

越波の飛散分布におよぼす風の影響 (1)

—風速と水平飛散分布—

高 田 彰*

1. ま え が き

波浪が海岸堤防および防波護岸に衝突して越波する場合に、その水量が堤内地へどのような分布で落下するかを知ることは堤体の安全性、背後地の浸水対策および利用計画を決めるための基礎資料として重要である。

また、飛沫および海塩粒子による塩風害も越波による災害の一つとして見逃すことはできない。これは風によって海塩微粒子が堤内地奥深く（実測では最大 80 km）運ばれて農作物や金属類に付着し、海水の塩分によって枝葉を枯死させたり、金属類を腐食させたり、あるいは送電線の碍子に付着して絶縁度が下がり、ついには閃絡放電を起こして停電の原因をつくるなどの被害をもたらすものである。

このように越波の飛散は土木施設のみならず産業種別に見ても種々の被害をおよぼしている。

越波の飛散に関する研究で風を考慮したものでは永井ら (1960) の研究¹⁾、岩垣ら (1962) の研究²⁾、由比海岸での台風 6525 号の現地測定 (建設省)³⁾ および高田の研究 (1967, 1968)^{4), 5)} があるが、十分検討がされておらず種々の問題点が未解決のまま残されている。

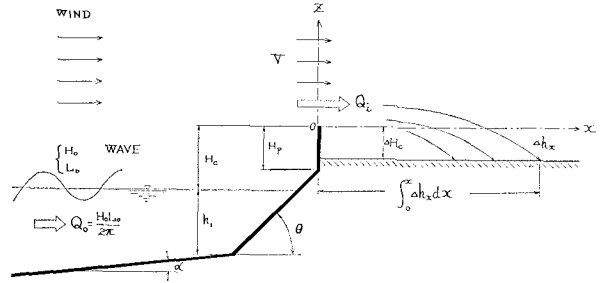
越波の飛散については水平方向と鉛直方向に分けて論議されなければならないが、本研究では前者の水平方向飛散分布におよぼす風の影響を実験的に明らかにしようとしたものであり、今回は重複波水深領域に設置された 1:3 の のり勾配の海岸堤防を対象としている。

本実験においては越波の飛散現象を巨視的に取り扱い、水量として集水可能な水塊までを対象として水平飛散分布と風速の関係を調べたものである（ウォータープル濾紙で粒子の飛散が確認されても水量として一般の方法で集水できないような小さな水塊の飛沫は本研究では対象外であり別に研究されなければならない）。

2. 越波の飛散の次元解析

一周期に天端を越えて堤内地へ入る総越波水量 Q_i は連続流として、あるいは大小の水塊に分離して種々の軌跡を描いて落下するので、場所的に飛散水量強度は著しく異なる。

図-1 越波の飛散



堤防背後地の同一水平面上に落下する越波の水平飛散分布を表わす方法としてつぎの二つの考え方がある⁶⁾。

① 一周期 T における単位面積当りの飛散水量

$$\Delta h_x \text{ (m/T)}$$

② 一周期の総越波水量 Q_i に対する累積飛散率（非超過飛散率）

$$\varepsilon = \left(\frac{\int_0^x \Delta h_x dx}{Q_i} \right) \times 100$$

Δh_x および ε は種々の要素の影響を受けて変化するが、図-1 に示すような一般の海岸堤防および防波護岸の越波について考える。

主な影響因子をとり出して、次元解析によって無次元量で表わせば次式のようにになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta h_x}{H_0} \\ \varepsilon = \frac{\int_0^x \Delta h_x dx}{Q_i} \times 100 \end{aligned} \right\} = \phi_1 \left(\frac{x}{H_0}, \frac{H_c}{H_0}, \frac{H_p}{H_0}, \frac{\Delta H_c}{H_0}, \tan \theta, \frac{h_1}{H_0}, \frac{H_0}{L_0}, \tan \alpha, \frac{V}{\sqrt{g H_0}}, \frac{V H_0}{\nu_a}, \frac{Q_i}{Q_0} \right) \dots \dots \dots (1)$$

式中

Δh_x : 任意の点 x における一周期の単位面積当り飛散水量

$\int_0^x \Delta h_x dx$: 天端より x の間に落下する累積飛散水量

Q_i : 一周期の単位幅当り総越波水量

Q_0 : 沖波の一周期の単位幅当り移動水量

（微小振幅波では $Q_0 = H_0 L_0 / 2\pi$ ）

x : 天端を原点とした水平距離

h_1 : 堤脚水深

* 正会員 工修 中部工業大学助教授 土木工学科

H_0 : 沖波波高

L_0 : 沖波波长

$\tan \alpha$: 海底勾配

V : 天端上の平均風速

g : 重力加速度

ν_a : 空気の動粘性係数

H_c : 潮位上天端までの高さ

H_p : 波返し部の高さ

ΔH_c : 天端水平面より越波の落下水平面までの深さ

$\tan \theta$: 堤体のり面勾配

本実験ではこの中で $V/\sqrt{gH_0}$, H_c/H_0 および Q_i/Q_0 が $\Delta h_x/H_0$ と ε にどのように影響をおよぼすかを調べた。

