

피복블록 형상에 따른 사면상 양압력에 관한 실험적 연구

최 한 규 / 강원대학교 토목공학과 교수

박 양 호 / 한국종합기술개발공사

본 연구의 목적은 서로 다른 형태를 갖는 피복블록의 형상에 따른 Hudson식의 안정계수 값들과 양압력의 관계를 방파제의 안정성과 연계·해석하여, 방파제 단면설계에 있어서 피복블록의 선택 및 소요중량 산정에 효과적으로 이용하고자 한다.

1. 서 론

국제 무역의 확대 및 다변화에 따라 사회 간접자본에 대한 투자가 필요하다. 무역의 많은 부분이 바다를 통하여 이루어지고 있어 항만의 시설에 대한 정비 및 확충이 절실히 요구된다. 일반적으로 방파제는 외해에서 내습하는 자연재해에 직접적으로 노출되어 있어, 일단 피해가 발생하면 이에 따른 복구비가 막대하게 요구된다. 따라서 설치시 안정하면서도 경제적인 단면구조의 설계가 요구된다.

본 연구에서는 수리모형실험을 이용하여 두 가지 종류의

피복블록(평블록과 Tripode)과 15가지의 파랑조건(파고 및 주기)에 따른 피복블록의 피해율을 산정하였다. 이때 피복블록의 피해율은 Mizumura 등(1988)의 방법을 이용하였다.

실험결과에서 나온 피복블록의 피해율을 사면위에서 작용되는 양압력과 연계시켜 해석하였다. 이 해석 결과를 이용하여 각각의 피복블록 형상에 따른 Iribarren식과 Hudson식에 내포된 안정계수 값들을 정량적으로 제시하였다. 따라서 본 연구의 목적은 서로 다른 형태를 갖는 피복블록의 형상에 따른 Hudson식의 안정계수 값들과 양압력의 관계를

방파제의 안정성과 연계·해석하여, 방파제 단면설계에 있어서 피복블록의 선택 및 소요중량 산정에 효과적으로 이용하고자 한다.

2. 이론적 배경

파랑 특성

파랑의 특성을 나타내는 중요한 변수들은 주기, 파고 그리고 파장이다. 주기는 발생점에서부터 일정하다고 가정하며, 파장 및 파고는 수심에 따라 변한다. 또한 파고는 평탄면 혹은 파장에 비하여 깊은 수심에서 진행할때 일정한 값

을 갖지만 수심이 파장의 반보다 작은 천해역에 진입하게 되면 해저 지형의 영향을 받아 굴절 및 천수효과에 의하여 그 크기가 변하게 된다.

1) 파고의 제한

심해역 $H_0 = \frac{1}{7}L_0$ (2-1), 여기서 H_0 와 L_0 는 각각 심해에서의 파고와 파장이다.

해역 $H_b = 0.78hb$ (2-2), 여기서 H_b 와 hb 는 각각 쇄파점에서의 파고와 수심이다.

2) 반사파

$$\eta = (a_1 - a_2)\sin kx \cos \sigma t - (a_1 + a_2)\cos kx \sin \sigma t \quad (2-3)$$

여기서 a_1 및 a_2 는 각각 입사파와 반사파의 진폭, k 는 파수(Wave Number), σ 는 각진동수(Angular frequency), x , t 는 각각 공간과 시간에 대한 독립변수이다.

$$H_{max} = H_i + H_r \quad (2-4),$$

$$H_{min} = H_i - H_r \quad (2-5)$$

여기서 첨자 i 와 r 은 각각 입사파와 반사파를 나타낸다.

$$H_r = \frac{H_{max} - H_{min}}{2} \quad (2-6),$$

$$H_i = \frac{H_{max} + H_{min}}{2} \quad (2-7)$$

$$\text{반사계수 } K_r = \frac{H_r}{H_i} = \frac{H_{max} - H_{min}}{H_{max} + H_{min}} \quad (2-8)$$

본 연구의 올바른 실험을 위하여 식 (2-8)을 이용하여 미리 구한 반사계수값이 약 0.3보다 작은 경우에만 실험을 수행하였다.

3) 천수 변형

$$\text{천수계수 } \frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{C}{C_0} \frac{1}{2n}} = K_s \quad (2-9)$$

여기에서 H , C 는 임의 수심 h 에서의 파고 및 파속, C_0 는 심해파속, $n = (1 + 2kh/\sin kh)/2$ 이다.

