

## 減揺水槽の不規則波中模型実験について\*

正会員 元 良 誠 三\*\*, 上 田 研 一\*\*\*, 猿 田 俊 彦\*\*\*\*  
伊 田 力\*\*, 正会員 久保田 種 一\*\*\*\*\*

### Model Tests on Performance of an Anti-rolling Tank in Irregular Seas

By Seizo MOTORA (*Member*), Kenichi UEDA, Toshihiko SARUTA,  
Tsutomu IDA and Tanekazu KUBOTA (*Member*)

A navigation aids research vessel "Tsushima" of Maritime Safety Agency equipped with an anti-rolling tank has been constructed at Tamano Ship Yard of Mitsui Shipbuilding Co. At the design stage of the ship, performance test of the anti-rolling tank was conducted on a 1/28 scale self-propelled model at the Seakeeping Basin of Tokyo University.

In this paper, results of model experiments in irregular seas are reported. In those experiments, the model was encountered with irregular waves which had simulated ITTC spectra for 10 m/sec and 15 m/sec wind speed, and motion of the model was measured by a data recorder. Spectral analysis as well as collation of amplitudes were conducted.

Making use of analysed data, the effectiveness of the anti-rolling tank was evaluated by the following formula.

$$\text{Effectiveness} = \frac{(\sigma_{\phi}/\sigma_w) \text{ without} - (\sigma_{\phi}/\sigma_w) \text{ with}}{(\sigma_{\phi}/\sigma_w) \text{ without}} \times 100 (\%)$$

where  $\sigma_{\phi}$  and  $\sigma_w$  are the square root of the variance of rolling amplitude and wave amplitude respectively, and with and without mean anti-rolling tank active and inactive respectively.

Results showed that the tank was not effective in head seas, slightly effective in beam seas and considerably effective in following oblique seas. The maximum effectiveness of the tank reached about 50% which seemed to be a satisfactory result.

三井造船株式会社玉野造船所で建造された海上保安庁航路標識測定船“つしま”の設計に際して、減揺水槽の性能を確認するため水槽実験を行なったが、その中で不規則波中の自航試験は、今まであまり報告された例がないので、ここに報告する次第である。

\*昭和52年11月11日 造船3学会秋季講演会において講演

\*\*東京大学工学部船舶工学科

\*\*\*海上保安庁船舶技術部

\*\*\*\*船舶技術研究所運動性能部

\*\*\*\*\*三井造船(株) 基本設計室

#### 1. 実船及び模型要目

実船とその1/28の模型船の要目を Table 1 に示す。模型は木製である。

#### 2. 減揺水槽

減揺水槽(A. R. T.)はU字管式で空気連通管の代りに通風孔がつけてある。要目及び搭載位置を Fig. 1 に示すように Fr. No. 91~Fr. No. 97 に、重心上高さ 3.91m (常備計画)に A. R. T. の底面がくるように

Table. 1.

状態	満 載		常 備	
	実 船	模 型	実 船	模 型
LWL	70.000M	2.500M	70.000M	2.500M
B (MLD)	12.500M	0.446M	12.500M	0.446M
D (MLD)	6.400M	0.228 <sub>57</sub> M	6.400M	0.228M
吃 水	4.48M	0.160M	4.15M	0.148M
排水量	2,094.52 TON	93.084K G	1,870.90 TON	83.146K G
GM	1.38M	0.049 <sub>28</sub> M	1.100 (0.932) M	0.0393 (0.0333) M
KG	4.63M	0.165 <sub>35</sub> M	4.89 (5.058) M	0.174 (0.181) M
Tφ	9.02 Sec.	1.704 <sub>6</sub> Sec.	10.05 (10.02) Sec	1.899 (1.893) Sec