したがって $\tan \theta$, $\tan \alpha$ を一定, H_p/H_0 , $\Delta H_c/H_0$, h_1/H_0 , H_0/L_0 および VH_0/ν_a を近似的に一定とみなして実験を整理している。すなわち本実験の対象とする無次元量の式はつぎのようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta h_x}{H_0} \\ \varepsilon = \frac{\int_0^x \Delta h_x dx}{Q_i} \times 100 \end{aligned} \right\} = \phi_2 \left(\frac{x}{H_0}, \frac{H_c}{H_0}, \frac{V}{\sqrt{gH_0}}, \frac{Q_i}{Q_0} \right) \dots\dots\dots (2)$$

3. 実験装置と実験方法

(1) 実験装置

図-2 に示すような二次元造波風洞水槽を用いて実験を行なった。

この装置は長さ 27.9 m, 高さ 1.2 m (造波部 2.2 m), 幅 0.8 m の片面ガラス張りの造波水槽と, 高さ 0.3 m, 幅 0.8 m の長方形断面の風洞からなっており, 水槽の一端に規則波発生装置, 送風装置および高潮発生装置 (給排水調節装置) が設置されている。

規則波発生装置はフラップ型 (5 HP) であり, 最大波高 $H_{max}=0.4$ m (水槽の水深 $h=0.9$ m), 周期 $T=1.5 \sim 6.0$ sec の規則波を発生できるようになっている。

送風装置は 15 HP モーターで直径 1.0 m の水平軸流ファン (風量毎分 600 m³, 静圧水柱 45 mm, 最大回転数 1280 r.p.m) を無段変速機に連動して回転させ, 風洞内の最大風速 $V_{max}=15$ m/sec ($h=0.6$ m) にすることができるようになっている。

高潮発生装置は 10 HP と 25 HP の揚水ポンプで低水槽 (120 m³) から高架水槽 (6 m³, 揚程 5 m) に最大揚水量 0.11 m³/sec で汲み上げて造波水槽内の水位を毎秒 0.1 cm 上昇させる給水装置と, 0.1 cm/sec の速度で下降させる排水装置からなっている。

図-2 二次元造波風洞水槽

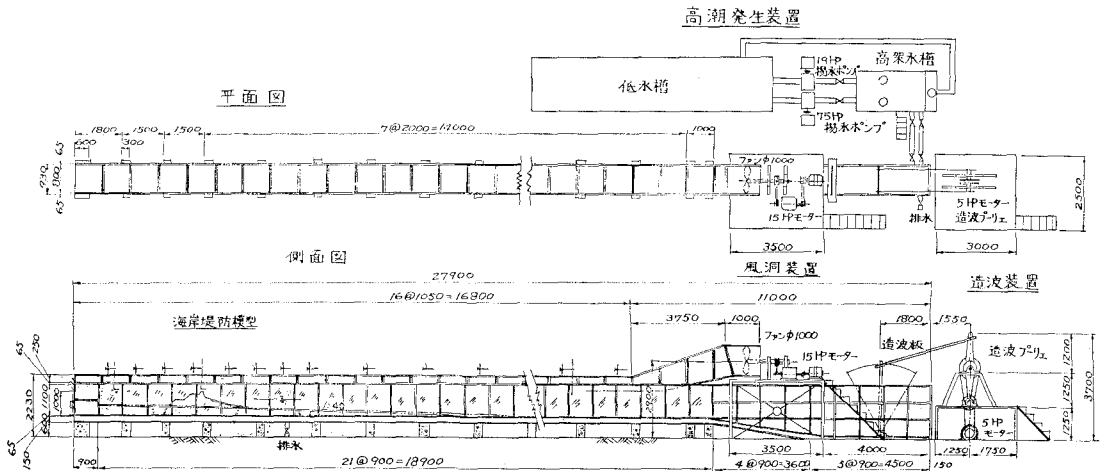
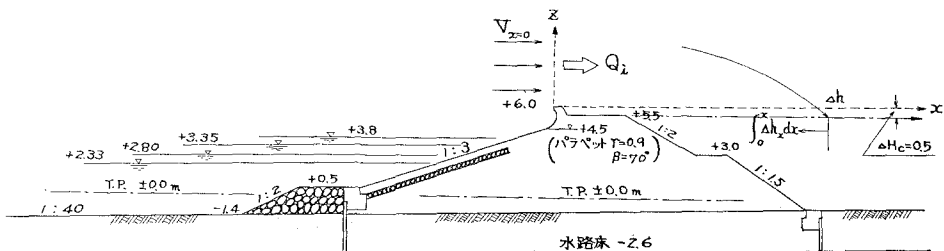