임의 두 수심에서 천수계수의 비는

$$\frac{K_{s1}}{K_{s2}} = \frac{H_1/H_0}{H_2/H_0} \quad (2-10)$$

따라서 다른 수심에서의 파고는

$$H_2 = \left(\frac{K_{s1}}{K_{s2}} \right) H_1 \quad (2-11)$$

본 연구의 모형실험에 앞서서 이론적으로 설명된 천수효과를 부여하기 위하여 방파제 전면에 해저경사 1:20을 부여하였다. 이는 동해안의 일반적인 해저경사를 재현하기 위한 것이다.

사석사면상의 피복석 안정 피복블록의 이동 및 파괴 형태는 다음과 같은 3가지로 구

분되어질 수 있다. ① 피복블록이 사면상에 떠오르는 형태(Lift-up), ② 피복블록이 사면상에서 떠올라 이탈한 형태(Rocking), ③ 체체전체의 파괴로 인한 피복블록군의 파괴이다.

$$\text{양압력, } F = k\rho gAH \quad (2-12)$$

여기서 k 는 상수, ρ 는 해수 밀도, g 는 중력가속도, A 는 사석의 투영 면적 그리고 H 는 방파제 전면의 파고이다.

$$A = k \left(\frac{W}{\rho_r} \right)^{2/3} \quad (2-13),$$

$$F = k' \rho g H \left(\frac{W}{\rho_r} \right)^{2/3} \quad (2-14)$$

여기서 ρ_r 은 사석의 밀도, k' 는 계수이다.

$$W \left(1 - \frac{\rho}{\rho_r} \right) \sin \alpha =$$

$$\mu \left(W \left(1 - \frac{\rho}{\rho_r} \right) \cos \alpha -$$

$$k' \rho g H \left(\frac{W}{\rho_r} \right)^{2/3} \right) \quad (2-15)$$

Iribarren(1938)이 제안한 중량산정공식

$$W = \frac{K \mu^2 \rho r g H^3}{(\rho_r/\rho - 1)^3 (\mu \cos \alpha - \sin \alpha)^3} \quad (2-16)$$

여기서 $K = k'^3$ 은 실험에 의해서 정해지는 상수이다.

안정면적산정공식

$$\text{Hudson공식} \left(\frac{S_r^3}{H^3} \right)^{\frac{2}{3}} = (K_D \cot \alpha)^{\frac{2}{3}} \quad (2-17)$$

여기서 $S_r = \rho_r / \rho - 1$ 이다.
 식 (2-13)을 이용하여 식 (2-17)을 정리하면

$$\frac{H^2}{S_r^2 A} = (K'_D \cot \alpha)^{\frac{2}{3}}$$

여기서 K'_D 는 새로운 계수이다.

안정면적 산정식

$$A = \frac{H^2}{S_r^2 (K'_D \cot \alpha)^{2/3}} \quad (2-18)$$

양압력만에 의한 중량산정 공식

$$W^{1/3} = K' \frac{\rho g H \left(\frac{1}{g \rho_r} \right)^{1/3}}{\left(1 - \frac{\rho}{\rho_r} \right) \cos \alpha}$$

(2-19) 여기서 K' 는 양압력 계수이다.

3. 수리 모형 실험

실험장치(Fig. 3-1)

방파제 및 피복블록 제원 (Table 3-1, 3-2)

