

図-2 トレーサの追跡結果

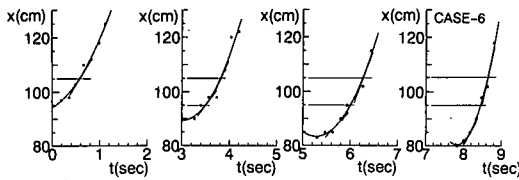


図-3 トレーサの走時曲線

表-1 実験条件

	T (s)	H_i (cm)	H_0 (cm)	H_b (cm)	x_b (cm)	x_s (cm)	θ (deg.)	W_a (cm)	V_{max} (cm/s)	ξ
CASE-5	2.3	8.8	9.4	13.1	106	-26.1	10.1	100	55.7	1.25
CASE-6	2.0	9.1	9.9	12.0	104	-23.9	9.1	90	61.6	1.06
CASE-7	1.8	9.8	10.7	11.1	113	-22.1	8.5	80	69.0	0.91
CASE-8	1.5	10.7	11.6	12.9	113	-25.7	7.8	70	70.0	0.73
CASE-9	1.4	11.7	12.5	11.4	113	-22.7	7.6	65	59.1	0.66
CASE-10	2.0	3.8	4.1	4.2	75	-8.4	9.1	60	44.2	1.64
CASE-11	3.0	5.5	5.5	11.9	113	-23.7	12.1	105	30.8	2.13

ingで、CASE-11のみが collapsing 型である。遡上高の測定においては表-1以外の条件でも実験を追加した。

2.2 流速の算定法

図-2はビデオ画像から読みとったトレーサ位置 (x, y) の追跡結果である。この時間変化からラグランジュ的な流速が得られるが、数値計算結果との比較を行うためには、オイラー流速に変換する必要がある。図-3は図-2のデータを (x, t) 空間にプロットしたものである。任意の位置 x でのオイラー流速は、そこでの走時曲線の接線の勾配から求められる。図中で描かれた曲線は最小2乗近似で求められたものである。こうして得られた流速値をさらに隣接する5点で移動平均を行って平滑化し、以後の検討に用いた。

3. 実験結果と計算結果の比較

まず、本実験結果と比較するものとして、浅野(1994)の数値計算法により CASE-6 の実験条件の下で計算した水位変動 η (下段)、岸沖方向流速 u (中段) および沿岸方向流速 v (上段) の計算結果を示す (図-4)。

3.1 波高変化に関する比較

図-5は波高変化に関する実験値と計算値の比較を示したものである。最も周期の大きい CASE-11 では計算結果が浅水変形を表現せず、全体的に実験値を再現できていない。CASE-11 以外の3ケースの実験値では碎波点直後の transition zone で波高の急激な減少が見られるが、計算値ではこれが明らかでない。また実験値では plunging point 直後で波高がいったん大きくなるが、これは実験時の観察から plunging した水塊がリバウンドして大きな波高として観測されるためではないかと考えられる。これらの点を除き、実験値と計算値の一致は良好であり、特に静水時汀線より岸側 ($x < 0$) でも両者は良く一致することが注目される。

図-6は遡上高 R について、実測値と Saville (1958) の直角入射波の打ち上げ算定図の結果とを比較したものである。本実験は沖で 15° の入射角を持つが、屈折によって汀線での入射角 θ は $7.8 \sim 12.1^\circ$ と減少する。周期が長い波では汀線における入射角の低減が小さいため、

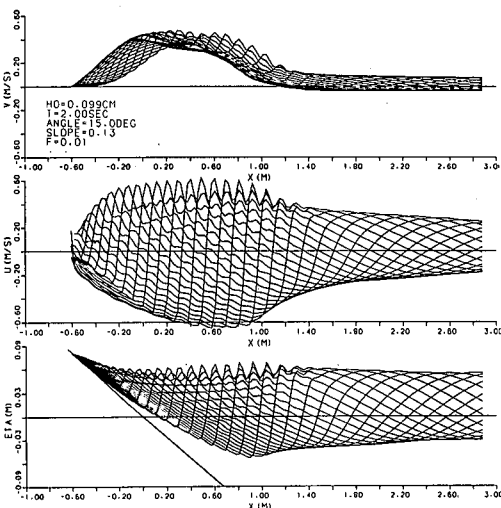


図-4 水位変動 η (下段)、岸沖方向流速 u (中段)、沿岸方向流速 v (上段) の計算結果 (CASE-6)

