

構造物周辺の流れと砂移動に関する現地観測

桜本 弘*・佐々木民雄**・西原口 隆*

1. まえがき

比較的平坦な外洋に面した砂質海岸における海浜流は碎波帯内に放出された物質の拡散や漂砂活動にとって重要な役割を有することが知られている^{1),2)}。海浜流に関する研究はこの10年間に内外の研究者によって精力的に進められ目覚ましい進歩を示している³⁾。しかしながら碎波帯付近の波・流れ・地形・漂砂の相互作用は複雑であり今後の解明を待つべき課題も多いが、自然海岸についてはそのイメージが生れつつある⁴⁾。他方、海岸・港湾構造物あるいは航路や泊地の浚渫等による波・流れ・漂砂等への影響についてはまだ現地観測例は非常に少なく、わずかに、田中ら⁵⁾の仙台新港における観測のみであらう。

著者らは昭和53年10月13日～14日に千葉県九十九里浜中央部に位置する片貝漁港防波堤（導流堤）周辺において染料による構造物周辺の流れと共に螢光砂による砂移動を観測する機会に恵まれた。その結果、流況と砂移動のパターンがよく一致し、複雑な構造物周辺では当調査で用いた観測手法が有効であることが明らかになった。また、構造物近傍に生じている水位と流速の長周期変動について若干の検討を行なった。ここにその概要を報告する。

2. 観測方法と観測条件

観測地点は図-1に示す片貝漁港の港口部の周辺である。当港口部には図のように導流堤とハの字型防波堤の不透過構造物が築造されており、その間は仮棧橋によって結ばれている。当海岸の海底勾配は水深4m程度までは1/80、それ以深は1/170～1/200であり、非常に平坦な砂質海岸である。導流堤先端部では大きな波($H_b > 1.5$ m)がくると碎波が見られる。

観測項目は流況・水位・底質移動であり、流れの観測では碎波帯内に染料（ウラン溶液）をダイバーによって投入し、その移流拡散状況を上空から気球に吊したカメラによって撮影撮影を行なった。シャッター間隔は

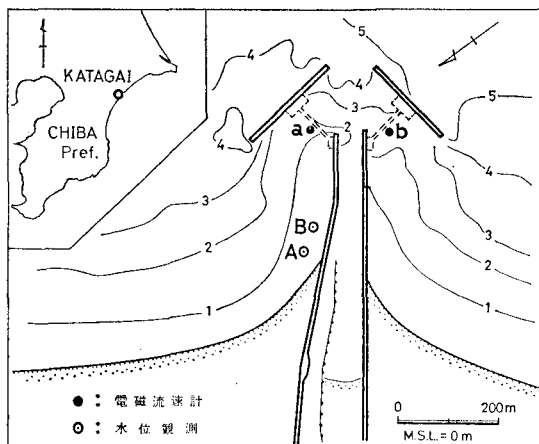


図-1 現地観測地点及び計器の配置

30 sec であり、約30分に及ぶ観測である。さらに、ハの字防波堤と導流堤先端との間に2成分型電磁流速計を設置し、オイラー的な流速測定を実施した（図-1のa, b地点）。なお、補足的な流況測定として、碎波帯内にダイバーが長さ2mのひも付きフロートを持って入り、ひもの張る時間から流速を、フロートの向きから流向を求めると共に、構造物近傍ではトランシットを用いて、投入したフロートの軌跡から流況を求めた。

水位観測は、図-1に示したA, Bの2地点に測量用ボールを水中ポンプによって埋設し、16mmメモ・モーションカメラで撮影した。撮影は1コマ/secのスピードで2台のカメラをタイマーで同期させ、1時間にわたり連続撮影を行なった。現像したフィルムをアナライザーにかけ、グラフペンシステムによってボール地点の水位を紙テープに出力した。水位の読み取り誤差を試算したところ、±1.5cm程度と考えられる。

底質移動の観測は導流堤を挟んだ碎波帯内の2地点に、各々赤・青の2色の螢光砂を各1t投入し、投入後の2, 4, 6, 8, 及び24時間に採取を行なって、移動分布を求めた。螢光砂は現地砂を用いて作成し、50～100m間隔の計53地点の表層砂をダイバーが手でビニール袋に採取し、200g中の検出個数から移動状況を求めた。

