

平常波의 港內靜穩度 分析을 통한 港灣稼動率의 算定

鄭遠武*, 鄭信澤*, 蔡璋源*

1. 緒 論

지금까지의 港灣靜穩度 評價時에는 주로 回歸年度 50年の 設計波를 入射波로 사용하여 對象水域에서의 波高比를 구한 후 平常時의 波浪에 대해서도 이 比率이 線形的으로 適用 可能한 것으로 假定하고 사용하였다. 그러나, 設計波와 平常時 波浪은 週期の 波高가 달라서 波浪傾斜가 다르므로 위와 같이 波高比가 線形的으로 比例한다고 假定하는 것은 실제와 상당한 차이를 야기시킬 수 있다. 또한, 대부분의 港은 設計波向에 대해서는 遮蔽되어 있기 때문에 2~3 개의 設計波向만 고려할 경우 港入口가 열린 方向으로 직접 들어오는 波浪에 대한 檢討가 누락될 수도 있다. 따라서, 短週期波에 의한 港灣靜穩度 檢討時에는 設計波에 비해 波高와 週期가 작은 平常波에 대한 檢討가 필요하다. 本 研究에서는 16 方位別로 年中 5 % 및 10 % 出現率의 波를 대상으로 西歸浦港에 대해 數值計算을 實施하여 同 港의 短週期波에 의한 港灣稼動率 算定 方法과 그 結果를 제시하였다.

2. 平常時 波浪의 選定

海運港灣廳(1993)에서는 西歸浦港의 深海 設計波向으로 水産廳(1988)에서 제시한 波向 S($H_{1/3} = 10.9$ m, $T_{H_{1/3}} = 15.0$ sec)와 SSE($H_{1/3} = 10.1$ m, $T_{H_{1/3}} = 14.0$ sec), 그리고 海運港灣廳(1987)에서 제시한 SW($H_{1/3} = 10.0$ m, $T_{H_{1/3}} = 13.0$ sec)와 SE($H_{1/3} = 10.0$ m, $T_{H_{1/3}} = 13.0$ sec)를 제시하였다. 本 研究에서는 海運港灣廳에서 濟州道 남쪽의 마라도 부근에 波高·波向計(Directional Waverider Buoy)를 設置하여 1991년 8월 22일부터 1992년 8월 31일까지 觀測한 資料를 16 方位別로 $H_{1/3}$ 및 $T_{H_{1/3}}$ 에 대해 分析하여 平常波로 사용하였다. 그리고, 16 方位中에서 西歸浦港의 靜穩도에 영향을 미치는 波向으로는 港入口가 열린 方向을 고려하여 SW, SSW, S, SSE 및 SE의 5개를 選定하였다. 選定된 5個 波向別 波浪資料의 有義波週期 $T_{H_{1/3}}$ 에 대한 $H_{1/3}$ 의 關係를 線形回歸法(Linear Regression Method)으로 구한 式을 표 1에 제시하였다. 한편, 5個 波向 SW, SSW, S, SSE 및 SE에 대한 年中 5 % 出現率의 $H_{1/3}$ 을 구하면 1.9, 1.5, 1.7, 1.9 및 1.7 m가 되며, 이 값을 표 1에 제시된 式에 代入하면 $T_{H_{1/3}}$ 은 SW~SE에 대해 各各 7.78(≒7.8), 11.08(≒11.0), 10.97(≒11.0), 9.71(≒9.8) 및 7.74(≒7.8) sec가 된다. 이들 5 % 및 10 % 出現率의 平常波 入力條件을 표 1에 제시하였다.

표 1. 西歸浦港의 5 % 및 10 % 出現率의 平常波 條件.