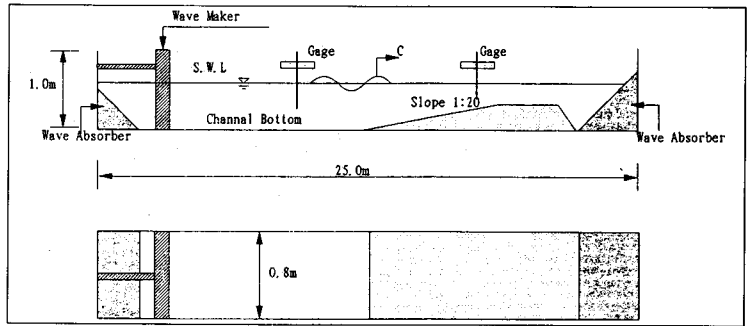


Fig. 3-1 Perspective of wave generator

Table 3-1 Breakwater conditions

Case	D(cm)	Slope	Shape of Armor Unit	Total Number of Armor Unit
Case A-1	10	1:1.5	BLOCK	108
Case A-2	10	1:1.5	TRIPODE	165
Case B-1	5	1:1.33	BLOCK	84
Case B-2	10	1:1.33	BLOCK	96
Case B-3	15	1:1.33	BLOCK	108
Case B-4	5	1:1.5	BLOCK	96
Case B-5	10	1:1.5	BLOCK	108
Case B-6	15	1:1.5	BLOCK	120
Case B-7	5	1:2.0	BLOCK	132
Case B-8	10	1:2.0	BLOCK	144
Case B-9	15	1:2.0	TRIPODE	156
Case B-10	5	1:1.33	TRIPODE	135
Case B-11	10	1:1.33	TRIPODE	150
Case B-12	15	1:1.33	TRIPODE	165
Case B-13	5	1:1.5	TRIPODE	150
Case B-14	10	1:1.5	TRIPODE	165
Case B-15	15	1:1.5	TRIPODE	195
Case B-16	5	1:2.0	TRIPODE	195
Case B-17	10	1:2.0	TRIPODE	210
Case B-18	15	1:2.0	TRIPODE	240
Case C-1	10	1:1.5	BLOCK	108
Case C-2	15	1:2.0	BLOCK	132
Case C-3	5	1:2.0	BLOCK	144
Case C-4	10	1:2.0	BLOCK	156
Case C-5	15	1:1.5	TRIPODE	165
Case C-6	5	1:2.0	TRIPODE	195
Case C-7	10	1:2.0	TRIPODE	210
Case C-8	15	1:2.0	TRIPODE	240
Case D-1	10	1:1.5	BLOCK	108
Case D-2	10	1:1.5	TRIPODE	165

Table 3-2 Characteristics of each armor unit

Armor Unit	Division	A(cm ²)	W(g)	ρ_r
Block		43.03	257.0	2.3
Tripode		41.90	119.7	2.3

파랑조건

Table 3-3 Wave conditions

Case	H (cm)	Period (sec)	h (cm)	h/H	Kr	H/Lo	h/Lo
Case B-1	5.50	1.6	60	0.091	0.28	0.0137	0.1502
Case B-2	6.30	"	"	0.105	0.28	0.0157	"
Case B-3	8.00	"	"	0.133	0.28	0.0200	"
Case B-4	6.30	"	"	0.105	0.25	0.0157	"
Case B-5	11.00	"	"	0.183	0.25	0.0275	"
Case B-6	11.00	"	"	0.183	0.25	0.0275	"
Case B-7	11.00	"	"	0.183	0.23	0.0275	"
Case B-8	16.50	"	"	0.275	0.23	0.0413	"
Case B-9	20.00	"	"	0.333	0.23	0.0500	"
Case B-10	5.50	"	"	0.091	0.28	0.0137	"
Case B-11	6.30	"	"	0.105	0.28	0.0157	"
Case B-12	8.00	"	"	0.133	0.28	0.0200	"
Case B-13	8.00	"	"	0.133	0.25	0.0275	"
Case B-14	11.00	"	"	0.183	0.25	0.0275	"
Case B-15	12.50	"	"	0.208	0.25	0.0275	"
Case B-16	11.00	"	"	0.183	0.23	0.0275	"
Case B-17	16.50	"	"	0.275	0.23	0.0413	"
Case B-18	20.0	"	"	0.333	0.23	0.0500	"
Case C-1	11.00	2.0	"	0.183	0.25	0.0176	0.0961
Case C-2	15.00	"	"	0.250	0.23	0.0240	"
Case C-3	19.00	"	"	0.316	0.23	0.0304	"
Case C-4	19.00	"	"	0.316	0.23	0.0304	"
Case C-5	11.00	"	"	0.183	0.25	0.0176	"
Case C-6	15.00	"	"	0.250	0.23	0.0240	"
Case C-7	19.00	"	"	0.316	0.23	0.0304	"
Case C-8	19.00	"	"	0.316	0.23	0.0304	"

4. 실험결과 및 분석

모형실험에 의하여 얻어진 총 26가지 결과에 대하여 파형경사와 피해율, 제체경사와 피해율 관계를 해석하였다.

Table 4-1에 각 경우에 대하여 파형경사에 따른 평면 Block의 피해율을 나타내었으

며, 또한 Table 4-2에 파형경사에 따른 Tripode의 피해율을 나타내었다.

Fig. 4-1~4-3은 주기 1.6sec, 제체경사 1:1.33일 경우 침단고를 각각 5, 10, 15cm에 대한 결과이다. 동일하게 파형경사가 증가할 수록 피해율이 크게 나타나고 있다.

그러나 침단고의 변화에 따른 피해율의 비교에서는 침단고가 10cm인 경우에서 피해율이 제일 작게 나타났다.

