

第 12 回国際海岸工学会議に出席して

——主として海岸過程に関する最近の研究動向について——

土 屋 義 人

SOME TOPICS DISCUSSED AT THE TWELFTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING

——A Brief Consideration of Recent Status of Coastal Processes——

By Yoshito TSUCHIYA

Synopsis

The Twelfth International Conference on Coastal Engineering was held in Washington, DC, U. S. A. from the 13th to the 18th, September, 1970. At the conference, about 179 papers were presented for four days. Based on the papers presented and some of recent papers a consideration of the coastal processes is briefly made in addition to an outline of the conference.

1. は し が き

1950 年 10 月にアメリカ合衆国カリフォルニア州のロングビーチで第 1 回の海岸工学会議が開催され、そのときに海岸工学 (Coastal Engineering) という学問分野が誕生してより、Table 1 に示すように世界各地で開催されて以来、昨年 9 月 13 日～18 日同国ワシントン市において開催された第 12 回の会議を経て、ちょうど 20 年にあたります。わたくしは幸いこの会議に出席する機会をあたえられましたので、出版委員会のご要請に甘えて、この会議の概要を報告することに致します。しかしながら、約半年以前に開催された会議

Table 1 History of International Conference on Coastal Engineering.

No.	Date	Location	Number of papers
1	Oct., 1950	Longbeach, U. S. A.	35
2	Nov., 1951	Houston, U. S. A.	28
3	Oct., 1952	Cambridge, U. S. A.	26
4	Oct., 1953	Chicago, U. S. A.	28
5	Sept., 1954	Grenoble, France	43
6	Dec., 1957	Gainsville, Palm Beach, Miami Beach, U. S. A.	54
7	Aug., 1960	Hague, Netherland	59
8	Nov., 1962	Mexico city, Mexico	45
9	June, 1964	Lisbon, Portugal	53
10	Sept., 1966	Tokyo, Japan	86
11	Sept., 1968	London, England	101
12	Sept., 1970	Washington, U. S. A.	—

でもありますし、また後述するように 179 編に及ぶほう大な論文が発表されたうえに、わたくし自身海岸工学の全ぼうについて説明できる能力ありませんので、ここでは主として最近わたくしが興味をもっております海岸過程 (coastal processes) なかでも沿岸過程 (shore processes) に関する研究を中心として最近の諸問題を考えてみることにしたいと思います。なお、この会議はアブストラクトを中心として発表されたものであり、現在本論文が印刷中であって間もなく出席者に配布される手はずになっていますが、ここで報告する結果はアブストラクトと会議できいた知識に基づいているので、詳細にわたっては十分その意をつくせない点があると思います。

2. 国際会議の状況

まず、最初にこの会議の概要と最近の一般的傾向について考えてみることにいたします。

(1) 一般的傾向

Fig. 1 は各国の発表論文の内容別論文数を示したものでありますが、ここでは波、高潮、津波および潮汐のように長短周期の波動を主体とするもの、海岸過程といわれる漂砂、沿岸流および海岸侵食などを主体とするもの、遡上、越波、波圧、波力など構造物の設計に関係するものおよびその他として分類しました。とくに、その他のなかには観測方法、実験方法を主体とするものや計画施工などの一般論説および最近問題となってきた海水の汚染などの研究も含めてみました。

まず、この図からわかりますように、第 8 回のメキシコシティでの会議を除いて、論文集への投稿論文と総頁数は急激に増大し、海岸工学の進歩とこの学問への感心の深いことを示しています。内容別にみますと、波関係は発表論文のかんりの部分を占め若干の変動がありますが、増加していることがわかります。その内容では、高潮など長周期のものがさかん研究された時期もありますし、また最近のように波の変形や浅海における特性が究明の主体をなす時期もあるわけです。海岸過程の方は、全体的には大きく増大している傾

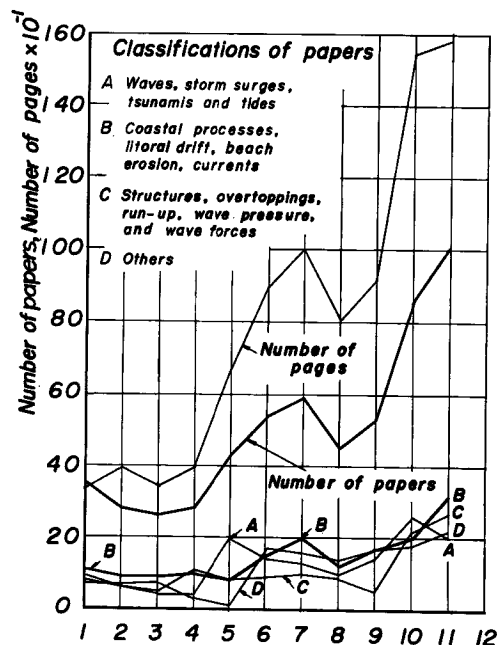


Fig. 1 Changes of number of papers presented and number of pages with classification of papers.

