

<論文>

防波堤에서의 回折波에 關한 研究(第1報)

—On The Study of Diffracted Waves About Breakwaters—

姜	琯	沅
Kang,	Kwan	Won*
徐	炳	夏
Seo,	Byung	Ha**

SYNOPSIS

The knowledge of the waves passing through the breakwater makes an important role in the efficient breakwater design. Wave diffraction is an important factor in this role, but some usable development about it have not been made in our country as yet.

The diffraction of sea-water waves round the end of a semi-infinite impermeable breakwater has been investigated, applying a solution of the water wave diffraction problems given by Penney & Price.

The wave pattern and heights on both the leeward-side and the windward-side of the breakwater have been calculated and summarized in the form of diagrams with diffraction factors between $r/\lambda=0\sim 50$. This involves some extension of the diffraction diagrams made previously.

The theory and computation methods with computer program in Fortran IV developed in this study make an efficient use for estimating the diffraction effects at a semi-infinite breakwater.

1. 序 論

經濟開發 및 重化學工業育成政策에 따른 國上의 高度利用 및 經濟의 高度成長으로 인한 國際交易의 活發化와 海洋開發의 必要性은 그 基底가 될 港灣施設物의 擴張을 要求하고 있으며 울산, 浦項, 釜山등의 臨海工業地를 위한 埋立 및 干拓등 國家的인 事業을 성취할 必要性이 甚甚히 요청되고 있다. 이를 위한 事業中 필수적으로 設立될 港灣施設物은 外海의 波浪으로부터 內港을 보호할 目的으로 構築되는 防波堤라고 할수 있다. 이러한 防波堤의 設計에 있어 고려해야 할 事項으

로는 防波堤設立 후에 일어나는 問題點들의 分析이 포함되는 바 그들중 設計者가 생각해야 할 것은 防波堤 주위에서 일어나는 外海로부터 入射되는 波의 回折現象 이는 港內施設物의 運用 및 護岸에 커다란 影響을 끼치므로 이의 적절하고 正確한 分析이 要望되는 것이다. 또한 이러한 分析을 함으로서 防波堤 및 이들 防波堤의 保護를 받게 되는 構造物의 設計와 位置選定을 적절하게 할수 있게 된다.

지금까지 回折波形成에 關해 여러 학자들이 연구 발표한 바 Penney와 Price⁽¹⁾는 半無限防波堤에 入射하는 進行波(Progressive Wave)의 境界值問題가 Sommerfeld⁽²⁾에 의해 해석된 빛의 回折에서와 같다는 事實에 근거를 두고 回折波의 解析式을 誘導하여서 理論式을 求하였으며, Putnam과 Arthur⁽³⁾는 波長이 2.52ft

※ 本會理事, 仁荷工大教授, 工學博士.

※※ 正會員, 仁荷工大講師

와 2.96ft인 波를 實驗장치에 의해 造波하여 이를 入射波로 할때의 深海에 위치한 半無限防波堤의 模型에서의 回折波形成의 모양을 實驗室에서 관측하여 上記 理論式에 의한 結果가 實驗結果와 근사하게 일치한다는 것은 밝혀주었다. 또한 Blue와 Johnson⁽⁴⁾은 開口部가 있는 防波堤(Breakwater Gap)에서의 波의 回折을 實驗적으로 檢證하여 理論結果值가 實驗值와 근사함을 究明하였다. 最近에 Wiegel⁽⁵⁾은 이들 學者들의 理論을 綜合하여 半無限防波堤에 入射하는 波의 回折圖를 入射角이 0°~180° 사이의 角일때 防波堤 先端에서 入射波長의 10배 되는 거리의 범위까지 作成하였다.

Wiegel이 作成한 回折도는 작은 規模의 港에는 利用할 수 있으나 좀더 규모가 큰 港에서는 防波堤波의 長이 가 길뿐 아니라 入射波의 波高 및 波長이 큰 경우가 있어 이에 利用하기에 불편함이 있다. 그래서 본고에서는 이를 좀더 확장하여 半無限防波堤에 任意의 角度로 波가 入射할 경우의 回折圖作成을 위한 理論展開 및 計算法을 상술 하였으며 計算에는 本校에 설치되어 있는 IBM 1130전자계산기를 사용 하였고 그 결과로서 여러 경우의 回折圖를 作成圖示 하였다.

2. 水波의 回折에 關한 理論

防波堤에서의 水波의 回折現象은 防波堤의 種類에 따라 3가지 경우 즉 入射波가 1) 한쪽 部分만이 차단된 半無限防波堤(Semi-infinite Breakwater)의 경우, 2) 양쪽 部分이 차단된 開口部가 있는 防波堤(Breakwater with Gap)의 경우와 3) 離岸堤(Detached Breakwater)의 경우로 나눌수 있는데 이들 모든 경우의 回折波의 生成은 光波에서와 마찬가지로 Huyghen 原理에 의하여 그 原因을 설명할수 있다. 즉 回折現象은

(가) 進行하고 있는 波의 波峯線(Wave Front)이나 波峯(Wave Crest)의 各點은 각각 모든 方向으로 放射되는 第2의 波의 中心點이 되며

(나) 일정한 시간이 경과한후 이들 제2의 波의 包絡線(Envelope)이 波谷이나 波峯을 이루어 하나의 새로운 波를 發生하여 進行한다는 原理에서 설명할수 있다. 다시 말하면 防波堤의 端部에 도달된 入射波의 波浪에 너지가 에너지源이 되어 放射狀으로 進行되어서 回折波를 形成시킨다고 할수 있다.

본고에서는 前술한 3가지 경우중 半無限防波堤에서의 回折現象을 나타내는 理論式을 Sommerfeld가 유도한 光波의 回折解析式에 기초를 두어 다음의 가정하에서 유도하기로 한다.

○가 정

① 물은 理想流體이며 非壓縮性이다.

② 물의 運動은 非回轉運動이며 速度 Potential ϕ 는 Laplace의 方程式 (1)을 만족한다.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \dots\dots\dots(1)$$

③ 波高는 水深과 波長에 比하여 작다.

④ 水面에서의 壓力은 일정하다.

⑤ 水面에 수직방향의 流速은 水面自體의 수직방향의 流速과 같다.

⑥ 固定된 境界面에 수직한 流體의 速度는 0이다.

⑦ 水深은 일정하다.

가) 回折波에 關한 理論式

防波堤에 入射하는 入射波는 그의 設置位置가 淺海 波領域 임으로 진폭이 적은 進行波(Progressive Wave)이다. 이 入射波를 表示하는 式을 Fig.—1과 같은 극좌표계에서 誘導하여 본다. 前술의 가정 ②에서 速度 Potential ϕ 는⁽⁶⁾

$$\phi = Ae^{ikt} \cosh k(h+z) \cdot F(r, \theta) \dots\dots\dots(2)$$

로 나타내며 이들 가정하에서 水位變動 ζ 는⁽⁷⁾

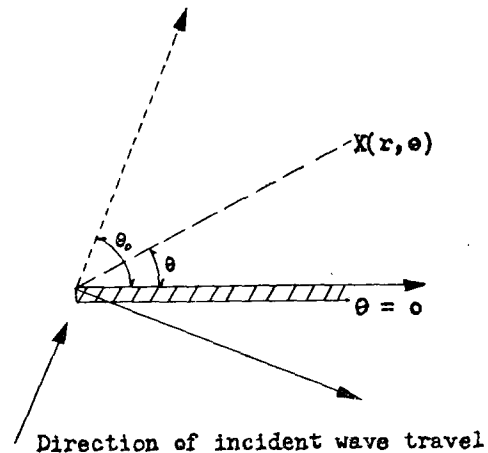


Fig. 1. Nomenclature for wave diffraction analysis.

$$\zeta = \frac{Aikc}{g} e^{ikt} \cosh kh \cdot F(r, \theta) \dots\dots\dots(3)$$

로 표시된다. 여기에서 $k = \frac{2\pi}{L}$, L =波長, c =波速, h =水深, $i = \sqrt{-1}$, g =重力加速度, A =波의 진폭이다.