図-3 実験断面



なお、実験中に越波して堤内地に湛水した水は低水槽へ戻るように回流水路(1m×1m×25m)で接続されている。

(2) 実験方法

実験の対象とした海岸堤防の断面は図-3に示される。

この断面は伊勢湾台風(昭和34年9月26日台風15号)によって決壊、破堤の災害を受けた木曽三川河口付近の海岸堤防(とくに長島海岸)をモデルとしたもので、実験は模型縮尺1/10の規模で水槽内に設置して行なった。

実験の波浪は $T=1.86\text{ sec}=\text{const.}$ とし、潮位を4種類変化させて表-1で示すような条件で実験を行なった。

実験の風速は各潮位ごとに無風を含め11段階($V=$

0~14.9m/sec)に変化させて表-2で示すような条件で行ない、波向と同一方向で、かつ静水面にはぼ平行に風を作用させた。

風速の測定はピトー管(動圧管径2mm)を1:10のマノメーターに連通して各点の風速分布を調べたものであるが越波の実験上の都合から天端より背後の風洞の天蓋を開放した状態のときである。

Q_i および Δh_x は越波の多いときは第4波~第8波の5波について、少ないときは第4波~第13波の10波を対象に集水してそれらの平均値をもって一波の Q_i および Δh_x の値として採用した。

なお、 Δh_x の測定方法は越波受箱に10cmまたは20cm間隔の仕切り板を取り付けてそれぞれのスリットが独立した集水箱となるようにした。各スリットにはゴム栓をつけ貯溜した水量をメスシリンダーに受けて計量し

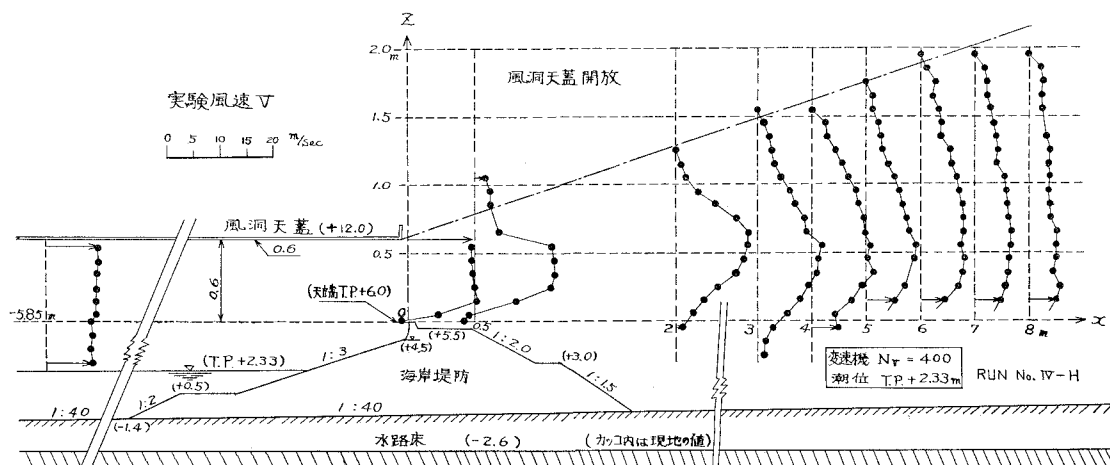
表-1 波の実験条件

Run No.	潮 位 (T.P.上) (m)	水 深		周 期 T (sec)	波 長		波 高		天端高 H_c (cm)	比 水 深		相 対 水深		波 形 勾 配		相 対 天端高 H_c/H_0
		堤脚水深 h_1 (cm)	一樣水深 h (cm)		h の波長 L (cm)	深水波長 L_0 (cm)	h の波高 H (cm)	深水波高 H_0 (cm)		h/L	h/L_0	h/H	h/H_0	H/L	H_0/L_0	
I	+3.89	52.9	64.9	1.86	410.0	539.7	18.7	20.4	21.1	0.158	0.120	3.47	3.18	0.0456	0.0378	1.03
										0.129	0.098	2.83	2.59			
II	+3.35	47.5	59.5	1.86	397.2	539.7	18.0	19.7	26.5	0.150	0.110	3.31	3.02	0.0453	0.0365	1.35
										0.120	0.088	2.64	2.41			
III	+2.80	42.0	54.0	1.86	383.0	539.7	15.6	17.0	32.0	0.141	0.100	3.46	3.18	0.0407	0.0315	1.88
										0.110	0.078	2.69	2.47			
IV	+2.33	37.3	49.3	1.86	369.2	539.7	15.3	16.6	36.7	0.134	0.091	3.22	2.97	0.0414	0.0308	2.21
										0.101	0.069	2.44	2.25			

