

월파조건에서 경사제 항내측 사면에 거치된 테트라포드의 안정성 실험 Experiments on Stability of Tetrapods on Rear Slope of Rubble Mound Structures under Wave Overtopping Condition

김영택* · 이종인**
 Young-Taek Kim* and Jong-In Lee**

요 지 : 본 연구에서는 항내측 피복재의 안정성에 대한 단면수리실험을 수행하였다. 국내 항만 및 어항설계기준에서는 항내측 피복재의 중량산정 방법으로 상치콘크리트가 설치되지 않은 조건에 대하여 항내측 일부구간(최저설계 정수면에서 0.5 H 깊이까지)을 항외측 피복재와 동일 중량비의 피복재를 사용하도록 설계 도표로 제시하고 있다. 국내에 설계되는 대부분의 경사식 구조물은 상치콘크리트가 설치되어 있으며, 이에 대한 안정중량 산정 방법이 필요하다. van der Meer(1999)가 제시한 안정계수($N_{od} = 0.5$)를 기준으로 피복재(테트라포드)의 안정성을 검토하였으며, 항외측 피복재의 0.8배에 해당하는 중량의 피복재를 항내측에 거치할 경우 안정성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 경사제, 항내측 피복재, 안정계수, 수리실험, 테트라포드

Abstract : In this study, hydraulic model tests were performed to investigate the stability of armor units at harbor side slope for rubble mound structures. The Korean design standard for harbor and fishery port suggested the design figures that showed the ratio of the armor weight for each location of rubble mound structures and it could be known that the same weight ratio was needed to the sea side and harbor side (within 0.5 H from the minimum design water level) slope of rubble mound structures. The super structures were commonly applied to the design process of rubble mound structures in Korea and the investigation of the effects of super structures would be needed. The stability number ($N_{od} = 0.5$) was applied (van der Meer, 1999) and it showed that the armor (tetrapod) weight ratio for harbor side slope of rubble mound structures needed 0.8 times of that for sea side slope.

Keywords : rubble mound structure, armor unit at harbor side slope, stability number, hydraulic model test, tetrapod

1. 서 론

항만구조물 중 대표적인 외곽시설인 방파제는 경사제, 직립제 및 혼성제 등으로 구분할 수 있다. 최근 상대적으로 수심이 깊은 해역에 설치되는 구조물의 경우에 대부분 케이슨을 적용한 혼성제가 적용되고 있다. 그러나 상대적으로 수심이 깊지 않은 해역에서는 콘크리트 이형블록 및 피복석 등의 피복재가 항내외측 사면에 거치되는 경사제 형태의 구조물이 적용되고 있다.

국내에서 설계되는 경사제의 대부분은 제체사석 상부에 상치콘크리트가 설치되고, 항외측 사면에는 테트라포드와 같은 콘크리트 이형블록 및 피복석 등이 거치되고, 항내측의 경우 피복석, Tripod와 같은 판형 콘크리트 이형블록 및 테트라포드와 같은 블록 형태의 콘크리트 이형블록이 거치되고 있다. 경사식 구조물의 경우에 파랑 작용에 의하여 항외에 거치된

주피복재의 이탈, 상치콘크리트의 활동 및 전도, 월파로 인한 항내측 피복재의 이탈 등과 같은 피해가 발생할 수 있으며, 이를 고려하기 위한 설계지침이 항만 및 어항 설계기준(MOF, 2014) 등에 제시되어 있다. 항만 및 어항설계기준에서는 주 피복재의 경우에 Hudson 식 또는 van der Meer 식을 적용하여 안정중량을 산정할 수 있으며, 상치콘크리트의 경우에는 설계파고, 설계조위, 월파량 등을 고려하여 마루높이를 결정한 후 Goda 파압을 적용하여 상치콘크리트 중량을 산정하고 있다. 그러나 금번 연구에서 검토하고자 하는 항내측 피복재의 경우에는 안정중량 산정을 위한 적절한 기준이 없는 상태이다. 항만 및 어항 설계기준에서는 상치콘크리트가 설치되지 않은 경사제를 대상으로 주피복재에 대한 filter rule (CIRIA, CUR and CETMEF, 2007)을 적용하여 중간피복재 및 항내측 피복재의 중량을 도표로 제시하고 있다(Fig. 1 참조). 항내측 피복재의 안정중량 관련 연구는 대부분 상치콘크리트

*한국건설기술연구원 수자원하천연구본부 연구위원(Research Fellow, Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

**전남대학교 공과대학 토목공학과 교수(Corresponding author: Jong-In Lee, Professor, Department of Civil Engineering, Chonnam National University, 77, Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 61186, Korea, Tel: +82-62-530-5431, jilee@jnu.ac.kr)