(2), (3)式的 우변의 $F(r, \theta)$ 는 波動에 關한 Helmholtz의 方程式

$$\frac{\partial^2 F(r, \theta)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial F(r, \theta)}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 F(r, \theta)}{\partial \theta^2} + k^2 F(r, \theta) = 0 \dots \dots \dots (4)$$

을 만족하며⁽⁸⁾ 주어진 경계조건에 따라 (4)式的 解를 求하여 $F(r, \theta)$ 의 式을 얻어서 $F(r, \theta)$ 의 絶대값(Mo-dulus)과 편자(Argument)으로서 波의 波高와 波形결정이 가능하게 된다. 防波堤가 없는 경우에 進行하는 波에 對하여 (4)式的 解 $F(r, \theta)$ 는

$$F(r, \theta) = e^{ikr \cos(\theta_0 - \theta)} \dots \dots \dots (5)$$

로 표시되고 따라서 入射波를 나타내는 式은 (5)式으로 된다. 여기에서 θ_0 는 入射角이다. (5)式으로 表示되는 進行波인 入射波가 防波堤와 入射角 θ_0 로 入射할 경우에 波의 變形狀態를 究明하기 위하여는 Fig-2와 같이 3領域으로 나누어 생각하는 것이 편리하다. 즉 回折波만이 形成되는 回折波領域(그림에서 Q領域), 部分的으로 回折波가 生成되는 回折 및 入射波領域(그림에서 R領域)과 入射波가 反射되는 反射波領域(S領域)으로 나눈다.

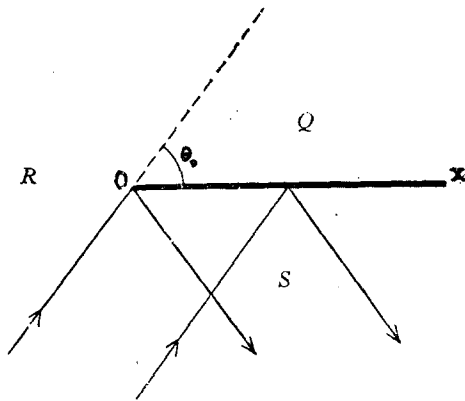


Fig. 2. Noation for the regions Q, R, S for oblique incidence of waves of a breackwater.

Fig-1에서 $\theta=180^\circ$ 이고 r 의 값이 클 경우에는 入射波의 變形이 일어나지 않을 것이므로, 이 경우의 波를 나타내는 式, 즉 (4)式을 만족하는 $F(r, \theta)$ 는 防波堤가 없는 경우와 같은 式으로 표시되어 (5)式으로 된다. 科學의 가정 ⑥에서 防波堤에 걸친 境界面($\theta=0$)에서 防波堤壁面에 수직한 速度는 0이다. 즉 (2)式으로부터

$$\frac{\partial \phi}{\partial \theta} = 0 : \theta = 0 \quad r \geq 0 \dots \dots \dots (6)$$

로 표시된다. 以上の 두 조건을 경계조건으로 하여 (4)式을 풀어 그 解를 求하면 回折波의 性質을 결정 할수 있다. 이의 解를 求하면⁽⁹⁾

$$F(r, \theta) = e^{-ikr \cos(\theta - \theta_0)} f(u_1) + e^{-ikr \cos(\theta + \theta_0)} g(u_2) \dots (7)$$

을 얻는다.

여기에서

$$u_1 = 2\sqrt{\frac{kr}{\pi}} \sin\left(\frac{\theta - \theta_0}{2}\right) \dots \dots \dots (8)$$

$$u_2 = -2\sqrt{\frac{kr}{\pi}} \sin\left(\frac{\theta + \theta_0}{2}\right) \dots \dots \dots (9)$$

$$f(u_1) = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-i\pi/4} \int_{-\infty}^{u_1} e^{-i\pi v^2/2} dv \dots \dots \dots (10)$$

$$g(u_2) = \frac{1}{\sqrt{1}} e^{-i\pi/4} \int_{-\infty}^{u_2} e^{-i\pi v^2/2} dv \dots \dots \dots (11)$$

이다. (8), (9)式을 살펴보면 관측점 (r, θ) 의 위치에 따라 (10), (11)式的 적분의 上限値 u_1 과 u_2 는 아래와 같은 부호를 취한다.

- ① 回折波領域(Q領域, $0 < \theta < \theta_0$); $u_1, u_2 < 0$
- ② 回折 및 入射波領域(R領域, $\theta_0 < \theta < \theta_0 + \pi$); $u_1 > 0, u_2 < 0$
- ③ 反射波領域(S領域 $2\pi - \theta_0 < \theta < 2\pi$); $u_1, u_2 > 0$

이와같은 u_1, u_2 의 부호에 따른 (10)式 및 (11)式을 전개하여 보기로 한다. $u_1 < 0$ 일때 $f(-u_1)$ 로 표시하면 (10)式에서

$$f(-u_1) = \frac{1+i}{2} \int_{-\infty}^{-u_1} e^{-i\pi v^2/2} dv = \frac{1+i}{2} \left[\int_0^{\infty} e^{-i\pi v^2/2} dv - \int_0^{-u_1} e^{-i\pi v^2/2} dv \right]$$

그런데

$$\int_0^{\infty} e^{i\pi v^2/2} dv = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\pi v^2/2} dv = \frac{1}{2} (1-i)$$

이며

$$\int_0^{u_1} e^{-i\pi v^2/2} dv = \int_0^{u_1} \cos \frac{\pi v^2}{2} dv - i \int_0^{u_1} \sin \frac{\pi v^2}{2} dv = c(u_1) - is(u_1) \dots \dots \dots (13)$$

로 표시되는 Fresnel 積分式이 된다.⁽¹⁰⁾

그러므로

$$f(-u_1) = \frac{1}{2} \left\{ \left[1 - c(u_1) - s(u_1) \right] + i \left[s(u_1) - c(u_1) \right] \right\} \dots \dots \dots (14)$$

로 표시할수 있으며

$$L_1 = \frac{1}{2} \left\{ 1 - c(u_1) - s(u_1) \right\}$$

$$M_1 = \frac{1}{2} \left\{ s(u_1) - c(u_1) \right\}$$

라 하면 (14)式은

$$f(-u_1) = L_1 + iM_1 \dots \dots \dots (15)$$

로 주어진다.

