

潜堤のある波動場での流速振幅の場所的変動

Measurement and Calculation of Flow Velocity under the Wave Motion
around a Submerged Breakwater

吉田 茂*・早川典生**・細山田得三**

Shigeru Yoshida, Norio Hayakawa and Tokuzou Hosoyamada

Two methods to calculate the wave deformation around a breakwater, the boundary element method and mild-slope equation method, are currently available. Their ability to predict the flow velocity field in the field, however, is not known. In this paper, a detailed measurement of flow velocity both around and inside a porous submerged breakwater is carried out in the laboratory wave flume and the result is compared with the analytical calculation. Experimental result shows amplification of flow velocity over the submerged breakwater and existence of complicated, though small, flow velocity inside the breakwater. For this flow structure, an unsteady mild-slope equation is formulated and the calculated flow velocity is shown to agree with the experimental data.

Keywords: submerged breakwater, wave velocity field, mild-slope wave equation

1. はじめに

波や流れのエネルギー逸散を構造物自身の空隙・粗度・特殊な構造で生じさせ、波浪の制御や海岸侵食防止に役立てようとする研究が活発に行われ、すでに実用化されているものも多い。しかし近年、海岸の景観が重要視されるにつれて（離岸）潜堤が注目され、それらに関する研究が盛んとなった。現地においても大規模潜堤が計画され、既に施工されているところもある。潜堤の消波効果等に関する実験主体の研究も近年増えてきているが、潜堤を設置した場合の波動場の把握を模型実験による場合、スケール効果の問題があり、現地への適用が困難な場合が多い。そこでこれらを取り扱うことのできる理論的解析手法が必要となる。現在の所、実用に供しうると思われるものとして、境界要素法や緩勾配方程式法等がある。一様な水深域を進行する波であれば、一鉛直線上の流速は水面波形より一義的に決定され、水平流速の最大位置は波形の山を通る鉛直断面上にある。しかし潜堤等のように、水域を一部分遮断する構造物があると、波動場を伝わる波は変形し、また水平流速が最大を示す位置は波形の山よりかなりずれてくる。従ってこれら理論の適用性を考える場合、波形の一致について検討するだけでなく、波動場内部での流速の一致についても検討する必要がある。本研究では、この第一段階として潜堤外部及び内部の流速について測定を行い、流速振幅の面からその特性について考察し、また非定常緩勾配方程式より得られる理論振幅との比較も行ったものである。

2. 実験概要

実験は長さ14.0 m、幅0.5 m、高さ0.8 mの2次元波動水槽を用い、水槽のほぼ中央部に潜堤模型を設置した。潜堤を構成する材料は中央粒径20~25 mmの砂利で、砂利が崩れるのを防止するため、台形型に製作した鉄筋の枠に目の大きさが12 mmの金網をかぶせ

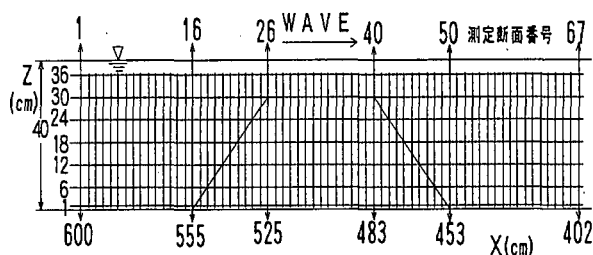


図-1 測定点座標 (法面勾配1:1)

たものに砂利を詰めた。模型は表法勾配、裏法勾配ともに1:1（寸法は天端幅0.42 m、底幅1.02 m、高さ0.3 m）のものと、1:2（寸法は天端幅0.42 m、底幅1.62 m、高さ0.3 m）の2種類とした。また砂利の空隙率は実測により、39.4%が得られた。実験水深は $h=0.4$ m、潜堤の天端水深は $d=0.1$ mとし、周期 $T=0.92$ s、波高 $H=7$ cmの波を入射波とした。流速の測定点は図-1に示すように水面より、-4 cm（7段目）、-10 cm（6段目）、-16 cm（5段目）、-22 cm（4段目）、-28 cm（3段目）、-34 cm（2段目）、-39 cm（1段目）の各位置とし、波の進行方向に3 cm

