

両面多孔壁式防波堤の透過率・反射率に関する一検討

沼 田 淳*・ 佐 藤 達 巳**

1. はじめに

防波堤を設置することによって起る問題として、防波堤からの反射波による前面海域の波高増大、堤内外の海水交換の阻害などがある。このような問題点を解消するために両面多孔壁式防波堤が考えられている。本研究では、両面多孔壁式防波堤の消波効果を知るために、微小振幅波理論にもとづく堀口ら¹⁾の理論を用いて数値計算を行い、この種防波堤の反射率・透過率が、後壁開孔率、遊水幅・波長比、前後壁の孔の大きさ、粗度係数の取り方などによってどのような影響を受けるかを検討するとともに、模型実験の結果と比較し、計算結果の妥当性についても考察した。

2. 堀口らの理論^{1),2)}による水理特性の検討

2.1 計算方法および計算条件

計算は、堀口らが速度ポテンシャル理論によって導いた8元2次連立方程式を線型化し、逐次近似法により計算したが、8元連立1次方程式の計算は、ガウスジョルダン法を用いた。計算条件は、表-1に示すとおりで、

表-1 計算条件

水 深	80.0 cm	前壁孔径	4.07 cm
入射波高	15.0 cm	後壁孔径	4.07 cm
前壁壁厚	7.0 cm	前壁開孔率	23.0 %
後壁壁厚	3.33 cm	後壁開孔率	9.0 %

後述する広島港における実験条件と同じ値を採用したが、周期 T 、遊水幅 l_2 、前後壁孔径 d_1 , d_3 、後壁開孔率を種々変化させて計算した。ただし、入口の損失係数 $f_e=0.5$ 、出口の損失係数 $f_o=1.0$ 、まさつ損失係数 $f=124.5n^2/d^{1/3}$ (n : 粗度係数=0.014) とした。

2.2 計算結果

(1) 前後壁の孔径の影響

前後壁の開孔率(前壁23%、後壁9%)を変化させずに、前後壁の孔径比(d_1/d_3 又は d_3/d_1)だけを0.5~1.5の範囲で変化させた計算結果が、図-1, 2である。 d_1 を

一定に保ち d_3 を変化させても、反射率 K_R 、透過率 K_T にはほとんど影響がないが(図-1), d_3 を一定に保ち d_1 を変化させると、図-2に見られるように $d_1/d_3=0.5$ 以下で特に K_R の方が比較的大きい影響を受けるようである。

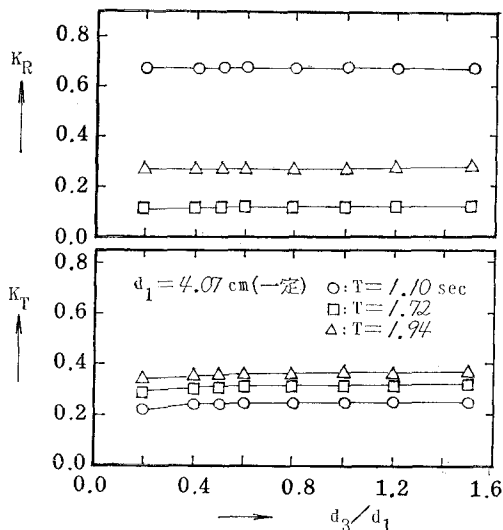


図-1 後壁孔径の影響

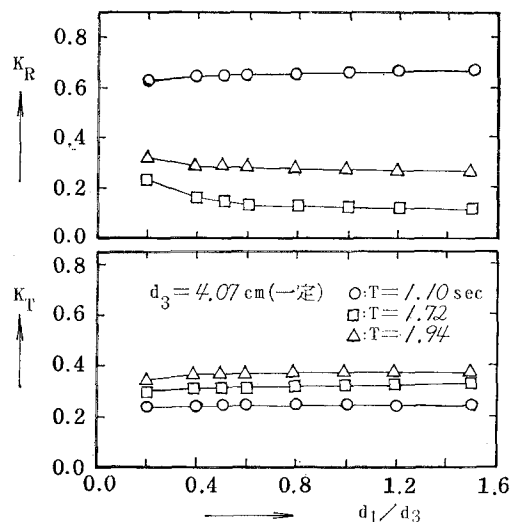


図-2 前壁孔径の影響

* 正会員 工博 東北工業大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 東北工業大学 工学部土木工学科

