

コアを有する透過性構造物による波浪変形の計算法

A Method of Calculation of Wave Transformation on Permeable Structure with Core

井田康夫*, 榎木 亨**, 後野正雄*, 岩西光治***

Yasuo. Iida, Toru. Sawaragi, Masao. Nochino and Koji. Iwanishi

The method of weighted average was proposed for the transmission coefficient of wave past the permeable structure with the core. The weighted average was applied to the significant diameter of void in the structure. Each widths of parts of the structure were used for the weights. A part of the structure was made of the same size of the armour units, that is, the core. The calculated transmission coefficients were compared with the test data in a 2-D wave tank.

The ratio of calculated transmission coefficient to the obtained transmission coefficient was in the range of 0.8 to 1.2.

The transmission coefficient were calculated by the equations the authors had been proposed for the wave in shallow water region.

Keywords: (Permeable structure, Transmission coefficient)

1. 緒 言

最近の沿岸域利用の気運はめざましく、水産増養殖施設からリゾート海浜まで多岐にわたる整備が行なわれている。これらの施設群には多様な透過性構造物が採用され、消波・侵食防止・水質改善などの面で大きな効用が認められている。

しかし、これらの計画・設計段階において必要な波浪の変形予測は充分行なわれておらず、施工例の極めて多い傾斜堤(低透水性の中詰めを持つ)でさえ、近藤ら¹⁾により、透過率に対する中詰め工の効果について実験的検討がなされているが、波浪変形の計算法はいまだに確立されていない。

この原因は、波が構造物を通過する際のエネルギー逸散の質、量を具体的に評価することが難しい点にある。すなわち、構造物によるエネルギー逸散は

①波の衝突時における短時間の逸散

②波の通過中における継続的な逸散

に分類され、個々にその内実を把握する必要があるが、現時点ではその実態は明らかではなく、透過抵抗によるエネルギー逸散が水粒子速度の何乗に比例するのか不明である。このため著者らは、両者の抵抗を包含した形の線形抵抗係数を想定し、その算定式を均一透過堤体に対して提示した。そして透過率の計算に対して、若干の考察をすでに試みた^{2) 3)}。

本論では、さらに現実に採用されている低透水性のコアを有する直立構造物を対象に、まず主要なパラメータにより透過率特性を明らかにする。そして、大きさの異なる構成材が混在する場合の、線形抵抗係数の取扱いを中心に、透過率に対する計算法を検討して、その計算値を実験値と照合し、波の簡単な変形計算の可能性について論議するもので、遊水部の効果ならびに模型実験のスケールについても言及する。

2. 透過率の計算法

著者らは、単一粒径の直立構造物を対象に、非線形非定常Darcy則に基く、長波領域の波変形に関し、以下の様な結果を得ている⁴⁾。すなわち、前述のようにトータルな流体抵抗を線形抵抗係数(f)で表わし、これが波高・空隙代表径比(H_1/d')と粒径レイノルズ数(Re)の関数であることを実験結果より得、式(1)のように提示した。そして、これを式(2)に用いることにより、透過率(K_T)がある程度の精度で、計算可能なことを確認している。

$$f = \frac{200 \cdot (H_1/d')}{Re^{0.5}} \quad (1)$$

$$K_T = \frac{1}{\left\{ \left(1 + \frac{\sigma B f}{2\varepsilon \sqrt{gh}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma B (s + \varepsilon^2)}{2\varepsilon \sqrt{gh}} \right)^2 \right\}^{0.5}} \quad (2)$$

ここに H_1 : 入射波高, h : 水深, σ : 角周波数, ε : 空隙率, d' : 空隙代表径(ブロック1個と同体積の球径), Re : レイノルズ数($= u \cdot d' / \nu$), u : 水平最大水粒子速度, ν : 水の動粘性係数, s : 慣性係数, g : 重力加速度。