各調査項目の観測時間と潮位との関係を図-2に、観測期間中の気象及び海象条件を表-1にまとめた。

* 正会員 (株)アイ・エヌ・エー新土木研究所

** 正会員 工博 (株)アイ・エヌ・エー新土木研究所

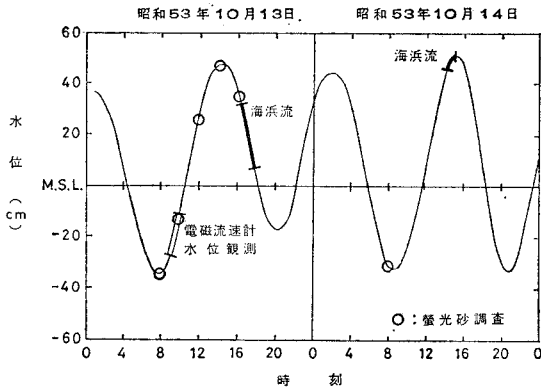


図-2 観測時間と潮位

表-1 観測期間の気象・海象条件

日付	時刻	風向	風速 (m/sec)	波向	周期 (sec)	有義砕 波波高 (m)	砕波 帯幅 (m)
10/13	7:00	NNW	2.5	N73°E	9.6	1.5	300
	10:00	N	3.4	N75°E	10.3	1.6	300
	17:00	N	1.7	N76°E	10.0	1.8	400
10/14	6:30	NNW	2.4	N75°E	10.8	1.2	150
	12:30	ENE	5.0	N74°E	9.5	1.3	130
	15:30	NE	1.4	N75°E	9.6	1.3	130

3. 海浜流の観測

13日にフロートを用いて観測した結果が図-3に示されている。汀線際の流況はダイバーが汀線から50m沖合(水深約1m)で測定したものである。北側の砕波帯内は導流堤方向の南流が卓越しており、顕著な離岸流は見出せなかった。しかし、南側海域では導流堤から150m離れた付近に離岸流が発生していた。入射波が北寄りであるため北側砕波帯内の流速は波の遮蔽域となる南側よりも大きい。また、導流堤近傍では南北いずれの領域も堤体に沿って沖向きの流れであった。北側導流堤に沿った流速は50cm/sec程度であり、河のように流れている状況が見られた。図-4には13日の電磁流速計

