

## 防波堤 被覆石에 대한 決定論的 및 確率論的 設計 Deterministic and Probabilistic Design of Breakwater Armor Layers

譯：農地開發研究所 干拓研究室

이 資料는 1988年 1월에 發行한 美國土木學會誌(水路, 港灣, 海岸, 海洋) Vol. 114, No. 1에 Jentsje. van der Meer에 의하여 寄稿한 것을 整理한 것이다.

### 要 約

不規則波의 被襲에 의한 捨石堤의 護岸工이나 防波堤에 대하여 和蘭이 Delft水理試驗所에서 綜合的인 模型研究를 實施한 結果 새로운 安定度 公式를 樹立하였다.

이들 公式은 波浪週期, 暴風持續期間 및 構造物 透水性등의 파라미터(媒介變數)가 包含되어 있으므로 破損의 程度가 分明하여 Hudson型 公式의 主된 短點을 解決하였다.

이들 新公式의 開發은 以前에도 記述된바 있으며 本論說에는 再論하지 않는다. 安定度 公式은 파라미터로서 適用이 可能한 範圍가 附與되었으며, 이들 公式은 決定論 및 確率論的 兩者 다같이 使用 方法이 提示되어 있다.

決定論的 設計節次는 여러가지 파라미터의 影響을 曲線으로 나타내어 졌으며 確率論的 設計는 構造物의 耐久年數期間內에 破損度의 超過確率을 나타낸 曲線으로 되어 있다.

### I. 緒 論

자갈 및 自然石과 같은 粗粒材를 傾斜된 護岸工이나 防波堤에 使用하는 것은 土木工事に 있어서 아주 普遍的인 것이다.

近年에는 構造物의 規模가 더욱 增大하고 環境이 더욱 有害하게 變更되어 가는 데 대한 必要性때문에 信憑性이 있는 設計公式이 더욱 必要하게 되었다.

Hudson公式은 이 公式을 使用하는 많은 사람들에 의해 여러 短點이 이는 것을 發見하였으며 그 例로서 波浪週期의 影響이 包含되어 있지 않고 不規則波에 대해서도 考慮하지 않았다.

規模가 큰 波浪水槽에서 實驗한 Ahrens의 研究(1975)는 捨石被覆工(립래프)의 安定度에 대해서 波浪週期의 重要性을 提示하였으나 規則波에 대해서만 實驗을 하였다.

Pilarczyk 및 den Boer(1983)는 Ahrens의 資料에 대한 評價에서 波浪週期를 包含한 安定度 公式을 導出하였으며, Losada 및 Gimenez-Curto(1979)는 規則波의 피습하에 捨石堤 傾斜面의 安定度에 附與한 公式에도 波浪週期가 包含되어 있다. Hedar(1960, 1986)는 構造物의 透水性이 重要함을 提示하였고, 그 亦是 規則波로서 實驗하였다.

Thompson과 Shuttler(1975)에 의해서 實驗

된 廣範圍한 研究은 不規則波下에서 捨石堤 護岸工의 安定性에 關한 것이며 結論中 主要事項은 散亂된 結果值內에서 浸蝕破損은 波浪週期에 左右되지 않음을 分明히 提示하였다. 그러나 그들 資料의 再分析으로 著者는 波浪週期和 關係가 있다는 事實을 發見하였다.

그러므로 Thompson과 Shuttler의 課業을 廣範圍한 模型研究 프로그램의 始發點으로 利用하였으며 그들이 施行한 100回以上의 實驗에 附加하여 250個以上의 物理的 模型實驗을 하였다.

이들 모든 實驗의 結果分析은 波浪週期の 影響, 暴風의 持續時間, 被覆石의 粒徑度, 스펙트럼의 形態, 群波 및 코어(core)의 透水性이 記述되는 2개의 實際的인 設計公式이다.

이들 公式의 研究開發은 Van der Meer(1987)에 의해서 論述 되었으며 本論說에서도 이들 公式를 再記述하고 關聯되는 파라미터를 言及하였다. 그러므로 이 公式에서는 파라미터의 影響을 나타내는 設計圖表를 作成하기 위한 決定論的 接近法이 使用되었다.

끝으로 이 公式에서 信賴性函數의 形態를 再記述하였으며 確率論的 設計에서도 使用하였다.

## II. HUDSON公式과의 比較

Hudson公式은 그 簡便性으로 인해서 잘 알려져 있다. 그 因子로서 石材의 質量, 相對質量, 密度 및 波高는  $\cot \alpha$ 에 의한 傾斜角에 直接 關聯되며 그림. 1 및 2는 이들 關係를 提示하였다.

이 關聯性은 波浪週期, 暴風의 持續期間 및 構造物의 透水性 등 獨立된 函數이다. 그림. 1 및 2에 提示된 Hudson公式 [ $K_D=4.0$  및  $H_{10}=1.27H_s$ , the Shore Protection Manual(SPM)(1984)]을 다음에 記述한 새로운 安定度 公式과 比較하였다. 曲線은 假想波形기울기의 각각의 數值를 誘導하였으며 假想이라 呼稱하는 波形기울기는 波高를 構造物의 比탈끝에서 취한 것

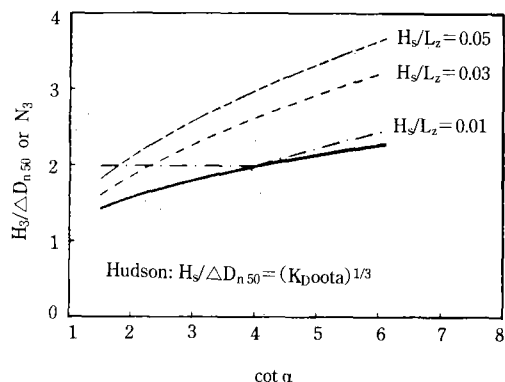


그림. 1. 1,000회의 波浪後 透水性 코어에 대한 Hudson 및 新公式과의 比較.