表-2 風速の実験条件

Run No.	潮位 T.P.上 (m)	深波高 H_0 (m)	風速測定位置 (天端水平面上0.5m)	実験風速 V m/sec (室温 25°C)										
				風速の段階										
				A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
I	+3.89	0.204	パラベット天端 V_0	0	6.98	7.63	8.60	9.30	10.27	11.01	11.63	12.35	12.60	13.45
			$V_0/\sqrt{gH_0}$	0	4.94	5.40	6.08	6.58	7.26	7.79	8.24	8.71	8.91	9.51
			$(V_0H_0/\nu_a) \times 10^{-5}$	0	1.02	1.12	1.26	1.36	1.50	1.61	1.70	1.80	1.84	1.96
			パラベット後方 2.0m V_b	0	8.51	9.63	10.86	12.03	13.27	14.13	15.26	16.11	16.92	18.56
			前方 5.85m V_f	0	5.47	6.40	7.20	7.83	8.69	9.30	10.11	10.79	11.49	12.60
II	+3.35	0.197	天端 V_0	0	6.27	7.63	8.41	9.30	10.19	10.86	11.76	12.48	12.97	14.19
			$V_0/\sqrt{gH_0}$	0	4.51	5.49	6.05	6.70	7.34	7.82	8.47	8.98	9.34	10.22
			$(V_0H_0/\nu_a) \times 10^{-5}$	0	0.88	1.12	1.18	1.31	1.44	1.53	1.66	1.76	1.83	2.00
			後方 2.0m V_b	0	8.22	9.80	11.08	12.09	12.73	13.62	15.46	16.30	17.42	19.14
			前方 5.85m V_f	0	3.59	4.69	5.61	6.27	7.20	8.12	8.51	9.04	10.32	10.93
III	+2.80	0.170	天端 V_0	0	6.75	7.83	8.96	9.64	10.72	11.36	12.22	12.97	13.85	14.94
			$V_0/\sqrt{gH_0}$	0	5.23	6.07	6.93	7.46	8.30	8.80	9.47	10.05	10.73	11.57
			$(V_0H_0/\nu_a) \times 10^{-5}$	0	0.82	0.96	1.09	1.18	1.31	1.38	1.49	1.58	1.69	1.82
			後方 2.0m V_b	0	7.83	9.13	10.64	11.56	12.79	13.80	14.79	15.76	16.73	18.39
			前方 5.85m V_f	0	5.61	5.75	6.40	7.09	8.03	8.32	9.04	9.55	10.42	11.15
IV	+2.33	0.166	天端 V_0	0	6.01	6.75	7.63	8.41	9.39	10.19	11.22	11.96	12.79	14.02
			$V_0/\sqrt{gH_0}$	0	4.71	5.29	5.98	6.60	7.36	7.99	8.80	9.38	10.03	11.00
			$(V_0H_0/\nu_a) \times 10^{-5}$	0	0.72	0.80	0.91	1.00	1.12	1.21	1.33	1.42	1.52	1.66
			後方 2.0m V_b	0	7.63	8.96	10.11	11.22	12.54	13.51	14.84	15.76	16.73	18.81
			前方 5.85m V_f	0	4.34	5.02	5.75	6.40	7.09	7.42	8.03	8.69	9.22	11.63

図-4 実験の風速分布 (パラペット背後の風洞天蓋を開放した場合)



Δh_x 値を換算した。

また、越波水量測定用の集水箱（幅 0.6 m, 深さ 0.15 m, (一部 0.2 m)）は水槽側壁から 10 cm 空けて設置した。

4. 実験結果とその考察

(1) 海岸堤防前後の風速分布

実験において、越波の飛散水塊が海岸堤防天端上最大 1.2 m 程度まで上がるので、風洞の天蓋 (0.6 m) に衝突して飛散が実際の現象と異なることから、実験はすべて天端背後の天蓋を開放して行なった。

風速の測定結果は図-4 に示される。これより海側の風速がほぼ一様分布であるが、天端より背後は3次元噴流の拡散現象のように風下に向かい風域はしだいに広がり (約 14°)、風速は漸次減少していることがわかる。

しかし、このような風域および風速分布は実際の現象とくらべてかなり異なるので越波の飛散におよぼす影響も相違してくると考えられるが、使用した風洞の構造の制約から今回はやむを得ずこのような条件下における飛散の実験として論議を進める。

なお、現在、風洞の天蓋を 1.0 m かさ上げして着蓋の密閉状態で実験ができるよう改良したのでこれについての実験を継続している。

図-4 より天端付近の風の流れは物体のまわりの流れの現象と同様、複雑な風速分布を呈している。それゆえ、さらに詳細な検討が必要であるが、不連流としての取り扱いが可能のように推測される。