Fig. 4-4~4-6은 Fig. 4-1~4-3에서 제체경사를 1:1.5로 변화시켰을 때의 결과이다. 전체적인 경향은 Fig. 4-1~4-3와 동일하다.

Table 4-1 Damage ratio with respect to H/Lo (Block)

Case	Wave Height (cm)	H/Lo	Rocking	Lift-up	Damage Ratio
Case B-1	5.50	0.0137	8	3	9.52
Case B-2	6.30	0.0157	2	1	2.08
Case B-3	8.00	0.0200	4	3	6.48
Case B-4	6.30	0.0157	6	3	6.25
Case B-5	11.00	0.0275	7	4	6.48
Case B-6	11.00	0.0275	9	2	7.50
Case B-7	11.00	0.0275	9	2	6.81
Case B-8	16.50	0.0413	11	6	7.63
Case B-9	20.00	0.0500	12	4	7.60
Case C-1	11.00	0.0176	8	3	7.40
Case C-2	15.00	0.0240	11	0	8.33
Case C-3	19.00	0.0304	14	3	9.72
Case C-4	19.00	0.0304	13	5	8.33

Table 4-2 Damage ratio with respect to H/Lo (Tripode)

Case	Wave Height (cm)	H/Lo	Rocking	Lift-up	Damage Ratio
Case B-10	5.50	0.0137	0	0	0
Case B-11	6.30	0.0157	3	8	2.00
Case B-12	8.00	0.0200	4	0	2.42
Case B-13	8.00	0.0200	15	3	10.00
Case B-14	11.00	0.0275	10	0	6.06
Case B-15	12.50	0.0313	11	4	6.66
Case B-16	11.00	0.0275	11	4	5.64
Case B-17	16.50	0.0413	10	2	4.76
Case B-18	20.50	0.0500	13	5	5.41
Case C-5	11.00	0.0176	11	0	6.66
Case C-6	15.00	0.0240	15	2	7.69
Case C-7	19.00	0.0304	15	3	7.14
Case C-8	19.00	0.0304	8	2	3.30

Fig. 4-7~4-9는 주기 1.6sec, 제체경사 1:2.0일 때 침단고를 3가지로 변화시켜 실험을 수행한 결과로서 Fig. 4-4~4-6 결과와 동일하게 나타나고 있다. 그러나 이 경우에는 Fig. 4-1~4-3과 유사하게 침단고 10cm에서 피해율이 제일 작게 나타나고 있다.

Fig. 4-10은 주기 2.0sec,

침단고 10cm, 제체경사 1:1.50의 조건하에서 파형경사와 피해율의 관계를 나타낸 그림이다. 앞의 Fig. 4-1~4-9와 달리 주기가 크다. 따라서 상대적으로 동일한 파고에 대하여 그 피해율이 상당히 크게 나타나고 있다.

Fig. 4-11~4-13은 Fig. 4-10과 동일하게 주기 2.0sec

제체경사는 1:2.00으로 하여 침단고를 5, 10, 15cm로 변화시켜 실험을 수행한 결과이다. 큰 피해율은 없었다. 이는 상대적으로 제체경사가 안정되어 있기 때문이다. 침단고의 변화에 따른 피해율에서는 15cm에서 제일 작은 피해율이 나타났다.

Table 4-3은 제체경사에 따

Table 4-3 Damage ratio with respect to mound slope

Consdition Slope		T = 1.6 sec		
		H/Lo = 0.01~0.015 D = 5.0cm	H/Lo = 0.014~0.016 D = 10.0cm	H/Lo = 0.02~0.03 D = 15.0cm
1:1.33	Block	9.52	2.08	3.70
	Tripode	0.00	2.00	2.42
1:1.50	Block	2.08	0.90	7.50
	Tripode	2.60	1.20	6.60
1:2.00	Block	0.00	0.00	3.80
	Tripode	0.00	0.00	2.50

른 그 피해율의 정도를 Block과 Tripode로 나누어 그 피해율의 크기를 나타낸 것이다.

Fig. 4-14는 침단고가 5cm일 경우 경사에 따른 피해율의 정도를 나타낸 것이다.

Fig. 4-16에서는 오히려 완

경사일 수록 그 피해율의 정도가 크게 나타났다. 이것은 침단고가 증가하면서 또 경사가 완경사가 될 수록 피복되는 피복석의 개수가 많아지므로 발생하는 것이라 생각된다. Fig. 4-14~4-16의 결과

에서도 Tripode가 체체경사에 따라 더 안정한 것으로 나타났다.