* 正会員 長岡工業高等専門学校環境都市工学科 (940 長岡市西片貝町888)

** 正会員 長岡技術科学大学建設工学系

間隔で67断面を取った。従って、測定点数は469点であり、両ケースとも潜堤の表法肩は26断面、裏法肩は40断面とした。波高計としては容量式を用いており、潜堤沖側にはA波高計、岸側にはC波高計をそれぞれ固定しておく。また流速測定にはセンサー部外形4mmの電磁流速計を用いた。直径4mmのセンサーを用いた為、水底の表面における流速を測定することは困難である。そこで本実験では、水底に一番近い測定点(1段目)を水底より1cm上方とした。また、潜堤との境界上の測定点(天端上及び斜面上)についても厳密には測定が出来ない為、境界より0.5cm水域側を測定することとした。この電磁流速計とB波高計を1セットとして測定点上を移動させ、波形と流速の同時測定を行った。波形および流速のサンプリング間隔は10msで、各測定点上で2000個/chのデータを取得した。得られたデータの4波~8波について位相平均をほどこし一周期間の波とした。なお本実験では透過層内部の流速測定も行ったが、流速センサーを層内に設置する場合、砂利を掘り出し流速センサーを設置して、再び砂利を埋め戻すことを繰り返すので、潜堤表面の砂利の配列が異なり(粗度が変化する)、岸側に伝わる波が厳密に言えば変化する。そこで潜堤岸側のC波高計で通過波を記録させ、波形の変化の大きいものは再実験を行うこととした。C波高計で記録された波形の root-mean-square 値が全平均値の5%以上はずれたものを再実験の対象とした。

3. 実験結果と考察

反射率はヒーリーの方法とまた波高分布の測定結果より、法面勾配1:1で12%, 1:2で8%となった。また潜堤上では両ケース共、砕波が観測された。勾配1:1の方が、1:2に比べ幾分激しい砕波となった。

3.1 法面勾配1:1の場合

図-2は波の進行方向に向かう水平流速振幅の大きさを上向きとして全段に対して示したものである。枠内の一番上の線は静止水面線を示し、それより下の6本の実線が7段目~2段目である。これらはまた振幅の0ラインであることを図の枠の右側に示した。また1段目はデータと大部分重なってしまう為、線を引かずに両端に目盛りだけを示した。第7段目には0を中心として、振幅の大きさを示す目盛り($\pm 20\text{ cm/s}$)を示してある。これをもとにして、各段の振幅の大きさを読みとることができる。なお枠内左上の矢線は振幅を読みとる方向を例示したもので、他の段についても同様である。潜堤の沖側では、潜堤内部や潜堤の岸側に比べて流速振幅が大きい。7段目~2段目まで水面からの深さに応じて流速振幅が小さくなっていくことがはっきりわかる。潜堤沖側での振幅はうねっており、その極大値は $X=5.6\text{ m}\sim 5.8\text{ m}$ 間にある。1段目は平均値では2段目とあまり違いはないが、表法先の少し沖側に流速振幅の大きな部分が存在する。潜堤沖側の表法面付近では流速振幅が大きくなる傾向があるが、4段目と1段目は逆に小さくなっている。潜堤

天端上の7段目は天端中央で流速振幅は極大となるが、沖側よりは小さい。その後は流速振幅は波の進行方向に低下する。そして裏法肩付近で最小となる。潜堤天端上の6段目は天端より0.5cm上を測定したものである。ここでは流速振幅は極端に大きくなり天端中央で最大となり、その大きさは沖側の流速振幅の2倍強となる。透過層内部の5段目は、沖側法肩付近で変動が大きい。この部分は沖側の面からの波動の伝わりと、天端からの波動の伝わりが重なった部分と考えられる。中央部では振幅が最も小さくなり、裏法肩近くで再び流速振幅が大きくなる。透過層内の4段目と3段目の振幅の大きさはあまり違いはない。2段目では流速振幅がかなり小さくなる。これは潜堤外部の流速振幅が小さくなっていること、及び潜堤の幅が長くなったこと、また天端からの波動の伝わりが小さいことなどの理由によると思われる。潜堤内部の1段目の法先部、法尻部では、流速振幅が3段目程度となっており、法先・法尻の侵食に関係するものと考えられる。一方中央部では流速振幅は0に近い。潜堤岸側では7段目の変動が大きい。これは砕波の影響である。6段目~1段目では変動はほとんどない。全体的に潜堤岸側は流速振幅が小さい。

