

超透過性消波工の開発に関する実験的研究

—スペクトル波の分布幅の影響—

DEVELOPMENT OF A NEW-TYPE WAVE ABSORBING WORKS TO RECREATE A SANDY BEACH

—Effect of spectral distribution width of waves on on-offshore sand movement—

伊藤政博¹・鈴木秀孝²・野口雄二³・前田 建³・谷山正樹⁴

Masahiro ITO, Hidetaka SUZUKI, Yuji NOGUCHI, Ken MAEDA and Masaki TANIYAMA

¹正会員 工博 名城大学教授 土木工学科 (468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-502)

²正会員 工修 (株) 大日調査設計 (460-0012 名古屋市中区千代田5丁目8-9)

³正会員 (株) テトラ (160-8350 東京都新宿区 6-3-1)

⁴正会員 日鐵建材工業 (株) (104-0061 東京都中央区銀座 7-16-3)

Many beaches in Japan, due to a grate number of seawalls, revetments, and wave absorbing works constructed on beaches, have been changed from energy dissipation type to reflection type beaches by the strong reflected waves from these. This study develops the New-type Wave Absorbing Works that is possible to reduce reflected waves by introducing in the sea side front of seawalls. The New-type Wave Absorbing Works has the performance of very high wave energy absorbability, permeability for waves, and very low wave reflection. How the beach sand once moved to the offshore return to shore, is examined by introducing the New-type Wave Absorbing Works using regular waves and three kinds irregular waves of the same spectrum distribution as the Ogata coast, Bretschneider type, and wide spectrum distribution.

Key Words: new-type wave absorbing works, on-offshore sand movement, wave reflection, recovery of sandy beach

1. はじめに

我が国では、治水と利水のために、河川上中流部には砂防ダムや貯水ダムが数多く建設され、さらに中下流域における砂利採取と相まって、河口から海岸への流送土砂量が近年かなり減少してきている。このような漂砂源の減少に加えて、侵食防止のために離岸堤、突堤などが、さらに港湾には防波堤などの海岸構造物が多数設置された。そのために沿岸方向の漂砂移動の均衡が破れ、海岸侵食が著しく進行してきている。海岸侵食による自然砂浜の消失、いわゆる海浜の自然環境の悪化は、深刻な社会問題になっている。海岸侵食を制御あるいは阻止するために、突堤、海岸堤防、護岸、および離岸堤等が各所に設置されてきたが、十分な効果をみることなく、多くの海浜は消滅してしまったといえよう。すなわち、従来の海浜の断面形状の多くは、沿岸砂州が存在している波浪エネルギー消散型であった。しかし、汀線近くに海岸堤防が設置され、その前面からの反射波のために、構造物前面の海浜砂が沖に運ばれ、

表-1 実験条件

Test waves			Irregular and Regular waves
Midian diameter of model sand		d_{50} (mm)	0.15
Initial beach slope		i_0	1/30
Water depth		h (cm)	50
Setting position of vertical seawall			Shoreline
Significant wave	Wave height	$H_{1/3}$ (cm)	10.0
	Deepwater wave height	$(H_0)_{1/3}$ (cm)	11.0
	Period	$T_{1/3}$ (sec)	1.4
	Wave length	$L_{1/3}$ (m)	2.60
	Wave length in deepwater	$(L_0)_{1/3}$ (m)	3.10
	Wave Steepness in deepwater	$(H_0/L_0)_{1/3}$	0.035

反射型の海浜に変貌したものが少なくない。

本研究は、海岸堤防などの設置によって反射型になった海浜の堤防前面に超透過性消波工を敷設して反射波を低減し、エネルギー消散型の海浜に復元することを目的としている。このように、反射率を低下させることによって、一旦沖に移動した海浜砂がどのように岸に再び戻るかについて、各種のスペクトル波を用いて検討する。

超透過性消波工は非常に高い波エネルギー吸収性を有し、波の反射率をほとんど零にすることができ、波の作用に対して十分な安定性と柔軟性を有する蛇籠のようなものを開発の目標にしている。

