



不透水性防波堤의 越波에 대한 傳達係數의 算定

趙 元 喆 〈延世大學校 土木工學科·助教授·工博〉

서론

파(波)가 불투수성 방파제(impermeable breakwater)에 부딪칠 때 물의 일부는 방파제를 월파(overtopping)하여 재생파(再成波, regenerated waves)를 만든다. 매끄럽고 수직인 방파제에 단순파가 월파할 때 월파계수(overtopping coefficients)에 의한 파전달(wave transmission)을 계산하는 방법이 미국 육군 공병단의 해안공학 연구소(U.S.-ARMP-COE-CERC)

가 펴낸 Shore Protection Manual (SPM, 1984)과 Seelig(1976)에 의해서 제시되었다.

이들의 방법에서는 파의 주기에 의한 영향을 고려하지 않고 있다. 따라서 본고에서는 방파제 구조물의 경사(연직방파제와 일반적으로 경사진 방파제), 방파제의 상부폭(천단폭), 조도(粗度), 파 주기와 파의 형태, 즉 단순규칙파와 불규칙파의 성질을 고려한 월파계수를 가지고 파의 전달을 추산하는 일반적인 방법을 제시한다.

이 방법은 $d/gT^2 \leq 0.03$ 의 범위에

대한 실험 결과를 기초로 하고 있다. 여기서 d 는 수심, g 는 중력가속도, T 는 파주기이다. <그림 1>은 불투수성 방파제에서의 파전달을 나타낸 것이다.

이 방법은 방파제 구조물의 내부를 통한 파의 전달을 막기 위한 불투수성 방파제 사면, 불투수성 core 혹은 불투수성 diaphragm을 가진 방파제에 적용된다.



전달계수의 산정

실험결과는 불투수성 방파제의 월파에 의한 전달계수 (transmission coefficient), K_{T0} 는 다음식으로 계산할 수 있음을 보여주고 있다. (Seelig, 1980).

$$K_{T0} = \frac{H_t}{H_i} = C \left(1 - \frac{F}{R}\right) \dots \dots \dots (1)$$

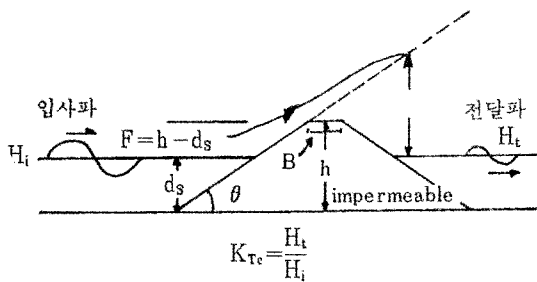
이 식에서 H_i 와 H_t 는 각각 입사파와 월파된 후의 전달파의 파고를 나타내며, F/R 은 파의 쳐오름(runup), R 에 대한 수면상의 방파제 높이(freeboard), F 의 비율로 Cross와 Sollitt(1971)가 제안하였으며, C 는 다음과 같은 경험식으로 구해진다.

$$C = 0.51 - 0.11 \frac{B}{h} \dots \dots \dots (2)$$

여기서, B 는 방파제 상부폭(천단폭)이고, h 는 방파제의 높이이다. 식(2)의 사용범위는 $0.0 \leq B/h \leq 3.2$ 이다.

방파제 앞쪽의 해저경사가 1/15인 경우에는 전달계수가 약간 과소산정되는 경향이 있어서 식(1)을 수정한 다음과 같은 식을 이용해서 전달계수를 구할 수 있다.

$$K_{T0} = C \left(1 - \frac{F}{R}\right) - (1 - 2C) \frac{F}{R} \dots \dots \dots (3)$$



$$K_{T0} = \frac{H_t}{H_i}$$

' 1) 불투수성 방파제의 월파에 의한 파의 전달 개념도

파의 쳐오름(runup : R)산정

구조물에 대한 파의 쳐오름 산정은 식(1)의 이용을 필요로 한다. 만약 쳐오름량이 수면상의 방파제 높이보다 크게 되면 월파에 의한 파전달이 방파제 후면으로 발생한다. 이런 경우에 대해서 Franzius(1965)는 완경사 방파제에 대한 쳐오름 산정식을 다음과 같이 제안하였다.

$$R = H C_1 \left(0.123 \frac{L}{H_i}\right) (C_2 \sqrt{H_i/d} + C_3) \dots \dots \dots (4)$$

여기서, H_i 는 입사파의 파고, L 은 파장, d 는 수심, C_1 , C_2 , 그리고 C_3 는 경험계수이다.