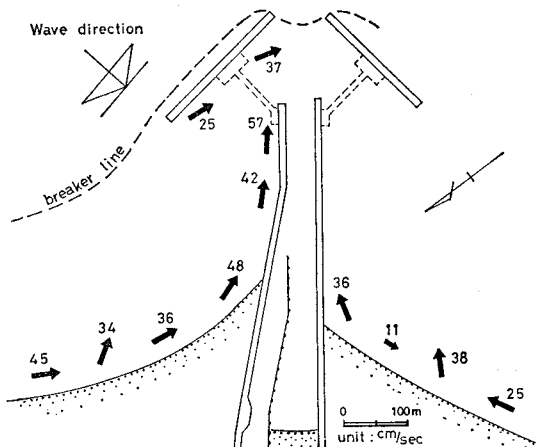


図-3 汀線及び構造物周辺の流況

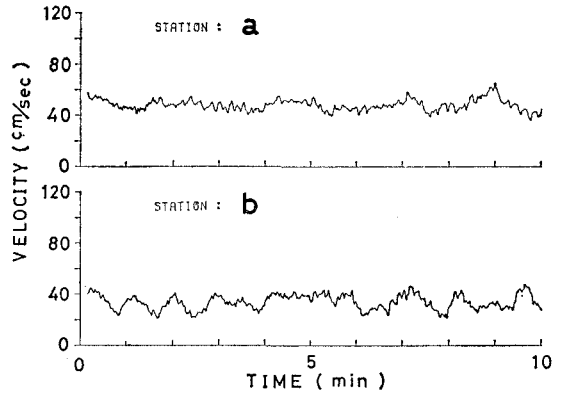


図-4 流速の変動

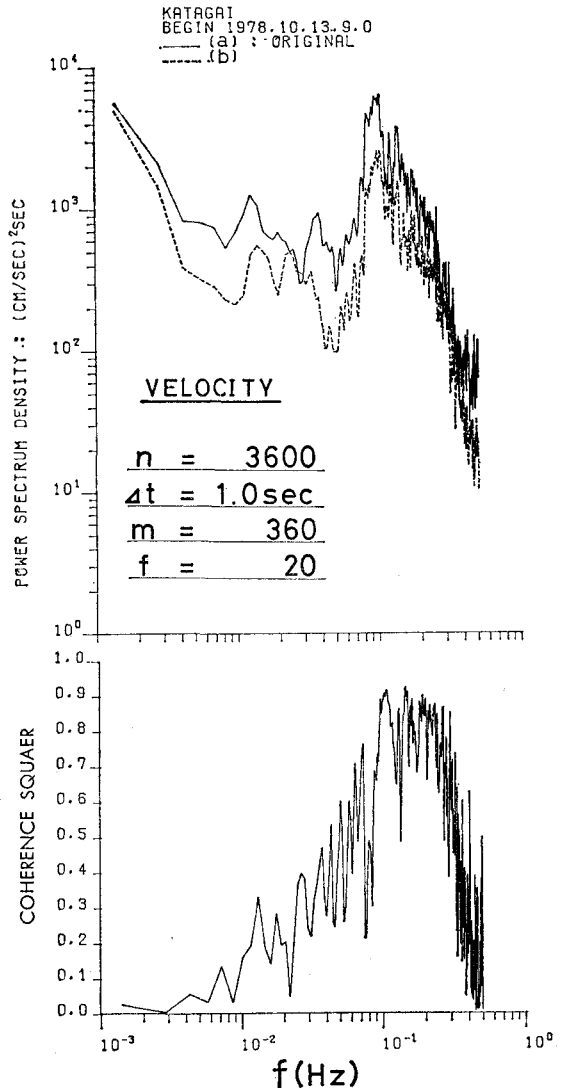


図-5 流速のスペクトル

による観測結果を示した。これは1sec間隔で得られた2成分の流速を合成し、波浪成分を除去するために20sec毎の移動平均操作を行なったものである。図から、

a 地点の平均流速は 50 cm/sec, b 地点のそれは 30 cm/sec 程度であること, 及び変動幅が 30 cm/sec 程度の脈動現象が認められる. 図-5 に流速の 1 時間分の生データをを用いたスペクトルの計算結果を示した. これによれば, 最も大きなエネルギーのピークは周期 10 sec の波浪成分であるが, 低周波数帯にもいくつかのピークが出現している. これは前述の脈動現象に相当すると考えられるが a, b 両地点でピークの周波数が異なり, コヒーレンスが 0.5 以下と小さいことから, 両者の相関性は低い. この長周期の脈動は導流堤等の構造物によって分離された local な現象と考えられる.

翌 14 日に実施した染料による流況測定結果を図-6 に示した. 染料の投入点は北側は導流堤より約 100 m, 南側は約 30 m 離れた砕波帯内である. 染料のフロントから求めた流速を図-7 に示した. 波向は前日と同じく北寄りであるが, 有義砕波波高は 1.3 m 程度と小さく, 砕波は汀線から約 130 m 沖合で生じている. 南北両者の染料とも砕波帯を出ると流速が落ち, 導流堤に沿って沖方向へ流れた. 北側の染料の 1 部は投入点から汀線