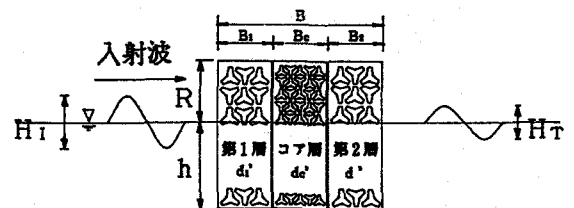


図-1 記号説明図

そこで、式(1)および式(2)を活用して、図-1のように、大寸法の表層材料と小寸法のコア材料で構成される

* 正会員 大阪工業大学工学部土木工学科 (535 大阪市旭区大宮)

** 正会員 大阪大学工学部土木工学科

*** 正会員 西日本旅客鉄道(株)

直立堤(以下、コア堤と略記する)の透過率を、次の2つの簡易な方法で計算する。なお、以下の記号で添字1, C, 2はそれぞれ第1層, コア層, 第2層を表わす。

計算法Ⅰ：単純繰り返し計算
透過率を式(1)および式(2)を用いて、層ごとに単純に計算する方法で、前層の透過波高を、それに続く層の入射波高と考え、これを順次繰り返す。この結果、全体の透過率(K_T)は式(3)のように各層の透過率の積となる。

$$K_T = K_{T1} \cdot K_{Tc} \cdot K_{T2} \tag{3}$$

計算法Ⅱ：平均空隙代表径による計算
各層厚を用いて、式(4)のように、重み付きの平均空隙代表径(d_m')を求め、これを式(1)に代入して、平均線形抵抗係数(f_m)を計算する。そして、この値を式(2)に代入して、全体の透過率(K_T)を求める。

$$d_m' = \frac{d_1' \cdot B_1 + d_c' \cdot B_c + d_2' \cdot B_2}{B_1' + B_c' + B_2'} \tag{4}$$

3. 実験概要

実験は幅0.8m、深さ1.2m、長さ50mの造波水槽の中央部に表層、コア層ともテトラポッド模型を用いた、直立のコア堤を設置し、堤体後方3mの位置で、容量式波高計により透過波高を測定した。そして、これを同位置における無堤時の波高で除し、透過率を求めた。

使用したテトラポッド模型は、空隙代表径(d')2.9~7.9cmの3種類(ブロック1個の大きさは4.5~12.2cm)で、これを金網で被覆し、越波しない高さまで乱積みした。

実験波は、比水深がすべて0.08の長波近似領域と考えられる波で、水深50cm、波形勾配0.010~0.019、波高6.4~12.0cmの範囲にある6種類である。なお、コア堤の実験に先立ち、遊水部の有無ならびに遊水部幅が、透過率におよぼす影響を調べるため、図-2のように、すべて同一材料を用いた単層堤と、コア部分を遊水部とした複層堤についても同様の実験を行なった。