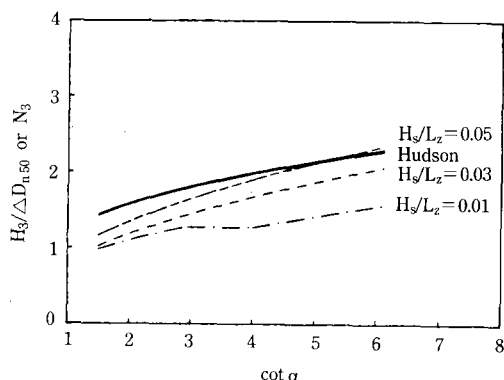


그림. 2. 5,000회의 波浪後 不透水性 코어에 대한 Hudson 및 新公式과의 比較.

과 같고 波長은 深海( $H_s/L_E=2\pi H_s/gT_E^2$ )에서 計算한 것과 같아. 그림. 1에서 提示된 曲線은 暴風의 持續期間 1,000회의 波浪後 透水性 構造物에 대한(Hudson이 使用한 數值보다 약간 많음) 것이고, 그림. 2는 不透水性 護岸의 安定度에 대하여 5,000회의 波浪被襲後(自然天候狀態에서는 5~10時間에 該當)의 狀態를 提示한 것이다.

Hudson公式은 特別한 경우에 대한 아주 概略的인 計算에만 使用할 수 있다는 것이 明白한 結論이다. 여기서  $N_s$ 의 數值는 8의 係數인 石材의 質量에서 差異가 있는 2의 係數 差異를 留意하여야 한다. 이들 圖表들은 簡單한 Hudson公式 代身 新公式을 適用하는 것이 設

計者에 대해서는 充分히 納得이 될 것이다.

### III. 安定度 公式(STABILITY FORMULAS)

研究結果의 最初分析과 公式의 開發은 Van der Meer와 Pilarczyk(1984) 및 Van der Meer (1985)가 發表 論述하였으나 모든 研究의 結果 分析으로 最終的인 安定度 公式은 Van der Meer(1987)에 의해서 作成되었다.

安定度 公式에서는 卷波(碎波, plunging) 및 亂波(非碎波, surging)에 대한 2개의 公式을 誘導하였다.(그림. 3)

이들 公式에 대한 主된 基本的인 假想은

(1) 堤體保護層이 石材로 構成된 捨石堤이고

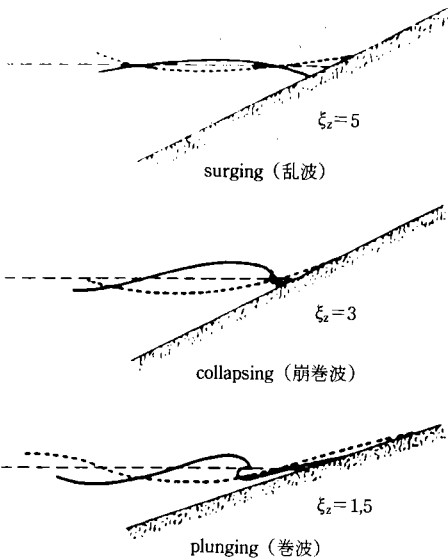


그림. 3. 卷波, 崩卷波 및 亂波.

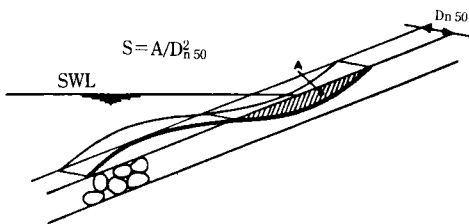


그림. 4. 浸蝕範圍 및 破損度 S.

(2) 無越波이거나, 若干의 越波의 경우(波浪의 10~15%보다 작음)

(3) 堤體의 傾斜가 一般的으로 均一한 것 다음에 記述한 公式은

卷波(plunging waves)인 경우

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} * \sqrt{\xi_z} = 6.2P^{0.18} \left( \frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \dots\dots(1)$$

亂波(surging waves)인 경우

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0P^{-0.13} \left( \frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\cot\alpha} \xi_z^2 \dots\dots(2)$$

여기서  $H_s$  = 堤體이 比탈끝에서 有義波高

$\xi_z$  = 磯波의 類似 파라미터

$$(\xi_z = \tan\alpha / \sqrt{2\pi H_s / g T_z^2})$$

$T_z$  = 平均波浪의 週期

$\alpha$  = 傾斜角

$\Delta$  = 石材(돌)의 相對質量密度

$$(\Delta = \rho_a / \rho - 1)$$

$\rho_a$  = 石材의 質量密度

$\rho$  = 물의 質量密度

$D_{n50}$  = 石材의 公稱지름

$$[D_{n50} = (W_{50} / \rho_a)^{1/3}]$$

$W_{50}$  = 質量分布曲線에서의 50%值

$P$  = 堤體의 透水係數

$S$  = 破損度 ( $S = A / D_{n50}^2$ )

$A$  = 斷面에서의 浸蝕範圍(그림 4)

$N$  = 波浪의 數(暴風의 持續期間)

### IV. 調整變數(GOVERNING VARIABLES)

#### 1. 傾斜

傾斜  $\cot\alpha$ 는 1.5~6의 사이에 存在한다.