$u_1 > 0$ 이면

$$f(u_1) = \frac{1+i}{2} \int_{-\infty}^{u_1} e^{-i\pi v^2/2} dv$$

$$= \frac{1+i}{2} \left[\int_{-\infty}^0 e^{-i\pi v^2/2} dv + \int_0^{u_1} e^{-i\pi v^2/2} dv \right]$$

위와 마찬가지로 Fresnel 積分式으로 나타내면

$$f(u_1) = \frac{1}{2} \left[\left\{ 1+c(u_1)+s(u_1) \right\} + i \left\{ c(u_1)-s(u_1) \right\} \right] \dots$$

$$\dots\dots\dots(16)$$

로 된다.

u_2 에 대하여도 같은 방법으로 전개하면

$$f(-u_2) = L_2 + iM_2 \dots\dots\dots(17)$$

여기에서 $L_2 = \frac{1}{2} [1 - c(u_2) - s(u_2)]$

$M_2 = \frac{1}{2} [s(u_2) - c(u_2)]$ 이다.

$$f(u_2) = \frac{1}{2} \left[\left\{ 1+c(u_2)+s(u_2) \right\} + i \left\{ c(u_2)-s(u_2) \right\} \right] \dots$$

$$\dots\dots\dots(18)$$

(15)과 (16)式, (17)과 (18)式을 각각 더하면

$$f(-u_1) + f(u_1) = 1$$

$$f(-u_2) + f(u_2) = 1$$

로 되어

$$f(u_1) = 1 - f(-u_1) \dots\dots\dots(19)$$

$$f(u_2) = 1 - f(-u_2)$$

의 관계를 얻게 되어 $f(-u_1)$, $f(-u_2)$ 의 값만 알면 $f(u_1)$, $f(u_2)$ 의 값을 쉽게 구할수 있다.

以上的 결과를 적용하여 回折現象이 일어나는 Q 및 R領域에서의 波形을 나타내는 (4)式의 解 $F(r, \theta)$ 를 求하면 다음과 같다.

① Q領域 ($0 < \theta < \theta_0$ 이고 $u_1, u_2 < 0$ 인 領域)

$$F(r, \theta) = e^{-ikr \cos(\theta - \theta_0)} f(-u_1) + e^{-ikr \cos(\theta + \theta_0)} f(-u_2)$$

로 표시되며

$$\alpha = kr \cos(\theta - \theta_0) = 2\pi R \cos(\theta - \theta_0)$$

$$\beta = kr \cos(\theta + \theta_0) = 2\pi R \cos(\theta + \theta_0)$$

$$R = \frac{r}{\lambda} \quad (\lambda; \text{波長})$$

로 놓으면

$$F(r, \theta) = [L_1 \cos \alpha + L_2 \cos \beta + M_1 \sin \alpha + M_2 \sin \beta]$$

$$+ i[-L_1 \sin \alpha - L_2 \sin \beta + M_1 \cos \alpha + M_2 \cos \beta] \dots\dots(20)$$

로 되고

② R領域 ($\theta_0 < \theta < \pi + \theta$, $u_1 > 0$, $u_2 < 0$ 인 領域)

$$F(r, \theta) = e^{-ikr \cos(\theta - \theta_0)} f(u_1) + e^{-ikr \cos(\theta + \theta_0)} f(-u_2)$$

$$= [\cos \alpha - L_1 \cos \alpha + L_2 \cos \beta - M_1 \sin \alpha + M_2 \sin \beta]$$

$$+ i[-\sin \alpha + L_1 \sin \alpha - L_2 \sin \beta - M_1 \cos \alpha +$$

$$M_2 \cos \beta] \dots\dots\dots(21)$$

로 표시된다.

(20), (21)式에서

$$L_1 = \frac{1}{2} [1 - c(u_1) - s(u_1)]$$

$$L_2 = \frac{1}{2} [1 - c(u_2) - s(u_2)]$$

$$M_1 = \frac{1}{2} [s(u_1) - c(u_1)]$$

$$M_2 = \frac{1}{2} [s(u_2) - c(u_2)]$$

$$u_1 = \left| \sqrt{8R} \sin \left(\frac{\theta - \theta_0}{2} \right) \right|$$

$$u_2 = \left| -\sqrt{8R} \sin \left(\frac{\theta + \theta_0}{2} \right) \right|$$

이며 $c(u)$, $s(u)$ 는 Fresnel 積分

$$c(u) = \int_0^u \cos \frac{\pi}{2} v^2 dv$$

$$s(u) = \int_0^u \sin \frac{\pi}{2} v^2 dv$$

이다.

다) 回折波高의 算定方法

전술한 (3)式에서 $F(r, \theta)$ 는 (7)式에서 본바와 같이 복소수이므로 $F(r, \theta)$ 의 modulus를 $|F(r, \theta)|$ 로, argument를 $\arg F(r, \theta)$ 라 표시하면 (3)式은

$$\zeta = \frac{Aikc}{g} e^{ikct} \cosh kh \cdot |F(r, \theta)| \cdot e^{i[\arg F(r, \theta)]} \dots\dots(22)$$

로 나타낼수 있다. 이식에서 水位變動 ζ 는 실수값을 취하므로

$$\zeta = \frac{Akc}{g} \cosh kh |F(r, \theta)| \cdot e^{i[\frac{\pi}{2} + kct + \arg F(r, \theta)]} \dots\dots(23)$$

로 된다. (23)式에서 $F(r, \theta)$ 의 modulus와 argument는 각각 波의 振幅과 波形을 결정하여 준다.

防波堤에의 入射波의 波高에 對한 回折波의 波高의 比를 回折係數(Diffraction Coefficient)라 定義하면 入射波의 波高(H_i)는 (5)式에서

$$|F(r, \theta)|_i = 1 \dots\dots\dots(24)$$

이므로 波高는 振幅의 2배 이어서 (24)式을 (23)式에 代入하여

$$H_i = 2 \cdot \frac{Akc}{g} \cosh kh \dots\dots\dots(25)$$

로 되며 回折波의 波高(H_D)는 (7)式으로 표시되는 $F(r, \theta)$ 의 modulus를 취하여

$$H_D = 2 \cdot \frac{Akc}{g} \cosh kh |F(r, \theta)|_D \dots\dots\dots(26)$$

로 되어 回折係數 H 는

$$\text{回折係數; } H = \frac{\text{回折波의 波高}}{\text{入射波의 波高}} = \frac{H_D}{H_i}$$

$$= \frac{2Akc}{g} \cosh kd |F(r, \theta)|_D$$

$$= \frac{2Akc}{g} \cosh kd$$

$$= |F(r, \theta)|_D$$

로 주어진다. 이에서 전술한 (20), (21)式에서 쉽게
回折係數를 구할수 있으며, 回折波의 波高는 入射波의
波高에 回折係數를 곱하여 줌으로서 산출할수 있다.

(20), (21)式에서 實數部를 R_e , 虛數部를 I_m 라고
하면 회절계수 H 는

$$H = \sqrt{R_e^2 + I_m^2} \dots\dots\dots(27)$$

로 계산할수 있다.