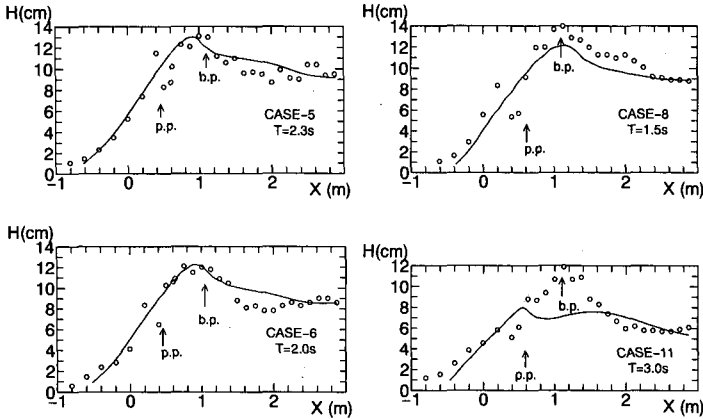


図-5 波高変化に関する計算値と実測値の比較

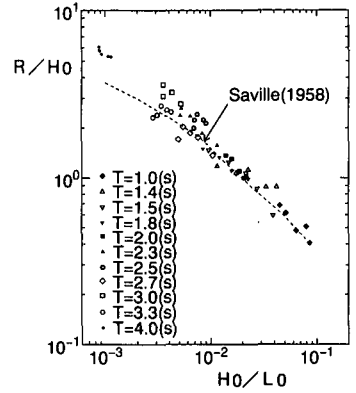


図-6 遡上高に関する実測値と Saville (1958) の算定公式との比較

Saville の公式よりやや大きな値となるが、短周期波になるに伴い従来の直角入射の公式と近い打ち上げ高となった。一方、図-4 に例を示した CASE-6 の計算結果と比較すると、図から読み取れる遡上域の幅 $W_u = R/S$ (S は斜面勾配) は、60 cm 強であり実験値の $W_u = 90$ cm より小さい。一般に計算値の W_u は実験値より最大で 4 割程度小さい値となった。

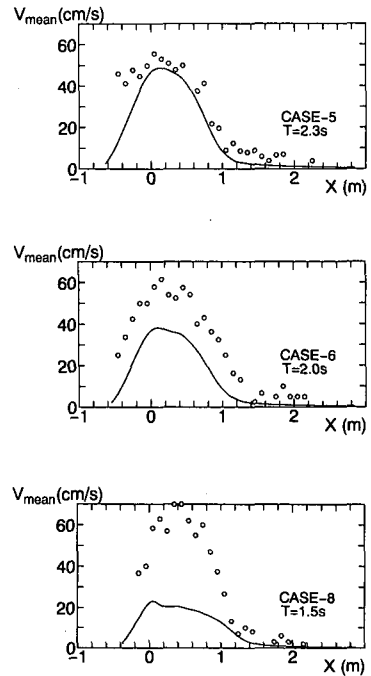
3.2 沿岸方向流速

波の 1 周期間におけるトレーサーの沿岸方向移動距離から、沿岸方向流速の 1 周期平均値 V_{mean} を算定し、計算結果と比較した。ここでは底面摩擦係数 f を 0.01 と一定としている。図-7 にその結果を示すように、周期の大きな CASE-5 ではピークの位置・流速の絶対値とも両者は良く一致することがわかる。周期が減少するとピークの位置はあまり相違しないものの流速の絶対値については計算値は実測値より小さくなる。