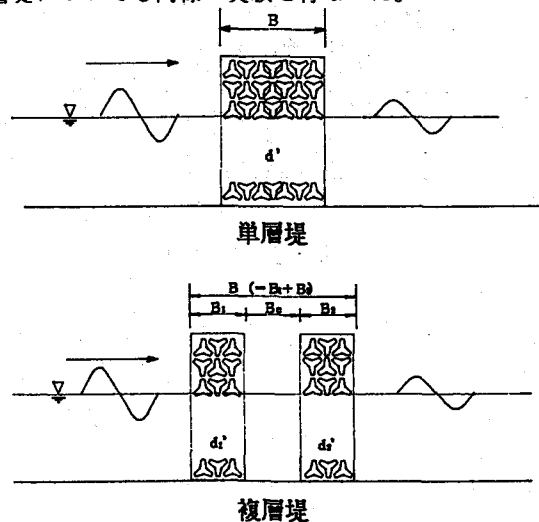


図-2 単層堤と複層堤

実験の種類を表-1に示す。

表-1 実験の種類

堤体	No	第1層		コア層		第2層		全体	
		B1	d1'	Bc	dc'	B2	d2'	B	d'm
コア堤	C1	20	4.6	20	2.9	20	4.6	60	4.0
	C2	20	7.9	20	4.6	20	7.9	60	6.8
	C3	40	4.6	20	2.9	40	4.6	100	4.3
	C4	40	7.9	20	4.6	40	7.9	100	7.2
	C5	40	4.6	40	2.9	40	4.6	120	4.0
	C6	40	7.9	40	4.6	40	7.9	120	6.8
複層堤	D1	20	2.9	20	-	20	2.9	60(40)	2.9
	D2	20	4.6	20	-	20	4.6	60(40)	4.6
	D3	20	7.9	20	-	20	7.9	60(40)	7.9
	D4	40	4.6	20	-	40	4.6	100(80)	4.6
	D5	40	7.9	20	-	40	7.9	100(80)	7.9
	D6	40	4.6	40	-	40	4.6	120(80)	4.6
	D7	40	7.9	40	-	40	7.9	120(80)	7.9
単層堤	S1							20	2.9
	S2							20	4.6
	S3							20	7.9
	S4							40	2.9
	S5							40	4.6
	S6							40	7.9

単位: cm, (): 実質堤体幅

4. 考察

近年、透過性構造物により波浪制御が行なわれる場合、目的により形状、規模は異なるが、いわゆる遊水部を持つ事例がかなり多く採用されているが、その解析結果は一方の堤が不透過の場合が多い。

本論のような直立構造物においても、単一堤体でなく、遊水部を持つ複数の堤体の場合は、たとえ実質部の全堤体幅が同じでも、透過後の波浪の様相は異なる可能性がある。したがってコア堤による波浪変形を取り扱う場合にも、コアによる効果と、遊水部による効果を予め確認しておく必要がある。そこで、図-2の単層堤と複層堤における透過率に対する遊水部の効果を確認した後、コア堤の透過率に関する諸特性ならびに計算結果などについて述べる。

(1) 遊水部の効果

遊水部の有無が、波変形におよぼす効果を見るため、単層堤の透過率と、堤体材料および実質堤体幅が等しい複層堤の透過率を比較することとし、図-3にその結果を示す。この図より、 $H_1/d' \approx 1$ 近辺で、やや複層堤の透過率が小さくなっているが、全体的には広範な H_1/d' の領域にかかわらず、単層堤と複層堤では透過率にほとんど有意な差は認められない。

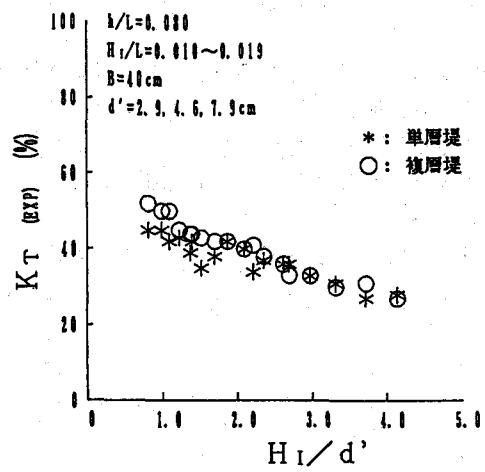


図-3 透過率の比較

また図-4は、遊水部幅(B_c)以外の条件はすべて等しい複層堤の実験結果で、遊水部幅の広狭が透過率に与える効果を見るものである。

図-4より、複層堤の遊水部幅が、20cmから40cmに増大しても、透過率にはほとんど変化のないことが明らかである。

以上のことより、波長($L=625\text{cm}$)に比べ、遊水部幅があまり大きくない本実験のような場合は、波変形によらず遊水部の効果はほとんどないものと断定してよい。