図-3は波の進行方向と逆向きの流速振幅を示す。振幅の基準線(0ライン)より、下向きにその大きさを取ってある。潜堤沖側での振幅は7段目、6段目で大きくうねっており、他の段でも少しうねりが見られる。沖側での流速振幅の絶対値の極大値は $X=5.6\text{ m}\sim 5.7\text{ m}$ の間にある。潜堤に近づくと、7段目~5段目は振幅の絶対値は大きくなるが、4段目~1段目では小さくなる。1段目でも、流速振幅の絶対値がかなり大きなものになっている。潜堤天端上の7段目、6段目の表法肩付近で流速振幅の絶対値が最大を示している。これより波の進行方向に向かって小さくなる。特に7段目の流速振幅の低減は急激である。7段目の流速振幅の絶対値の最大位置は観察上での砕波点位置に近かった。透過層内では、層外に比べ流速振幅の絶対値はかなり小さくなっており、また水面からの深さに応じてさらに小さくなる。また透過層内では3箇所位、起伏が見られる。1段目では潜堤中央部で流速振幅は0に近いが、潜堤法先で流速をもち法先から離れると流速振幅の絶対値は大きくなる。潜堤の岸側の7段目では、 $X=4.4\text{ m}$ 地点で流速振幅の絶対値の最小値があり、それより岸側に向かって流速振幅の絶対値が再び大きくなっている。岸側の水域の6段目~1段目の潜堤斜面ぎわでは、流速振幅の絶対値が小さくなっている。しかし波の進行方向にいずれも回復し、一定値に近づいている。図-4は上向きの鉛直流速の振幅分布を示している。潜堤沖側では若干のうねりが見られ、各段とも $X=5.6\text{ m}\sim 5.7\text{ m}$ の間に極小値がある。潜堤沖側1段目は流速振幅はほとんど0に近い。潜堤斜面の近傍では流速振幅が急に大きくなっており、6段目~4段目では突き上げられた形を示している。潜堤天端上の7段目では、流速振幅

はわずかに右下がりの傾向が見られる。また6段目では、潜堤両角の部分で振幅が大きくなっているが、中央部では鉛直流速振幅は小さい。透過層内の5段目は表法肩に近い所で流速振幅が大きくなっている。また水面から深くなるにつれて各段の振幅は小さくなっていくことがわかる。透過層内での起伏は3~4箇所程度見られる。また1段目の表法先付近は流速振幅が大きく、透過層内の3~4段目程度の大きさを持つ所もある。潜堤岸側7段目は振幅が波の進行方向にかなり変動し、 $X=4.4$ m付近で最小値を示す。同じく岸側の6段目~2段目では、潜堤斜面の近くで流速振幅が大きくなっている。また $X=4.5$ m~4.3 mの間に振幅の最小値があり、それ以後徐々に大きくなり、一定値に近づいていくように見える。また流速振幅は水面から深くなるにつれて小さくなっており、2段目ではほとんど0に近い。しかし1段目は潜堤の岸側で流速振幅が少し大きくなっている。全体的に7段目の流速振幅はかなり凸凹が目立っている。これは碎波している場合の水中内部の流速の一つの特性を示すものである。

図-5は下向きの鉛直流速の振幅分布を示している。潜堤の沖側では、 $X=5.6$ m~5.8 mの間に流速振幅の絶対値の極小値がある。また潜堤の斜面に近づくと、流速振幅の絶対値が大きくなる。水底付近では流速振幅は小さい。潜堤天端上について、7段目は波の進行方向にほぼ滑らかに流速振幅の絶対値が小さくなっている。6段目では潜堤表法肩部で絶対値が急激に小さくなり、それ以後の変動は小さい。透過層内部では、流速振幅の起伏が4~5箇所見られる。透過層内の1段目は中央部では振幅が小さいが、法先に近い所は少し大きく、透過層内の2段目程度の大きさを示す所がある。潜堤の岸側では、7段目の流速振幅が小刻みに変動しているが、6段目は比較的滑らかな変動となっている。6段目~2段目の潜堤ざわで鉛直流速振幅の絶対値が低下している部分がある。しかしその後岸に向かって徐々に流速振幅が一定値に近づいている。潜堤岸側の1段目の法先付近は鉛直流速振幅は小さい。

