

海浜流と海浜変形の相互関係について

川崎 清*・ 恋塚 貴**・ 渋谷 学***
佐伯 浩****・ 尾崎 晃*****

1. 研究の目的と方法

海浜の平衡断面形状に関しては、従来2次元水槽において実験的に行われてきた。しかし現実の海浜にそれらの諸成果をそのまま適用できる場合は稀である。本研究においてはまず固定床平面水槽による砕波帯付近の流況測定および同一条件下での移動床平面水槽による海底地

形変化の測定結果から3次元海浜における海浜流の運動機構および海浜流と海浜変形との相互関係を明らかにし、これまでの2次元実験結果の3次元海浜への適用可能性を調べたものである。

実験は7.3×10.9×0.4 mの平面水槽を用い、幅は表一1に示すよう種々に変えて行った。勾配は1/30の一樣勾配とし、海底は鋼板にビニール系塗装をした固定

表一1 実験の種類と諸元

実験の種類	沖波波高 H_0 (cm)	周期 T (sec)	砕波帯幅 X_B (cm)	波形勾配 H_0/L_0	$i(I_r/L_0)^{-1/2}$	水槽幅 B ; 可変 (cm)	砕波波高 H_B (cm)	無次元 離岸流間隔 Y_r/X_B
A1	3.0	1.0	96	0.0192	0.2406	730	2.9	3.8, 2.2
B1	3.0	1.0	114	0.0192	0.2406	550	3.6	2.5
A2	6.5	0.72	225	0.0804	0.1176	730	5.5	2.0, 0.47
B2	6.5	0.72	225	0.0804	0.1176	550	5.5	1.5
A3	1.7	1.44	75	0.0053	0.4598	730	2.3	2.6, 3.6
B3	1.7	1.44	84	0.0053	0.4598	550	2.7	
A4	5.0	0.81	156	0.0489	0.1508	730	4.2	1.9, 1.3
F1	5.0	0.81	144	0.0489	0.1508	640	4.3	
B4	5.0	0.81	156	0.0489	0.1508	550	4.2	1.6, 1.5
F2	5.0	0.81	156	0.0489	0.1508	460	4.0	
F3	5.0	0.81	144	0.0489	0.1508	360	4.2	
F4	5.0	0.81	156	0.0489	0.1508	270	4.2	
F5	5.0	0.81	144	0.0489	0.1508	180	4.0	
F6	5.0	0.81	156	0.0489	0.1508	90	4.2	
A5 (5-1)	3.1	1.35	96	0.0109	0.3192	730	2.6	2.1, 2.1
5-3	3.1	1.35	105	0.0109	0.3192	640	2.7	
B5 (5-2)	3.1	1.35	96	0.0109	0.3192	550	2.9	
5-5	3.1	1.35	96	0.0109	0.3192	460	3.0	
5-6	3.1	1.35	105	0.0109	0.3192	360	2.7	
5-7	3.1	1.35	105	0.0109	0.3192	270	3.1	
5-8	3.1	1.35	105	0.0109	0.3192	180	3.2	
5-9	3.1	1.35	105	0.0109	0.3192	90	3.3	

水槽長さ 10.9 m, 海底勾配 1/30

* 正会員 日本電信電話公社
** 正会員 運輸省第三港湾建設局
*** 正会員 東北電力(株)土木部
**** 正会員 北海道大学助教授工学部土木工学科
***** 正会員 北海道大学教授工学部土木工学科

床での実験とし、 $d_{50}=0.17\text{ mm}$ の海砂を用いた移動床での実験の2通りを行った。実験波の諸元その他を表一1に示す。波により発生する海浜流の形態を明らかにするために、離岸流発生位置は過マンガン酸カリとパンチ屑

を流し、写真撮影により求めた。また離岸流流速はモータードライブカメラと波の周期とを同期させて、比重 1.02 の粒子（キシレンと四塩化炭素と沃素の混合物）の運動を撮影した結果から求めた。また radiation stress に起因する平均水位の分布は、波高計から得た水面変動をシグナルプロセッサで積分して求めた。海底地形は砂面計によって求めた。予備実験として同一の波浪条件で離岸流の発生地点および離岸流間隔の再現性ならびに固定床と移動床での離岸流間隔の相違の有無についても調べた。