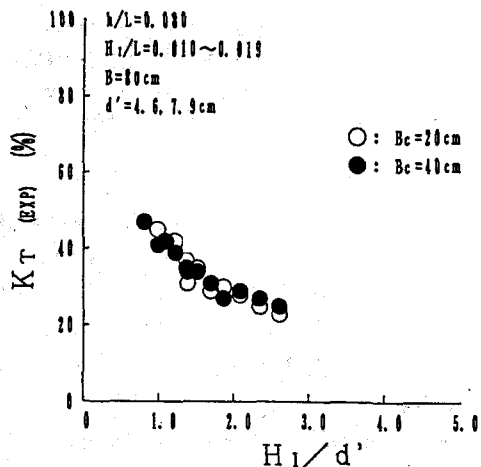


図-4 遊水部幅の効果

(2) コア堤の透過率特性

透過性構造物内部に、低透水性のコアを設けた場合の、波変形に与える影響を、透過率を対象にして検討する。

前報のように著者らは、単一粒径の直立構造物における透過率に関し、波高・空隙代表径比(H_1/d')、相対堤体幅(B/L)、比水深(h/L)および波形勾配(H_1/L)を用いて整理し、特に波高・空隙代表径比の重要性を指摘しているところであるが、コア堤に関しても、同様の整理を行う。

①波高・空隙代表径比 図-5および図-6より、 H_1/d' の増加にともない、両図の B/L が違ふことから、減少形態は若干異なるが、 K_T は明らかに減少し、コア堤においても、単一粒径の構造物と、同様の結果が得られた。

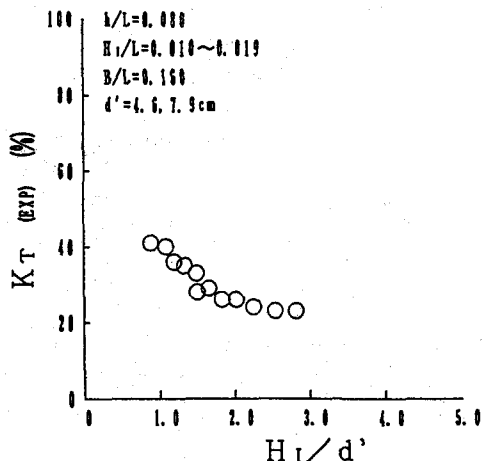


図-5 透過率と波高・空隙代表径比

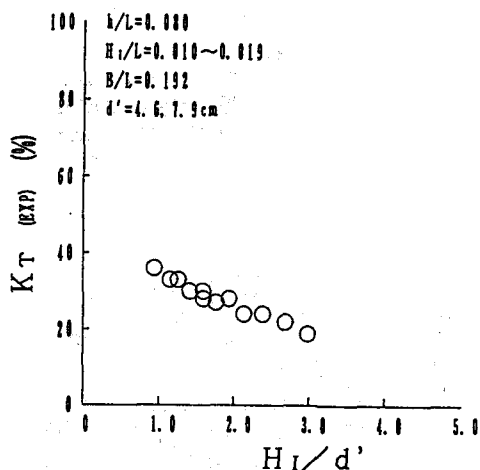


図-6 透過率と波高・空隙代表径比

②相対堤体幅 図-7によると、 B/L が大きくなると、 H_1/d' の値にかかわらず、 K_T は小さくなる。そして、 B/L の値が同じ場合には、 H_1/d' の大きい方が、 K_T はほぼ小さくなっていることがわかる。

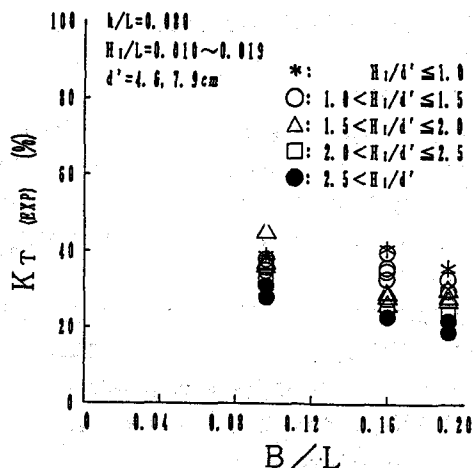


図-7 透過率と相対堤体幅

③波形勾配 従来、透過性構造物における透過率は、波形勾配によって、一義的に決まるとされてきたが、図-8および図-9の結果によると、このような特徴は認められない。つまり、 H_1/L の増大にともない、 K_T が減少する場合と、ほとんど変化しない場合があり、 B/L 、 H_1/d' により、変化の様子が異なるようである。