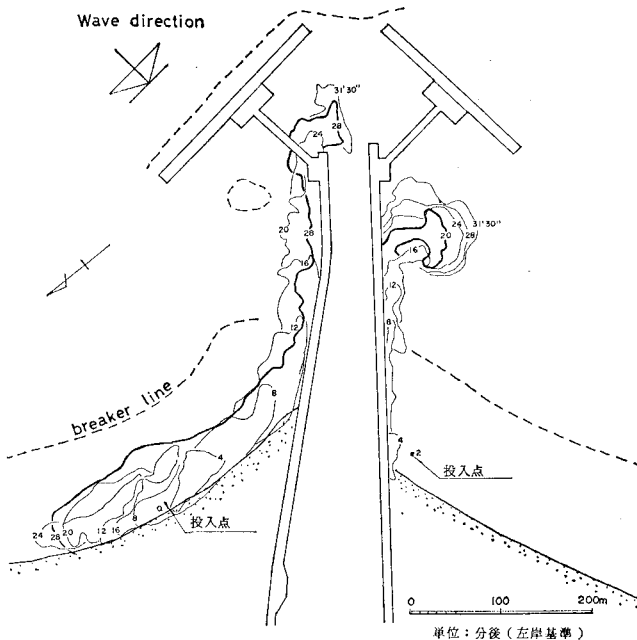


図-6 染料の移流状況

に沿って北へ拡がり砕波帯内に残っていたが, 南側の染料は砕波帯から流出していった. フロートによる北側砕波帯内の流向は南向きであることを考えると, 北側の染料雲が流れにさからって北方へ拡がったのは, 砕波による段波状の質量輸送の方向が汀線に対して北向きになる為と考えられる. 一方, 砕波帯内の染料は砕波帯全域に拡散せず, ほぼ砕波帯の岸側の半分の領域に閉じ込められている. 砕波帯の中央部付近は沿岸流のために channel となり, 砕波しておらず, 2 段砕波的な状況であった.

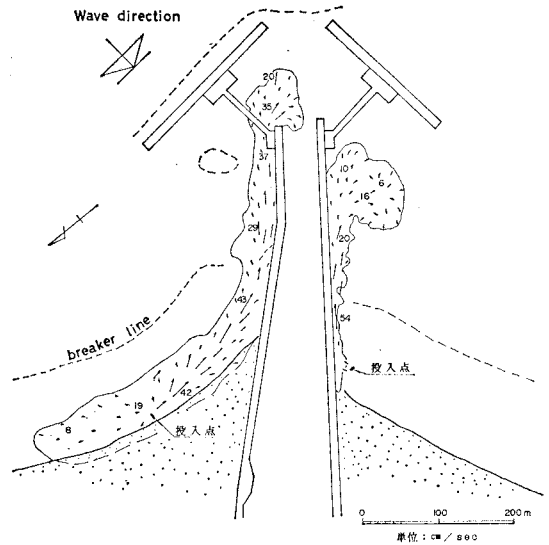


図-7 染料による流速分布

砕波帯の中間に比較的に明瞭な混合の境界が存在するのは, 2 段砕波によるものと考えられる. 一方, 南側の染料雲は導流堤先端まで到達せず, 先端から約 100 m 岸側の所で流速が落ちて雲状に拡散している. 染料の撮影終了後の視察によれば, 北側の染料が南導流堤先端とへの字防波堤間を通り, 南海域へ流出していた. 従って, 両者の流れがぶつかったことによって離岸流頭状の流れが生じたものと考えられる.

4. 砕波帯内の水位変動の観測

図-1 に示した約 50 m 離れた A, B の 2 地点において 13 日実施した水位観測の結果を図-8 に示した. なお, 観測時の両地点の水深は各々 0.73 m, 0.71 m である. 図中の下段は上段のデータから 20 sec の移動平均によって短周期成分を除去したものであり, 周期の長い水位変動の出現していることがわかる. 1 時間分の生データのスペクトル計算結果を図-9 に示した. 砕波帯内の汀線際の水位データであるため入射波浪のエネルギーは小さく低周波帯に大きなエネルギーのピークが存在している. このような

砕波帯内に出現する長周期変動はエッジ波, サーフ・ビートあるいは構造物に規制された固有振動と考えられている^{4),6)}. スペクトルには各地点毎に 2 つの卓越したピークが見られる. そのうち, 低周波側のもの (周期: 143 sec) は発生周波数が両地点で一致するが, 高周波側のものは一致していない. 一方, コヒーレンスはいずれも 0.6 以上と線型相関が高く, 同位相となっている. 図-8 から読みとるとこれら長周期波の波高は 10~15 cm と考えられる. 調査海域は円弧状の汀線, 導流堤及び防波