2. 平均水位の分布と離岸流との対応

離岸流には砕波線を突き切って流れる自由噴流型離岸流（以後 A 型離岸流と呼ぶ）と砕波線と汀線の間を循環する純循環型離岸流（以後 B 型離岸流と呼ぶ）の 2 種がある。海底勾配 1/30 の今回の実験では無次元周期 $T\sqrt{g/\bar{h}_B} \geq 16$ (T : 周期, $\bar{h}_B$: 平均砕波水深) で A 型, $T\sqrt{g/\bar{h}_B} \leq 11$ で B 型が発生した, その場合離岸流の流速 V (cm/s) を縦軸に, $h/\bar{h}_B$ (h : 水深) を横軸に取って整理したのが 図-1 (B 型), 図-2 (A 型) である。図-1 より B 型の流速は砕波線と汀線の中間で最大となり, 砕波点に向って減少の傾向をたどること, 図-2 より A 型の流速は汀線近傍と砕波線の沖側で流速が大となり, B 型に較べて最大流速と最小流速の差が小さい

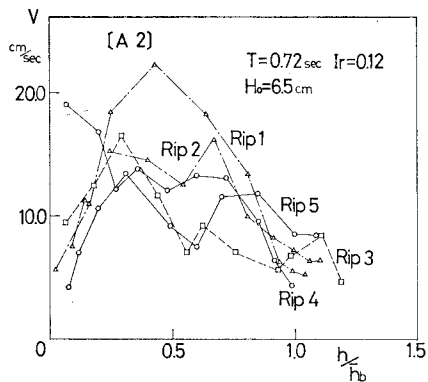


図-1

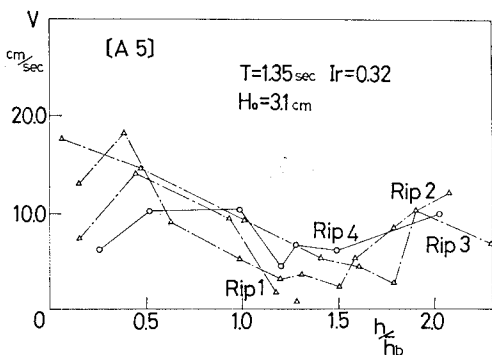


図-2

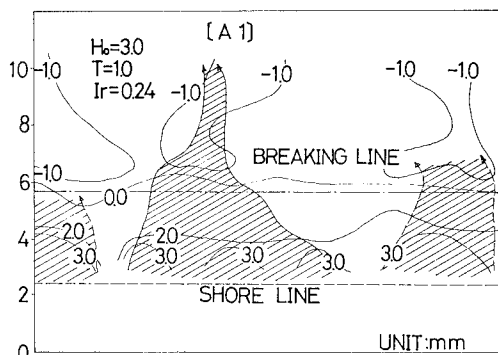


図-3

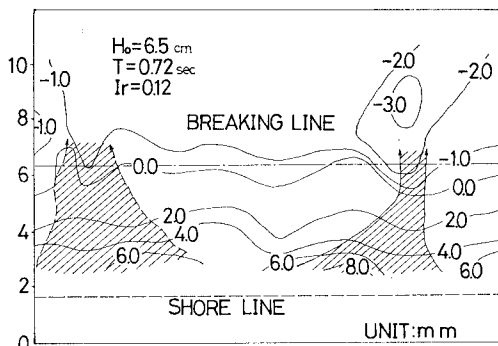


図-4

ことがわかる。図-3, 図-4 は平均水位の分布と離岸流発生との対応関係を示したものである。砕波点より僅かに沖側の局所的に平均水位の低い場所に向かう流れが発生しており, 離岸流が radiation stress に起因するものであることを示している。

3. 離岸流の発生間隔

これに関しては I_r 数 ($(H_0/L_0)^{-1/2}$) と無次元離岸流間隔 Y_r/X_B (Y_r : 離岸流間隔, X_B : 砕波帯幅) で整理したものや, 無次元周期 $T\sqrt{g/\bar{h}_B}$ と $iY_r/\bar{h}_B$ の関係で整理したものなどがよく知られている。これらの研究と今回の実験結果その他を比較するため, 横軸に I_r 数を取り縦軸に Y_r/X_B を取って整理したのが 図-5 であ