#### 2. 波高

有義波高를 採用함. 安定度公式을 設定하기 위하여 施行한 實驗의 有義波高는 波高가 높은 것으로부터 全波數의 1/3을 취하여 平均한 것으로 定義한다.(最高 波浪值中 높은 值 1/3의

平均值로 定義한다)

이 定義는 스펙트럼  $H_s = 4\sqrt{m_0}$ 로부터 誘導한 有義波高와 거의 같으며 여기에서  $m_0$ 는 에너지 밀도 스펙트럼이 0(zero) 모우먼트일 때이고 兩者 共히 公式으로 使用할 수 있다.

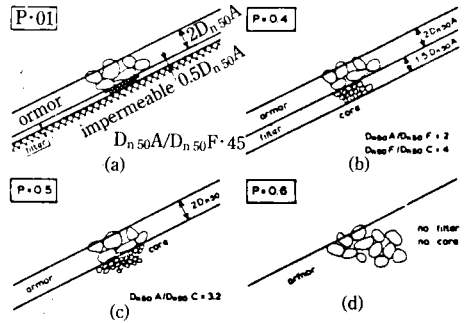
前濱(fore shore) 1:30의 均一한 경사에서 碎波를 發生케 하는 구조물 앞에서 若干의 實驗을 하였다. 이들 實驗의 分析에서 만약 구조물이 比較的 淺海領域에 位置하고, 波高의 分布를 切頭하였다면 波高에서 2%值를 超過한 曲線은 Rayleigh의 分布에 提示된 것과 잘 符合된다. 이것은 淺海의 位置 파라미터( $H_2\%/1.40$ )를  $H_s$ 代身에 公式 1 및 2에 使用하여야 한다. 1.40의 係數는 Rayleigh의 分布에 對한  $H_2\%/H_s$ 의 比이다.

### 3. 波形기울기

波形기울기(wave steepness),  $2\pi H_s/gT^2$ 는 0.005~0.06사이가 되어야 한다. 波形기울기가 0.06보다 더 클 경우에는 不安定하고 그 기울기로 因해서 碎波가 된다. 그러므로 이 값은 上位部 境界로 간주할 수 있다. 平均 波浪週期는 公式에 의하거나 波浪信號(wave signal)가 0의 上位部를 橫斷한 것에 限定된 公式을 使用하였다.  $m_2$ 가 에너지 밀도스펙트럼의 제2차 모우먼트일 때  $T_x = \sqrt{m_0/m_2}$ 이다. 이 平均週期는 相異한 스펙트럼의 형태, 例로서 相異한 安全度 曲線이 주어지는 最高週期일 때 같은 安定度가 附與되므로서 選擇하였다.

### 4. 透水性

透水係數 P는 構造物의 安定度에 대한 透水性의 影響을 記述하기 위하여 導入하였으며 3種의 構造物에 對하여 調査研究하였다. 上位部 境界值 P는 非透水性(진흙 또는 모래) 코어로 하고(그림. 5(a)), 아울러 그 值 P=0.1로 推定하였다. P의 上位部 境界值는 被覆石으로만 構成된 均質構造物(homogeneous structure)에 대한 것이며 이 構造物에 대한 係數 P=0.6으로 推定한다.(그림. 5(d))



$D_{n50A}$  = nominal diameter armor  
 $D_{n50F}$  = nominal diameter filter  
 $D_{n50C}$  = nominal diameter core  
Structures on Fig. 5a, 5c and 5d have been tested.

The value of P for Fig. 5b has been assumed.

그림. 5. 透水性 係數.

제3의 構造物은 透水層코어 위에 직경의 2배인 두꺼운 被覆層으로 構成되어 있고 被覆石/코어의 粒徑比는 3.2가 되고 이 構造物에 대한 係數 P=0.5로 推定하였다.(그림. 5(c))

제1 및 3의 構造物은 Heder(1960, 1986)에 의한 研究와 近似하며 Hedar도 透水性이 構造物의 安定度에 큰 影響이 있다는 것을 發見하였다.

그 外의 構造物에 대한 P值, 例로서 1個層以上 또는 두께가 더 두꺼운 被覆石에 對하여는 記述한 3개의 特別構造物에 對해서 樹立한 數值로서 推算한다.(그림. 5(b)) 그리고 設計者의 經驗이 P值를 選定하는데 대단히 重要하다.

### 5. 破損度 S

破損度 S는 그림. 4에서 表示된 바와 같이 被覆層에서  $1D_{n50}$ 幅 이내의 水面周邊을 浸蝕한  $D_{n50}$ 이 側面(뒷길이)이 되는 石材의 數를 말한다. 2個의 方塊石 두께를 갖는 被覆層에 대한 下位部 및 上位部의 破損度는 표-1에 提示된 數值로 推定한다.

波損始發(start of damage)의 定義(急傾斜: S=2, 緩傾斜: S=3)는 Hudson(1958) 및 Ahrens(1975)가 使用한 것과 같아. “필터 層의 可

표-1. 2個層의 方塊石 두께를 갖는 捨石 傾斜에 대한 下部 및 上部의 破損度.