2. 実験条件

本研究は、とりあえず日本海沿岸の海岸で、沿岸砂州の存在する波浪エネルギー消散型の大潟海岸を対象にする。実験条件を設定するに当たって、現地の波浪条件は波高約5mおよび周期約10sec、底質は粒径0.5mmを想定している。水平および鉛直方向の実験縮尺は1/50とする。表-1に示すように実験波は、規則波および不規則波を用い、現地海岸に近い条件を設定した。波浪条件と海浜断面および底質特性を考慮し、伊藤・土屋¹⁾の海浜変形の相似則によって底質砂の粒径を定める。その結果、模型に使用する底質は中央粒径 $d_{50}=0.15\text{ mm}$ となる。

また、図-1に大潟海岸で測定された波のスペクトル分布と実験波のスペクトル分布が重ねて示してある。実験は、①Bretschneider型のスペクトル分布の不規則波(太い実線)、②幅の広いスペクトル分布を持つ不規則波(細い実線)、③大潟海岸と同じスペクトル分布を持つ不規則波(太い破線)、および④規則波(一点鎖線)、の4種類を用いる。

3. 超透過性消波工

超透過性消波工 (New-type Wave Absorbing Works) は、①空隙率が高い、②波の透過性が非常に高く、かつ波のエネルギー吸収が非常に良い、③十分な耐久性、などの性質を持っている。現地海岸の施工に際しては、前述の特徴を持つ可撓性の蛇籠型のもので、最終的には沖から戻ってきた砂によって埋没し、自然の海浜が再創造できるものを想定している。

本研究では、可撓式の超透過性消波工の模型として、ナイロン製の厚さ60mmのクッション材を用いることにした。この消波工の設置方法は、まず網目が細かく柔軟性の高い厚さ10mmの敷きマットを海底面に敷き、その上に設置することにした。この概略が図-2に示してある。

- : Bretschneider type spectrum (Run No.H8-2, H10-1)
- : Wide spectrum distribution (Run No.H9-2)
- - - : Same spectrum distribution as Ogata coast (Run No.H9-3)
- · - · : Regular waves (Run No H10-2)
- : Ogata coast, Niigata