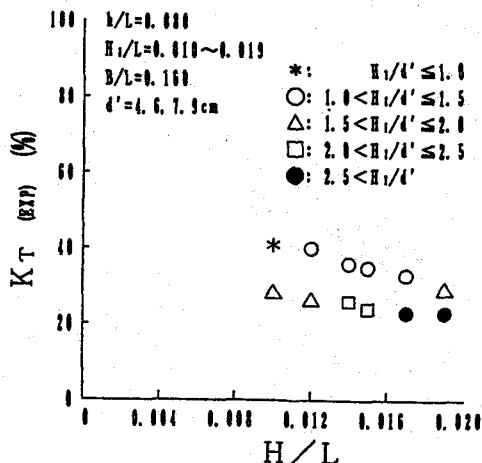


図-8 透過率と波形勾配

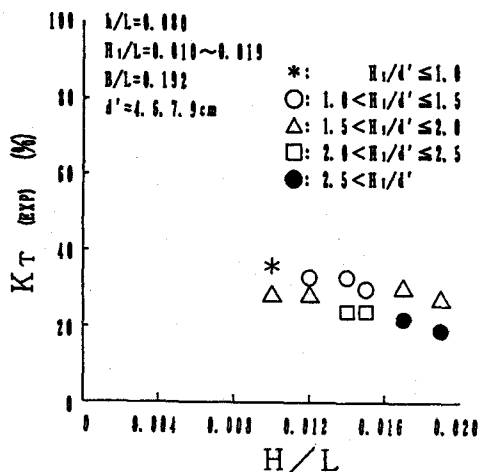


図-9 透過率と波形勾配

以上のように、コア堤における透過率の特性は、波高・空隙代表径比、相対堤体幅ならびに波形勾配に関し、単一粒径の透過構造物(単層堤)とほぼ同じであることが確認された。このことより、コア堤においても線形抵抗係数を用いた透過率の算定が可能と思われる。

(3) 透過率の計算結果

透過率の計算対象は、大きさの異なる材料を内包するコア堤であるが、ここではコア部が遊水部となる複層堤も加え、2.に示す計算法Iおよび計算法IIで、透過率の計算を行なった。計算に用いた波の条件は、実験波の6ケースである。

計算を行なうにあたり、計算法Iおよび計算法IIとも以下の数値を採用した。テトラポッドの空隙率は、乱積みであるため $\varepsilon = 0.5$ 、慣性係数は、空隙の大きさが個体の大きさと同程度であることから $s = 1.2$ 、水の動粘性係数は $\nu = 0.01 \text{ cm}^2/\text{sec}$ とした。

計算結果($K_T \text{ (CAL)}$)は実験値($K_T \text{ (EXP)}$)と比較するため、図-10および図-11のような照合図を作成することとし、加えて計算法による差異を明確にするため計算法I(単純繰り返し計算)による値は*で、計算法II(平均空隙代表径による計算)は○で表示する。