水平流速(+, -)の振幅、鉛直流速(+, -)の振幅の全体を眺めてみると、次のことが言える。

潜堤の沖側においてもまた岸側においても、水平流速(-)振幅の方が水平流速(+)振幅よりも大きいということである。実験では潜堤岸側で2~3 mmの水位上昇を、また潜堤上で戻り流れを観測している。

潜堤沖側では水面波形は部分重複波となり、波高の大きい所と小さい所が、交互に現れることは良く知られているが、流速振幅においても同様のことが起っており、このCASEでは極値を示す位置が潜堤表法肩より、ほぼ天端幅分だけ沖側の位置に現れている。また潜堤沖側より法面に近づくと、流速振幅の絶対値は一旦増大するが、法面の境界では減少する場合がほとんどである。潜堤沖側および透過層内では鉛直流速(-)振幅の絶対値の方が鉛直流速(+)

振幅よりも大きい。

7段目の流速振幅は、潜堤裏法肩より潜堤天端幅の1.5~2.0倍分岸側にとった範囲でかなり激しい変動をしている。これは碎波による乱れの範囲を示すものと考えられる。しかし潜堤岸側の6段目以下は流速振幅に細かな変動が

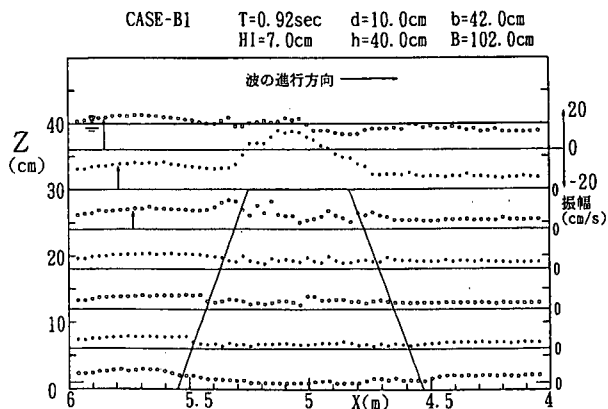


図-2 水平流速(+)の振幅分布

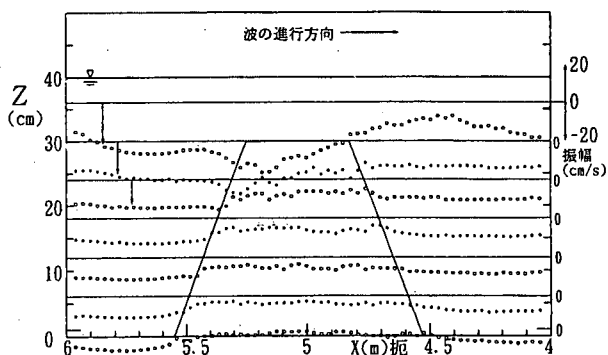


図-3 水平流速(-)の振幅分布

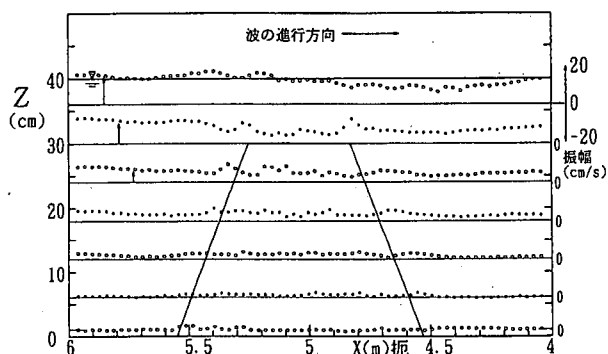


図-4 鉛直流速(+)の振幅分布

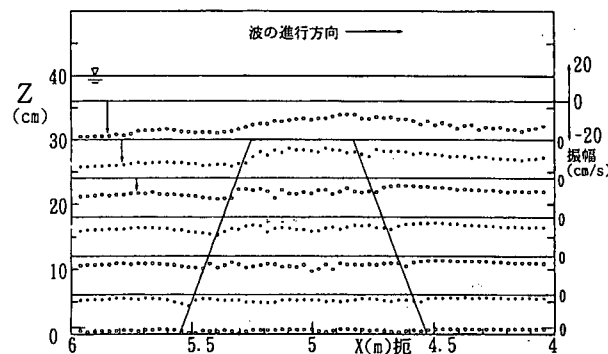


図-5 鉛直流速(-)の振幅分布

見られない。これより、砕波による流速変動の卓越する部分は水面から6段目までの間、大まかには波高程度の幅であることがわかる。透過層内部では5段目の法肩付近で振幅の変動が大きい。潜堤岸側では沖側に比べ当然のことながら流速振幅はすべての段で小さくなっている。潜堤近傍での流速振幅の特徴として、表法面の法肩に近い所で、上向き及び沖向き振幅がいつも大きくなっている。一方裏法肩付近では、上向き及び岸向き振幅がいつも小さいことから、たとえば同一材料で堤体を構築した場合、表法肩付近の材料は安定を失いやすいことがわかる。