Cot α (1)	Damage Level $S=A/D_{n,50}^2$	
	Start of damage (2)	Filter layer visible (3)
1.5	2	8
2.0	2	8
3.0	2	12
4.0	3	17
6.0	3	17

視狀態(filter layer visible)는 被覆層의 破壞(構造物이 비록 直時 破壞하지 않을 지라도)로 推定한다.

### 6. 暴風의 特續期間

波浪의 數, 또는 暴風雨 特續期間인  $N$ 가  $N=1,000\sim 7,000$ 의 範圍일때는 公式를 使用할 수 있다.  $N$ 가  $N>7,000$ 일때의 破損은 너무 過多하게 推算되는 傾向이 있다.

最大의 破損은  $N=8,000\sim 9,000$ 에 나타났다.

### 7. 質量密度

實驗에서 使用된 石材의 質量密度(mass density)는  $2,000\sim 3,000\text{kg/m}^3$  사이에 있고 相對質量密度  $\Delta$ 는  $1.0\sim 3.0$ 의 範圍內로 주어진다.

### 8. 其他 파라미터

公式 1 및 2에는 石材의 粒度(不均一한 捨石 또는 均一한 石材 riprap or uniform stones), 스펙트럼의 幅 또는 群波의 信號등이 包含되지 않았다. 調査研究에서 不均一한 石材사이에는 安定性에 아무 差異가 없음을 나타냈고, 또한 스펙트럼의 形態 및 群波등은 波浪週期에서 最高週期가 아닌 平均波浪의 週期를 使用한다면 安定性에 影響을 미치지 않는다.

## V. 決定論的 設計 圖表

設計圖表(그래프)는 公式 1 및 2를 使用해서

作成할 수 있으며 여러가지 파라미터의 影響을 論證하기 위하여 그래프를 假定한 構造物에 대하여 附與하였다. 이 構造物의 特性은 공칭지름  $D_n$ ,  $D_{n,50}=1.0\text{m}$ , 石材의 質量密度  $P_s=2,600\text{kg/m}^3$ , 即  $W_{50}=2,600\text{kg}$ : 물의 質量密度,  $P=1,000\text{kg/m}^3$ , 相對質量密度  $\Delta$ 는 1.6; 傾斜角  $\cot \alpha=3.0$ ; 破損度  $S=5$ (破損耐限年數 50年); 그림. 5(C)에 보는 바와 같이 透水性  $P=0.5$ (透水性코어) 및 暴風의 特續期間  $N=3,000$ 의 波浪 등이다.

### 1. 波高, 週期 및 破損度의 影響

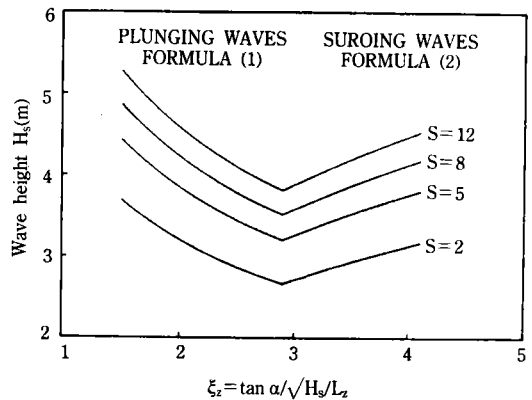
大概의 設計그래프에는  $H_s-\xi_z$ 의 그림으로 나타내어지며 波高는 縱軸, 磯波의 類似性 또는 碎波파라미터는 橫軸으로 그려져 있다. 碎波파라미터는 波浪週期 및 傾斜角의 影響을 考慮한 것이다.

破損度  $S=2$ (破損始發),  $S=5$  및  $8$ (許容破損)  $S=12$ (필터層이 可視되는 破損)를 그림. 6에 그렸다.

그림. 6의 公式1(卷波-plunging waves)은 左便, 公式2(亂波-surgng waves)는 右便에 圖示하였다.

앞의 附與된 構造物에 대한 推定파라미터를 使用하므로써  $S=5$ 에 대한 卷波曲線은 公式 1에서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_s = 5.43 \xi_z^{0.5} \dots \dots \dots (3)$$



$D_{n,50}=1\text{m}$   $\Delta=1.6$   $\cot \alpha=3$   $P=0.5$   $N=3000$

그림. 6. 破損度의 影響.

公式 2로부터 亂波曲線은

$$H_s = 1.88 \xi_z^{0.5} \dots \dots \dots (4)$$

卷波로부터 亂波가 되는 變移는

$$\xi_z = (6.2 P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha})^{1/(P+0.5)} \dots \dots \dots (5)$$

이 變移(崩卷波-collapsing waves)는 最小의 安定性이 부여된다. 卷波의 領域에서는 런업 및 런다운 다같이 最少의 安定性이 되는 높이 이다.

### 2. 傾斜角의 影響

그림. 7은 傾斜角  $\cot \alpha = 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 6.0$ 에 대한 安定度 公式를 圖示한 것이다. 左便(卷波)은 하나의 曲線으로 부여되었으며 이것은 碎波領域에서의 碎波파라미터는 뛰어나게 우수하다는 것을 의미한다. 傾斜角이 1:4보다 더 緩한 傾斜에 대하여는 亂波는 發生하지 않는다. 더 急한 傾斜에 대하여 最少限의 減少 즉 더 낮은 波高는 不安定性을 誘發하게 되며, 卷波에서 亂波의 變移는 左便으로 移動한다.