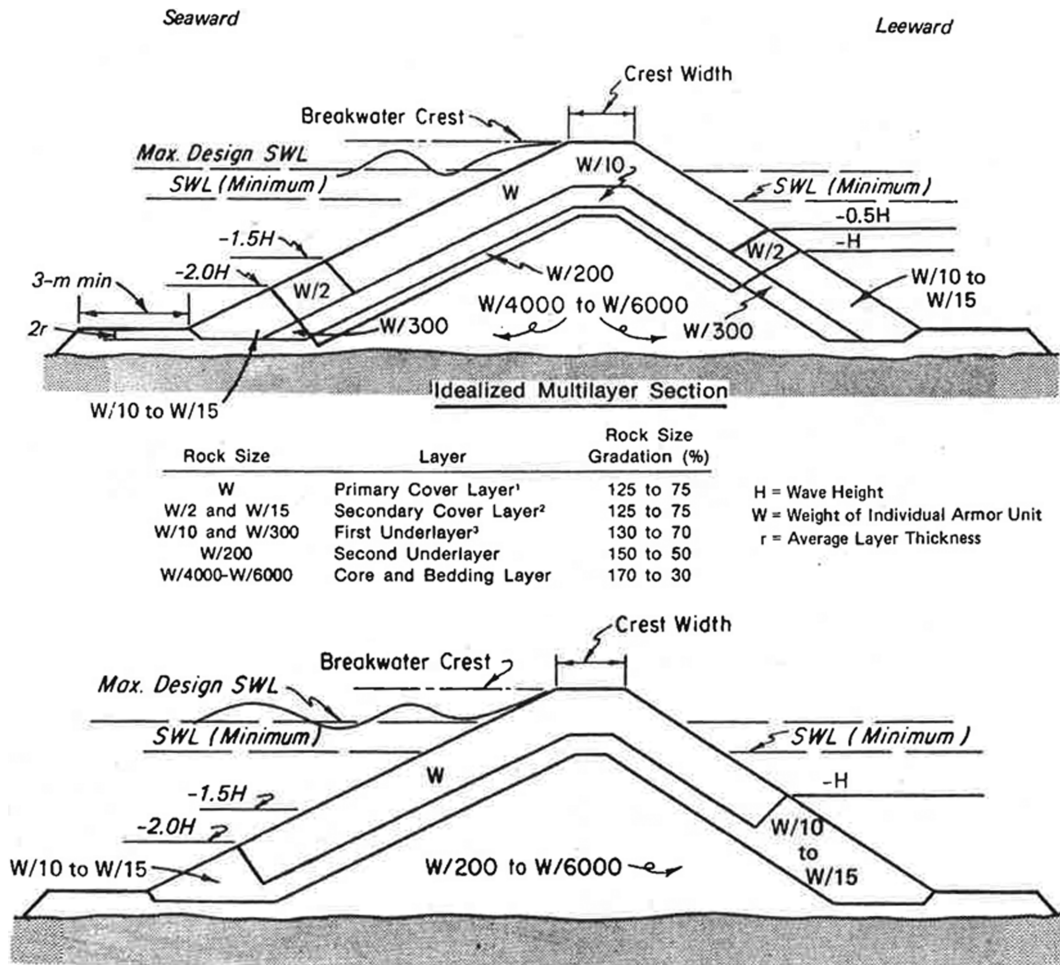


Fig. 1. Weight of armor layers (MOF, 2017; USACE, 1984).

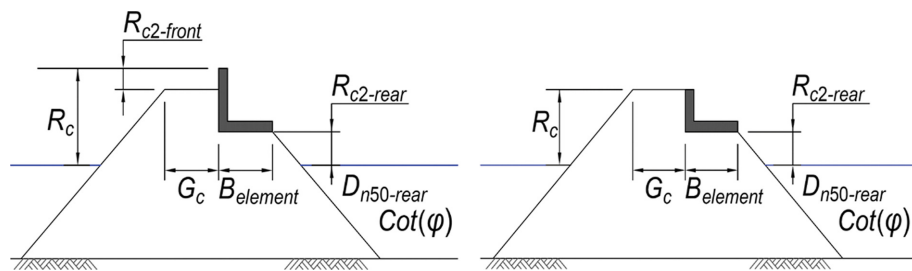


Fig. 2. Structures with crest elements (van Gent and Pozueta, 2007).