양압력계수는 Iribarren의 안정계수와 비교하여 Table 4-3~4-4에 나타내었다.

Fig. 4-17과 Fig. 4-18에 각각 평면Block과 Tripode하에서 체체경사에 따른 경험계수를 비교하였다. 평면 Block인 경우에는 실험에 의하여 얻어진 계수값이 Iribarren의 계수 값보다 훨씬 크게 나타났다.

Fig. 4-19와 Fig. 4-20에서도 동일하게 두가지 피복블록하에서 체체경사에 따른 안정계수값을 비교하였다. 앞의 Fig. 4-17과 Fig. 4-18의 결과와는 반대로 실험에 의한 계수값이 Hudson의 계수값보다 작게 나타났다. 이는 양압력을 영향을 무시한 Hudson식을 사용하여 중량을 산정하면 실제 안정한 중량보다 작은 중량이 산정된다. 따라서 이와 같은 과소중량산정을 방지하기 위해서는 각기 다른 피복블록의 형상에 따른 새로운 안정계수값을 사용하여야만 한다.

다른 피복블록의 형상에 대하여 파고의 변화에 대한 경험계수의 변화를 Fig. 4-21~Fig. 4-24에 도식하였다. 먼저 Fig. 4-21과 Fig. 4-22는 앞의 Fig. 4-17과 Fig. 4-18과 동일한 조건에 대하여 파고

Table 4-4 K' (K) and K'_D (K_D) calculated from the experiment(theory) for block unit

Case	cot α	A (cm ²)	W (g)	H (cm)	K'	K'_D	Iribarren's K	Hudson's K_D
Case B-10	1.33	41.90	117.8	5.50	0.0637	0.247	0.00275	1.278
Case B-11	1.33	"	"	6.30	0.0550	0.372	0.00183	1.920
Case B-12	1.33	"	"	8.00	0.0450	0.761	0.00089	3.933
Case B-13	1.50	"	"	8.00	0.0330	0.675	0.00205	3.480
Case B-14	1.50	"	"	11.00	0.0290	1.756	0.00079	9.066
Case B-15	1.50	"	"	12.50	0.0356	2.576	0.00053	13.303
Case B-16	2.00	"	"	11.00	0.0237	1.317	0.00399	6.799
Case B-17	2.00	"	"	16.50	0.0191	4.445	0.00118	22.948
Case B-18	2.00	"	"	20.50	0.0330	8.524	0.00061	44.011
Case C-5	1.50	"	"	11.00	0.0260	1.756	0.00790	9.066
Case C-6	2.00	"	"	15.00	0.0206	3.339	0.00150	17.241
Case C-7	2.00	"	"	19.00	0.0206	6.787	0.00077	35.040
Case C-8	2.00	"	"	19.00		6.787	0.00077	35.040

에 따른 안정계수의 값을 비교한 것이다. 실험에 의하여 얻어진 안정계수값이 Iribarren의 안정계수값보다 크게 나타났다. Fig. 4-23과 Fig. 4-24는 앞의 Fig. 4-19과 Fig.

4-20과 동일한 특성을 나타내고 있다. 따라서 양압력을 무시할 경우 Iribarren식이나 Hudson식에서 구하여지는 피복블록의 소요중량은 과소 평가된다.

5. 결 론

이와 같은 수리모형실험에서 얻은 자료를 기존의 이론들과 비교 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 일정한 주기하에서 파형경사가 커질수록 피복블록의 피해율은 증가한다.

2) 일정한 주기와 파형경사에서 Tripode의 피해율이 평면 Block의 피해율보다 작게 나타났다. 이는 공극의 차이에 의하여 Tripode가 받는 양압력의 크기가 상대적으로 작기 때문이다.

3) 일정한 주기와 파형경사하에서 가장 안정한 체체경사는 첨단고와 밀접한 관계를 갖는다.

4) 동일한 파고와 체체경사하에서 주기가 클수록 피복블록의 피해율이 크게 나타났다.

5) Iribarren 산정공식에 양압력을 고려할 경우 기존의 안정계수값이 상향조정되어야 한다.

6) Hudson 산정공식에 양압력을 고려할 경우 기존의 안정계수값은 하향 조정되어야 한다.