### 3. 透水性의 影響

그림. 8은 4개의 透水性 係數值에 대한 曲線을 圖示한 것이다.  $P=0.1$ (不透水性 構造物)의 값은 下部領域이고  $P=0.6$ (均質構造物)의 값은 上部 領域으로 되어 있다.

卷波(그림. 8의 左便)에 대한 波浪週期の 影響은 透水性의 構造物일수록 더 安定하지만 4개의 構造物은 다같이 같은 傾向을 나타내고 있다. 構造物이 더 透水性일수록 亂波( $\xi_z > 3.5$ )에 대해서는 더욱 安定하다. 그러나 安定度는 波浪週期가 커질수록 增加된다. 透水性이 커지면 더 急한 曲線이 된다.

이 現象은 傾斜面에서 물의 運動差異에 의한 物理的인 것으로 說明된다. 不透水層 코어로 된 傾斜面에서는 물의 흐름은 被覆層에 集中되며 波浪의 런다운 期間中 被覆層에 대하여 큰 힘을 誘發하게 된다. 透水性 코어로 된 傾斜面에서는 물은 코어內에 消散되며, 흐름의 激浪度는

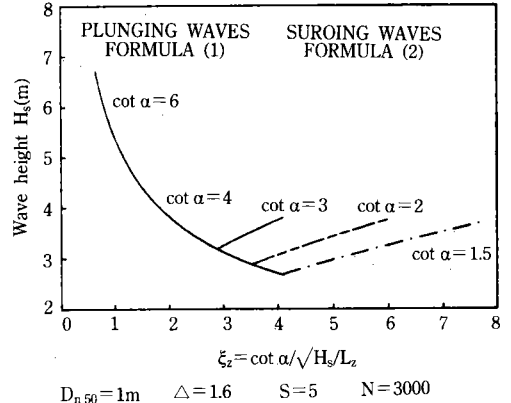


그림. 7. 傾斜角의 影響.

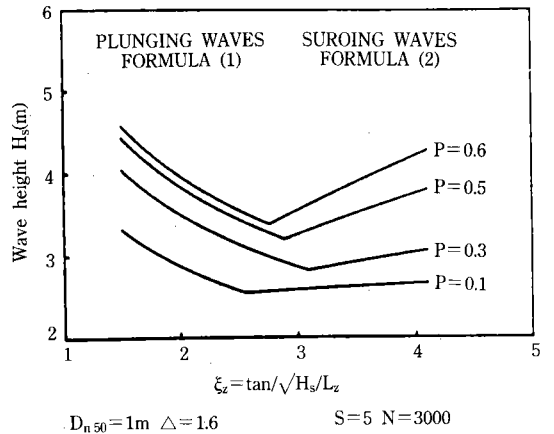


그림. 8. 透水性의 影響.

덜 하게 된다. 더 낮은 波浪週期(더 큰  $\xi_z$ )는 물이 더 浸透되고 코어를 통해 流下한다. 이 現象이 波力을 減少시키고 傾斜面을 安定시킨다.

波高와 關聯하여 P가 0.1~0.6으로 變移됨에 따라 安定性이 35%以上 增加한다. 이것은 同一한 設計波高에 대한 石材의 質量에 있어서 因子 2.5의 差違가 됨을 意味하며 단지 透水性의 差異로 因한 것이다. 이 狀況은 透水性 小段(berm)에 適用된 小段의 碎波 概念(Baird and Hall 1984)에서 考慮한 것이다.

### 4. 暴風 持續時間의 影響

그림. 9는 相異한 暴風持續期間, 即 相異한

波浪의 數에 대한  $S=5$ 의 破損度를 圖示하였다.  $\xi_z=2$  및  $N=1,000$ 에 대한 破損水位는 波高  $H_s=4.3m$ , 暴風의 持續期間이 아주 길때( $N>7,000$ )에는  $H_s=3.5m$ 에 도달한다. 暴風의 持續期間은 不規則波로서 實驗할때만 分明하게 되는 파라미터이며, 單色波(monochromatic waves)에 대한 均衡은 1,000의 波浪 範圍內에서 發見하게 된다.

이것은 波浪이 不規則할 때 原型 條件에 대한 單色波로 開發된 安定度公式를 使用한다는 것은 그리 쉬운 것이 아니며 이것은  $H$ 를 有義波高  $H_s$ , 또는 이보다 더 높은 波高로 간단하게 代置할 것이 아니다.

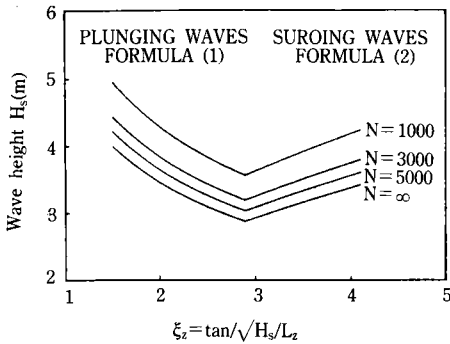


그림. 9. 暴風 持續期間의 影響.