3. 電子計算機에 의한 계산방법

지금까지 유도된 계산식에서 回折係數 H 를 (20),
(21) 및 (27)式의 關係式으로 Q 領域과 R 領域에서 求
하여 보기로 한다. 防波堤에 波長 λ 의 波가 θ_0 의 角度
로 入射할 경우 任意의 點 $X(r, \theta)$ 의 回折係數 H 는
(27)式으로 求할수 있다. $X(r, \theta)$ 가 Q 領域에 있을 경
우에는 (27)式에서와 마찬가지로 실수부, 허수부를 각
각 R_e, I_m 이라고 하면

(20)式에서

$$\left. \begin{aligned} R_e &= L_1 \cos \alpha + L_2 \cos \beta + M_1 \sin \alpha + M_2 \sin \beta \\ I_m &= -L_1 \sin \alpha - L_2 \sin \beta + M_2 \cos \alpha + M_1 \cos \beta \end{aligned} \right\} \dots\dots(28)$$

로 되고 R 領域內에 $X(r, \theta)$ 가 있을 경우에는

$$\left. \begin{aligned} R_e &= \cos \alpha - L_1 \cos \alpha + L_2 \cos \beta - M_1 \sin \alpha - M_2 \sin \beta \\ I_m &= -\sin \alpha + L_1 \sin \alpha - L_2 \sin \beta - M_1 \cos \alpha + M_2 \cos \beta \end{aligned} \right\} \dots\dots(29)$$

로 표시된다. 이들 式에서 $\alpha, \beta, L_1, L_2, M_1, M_2$ 는
전술한 바와 같다. 또한 (28) 및 (29)式에 포함된 Fr-
esnel의 積分式의 計算은 數值計算法을 應用하여 계산
하였다.

본 計算을 실행하기 爲한 Program의 Flowchart는
Fig-3과 같다. 본 Program에 의하여 計算된 結果의
일부분은 표-1과 같으며 이 표에서 Radius의 값은
 r/λ 의 값을 표시하고 DG는 角度를 표시하는 Degree
의 약자로서 썼다.

Table. 1. Diffraction Coefficients of Progressive Waves About Semi-Infinite Breakwaters
Direction of Wave Propagation=45 Degrees

Radius	0DG	15DG	30DG	45DG	60DG	75DG	90DG	105DG	120DG	135DG	150DG	165DG	180DG
0.5	0.4880	0.5035	0.5502	0.6282	0.7334	0.8530	0.9638	1.0380	1.0590	1.0374	1.0064	0.9936	1.0000
1.0	0.3814	0.4022	0.4686	0.5886	0.7609	0.9503	1.0747	1.0616	0.9762	0.9742	1.0126	1.0074	0.9999
1.5	0.3229	0.3456	0.4218	0.5710	0.7976	1.0285	1.0909	0.9665	0.9920	1.0208	0.9838	1.0049	1.0000
2.0	0.2846	0.3078	0.3892	0.5607	0.8342	1.0816	1.0372	0.9583	1.0297	0.9824	1.0096	0.9949	1.0000
2.5	0.2570	0.2801	0.3643	0.5538	0.8689	1.1099	0.9653	1.0305	0.9691	1.0157	1.0010	0.9960	1.0000
3.0	0.2361	0.2586	0.3441	0.5488	0.9015	1.1152	0.9318	1.0340	1.0154	0.9859	0.9909	1.0040	1.0000
3.5	0.2194	0.2414	0.3273	0.5450	0.9317	1.1010	0.9579	0.9740	1.0070	1.0130	1.0105	1.0034	1.0000
4.0	0.2058	0.2271	0.3129	0.5419	0.9598	1.0717	1.0130	0.9715	0.9781	0.9879	0.9943	0.9965	1.0000
4.5	0.1944	0.2151	0.3003	0.5393	0.9856	1.0330	1.0513	1.0241	1.0227	1.0114	0.9980	0.9969	1.0000
5.0	0.1847	0.2047	0.2892	0.5372	1.0093	0.9918	1.0481	1.0257	0.9900	0.9892	1.0076	1.0030	0.9999
5.5	0.1763	0.1957	0.2793	0.5354	1.0309	0.9551	1.0097	0.9784	0.9929	1.0102	0.9917	1.0027	0.9999
6.0	0.1689	0.1878	0.2703	0.5338	1.0504	0.9291	0.9696	0.9771	1.0188	0.9902	1.0037	0.9971	0.9999
6.5	0.1624	0.1808	0.2622	0.5424	1.0979	0.9182	0.9528	1.0205	0.9817	1.0094	1.0026	0.9974	0.9999
7.0	0.1566	0.1744	0.2547	0.5312	1.0833	0.9236	0.9776	1.0214	1.0069	0.9910	0.9930	1.0025	1.0000
7.5	0.1513	0.1687	0.2479	0.5301	1.0969	0.9427	1.0178	0.9811	1.0080	1.0087	1.0067	1.0024	1.0000
8.0	0.1466	0.1635	0.2416	0.5291	1.1085	0.9709	1.0415	0.9803	0.9830	0.9916	0.9975	0.9975	0.9999
8.5	0.1422	0.1588	0.2357	0.5282	1.1182	1.0022	1.0329	1.0181	1.0152	1.0081	0.9970	0.9977	1.0000
9.0	0.1383	0.1544	0.2302	0.5274	1.1261	1.0309	0.9999	1.0187	0.9957	0.9921	1.0063	1.0022	0.9999
9.5	0.1346	0.1504	0.2251	0.5266	1.1322	1.0527	0.9683	0.9831	0.9915	1.0077	0.9943	1.0021	0.9999
10.0	0.1312	0.1467	0.2204	0.5259	1.1366	1.0646	0.9633	0.9825	1.0156	0.9925	1.0015	0.9978	0.9999
10.5	0.1281	0.1432	0.2159	0.5253	1.1392	1.0654	0.9876	1.0164	0.9872	1.0073	1.0033	0.9979	0.9999
11.0	0.1252	0.1400	0.2116	0.5247	1.1403	1.0555	1.0202	1.0168	1.0024	0.9928	0.9940	1.0020	1.0000
11.5	0.1224	0.1369	0.2076	0.5241	1.1398	1.0368	1.0357	0.9845	1.0091	1.0069	1.0048	1.0019	1.0000
12.0	0.1199	0.1341	0.2038	0.5226	1.1378	1.0126	1.0237	0.9840	0.9855	0.9931	0.9992	0.9980	1.0000
12.5	0.1174	0.1314	0.2002	0.5231	1.1344	0.9868	0.9939	1.0151	1.0108	1.0067	0.9964	0.9981	1.0000
13.0	0.1152	0.1289	0.1968	0.5226	1.1297	0.9641	0.9698	1.0154	0.9994	0.9934	1.0055	1.0018	0.9999
13.5	0.1130	0.1265	0.1936	0.5222	1.1237	0.9485	0.9705	0.9856	0.9905	1.0064	0.9959	1.0018	1.0000
14.0	0.1110	0.1243	0.1905	0.5218	1.1166	0.0427	0.9945	0.9853	1.0134	0.9937	1.0001	0.9981	1.0000
14.5	0.1091	0.1221	0.1875	0.5214	1.1084	0.9476	1.0217	1.0140	0.9909	1.0062	1.0037	0.9982	0.9999