( ) 内は模型実験時の値

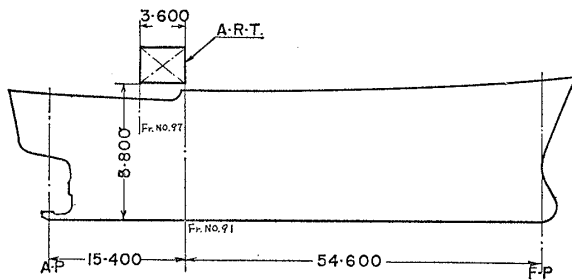
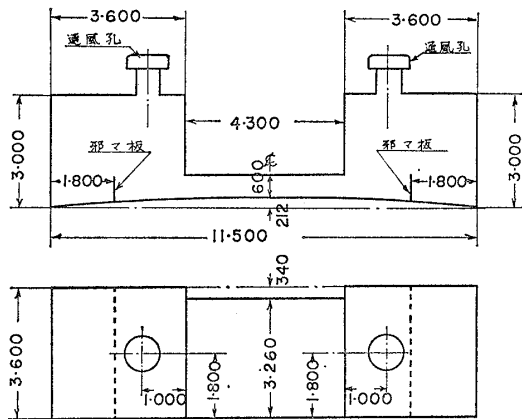


Fig. 1. 揺減水槽寸法図

置かれている。水槽の模型はアクリル板を用いて作り、水は着色して動きの観測に便利ようにし、水槽の水位は1.5 mとした。

### 3. 静止時規則波中実験

まず、基本的な性能確認のため、静止状態で横規則波による横揺れ試験を行なった。用いた波は同調を中心として同調率0.7~1.6の周期で、波傾斜は2°及び4°とした。常備状態の実験結果を Fig. 2 に示す。

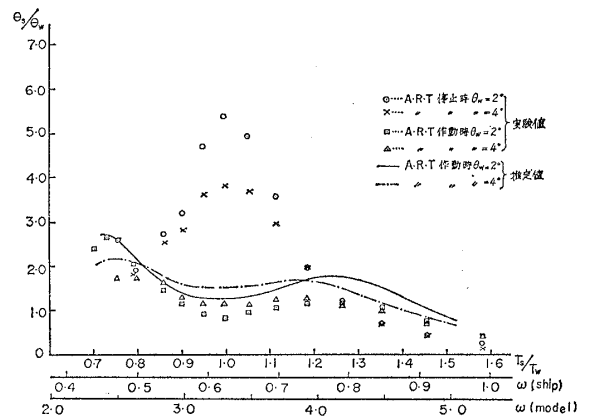


Fig. 2. 横規則波中横揺試験結果

図中減揺水槽作動時の推定値とあるのは、ベンチテストの結果から求めた横揺れの推定値である。図に示すように横規則波では、同調付近で顕著な減揺効果が認められる。又ベンチテストの結果はやや高めながら実験値とよい一致を示している。

### 4. 不規則波中自航試験

実験は東大航海性能試験水槽で行なった。

#### 4. 1 実験状態

供試模型船の主要目は Table 1 に示す通りであり、実験状態は常備状態で行なった。

実験ケースは、出会角  $\chi=150^\circ, 120^\circ, 90^\circ, 60^\circ, 30^\circ$  の5種について船速は静水中で  $V_s=10.3\text{kt}$  に相当する速度になる様なモーターの回転数 (2000rpm) を一定に設定し、波浪中を航走させ減揺水槽を作動させた場合、停止させた場合の比較を行なった。なお横波と斜め追波  $\chi=60^\circ$  の場合には船速変化により