向を示していますが、その内容ではきわめて多岐にわたり侵食調査の報告から波による底質の移動機構や沿岸流などの論文が含まれています。構造物関係としては、第9回ころまでは大体一定数の論文が発表されてきましたが、それ以後波力関係の論文が増して、この関係の論文数が急激に増加していることがわかりますが、海洋開発との関連があるためでしょうか。その他の範囲では、第10回の東京での会議を契機として、放流水の拡散の問題や海洋汚染など新しい課題が次第に多くなってきています。第11回までの論文につきましては以上のとおりですが、今回の発表論文（もっとも正確には予定論文で実際発表された論文はかなり少なくなっているが正確なものはわかりません）について考えてみますと、197編中何編が論文集に投稿されたかが不明ですので、直接 Fig. 1 に示すことはできませんが、これまでの傾向からみますと100編以上かなり多くの論文が投稿されたことと考えられます。

(2) 発表論文と出席者

Table 2 は本会議の発表論文の目次によって各テーマ別に論文内容を分類したものでありますが、それは3つに大別されており、波関係が61編、構造物とその設計関係が59編、そして海岸過程関係が61編となっております。しかし、このなかには発表されなかったものもあり、また会議後、論文集に投稿されないものもかなりあるのが普通です。また、東大の堀川教授によって、すでに本会議の簡単な報告がなされていますので、ここではその内容も参考にさせていただくことにします¹⁾。

この会議に出席したものは合計380人（うち夫人56人）でアメリカ合衆国261（夫人35人）、カナダ22人（4人）、オランダ18人（2人）、ドイツ15人（3人）、日本12人（1人）の順になっており、京大からは岩垣教授と出席いたしました。

つぎに、本会議で発表された論文の一般的傾向について考えてみますと、大体つぎのようになります。まず、沿岸海洋における波浪観測にきわめて大きな努力が向けられ、観測法とデーターの解析処理の方法に関する研究が多く、強い関心が向けられていました。また、波動理論を詳細な実験によって検証する試みも

Table 2 Classification of papers presented at the conference.

Category	Subject	Number of papers
Waves	Wave observation and analysis	13
	Shallow water waves, wave theory	11
	Air-sea interaction	6
	Storm surge, tsunami and impulsive waves	12
	Wave transformation and breakers	12
	Harbour oscillation	7
Structures and design consideration	Wave run-up, reflection and percolation	7
	Wave forces and vessels	16
	Coastal structures	13
	Diffusion problems and estuary problems	12
	Field observation and analysis	6
	Groin systems	5
Coastal processes	Beach nourishment	5
	Beach characteristics	12
	Sand drift and shore process	23
	Currents	6
	Coastal inlet problems	7
	Scouring problems	5

1968 年のロンドンの会議と同様かなり実施され、とくに水粒子速度の測定に大きな努力がはらわれています。波の変形に関する研究はやはり浅海における波の特性を知るためにいつも多くの論文が発表されますが、今回もこの種の論文が **Table 2** から明らかなように 10 数編に及びました。とくに、堀川教授も述べておられるように、Führböter による気泡の混入を考慮した砕波後の波の変形の研究はきわめて興味あるものといえます。長周期波に関する研究は、高潮や津波対策との関連や最近では湾内振動に関する関心が高まり、任意の海域に対する数値モデルも Raichlen らによって試みられました。

海岸構造物関係においては、海洋開発との関係もあって、波力に関する研究にかなりの努力がはらわれ、波力に対する外力の決定法や流れと波の共存の場での波力の問題などが取扱われました。また波のはい上がり、越波などの局所的な現象に対しても、不規則波の影響やこれまでの結果の統一化などの方向に向っているように考えられましたし、また特殊の防波堤や護岸の研究がいくつも発表されました。また、第 10 回の会議以来放出水の海洋拡散の問題をはじめとする人江や沿岸海域における種々の拡散問題が多くに興味を引いていますが、環境変動との関連においてさらに強い関心がもたれるものと考えられます。一方広域の特殊な観測方法として Nichols による宇宙航空写真を利用した沿岸海域における漂砂の移動を究明しようとする試みがなされました。