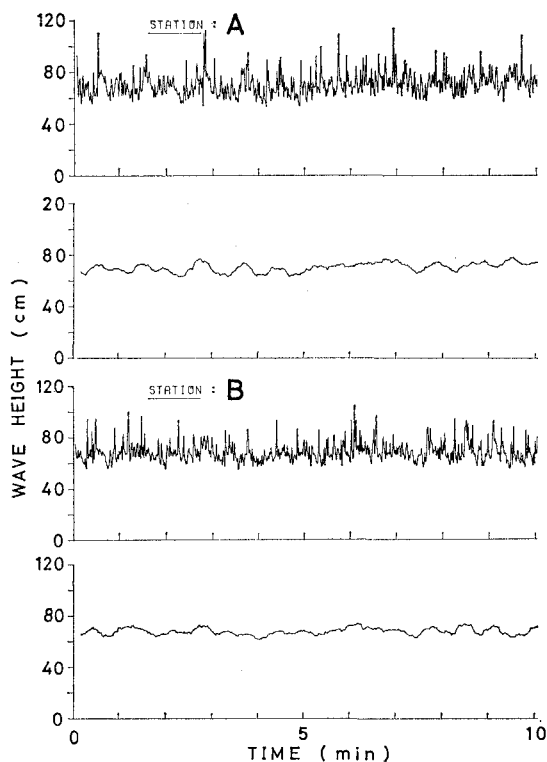


図-8 碎波帯内の水位変動

堤によって複雑な境界条件をなし、回折が生じて波高分布の変化も大きい。恐らく、サーフ・ビートのような水位変動が導流堤や防波堤によって反射し、定常波的な3種類の顕著な水位変動が生じていたものと推定される。

一方、同時に観測した電磁流速計による流動の長周期変動と比較すると、ピークの発生周波数が異なり（水位の143 sec, 59 sec 及び40 sec に対して流れは77 sec 及び26 sec）、相関性は認められない。このことは、流速の長周期変動は波動的なものに起因するのではなく、ハの字防波堤開口部側と汀線側とから入ってくる radiation stress のバランスによって生ずる脈動的な現象と思われる。平均水位を5分間毎に算出したところ、A地点の方がB地点より1 cm~5 cm の水位上昇となった。しかし、測量精度を考えると、2地点間に有意な水位差が生じていたとは認められない。

5. 砂移動の観測

導流堤を挟み南北両碎波帯内に投入した螢光砂の6時間後の採取結果を図-10に示した。螢光砂の移動は北側海域で非常に大きく、当日の流況パターンとよく似ている。なお、2時間後の採取結果によれば、北側に投入した螢光砂は導流堤先端部に到達していた。螢光砂の投入点からの最大変位距離より最大移動速度 U_{max} を試算すると、北側で7 cm/sec、南側で1 cm/sec 程度となる。

