

前浜における底質粒径の時空間変化とバームの形成機構

宇多高明*・小俣 篤**・竹 洩 勉***

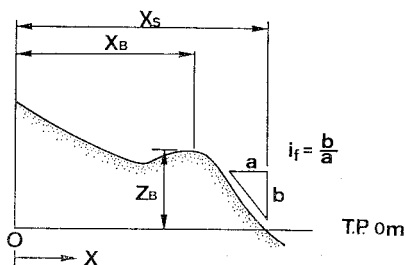
1. ま え が き

筆者らは、阿字ヶ浦海岸での現地データを基に前浜の堆積・侵食が入射波のエネルギーフラックス、前浜勾配、底質粒径により分類され、底質粒径が大きいほど堆積傾向となることを明らかにした(宇多ら, 1988)。このように、前浜を構成する底質の粒径は、岸沖漂砂に大きな影響を与える。一方、前浜の底質粒径が時空間的に変化することは良く知られている。例えば、Clifton(1969)は前浜の断面内に層状構造が存在することを示した。また、底質粒径の空間的な分布は、橋本・宇多(1980)によっても調べられた。このような底質粒径の空間的な変化は、波浪条件の変化に伴う海浜地形変化の結果として生じると考えられる。したがって、岸沖漂砂による地形変化の機構を解明する上において、底質の時空間的な変化過程を明らかにすることは重要な課題となる。しかし、前浜地形、底質および波浪条件の相互関連を論じた研究は少ないのが現状である。そこで筆者らは、特にバーム形成時における底質粒径の時空間的な変化を検討するために阿字ヶ浦海岸において現地調査を行った(宇多ら, 1988)。本報では、その調査結果からバームを構成する底質の粒径変化を明らかにする。また、1975年より同海岸で実施している漂砂に関する定期観測データ(Uda・Sakai, 1985)を加えて、バーム形成時の底質粒径変化と波浪条件の関係について論ずる。

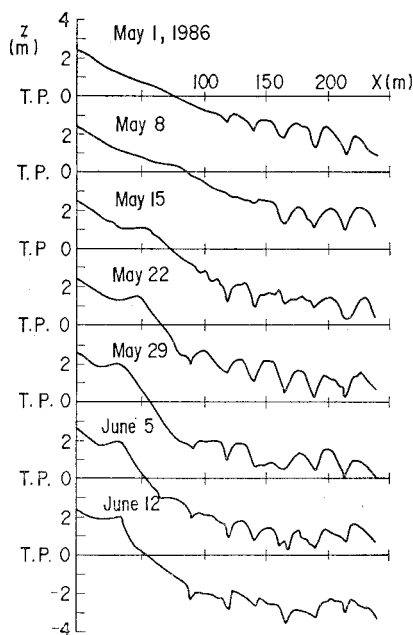
2. バームの形成および消失実態

最初に、バームの形成・消失の実態を示す。ここで、前浜地形およびバームの形状を代表するパラメータを図一1に従って定義する。栈橋中心軸上に基準点 O を設け、それより沖方向に X 軸を、また T.P. 0 m を基準として鉛直上方に Z 軸を定めた。

前浜での顕著な堆積は、1986年5月1日から6月12日までの期間に見られた。まず、この期間における断面変化を図一2に示す。バーム形成前の5月1日の海浜形状



図一1 パラメータの定義図



図一2 海浜断面形状の変化(1986年5月1日～6月12日)

は、栈橋の橋脚周辺における楔状の局所洗掘を除けば、水深約3mまでほぼ一様勾配である。しかし、5月8日には $X=80\text{m}$ 付近にバームの前兆と思われる地形が形成された。その後5月29日までバームは次第に発達し、前浜が急勾配化するとともに、T.P. -2m以深が平坦になったことがわかる。以後6月12日までの海浜断面形状

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
 ** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室
 *** 正会員 (前)建設省土木研究所海岸研究室