이상의 연구 결과외에도 본 연구에서 사용된 두가지 피복블록 이외의 다른 피복블록에 대하여도 양압력을 고려한 안정계수 값의 산정이 추후 더 연구되어야 한다고 생각된다. \triangle

Table 4-5 K' (K) and K'_D (K_D) calculated from the experiment(theory) for block unit

Case	cot α	A (cm ²)	W (g)	H (cm)	K'	K'_D	Iribarren's K	Hudson's K_D
Case B-1	1.33	43.033	257	5.50	0.0830	0.231	0.0196	0.581
Case B-2	1.33	"	"	6.30	0.0720	0.346	0.0130	0.874
Case B-3	1.33	"	"	8.00	0.0569	0.709	0.0063	1.790
Case B-4	1.50	"	"	6.30	0.0750	0.307	0.0309	0.775
Case B-5	1.50	"	"	11.00	0.0430	1.635	0.0056	4.172
Case B-6	1.50	"	"	11.00	0.0430	1.635	0.0056	4.172
Case B-7	2.00	"	"	11.00	0.0460	1.226	0.0284	3.090
Case B-8	2.00	"	"	16.50	0.0308	4.138	0.0084	10.447
Case B-9	2.00	"	"	20.00	0.0250	7.370	0.0047	18.605
Case C-1	1.50	"	"	11.00	0.0430	1.635	0.0056	4.127
Case C-2	2.00	"	"	15.00	0.0339	3.109	0.0112	7.840
Case C-3	2.00	"	"	19.00	0.0268	6.319	0.0055	15.952
Case C-4	2.00	"	"	19.00	0.0268	6.319	0.0055	15.952

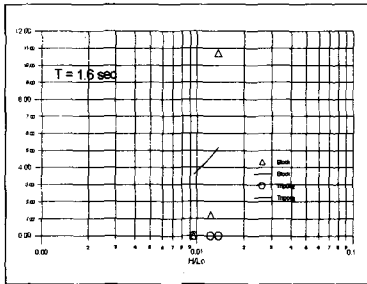


Fig. 4-1 Damage ratio with respect to H/Lo
(T=1.6sec, D=5cm, Slope 1:1.33)

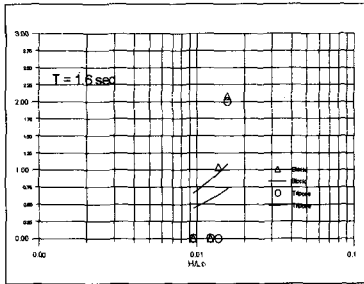


Fig. 4-2 Damage ratio with respect to H/Lo
(T=1.6sec, D=10cm, Slope 1:1.33)

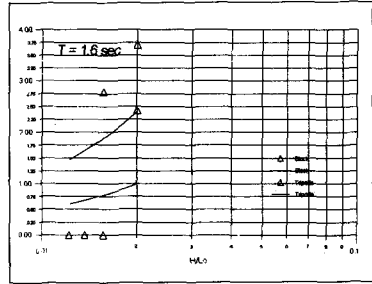


Fig. 4-3 Damage ratio with respect to H/Lo
(T=1.6sec, D=15cm, Slope 1:1.33)

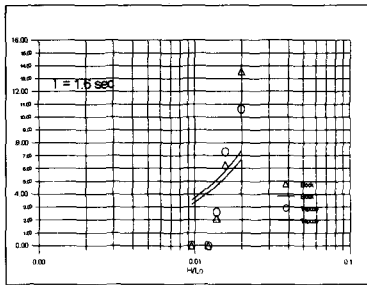


Fig. 4-4 Damage ratio with respect to H/Lo
(T=1.6sec, D=5cm, Slope 1:1.50)

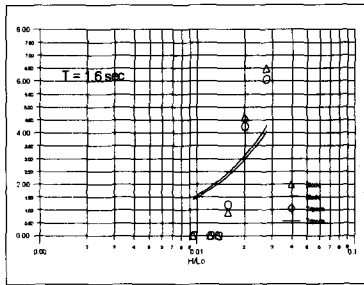


Fig. 4-5 Damage ratio with respect to H/Lo
(T=1.6sec, D=10cm, Slope 1:1.50)

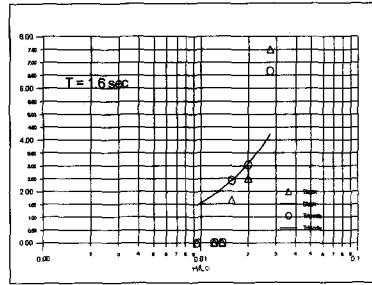


Fig. 4-6 Damage ratio with respect to H/Lo
(T=1.6sec, D=15cm, Slope 1:1.50)