3. 2 法面勾配 1 : 2 の場合

ここでは、法面勾配 1 : 1 との主な違いだけを述べる。潜堤岸側の流速振幅は法面勾配 1 : 1 の場合より小さかった。法面勾配 1 : 2 の方は反射率が法面勾配 1 : 1 に比べ少し小さかったが、法面の長さが長いことや、透過堤体自体が大きいことによるエネルギー損失の増大により、このような結果になったと考えられる。透過堤体内について、天端に近い4段目、5段目はあまり大きな違いは見られなかったが、1段目～3段目では潜堤中央部から裏法面に近い所まで、流速振幅がかなり小さくなっていた。透過層内の起伏は、1 : 1 より 1 : 2 の方が数が多く、1 : 2 の方は4箇所～9箇所程度であった。

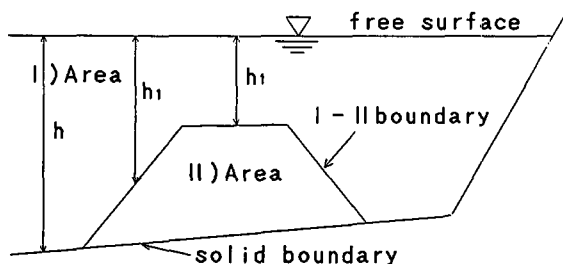


図-6 理論上のモデル

4. 非常緩勾配方程式による流速振幅の計算

4. 1 透過性潜堤のある波動場における緩勾配方程式

ここでは、Somchai・磯部・渡辺¹⁾らが導いた方法を簡単に整理して、後の計算に用いることにする。

図-6のように、潜堤のない領域をI) Area、潜堤の内部の領域をII) Areaとし、それぞれの速度ポテンシャルを Φ および Ψ とする。I) Area、II) Areaに対して、

$$\int_{-h_1}^0 (F_1 \nabla^2 \Phi + F_1 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial Z^2}) dZ + \int_{-h}^{-h_1} \epsilon (C_r + i f_p) (F_2 \nabla^2 \Psi + F_2 \frac{\partial^2 \Psi}{\partial Z^2}) dZ = 0 \quad (1)$$

が満足されるように波動方程式を導く。ここで、Z : 水面より上向きにとった座標、h : 不透過斜面上の水深、 h_1 : 潜堤上の水深、 $\epsilon (C_r + i f_p)$ は透過層に対する重みであり、 ϵ : 潜堤の空隙率、 C_r : 慣性係数、 i : 虚数単