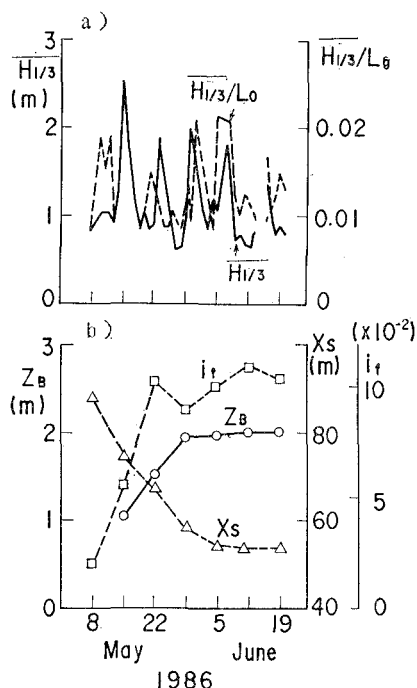


図-3 波浪条件、バーム形状特性の変化

は5月29日とほぼ同様であり、地形が安定したことを示している。

この時の波浪条件を図-3a)に示す。有義波高 $H_{1/3}$ と有義周期は運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所により阿字ヶ浦の沖合、水深約30mの地点で取得されたデータを用いた。日平均有義波高 $\overline{H_{1/3}}$ はこの期間中約80%が1.5m以下と静穏であった。ただし、ほぼ1週間毎に $\overline{H_{1/3}} \approx 2$ mの波が来襲している。次に、バーム高 Z_B 、前浜勾配 i_f 、汀線位置 X_s の変化を図-3b)に示す。バームは5月18日の断面形(図-2)においてその存在が認められるようになり、次第に高さを増して、 $Z_B \approx 2.0$ mで5月29日頃に安定した。前浜勾配はバームの成長とともに急になり、 $i_f = 0.11$ で安定した。一方、汀線は5月8日より次第に後退している。断面図によると、前浜上から $Z \approx -1.5$ mまでが前浜と一体的に急勾配化しており、汀線付近からほぼこの深さまでの砂が打ち上がり、汀線が後退しつつバームが形成されたと推定される。

前浜での顕著な侵食例は、1986年7月31日～8月7日に見られた(図-4 参照)。また、この時の波浪条件を図-5に示す。図示した期間が8日間と短いため、毎偶数正時の波浪データを示した。8月4日から波高、波形勾配ともに増加し、5日には $H_{1/3} \approx 4$ mになった。この高波浪によって侵食が生じたと考えられる。その後波浪は静穏化し、7日には $H_{1/3} \approx 1$ mになった。7月31日と8月7日の地形を比べると(図-4)、汀線位置はほとんど

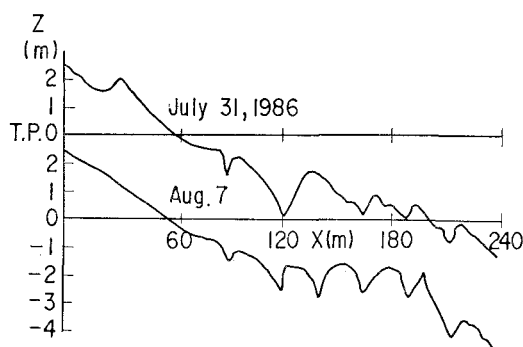


図-4 海浜断面形状の変化(1986年7月31日～8月7日)

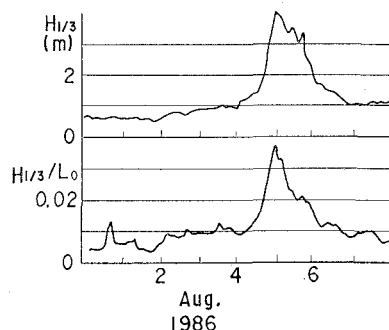


図-5 波浪条件の変化

変化しておらず、バームの消失と同時に沖($X=180$ m 付近)に堆積が見られる。このことから、バームの消失は8月5日の高波浪による沖向漂砂に起因すると考えられる。

3. バームの形成過程に関する現地観測

現地観測は、漂砂観測用栈橋が設置されている茨城県の阿字ヶ浦海岸で行った。観測はこの栈橋中心軸の陸側延長上に測線を設けて行った。バーム内部の底質構成を明らかにするための掘削調査は、1987年5月21日に実施した。その内容は、バーム頂点位置から沖側に約10mの範囲の掘削調査、及び掘削溝断面の写真撮影である。