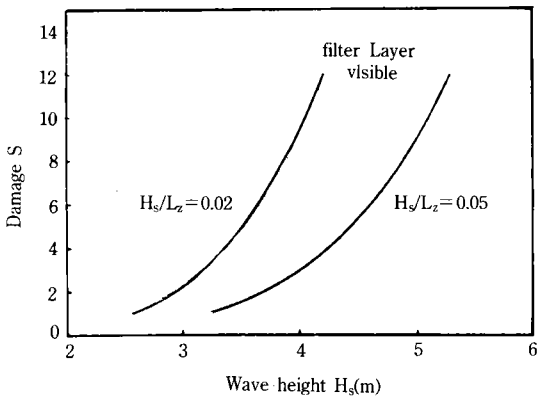


그림. 10. 破損曲線.

## 5. 破損曲線

다른 別個의 그래프는 波高의 函數로서 破損이 圖化된 破損曲線 公式으로부터 計算할 수 있다. 그림. 10은 假想波形기울기의 2個의 相異한 數值에 대한 破損曲線으로 주어지고 있는데,  $L_z = gT_z^2/2\pi$ 일때  $H_s/L_z = 0.02$  ( $S = 0.00907 H_s^3$ , 公式 1)이고  $0.05$  ( $S = 0.00289 H_s^3$ )이다.

## VI. 結 論

그림. 10의 圖表는 安定度를 支配하는 파라미터의 影響에 대한 좋은 모양을 부여하고 있는데, 公式과 그래프의 圖化는 퍼스널 컴퓨터로서 作成되었다. 이것은 設計者가 改善된 設計를 하기 위하여 安定度와 可能性에 대한 여러가지 變化要因을 注視하고 捨石堤의 被覆層을 設計하는데 매우 容易하게 되어진다.

## VII. 確率論的 設計

護岸工 또는 防波堤를 設計하는 目的은 構造物의 築造期間 및 그 利用期間 동안에 破壞 및 崩壞의 確率이 아주 낮은 것을 얻는데 있다. 이것에 대한 가장 可能한 算定을 얻기 위하여는 危險度分析을 遂行하여야 한다. 危險度分析의 3개 主要素는 障害, 機構(mechanism) 및 結果이다.

危險度의 分析은 障害 및 機構의 目錄을 準備하는 것으로 始作되며 機構는 障害에 對應한 構造物의 方法으로서 分明하여 진다. 障害와 機構의 結合은 特殊한 確率로서 그 構造物의 全體나 構成要素가 破壞 또는 崩壞로 誘導된다. 여기에서는 波浪作用으로 被服層의 不安定度에 대한 機構만을 다룰 것이다.

破壞確率이 確率論的 計算은 限界狀態를 考慮한 소위 信賴性函數  $Z$ 를 使用해서 遂行될 수 있으며 이것의 가장 簡單한 公式  $Z = \text{強度} - \text{荷重}$ 이다.  $Z$ 의 陰數值는 破壞에 해당된다. 그래서 破壞確率は  $P(Z < 0)$ 와 같이 상징적으로 表現할

수 있다. 被覆層의 設計에 있어서 여러가지 파라미터(公式 1 및 2)는 다음과 같이 構成要素, 強度 =  $D_{n50}$ ,  $\Delta$ ,  $\cot \alpha$  및  $P$ ; 荷重 =  $H_s$ ,  $T_z$  또는  $H_s/L_z$  및  $N$ 로 표현될 수 있다.

被覆層을 設計하기 위하여 破損度  $S$ 는 事實上 信賴函數에 대한 破壞基準과 同等하다. 이것은 相異한 破損度에 대하여 確率로 計算할 수 있다는 것을 意味하며 公式 1 및 2를 再整理하므로써 信賴性函數가 成立되어질 수 있다. 이 경우 波浪週期의 影響은 波形기울기  $H_s/L_z$ 로 記述되며 卷波(plunging wave)에 대한 信賴性函數  $Z$ 는 다음 公式와 같이 記述된다.

$$Z = S^{0.2} * 6.2 P^{0.18} \cot \alpha^{0.5} \Delta D_{n50} - (H_s + FH_s) \left( \frac{H_s}{L_z} \right)^{-0.25} N^{0.1} \dots \dots \dots (6)$$

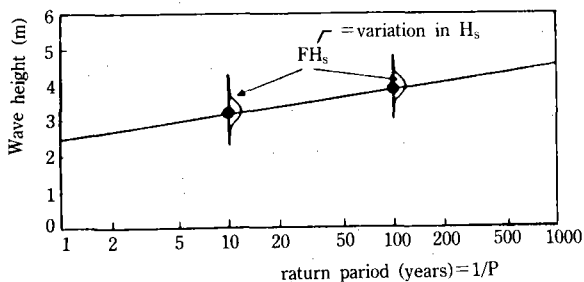
亂波(surging wave)에 대해서는

$$Z = S^{0.2} * P^{-0.13} \cot \alpha^{0.5-P} \Delta D_{n50} - (H_s + FH_s) \left( \frac{H_s}{L_z} \right)^{-0.5P} N^{0.1} \dots \dots \dots (7)$$

여기에서  $FH_s$ 는 그림 11에서 圖示된 것과 같이 波高의 不確實性에 起因되는 파라미터이다. 波高의 長期分布는 Weibull의 指數函數에 의하여 다음과 같이 記述될 수 있다.

$$P(H_s) \equiv P(H > H_s) = \exp\left\{-\left[\frac{H_s - C}{B}\right]^y\right\} \dots (8)$$

여기서  $C$ =背景消音度 또는 下位部 境界



$$P(H_s) = P[H > H_s] = \exp[-(H_s - 2.5)/0.3]$$

그림. 11.  $FH_s$ 의 變移에 따른 波高의 長期分布.