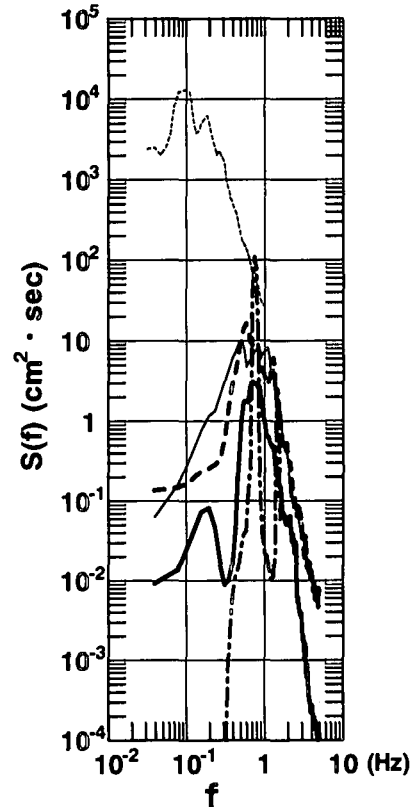


図-1 現地波および実験波のスペクトル分布

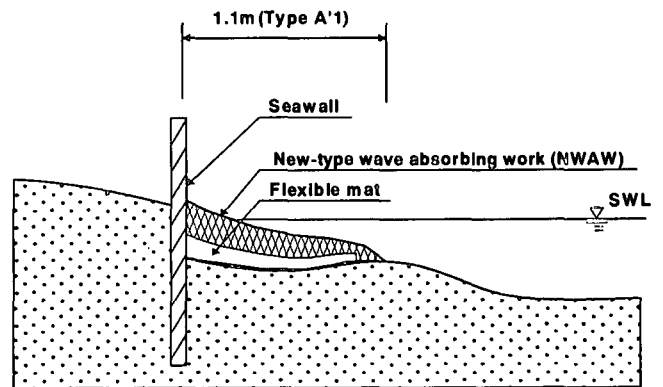


図-2 超透過性消波工の設置概略

4. 実験方法

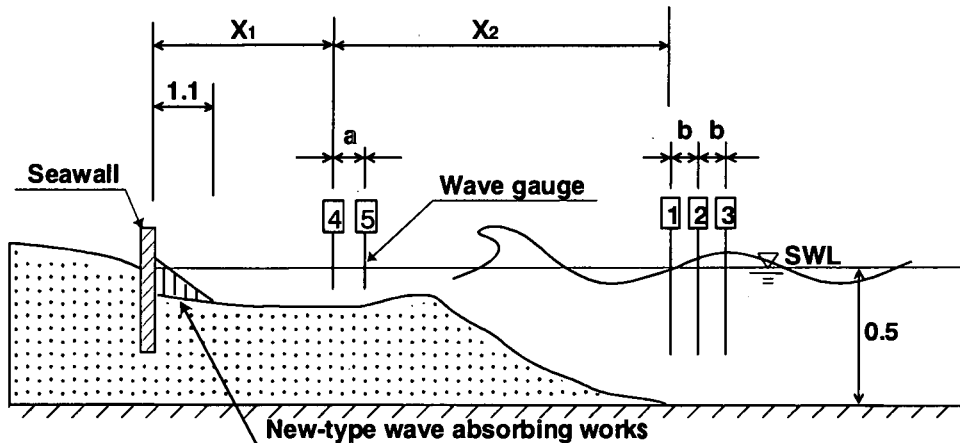
この験は、次のようにStage I, II およびIIIに分けて行った。

① Stage I は、中央粒径 $d_{50}=0.145\text{mm}$ の珪砂を用いて、二次元造波水路内に勾配が1/30の初期海浜を造

表－２ 海浜断面および波の反射率の測定時間

Unit in hour

Stage		I	II	III	Remarks	
Waves	Run No.	1/30 Beach Slope	Setting of Vertical Seawall	Introduction of Wave Absorbing Works Model	Type of Wave Absorbing Works	Type of Waves
Irregular waves	H8-1	0, 24, 48, 72	0, 2, 10, 24, 48	0, 2, 10, 24, 48, 72,	NNAW(Type A'1)	Bretschneider Type
	H8-2		48, 72, 100, 150, 200	0, 2, 10, 24, 48, 72, 100, 150, 200		
	H9-2		0, 2, 10, 24, 48, 72, 100, 150, 200	0, 2, 10, 24, 48, 72, 100, 150, 200	NNAW(Type A'1)	Wide Spectrum Distribution
	H9-3					Same Spectrum Distribution as Ogata Coast
	H10-1			0, 2, 10, 24, 48, 72, 100, 150, 200	NNAW(Type A'1)	Bretschneider Type
Regular waves	H10-2					Sin waves



図－３ 波高計センサーの配置図（単位：m）

り、表－２に示す実験波を72時間作用させ、平衡海浜を造る。

② Stage II は、Stage I で形成した平衡海浜の汀線に模型鉛直堤防を設置し、再度波を約200時間作用させ、鉛直堤防からの反射波の影響の入った平衡海浜を造る。

③ Stage III は、Stage II で形成した平衡海浜に、超堤防前面に透過性消波工を設置し、波を約200時間作用させる。

Run No.H8-2は、Run No.8-1のStage II の48時間後の海浜形状を予めガラス側面にマジックで描いておき、これに基づいて海浜断面形状を造って、Stage I の実験とII の0～48時間の実験を省略し、実験の総所要時間を短くした。

各実験における海浜断面形状と波の反射率の測定時間が、一括して表－２に示してある。

5. 測定方法

波高計センサー（CH 1～5）を図－３のように配置し、MS-FORTRUNで組まれた波の計測用のプログラム（RABS2.EXE）を用いてパーソナルコンピュー

タ制御で測定した。波高計の配置位置と設置間隔は実験条件によって表－３のように変えた。測定結果から反射率、有義波などの波の特性の解析はプログラム（ANA10.EXE）を用いて解析した。海浜断面形状の測定は、造波を一旦停止して、台車に取り付けたポイントゲージを用いて測定した。測定間隔は通常7.5cmとし、海底地形の変化の著しいところでは、3.75cmの間隔にした。