海岸過程に関する研究では、あいかわらず広範囲における多くの論文が発表されましたが、まず実際面では養浜に対する維持とその適用性についての多くの関心がなされました。沿岸流の研究の進歩とトレーサーによる沿岸漂砂の定量的な観測法にともなって沿岸漂砂の再検討がなされ出したように思われます。しかし、堀川らによる砂れんなどにもなう波による乱れを測定しようとした研究を除いて、漂砂の解明を基礎的な面から行なおうとする試みは、何か 1 つのカベにつきあたっているような感じを受けましたが、このことはむしろ、次への大きな発展への契機ともなるものと考えるべきでしょう。

(3) 見 学 旅 行

会議終了後の 9 月 18 日から 20 日にかけて、**Fig. 2** に示す経過にしたがってニュージャージー州の海岸を視察し、ワシントン市からニューヨーク市までバス旅行が行なわれ、約 20 数人が参加した。途中 Cape may から Atlantic city を経て Sandy Hook までの海岸線とくに後述するような inlet での工法や養浜の現状、波浪観測をしたという棧橋や石積式の防潮堤などを海岸工学研究センター (Coastal Engineering Research Center) の Dr. Galvin の説明によって視察しました。

この海岸線は約 125 miles で、barrier beach に 102 の inlet があり、2 つの感潮河川が流入している。波浪はあまり大きくなく、波高 3 feet 以下の波が全体の約 62% ぐらいのものであり、潮差は約 4 feet である。一方、沿岸漂砂の方向は、Barnegat Inlet と Manasquam River の間付近から Sanday Hook までは北方向に、そしてそれより下は南方向に向いている。1839 年より測量がなされてきたが、それによると、侵食と堆積の場所がみられるが、全体としては侵食されているようで、その量は年間 2,700,000 cyd に及びます。これに対する侵食対策としては、lagoons の背後を掘って養浜をしてきたようです。

この海岸は 1970 年の 8 月まで 37 年周期ですでに 12 のハリケーンによってかなりの災害をうけています。このほか、extra tropicals といわれるぼう風が発生し、それはさきと同じく 37 年周期です。最も大きいぼう風は 1962 年のものでその被害額は \$123,000,000 に及んでいます。1929 年 Beach Erosion Board で調査されており今日まで及んでいます。

この海岸でとらえた海岸の工法については若干述べてみます。**Fig. 2** に示したように、本海岸には侵食防止工法として随所に防砂堤を設置するとともに、これと同時に定期的な養浜を積極的に実施していることがわかる。さらに、inlet の工法としては後述するように、漂砂の移動の連続性をはかるべく特殊な工法が採用されており、図中には deposition basin または low weir として示されている。このように、沿岸漂砂の方向が一定しておる海岸に対して、漂砂の特性を考慮した工法を実施していることは、わが国と大きく相違する点でありましょう。

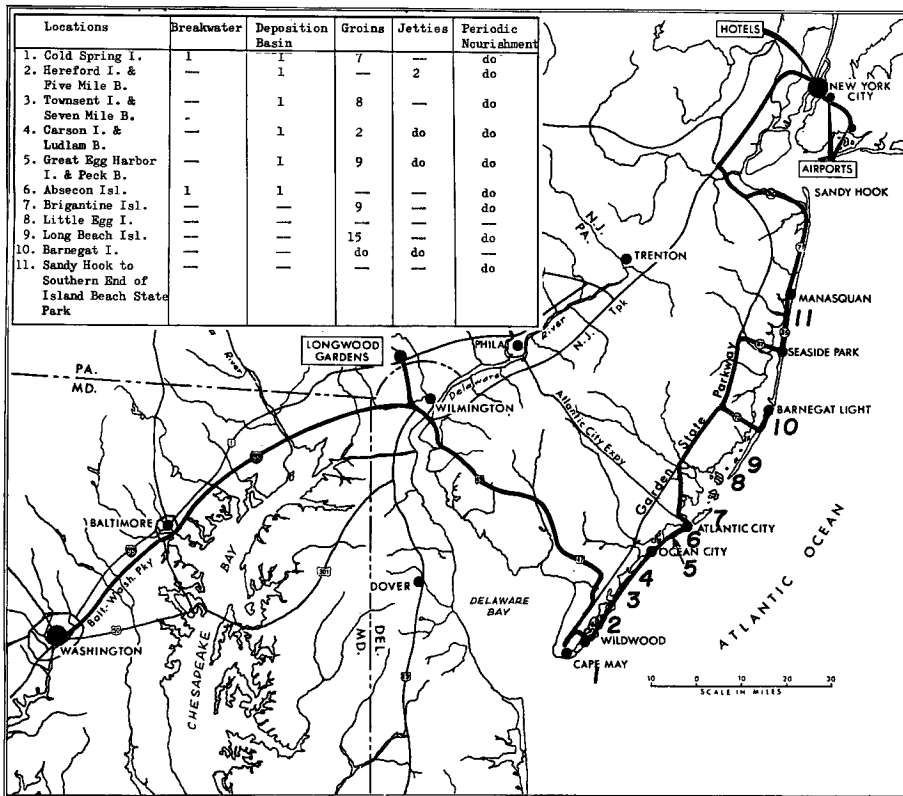


Fig. 2 Route map for tour and beach protection works carried out at New Jersey Coast.