다음의 <표 1>은 방파제의 전면의 경사에 따른 계수 C_1 의 값으로, 표에 없는 경사에 대해서는 선형 보간에 의해서 그 값을 구하여 사용한다.

거친표면의 경사진 불투수성 방파제에 대한 처오름 높이의 산정을 위한 식으로는 다음과 같은 식을 Ahrens와 McCartney(1975)가 제안하였다.

$$R = \left(\frac{a\xi}{1+b\xi} \right) H_i; \xi = \frac{\tan\theta}{\sqrt{(H/L_0)}} \dots (5)$$

여기서, ξ 는 쇄파계수(surf parameter), θ 는 방파제 전면의 경사각, L_0 는 심해파의 파장으로, 단순파 이론으로부터 다음 식과 같이 주어진다.

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \dots (6)$$

또 a, b는 경험계수로 <표 2>에서와 같다.

처오름에 대한 보다 자세한 추가자료는 Stoa(1978)와 SPM을 참고할 것을 제안한다.

불규칙파일 경우, 파고는 유의 파고의 대략 0.63배인 평균파고를 사용하고, 주기는 식(4), (5), (6)에서의 침투에너지밀도의 주기를 사용한다(Seelig, 1980).



예 제

[예제 1]

방파제의 높이가 18ft(=5.49m), 상부폭이 12ft(=3.66m), 방파제 전면경사각 1/3이고, 2겹 구조의 쇄석으로 축조한 거친 표면의 불투수성 방파제가 있다.

수심은 15ft(=4.57m)이다. 파고가 9ft(2.74m), 주기가 11초인 입사파가 월파될 때 전달파의 파고를 구하라.

표 1. 완경사 불투수성 방파제에 대한 계수 C_i

방파제 전면 기울기	C_1	C_2	C_3
연 직	0.958	0.228	0.0578
1 on 0.5	1.280	0.390	-0.0910
1 on 1.0	1.469	0.346	-0.1050
1 on 1.5	1.991	0.498	-0.1850
1 on 2.25	1.811	0.469	-0.0800
1 on 3.0	1.366	0.512	0.0400

표 2. 거친표면의 경사진 방파제에 대한 처오름계수($1.25 \leq \cot\theta \leq 5.0$)

표면 형태	a	b	비 고
쇄석 2겹 구조	0.692	0.504	보통사용
쇄석 2겹 구조	0.956	0.398	상한치를 사용하거나 처오름과 K_{ro} 에 대한 보다 높은 안전성을 고려할 때 사용
Dolos 2겹 구조	0.988	0.703	

(풀이)

식(5)로부터 쇄파계수는

$$\xi = \frac{\tan\theta}{\sqrt{(H/L_0)}} = \frac{0.333}{\sqrt{9/(5.12 \times 11^2)}} = 2.77$$

<표 2>에서 a=0.692, b=0.504를 사용하여 R을 계산하면

$$R = \left(\frac{0.692\xi}{1+0.504\xi} \right) H_i = \left(\frac{0.692 \times 2.77}{1+0.504 \times 2.77} \right) \times 9 = 7.2\text{ft}(2.2\text{m})$$

이 구해진다. freeboard, F는

$$F = h - d_s = 18 - 15 = 3.0\text{ft}(=0.91\text{m})$$

이다. 식(2)로부터 $C = 0.51 - 0.11B/h = 0.51 - 0.11(12/18) = 0.44$, 또 식(1)로부터 전달계수를 계산한다.

$$K_{ro} = C \left(1 - \frac{F}{R} \right) = 0.44 \left(1 - \frac{3.0}{7.2} \right) = 0.257$$

따라서 전달파고, H_t 는 다음과 같다.

$$H_t = K_{ro} \times H_i = 0.257 \times 9 = 2.3\text{ft}(=0.71\text{m})$$

[예제 2]

<그림 2a>와 같이, 상부폭이 12.0ft(3.7m), 높이가 16.0ft(=4.9m), 수심이 11.2ft(=3.4m)인 표면이 매끄럽고 수직인 불투수성 방파제가 있다. 입사파고가 6.0ft(=1.8m)이고 주기가 12.0초인 단순파가 입사하여 월파할 때 전달파고를 구하라.