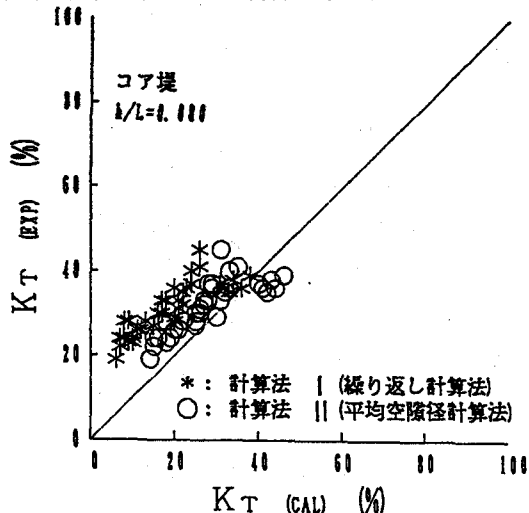


図-10 透過率の計算結果(コア堤)

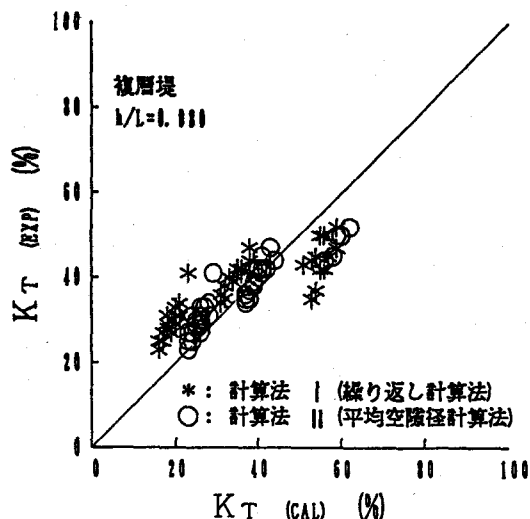


図-11 透過率の計算結果(複層堤)

図-10(コア堤)によると、計算法Iによる計算値は明らかに実験値より全般的に小さく、特に透過率の比較的小さい領域での誤差が大きい。これに対し、計算法IIでは計算法Iに較べ、全域にわたって誤差の程度は改善され、計算値と実験値の誤差の割合はおおむね $\pm 20\%$ に納まっている。

また図-11(複層堤)の結果からも、図-10のコア堤と同様に、計算法IIの方が計算法Iよりも、計算値と実験値の一致度がよいことがわかる。同時に、両計算法による計算値の差があまりないことから、複層堤における遊水部の効果が、先に示したようにほとんどない事実と一致する。

次に波、流れの場におけるエネルギー逸散を考えると、重要なファクターであるレイノルズ数が透過率におよぼす影響を見るため、図-10および図-11における計算法IIによる透過率をレイノルズ数別に示したものが、図-12(コア堤)および図-13(複層堤)である。

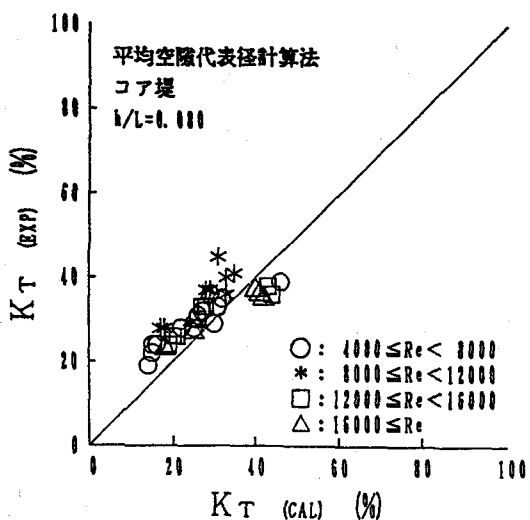


図-12 コア堤の透過率(レイノルズ数別)

図-12および図-13から、堤の種類にかかわらず、透過率に対するレイノルズ数の特別な分布特性は認められない。

以上のように単層堤や、スリット岸壁のような片側不透過堤と異なり、コア堤や複層堤のように反復反射現象が複雑に行なわれる場では、単純な繰返し計算は当然のことながら、精度は期待できない。

しかし、平均空隙代表径を用いた線形抵抗係数を算出し、これにより透過率を求めれば、コア堤のように、大きさの異なる材料が構造物中にあっても平均化した簡単な方法で、ある程度の計算が可能と思われる。