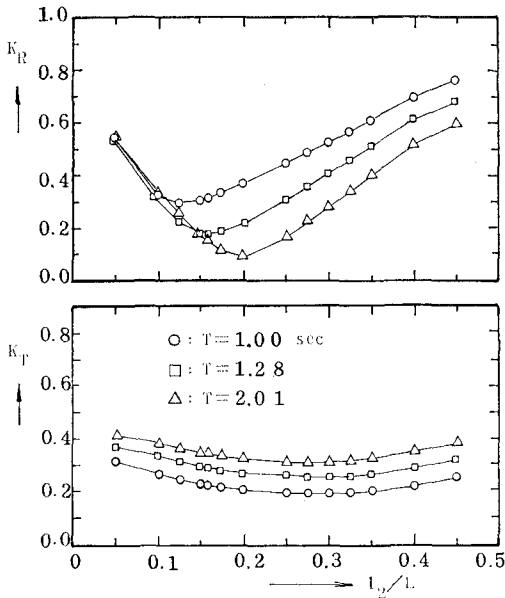


図-3 遊水幅の影響

(2) 遊水幅の影響

図-3 は、周期 T を一定に保ち、遊水幅 l_2 を種々変化した場合の結果である。それぞれの水深・波長比 h/L ($T=1.00, 1.28, 2.01$ sec に対する $h/L=0.52, 0.33, 0.16$) に対応して、 K_R を最小にする最適な遊水幅・波長比 l_2/L が存在するように思われる。今回の計算条件における最適な l_2/L の値は $0.13 \sim 0.20$ となった。一方、 K_T は $l_2/L=0.275$ 付近で最小となるようなゆるやかな2次曲線を示している。

(3) 後壁開孔率の影響

図-4 は、前壁開孔率を23%とし、 T と L の種々

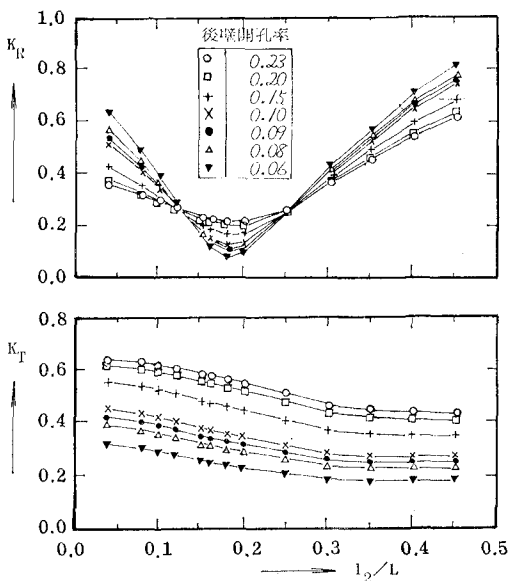


図-4 後壁開孔率の影響

の組み合わせに対して後壁開孔率を6~23%の範囲で変化させた場合の結果である。この図によると、 K_R が最小となる付近では、後壁開孔率が小さいほど K_R も小さくなるが、それ以外の所では逆の傾向を示す。一方、 K_T は後壁開孔率が小さくなるにしたがって減少するが、 l_2/L の増加に伴う減少傾向は、後壁開孔率に関係なくほぼ類似している。