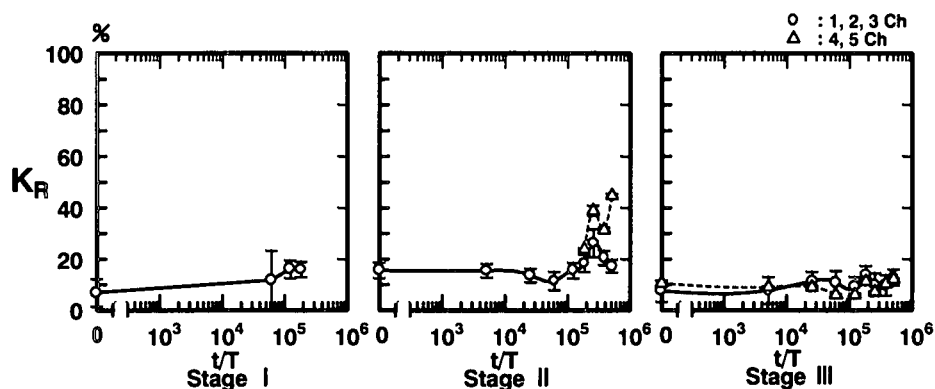
6. 実験結果と考察

(1) 波の反射率の変化

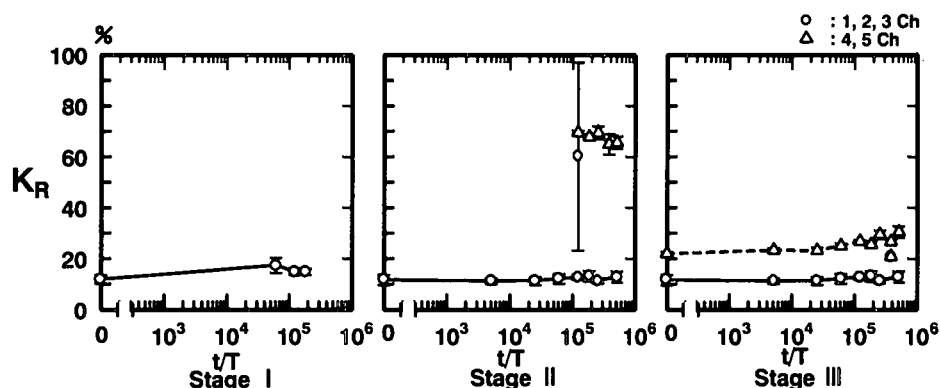
表-2のRun No. H8-1, H8-2の結果については、すでに論文^{2), 3), 4)}として報告済みであるので、本論文ではこれら以外⁵⁾について、述べることにする。図-4～7には、Stage I, II および III における不規則波と規則波による反射率 K_R の時間的な変化が示してある。図中、“○”印は沖側の一様水深における反射率を表わしている。また、模型堤防または超透過性消波工の近くに、さらに2組の波高計センサー（CH 4, 5）を設置して計測した結果が図中、“△”印で示してある。

表－3 波高計センサーの配置位置と設置間隔 (単位：m)

Run No.	X ₁	X ₂	図－3 の a	図－3 の b
H8-1 ～ H8-2	7.24	9.04	0.55	0.5
H9-2	1.81	13.85		
H9-3	2.57			
H10-1	5.07	11.33	0.35	0.3
H10-2	5.28	12.13		



図－4 波の反射率の変化 (Run No.H9-2, Type A'1, Wide spectrum distribution)



図－5 波の反射率の変化 (Run No.H9-3, Type A'1, Same spectrum distribution as Ogata coast)

図－4は、スペクトルの分布幅の広い不規則波を作用させた場合の反射率の経時変化である。この図から、Stage IIは波の作用にともなって、岸側鉛直堤防近くで測定した反射率は、 $K_R=85\sim 100\%$ と非常に高くなっている。しかし、Stage IIIで超透過性消波工の設置によって、岸側の反射率は $K_R=30\sim 40\%$ に減少している。

図－5は、大渦海岸と同じスペクトル分布を持つ不規則波を作用させた場合の反射率の変化を示している。この図によると、Stage IIでは、岸側の反射率はかなり高く、 $K_R=68\sim 65\%$ の間で変化している。 $t/T=10^5$ で反射率のばらつきが非常に大きい、これは計測器の異常によるものと考えられる。しかし、Stage IIIで超透過性消波工を設置すると、反射率は $K_R=20\sim 30\%$ に減少している。