15.0	0.1072	0.1201	0.1847	0.5210	1.0992	0.9518	1.0312	1.0143	0.9993	0.9939	0.9948	1.0017	1.0050
15.5	0.1055	0.1182	0.1820	0.5207	1.0892	0.9323	1.0168	0.9865	1.0093	1.0060	1.0033	1.0016	0.9999
16.0	0.1038	0.1163	0.1794	0.5203	1.0784	1.0049	0.9397	0.9862	0.9874	0.9941	1.0004	0.9983	1.0000
16.5	0.1023	0.1146	0.1769	0.5200	1.0670	1.0258	0.9713	1.0132	1.0075	1.0058	0.9961	0.9983	1.0000
17.0	0.1008	0.1129	0.1745	0.5197	1.0551	1.0416	0.9762	1.0134	1.0021	0.9943	1.0048	1.0016	1.0000
17.5	0.0993	0.1113	0.1722	0.5194	1.0429	1.0499	0.9998	0.9873	0.9899	1.0056	0.9972	1.0015	0.9999
18.0	0.0979	0.1097	0.1700	0.5191	1.0304	1.0498	1.0226	0.9870	1.0115	0.9944	0.9990	0.9984	1.0000
18.5	0.0966	0.1082	0.1679	0.5189	1.0178	1.0414	1.0274	1.0125	0.9940	1.0054	1.0039	0.9984	0.9999
19.0	0.0953	0.1068	0.1658	0.5186	1.0052	1.0263	1.0111	1.0127	0.9968	0.9946	0.9955	1.0015	1.0000
19.5	0.0941	0.1055	0.1638	0.5184	0.9928	1.0070	0.9865	0.9879	1.0101	1.0053	1.0021	1.0015	1.0000
20.0	0.0929	0.1041	0.1619	0.5181	0.9807	0.9867	0.9730	0.9877	0.9893	0.9947	1.0013	0.9984	1.0000
20.5	0.0918	0.1029	0.1601	0.5179	0.9690	0.9692	0.9812	1.0118	1.0046	1.0052	0.9960	0.9985	1.0000
21.0	0.0907	0.1016	0.1583	0.5177	0.9580	0.9574	1.0040	1.0120	1.0042	0.9948	1.0040	1.0014	1.0000
21.5	0.0896	0.1005	0.1566	0.5175	0.9476	0.9536	1.0230	0.9885	0.9898	1.0050	0.9983	1.0014	0.9999
22.0	0.0886	0.0993	0.1549	0.5173	0.9381	0.9582	1.0238	0.9883	1.0097	0.9950	0.9982	0.9985	0.9999
22.5	0.0876	0.0982	0.1532	0.5171	0.9295	0.9703	1.0063	1.0113	0.9967	1.0049	1.0039	0.9985	1.0000
23.0	0.0866	0.0971	0.1517	0.5169	0.9219	0.9872	0.9841	1.0115	0.9950	0.9951	0.9963	1.0014	0.9999
23.5	0.0857	0.0961	0.1501	0.5167	0.9155	1.0059	0.9748	0.9890	1.0100	1.0048	1.0011	1.0013	0.9999
24.0	0.0848	0.0951	0.1487	0.5165	0.9102	1.0230	0.9858	0.9888	0.9912	0.9952	1.0021	0.9986	0.9999
24.5	0.0839	0.0941	0.1472	0.5163	0.9063	1.0357	1.0075	1.0108	1.0021	1.0047	0.9960	0.9986	1.0000
25.0	0.0831	0.0932	0.1458	0.5162	0.9035	1.0422	1.0229	1.0110	1.0058	0.9953	1.0033	1.0013	0.9999
25.5	0.0823	0.0923	0.1444	0.5160	0.9021	1.0415	1.0203	0.9894	0.9901	1.0046	0.9993	1.0013	0.9999
26.0	0.0815	0.0914	0.1431	0.5158	0.9020	1.0339	1.0021	0.9892	1.0078	0.9954	0.9976	0.9986	1.0000
26.5	0.0807	0.0905	0.1418	0.5157	0.9031	1.0207	0.9824	1.0104	0.9991	1.0045	1.0038	0.9987	1.0000
27.0	0.0800	0.0897	0.1406	0.5155	0.9055	1.0041	0.9770	1.0106	0.9936	0.9954	0.9970	1.0013	1.0000
27.5	0.0792	0.0889	0.1393	0.5154	0.9090	0.9869	0.9899	0.9898	1.0096	1.0044	1.0002	1.0012	1.0000
28.0	0.0785	0.0881	0.1381	0.5152	0.9137	0.9722	1.0104	0.9896	0.9932	0.9955	1.0026	0.9987	0.9999
28.5	0.0778	0.0873	0.1370	0.5151	0.9193	0.9627	1.0224	1.0101	0.9998	1.0044	0.9962	0.9987	1.0000
29.0	0.0772	0.0865	0.1358	0.5150	0.9258	0.9690	1.0169	1.0102	1.0069	0.9956	1.0025	1.0012	0.9999
29.5	0.0765	0.0858	0.1347	0.5148	0.9331	0.9645	0.9984	0.9901	0.9907	1.0043	1.0002	1.0012	1.0000
30.0	0.0759	0.0851	0.1336	0.5147	0.9411	0.9753	0.9813	0.9900	1.0058	0.9957	0.9972	0.9987	1.0000
30.5	0.0752	0.0844	0.1326	0.5146	0.9496	0.9902	0.9793	1.0097	1.0011	1.0042	1.0036	0.9987	1.0000
31.0	0.0746	0.0837	0.1316	0.5145	0.9586	1.0065	0.9937	1.0098	0.9927	0.9957	0.9978	1.0012	1.0000
31.5	0.0740	0.0830	0.1305	0.5144	0.9679	1.0212	1.0127	0.9904	1.0088	1.0041	0.9994	1.0011	1.0000
32.0	0.0735	0.0824	0.1296	0.5142	0.9774	1.0321	1.0215	0.9903	0.9951	0.9958	1.0029	0.9988	0.9999
32.5	0.0729	0.0818	0.1286	0.5141	0.9869	1.0373	1.0135	1.0094	0.9979	1.0041	0.9965	0.9988	0.9999
33.0	0.0723	0.0811	0.1276	0.5140	0.9964	1.0362	0.9951	1.0095	1.0076	0.9959	1.0017	1.0011	0.9999
33.5	0.0718	0.0805	0.1267	0.5139	1.0058	1.0290	0.9807	0.9907	0.9916	1.0040	1.0009	1.0011	1.0000
34.0	0.0713	0.0799	0.1258	0.5138	1.0150	1.0170	0.9818	0.9906	1.0039	0.9959	0.9969	0.9988	1.0000
34.5	0.0707	0.0794	0.1249	0.5137	1.0238	1.0022	0.9973	1.0092	1.0029	1.0039	1.0032	0.9988	1.0000
35.0	0.0702	0.0788	0.1241	0.5136	1.0321	0.9879	1.0145	1.0092	0.9921	0.9960	0.9986	1.0011	1.0000
35.5	0.0697	0.0782	0.1232	0.5135	1.0400	0.9743	1.0202	0.9910	1.0077	1.0039	0.9987	1.0011	0.9999
36.0	0.0693	0.0777	0.1224	0.5134	1.0473	0.9663	1.0102	0.9909	0.9971	0.9961	1.0031	0.9988	1.0000
36.5	0.0688	0.0771	0.1216	0.5133	1.0540	0.9644	0.9923	1.0089	0.9963	1.0038	0.9970	0.9988	0.9999
37.0	0.0683	0.0766	0.1207	0.5132	1.0599	0.9689	0.9806	1.0090	1.0079	0.9961	1.0010	1.0011	1.0000
37.5	0.0679	0.0761	0.1200	0.5131	1.0651	0.9789	0.6844	0.9912	0.9928	1.0038	1.0015	1.0010	1.0000
38.0	0.0674	0.0756	0.1192	0.5130	1.0696	0.9924	1.0005	0.9911	1.0020	0.9962	0.9968	0.9989	1.0000
38.5	0.0670	0.0751	0.1184	0.5130	1.0732	1.0070	1.0159	1.0087	1.0043	1.0037	1.0027	0.9989	0.9999
39.0	0.0665	0.0746	0.1177	0.5129	1.0760	1.0200	1.0187	1.0087	0.9920	0.9962	0.9993	1.0010	0.9999
39.5	0.0661	0.0742	0.1170	0.5128	1.0779	1.0295	1.0070	0.9914	1.0065	1.0037	0.9981	1.0010	1.0000
40.0	0.0657	0.0737	0.1162	0.5127	1.0790	1.0338	0.9899	0.9913	0.9989	0.9963	1.0031	0.9989	1.0000
40.5	0.0653	0.0732	0.1155	0.5126	1.0793	1.0332	0.9809	1.0058	0.9950	1.0036	0.9975	0.9989	0.9999
41.0	0.0649	0.0728	0.1149	0.5126	1.0786	1.0255	0.9872	1.0085	1.0078	0.9963	1.0002	1.0010	1.0000
41.5	0.0645	0.0724	0.1142	0.5125	1.0772	1.0143	1.0035	0.9916	0.9941	1.0036	1.0020	1.0010	1.0000
42.0	0.0641	0.0719	0.1135	0.5124	1.0749	1.0007	1.0167	0.9916	1.0002	0.9963	0.9969	0.9989	1.0000
42.5	0.0637	0.0715	0.1129	0.5123	1.0719	0.9871	1.0168	1.0083	1.0055	1.0035	1.0021	0.9989	0.9999