(4) 粗度係数の影響

図-5 は、表-1 の条件で $T=2.0$ sec とし、 l_2 を種々

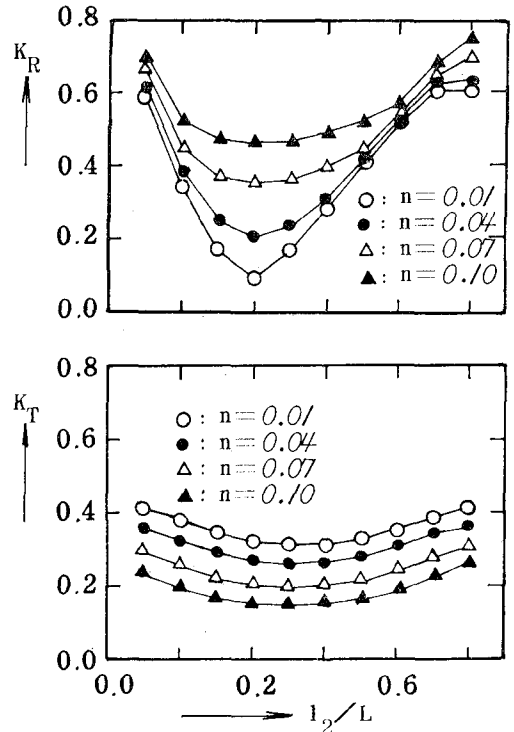


図-5 粗度係数の影響

変化した場合の K_R と K_T を粗度係数 n をパラメータとして図示したものである。 K_R は n の増加とともに増加するが、特に K_R が最小となる付近で n の影響が大きい。これに対し、 K_T は n の増加とともに減少し、その減少の割合は l_2/L に関係なくほぼ一定している。

3. 模型実験結果と計算値との比較

3.1 実験方法および実験条件

実験は、長さ 10m、幅 0.4m、高さ 0.3m の両面ガラス張り 2 次元水路を用いて行った。堤体模型は合板を使用し、水路末端より約 4.0m の位置に設置した。波高は、堤体前後に抵抗線式波高計をセットし、水位計増幅器を通してペンレコーダーに記録させた。なお、測定はモーターの特性などを考慮し、同じ条件で 5~7 回行った。実験条件は表-2 に示すとおり、水路規模を考慮し、表-1 の計算条件の約 1/4 とした。実験波の周期は、遊水幅

表-2 実験条件

水深	20.0cm	前壁孔径	0.5~1.5cm
入射波高	3.75cm	後壁孔径	0.5~1.5cm
前壁壁厚	1.80cm	前壁空けき率	23%
後壁壁厚	0.80cm	後壁空けき率	6~23%

の影響を調べる実験では $T=0.86$, 1.01 sec, 後壁開孔率および前後壁の孔径の影響を調べる実験では $T=0.86$, 0.97 sec とした。

3.2 結果および考察

(1) 遊水幅の影響

図-6 は, T を一定として遊水幅を変化させた場合の実験結果 (●印) の 1 例である。ただし, 縦線は実験値の範囲を示し, 実線はその平均値を結んだものである。 K_R の実験値にはかなりのバラツキがみられるが, K_T にはそれほどバラツキは見られなかった。

図中の○印は, 木材に対する粗度係数 $n=0.01\sim0.018$ の中央値 $n=0.014$ を用いて計算した結果である。●印と○印の間にはかなりの差が認められるが, K_R, K_T を最小にする l_2/L の値が, それぞれ 0.16~0.02, および 0.275 付近に存在するという定性的な傾向は一致している。そこで, 実験値と計算値とを定量的にも一致しうる粗度係数の値が存在するかどうかを調べてみた。図-7 は粗度係数 n を種々変化させて K_R, K_T を計算し, 横

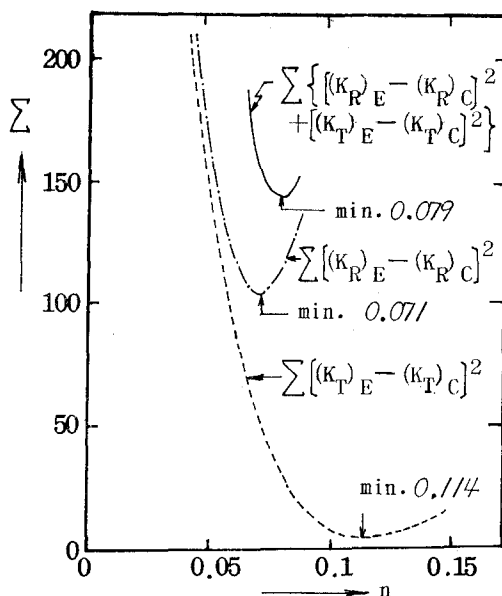


図-7 最適粗度係数

軸に n , 縦軸に実験値と計算値の差の 2 乗の和をとってプロットしたものである。この例では, K_R および K_T それぞれの計算値と実験値の差の 2 乗の和を最小にする n の値は 0.071 および 0.114 であり, K_R, K_T 両者の計算値と実験値の差の 2 乗の和を最小にする n の値は 0.079 となった。このように実験値と計算値の差の 2 乗の和を最小にする n の値を最適粗度係数と名付け, この値を用いて計算した結果も図-6 に記号を区別して (□印: K_R あるいは K_T に対する最適粗度係数を用いた計算値, △印: K_R と K_T 両者に対する最適粗度係数を用いた計算値) 併記した。この結果から, n の値を適切にえらぶことにより, 計算値と実験値は定量的にもかなり良い一致を示すことが分る。