3. 沿岸流および海岸漂砂に関する研究の現状

第9回の海岸工学会議をもとにした海岸侵食に関する研究動向については、大阪大学の榎木教授によって、すでに当研究所の年報に詳細に述べられています。ここでは、主として本会議で発表された論文をもとにして、沿岸流・沿岸漂砂や海岸侵食などに関する研究の近況について考えてみることにします。

(1) 海浜の形状特性

海浜の断面形状に対する考察は、これまで主として二次元の実験結果や現地の断面形状についてなされ、平衡こう配の特性や沿岸砂洲の発生などが検討されたが、ここ二、三年はどちらかといえば一段落した感じがして、この問題を主体とする論文はさほど多くない。本会議では、J. W. Johnson のところの I. V. Nayak が海浜断面形状の分類と反射特性を究明し、また D. S. Rao らや Wood らがそれぞれ自然海浜の季節変化と底質特性との関係および砂れき海浜の断面特性を検討したにすぎない。このうち、Nayak は底質として石英およびくみの皮を用いて比重を極端に変化させ、沿岸砂洲の発生限界を詳細に検討し、Fig. 3 に示す結果をえた。図中 H_0 : 沖波波高、 L_0 : 沖波波長、 d : 底質の大きさおよび σ/ρ : 底質の比重であり、また点線および細い実線で示した曲線は、それぞれ J. W. Johnson の値と $\sigma/\rho=2.65$ として示した岩垣らの発生限界とあらわす関係であって、わたくしが比較のために付加したものである。この表示の特徴は σ/ρ の影響を導入した点であるが、著者以外の実験値との対比が欠けていることから問題も少なくなく、また海浜形状の分類における定義も明確ではない。一方、Saylor は Great Lakes における offshore bars の水位変動に伴う消長について検討し、水位の上昇時には波浪のエネルギーを bar が消散させる作用をするために侵食さ

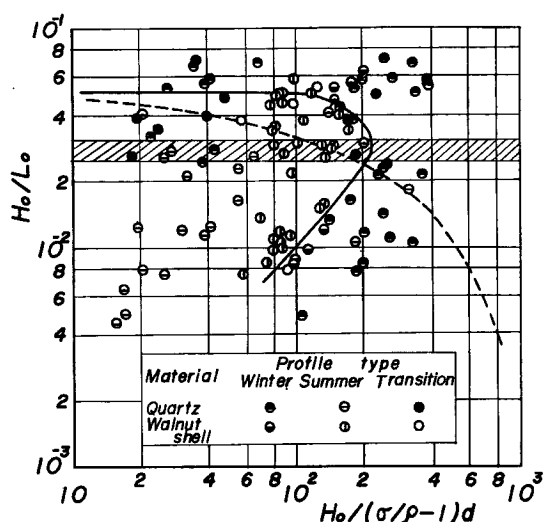


Fig. 3 Representation of criterion for generation of longshore bar by Nayak.

れ、逆に下降時には平衡状態より bar が相対的に高くなるので、よりエネルギーの減少が考えられるので侵食は少なくなることを示しています。

つぎに、Wood は砂れき海浜の形状とくに防砂堤の前後における変形特性を考察するとともに、英国の Dungeness 海岸における調査結果から砂れき海浜では沿岸漂砂量と波のエネルギーとはあまり相関がないことを示している。一方、海岸線の平面的形状については、周知のように、1963 年ころより Grijm や Bakker ら²⁾ によって漂砂の連続方程式に基づく解析が行なわれ、河口付近での海岸線の形状や防砂堤群による変形過程を取扱うようになってきた。それは、きわめて単純化した場合に対してであるが、波の入射角に対して海岸線の傾きが急激に変化しない場合でかつ海浜の断面形状が変形前後に対して同じと仮定すれば、近似的に Pelenard-Considère にならって、

$$Q_t = Q_{i0} - \left(\frac{dQ}{d\alpha} \right) \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (1)$$

とし、これと連続方程式とから、

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

を導いている。ここに、 Q_{i0} : 変形前の沿岸漂砂量、 Q_t : 変形時の沿岸漂砂量、 α : 波の入射角、 η : 汀線の移動量および $D = (dQ/d\alpha)/h$ である。この式に基づいて、Bakker らはさらに海浜断面の変化を考慮した計算法を示しています。