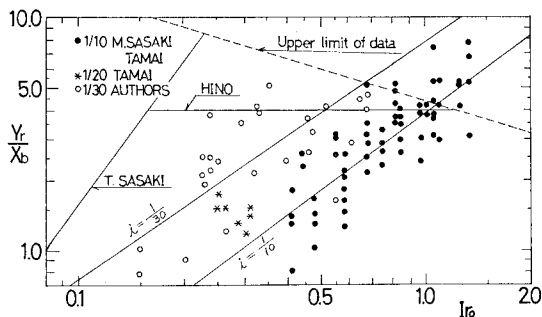


図-5

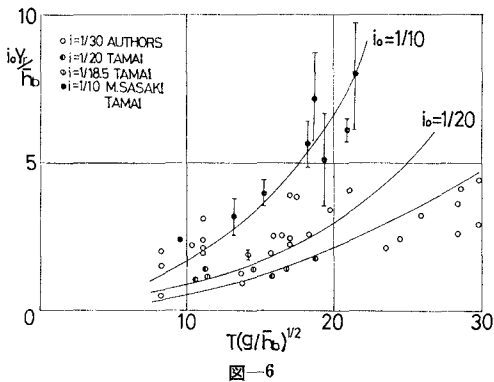


図-6

り、同様に横軸に $T\sqrt{g/h_B}$ 、縦軸に iY_r/h_B を取った場合が図-6である。図-5によれば $i=1/10, 1/30$ の実験結果より得られた回帰直線はほぼ平行になり、また堀川・佐々木¹⁾の離岸流発生に関する3つの領域に示される限界外にも離岸流の発生が見られる。

具体的に $i=1/10$ の場合について見ると、実験データは上記3つの領域でいう外重力領域から不安定領域にわたって分布するが、日野の理論式にも堀川・佐々木の式にも一致していない。 $i=1/30$ の実験データは I_r が0.15から0.8間に分布する。これは上記分類の不安定領域 ($0.23 \leq I_r \leq 1.0$) の範囲内にあり、 $i=1/10$ の場合よりは幾分、堀川・佐々木の式に近くなる。実験結果の傾向をみると I_r 数の増加に伴い Y_r/X_B が増加していく点では上記分類における傾向と一致している。これは i が $1/30$ とやや緩勾配になり、 $i=1/10$ という急勾配のデータよりは、堀川・佐々木が用いた緩勾配 ($i=1/50 \sim 1/80$, 九十九里浜などの資料) におけるデータに近づいてきたためではないかと考える。以上のことから I_r 数と Y_r/X_B の関係で整理した場合、勾配が非常に緩くなると、離岸流間隔がある一つの式に収束していくのではないかと考えられる。 $I_r = i(H_0/L_0)^{-1/2}$ はその中に勾配の項を含んでおり勾配の影響を考慮したパラメーターであるにもかかわらず、上に述べたように勾配の影響を排除し切れない結果となっている。したがってこの種パラメータの取り方によっては勾配別に分離しないような離岸流発生間隔式を求められるのではなかろうか。

図-6はJames²⁾の提案になる無次元周期 $T\sqrt{g/h_B}$ と iY_r/h_B で整理した結果である。図中の矢印は実験値のバラツキの範囲を示す。このようにバラツキはあるが勾配別に見ると、 $i=1/20, 1/30$ では $T\sqrt{g/h_B}$ によって iY_r/h_B の値はほとんど変わらず、どちらの場合とも実験値は大差がない。なお図中の曲線は離岸流間隔がedge waveの波長 L_e に等しいとしたUrsell³⁾の式を修正したものである。しかしこの図を見た限りでは実験値のバラツキが大きいので、edge waveとの関連や離岸流発生間隔式を論ずることはむづかしい。

4. 新しいパラメータによる離岸流発生間隔式

以上述べたように今までの離岸流発生間隔式、すなわち横軸に I_r 数、縦軸に Y_r/X_B を取って表わす方法では $i \leq 1/50$ の場合には適合するが、 i が $1/20, 1/30$ などの場合には異なる傾向を示すことがわかった。同様のことが砕波形態の分類についてもあてはまる。Galvin⁴⁾は offshore parameter ($H_0/L_0^{1/2}$) によって砕波形態を分類した。これは結局は I_r 数で分類するのと同じことになるが、佐伯⁵⁾は、 $i \geq 1/20$ と $i \geq 1/50$ ではそれぞれ I_r 数によって分類できるが、 i が $1/30, 1/40$ では必ずしも単純に分類できないことを明らかにした。これらを考慮した結果、急勾配から緩勾配まですべての勾配に適用可能な離岸流発生間隔を表現できるパラメータとして、図-7のように横軸に $1/\sqrt{H_0/L_0}$ 、縦軸に $Y_r/X_B i^{1/2}$ を採用して実験値を整理してみた。この方法によれば離岸流発生間隔を急勾配から緩勾配まで通して1つの式で表現することができる。この場合の実験式は