位、 f_p : 線形抵抗係数である。

ポテンシャルは水面波形により決定されるとし、

$$\Phi = -\frac{ig}{\sigma} F_1(z) \bar{\eta}(x, y) e^{-i\sigma t} \quad (2)$$

$$\Psi = -\frac{ig}{\sigma} F_2(z) \bar{\eta}(x, y) e^{-i\sigma t} \quad (3)$$

とおく。ここに、 g : 重力加速度、 σ : 角周波数、 $\bar{\eta}$: 波形分布関数、 t : 時間である。また、ポテンシャルの分布関数 $F_1(z)$ 、 $F_2(z)$ は水面条件、水底条件、境界面で流量及び圧力強度の連続条件を用いることにより

$$F_1(z) = [\cosh(k(h_1+z)) + P_0 \tanh(k(h-h_1)) \sinh(k(h_1+z))] / [\cosh(kh_1) \{1 + P_0 \tanh(kh_1) \tanh(k(h-h_1))\}] \quad (4)$$

$$F_2(z) = P_0 \cosh(k(h+z)) / [\epsilon \cosh(k(h-h_1)) \cosh(kh_1) \{1 + P_0 \tanh(kh_1) \tanh(k(h-h_1))\}] \quad (5)$$

と得られる。また分散関係式は、

$$\sigma^2 = gk \frac{\tanh(kh_1) + P_0 \tanh(k(h-h_1))}{1 + P_0 \tanh(k(h-h_1)) \tanh(kh_1)} \quad (6)$$

と得られる。ここで、 $P_0 = \epsilon / (C_r + i f_p)$ 、 k : 複素波数である。以上の(2)、(3)、(4)、(5)を(1)に代入し、透過層斜面及び不透過斜面が緩勾配であることを考慮して、次の定常緩勾配方程式が得られる。

$$\nabla(\alpha \nabla \bar{\eta}) + k^2 \alpha \bar{\eta} = 0 \quad (7)$$

$$\alpha = \alpha_1 + \epsilon (C_r + i f_p) \alpha_2 = \alpha_0 / [1 + P_0 \tanh(kh_1) \tanh(k(h-h_1))]^2 \quad (8)$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{2k} \tanh(kh_1) \left[1 + \frac{2kh_1}{\sinh(2kh_1)} \right] + \frac{P_0}{k} \tanh(k(h-h_1)) \tanh^2(kh_1) + \frac{P_0^2}{2k} \tanh(kh_1) \tanh^2(k(h-h_1)) \left[1 - \frac{2kh_1}{\sinh(2kh_1)} \right] + \frac{P_0}{2k} \frac{\tanh(k(h-h_1))}{\cosh^2(kh_1)} \left[1 + \frac{2k(h-h_1)}{\sinh(2k(h-h_1))} \right] \quad (9)$$

α_0 中の最初の3項が α_1 に対応している。使用に際しては、 α_0 の各項の分母が0とならないよう若干の変形をして使用する必要がある。次節での使用の便宜を考え若干の変形を行ったが、Somchai・磯部・渡辺¹⁾らが導いた式である。

4. 2 流速振幅の計算

流速振幅の計算では次の非常緩勾配方程式を用いる。

$$\frac{\partial Q_x}{\partial t} + C^2 \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{f_p}{m} Q_x = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{m} \frac{\partial}{\partial x} (m Q_x) = 0 \quad (11)$$

$$m = \frac{k^2}{\sigma^2} \alpha$$

ここで、 Q_x ：近似的な線流量、 C ：(6)で得られる波速、 η ：非定常波形、 X ：波の進行方向にとった座標、 f_D ：碎波減衰を規定する量（参考文献²⁾による）

また、透過堤体内外の流速及び圧力について次の諸式が得られる。

透過堤体外の流速（ u_1 ：水平流速、 w_1 ：鉛直流速）

$$u_1 = \partial \Phi / \partial x = -(ig/\sigma) F_1(z) \partial \eta / \partial x \text{-----}(12)$$

$$w_1 = \partial \Phi / \partial z$$

$$= -(ig\eta/c) [\sinh(k(h_1+z)) + P_0 \tanh(k(h-h_1)) \cosh(k(h_1+z))] / [\cosh(kh_1) \{1 + P_0 \tanh(kh_1) \tanh(k(h-h_1))\}] \text{-----}(13)$$