図－6は、Bretschneider型のスペクトル分布を持つ不規則波を作用させた場合の反射率の変化を示している。岸側の反射率は、Stage II ($K_R=40\sim 20\%$)から超透過性消波工の設置によって、Stage IIIの $K_R=10\sim 20\%$ に減少している。

図－7は、規則波を作用させた場合の反射率の変化である。この図から、Stage IIの $t/T=2\times 10^5\sim 6\times 10^5$ の間に、沖側・岸側ともに反射率が上昇している。これは堤防全面の海浜砂が沖に移動して新たなバーが発生したためであると考えられる。Stage IIIの反射率は、沖側・岸側ともにBretschneider型のスペクトル分布の波を作用させた場合と、ほぼ同じ $K_R=10\sim 20\%$ で推移している。

図－4, 5, 6, および7から、Stage I, II, IIIを通じて沖側で測定された反射率はあまり変化してい

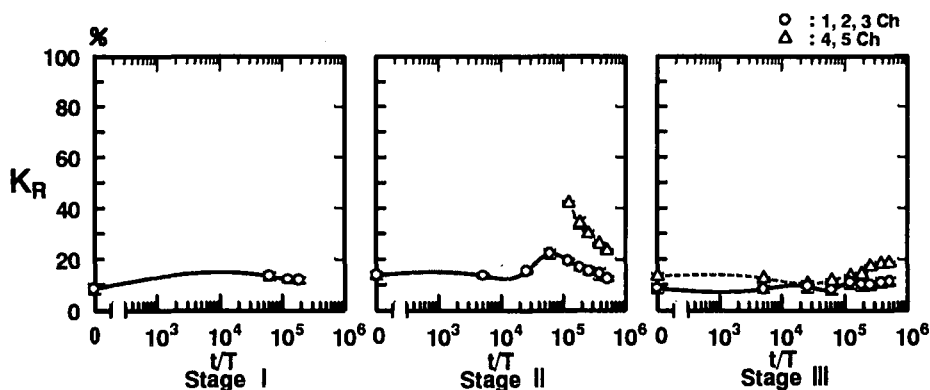


図-6 波の反射率の変化 (Run No.H10-1, Type A'1, Bretschneider type)

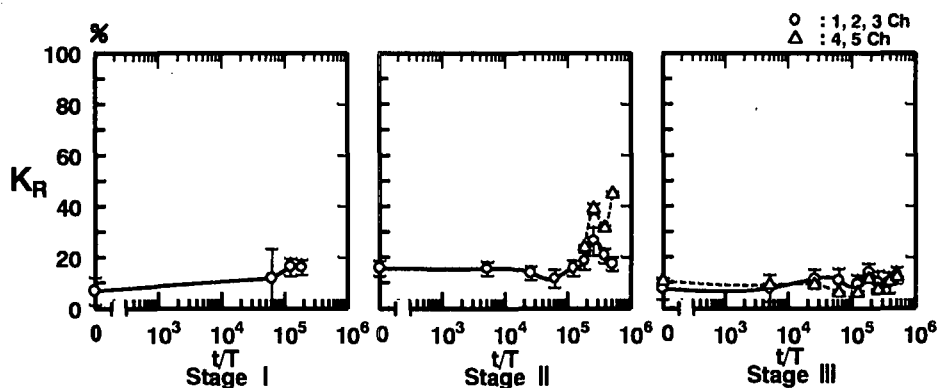


図-7 波の反射率の変化 (Run No.H10-2, Type A'1, Regular waves)

ないことがわかる。

(2) 海浜断面の図心位置の変化

波の作用により岸沖方向の漂砂移動が生じ、結果として海浜の変形が生じる。全漂砂量の移動を簡単に表示する一方法として、海浜断面形状の図心を求め、その岸沖方向の移動を検討する。

図心の位置は、鉛直堤防の前面を基準 (0) とした、単位幅あたりの海浜断面とする。計算方法は、図-8に示すように海浜断面地形を微小面積 S_i に分け、基準からその微小面積の図心までの距離を G_i とすると、基準から図心までの距離 G は、次式から求められる。