트가 설치되지 않은 단면을 대상으로 하고 있으며, 수리모형 실험을 통한 안정성 실험결과를 이용하여 산정방법을 제시하고 있다. van der Meer and Pilarczyk(1990), Vidal et al. (1992)은 저천단 구조물을 대상으로 항내측 및 항외측 피복재의 안정성을 검토하였고, Kudale and Kobayashi(1996)는 수치해석으로 월파로 인한 항내측 피복재의 안정성을 검토하였다. Verhagen et al.(2003)은 월파랑 발생장치를 고안하여 1회 월파 발생시 피복재의 안정성을 검토하였다. van Gent and Pozueta(2004)와 van Gent(2007)는 Fig. 2와 같은 단면을 대상으로 1% 파랑 조건에 따른 최대 유속, 처오름높이 등을 고려하여 항내측 피복재의 안정중량 산정식을 제안하였으

며, 상대여유고(R_c/H_s)를 기준으로 상치콘크리트가 없는 경우는 $R_c/H_s > 0.3$, L 형태의 상치콘크리트가 설치된 경우는 $R_c/H_s > 0.5$ 일 때 항외측보다 작은 중량을 피복재를 항내측에 적용할 수 있다고 제안하였다. 여기서, R_c 는 정수면으로부터 구조물 마루까지의 높이인 여유고이며, H_s 는 유의파고이다.

국내에 설치되는 대부분의 경사식 구조물에는 상치콘크리트가 설치되며, 외해측 피복재와 상치콘크리트의 마루높이를 동일하게 설계하는 것이 표준이다. 본 연구에서는 항외측에 테트라포드가 거치된 경사식 구조물을 대상으로 항내측도 동일한 테트라포드가 거치될 경우에 월파로 인한 항내측 피복재(테트라포드)의 안정중량 산정방법을 단면 수리모형실험을

통하여 검토하였다.

2. 수리모형실험

2.1 실험시설

수리모형실험은 한국건설기술연구원의 폭 1.0 m, 높이 2.0 m, 길이 56 m의 수로에서 수행되었으며, 단면수로에는 전기서보 피스톤식 조파기가 설치되어 있고, 규칙파 및 불규칙파를 조파할 수 있다(Fig. 3 참조). 그리고 단면수로의 폭 1.0 m는 폭 0.6 m와 폭 0.4 m로 분할되어 있으며, 분할된 수로에서 실험 모형은 폭 0.6 m의 수로에 설치하여 제반 자료를 취득하고, 폭 0.4 m의 수로에서는 입사파의 설정 및 보정을 수행하였다. 또한 흡수식 조파를 실시하여 구조물 및 조파기에서 제반사를 최소화하였다.

단면수로는 전면 30 m 구간을 강화유리로 처리하여 실험 장면 관찰이 용이하도록 되어있으며, 수로 양쪽 끝 부분에는 여러 겹의 다공성 구조로 형성된 소파장치가 설치되어 있다. Fig. 3에서 1번 파고계는 흡수식 조파, 2번과 3번 파고계는 반사계수 측정, 4번과 5번 파고계는 협수로에서 입사파의 설정 및 계측에 이용되었다. 2번과 3번, 4번과 5번의 파고계 간격은 입사파 주기 조건에 따라 적절하게 조절하였다.

2.2 실험모형 및 실험조건

본 단면 수리실험에 적용된 실험단면은 테트라포드 피복 경

사식 단면으로서 실험단면 형상은 Fig. 4와 같다. 경사식 구조물 외측에는 중량(W) 359 g/ea의 테트라포드가 2층 피복되며, 중간피복재로는 10~12 g/ea의 피복석이 거치된다. 상치콘크리트의 폭은 모형상 0.25m이고, 구조물 설치수심(h)은 $h = 0.4$ m이다. 상치콘크리트와 항외측 피복재(359 g/ea 테트라포드)의 마루높이는 동일하게 설정하였으며, 이때 항외측에 피복된 359 g/ea의 테트라포드에 해당하는 비쇄파조건 설계파고는 Hudson 식(Hudson, 1959)을 적용할 경우에 $H_s = 0.16$ m이다. 정수면으로부터 상치콘크리트 및 항외측 피복재의 마루높이(R_c)는 항외측 피복재의 설계파고인 $H_s = 0.16$ m를 기준으로 $R_c/H_s = 0.8, 1.0$ 및 1.2 를 적용하였다. 항내측 사면에는 45 g, 72 g, 115 g, 144 g, 180 g, 226 g, 288 g 및 359 g/ea의 테트라포드를 적용하였으며, 이는 항외측에 거치된 테트라포드 중량($W = 359$ g/ea)의 약 $0.1 W, 0.2 W, 0.3 W, 0.4 W, 0.5 W, 0.6 W, 0.8 W$ 및 $1.0 W$ 에 해당된다(Fig. 4 참조). Fig. 4에서 항내측 사면의 실선은 거치되는 테트라포드의 외곽선을 나타낸 것이다. 상치콘크리트 및 근고블록의 설치높이는 동일하며, 피복재의 종류(무게)에 따라 거치 폭 및 높이가 변하도록 모형단면을 설계하였다. 즉, 항내측 피복재가 $1.0 W$ 인 경우에 테트라포드의 마루높이는 상치콘크리트와 동일하며, $0.1 W$ 인 경우에는 테트라포드의 마루높이가 상치콘크리트 보다 낮게 거치되는 것이다.