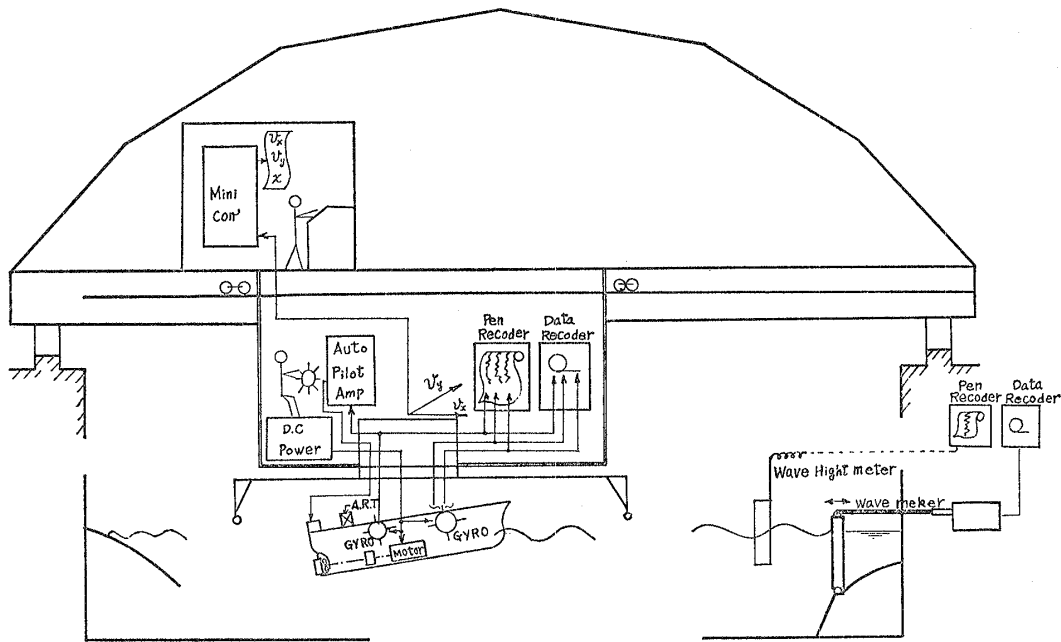


Fig. 3. 計測システム概略図

Rolling がどのように変わるかも調べるため、モーター回転数2500rpm (実船12.3kt相当), 3000rpm (14.9kt相当) の場合も追加した. 船速については当初この測定船の常用速度である16ktを基準にして実験する予定であったが, 模型船追跡電車の手動運転時の最大速度が1.0m/s であることから, 止むを得ず10.3kt に相当する船速に下げて実験した.

#### 4. 2 計測項目及び計測装置

模型船には自航装置, 動揺計 Gyro, 方位 Gyro 及び操舵装置が搭載されている. 電源及び計測器類は追跡電車上にセットされ模型船内の Pick Up とは模型船が航行中にコードが船体運動に影響を及ぼさない様に結線されている. 測定項目は, Pitch, Roll, Yaw で各々データレコーダー及びモニターとしてのレクタグラフに記録されている. 計測システム概略図を Fig. 3 に示す.

模型船の自動操舵装置は制限舵角  $\delta_{max} \approx 20^\circ$ , 方位係数  $a$  は約3 (度/度), 方位角速度係数については手動操舵を行なうため明らかでない. また不感帯は  $\pm 2^\circ$  である.

船体運動の外力である波は ITTC スペクトラムを有する不規則波を使用し風速  $U=10\text{m/s}$ ,  $15\text{m/s}$  の2種類を各実験ケースに応じて適宜2分割して用いた. 水槽で発生した不規則波のスペクトラム解析結果を Fig. 4 に示した. なお Fig. 4 は模型換算値である.

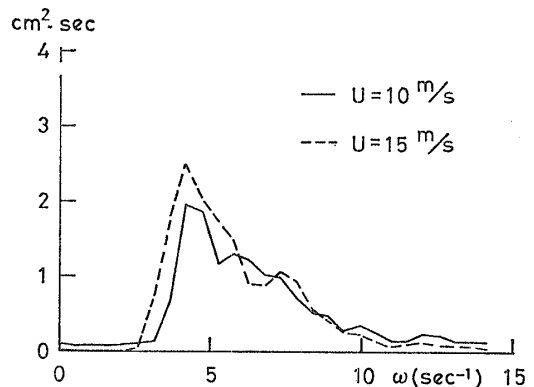


Fig. 4. Wave spectrum (ITTC)

#### 4. 3 解析方法及び結果

解析は Rolling の A. R. T. による減揺効果を調べるために,

(i) レクタグラフに記録された Time history から平均値, 有義値, 分散等を求める.