2月19日から5月21日までの間におけるバームの発達に伴う海浜断面形の変化を図-6に示す。図-6よりバームの形成状況を調べると、2月19日から3月5日の間に $35 \text{ m} \leq X \leq 55 \text{ m}$ の範囲でバームの発達が見られたが、その後はそれより陸側の $20 \text{ m} \leq X \leq 40 \text{ m}$ の範囲で土砂が堆積し、5月21日には前浜勾配 $i_f = 0.068$ 、バーム頂点高 $Z_B \approx 1.6$ mのバームが形成された。このバームは4月9日までにはほぼ安定し、その後5月21日まで前浜の断面形はほとんど変化しなかった。バーム形成時(2月19日～4月9日)前後の期間の波浪条件を図-7に示す。日平均有義波高 $\overline{H_{1/3}}$ はバームの発達期間を通じ

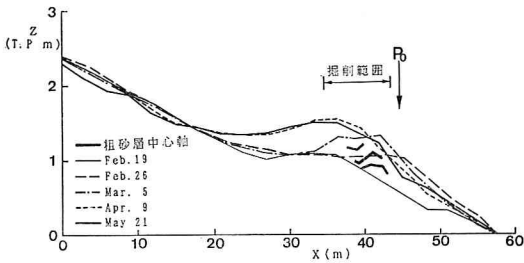
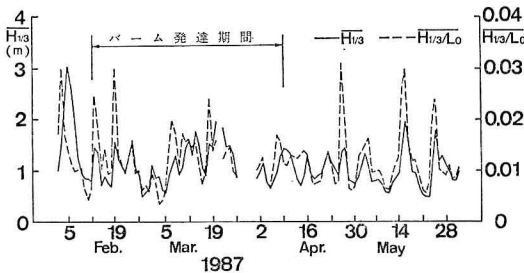


図-6 前浜断面変化(1987年2月19日～5月21日)

図-7 バーム形成時前後の期間の波浪条件
(1987年2月～3月)

て0.5～2.0mの間で変動していた。特に、 Z_B が大きく増加した3月5日～4月9日の間では $\overline{H_{1/3}} \approx 1.5\text{m}$ の波が数日おきに来襲したことが特筆される。

図-6の $35\text{m} \leq X \leq 43\text{m}$ の範囲における掘削断面の一部を写真-1に示す。バームは粗砂層と細砂層から成り、各層は2～10cmの厚さを有している。このようなバーム内での層状の堆積はClifton(1969)の調査報告と一致している。次に、粗砂層に注目して、その岸沖方向分布を調べた。5月21日の海浜断面形状と写真より求めた粗砂層中心軸の位置を図-6に示した。粗砂層の分布形状と2月26日のバーム頂付近の前浜形状とは良く一致することがわかる。このことから、バームは粗砂、細砂が繰り返し堆積することにより発達し、その結果バーム内部に層状模様が形成されたと推定される。図-6に示し

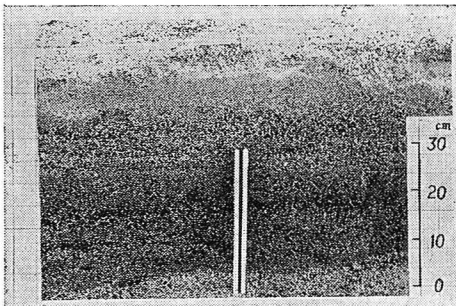


写真-1 バーム内の層状構造

た粗砂層の分布と各時期の前浜形状から判断すると、各層は2月19日から3月5日の間に形成されたと考えられる。2月19日～26日の波浪条件(図-7)を見ると、2月23日には $\overline{H_{1/3}} \approx 1.7\text{m}$ の波浪が来襲している。2月26日～3月5日の間でも $\overline{H_{1/3}} \approx 1.2\text{m}$ の波浪が来襲していることから、粗砂はある程度波高が高い時に打ち上げられたと考えられる。

1988年2月22日にも小型バックホーを用いてバームの掘削調査を行った。この時には $30\text{m} \leq X \leq 50\text{m}$ の範囲で深さ1mの掘削を行ったが、層状の模様は形成されていなかった。このことは、前回観測結果と大いに異なる。このことから、バームが発達する際に生じる前浜底質の時空間的な変化過程は一定したものでなく、粗砂と細砂が交互に堆積する場合と、細砂のみが堆積する場合とがあることがわかった。それらの相違点を検討した結果、次の点が挙げられた。