43.0	0.0634	0.0711	0.1122	0.5123	1.0681	0.9758	1.0038	1.0038	0.9923	0.9964	1.0000	1.0000	0.9999
43.5	0.0630	0.0707	0.1116	0.5122	1.0636	0.9689	0.9879	0.9918	1.0050	1.0035	0.9977	1.0010	1.0000
44.0	0.0626	0.0703	0.1110	0.5121	1.0585	0.9677	0.9816	0.9917	1.0006	0.9964	1.0030	0.9989	1.0000
44.5	0.0623	0.0699	0.1103	0.5120	1.0527	0.9722	0.9900	1.0081	0.9940	1.0035	0.9981	0.9989	1.0000
45.0	0.0619	0.0695	0.1097	0.5120	1.0465	0.9816	1.0061	1.0081	1.0074	0.9965	0.9996	1.0010	1.0000
45.5	0.0616	0.0691	0.1091	0.5119	1.0398	0.9941	1.0171	0.9920	0.9956	1.0034	1.0024	1.0009	0.9999
46.0	0.0613	0.0687	0.1086	0.5118	1.0397	1.0074	1.0148	0.9919	0.9985	0.9965	0.9970	0.9990	0.9999
46.5	0.0609	0.0684	0.1080	0.5118	1.0252	1.0192	1.0009	1.0079	1.0062	1.0034	1.0015	0.9990	0.9999
47.0	0.0606	0.0680	0.1074	0.5117	1.0176	1.0275	0.9864	1.0079	0.9928	0.9965	1.0007	1.0009	0.9999
47.5	0.0603	0.0676	0.1069	0.5116	1.0098	1.0311	0.9827	0.9922	1.0035	1.0033	0.9974	1.0009	0.9999
48.0	0.0600	0.0673	0.1063	0.5116	1.0019	1.0294	0.9928	0.9921	1.0022	0.9966	1.0027	0.9990	0.9999
48.5	0.0597	0.0669	0.1058	0.5115	0.9941	1.0227	1.0084	1.0077	0.9934	1.0033	0.9987	0.9990	0.9999
49.0	0.0594	0.0666	0.1052	0.5115	0.9863	1.0122	1.0171	1.0078	1.0067	0.9966	0.9990	1.0009	0.9999
49.5	0.0591	0.0663	0.1047	0.5114	0.9788	0.9996	1.0125	0.9923	0.9972	1.0033	1.0026	1.0009	1.0000
50.0	0.0588	0.0659	0.1042	0.5113	0.9716	0.9872	0.9981	0.9981	0.9971	0.9966	0.9974	0.9990	1.0000

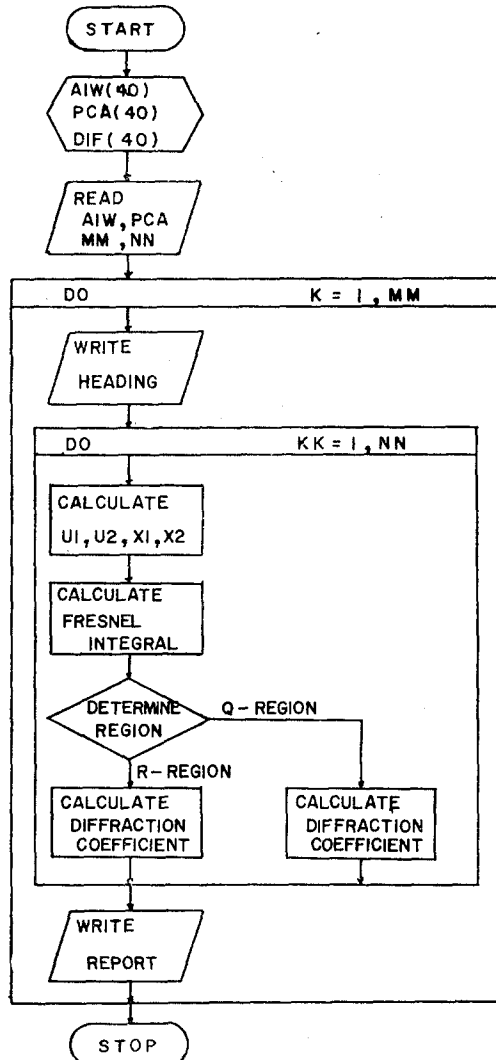


Fig 3. Flow Chart-Program for Calculation of Diffraction Coefficients.

4. 回折圖作成 및 考察

가) 回折圖作成

본문에서 取扱된 半無限防波堤에서의 回折圖는 防波堤 끝에서 半徑 50波長(즉 $r/\lambda=50$)의 거리내에서 入射角 $\theta_0=15^\circ\sim 180^\circ$ 일 경우 그 사이를 15° 간격으로 나누어 各점 $X(r, \theta)$ 에서의 回折係數를 求하여 各 경우에 對한 回折圖를 Fig-4~Fig-15에 그려 보았다. 그림에서의 숫자는 회절계수 H 의 값이며 이 값으로서 防波堤에의 入射波의 波長, 波高 및 波向이 주어지면 回折波의 波高(H_D)= $\text{회절계수}(H) \times \text{入射波의 波高}(H)$ 의 關係에서 Fig-4~Fig-15의 回折圖를 港의 平面圖의 축적과 맞추어 港의 防波堤를 포함한 平面圖에 그려 넣으므로서 波의 回折로 因한 內港波의 波高를 쉽게 推定할수 있는 것이다.