$B$ =縮尺파라미터

$\gamma$ =形狀파라미터

이 長期分布의 不確實性은 영(0)의 不均値와 정규분포를 가지는 公式 6 및 7에서  $FH_s$ 의 파라미터에 의해 주어지고 있으며 예를 들어 여기서  $C=2.5$ ,  $B=0.3$  및  $r=1.0$ 로 부여되었다면 波高의 長期分布는 그림. 11에서 파라미터  $FH_s$ 와 같이 나타나고 있다. 이 경우 1/50년의 波高  $P=1/50$ 로 公式 8을 使用해서 計算하면 3.67m이다. 計算에 使用된 平均値와 標準偏差는 表-2에 表示하였으며, 平均値는 決定論的 設計曲線에서 誘導한 것과 같다.

다음 表의 a 및 b의 파라미터는 安定度公式의 不確實性으로 a=公式 1에서 係數 6.2 및 b=公式 2에서 係數 1.0으로 주어진다. 安定度公式의 標準偏差는 모든 模型實驗의 結果로 誘導되었다.

그림. 12는 模型實驗의 結果, 90%가 信賴되는 公式 1이다. 이 圖表에서 標準偏差  $\sigma=0.4$ 로 確立되었다.

公式 2에 대한 標準偏差는 0.08임이 判明되었다. 公式 1 및 2의 不確實性은 曲線適擬化(curve-fitting)와 自然狀態에서 惹起될 수 있는 被覆石의 不規則한 舉動으로 起因된 것이다. 近似完全 分布接近(approximate full distribution approach(AFDA))으로 level II의 1단계 2차 모

表-2. 確率論的 計算, Level II에 대해 使用한 파라미터.

파라미터 (1)	분 포 (2)	평 균 (3)	표준편차 (4)
$D_{n50}$ (m)	Normal	1.0	0.03
$\Delta$	Normal	1.6	0.05
$\cot \alpha$	Normal	3.0	0.15
$P$	Normal	0.5	0.05
$N$	Normal	3,000	1,500
$H_s$	Weibull	$B=0.3$	$C=2.5$
$FH_s$	Normal	0	0.25
$H_s/L_z$	Normal	0.04	0.01
a(Eq.1)	Normal	6.2	0.4
b(Eq.2)	Normal	1.0	0.08



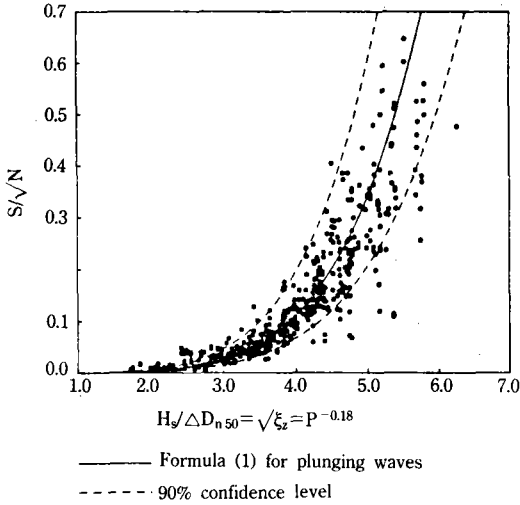


그림. 12. 實驗結果 卷波에 대한 公式 1.

우먼트 (first-order second-moment (FOSM) )의 방법이 計算에 使用되었다.

이러한 觀點에서 一般의인 參考文獻은 Thoft-Christensen 및 Baker(1982)와 Hallam et al.(1977) 등이다. 이러한 計算들은 여러개의 破損度 S에 대하여 遂行하였으며 그 結果는 1年에 破損度の 發生確率로 주어진다. 提示된 그림. 13에서 이들 確率/年은 작으며 橫軸은 破損度 S이고, 縱軸은 1年에 이들 破損度の 超過確率이며 例로서 1年에 破損度 S=4의 超過確率は 約 2%에 해당된다.

X-年期間에 대한 超過確率は 다음 公式을 使用하여 얻을 수 있다.

$$P(Z < 0; Xyr) = 1 - (1 - P(Z < 0, 1 yr))^X \quad (9)$$

公式 9를 使用하고 그림. 13에서 誘導된 結果는 그림. 14에 提示하였으며, 曲線은 3개의 耐久年限(X=20, 50 및 100년)에 대한 것을 그렸다. 이 그림에서 破損度 S=2는 破損의 始發이며 耐久年限 50年 동안에 確實히 發生될 것이라는 것을 意味한다. 같은 耐久年限동안 許容破損度(S=5-8)은 0.2-0.5의 確率로 發生될 것이다. 50年の 耐久年限內에 發生되는 破損(필터層이 可視되는 狀態)의 確率は 0.1보다 적다.

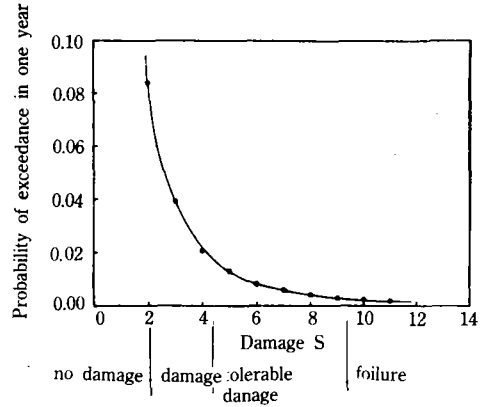


그림. 13. 破損度S/年の 超過確率.