(ii) スペクトラム解析

の2通りの方法を行なった. 又解析は Pitching, Yawing についても行なったが, 今回は Rolling のみを示す.

(i) レクタグラフからの読取結果

Rolling の極値を読取り各航走毎に Rolling 角の大きい順に並べ, その分布から最大値,  $1/3$ ,  $1/6$ , 平均値, 分散等を計算した. この方法では記録の有効区間がタイムマークと同じ所に記録されていて明白となる. 混入した Noise も比較的除き易い反面 heelしながら動揺している場合には極値の数を多く数えてし

まう欠点がある。

解析結果は、A. R. T. を作動させた場合と作動させなかった場合の比較したものを Fig. 5 ( $\chi=120^\circ$ ), Fig. 6 ( $\chi=90^\circ$ ), Fig. 7 ( $\chi=60^\circ$ ) に示す。これらの図から判断して  $\chi=60^\circ$  の場合には A. R. T. の効果が表われていることがはっきりとわかる。  $\chi=90^\circ$ ,  $120^\circ$  の場合もわずかではあるが効果が認められる。

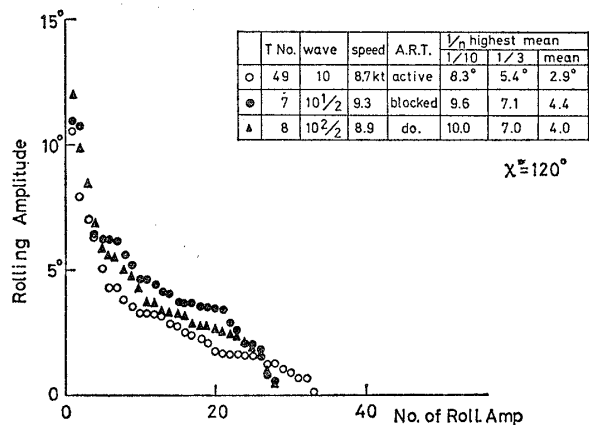


Fig. 5. 横揺振幅分布図

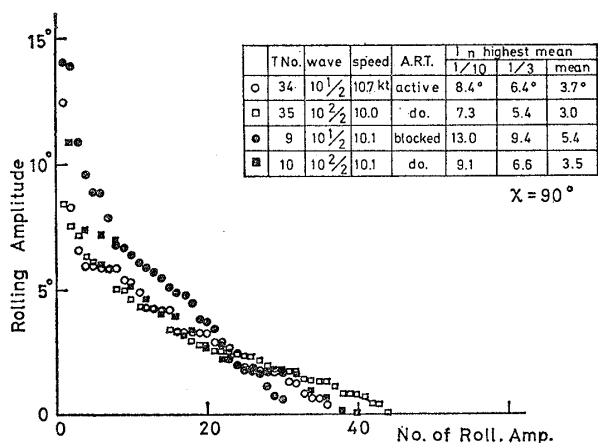


Fig. 6. 横揺振幅分布図

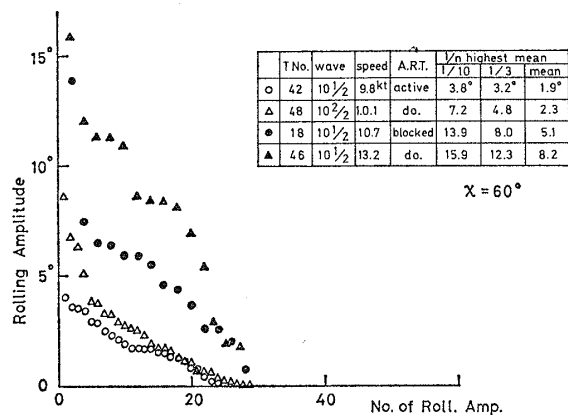


Fig. 7. 横揺振幅分布図

(ii) スペクトラム解析

データーレコーダーで記録したアナログデーターをフィルターを通して ( $f_c=16\text{Hz}$ ) Noise を除き、DATAC-2000でA-D変更してスペクトラム解析を行った。