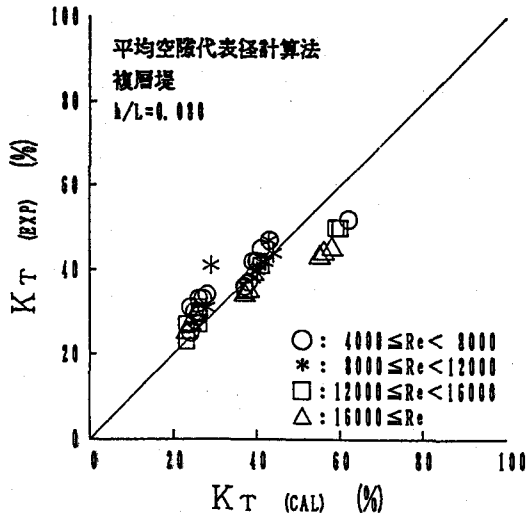


図-13 複層堤の透過率(レイノルズ数別)

(4) 模型実験のスケール

波浪の変形問題などを対象に、一般に行われる水理模型実験では通常、フルードの相似則が用いられている。しかし、著者らの研究では⁴⁾、式(2)で示した無次元線形抵抗係数は、ほぼ 2×10^4 を境に、低レイノルズ数領域ではレイノルズ数に依存し、この値が小さいほど、線形抵抗係数は急激に大きくなる。このことは低レイノルズ数領域で、透過率、反射率などの実験が行われた場合、それらの値は過小に表れることになり、注意を要する。

しかし、式(2)によれば、現地と模型の無次元線形抵抗係数を一致させるためには、使用する透過材料の縮尺は、模型実験の幾何学的縮尺の1/3乗にする必要があり、現実的には困難である。

本実験においても、コア堤の平均空隙代表径を使用した粒径レイノルズ数は、4000~20,000程度であり、実験結果の取扱いには慎重を期する必要がある。

5. 結 言

透過性構造物内部に、低透水性のコアを有する複層直立堤を対象に、線形抵抗係数を用いた透過率の簡便な計算を試み、実験値と照合した結果、次のことが判明した。

- (1) 複層構造物における遊水部の効果は、本実験における波長が大きいため、顕著には認められなかった。
- (2) コア堤においても、単一粒径の構造物と同様、波変形に対する波高・空隙代表径比の重要性が明らかになった。
- (3) コア堤の透過率の計算において、式(1)および式(2)を用いた単純な繰返し計算は実験値との対応が良くない。
- (4) 平均空隙代表径による透過率の計算は、計算値と実験値の誤差の割合が±30%以内で、簡便な計算法にも関わらず、ある程度の精度が得られる。

なお、この方法は平均的な取扱い方法で、現実としては1.に述べた2つの観点から解析する必要がある。著者らは現在、この現象を明確にするため、超高速ビデオカメラによる衝突時の現象解明を行いつつある。この結果については次回、報告したい。

謝 辞

本論文の計算および実験に、おおいに協力された大阪工業大学大学院学生 岸本邦一君、須貝輝博君ならびに平成4年度学部卒業研究生諸氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 近藤俊郎・藤間 聡・葛西勝栄(1975): 透過性防波堤におけるコアの効果に関する研究, 海岸工学講演会論文集, 第22巻, pp. 495~499.
- 2) 榎木 亨・井田康夫・福田 護(1990): 消波堤の透過率に対するブロックスケールの効果について, 海洋開発論文集, 第6巻, pp. 287~291.
- 3) 榎木 亨・井田康夫・後野正雄・菅 智浩(1991): ブロック積み消波堤の線形抵抗係数に関する実験的研究, 海洋開発論文集, 第7巻, pp. 155~159.
- 4) 榎木 亨・井田康夫・後野正雄・菅 智浩(1992): 透過性構造物による波変形の模型実験の限界について, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 616~620.