また、Silvester³⁾ は Fig. 4 に示すように岬などの存在によって沿岸流の境界条件が限定される場合に、1/2 の心臓形をした海岸線の形状をとることに着目して、実験的にこのような海浜の形状特性を詳細に調べています。その結果、この形状が対数らせんの式を適用してあらわせることを明らかにしていますが、要するに海浜の形状の究明すなわち海岸侵食の傾向をある限られた系の中で広域的に考えていこうとする試みであって、1つの興味深いものと考えられましょう。

さらに、海浜の季節変化を San Francisco の Bolinas Bay について調べた J.W. Johnson の研究は、Fig. 5 に示すとおりですが、これまで常識的にさえ考えられてきたこの問題をきわめて巧みに海浜の幅の変化としてあらわし、季節変化の存在を確認しております。これは、明確な季節変化のある海岸の大きな特徴とも考えられましょう。

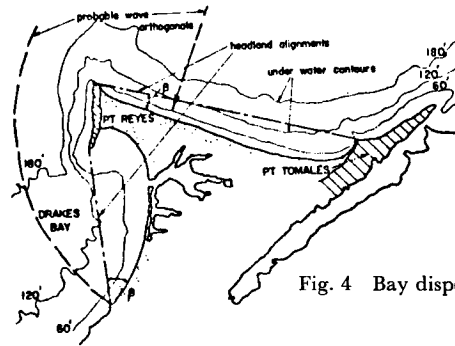


Fig. 4 Bay disposition at Pt. Reyes California.

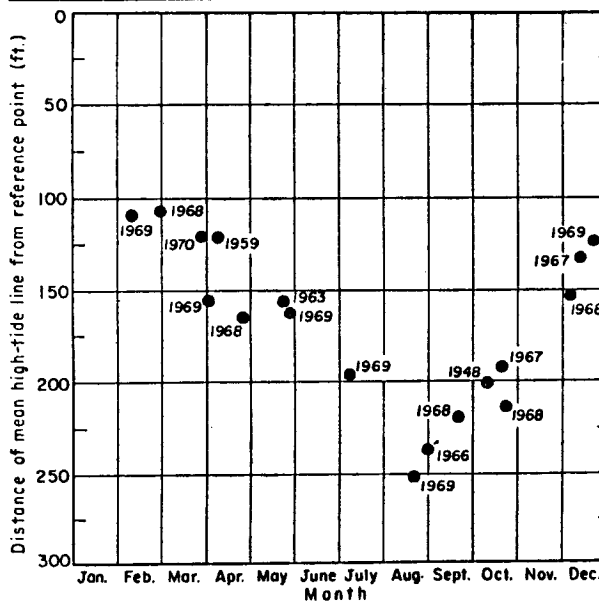
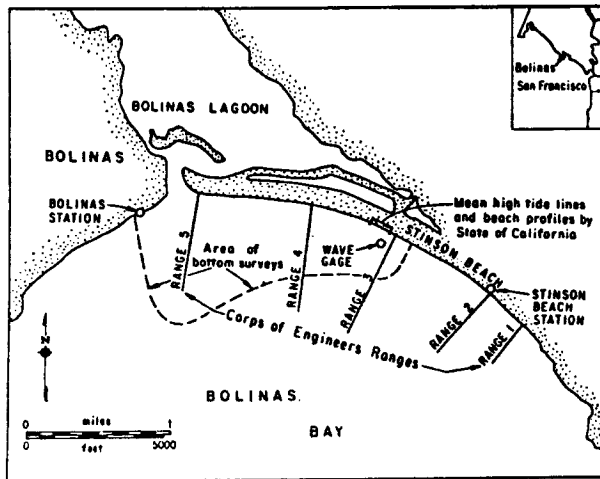


Fig. 5 Seasonal change of shore width at Bolinas Bay.

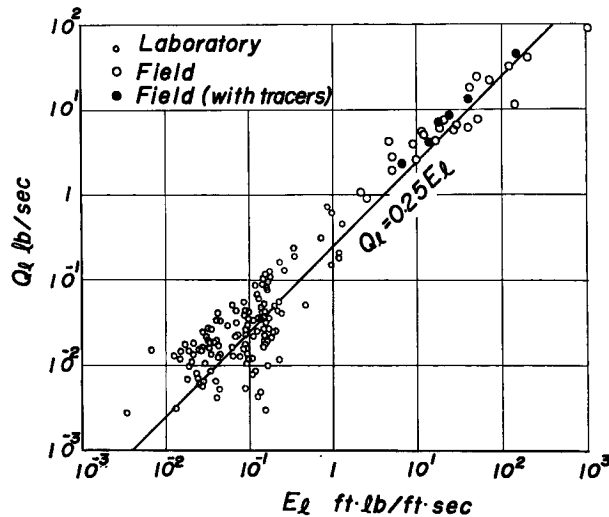


Fig. 6 Relationship between rate of longshore drift and alongshore wave power.