資料 特性		波向	SW	SSW	S	SSE	SE
$H_{1/3}(x)$ 과 $T_{H_{1/3}}(y)$ 의 관계			$y = 2.841x + 2.386$	$y = 7.143x + 0.371$	$y = 4.854x + 2.723$	$y = 3.509x + 3.046$	$y = 2.591x + 3.332$
5 % 出現率	$H_{1/3}(m)$		1.9	1.5	1.7	1.9	1.7
	$T_{H_{1/3}}(초)$		7.8	11.0	11.0	9.8	7.8
10 % 出現率	$H_{1/3}(m)$		1.5	1.3	1.5	1.7	1.5
	$T_{H_{1/3}}(초)$		6.6	9.6	10.0	9.0	7.2

* 韓國海洋研究所 沿岸工學研究室(Coastal Engineering Lab., KORDI, Ansan P. O. Box 29, 425-600, Korea)

3. 短週期波 數値模型

緩傾斜 波動方程式을 2 개의 1次 線形方程式系로 분리시킨 후 規則波에 대해 有限差分法을 이용하여 계산하는 雙曲形 數値模型을 사용하였다. 港內 및 海岸에서의 規則波의 淺水·屈折·廻折, 그리고 反射現象을 동시에 고려할 수 있는 緩傾斜 方程式(Berkhoff, 1972)은 橢圓形 偏微分 方程式이므로 이를 직접 풀어서 解를 구하는 것은 計算領域이 커질 경우에는 현실적으로 어렵다. 따라서, 本 課業에서는 計算의 효율이 높고 任意 反射를 고려할 수 있도록 이 方程式을 두 개의 1次 線形方程式系로 분리시켜서 波浪 變形을 계산할 수 있는 雙曲形 方程式(Copeland, 1985 ; 科學技術處, 1988)을 이용하였다. 緩傾斜方程式은 다음과 같이 주어진다.

$$\nabla \cdot (CC_g \nabla \phi) + \omega^2 \frac{C_g}{C} \nabla \phi = 0 \quad (1)$$

여기서, ϕ 는 2次元 複素數 速度포텐셜, ω 는 絶對 角速度, C 는 位相 速度, 그리고 C_g 는 群速度이다. 윗 式을 Booij(1981)가 提案한 시간에 따른 海水面 變位の 式으로 표시하면

$$\nabla \cdot (CC_g \nabla \eta) + (k^2 CC_g - \omega^2) \eta - \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = 0 \quad (2)$$

이다. 여기서, k 는 波數(Wave number)이고 η 는 海水面 變位(Water surface elevation)이다.

한편, 水深平均된 x, y 방향의 線流量을 P, Q 라 하면

$$P = C_g \cdot \eta \cos \theta \quad (3a)$$

$$Q = C_g \cdot \eta \sin \theta \quad (3b)$$

로 表示할 수 있는데, 여기서 θ 는 波向이다. 式 (3)을 線流量 關係式을 이용하여 定常狀態(Steady state)의 波浪傳播 變形에 대한 2개의 1차 線形方程式으로 나타내면 다음과 같다(Copeland, 1985).

$$\frac{\partial P}{\partial t} + CC_g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \quad (4a)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + CC_g \frac{\partial \eta}{\partial y} = 0 \quad (4b)$$

이들이 本 數値模型의 基本方程式이며, 적합한 入力條件 및 境界條件이 주어지면 有限差分法을 이용하여 數値解를 구할 수 있다.

4. 平常波에 대한 港內靜穩度 檢討

數値計算은 西歸浦港의 計劃案中 最終案에 대해서 實施하였으며, 數値計算에 사용된 格子網은 300×284 ($\Delta x = \Delta y = 10.0$ m) 개의 격자로 구성되었다(그림 1 參照). 固體 境界面에서의 反射率은 絶壁이나 直立岸壁의 경우에는 0.7 및 1.0을, 그리고 T.T.P.로 被服된 防波堤의 경우 0.4를 적용하였다. 日本港灣協會(1987)에 따르면 年中 95~97.5 % 이상의 碇泊 또는 繫留가 可能的 港內靜穩度の 確保를 推薦하고 있으며, 船舶 規模別 荷役限界波高($H_{1/3}$)로서 小型船의 경우 0.3 m, 中·大型船의 경우 0.5 m, 그리고 超大型船의 경우 0.7~1.5 m를 제시하고 있다. 本 西歸浦港의 경우 貨物船이 3,000 DWT, 旅客船이 5,000 DWT이므로 中·大型船에 속한다고 볼 수 있다. 이 荷役限界波高 0.5 m에 대응하는 各 波向別 荷役限界波高比와 年中 出現率을 표 2에 제시하였다.