(2) 総越波水量におよぼす風速の影響

越波の飛散は一周りに飛び込む総越波水量 Q_i によって著しく変化するので、 Q_i におよぼす風速 V の影響を知る必要がある。

これまでの内外の研究によれば Q_i は V の影響を著しく受けるが、波の特性、堤脚水深、海底勾配、海岸堤防

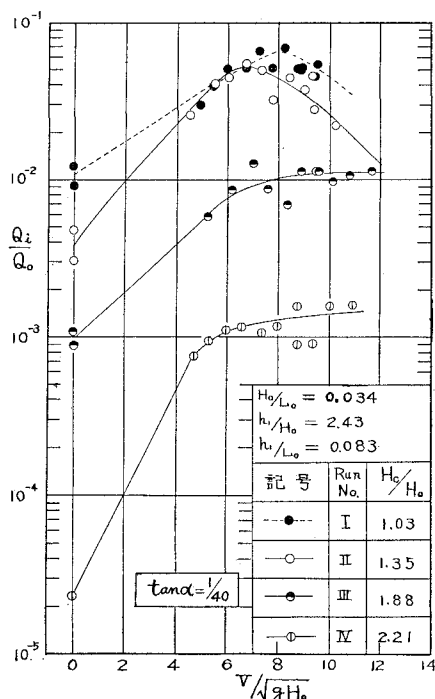
の構造および形状などの要素が競合しており、 V の影響の受け方が非常に異なることが指摘されている^{1), 6) ~ 11)}。

本研究では表-1 より明らかなように重複波水深領域に設置された斜面堤 ($\tan \theta = 1/3$) を対象としているが、越波の飛散を調べるにあたり、 V が Q_i におよぼす影響を明らかにしようとした。

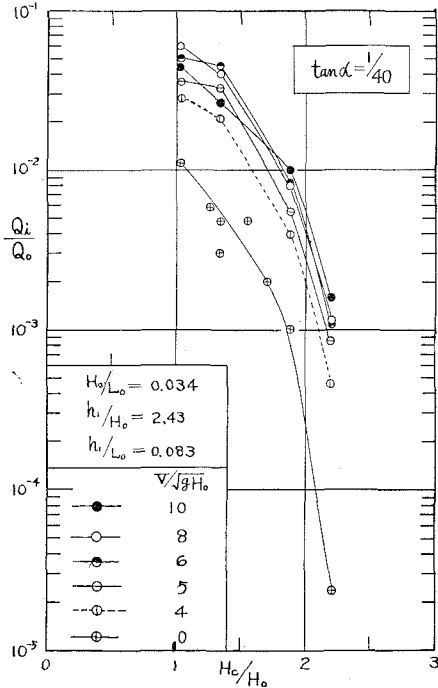
実験の結果は図-5 (a), (b) および (c) に示される。

図-5 (a) は天端高さをパラメーターにして風の影響を表わしたものであるが、天端の比較的高い場合 ($H_c/H_0 \geq 1.88$) は風速の増大とともに総越波水量は増大する。その増大の割合はある風速まで ($V/\sqrt{gH_0} \leq 7$) は急激

図-5 (a) 風速と総越波水量の関係



図—5 (b) 天端高さと総越波水量の関係



であるがそれ以上は増大の割合がきわめて緩慢でほぼ一定値に近似してくる。

これに対して天端の比較的低い場合、($H_c/H_0 \leq 1.35$) はある風速 ($V/\sqrt{gH_0} \leq 7 \sim 8$) までは急激に増大するがそれ以上の風速では漸次減少するようである。この原因は天端の高い場合は波の実質部分の越波よりも大小の分離した水塊が主となる越波現象であるのに対して、天端の低い場合は波の連続体としての実質部分の越波が主となる現象から、風の影響が異なってくるものと考えられる。

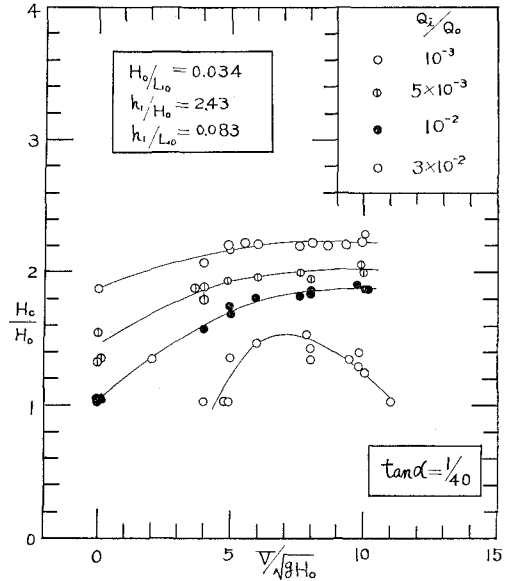
このことは風速がある値以上に増大すると遡上高 (波の実質部分の打ち上げ高) が減少するという永井博士らの実験¹⁾ からも説明できる。

これらの実験結果より、越波を最大にする風速あるいはある風速以上に増大しても越波の増加しないような風速が存在することを示唆しているが、岩垣博士らの実験⁶⁾ からもこのことが推測される (種々の条件における最大越波の風速あるいは上限の越波限界風速については今後の研究課題であろう)。