(2) 沿岸流・沿岸漂砂

沿岸流に関する取扱いは、これまで来襲波浪のエネルギーフラックスまたはモーメントフラックスに対する保存則の適用によって理論的になされてきましたが、最近ではいわゆる radiation stress の存在を考慮して汀線に直角方向の沿岸流の分布を Bowen が計算しています。これまで、沿岸流は surf zone において一様として取扱われてきたこの問題に対して Eagleson や Galvin らの実験の結果をよく説明できるとしてはいますが、その理論的な取扱いは若干問題があるように思われます。

今回の発表のなかには、直接この問題を取扱ったものはありませんでしたが、沿岸流に基づく沿岸漂砂に関する研究は 10 編にも及んでいます。

従来、沿岸漂砂量に関しては、沿岸方向の波のエネルギーフラックスと漂砂量との関係を求めた Caldwell らの式を主体とするものと流れによる流砂法則との関係で追究した岩垣らのものとがありますが、前者に対ししは、ようやく数多くの実測資料や実験結果が収集され、その関係が再検討されるようになってきました。Fig. 6 は今回の会議でこの問題を実験的に再検討した Fairchild の実験値やトレーサーによる Inman らの実測値をわたくしが追加して示したものです。ただし、沿岸方向の波のエネルギーフラックスをあらわすのに、root mean square の波高を用いなければならないという Inman らの結果もありますが、ここでは有義波高で求められたものであらわしています。いうまでもなく、沿岸漂砂には底質の特性が関係するはずですが、エネルギーフラックスの値が大きい現地の場合には、このような関係で大体あらわすことができるという事実はきわめて興味あるものでして、波のエネルギーによる沿岸流が主体となっていることがよくわかります。また、沿岸漂砂の方向を調べるために、RI などトレーサー法がよく用いられ、後述するように数多くの報告がありますが、Inman らによるトレーサーの調査結果もここに示してあります。

つぎに、Fig. 7 は Thornton⁴⁾ らによって測定された掃流砂としての沿岸漂砂量ですが、有義波高と水深との関係であらわし、とくに水深の影響が大きいことを示しています。この結果とさきほどの漂砂量との関係を比較致しますと、bed load としての漂砂量は全漂砂量の約 40% 程度であることも示されています。

一方、Galvin は inlets などのしゅんせつや deposition basin の大きさなどの決定に必要なとして gross littoral drift (全漂砂量) を定義しました。これは、沿岸に沿って左向きの漂砂量 Q_l と右向きの漂砂量 Q_r との和 $Q_G = Q_l + Q_r$ としてあらわされるものです。ある期間にわたる真の漂砂量 Q_n は $Q_n = Q_r - Q_l$ です。

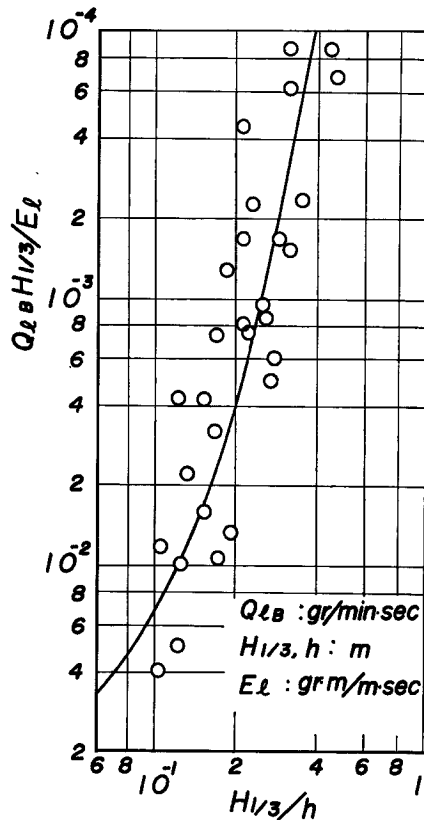


Fig. 7 Relation between rate of longshore drift as bed load and ratio of wave height to water depth by Thornton.