(2) 後壁開孔率の影響

図-8 は, 前壁開孔率を一定 (23%) にし, 後壁開孔率を 6~23% の範囲で変化させたときの実験値および計算値の 1 例である。 K_R は実験値, 計算値ともに, 後壁開孔率の変化による影響はほとんど認められない。一方, K_T は実験値, 計算値ともに後壁開孔率が大きくなるにしたがって増加する傾向がみられ, 後壁開孔率が透過率に及ぼす影響の大きいことを示している。なお, 本実験の場合, K_R に対する最適粗度係数は 0.067, K_T に対する最適粗度係数は 0.10, K_R, K_T 両者に対する最適粗度係数は 0.071 である。

(3) 前後壁の孔径の影響

図-9 は, 前後壁の開孔率 (前壁 23%, 後壁 9%) を一定とし, 前後壁の孔径比 (d_1/d_3 または d_3/d_1) だけを 0.5~1.5 の範囲で変化させたときの実験値および計算値の 1 例である。前壁孔径を一定 ($d_1=1.0$ cm) とし, 後壁

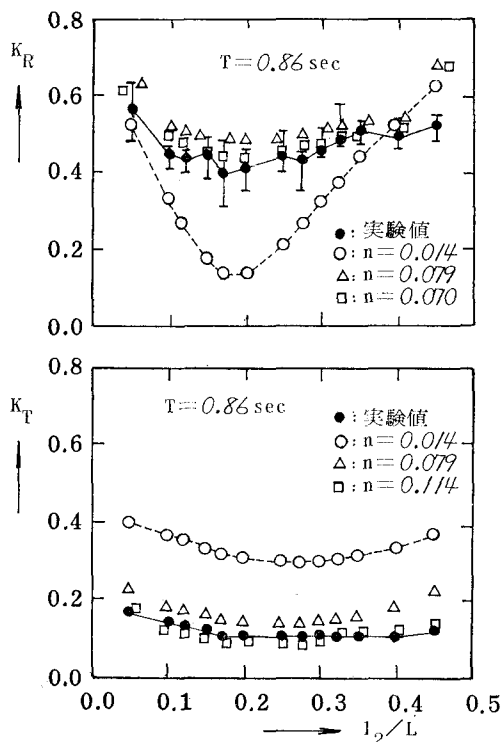


図-6 遊水幅の影響

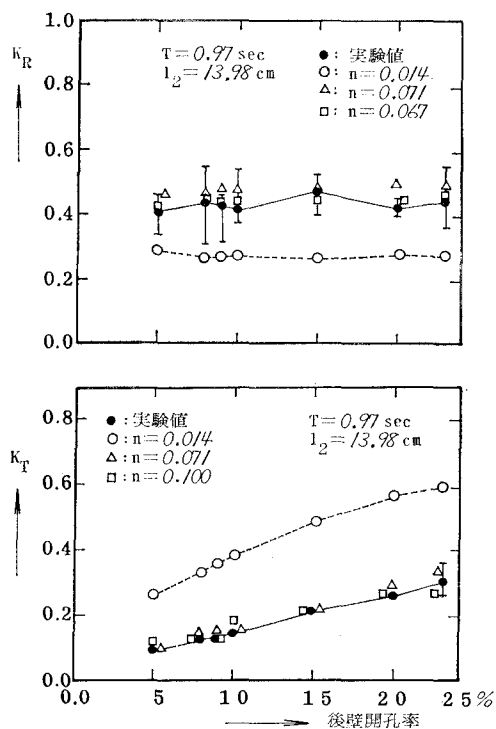


図-8 後壁開孔率の影響

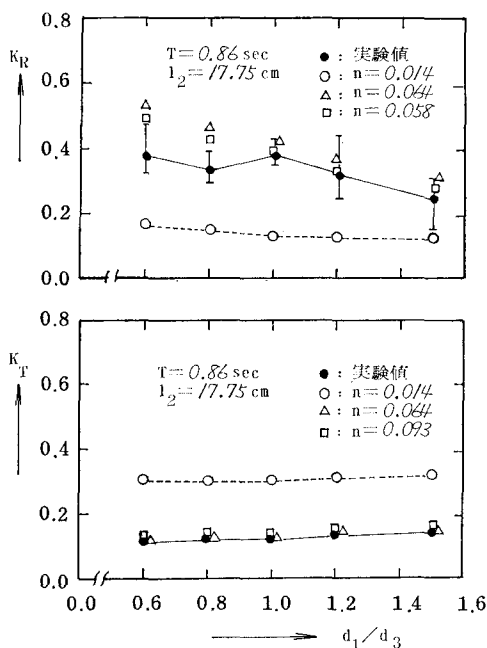


図-9 前壁孔径の影響

孔径を $d_3=0.5\sim 1.5\text{ cm}$ の範囲で変化した実験では、第2節の計算例と同じように K_R の変化は小さく、後壁孔径を変えた影響は認められなかった。これに対し、後壁孔径を一定 ($d_3=1.0\text{ cm}$) とし、前壁孔径