透過堤体内の流速（ u_2 ：水平流速、 w_2 ：鉛直流速）

$$u_2 = \partial \Psi / \partial x = -(ig/\sigma) F_2(z) \partial \eta / \partial x \text{-----}(14)$$

$$w_2 = \partial \Psi / \partial z = -(ig\eta/c) [P_0 \sinh(k(h+z))]$$

$$/ [\varepsilon \cosh(k(h-h_1)) \cosh(kh_1) \{1 + P_0 \tanh(kh_1) \tanh(k(h-h_1))\}] \text{-----}(15)$$

透過堤体外の圧力水頭

$$p_1/\gamma = -z + F_1(z) \eta \text{-----}(16)$$

透過堤体内の圧力水頭

$$p_2/\gamma = -z + (\varepsilon/P_0) F_2(z) \eta \text{-----}(17)$$

ここに γ は水の単位重量である。以上の流速・圧力は、まず(10)、(11)式により η を求めた後に計算を行う。

沖より波を入射させ、 $\Delta t = 4 \text{ ms}$ で(10)、(11)の計算を繰り返した。波が岸に到達した時点から波動場内の全測定点の流速 u_1 、 w_1 、 u_2 、 w_2 を算出し、これを2周期間繰り返して全測定点の流速振幅を取り出す。計算では実験条件の他、線形抵抗係数 $f = 1.0$ 、慣性係数 $\tau = 1.0$ 、 $f_D = 0.0$ （本実験条件では、合田の碎波条件を満たさないため、非碎波で計算を行った）の値を用いた。

4. 3 流速振幅の理論値と実験値との比較

次に、非定常緩勾配方程式による流速振幅の理論計算結果及び比較の為に一定水深を進行する微小振幅波理論による流速振幅計算結果と本実験値との比較を行う。

図-7は測定断面位置 $X = 591 \text{ cm}$ （潜堤の沖側）における実験値と理論計算値とを比較したものである。図の上段の水平流速振幅（+）の場合、水面に近い所では、理論値は実験値よりも大きくなっているが、水底に近い所では両者は近い値となる。鉛直流速振幅（+）の場合、理論値と実験値は良く一致するが、潜堤天端より上の7段目では、理論値の方がやや大きくなっている。下段の水平流速振幅（-）については、水面近くで理論値が少し大きく、水底に近づくにつれて理論値の方が小さくなる。一方鉛直流速振幅（-）については、理論値と実験値とは良く一致しているが、理論値がわずかに大き目である。総合的に見ると、潜堤天端より上の部分を除くと、理論値と実験値は比較的良く一致していると言える。また微小振幅波理論によるものが、いくらか実験値に近い値になっている。