5個 波向에 대해 計算된 波高比를 SW~SE의 順序로 그림 2~6에 圖示하였다. 波向 SW에 대한 그림 2를 살펴보면 港入口를 통과한 廻折波가 第1水域과 第2水域(그림 3 參照) 사이에 위치한 中央 埠頭에서 反射되어 제2수역에서 荷役限界波高比 0.26을 초과하는 地域이 나타나므로 제2수역의 靜穩도가 약간 不良하다. 波向 SSW와 S에 대한 計算 結果인 그림 3과 4의 경우에는 문섬에 의한 波浪 遮蔽 效果로 港內的 全 水域이 荷役限界波高比 0.33과 0.29 이하로 나타나서 良好한 靜穩度を 보여준다. 波向 SSE에 대한 그림 5를 살펴보면, SW의 경우와 비슷하게 中央 埠頭와 조도에서 反射波가 生成되어 第1水域의 靜穩도가 약간 불량하기는 하나 全般的으로 양호한 편에 속한다. 한편, 波向 SE에 대한 그림 6을 살펴보면 港內로 波가 크게 侵入하여 第2水域을 제외한 港內

표 2. 各波向別 荷役限界波高比.

波 向	SW	SSW	S	SSE	SE
入射波高(m)	1.90	1.50	1.70	1.90	1.70
荷役限界波高(m)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
荷役限界波高比	0.26	0.33	0.29	0.26	0.29
年中出現率(%)	8.70	13.39	18.81	6.27	2.19

全體 水域에서의 靜穩도가 아주 불량하다. 이러한 現象은 문섬의 遮蔽 效果가 거의 없는 상태이어서 港入口를 通過한 波가 南防波堤의 港灣側 部分에서 反射된 波와 重疊되어 發生하는 것으로 사료된다.

上記 結果들로부터 港灣靜穩도를 推算하는 것도 可能하나 보다 正確度を 向上시키기 위하여 5 個 波向中 5 % 出現率의 平常波 適用時 荷役限界波高比보다 큰 港內波高比가 나타난 波向 SW, SSE 및 SE에 대해서 표 1에 제시된 10 % 出現率의 平常波 條件을 入力條件으로 사용하여 數值計算을 다시 實施하였다. 10 % 出現率의 SW 方向 平常波를 適用한 結果 中央 埠頭에서 反射波가 發生하는 점은 5 % 出現率의 경우와 同一하지만 入射波高가 1.90 m에서 1.50 m로 작아져서 第2水域에서도 거의 港內靜穩도를 유지하였다. 이러한 傾向은 波向 SSE의 경우에도 비슷하여 역시 거의 靜穩도를 維持하는 것으로 判斷된다. 그러나, 波向 SE에 대한 결과에서는 全般的으로 波高比가 減少하기는 하였으나 여전히 荷役限界波高比 0.33을 超過하는 水域이 많으므로 이 方向의 波에 대해서는 入射波高가 0.8 m를 超過할 경우 港內靜穩도를 維持하기가 어려울 것으로 判斷되었다.

5. 年間 稼働率 算定

以上の 檢討 結果로부터 西歸浦港의 年間 稼働率을 다음과 같이 算定하였다. 먼저, SW~SE의 5個 波向을 제외한 波向에 대해서는 西歸浦港이 基本的으로 靜穩도를 維持할 수 있을 것으로 판단되므로 이들을 구하면 稼働率이 50.64 %가 된다. 前述한 數值計算 結果를 基準하면 SSW와 S 方向에 대해서는 최소한 95 %의 稼働率을 유지할 수 있으므로 이 方向의 年中 出現率에 이 比率를 곱하면 各各 12.72와 17.87 %가 된다. 또한, SW와 SSE 方向에 대해서는 90 %의 稼働率을 유지할 수 있을 것으로 생각되므로 同 方向에 대해서도 同一한 過程을 거치면 각각 7.83과 5.64 %가 된다. 最終적으로 波向 SE에 대해서는 10 % 出現率과 그 以上の 出現率의 波 사이에 線形的인 比例가 成立한다고 보면 入射波高가 0.8 m 以下가 되어야 하며, 이 보다 入射波高가 작은 경우가 35.66 %이므로 SE 方向의 年中 出現率에 이를 곱하면 0.78 %가 된다. 上記 6個의 稼働率을 모두 합하면 西歸浦港의 年間 稼働率은 약 95 % 정도가 될 것으로 思料된다.