を $d_1=0.5\sim 1.5\text{ cm}$ の範囲で変化した実験では、図-9にみられるように孔径比 d_1/d_3 が大きくなるにしたがって K_R は小さくなる傾向を示している。一方、 K_T は前後壁いずれの孔径を一定とした場合も孔径比が大きくなるにしたがい、わずかながら増加する傾向が認められる。なお、本実験の場合、 K_R に対する最適粗度係数は0.058、 K_T に対する最適粗度係数は0.093、 K_R 、 K_T 両者に対する最適粗度係数は0.064である。

4. 他機関での実験値による検討

両面多孔壁式防波堤は、すでに広島新港において施工済みであるが、計画の段階で縮尺 1/30 の模型実験を行い、 K_R 、 K_T に対する検討を行っている³⁾。実験条件は表-1 とほぼ同じであり、表-3 に示すような周期と遊水幅の組み合わせに対して実験している。図-10は、そ

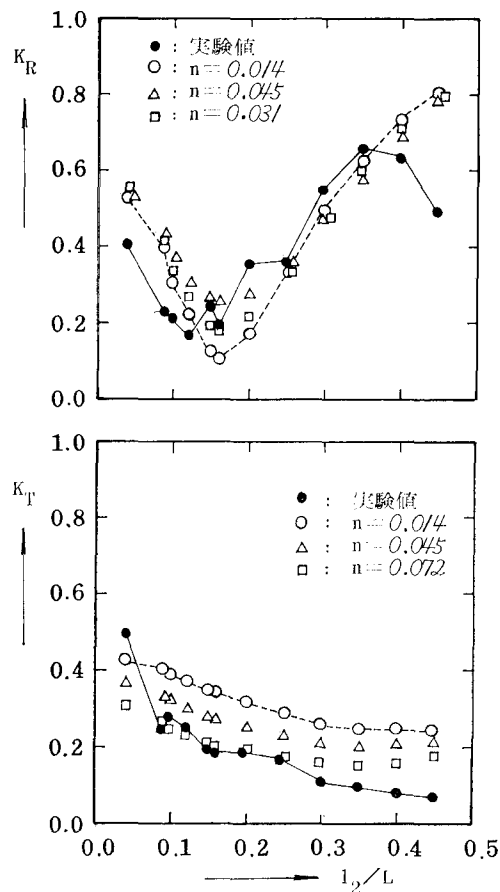


図-10 広島新港の実験値

表-3 実験条件 (広島新港)

周期(sec)	2.25	2.08	2.01	1.94	1.83	1.79	1.72
遊水幅(cm)	22.52	40.80	48.70	55.92	64.35	66.72	71.01
周期(sec)	1.64	1.46	1.28	1.19	1.10	1.00	
遊水幅(cm)	73.80	77.00	73.50	75.60	74.40	69.75	

の実験値と計算値を比較したものである。

K_R の計算値は、 $l_2/L=0.18$ を境としてほぼ左右対称に減少から増加に変わっている。

これに対し、実験値は l_2/L の増加にともなうて幾分不規則な変化を示しているが、計算値を左へ平行移動すればほぼ重ね合わせることが可能であり、 $l_2/L=0.35$ 以上を除けば変化の傾向は類似している。一方、