나) 結果에 대한 考察

回折圖를 作成하여 살펴보면 一般의 回折波領域에서는 回折係數의 값이 0.5 以下 즉 回折波의 波高가 入射波의 그것의 $\frac{1}{2}$ 을 넘지 않으며 回折 및 入射波領域에서는 回折係數의 값이 1.0 以上이 될 경우(대개 $\theta=\theta_0\sim\theta_0+15^\circ$ 인 경우)도 있어 入射波高보다 크게 나타내도 알수 있었다. 또한 어떤 경우에도 θ 의 값이 적거나 r/λ 의 값이 클수록 回折波高가 적어 진다는 사실을 알수 있었다. 이는 防波堤 端部에 入射波에 의하여 전달된 波에너지가 쇠퇴되어 간다는 것을 말하며 계산 결과로서 이 사실을 확인할수 있었다.

본문에 사용된 전자계산 Programming은 직접 현장 기술자나 이를 필요로 하는 사람이 사용할수 있게끔 作成 하였으므로 지금까지 文獻에서 발췌된 回折圖에

FIG. 4-DIFFRACTION DIAGRAM - 1

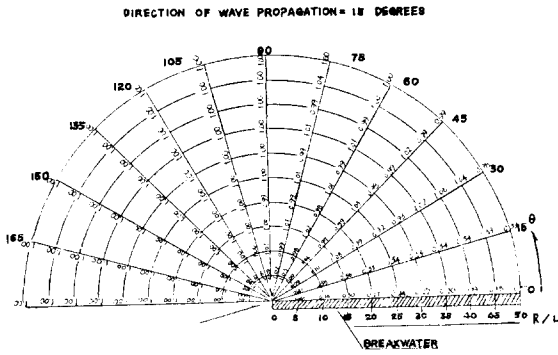


FIG. 5-DIFFRACTION DIAGRAM - 2

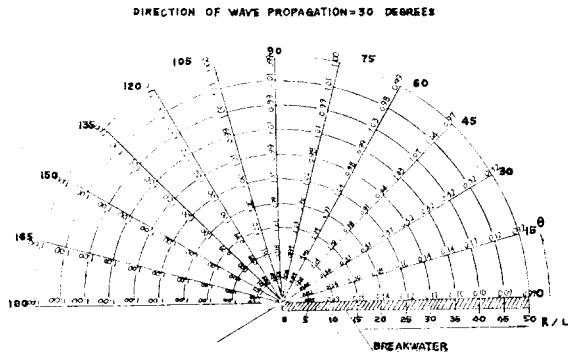


FIG. 6-DIFFRACTION DIAGRAM - 3

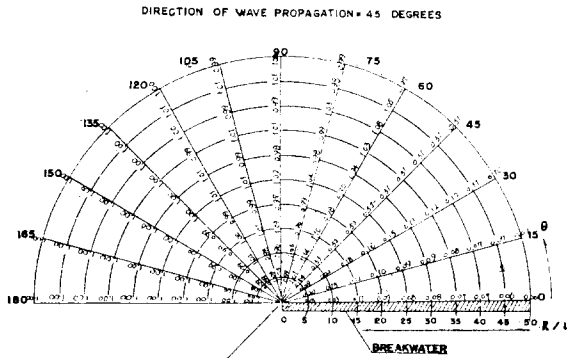


FIG. 7-DIFFRACTION DIAGRAM - 4

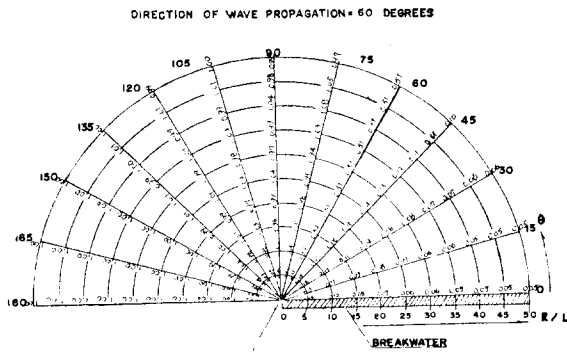


FIG. 8-DIFFRACTION DIAGRAM - 5

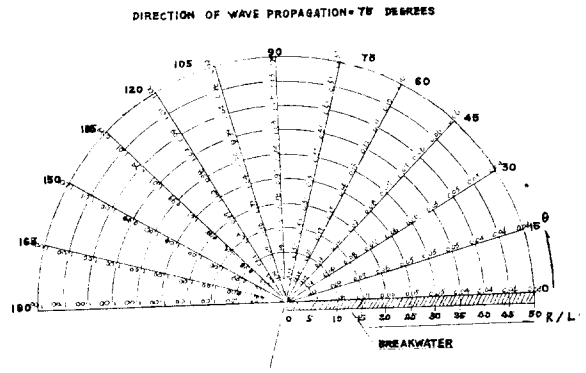


FIG. 9-DIFFRACTION DIAGRAM - 6

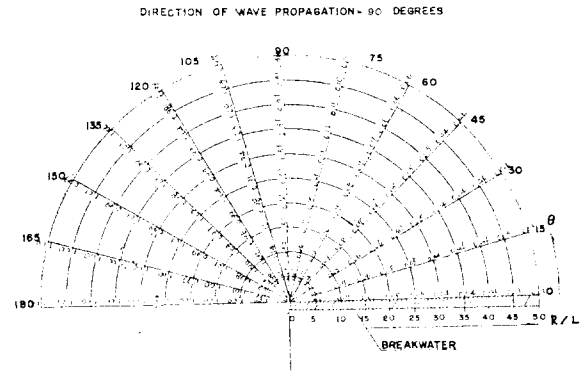


FIG. 10-DIFFRACTION DIAGRAM - 7

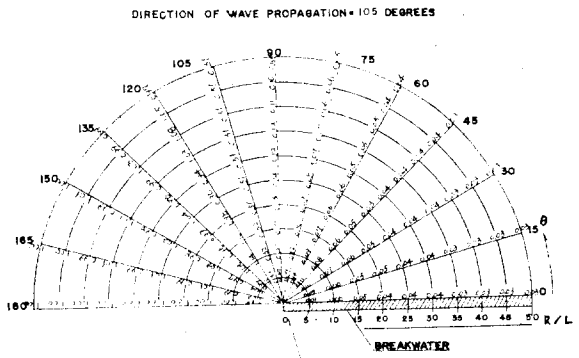
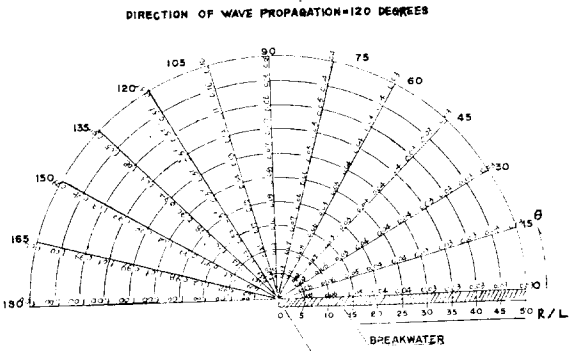
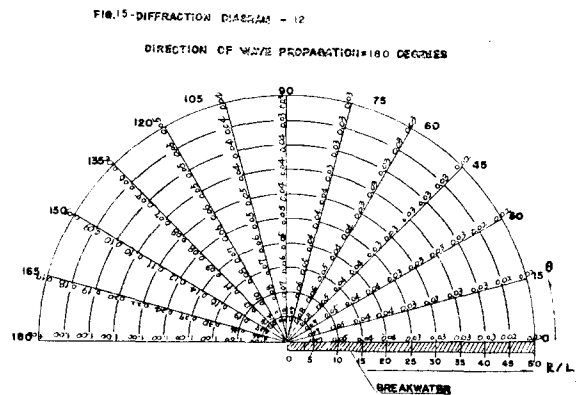
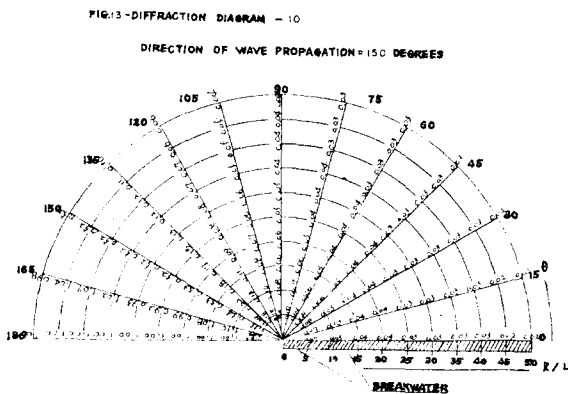
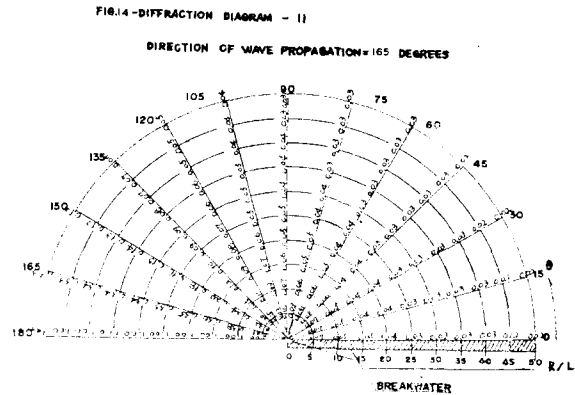
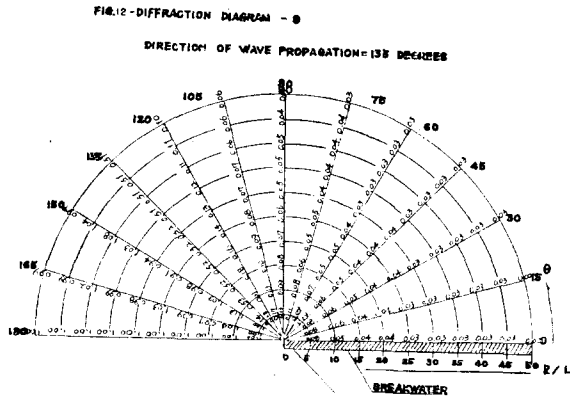


FIG. 11-DIFFRACTION DIAGRAM - 8





의해 防波堤設計에 적용하던 부정확성을 배제 할수 있다고 생각되며 入力된 Data를 사용 목적에 따라 다양하게 처리할수 있으므로 많은 사람들의 利用이 있기를 바랍니다.

5. 結 論

本文에서 作成된 回折係數를 求하는 Programming과 回折圖는 실제 現場기술자의 요구에 부응할수 있도록 그 결과를 제시 하였으며 이들 결과는 防波堤設計時 근사적인 방법을 사용 하였을 때보다 좀더 실제적이고 機能的인 設計를 할수 있다. 또한 本연구의 결과 防波堤에 平行으로 入射波가 入射할 경우($\theta_0=180^\circ$)에도 半無限防波堤의 內港側에 回折波가 形成됨을 알수 있었으며 防波堤에의 入射波의 波長이 크면 클수록 回折에 의한 內港의 波高가 防波堤 끝에서 먼거리까지 크게 되므로 港에서의 入射波인 淺海波를 精確한 기상자료 및 과도에 대한 자료로서 推定하여 防波堤設計에 적용시켜야 됨을 알수 있었다.

REFERENCES

- 1) Penney, W.G. & Price, A.T.