図—5 (b) は天端高さの影響を風速をパラメーターにして表わしたものであるが、いずれの場合も天端が高くなることによる越波の減少効果の割合は無風、有風とも非常によく似ており、 $H_c/H_0 \geq 1.8$ では Q_i/Q_0 は急激に減少している。

図—5 (c) は同一の総越波水量を与える天端高さと風速の関係を表わしたものである。越波の比較的小さい場

図—5 (c) 同一越波水量を与える風速と天端高さの関係



合 ($Q_i/Q_0 \leq 10^{-2}$) は同一の Q_i/Q_0 を与える必要な H_c/H_0 および $V/\sqrt{gH_0}$ はともに増大し、ある上限の H_c/H_0 でほぼ一定となる。

比較的越波の多い場合 ($Q_i/Q_0 \geq 3 \times 10^{-2}$) ではある風速 ($V/\sqrt{gH_0} \approx 7$) で必要天端高が最大となり、それ以上の風速では必要天端高は減少している。

(3) 水平飛散水量分布におよぼす風の影響

越波した水が背後地に落下するとき各地点における飛散水量強度がどのような分布になるか、また風によってその分布がどのように変化するかなどについてはこれまで十分な研究がなされておらず、見るべき資料はほとんどないように思われる。

本実験では、重複波水深領域に設置された 1:3 の海岸堤防について波形勾配を一定にして、風速および天端高さが越波の水平飛散にどのように影響するかを調べた。

実験の対象とする無次元要素は式 (2) で示されるが、表—2 によれば Run No. I~IV のそれぞれについて A~K の実験が風速の影響を調べる目的であり、A~K のそれぞれについて Run No. I~IV の実験が天端高の影響を調べる目的である。

a) 風速の影響

実験の結果の一部は 図—6 (a)~(d) に示される。

いずれの場合も天端から離れるにしたがい飛散水量は急激に減少することがわかる。

また風速の増大につれて飛散水量は広範囲に分布しているが、天端直後 ($x/H_0 = 0 \sim 1$) は少なくなる傾向にある。このことは風による大小の水塊の吹送効果から、飛散分布が扁平化して広範囲に落下することを意味している。

図-6 (a) $H_c/H_0=1.03$ の水平飛散水量の分布

図-6 (b) $H_c/H_0=1.35$ の水平飛散水量分布

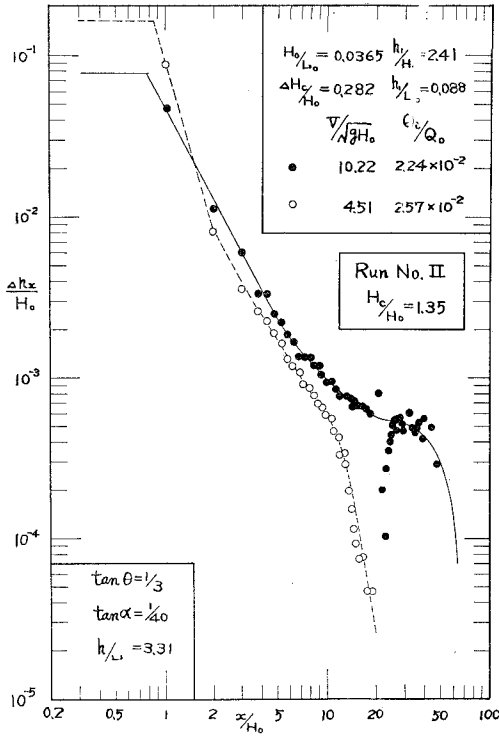
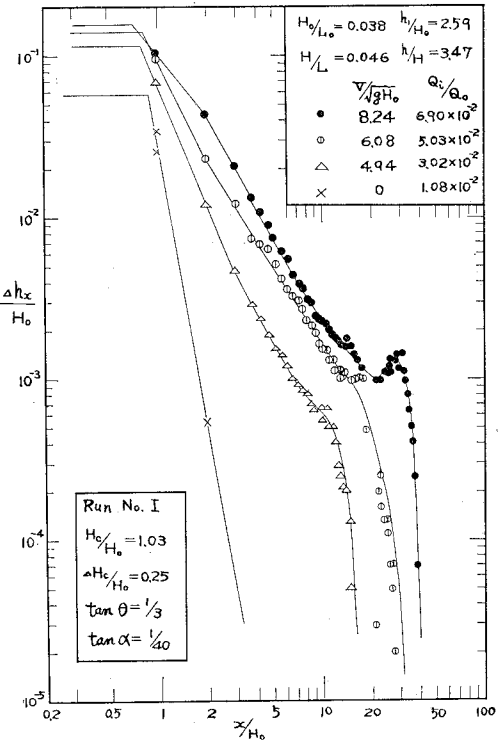