Wang-Yang (1980) は、遡上波と先行波の引き波との干渉の程度がイリバーレン数 I_w によって記述されることを示した。 I_w は surf similarity parameter ξ の逆数を意味するので、Wang らの結果を ξ で説明すると次のようになる。 ξ が大きく砕波形式が plunging から collapsing, surging に移行するにつれ、流速分布に引き波の影響が見られなくなる。一方、 ξ が小さく砕波形式が plunging から spilling に向かうとともに、下層部の冲向き流れが大きくなり、顕著な鉛直流速分布を持つようになる。したがって、図-7 の結果に見られる相違は、周期の減少とともに振動流型の流速運動から roller と return flow の流速分布構造へと変化し、水面付近の流速を代表するトレーサーによる測定値が一様分布を前提とする数値解析結果より大きくなるためと考えられる。

3.3 岸沖方向流速

トレーサーのラグランジェ的な追跡結果から、2.2 で

図-7 沿岸方向流速の平均値 V_{mean} についての実測値と計算値の比較

述べた方法によりオイラー流速に変換した。数値計算結果と比較するためには、特定位相のデータを選別する必要がある。ここではビデオ画面上で波の峰位相に存在するデータを選択し比較した。トレーサーの $x-y$ 位置のデータは多数取得できても、峰位相に位置するものは少数であり、ここでは CASE-6 と CASE-11 の 2 ケースしか検討に値する結果は得られなかった。その結果を数値計算結果とともに示したものが、図-8 である。トレーサ

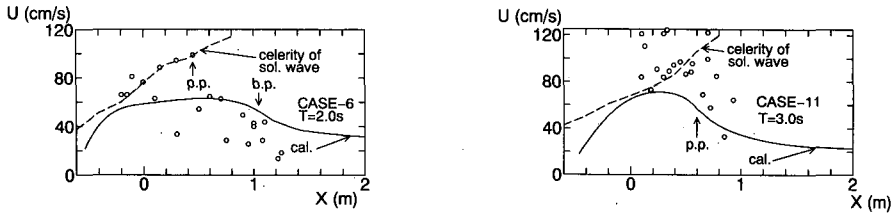


図-8 遡上時の岸沖方向流速に関する実測値と計算値の比較

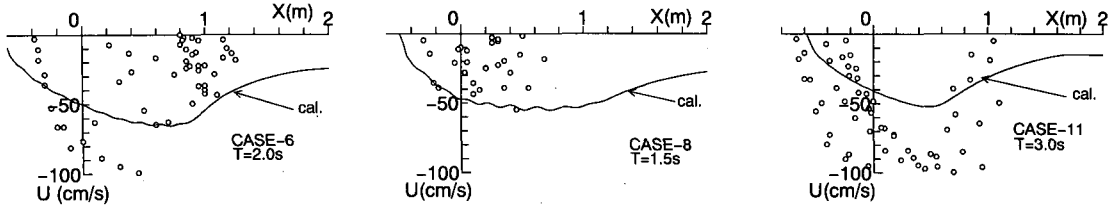


図-9 流下時の岸沖方向流速に関する実測値と計算値の比較

一が砕波に巻き込まれるためにデータのばらつきが避けられないが、plunging point より岸側では計算結果より大きな流速が得られている。すなわち、この領域でのトレーサーが代表する水面付近の水塊は下部流速より大きい速度で移動することが推論できる。この大きさは波速に近いものと考えられ、各地点で測定された峰高 η_c から孤立波の波速を計算すると図-8中の破線で示すように plunging point より岸側では実測値と近い値になることがわかった。ただし、CASE-11の結果では波速よりさらに大きな流速値が数点測定されているが、これは砕波に伴ってトレーサーが弾き飛ばされたためと思われる、本測定の精度上の限界とも考えられる。