실험과는 Bretschneider-Mitsuyasu 주파수 스펙트럼을 적용한 불규칙파를 적용하였으며, 실험에 적용된 목표 유의파고

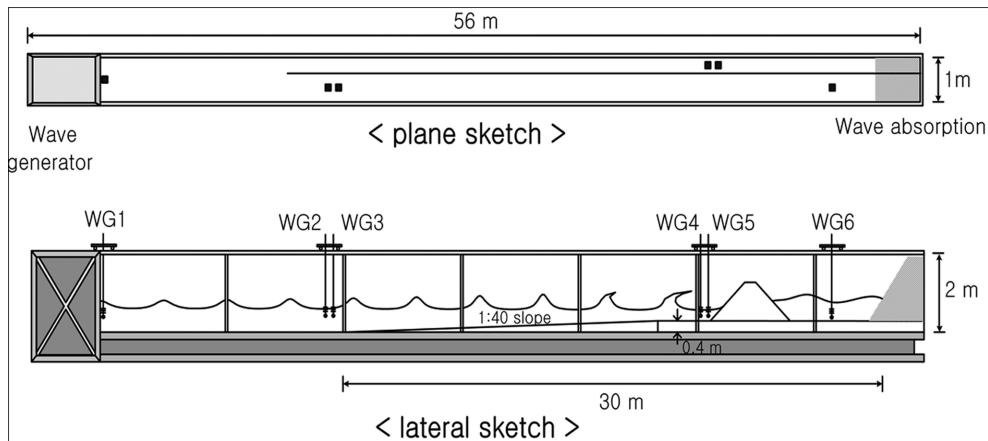


Fig. 3. Schematic sketch of wave flume.

Table 1. Conditions for test wave and weight of armor unit

Parameter	Properties	
$T_{S,target}$ (sec)	1.5, 1.75, 2.0, 2.25, 2.5	
$H_{S,target}$ (m)	0.12~0.20 ($\Delta H_s = 0.01$ m)	
h (m)	0.4	
Weight of armor unit (tetrapod)	sea side slope	359 g/ea (W)
	harbor side slope	45 g($0.1 W$), 72 g($0.2 W$), 115 g($0.3 W$), 144 g($0.4 W$), 180 g($0.5 W$), 226 g($0.6 W$), 288 g($0.8 W$), 359 g($1.0 W$)