図-6 (c) $H_c/H_0=1.88$ の水平飛散水量分布

図-6 (d) $H_c/H_0=2.21$ の水平飛散水量分布

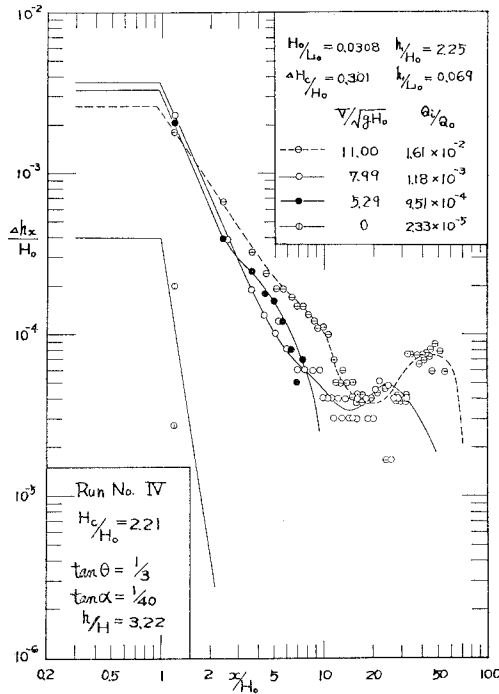
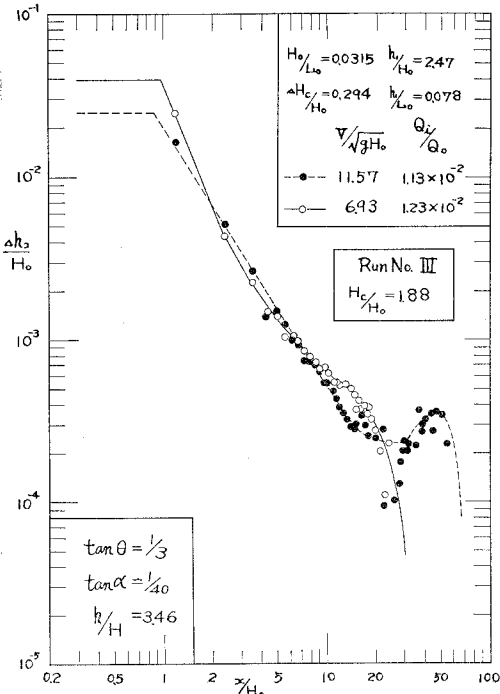