一方、引き波時の流速についても同様の考察を行った。引き波時は薄い層となって引くため、断面を通過する質量の保存から、遡上時より大きな流速となることが考えられる。こうした薄層流はトレーサー法による以外は測定が難しく、本測定によって流速変動の非対称性など漂砂のメカニズムに直結する基本的特性が明らかにされるものと考えた。しかし、遡上時に比べて引き波時は水塊のフロント位置を押さえることさえ容易でなく、測得されたトレーサーによる流速値がどの位相にあるのかを判別することはできなかった。そこで図-9では位相を問わず引き波における流速の実測値を、引き波流速が最大となる位相の計算結果と比較した。周期 T が比較的短いCASE-8では実測値の包絡線は計算値と近い値を与えているが、CASE-6とCASE-11の実測値は最大で1 m/sにも達し、計算結果と比較してかなり大きな値となった。これらのケースでは前述したように、遡上波の打ち上げ幅 W_u が計算値より大きくなるために、流下時において

計算値より大きな流速の引き波となったと考えられる。なお、斜面上の有限振幅重複波の解析解である Carrier-Greenspanの解 (Mei, 1989) では $W_u = a/S$ (a は $x=0$ における振幅) であり、CASE-6の条件では15 cm程度となる。また流速振幅 $u = 2\pi a/ST$ も50 cm/s弱となりいずれも過小な値となる。

6. あとがき

波打ち帯の砂移動と密接に関係する汀線近傍の沿岸流速・岸沖流速の特性をトレーサー法により検討した。

沿岸方向流速については、周期の減少とともに実測値が計算値より大きくなり、horizontal roller と return flow の流速構造が現れることによって、一様流速分布を仮定する長波の数値解と離れてくることがわかった。

岸沖方向流速については、遡上時には波の峰位相に位置するトレーサーの動きから求めた岸沖方向流速は、plunging point 以浅で数値計算結果より大きな値となり、孤立波の波速と近い値となった。引き波時の流れは、位相の特定が難しいこともあり精密な時々刻々の値は得られなかったが、周期が長い条件では引き波の最大流速は計算結果よりかなり大きくなった。これは本計算では周期の長い条件下で遡上波のはい上がり幅を過小に見積もるためと考えられる。

沿岸・岸沖両方向とも砕波が生じた後では流速構造が急激に変化し、測定された表層流速は鉛直方向に流速分布を一様と仮定する数値計算結果より大きくなることが明らかになった。今後数値計算の高精度化として、例えば roller の影響をモデルに取り入れるなど (Schaffer ら, 1992) の検討が必要と考えられる。

最後に本実験を遂行するにあたり、中村和夫技官には装置の作成に協力頂いたこと、上原明友君（現大林道路）・松田雅憲君（現日産建設）には卒業研究として実験・データ解析に汗を流して頂いたことを付記し、謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 浅野敏之 (1994): 斜め遡上波による波打ち帯の沿岸方向流れの解析, 土木学会論文集, No. 503, II-29, pp. 129-137.
- 浅野敏之・末富博文・星倉淳一・中村和夫 (1994): 斜め遡上波によって形成される波打ち帯の流速場の測定, 海岸工学論文集, 第41巻 (1), pp. 341-345.
- Asano T., H. Suetomi and J. Hoshikura (1995): Measurements of current velocity generated in swash zone by obliquely incident waves, Coastal Engrg. in Japan, Vol. 37, No. 2, pp. 125-136.
- Mei, C. C. (1989): The applied dynamics of ocean surface waves, World Scientific, p. 740.
- Saville, T. Jr. (1958): Wave run-up on composite slopes, Proc. of 6th ICCE, pp. 691-699.
- Schaffer, H. A., R. Deigaard and P. A. Madsen (1992): A two-dimensional surf zone model based on the Boussinesq equations, Proc. 23th ICCE., pp. 576-589.
- Visser, P. J. (1991): Laboratory measurements of uniform longshore currents, Coastal Engrg., Vol. 15, pp. 563-593.
- Wang, H. and W. C. Yang (1980): A similarity in the surf zone, Proc. of 17th ICCE, pp. 529-546.
-