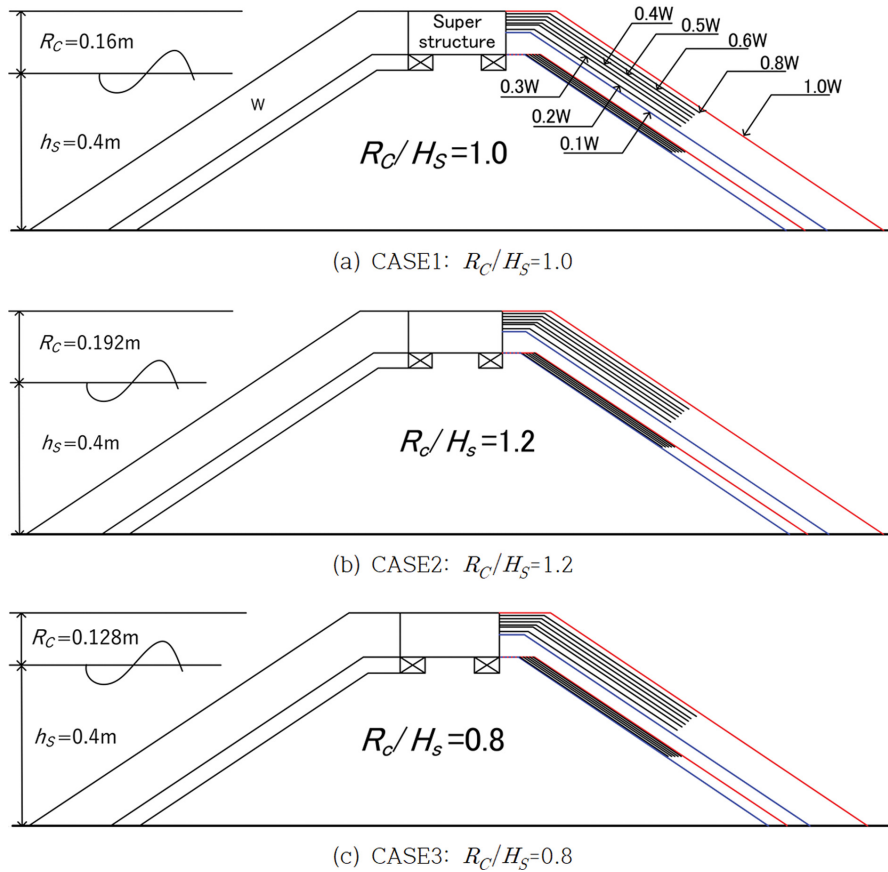


Fig. 4. Schematic sketch of test sections for rubble mound structure covered with tetrapods at harbor and sea side slopes.

Table 2. Test cases

Relative freeboard, R (R_C/H_S)	Weight of armor unit on harbor side slope	Index	D_n (cm)
$R = 1.0$ (CASE1)	0.1 W	CASE1-1	2.7
	0.2 W	CASE1-2	3.2
	0.3 W	CASE1-3	3.7
	0.4 W	CASE1-4	4.0
	0.5 W	CASE1-5	4.3
	0.6 W	CASE1-6	4.6
	0.8 W	CASE1-8	5.0
	1.0 W	CASE1-10	5.4
$R = 1.2$ (CASE2)	0.1~1.0 W	CASE2-1~CASE2-10	2.7~5.4
$R = 0.8$ (CASE3)	0.1~1.0 W	CASE3-1~CASE3-10	2.7~5.4

는 $H_S = 0.12 \sim 0.2$ m 범위에서 1 cm 간격으로 설정하였으며, 목표 유의주기는 $T_S = 1.5 \sim 2.5$ sec 범위에서 0.25 sec 간격으로 설정하였다. 축척 1/40 적용시 실험에 적용된 실험파의 유의파고는 $H_S = 4.8 \sim 8$ m, 유의주기 $T_S = 9.5 \sim 15.8$ sec에 해당하며, 항외측에 거치된 테트라포드의 중량은 25 ton/ea급에 해당한다.

실험파는 구조물이 설치되기 전에 Fig. 3의 협수로 내 구조물 설치 위치에 파고계를 설치하고 2점법(Goda and Suzuki, 1976)을 적용하여 분석하였다(Fig. 3의 4번과 5번 파고계).

금번 실험에 적용된 실험조건 및 피복재 중량 등의 조건을 정리하면 Table 1과 같으며, Table 1과 Fig. 4의 조건을 조합한 전체 실험조건은 Table 2에 정리하였다. Table 2에서 D_n 은 콘크리트블록의 중량을 단위중량으로 나눈 후 체적을 직육면체로 환산하였을 때 한변의 길이(공칭길이)이다.


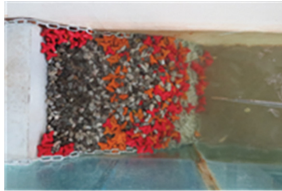


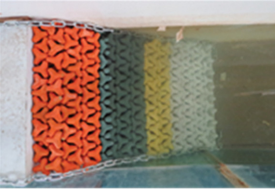



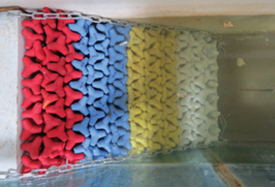







2.3 실험결과 분석방법

피복재의 안정성 분석은 피복석의 경우에는 S 로 산정하고, 콘크리트 이형블록의 경우에는 피해율 또는 N_{out} 로 계산하는

것이 일반적이다. S 와 N_{od} 는 각각 식(1)과 식(2)로 산정할 수 있다. 식(1)과 식(2)에서 A_e 는 파랑에 의하여 정수면을 중심

으로 이탈된 피복석의 면적이며, B 는 실험수로의 폭, i 는 이탈된 피복재의 개수이다.

