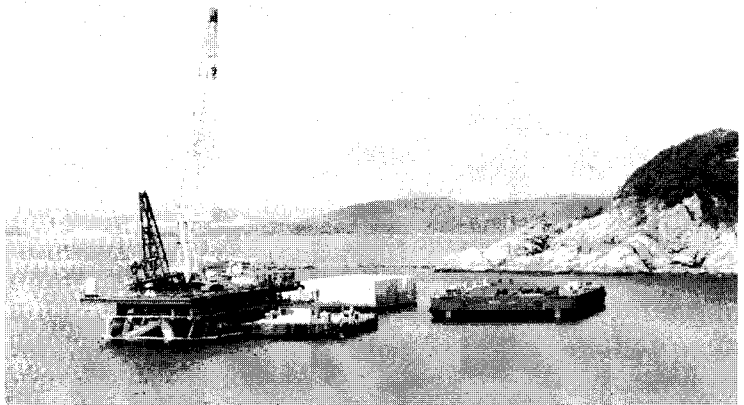


〈그림-8〉

드릴스트링그TM 전체의 중량의 균형을 조정함으로써 소정의 경사각도를 유지하여 착공이 진행되도록 연구하고 있다. 그림-8에 본 공사에서 적용한 로타리 착공기의 구성을 제시한다.

착공 속도는 암반상층부의 풍화(砂岩)(일축압축강도 $q_u=50\text{kg/cm}^2$ 정도)에서는 1시간당 1m, 그 아래의 비교적 부드러운 사암층($q_u=200\text{kg/cm}^2$ 정도)에서는 1시간당 50cm, 보다 깊은 부분에서는 상당히 경질의 사암층이나 역암층($q_u=400\sim 600\text{kg/cm}^2$ 정도)이 되고, 1시간당 20~30cm로 되었다.

착공이 완료하면 차례로 편파일을 타입하고 편파일과 공벽의 극간 및 편파일과 슬리브 파일 내면과의 극간에 그라우트를 주입한다.



〈사진-4〉

착공 작업은 주야 2교체의 24시간 체제로 행해지고 20개의 착공 작업이 6월 11일에서 7월 28일간에서 완료하였다. 48일중 황천대기는 겨우 2일이고, 외양에 면한 해상작업이었으나 크레인을 포함하여 기기류를 모두 작업상(床)상에 집약하고 파랑의 영향을 회피한 것과 공사기간중 태풍의 접근이 없었던 것이 높은 가동률에 이어졌다. 〈사진-4〉에 착공 상황이다.

방파판의 부착

방파판은 신나가사키 어항미에(三重)지구의 안벽에서 제작되어 550t달기중기선으로 대선에 싣고 현지까지 수송한다. 방파판 중량은 직립판이 약 260t, 경사판이 약 80t이다.

방파판은 자켓층의 돌기(Ø 712, 8, 방파판 1매당 18개)에 방파판에 매워진 두겹관(Ø 914, 18개)을 끼워넣고 양자의 극간에 그라우트를 충전하여 고정된다. 먼저 대선상에 수평하게 실린 방파판을 기중기선의 전후 두 개의 폭으로 달아올리고 한쪽의 폭을 말아내림으로써 소정의 경사각도

까지 일으킨뒤, 기중기선을 전진시켜서 자켓에 부착시킨다. 부착후 그라우트의 주입, 경화까지의 사이의 파랑에 의한 방파판의 탈락방지를 위하여 방파판1매당 12개의 PC강봉으로 가고정을 한다. 가고정 종료후 다이버에 의하여 그라우트를 충전하여 부착을 완료한다. <사진-5>는 방파판의 설계

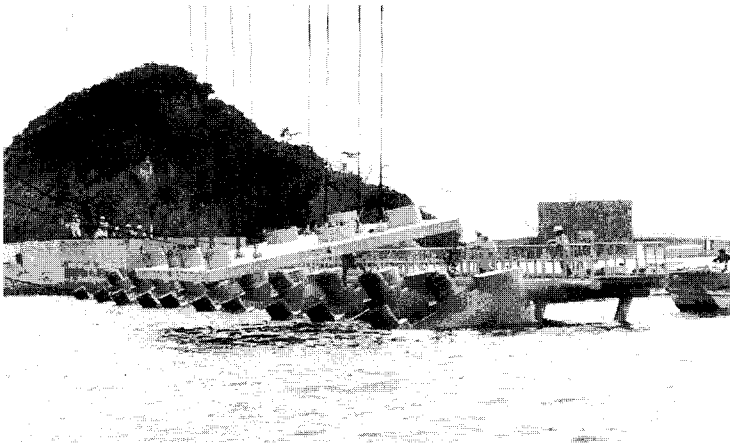
상황이다. 또 <사진-6>은 본 방파제의 완성상황이다.

결 언

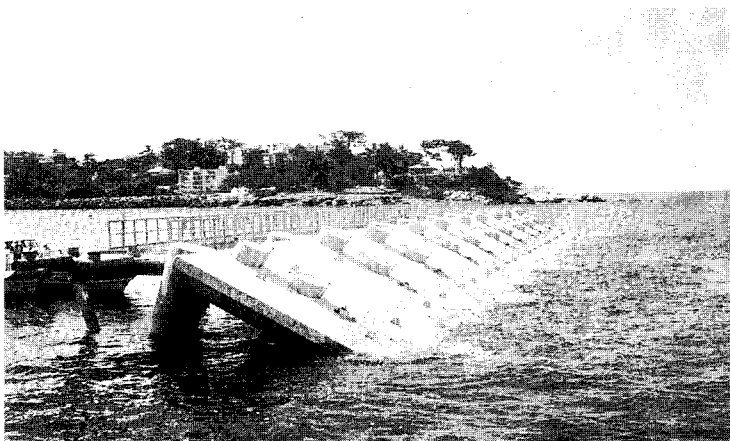
하에도마리 어항은 동계파랑이 높고, 또 태풍시에도 극히 높은 파랑이 내습하는 냉엄한 자연환경하에 입지하고 있다. 그러나 해수는 투명도가 높고, 전갱이, 도미, 넙치, 물오징어, 낙지, 게, 전복 등 풍부한 수산 자원에도 혜택받은 아름다운 자연이 남아있는 섬이기도 하다.

서측 방파제의 정비는 이와 같은 풍부한 자연을 다음 세대에 남기기 위하여 해수교환성을 중시한 검토를 거듭한 결과 경사판식 방파제를 채용하였으나 종래의 경사판식 방파제에 없는 냉엄한 자연환경조건이고, 본문에서도 기술한 바와 같은 창의연구, 개량을 거듭하여 실현하기에 이르렀다. 마리노베이션 거점어항어촌종합정비계획으로 정비해온 해변낚시 공원이나 해수욕장과 함께 다카시마町의 새로운 관광포인트로서 다카시마町을 찾는 많은 사람들에게도 친밀감을 주리라 기대하고 있다.

본 보고가 본건 뿐만이 아니라 전국의 어항어촌정비에 종사하는 여러분에게 참고가 되었으면 다행이겠다. ㉔



<사진-5>



<사진-6>