が、一方の漂砂量が存在しない場合には、 $Q_G = |Q_n|$ であらわされるので、漂砂量を波の特性であらわすことを試みています。ただし、全漂砂量の定義からもわかりますように、ある期間での代表的な波の特性によって、漂砂量をあらわすことが大切です。かれはごく簡単に考えて、surf zone を碎波高であらわされる三角形断面とし、その断面積にこれに沿岸流速をかけたものに比例するとして、

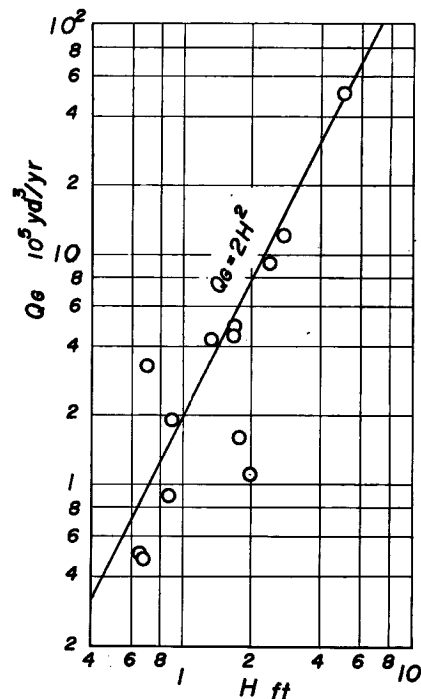
$$Q_G = cgTH^2 \sin 2\theta_b \quad \dots\dots\dots (3)$$

とあらわした。ここに、 θ_b : 碎波点での波の入射角、 g : 重力の加速度、 H : 波高および c : 比例定数である。Fig. 8 は (3) 式中の H として年平均波高を用いて、これまでの実測結果を整理したもので、トレーサーを用いて測定した結果は、burial effect のために若干小さくでるが、大体

$$Q_G = 2H^3 \quad \dots\dots\dots (4)$$

であらわされるといっています。

沿岸漂砂に関する理論的な面では、10 年以前に発表された流砂における Kalniske-Brown の流砂量公式を適用した岩垣らの研究に対して、最近 Bijker は Einstein の流砂量公式を適用して、沿岸漂砂量をあらわすことを試みています。とくに、波と流れの共存による底面摩擦速度の増大を考慮している点が特徴といえます。彼はこのような考えで計算する場合に、当然沿岸流の正確な表示が必要であり、Eagleson の沿岸流速式を用いて Einstein の式で計算すると suspended load は bed load の約 2 倍になったが、bed roughness の



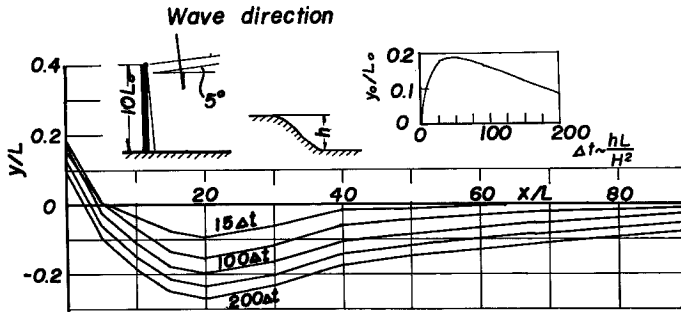


Fig. 9 Changes of shore line near groin obtained by theory of Bakker.