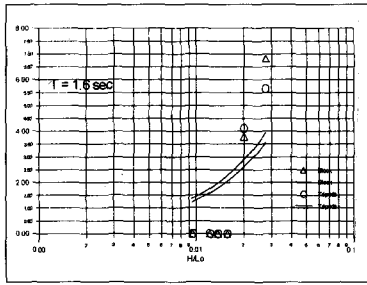


Fig. 4-7 Damage ratio with respect to H/Lo
(T=1.6sec, D=5cm, Slope 1:2.00)

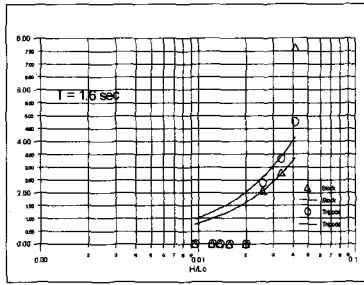


Fig. 4-8 Damage ratio with respect to H/Lo
(T=1.6sec, D=10cm, Slope 1:2.00)

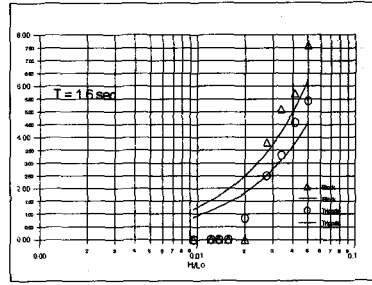


Fig. 4-9 Damage ratio with respect to H/Lo
(T=1.6sec, D=15cm, Slope 1:2.00)

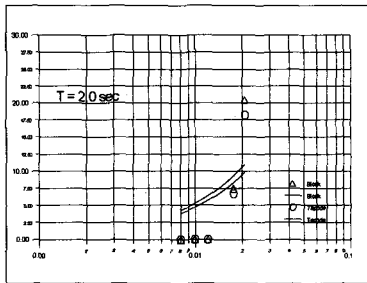


Fig. 4-10 Damage ratio with respect to H/Lo
(T=2.0sec, D=10cm, Slope 1:1.50)

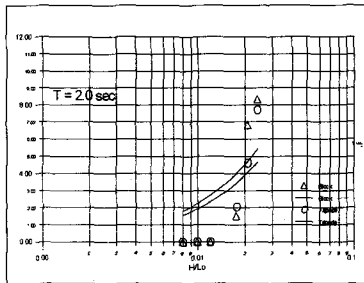


Fig. 4-11 Damage ratio with respect to H/Lo
(T=2.0sec, D=5cm, Slope 1:2.00)

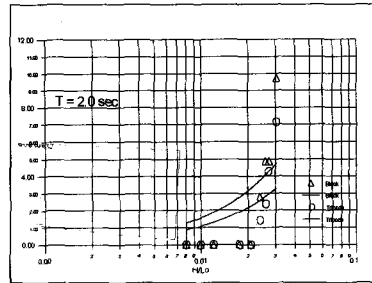


Fig. 4-12 Damage ratio with respect to H/Lo
(T=2.0sec, D=10cm, Slope 1:2.00)

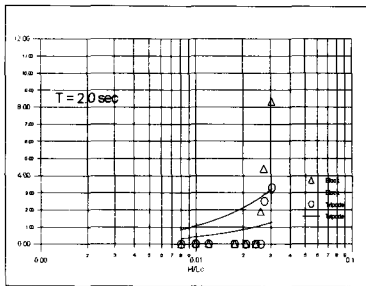


Fig. 4-13 Damage ratio with respect to H/L_o ($T=2.0\text{sec}$, $D=15\text{cm}$, Slope 1:2.00)

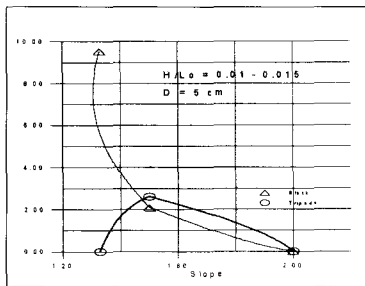


Fig. 4-14 Damage ratio with respect to slope ($H/L_o=0.01\sim 0.015$, $D=5.0\text{cm}$)

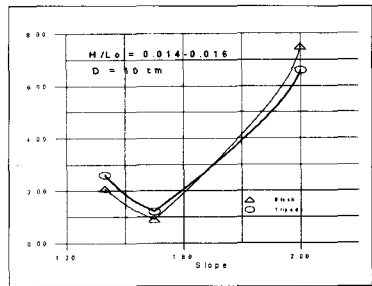


Fig. 4-15 Damage ratio with respect to slope ($H/L_o=0.014\sim 0.016$, $D=10.0\text{cm}$)