Table 3. Test results for CASE1-1~CASE1-10 for $H_s = 0.16$ m and $T_s = 2.0$ sec

CASE	Before Test	After Test	N_{od}
CASE1-1			failure
CASE1-2			failure
CASE1-3			failure
CASE1-4			failure
CASE1-5			0.93
CASE1-6			0.54
CASE1-8			0.17
CASE1-10			0

$$S = A_e/D_n^2 \quad (1)$$

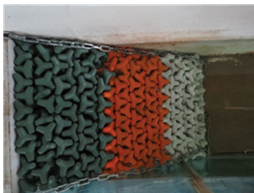
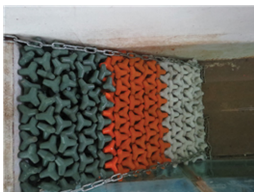

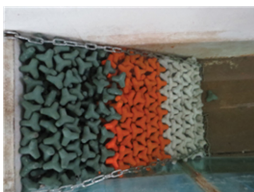
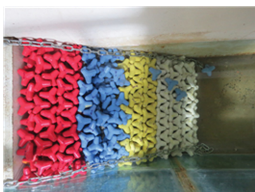


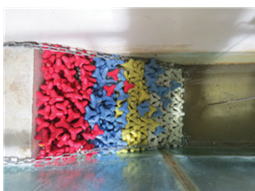



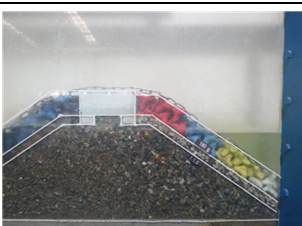
$$N_{od} = \frac{i}{B/D_n} \quad (2)$$

경사재의 경우에 $S=2\sim3$ 은 허드슨식의 피해율 0~5%와 유사한 것으로 알려져 있고, 초기피해(start of damage, $S=2\sim3$)

는 피복석의 침하 또는 몇 개의 이탈을 의미한다. 그리고 콘크리트 블록의 경우에는 $N_{od}=0.5$ 일때 이와 유사한 피해를 나타내는 것으로 알려져 있다(van der Meer, 1999). 본 연구에서는 $N_{od}=0.5$ 를 기준으로 콘크리트 블록(테트라포드)의 안정중량 확보여부를 검토하였다.

안정성 실험은 유의주기 기준 1,000파를 연속 조파한 후 안

Table 4. Test results for CASE2

CASE	CASE2-4		CASE2-5	
T_S (sec)	2.0	2.5	2.0	2.5
H_S (m)				
0.12	 $N_{od} = 0.07$			
0.13	 $N_{od} = 0$	 $N_{od} = 1.67$		
0.14	 $N_{od} = 0.40$		 $N_{od} = 0.50$	
0.15	 $N_{od} = 1.20$		 $N_{od} = 0$	 failure
0.16	 failure		 $N_{od} = 0.65$	
Before test				

정성을 검토하였다. 이탈 개수의 산정에 있어 이탈은 발생하지 않았지만 피복재의 공칭길이만큼 움직였다가 제자리로 다시 돌아오는 경우에도 피해로 간주하였다. 그리고 주피복재가 이탈한 후 제체사석이 노출되는 경우는 파괴(failure)로 설정하였다.

3. 실험 결과

3.1 CASE1 실험결과












본 실험에서 설정한 항외측 피복재(테트라포드 359 g/ea)에 대한 설계파고($H_S = 0.16$ m) 내습시 상대여유고가 $R = 1.0$ (CASE1)인 단면을 대상으로 항내측 피복재의 안정성을 비교하였다. 실험에 사용된 입사파 주기는 $T_S = 2.0$ sec이다. 실험

결과는 Table 3에 사진과 N_{od} 값으로 제시하였다. $N_{od} = 0.5$ 를 기준으로 안정성이 확보되는 항내측 피복재의 중량은 항외측 피복재 중량의 0.8배에 해당하는 0.8 W 조건임을 알 수 있다. 상치콘크리트가 설치되지 않은 조건, 즉 Fig. 1과 같은 형태의 경사제의 경우에는 상치콘크리트가 위치하는 항내측 상부도 항외측과 동일한 중량을 거치해야 하지만, 상치콘크리트가 설치됨으로 인해 항외측 피복재 대비 중량이 작은 피복재를 거칠 수 있음을 확인할 수 있다. Table 3에서 실험사진은 실험수로 상부에서 아래 방향으로 항내측 경사면을 촬영한 것이다.