參 考 文 獻

- 科學技術處. 1988. 海岸構造物 適正 設計條件 決定 技法의 體系化 研究(II). BSPG 00064-195-2.
- 水産廳. 1988. 海域別(東海・南海) 深海波 推定 報告書. 研究機關 韓國科學技術院 釜山 海洋研究所, 281 pp.
- 海運港灣廳 濟州港建設事務所. 1987. 西歸浦港 岸壁 築造 및 其他 實施設計用役 報告書. 수행기관 (주)대영엔지니어링. 218 pp.
- 海運港灣廳 濟州港建設事務所. 1993. 西歸浦港 外港防波堤 實施設計用役 報告書. 수행기관 (주)대영엔지니어링. 325 pp.
- Berkhoff, J.C.W. 1972. Computation of combined refraction-diffraction. Proc. of 13th Conf. on Coastal Engineering, ASCE, pp. 471-490.
- Rooij, N. 1981. Gravity waves on water with non-uniform depth and current. Delft University of Tech., Dep. Civil Eng., Report No. 81-1.
- Copeland, G.J.M. 1985. A numerical model for the propagation of short gravity waves and the resulting circulation around nearshore structures. Ph. D. Thesis, University of Liverpool.
- 日本港灣協會. 1987. 港灣의 施設의 技術上의 基準・同解説. 改訂版(下卷), 運輸省港灣局 監修, 499 pp.



그림 1

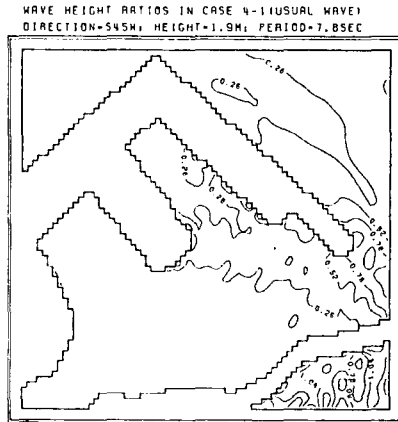


그림 2

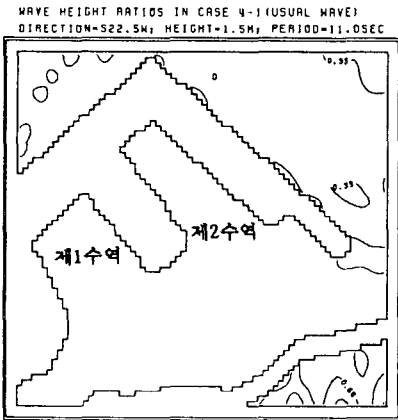


그림 3

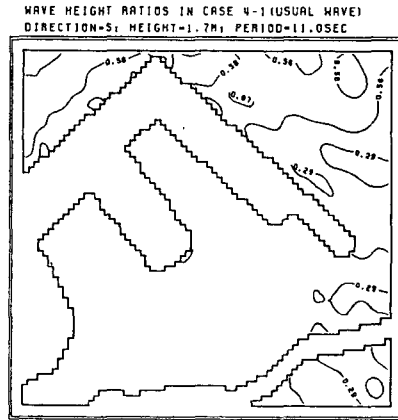


그림 4

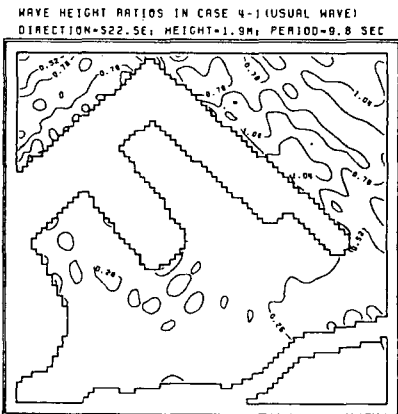


그림 5

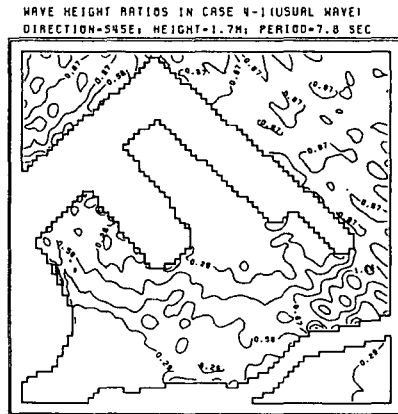


그림 6