各実験とも航走時間が短く有効データー数が極めて少ない。従って Lag 数は60ヶ、サンプリングタイムは Rolling 周期  $T_\phi=1.89$  秒を考慮して  $\Delta t=0.15$  秒 (但し波高の解析は0.1秒)、ウィンドウは  $W_2$  を用いた。

スペクトラムの面積 (分散  $\sigma^2$  に等しい) と計算する場合には次式による。

$$\sigma_s^2 = 2 \int_{\omega_L}^{\omega_H} S(\omega) d\omega \dots\dots\dots (1)$$

この積分範囲  $\omega_L$  は Lag 数5以下でスペクトラムが極少となる所、 $\omega_H$  は Lag 数56以上でスペクトラムが増加しなくなる所までとした。

Fig. 8~10には Rolling だけをまとめて A. R. T. を作動させた場合と作動させない場合の比較を示した。以上の図だけでは A. R. T. の効果が表われているかどうか  $\chi=60^\circ$  の場合を除き判定することは難しいので、Fig. 11にスペクトラム解析した結果から求めた平均値、1/3有義値、1/10平均値、標準偏差  $\sigma_\phi$  を A. R. T. の作動時、停止時をそれぞれ横軸、縦軸にとって比較したものを示す。

同図中の  $45^\circ$  の勾配の直線は A. R. T. の効果のないことを意味し、この直線より上側に存在する点はそれだけ A. R. T. の効果があることを示している。従って各出会角毎の A. R. T. の効果がはっきりするであろう。また同図中の数値は対比させた実験 No. である。

Fig. 12には A. R. T. の効果の出会角による変化を示す。これはスペクトラム解析結果から Rolling の標準偏差  $\sigma_\phi$  を求め、波高はスペクトラム解析から求めた標準偏差  $\sigma_w$  を使って単位波高当りの Rolling を求めたものである。