①バームの形成が始まってから安定するまでのバーム頂点高さ Z_B の変化量は、粗砂と細砂が交互に堆積する場合約1mであったのに対して、細砂のみ堆積する場合は0.2mと小さかった。

②バーム形成時の $\overline{H_{1/3}}$ は、平均的に見て両者ともに1m程度であったが、前者では $\overline{H_{1/3}} \approx 1.5\text{m}$ の波が数回来襲した。

以上のことから次のような解釈が可能となる。波高がある程度大きい場合は、汀線付近に存在していた粗い砂を前浜上に輸送するだけの掃流力が生じるので粗砂と細砂による層状の断面が形成される。また波の打ち上げ高も大きいためバームは大きく発達する。逆に波高が小さいと、掃流力が小さいため細砂が堆積するのみである。また、打ち上げ高も小さいためバーム高は低くなる。

4. 波浪、底質条件とバームの形成との関係

バーム内の層状構造の有無や、バームの高さの相違は、波浪条件や底質粒径に大きく依存する。そこで、波浪条件と底質粒径の変化が、バームの形成過程に及ぼす影響を定期観測のデータを用いて詳細に検討した。

定期観測によれば、1975年6月より1986年12月の間にバームは合計63回形成された。このうち、波浪および底質のデータが整っている41組のデータを用いて、バームの高さと底質粒径、波浪条件の関係を調べた。バームの高さの代表値としてバームが最も成長した時の高さ $Z_{B\max}$ を用い、週平均した入射波のエネルギーフラックス $\bar{F}$ と底質の中央粒径 d_{50} により、 $Z_{B\max}$ をパラメータとしてバームの侵食・堆積の分類(宇多ら, 1988)を行った(図-8)。ここに $\bar{F}$ はバーム高さが最大となる日時に先立つ1週間のデータを平均して求めた。また d_{50} は P_0 地点の1週間前の底質粒径である。前浜の侵食・堆積

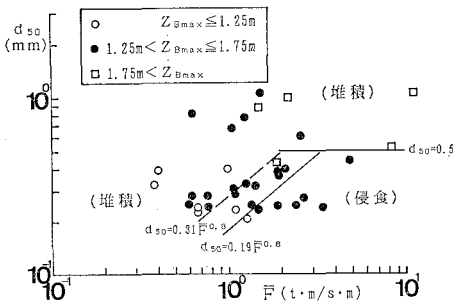


図-8 侵食・堆積の区分図の各データの Z_{Bmax}

の区分において、前浜勾配が重要なパラメータとなる。本研究の場合、バーム高が最大となる1週間前の前浜勾配 i_f は平均して0.051であった。そこで、図中には $0.04 \leq i_f \leq 0.06$ の場合に求められた堆積・侵食の区分線を示した。破線は侵食データのみより判断した区分線、実線は堆積データのみより判断した区分線である。データの多くは堆積領域にあることが明らかであり、 $\bar{F}$ および d_{50} が小さいと Z_{Bmax} も小さく、 $\bar{F}$ と d_{50} が大きい時には Z_{Bmax} も大きくなる傾向がある。結局、 d_{50} が小さい場合、 $\bar{F}$ がある程度大きくなるとバームは堆積傾向を維持できなくなる。一方、 d_{50} が比較的大きい場合には、ある程度 $\bar{F}$ が大きくてもバームは成長できる。以上の点より、バームの形成は波浪条件だけでなく、底質粒径によっても強く支配されることがわかった。

次にバームの形成過程に着目し、バームが2週間以上成長し続け、かつ波浪、底質のデータが整っている12例(表-1 参照)のデータより分析を進めた。バームの成長を代表するパラメータとして、1週間のバーム高の変化量 ΔZ_B を用い、その1週間の平均エネルギーフラックス $\bar{F}$ と ΔZ_B との関係を調べた(図-9)。この場合、バ

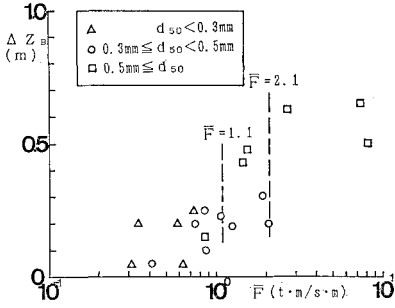


図-9 ΔZ_B と $\bar{F}$ の関係
(d_{50} はバーム成長開始1週間前の値)