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i \times G_i)}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (1)$$

図-8に示したように、超透過性消波工設置直後の図心位置 G_i と、波の作用に伴って変形した海浜断面の図心 G_j を求めた。次いで、波の作用に伴う時間的な図心移動を式 (2) で計算する。

$$G = G_i - G_j \quad (2)$$

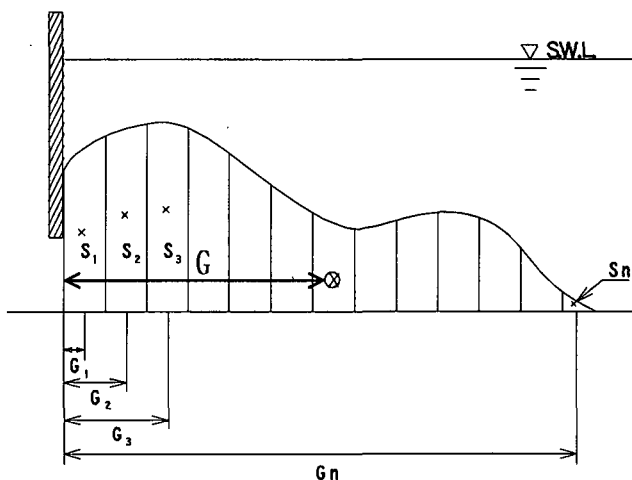


図-8 図心位置の求め方

図-9は、Bretschneider型のスペクトル分布を持つ不規則波を作用させた場合の図心の移動量 G を経時的に整理した結果が示してある。図中、"○", "●" 印は、Run No.H8-2およびH10-1において超透過性消波工 (長さ1.1m) を設置した場合の図心移動を示している。Run No.H8-2とH10-1は、超透過性消波工のタイプ、実験波、および波の作用時間などの実験条件を同一にしたが、波の作用200時間後の図心の移動距離が異なっている。この原因は、Run No.H8-2のStage II は、Run No.H8-1のStage II の波の