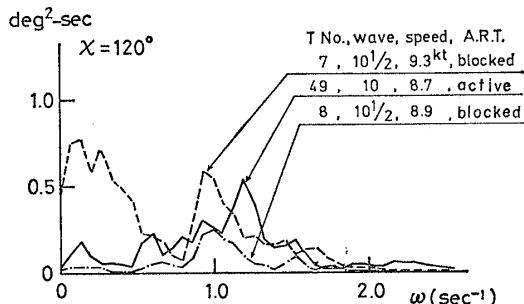


Fig. 8. 横揺スペクトラム解析結果

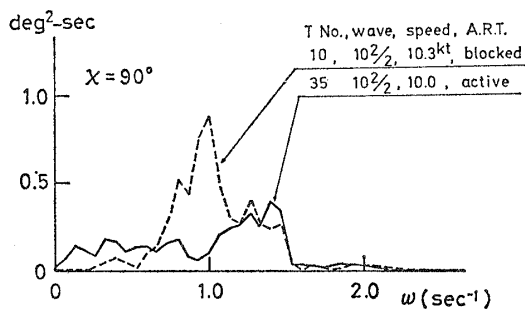


Fig. 9. 横揺スペクトラム解析結果

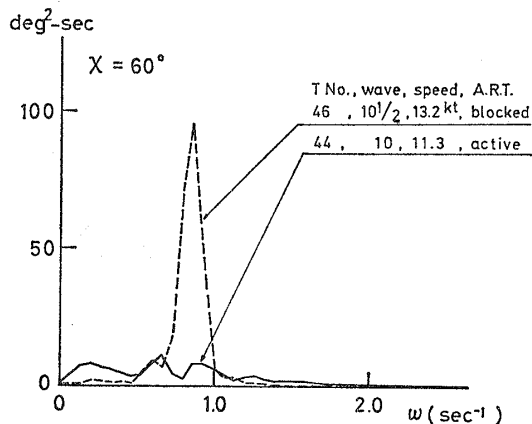


Fig. 10. 横揺スペクトラム解析結果

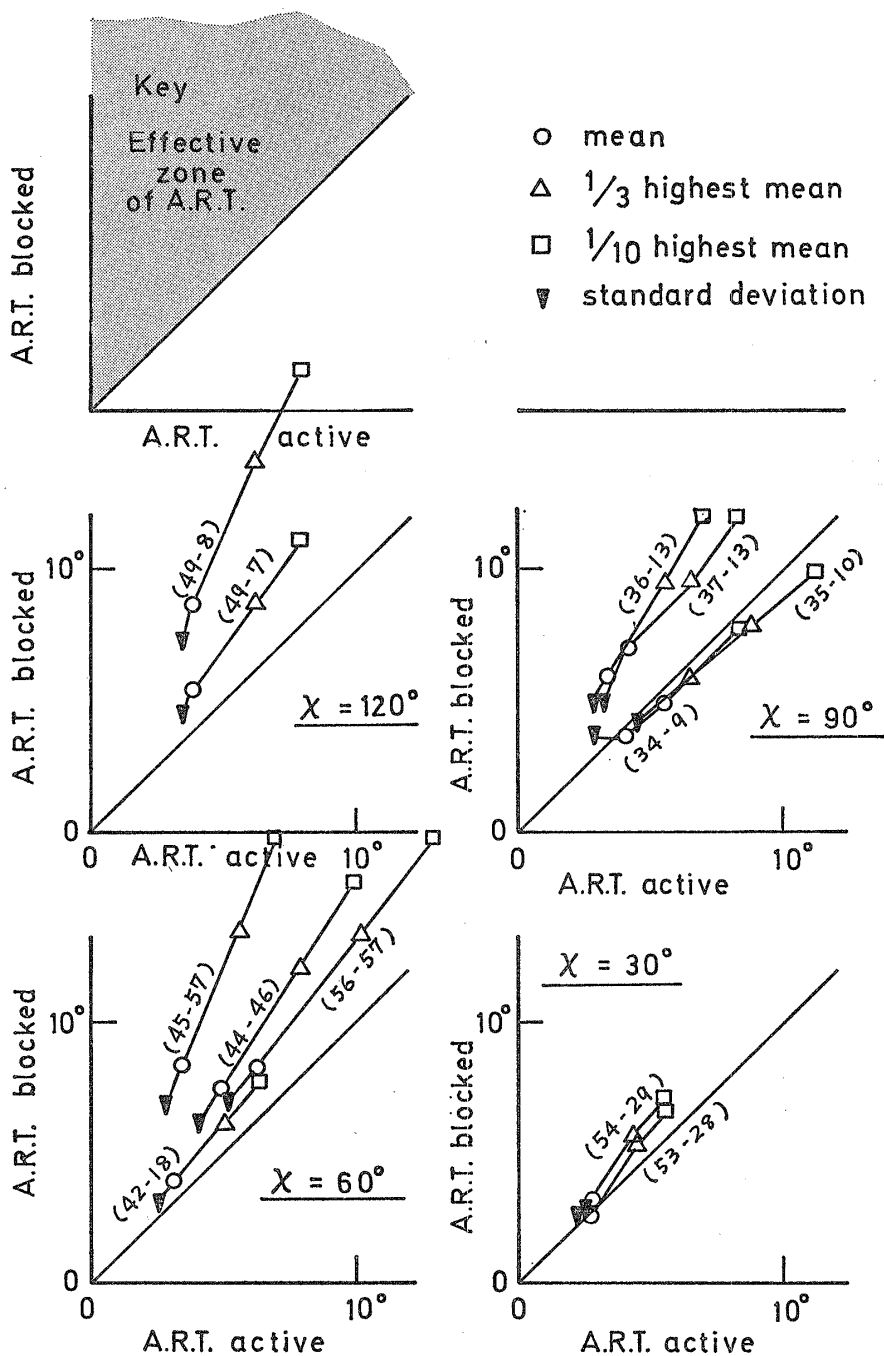


Fig. 11. 減揺水槽の効果

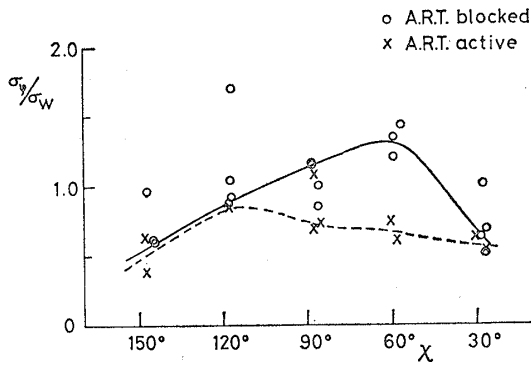


Fig. 12. 減揺水槽の効果

Fig. 12 からわかるように A. R. T. の効果は60°(斜め追波) のとき最も顕著で、120° より向い波及び30° より追波ではほとんど効果が認められないが、これは用いた波の有義周期(modal period) と船速から斜め追波で有義な出会周期が同調付近になることを考えると当然のことであろう。用いたスペクトラムよりも長い有義周期(約10秒)をもつ不規則波ならば出会角90°あたりで最も効果があるものと考えられる。

これらの図をもとにして各出会角毎の A. R. T. の効果を求めると次式で表わされる。

$$\text{A. R. T. の効果} = \frac{(\sigma_{\phi}/\sigma_w)_{\text{without}} - (\sigma_{\phi}/\sigma_w)_{\text{with}}}{(\sigma_{\phi}/\sigma_w)_{\text{without}}} \times 100(\%) \quad \dots\dots\dots (2)$$