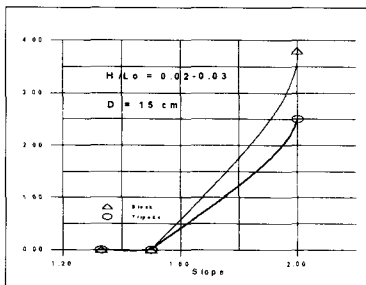


Fig. 4-16 Damage ratio with respect to slope ($H/L_o=0.02\sim 0.03$, $D=15.0\text{cm}$)

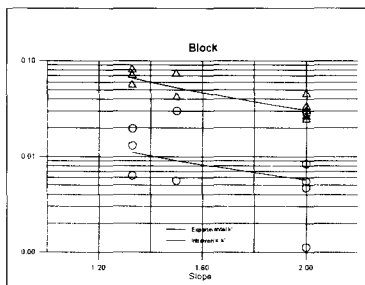


Fig. 4-17 Comparison of K' and K with respect to slope for block

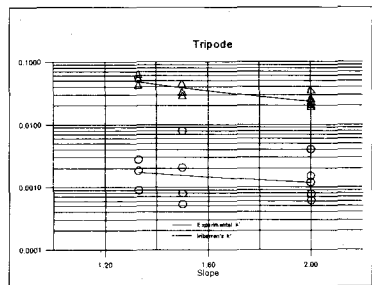


Fig. 4-18 Comparison of K' and K with respect to slope for tripode

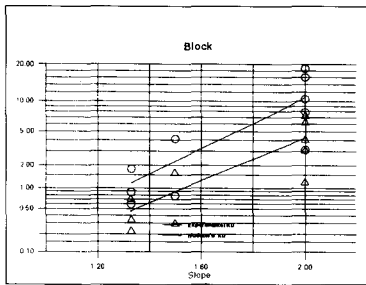


Fig. 4-19 Comparison of K'_D and K_D with respect to slope for block

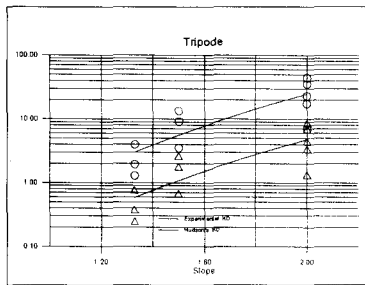


Fig. 4-20 Comparison of K'_D and K_D with respect to slope for tripode

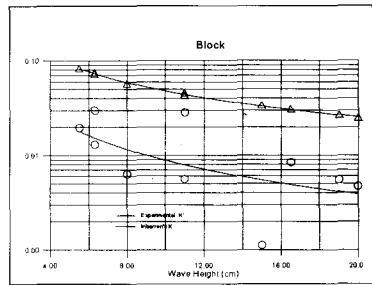


Fig. 4-21 Comparison of K' and K with respect to wave height for block

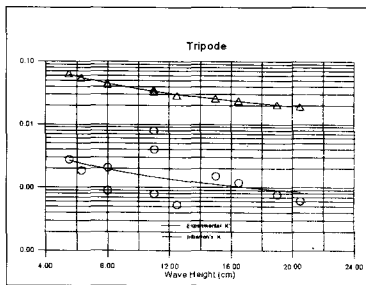


Fig. 4-22 Comparison of K' and K with respect to wave height for block

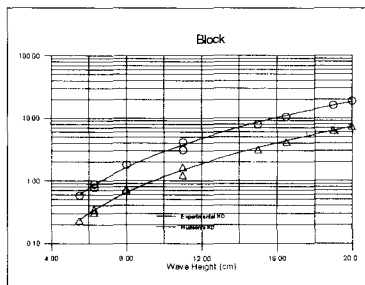


Fig. 4-23 Comparison of K'_D and K_D with respect to wave height for block

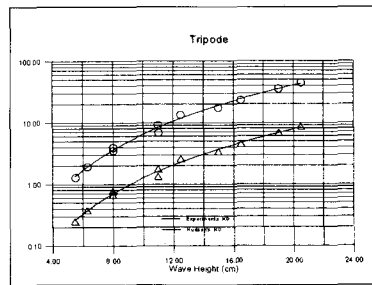


Fig. 4-24 Comparison of K'_D and K_D with respect to wave height for block