次に図-8は測定断面位置 $X = 522 \text{ cm}$ （潜堤透過層を通る断面）における実験値と理論値とを比較したものであ

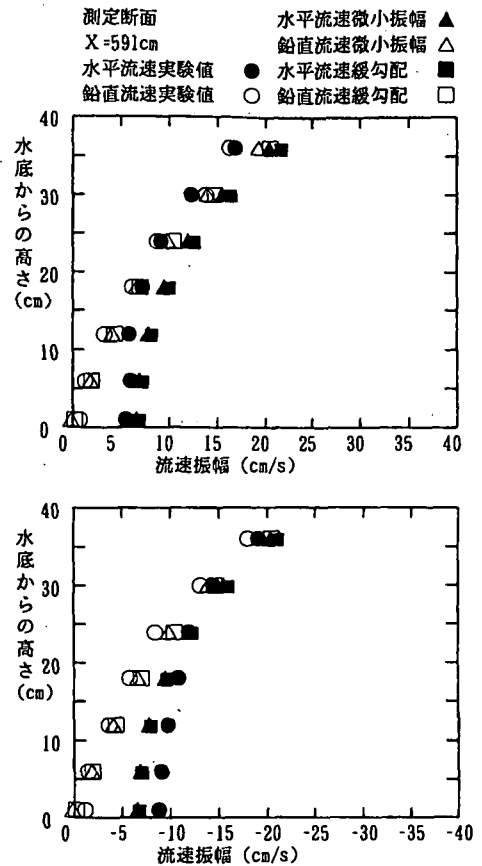


図-7 水平・鉛直流速振幅（+）（上段）
水平・鉛直流速振幅（-）（下段）

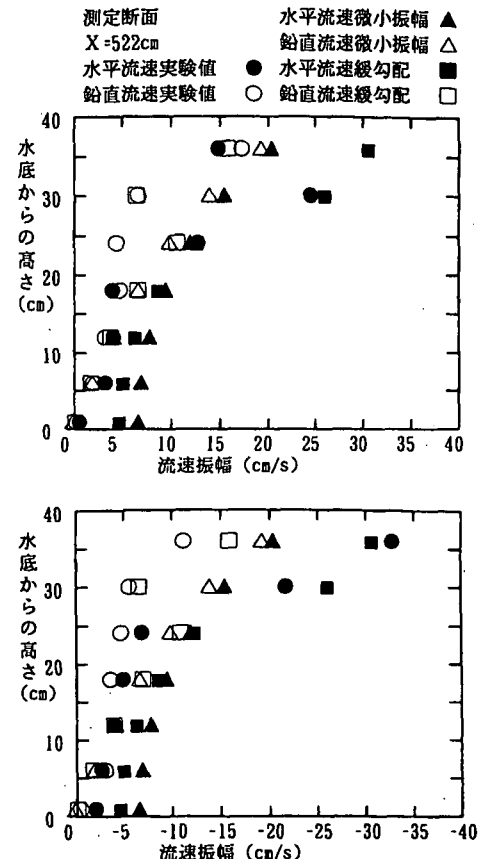


図-8 水平・鉛直流速振幅（+）（上段）
水平・鉛直流速振幅（-）（下段）

る。図の上段の水平流速振幅(+)は、7段目を除いては、微小振幅理論値よりも緩勾配理論値の方が実験値に近くなっている。鉛直流速振幅(+)についても、緩勾配理論値の方が実験値に近い値となっている。下段の水平流速振幅(-)については、緩勾配理論値の方が微小振幅波理論値よりも実験値に近い値となっている。また鉛直流速振幅(-)についても同様のことが言える。透過層内の4段目～1段目では、緩勾配理論の効用により理論値は実験値に近い値となっている。より妥当な線形抵抗係数を与えることにより、さらなる一致が期待できる。以上より水平流速振幅(+)の7段目以外は、緩勾配理論値は微小振幅理論値よりも実験値に近いことがわかった。なお図-7において、緩勾配理論値は微小振幅波理論値よりもわずかではあるが実験値より遠い。

5. 結 論

本研究では、透過性潜堤のある波動場内での流速測定を行い、流速振幅の場所的変動について詳しく測定を行った。またこれと非定常緩勾配方程式によって得られる流速振幅、及び参考として一定水深を伝わる微小振幅波の流速振幅などとの比較も行った。ここで得られた主なことから

をまとめて見ると、次のようになる。

- 1) 流速振幅のうち水平流速振幅は特に非対称性が強く、水平流速振幅(-)は水平流速振幅(+)よりもかなり大きかった。
- 2) 天端上での水平流速振幅について、水平流速振幅(+)は6段目で、また水平流速振幅(-)は、7段目で極めて大きかった。
- 3) 透過層内は潜堤沖側よりも流速振幅の絶対値はかなり小さく、また小さな起伏が多数見られた。
- 4) 透過層内の1段目は中央部で流速振幅は0に近いが、法先特に表法先に近い所では2段目または3段目の平均値程度の大きさを示す所もあった。
- 5) 緩勾配理論値は透過層内で実験値と近い値になる。しかし、潜堤天端上では実験値と非常に良く一致する所と一致の難しい所とがある。
- 6) 潜堤の沖側では、緩勾配理論値と微小振幅理論値とは非常に近い値となるが、微小振幅理論値の方が実験値にいくらか近い値となった。これについてはいろいろな問題点が考えられるので、今後の検討課題としたい。

参考文献

- 1) Somchai R・磯部雅彦・渡辺晃(1989)：透過潜堤による波浪変形の解析モデル，第36回 海岸工学講演会論文集，PP.643-647
- 2) 本間仁・堀川清司編：海岸環境工学，1985，PP225