(풀이)

식(4)로부터 처오름 높이는

$$R = 6 \times 0.958 \times \left(\frac{0.123 \times 224.1}{6} \right) \left(\frac{0.228 \sqrt{6/11.2 + 0.0578}}{6} \right) = 8.1\text{ft}(=2.5\text{m})$$

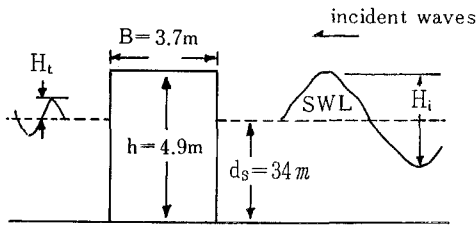
식(2)로부터

$$C = 0.51 - 0.11 \left(\frac{12.0}{16.0} \right) = 0.43$$

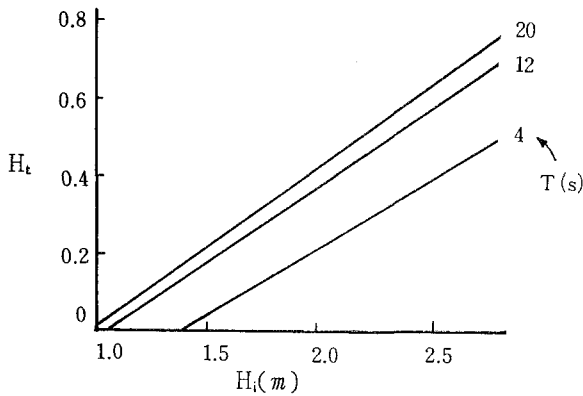
또 수면상 방파제 높이는

$$F = h - d_s = 16.0 - 11.2 = 4.8\text{ft}(=1.5\text{m})$$

따라서 식(1)로부터 전달계수는



a. 예제 2에 대한 개념도



b. 전달파고

〈그림 2〉 예제2에 대한 전달파고 예측도

$$K_{T0} = C \left(1 - \frac{F}{R} \right) = 0.431 - \left(\frac{1 - 4.8}{8.1} \right) = 0.175$$

전달파고는

$$H_t = K_{T0} H_i = 0.175 \times 6.0 = 1.0 \text{ft} (0.32 \text{m})$$

〈그림 2b〉는 본 예제의 경우, 전달파고가 입사파의 주기와 파고에 따라 어떻게 변하는가를 보여주고 있다.

요약

불투수성 방파제에 대한 전달계수의 크기를 수면상 방파제높이, 입사파의 파고, 주기, 수심 방파제 전면의 경사, 방파제 상부폭과 조도의 함수로서 간편하게 추산할

수 있는 방법을 제시하였다. 계산 과정을 컴퓨터프로그램화하면 간편하게 이용할 수 있겠다.

〈참고문헌〉

AHRENS, J. P., and McCartney, B. L., "Wave Period Effect on the Stability of Riprap," Proceeding of Civil Engineering in the Oceans/III, American Society of Civil Engineers, 1975, pp. 1019 ~1034(also Reprint 76-2, U. S. Army, Corps Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Va., NTIS A029 -726).

CROSS, R.H., and SOLLITT, C.K.,

"Wave Transmission by Overtopping," Technical Note No. 15, Massachusetts Institute of Technology, Ralph M. Parsons Lab., Cambridge, Mass., July 1971

FRANZIUS, L., "Wirkung und Wirtschaftlichkeit von Rauheckwerken im Hinblick auf den Wellenauflauf," Mitteilungen des Franzius Instituts für Grundund Wasserbau der TH Hannover, Heft 25, 1965, pp. 149 ~268.

SEELIG, W.N., "A Simplified Method for Determining Vertical Breakwater Crest Elevation Considering Wave Height Transmitted by Overtopping", CMD 76-1, U.S. Army, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Va., May 1976.

SEELIG, W.N., "Two Dimensional Tests of Wave Transmission and Reflection Characteristics of Laboratory Breakwater," TR 80-1, U.S. Army, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir Va., June 1980.

STOA, P. N., "Reanalysis of Wave Runup on Structures and Beaches," TP 78-2, U.S. Army, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Va., March 1978.

U.S. ARMY, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Shore Protection Manual, 4th ed., Vols. I and II, Government Printing Office, Washington, D.C., 1984.