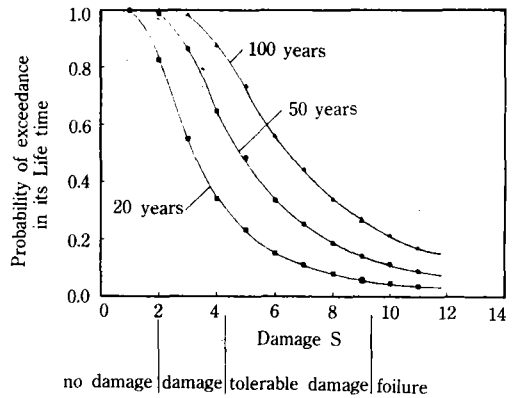


그림. 14. 構造物 耐久年數中 破損度 S의 超過確率.

이러한 確率曲線은 防波堤의 耐久年限 期間中 費用을 最適化시키는데 使用될 수 있다. 이들의 節次는 Nielsen과 Burcharth(1983) 및 Le Mehaute(1985)에 의해서 論議되었다. 防波堤에 대한 其他破損 매가나짐을 考慮한 確率論的 設計는 韓半島의 CIAD report(1985)에 記述되어 있다.

## VIII. 結 論

新安定度公式은 廣範圍한 模型의 研究結果로부터 誘導되었다. 이러한 公式들은 여러가지 파라미터의 影響을 나타내는 設計그래프를 開發

하는데 利用되었으며 이들 公式들은 信賴性函數의 形態로 再整理되었다. Level II의 計算은 構造物의 耐久年限 期間中 相異한 破損度의 超過確率을 나타낸 그래프로 되어 있다.

決定論的 및 確率論的인 設計節次의 兩者 모두가 하나의 例로서 使用되어 졌으며 다른 構造物에 대하여도 參考文獻에서와 같이 이 例를 使用하여 같은 設計의 計算을 할 수 있다.

### 附記 1. 記號

이 論文에는 다음의 記號가 使用되었다.

A=斷面에서의 浸蝕範圍(erosion area in a cross section)

a=確率變數처럼 使用된 公式 1에서의 係數 6.2(coefficent 6.2 in Eq. 1, used as a stochastic variable)

AFD A=近似完全分布 接近(approximate full distribution approach)

B=指數函數에서 尺度파라미터(scale parameter in exponential function)

b=確率變數처럼 使用된 公式 2에서의 係數 1.0(coefficent 1.0 in Eq. 2, used as a stochastic variable)

C=指數函數에서 下部位 境界(lower boundary in exponential function)

$D_{q,50}$ =公稱지름( $W_{50}/P_a$ )<sup>1/3</sup> (nominal diameter ( $W_{50}/P_a$ )<sup>1/3</sup>)

FH<sub>5</sub>=波高 H<sub>s</sub>의 不確實性 파라미터(uncertainty parameter of wave height H<sub>s</sub>)

FOSM=1段階 2차모우먼트 接近法(first-order second-moment approach)

g=重力加速度(acceleration due to gravity)

H<sub>s</sub>=有義波高(significant wave height)

H<sub>10</sub>=1/10波浪의 平均波高(average of highest 10% of waves)

L<sub>z</sub>=深海波長( $gT_z^2/2\pi$ )(deep water wave length( $gT_z^2/2\pi$ ))

m<sub>z</sub>=에너지密度 스펙트럼의 0차모우먼트 (zeroth moment of energy density spectrum)

m<sub>2</sub>=에너지密度 스펙트럼의 2차 모우먼트 (second moment of energy density spectrum)

N=波浪의 數(暴風特續期間)(number of waves(storm duration)

N<sub>s</sub>=安定數( $H_s/\Delta D_{n,50}$ )(stability number ( $H_s/\Delta D_{n,50}$ ))

P=透水係數(permeability coefficient)

P{Z<0}破壤確率(probability of failure)

=

S=破損度( $A/D_{n,50}^2$ )

(damage level( $A/D_{n,50}^2$ ))

T<sub>z</sub>=平均波浪의 週期(average wave period)

W<sub>50</sub>=質量分布曲線에서 50%의 值(50% Value of mass distribution curve)

X=構造物의 耐久年數(life time of the structure(years))

Z=信賴性函數(reliability function)

α=傾斜角(slope angle)

ρ=指數函數에서의 形狀파라미터(shape parameter in exponential function)

Δ=相對質量密度( $(p_a/p-1)$ )(relative mass density( $(p_a/p-1)$ ))

ξ<sub>z</sub>=不規則波에 대한 磯波의 類似파라미터( $\tan \alpha/\sqrt{H_s/L_z}$ )

(surf similarity parameter for random waves ( $\tan \alpha/\sqrt{H_s/L_z}$ ))

P<sub>a</sub>=물의 質量密度(mass density of water)

p=石材(돌)의 質量密度(mass density of stone)

σ=標準偏差(standard deviation)

plunging waves(breaking) = 卷波(碎波)

Collapsing waves = 崩卷波

Surging Waves(nonbreaking) = 亂波(非碎波)