$$Y_r = 0.926(H_0/L_0)^{-0.575} \cdot X_B \cdot i^{1/2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

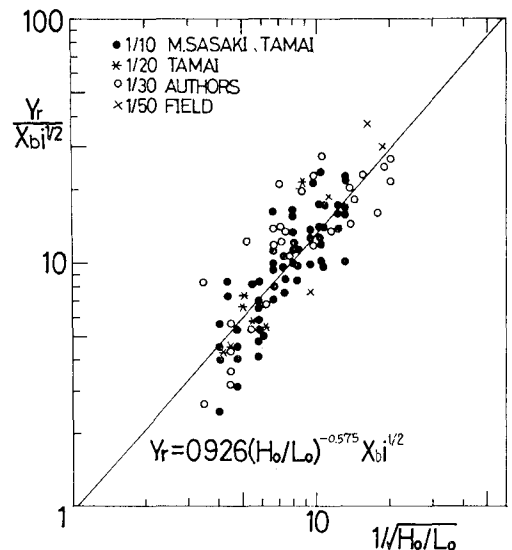


図-7

5. 新パラメータによるカスピのスパン長

カスピはその波状の形態から離岸流、沿岸流と密接な関係をもつことが考えられる。離岸流発生間隔 X_B とカスピのスパン長 l_0 との関係は従来の方法によって示したものが図-8である。図において $i=1/30, 1/10$ の場合の回帰式を求めると、 $i=1/30$ に対しては $l_0 = 794 I_r^{0.97} \cdot X_B$ 、 $i=1/10$ は $l_0 = 1.73 I_r^{1.37} \cdot X_B$ を得る。一方図-5により離岸流発生間隔の回帰式を $i=1/30, 1/10$ について同様に求めると $i=1/30$ の場合、 $Y_r = 7.76 I_r^{1.00} \cdot X_B$ 、 $i=1/10$ の場合には $Y_r = 3.94 I_r^{1.11} \cdot X_B$ を得る。これより $i=1/30$ の場合には離岸流間隔 Y_r の回帰式とカ

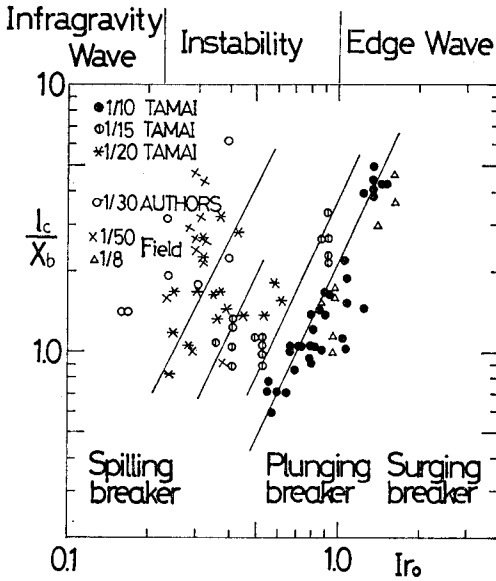


図-8

スプのスパン長 l_c の回帰式はほぼ等しい。これに対し $i=1/10$ の場合には $Y_r \approx 2l_c$ となることがわかる。また玉井⁹⁾によると $i=1/10, 1/15$ の急勾配の場合には緩勾配において形成される large cusp とは異なるスパン長の短い、規模の小さい beach cusp の形成されることがわかっている。すなわち large cusp についてはカスプのスパン長が離岸流間隔に等しいという対応関係がある。これに対し beach cusp の場合には離岸流間隔はカスプスパン長の2倍になるという対応関係があるといえる。