Fig. 13に(2)式を用いて求めた各出会角毎の A. R. T. の効果を○印で示す。図中 Direct analysis (×印) とあるのは、レクチグラフに取った Time history から横揺角の有義値  $\phi_{1/2}$  と有義波振幅  $\zeta_{1/2}$  を求めて、(2)式の  $\sigma_{\phi}$ 、 $\sigma_w$  にそれぞれ代入して A. R. T. の効果

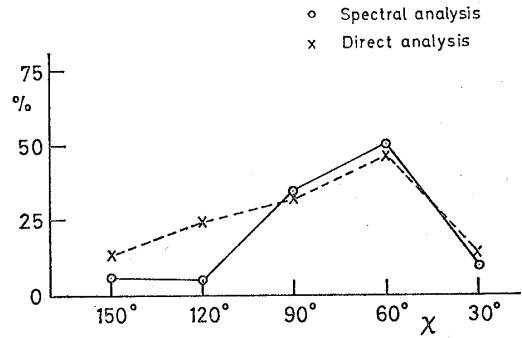


Fig. 13. 出会角と減揺水槽の効果の関係

を求めたものである。

斜め向波ではスペクトラム解析結果とレクチグラフの解析結果が異った値を示すが横波、斜め追波では良く一致している。この図から斜め追波では不規則波中でも50%の減揺効果があることがわかる。

### 5. 結 論

今回の実験は水槽の大きさの制限から、出会波数が充分に取れず、統計解析上不満足なものであったが、不規則波中の減揺水槽の性能の評価は一応出来たと考えられる。特に(2)式で示したような評価方法を取ることにより、減揺水槽の不規則波中での効果ははっきり表わされることが判った。減揺水槽の性能としては、不規則波中でも最大50%の減揺率に達しており、期待通りの性能を示していると考えられる。

最後に、本実験を行なうに当って実験及び解析に協力された東京大学航海性能試験水槽の小柳雅志郎助手を初め職員諸氏に対して深く感謝の意を表する。