ーム高の変化の生ずる1週間前の値の代表値として P_0 地点の d_{50} をパラメータとした。 $\bar{F}$ が増加すると ΔZ_B も増加する傾向が明らかである。また、侵食データのみより判断した区分線(図-8、破線)の係数に $d_{50}=0.5\text{mm}$ および 0.3mm を代入して得られた $\bar{F}$ の値を図中破線で示した。この破線は $d_{50}=0.5\text{mm}$ の場合は $\bar{F} \geq 2.1$ で、 $d_{50}=0.3\text{mm}$ の場合は $\bar{F} \geq 1.1$ でそれぞれ侵食傾向となることを示す。各データは、 $d_{50} \leq 0.3\text{mm}$ の場合に $\bar{F} = 1.1$ を上限として、また $0.3\text{mm} \leq d_{50} < 0.5\text{mm}$ の場合に $\bar{F} = 2.1$ を上限として分布している。このように、バーム発達時の $\bar{F}$ は d_{50} ごとに定まる沖向き漂砂の発生限界の $\bar{F}$ より小さいことがわかる。結局、波浪作用時の前浜の底質粒径がバームの成長に影響を与えることが明らかである。さらに、 ΔZ_B は1週間の間のバームの成長高を表わすことから、バームの成長速度は岸向き漂砂が生じる条件の範囲内において、 $\bar{F}$ が大きいほど速いことになる。

前節ではバームが大きく成長するときに層状構造が形成されると述べたが、ここではこの点を更に詳しく検討する。まず表-1に示す12例について、バーム形成時の P_0 地点の底質中央粒径 d_{50} の経時変化を調べた。その結果、バームの成長状況と底質粒径の変化は2種類のタイプに分けられることがわかった。代表例を図-10に示す。図には d_{50} が変化する際の前浜地形を調べるために、 Z_B および P_0 地点の地盤高 Z_0 の経時変化も併記した。図-10 a)では5月15日に $d_{50}=1.3\text{mm}$ と粗粒となったが、5月29日には $d_{50}=0.25\text{mm}$ と再び細粒となった。この間、 Z_0 は5月22日まで増加し、その後減少した。また、 Z_B は5月29日まで増加しその後安定した。このように、a)はバーム形成時に一時的に粗粒の底質が見られる場合である。b)では、 Z_B および Z_0 が増加し、バームが成長しているにもかかわらず、 d_{50} はほぼ一定値を示す。これは均一砂のみが前浜に堆積したことを表わしている。以上のようにバームの形成過程には、一時的に底質が粗粒となる場合と、均一な細砂が堆積す

表-1 検討に用いた資料一覧

バーム存在期間	粗粒化の有無
July 22, 1976~Aug. 11	×
May 31, 1979~July 12	×
June 12, 1980~July 3	×
Mar. 3, 1983~Apr. 21	○
Apr. 4, 1985~Apr. 25	○
May 8, 1986~June 12	○
July 21, 1977~Aug. 4	×
Nov. 8, 1979~Nov. 30	○
Aug. 5, 1982~Aug. 19	×
Nov. 10, 1973~Dec. 1	○
Apr. 3, 1986~Apr. 17	×
Sep. 11, 1986~Sep. 25	×

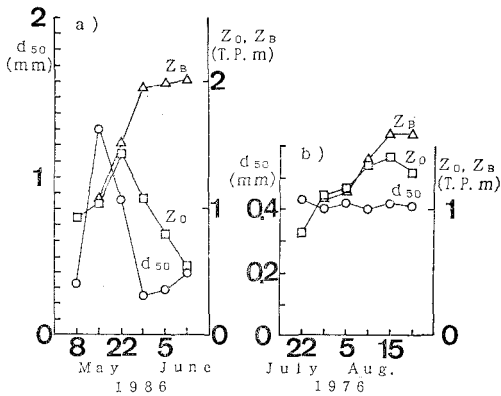


図-10 バームの発達例
a) 1986年5月8日～6月12日
b) 1976年7月22日～8月26日

場合とがある。前出の表-1には、これらの分類を行った結果も併せて示した。12ケースのうち5ケースで粗粒化が見られ、他の7ケースでは均一砂の状況が見られた。さらに、粗粒化の有無ごとにバームが出現し始めた時の Z_B とバームが最も高くなった時の Z_{Bmax} の差を求めて比較したところ、粗粒化が生じる場合、この差は $0.6 \sim 1.25$ m であったのに対して、生じない場合には、 $0.05 \sim 0.45$ m であった。すなわち、バームが大きく成長する場合に粗粒化が生じ、あまり成長しない場合は細砂が堆積していたことがわかった。