そこでカスプのスパン長についても I_r 数を用いた場合には離岸流間隔の場合と同様に勾配の違いによって分

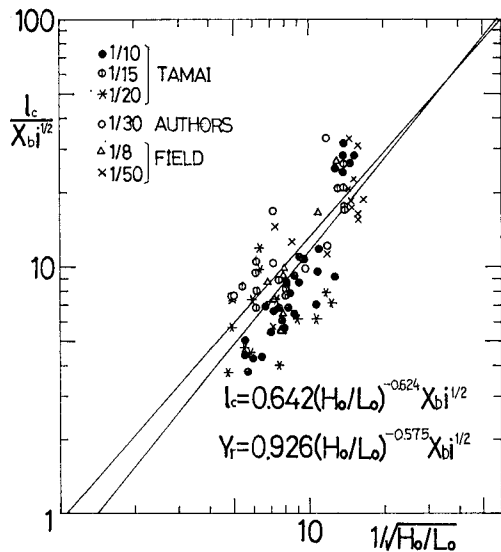


図-9

離する関係のあることが明らかになったので、図-7と同様に横軸に $1/\sqrt{H_0/L_0}$ を、縦軸に $l_c/X_b \cdot i^{1/2}$ を取って実験データを整理したものが図-9である。カスプのスパン長は

$$l_c = 0.642(H_0/L_0)^{-0.624} X_b \cdot i^{1/2} \quad (2)$$

と求められる。また同図には併せて離岸流発生間隔式も記入してあるが、 $Y_r \approx l_c$ であることがわかる。式(2)よりカスプのスパン長も急勾配から緩勾配までを通して表現することができる。また $Y_r \approx l_c$ より同一波浪条件下であれば固定床でも移動床でも離岸流間隔はほぼ等しいことがわかる。

6. 2次元実験結果の3次元への適用性

図-10は $T=1.35$ sec, $H_0=2.0$ cm, $H_0/L_0=0.0704$ の場合の実験結果(12時間後の海底地形)である。海浜変形に伴い汀線が波状を呈し、明らかにカスプの形成が

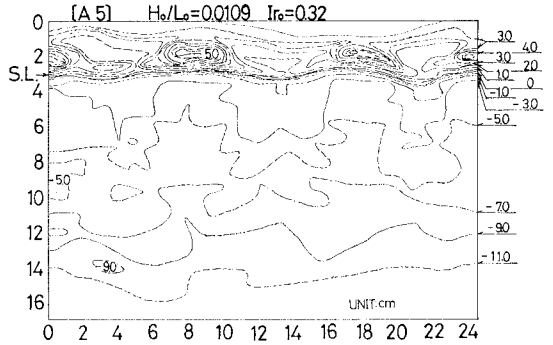


図-10

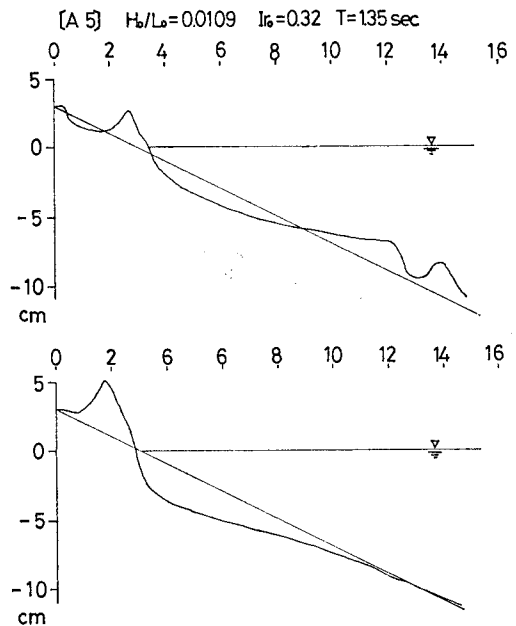


図-11

認められ、前面の海底地形もそれに対応して変化している。apex 部, bay 部それぞれの断面の1例を図-11に示す。このような代表的海浜断面を4~6測線として2次元の場合に求められている断面の分類にあてはめてみる。そしてその中で最も多く出現した断面特性を、この場合の3次元での平均パターンとする。そのようにして得られた結果を堀川・砂村の式⁷⁾および尾崎⁸⁾の式による分類図にあてはめてみたのが図-12, 図-13である。なおこれらの図には玉井⁹⁾による平面水槽のデータもプロットしてある。またデータが少ないので確定的なことはいえないが、堀川・砂村の C が 10 と 3 という限界、尾崎らの C が 64 と 164 という限界から大あるいは小の方へ大きくはずれる領域に関しては侵食型、堆積型の判別が2次元実験の結果からも比較的正確に行うことができそうである。これに対しそれぞれの中間領域