"The diffraction theory of sea waves by breakwaters and the shelter afforded by breakwaters", Phil. Trans., Royal Soc., London, Series; A, Vol. 244, 1952, pp. 236—253.
- 2) Sommerfeld, A.
"Mathematische theorie der diffraction", Math.-Ann., Vol. 47, 1896, p. 317 (in English)
- 3) Putnam, J.A. & Arthur, R.S.
"Diffraction of water waves by breakwaters", Trans., A.G.U., Vol. 29, No. 4, 1958, pp. 481—90.
- 4) Blue, F.L. & Johnson, J.W.
"Diffraction of water waves passing through a breakwater gap", Trans., A.G.U., Vol. 30, No. 5, 1949, pp. 705—18.
- 5) Wiegel, R.L.
"Diffraction of waves by semi-infinite break-

- waters", Trans., A.S.C.E., Vol. 128, 1963, pp. 1181-1202.
- 6) Lamb, S.H.
"Hydrodynamics", 6th ed., New York, Dover Publications Inc., 1945, pp.15-23.
- 7) Wiegel, R.L.
"Oceanographical Engineering", 1st ed., N.J., Prentice Hall Inc., 1964, pp. 1-21.
- 8) Hildebrand, F.B.
"Advanced calculus for applications", N.J., Prentice Hall Inc., 1962, pp. 446-9.
- 9) Bateman, H.
"Partial differential equation of mathematical physics", New York, Dover Publication Inc., 1944, pp. 483-4.
- 10) 數學ハンドブック編集委員會編
"理工學のための數學ハンドブック" pp. 489-490, 1960.

題目 : ICOLD 第12次 總會報告論文

(Mexico 76. 3. 29-4. 2)

1. Greece 의 Athens 에서 開催된 ICOLD 第42次 執行委員會에서 決定된 第12次 總會(Mexico 76. 3. 29-4. 2)에 提出할 論文題目 4個는 다음과 같다.

APPENDIX

QUESTION NO.44

PROBLEMS ASSOCIATED WITH SPECIAL TYPES OF FILL DAMS

QUESTION NO.45

LEAKAGE INVESTIGATIONS AND DRAINAGE OF DAMS AND THEIR FOUNDATIONS

QUESTION NO.46

PRELIMINARY PLANNING OF DAM DEVELOPMENTS

QUESTION NO.47

THE EFFECTS ON DAMS AND RESERVOIRS OF SOME ENVIRONMENTAL FACTORS

論題 44 번

필댐의 特殊型式에 關聯된 問題

論題 45 번

댐 및 基礎의 漏水調査 및 排水

論題 46 번

댐 開發의 豫備計劃

論題 47 번

環境要件이 댐 및 貯水池에 미치는 影響