3.2 CASE2 실험결과

입사파고 대비 마루높이가 $R_C/H_S = 1.2$ 인 조건을 대상으로

Table 4. Continued

CASE		CASE2-6		CASE2-8	
T_S (sec)	H_S (m)	2.0	2.5	2.0	2.5
	0.14				
		$N_{od} = 0.31$			
	0.15				
		failure		$N_{od} = 0$	
	0.16				
		$N_{od} = 0.69$		$N_{od} = 0$	$N_{od} = 0.75$
	0.17				
		$N_{od} = 0.92$		$N_{od} = 0.08$	Failure
Before test					

본 실험에서 설정한 입사파 주기 중 $T_S = 2.0$ 및 2.5 sec 조건에 대해 입사파고별 항내측 피복재의 안정성을 검토하였다 (Table 4 참고). 안정성 실험에 적용된 실험안은 CASE2-4, -5, -6, -8이다. 마루높이가 상대적으로 높아졌으나 3.1절의 CASE1에 대한 실험결과와 마찬가지로 항외측 피복재의 설계파고에 해당하는 실험과 내습시 항내측 피복재의 안정성을 확보하기 위해서는 항내측 피복재의 중량이 항외측 피복재 중량의 0.8배 이상을 확보해야 하는 것으로 검토되었다. 입사파 주기 및 파고가 증가함에 따라 피해규모는 증가하는 것을 볼 수 있으며, 피복재의 주요 피해 위치는 정수면 주변으로 나타났다. 입사파 주기에 따라 일부 차이는 있으나 $N_{od} = 0.5$ 를 기준으로 항내측 피복재의 안정성을 확보하기 위해서는 항외측 피복재의 0.8배에 해당하는 $0.8 W$ 가 필요한 것을 알 수 있다.

3.3 CASE3 실험결과

입사파고 대비 마루높이가 $R_c/H_S = 0.8$ 인 조건을 대상으로 본 실험에서 설정한 입사파 주기 중 $T_S = 2.0$ 및 2.5 sec 조건에 대해 입사파고별 항내측 피복재의 안정성을 검토하였다 (Table 5 참고). 안정성 실험에 적용된 실험안은 CASE3-4, -5, -6, -8이다. 3.1 및 3.2절의 결과와 마찬가지로 항외측 피복재의 설계파고에 해당하는 실험과 내습시 항내측 피복재 중량은 항외측 피복재 중량의 0.8배 이상을 확보해야 하는 것

으로 검토되었다. 3.2절의 결과와 마찬가지로 입사파 주기 및 파고가 증가함에 따라 피해규모는 증가하였고, 피복재의 주요 피해 위치는 정수면 주변으로 나타났다. CASE2와 비교해 볼 때 상대적으로 마루높이가 낮아 월파량 증가함에 따라 동일 주기 조건에서 낮은 파고 조건에서도 피해가 발생하는 것을 알 수 있다. 그렇지만 최종적으로 $N_{od} = 0.5$ 를 기준으로 항내측 피복재의 안정성은 주기에 따라 약간의 차이는 있으나 항외측 피복재의 0.8배에 해당하는 $0.8 W$ 에 해당됨을 알 수 있다.

4. 결 론

항내측 피복재로 테트라포드가 거치된 경사제에 대하여 단면수리실험을 통하여 피복재 안정성 검토하였다. 항만 및 어항설계기준에 제시된 항내측 피복재의 중량산정 방법은 상치콘크리트가 설치되지 않은 조건이며, 항내측 일부구간(최저설계 정수면에서 $0.5 H$ 깊이까지)을 항외측 피복재와 동일 중량의 피복재를 사용하도록 제시되어 있다. 그러나 국내에서 설계되는 대부분의 경사식 구조물은 상치콘크리트가 설치되기 때문에 이러한 조건에 대한 안정성 검토를 수행하고, 그 결과를 제시하였다. 본 실험에서 적용한 표준단면은 상치콘크리트와 항외측 피복재(테트라포드)의 마루높이가 동일한 조건이며, 상치콘크리트 하단에 설치되는 근고블록의 높이는 항외측과 항

Table 5. Test results for CASE3



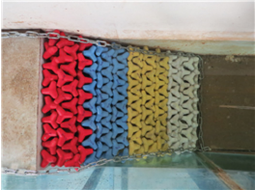

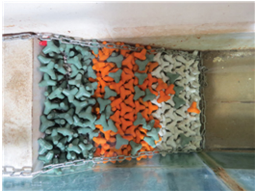
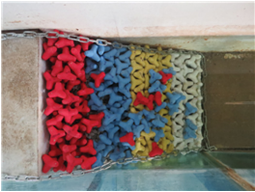



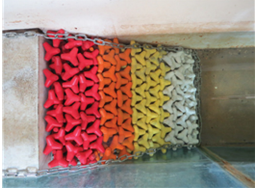


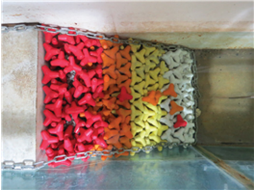
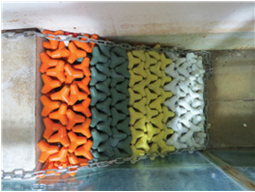