K_T の計算値は l_2/L の増加にともなうて漸減するが、 $l_2/L=0.35$ 以上ではほぼ一定となる傾向がみられる。これに対し、実験値は $l_2/L=0.10$ 付近までは l_2/L の増加にともなうて急減しているが、その後は計算値と同じような漸減傾向を示している。なお、本実験の場合 K_R と K_T およびその両者に対する最適粗度係数はそれぞれ

表-4 実験条件 (七尾港)

防波堤諸元		周期(sec)	波高(m)	周期(sec)	波高(m)
水深	5.0m	3.0	0.28	5.0	0.51
前壁壁厚	0.4m		0.52		1.01
後壁壁厚	0.4m		0.78		1.57
前壁孔径	0.78m	4.0	0.51	6.0	2.07
後壁孔径	0.43m		1.01		0.63
前壁開孔率	25%		1.54		1.38
後壁開孔率	5%		1.63		1.75
遊水幅	3.6m		1.81		2.50

0.031, 0.072 および 0.045 で、著者らの実験に比べ幾分小さい値となっている。

図-11 は、七尾港府中防波堤に関する実験値⁴⁾と計算値を比較したもので、実験は表-4 に示す条件で縮尺 1/12 で行っている。 K_R の実験値は計算値に比べかなり小さく、 K_T は逆に実験値の方が大きくなっており、周期が大きくなるほど両者の差が大きくなるように思われる。なお、本実験の場合 n の値を変えてもそれ程計算値に差は認められなかったが、 n を大きくするとかえって誤差が大きくなり、最適粗度係数は得られなかった。

5. むすび

以上、堀口らの理論を用いて両面多孔壁式防波堤の消波特性について検討した。この結果、定性的な傾向はこの理論によって十分説明できることが分ったが、定量的にも説明しようとして試みた最適粗度係数については、定常流に対して与えられている通常の粗度係数より幾分大きい値を用いる必要があるように思われるという指摘にとどめ、今後の検討課題としたい。著者らの実験では、最適粗度係数が 0.06~0.1 程度とかなり大きくなったが、これは孔径が小さいため合板にドリルであけた孔を十分平滑に仕上げることができなかったためとも考えられ、現在プラスチック板を使用した実験を計画中である。

最後に、実験および計算に協力頂いた本学学生諸氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 堀口孝男・中道峰夫：多孔壁式防波堤の消波機構と波力，第 23 回海講論文集，pp. 89~94, 1976.
- 堀口孝男・布施敏一郎・上原正晴：両面多孔壁消波構造の水理解析，第 24 回海講論文集，pp. 276~280, 1977.
- 武智雅敏：直立消波透過型防波堤の波浪および海水交換特性に関する実験的研究，第三港湾建設局第 7 回管内工事施工技術研究会資料，pp. 1~16, 1976.
- 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所：七尾港府中防波堤（穴あきブロック構造）の波力の考え方，pp. 1~19, 1978.

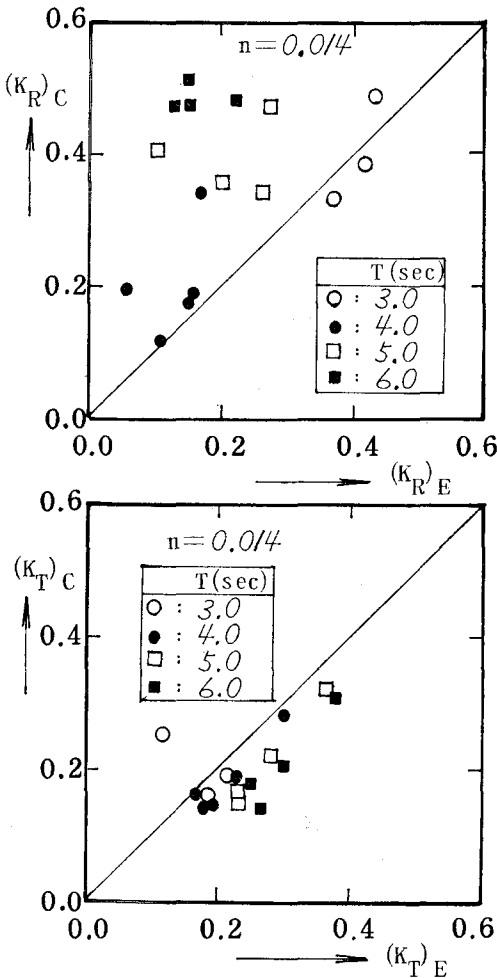


図-11 七尾港の実験値