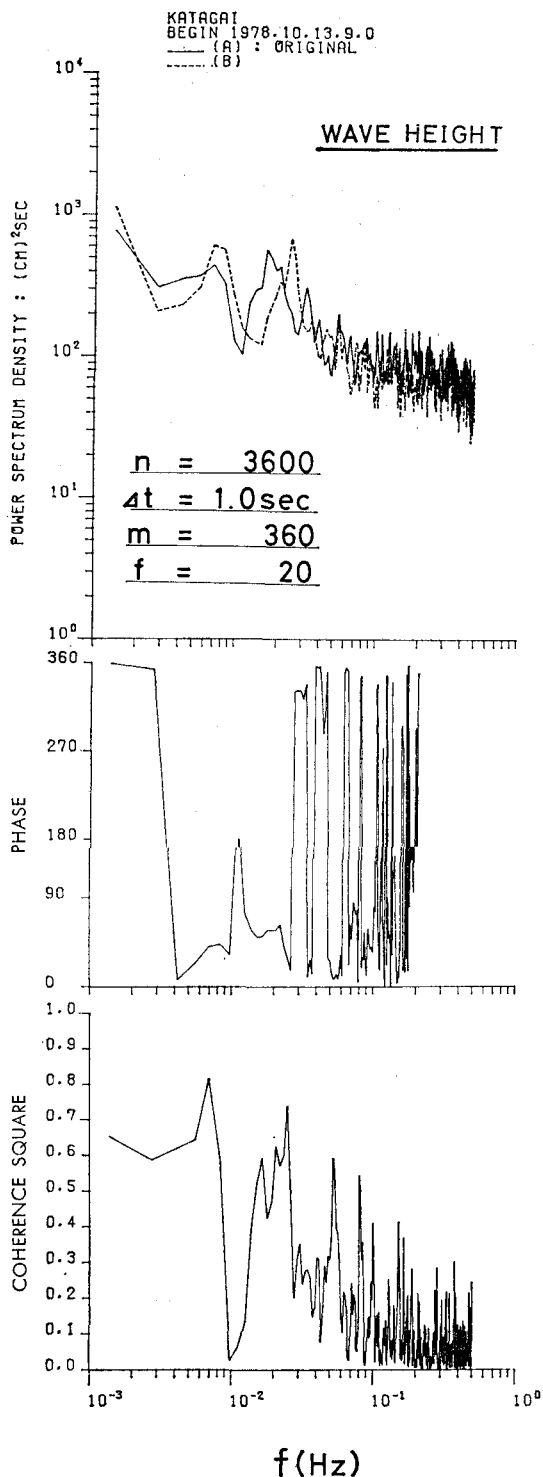


図-9 碎波帯内の水位のスペクトル

また、平均的な沿岸流速 V_l を観測値から各々50 cm/sec, 10 cm/sec とすると、両者の比 U_{max}/V_l は0.14 及び0.10 となる。一方、Komar (1978)⁷⁾によれば、平均粒径0.175 mm の砂浜海岸で、この比は0.02~0.2 程度、

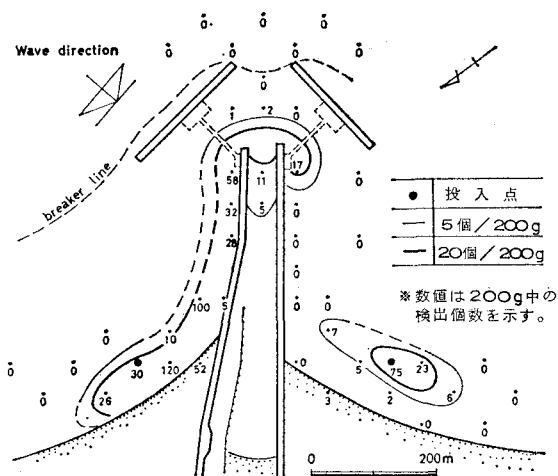


図-10 蛍光砂の移動分布

0.6 mm の底質粒径の海岸では 0.3~0.6 と報告している。当海岸の平均粒径は 0.25 mm 程度であるので、この値はほぼ同様な傾向にあると言える。底質の最大移動速度が流速の 1 割程度のオーダーであることは、沿岸流速が観測値程度に大きくなっても浮遊状態で移動する砂が少ないことを意味している。導流堤上の目視観察から推測すると、碎波によって巻き上げられた砂が沈降する間にその沿岸流によって変位する形態が支配的であると考えられる。

一方、導流堤基部の砂浜においては、波の峯と汀線とのなす角度とから判断すると、沿岸漂砂量公式から推定される砂移動の方向は流れと逆方向になる。このことは、

波のエネルギーの沿岸方向成分によって沿岸漂砂量を算出する手法をこのような構造近傍に適用するのは妥当でなく、構造物周辺の漂砂現象を明らかにするには海浜流が重要な要素であることを物語っている。構造物周辺の漂砂現象を把握するには、今後さらに波・流れ・砂移動に関する現地データの集積が望まれる。

謝 辞： 本論文は千葉県委託によって(株)アイ・エス・エー新土木研究所が実施した現地調査結果の一部を主体にまとめたものであり、発表を許可された千葉県水産部漁港課・千葉県銚子漁港事務所の方々、及び調査に関して御助言を賜わった農林省農業土木試験場水産土木第二研究室菅原輝男室長他の方々に対し、深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) Horikawa, K.: Coastal Engineering, University of Tokyo Press, Tokyo, 1978.
- 2) 佐々木民雄: 海浜流系の現地観測, 水工学シリーズ, 78-B-8, 土木学会, 1978.
- 3) 佐藤昭二・佐々木民雄・橋本 宏・遠藤泰司: 海浜変形予測, Annual '79, 土木学会誌, 64 (増), 57-65, 1979.
- 4) 佐々木民雄: 発想的碎波帯四次元モデル, 第 31 回土木学会年次学術講演会講演概要集, 1979.
- 5) 田中則男・小笹博昭・加藤一正: 防波堤周辺における海浜流の研究, 第 24 回海岸工学講演会論文集, 605-609, 1977.
- 6) 合田良実: 浅海域における波浪の碎波変形, 運輸省港湾技術研究所報告, 14 (3), 1975.
- 7) Komar, P. D.: Relative quantities of suspension versus bed-load transport on beaches, Journal of Sedimentary Petrology, 48 (3), 921-932, 1978.