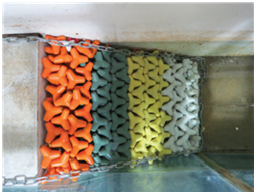
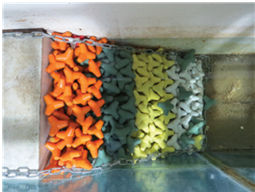

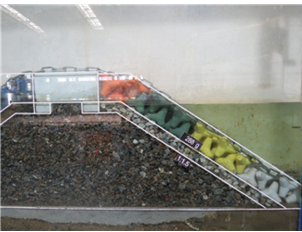
CASE	CASE3-4		CASE3-5	
	T_S (sec)	T_S (sec)	T_S (sec)	T_S (sec)
H_S (m)	2.0	2.5	2.0	2.5
0.12				
	$N_{od} = 0.20$	failure	$N_{od} = 0$	$N_{od} = 0.14$
0.13				
	failure		failure	failure
Before test				

Table 5. Continued

CASE		CASE3-6		CASE3-8	
T_S (sec)		2.0	2.5	2.0	2.5
H_S (m)					
0.12					
		$N_{od} = 0$	$N_{od} = 0.15$		
0.13					
		failure	$N_{od} = 0.69$		
0.15					
				$N_{od} = 0$	$N_{od} = 0.08$
0.16					
				$N_{od} = 0$	$N_{od} = 0.92$
Before test					

내측이 동일하게 설정하여 안정성 실험을 수행하였다.

본 실험을 통하여 도출된 결론을 정리하면 다음과 같다.

(1) 입사파의 주기와 파고가 증가할수록 피해는 증가하였으며, 피복재 이탈은 주로 정수면 부분에서 발생하였다.

(2) van der Meer(1999)가 제시한 $N_{od} = 0.5$ 기준으로 안정성을 검토하였으며, 항외측 피복재의 안정중량 확보에 해당하는 입사파 내습시 상대여유고(R_c/H_s)에 관계없이 항외측 피복재 중량의 0.8배에 해당하는 중량의 피복재를 항내측에 거치하는 경우에 안정성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

(3) 마루높이가 상대적으로 낮은 경우 즉, 상대여유고가 낮은 경우에 월파량이 증가함에 따라 동일 주기 및 피복재 중

량 조건에서 상대적으로 작은 입사 파 고에서 피해가 시작되는 것을 알 수 있었으나, 항내측 피복재의 안정중량은 전술한 바와 같이 항외측 피복재 중량의 0.8배인 것으로 나타났다.

금번 연구에서는 항만 및 어항설계기준에 제시된 도표의 개선 수준으로 결과를 제시하였으나, 향후 입사파의 주기, 피복재의 마루높이, 상치콘크리트 형상 등의 변화에 따른 영향이 검토되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 해양수산과학기술진흥원의 지원(과제번호: 20180323)

으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- CIRIA, CUR and CETMEF. (2007). The rock manual: The use of rock in hydraulic engineering, CIRIA Publication.
- Goda, Y. and Suzuki, Y. (1976). Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments, Proceedings of 15th Coastal Engineering Conference, Chapter 48, 828-845.
- Hudson, R.Y. (1959). Laboratory investigation of rubble-mound breakwaters. Journal of Waterways and Harbors Division, ASCE, 85(WW3), 93-121.
- Kudale, M.D. and Kobayashi, N. (1996). Hydraulic stability analysis of leeside slopes of overtopped breakwaters. Coastal Engineering Proceedings, 1721-1734.
- Ministry of Oceans and Fisheries (2014). Design standard of harbor and fishery ports.
- US Army Corps of Engineers (1984). Shore Protection Manual.
- van der Meer, J.W. and Pilarczyk, K.W. (1990). Stability of low-crested and reef breakwaters. Coastal Engineering, 1375-1388.
- van der Meer, J.W. (1999). Design of concrete armour layers. Proceedings of the Coastal Structures' 99, Spain, 213-221.
- van Gent, M.R.A. and Pozueta, B. (2004). Rear-side stability of rubble mound structures. Coastal Engineering Conference, ASCE, 29-4(1), 1-13.
- van Gent, M.R.A. (2007). Rear-side stability of rubble mound structures with crest elements, Coastal Structures 2007, pp. 19-30.
- Verhagen, H.J., van Dijk, H. and Nederpel, A. (2003). Riprap stability on the inner slopes of medium-height breakwaters. Coastal Structures, 213-222.
- Vidal, C., Losada, M.A. and Medina, R. (1992). A universal analysis for the stability of both low-crested and submerged breakwaters. Coastal Engineering Proceedings, 1679-1692.

Received 7 December, 2021

Revised 21 December, 2021

Accepted 22 December, 2021