に入る場合には bay 部が後退, apex 部が前進というような変形になることが多く、平均的にはあまり大きな変化がないという場合を表わしうである。

7. 結 語

緩勾配 ($i=1/30$) の平面水槽実験を行い、離岸流の発生間隔と汀線近傍の地形変化との関係を調べた。離岸流間隔については従来より多くの研究が行なわれているが、緩勾配の平面実験は少ないのではないと思われる。この実験の結果より新しいパラメータ $Y_T/X_B \cdot i^{1/2}$ を用いることにより、急勾配から緩勾配に至る離岸流発生間隔を一貫して統一的に説明できることを見出した。それはまたカスプのスパン長についてもそのままあてはまり、離岸流とカスプの関係をも改めて明らかにした。次いでそれらと関連して2次元と3次元の移動床による海浜変形実験の対応を明らかにしようとした。この問題はまだデータも少なく目的を達するには至らなかった。1つ明らかになったことは、平面水槽で実験する場合の最小幅員の問題である。海底勾配、波浪特性に応じて発生する離岸流間隔の最小限2倍以上の水路幅を用いないと、平面的な現象を正しく再現することは困難である。

参 考 文 献

- 1) 堀川清司・佐々木民雄・堀田新太郎・桜本 弘: 海浜流に関する研究(第3報)——海浜流系の規模——, 第22回海浜講演文集, pp. 127~134, 1975.
- 2) James, I. D.: Non-linear theory of longshore currents, Estuarine and coastal marine science, 1974.
- 3) Ursell, F.: Edge waves on a sloping beach, Proc. Roy. Soc. A 214, pp. 79~97, 1952.
- 4) Galvin, C. J.: Breaker type classification on three laboratory beaches, Jour. Geophys. Res., Vol. 73, No. 12, 1968.
- 5) 佐伯 浩: 碎波形態の分類について(規則波), 土木学会北海道支部論文報告集第32号, pp. 303~308, 1975.
- 6) 玉井佐一: カスプの形成に関する研究, 第21回海浜講演文集, pp. 115~120, 1974.
- 7) 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右: 波による二次元海浜変形に関する実験的研究, 第21回海浜講演文集, pp. 193~200, 1974.
- 8) 尾崎 晃・渡辺 揺: 波による2次元汀線変化の相似に関する実験的研究, 第23回海浜講演文集, pp. 200~205, 1976. 尾崎 晃・曳田信一: 同上(続), 第24回海浜講演文集, pp. 167~169, 1977.
- 9) 玉井佐一: 海浜カスプの特性と海岸地形の変動予測に関する研究, 学位論文(京都大学), 1980.

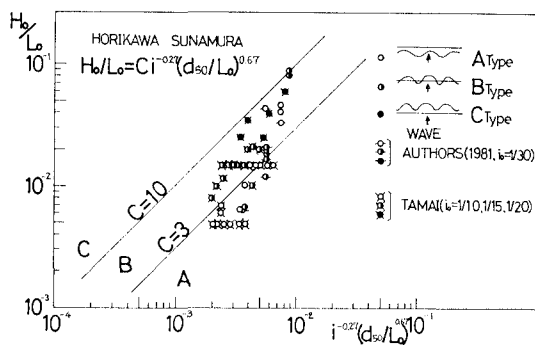


図-12

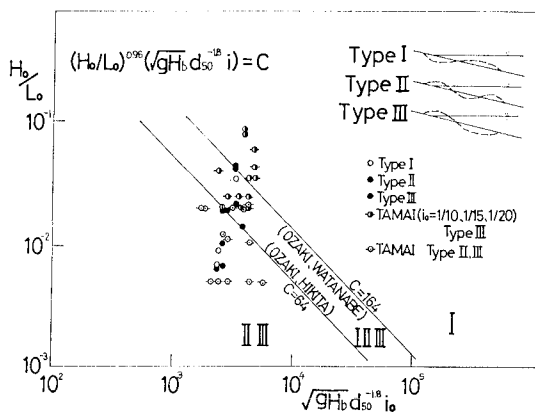


図-13