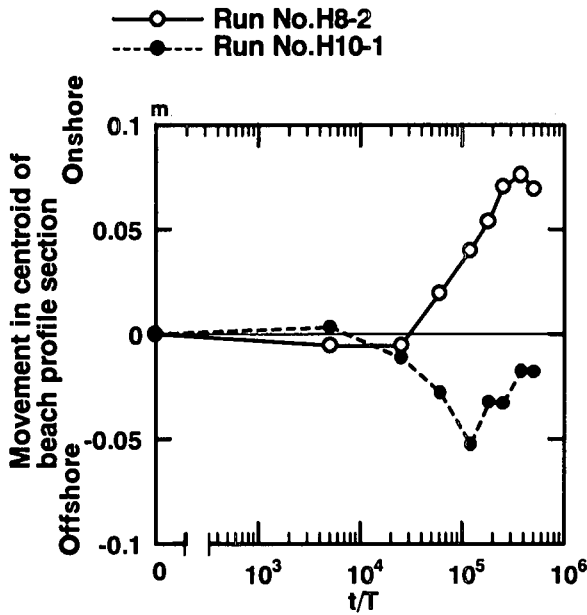


図-9 Bretschneider型の不規則波作用による
海浜断面の図心位置の変化

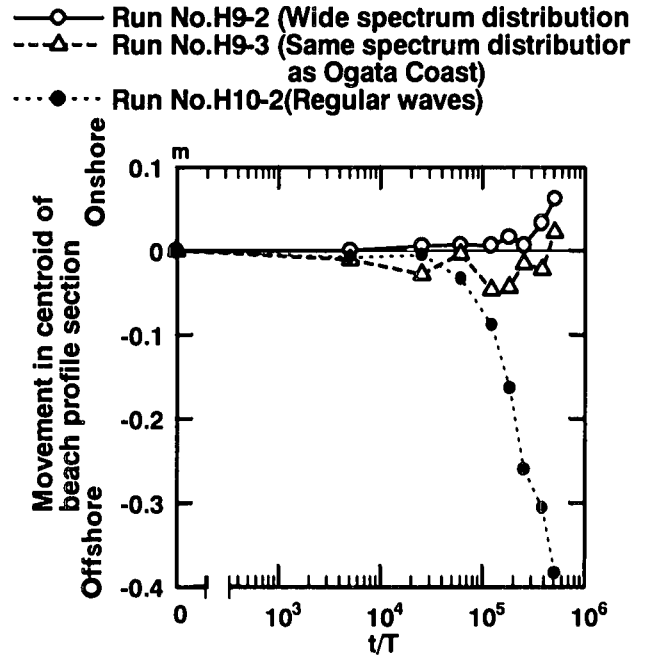


図-10 スペクトル分布幅の違う波の作用による
海浜断面の図心位置の変化

作用48時間後の海浜形状をガラス面に描いておいた線に沿って断面形状を形成し、さらに波を200時間までを作用させた。したがって、Run No.H8-2の海浜はRun No.H10-1に比べて十分締め固められておらず、漂砂移動が起りやすい状況にあったために、超透過性消波工の設置によって岸向きの漂砂移動量が、Stage I, IIおよびⅢを連続で行った場合よりも漂砂移動が起りやすくなったものと推定される。

図-10は、スペクトルの分布幅の違う波の作用による海浜断面の図心位置の変化が示してある。図中に“○, △, ●”印は、それぞれスペクトルの分布幅が広い波(Run No. H9-2)、大渦海岸と同じスペクトル分布を持つ波(Run No.H9-3)、および規則波(Run No.H10-2)を作用させた場合である。

不規則波を作用させたRun No.H9-2とH9-3の図心位置は岸側へ移動していることから不規則波が作用した場合、超透過性消波工による漂砂捕捉効果はよい。しかし、規則波を作用させたRun No.H10-2の場合、図心位置が大きく沖側へ移動し、漂砂捕捉効果は、悪い。

7. 結語

本研究では、実験波として、有義波、 $H_{1/3}=10\text{cm}$ 、 $T_{1/3}=1.4\text{sec}$ の①Bretschneider型のスペクトル分布の波、②スペクトル分布の幅が広い波、③大渦海岸と同じスペクトル分布を持つ波、および④規則波の4種類を用いて、超透過性消波工による波の特性、海浜断面形状および岸沖方向漂砂移動を実験的に調べ

た。

得られた結果をまとめると、以下ようになる。

- (1) Stage I, IIおよびⅢを通じて、沖側の一定水深部における反射率はほとんど変化しない。
- (2) 岸側の堤防近くで測定した反射率は、超透過性消波工の設置によって、かなり低下した。
- (3) スペクトル分布幅の広い波と大渦海岸と同じスペクトル分布を持つ波が作用した場合、超透過性消波工の設置によって沖からかなりの海浜砂が岸側へ移動した。漂砂捕捉効果は良い。
- (4) Bretschneider型のスペクトル分布を持つ波が作用した場合、漂砂の捕捉効果は良好である。
- (5) 規則波が作用した場合、海浜砂は沖側へ移動する。漂砂捕捉効果は悪い。

参考文献

- 1) 伊藤政博・土屋義人：海浜変形の相似則について，土木学会論文集Ⅱ，No.357，Ⅱ-3，pp.177~186，1985。
- 2) 伊藤政博・土屋義人・鈴木秀孝・野口雄二・前田 建・谷山正樹：超透過性消波工の開発に関する研究，——自然の海浜環境を再創造に向けて——名城大学総合研究所紀要，第3号，pp.5~14，1998。
- 3) 伊藤政博・土屋義人・鈴木秀孝・野口雄二・前田 建・谷山正樹：自然の海浜環境を再創造するための超透過性消波工の開発研究，土木学会海洋開発論文集，Vol.14，pp.535~540，1998。
- 4) Ito M., Tsuchiya Y., Suzuki H., Noguchi, Y., Maeda, K., and Taniyama, M.: A ne-type absorbing works and reformation of sandy beach; To recreate a natural beach environment, *Proc. of the 7th Int. Sym. on River Sedimentation, River Sedimentation*, pp.935~940, 1998。
- 5) 鈴木秀孝・伊藤政博・達野哲也・巽豊久・野口雄二・前田 建・谷山正樹：超透過性消波工の開発に関する実験的研究，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp.137~138，1999。

(1994.4.19 受付)