前浜の底質粒径に変化が生じる場合、バームの成長は大きく、またその時の $\bar{F}$ は大きな値であった(図-7 参照)。阿字ヶ浦海岸では、高波浪の継続期間は数日程度である。したがって、バームが形成される数週間の間には波浪条件は変動したはずである。バーム形成時には、入射波のエネルギーフラックスと底質粒径との間

にある関係が成立し、エネルギーフラックスが大きいほど P_0 の底質粒径は大きかった。そこで各バームが形成された期間の日平均有義波高の平均値 $\overline{H_{1/3}}$ と、その標準偏差 σ_n を P_0 地点の底質粒径変化の有無ごとに分類し図-11に示す。図によれば $\overline{H_{1/3}}$ および σ_n とも小さな値の時には粗粒化は無く、 $\overline{H_{1/3}}, \sigma_n$ 共に大きい時の粗粒化が生じた。すなわち、波高が平均的に高く、さらに時間的変動が大きい時に前浜の底質粒径が変化することが明らかである。粗砂が堆積するためにはある程度波高が高い必要がある。また、バームが大きく成長するためにもある程度の高波浪が必要となる。したがって高波浪と静穏な波浪が交互に来襲する場合に波浪条件に応じた底質が前浜に堆積して層状構造のバームが形成され、かつ、バームも大きく成長することになる。

5. 結 論

- ①バームは粗砂と細砂が交互に堆積してできる場合と均一砂が堆積してできる場合とがある。
 - ②バームが層状構造を示す場合、バーム高さの増加量は 0.9 m $\sim$ 1.25 m であったのに対し、層状構造のない場合では 0.05 m $\sim$ 0.45 m であり、層状構造を有するバームの方が成長が著しかった。
 - ③入射波のエネルギーフラックスが大きい時、バームの成長速度が速く、かつ粗砂が堆積する。一方、入射波のエネルギーフラックスが小さい時には細砂が堆積し、成長速度が遅い。バームの成長は入射波のエネルギーフラックスと底質粒径に強く依存する。
 - ④バームが層状に堆積した時には来襲波高の標準偏差が大きかった。バームの層状構造の形成原因は、入射波のエネルギーフラックスの変化に伴って前浜に堆積する底質の粒径が変化することによる。
- 謝辞： 沖波浪浪 データは 運輸省鹿島港工事事務所の方々に便宜を図っていただいた。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 橋本 宏・宇多高明 (1980): 前浜勾配、粒径及び波高の動的関係について、第27回海岸工学講演会論文集, pp. 221~225.
- 宇多高明・小俣 篤・竹渕 勉 (1988): 波による前浜地形の支配要因、第35回海岸工学講演会論文集, pp. 337~341.
- 宇多高明・小俣 篤・竹渕 勉 (1988): 阿字ヶ浦海岸における波による前浜地形の変化、土木技術資料, Vol. 39, No. 4, pp. 15~20.
- Clifton, H. E. (1969): Beach lamination; Nature and origin, Marine Geol., Vol. 7, pp. 553~559.
- Uda, T. and Y. Sakai (1985): Summarized data of beach profiles and wave observations at Ajigaura Beach, Tech. Memo. of P. W. R. I., No. 2294, 286 p.

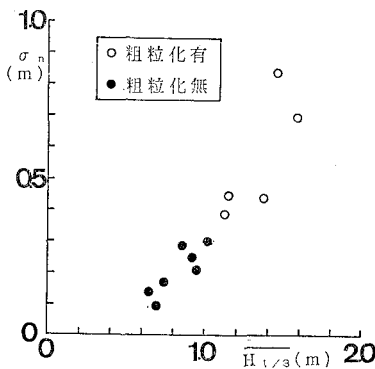


図-11 $\overline{H_{1/3}}$ と σ_n による粗粒化の有無の分類