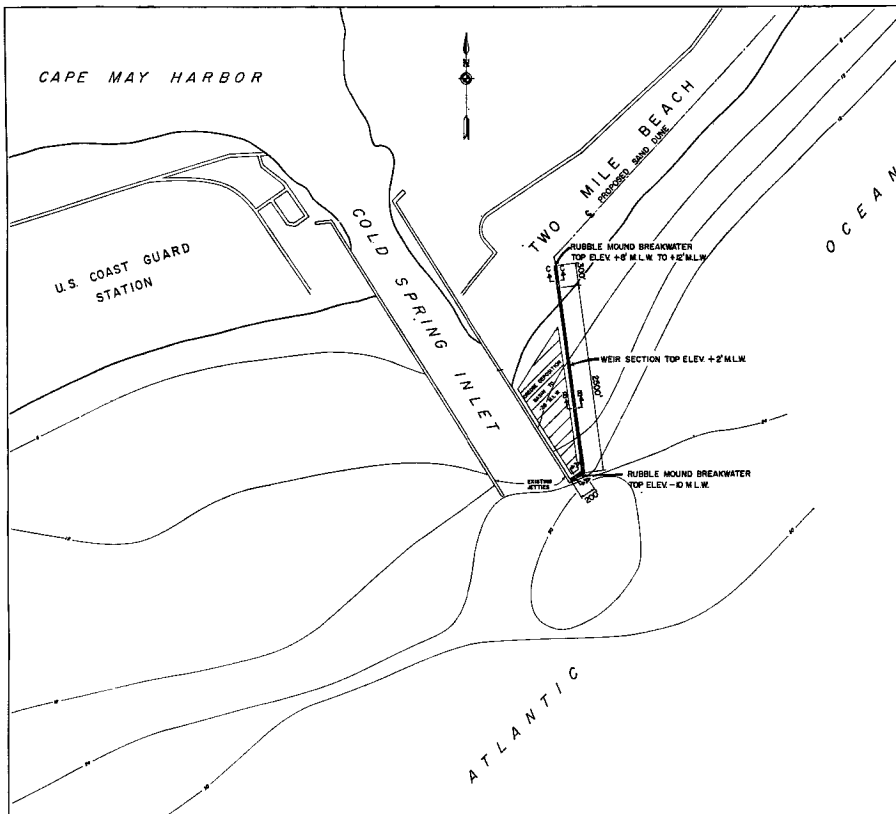


Fig. 10 Sand by passing at New Jersey coast.

(3) 海岸侵食と対策

海岸侵食の防止に関しては各種の研究が進められてきたが、Bakker らは前述した海浜変形の理論に基づいて、groin system (突堤群) における海浜変形を理論的に考察し、汀線の変化を沿岸漂砂量の分布との関連によって考察している。Fig. 9 は波長の 10 倍の長さの 1 つの突堤による汀線の変化を計算した結果であるが沿岸漂砂量式として S_{vask} の式を用いている。汀線の時間的変化の定性的な傾向はきわめてよく知られているが実際との比較も今後なされるべきであろう。このように、突堤などによる海浜変形の予知が

数量的に可能となれば、海岸保全計画において大いに役立つものと考えられます。

一方、海岸侵食防止対策の積極的方法の 1 つは、漂砂の連続性を人為的に確保させることであって、近年米国をはじめとして各国で養浜 (beach nourishment) が実施されてきた。今回の会議でも、この養浜に関する研究が 5 編も発表され、とくに養浜後の浜の変化とその維持法および工法についての活発な議論がなされました。

まず、さきほど見学旅行のときにも述べましたが、New Jersey の海岸では至るところ養浜を実施しています。とくにこの海岸は inlet が多いので、この付近では必ず港が築造され防砂堤または防波堤によって航路内への漂砂の侵入を防止していますが、わが国と相違して漂砂の上手側への堆積のみを方策としているのではなくて、上手側の漂砂をいかに下手側に by passing して漂砂の連続性を計ろうとしている点であります。すなわち、漂砂の上手側には越波によって 1 カ所に漂砂が堆積するように天端の低い堤防を作り、その航路側に滞砂池 (deposition basin) を設けてそこに堆積するようにしてある。この漂砂をパイプラインによってまたはその他の方法によって inlet の対岸に送って漂砂の連続性を確保するのである。このように、漂砂を堆積させる deposition basin の場合にはその海域を専有する必要がある。また効率よく養浜するためには、より効果的な漂砂輸送システムを作る必要がある。この観点に立って Inman-Harris らは Crater-Sink Sand Transfer System なるものを提案している。これは crater 状に堆積している漂砂の最深部に吸込口を設けた jet pump によって漂砂と海水を吸引し、これを養浜箇所へ適宜輸送するものであって、効率がきわめて高いといわれています。

以上のような積極的な漂砂の人為輸送の方式も、わが国で大いに取入れて海岸侵食や港湾埋没の防止に役立てることもきわめて大切といわねばなりません。

4. む す び

以上、今回の会議に出席して興味をもった研究課題を中心にして、その概要を述べたつもりですが、十分その意をつくせない点もあることと思います。この方面の現状について感心のある方にとって、いささかも参考になれば幸に思います。

最後に、所内の用務多忙のときにもかかわらず、この会議への出席を快諾していただいた石崎澄雄所長はじめ所員の方がたに謝意を表明するとともに、海岸工学の調査研究のためご援助いただいた防災研究協会に謝意を表わしたい。

参 考 文 献

- 1) 堀川清司：第 12 回海岸工学国際会議に出席して、海洋科学，Vol. 2, No. 11, 昭 45. 11, pp. 68-71.
- 2) Bakker, W.T.: The Dynamics of a Coast with a Groyne System, Proc. Eleventh Conf. Coastal Engineering, 1968, pp. 492-517.
- 3) Silvester, R.: Growth of Crenular Shaped Bays to Equilibrium, Proc. A. S. C.E., Vol. 96, No. WW2, 1970, pp. 275-287.
- 4) Thornton, E.B.: A Field Investigation of Sand Transport in the Surf Zone, Proc. Eleventh Conf. Coastal Engineering, 1968, pp. 335-351.