図-7 (a) 無風時の水平飛散水量分布

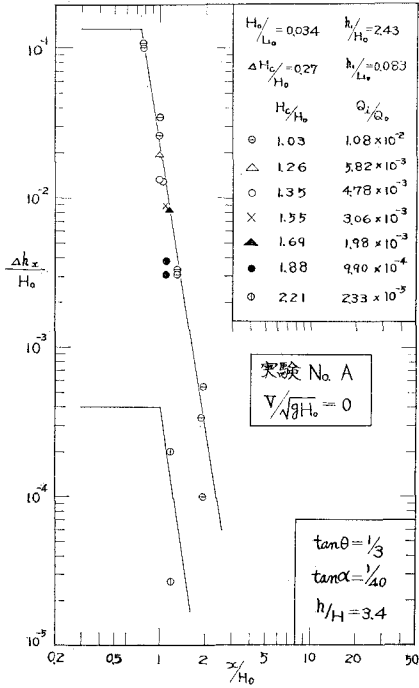
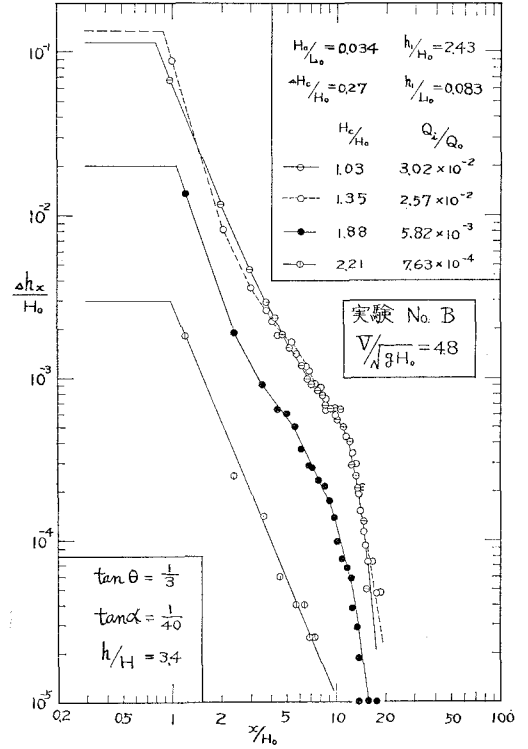
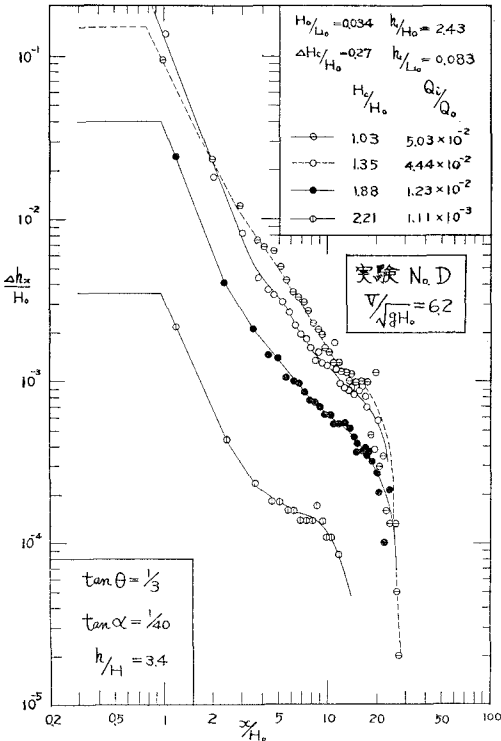
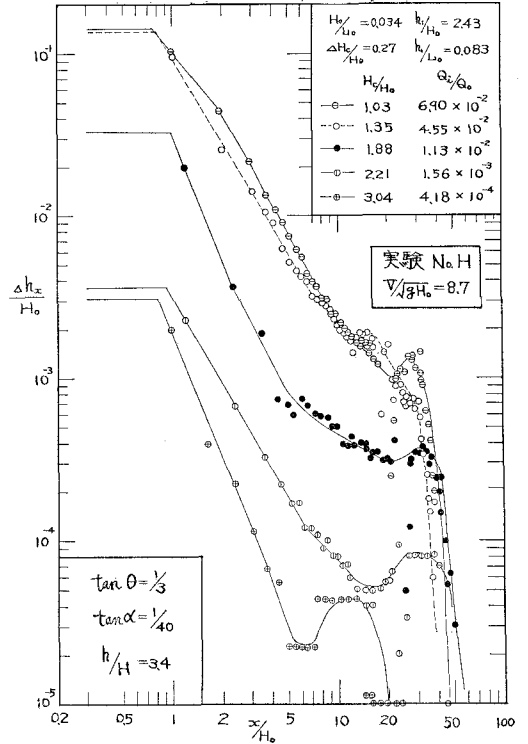
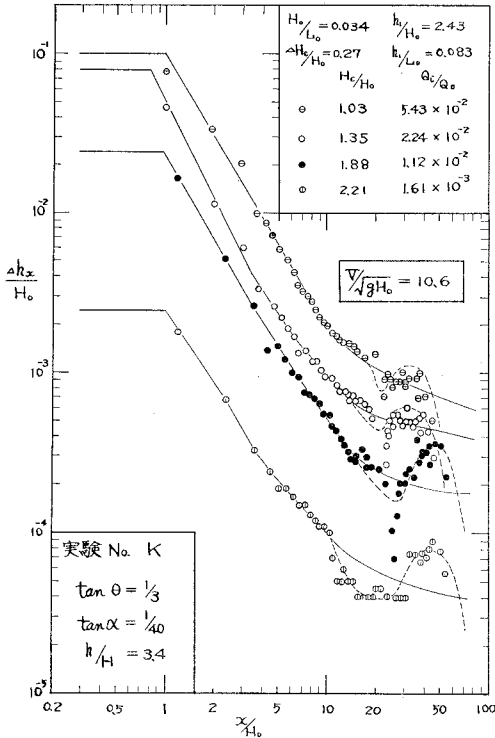
図-7 (b) $V/\sqrt{gH_0} = 4.8$ の水平飛散水量分布図-7 (c) $V/\sqrt{gH_0} = 6.2$ の水平飛散水量分布図-7 (d) $V/\sqrt{gH_0} = 8.7$ の水平飛散水量分布

図-7 (e) $V/\sqrt{gH_0}=10.6$ の水平飛散水量分布

b) 天端高さの影響

実験結果の一部は図-7 (a)~(e) に示される。

いずれの場合も、天端が低くなると越波は増大し飛散水量は全体的に多く、かつ広範囲に落下することがわかる。

しかしその分布曲線の形状は非常によく似ており座標移動すればプロットが近似的に一つの分布曲線で代表させることができるように思われる。このことは天端高によって累積飛散の分布状況があまり変化しないことを意味している。

(4) 累積飛散におよぼす風の影響

越波の飛散分布を表わすもう一つの方法として累積飛散率分布(非超過飛散分布)があげられる。

この方法は式(2)で示すように一周期の総越波水量(単位幅) Q_i に対する累積飛散水量 $\int_0^x \Delta h_x dx$ の割合で示すことができる。

この方法によると、ある地点 x を通過して飛散する水量の総越波水量に対する超過飛散率および天端より x までの間に落下する累積飛散率(非超過飛散率)を知ることができるので、実際の応用においても非常に有益な方法であると考えられる。

天端より x の間に落下する飛散水量の累積飛散率(非超過飛散率) ϵ および超過飛散率 $(1-\epsilon)$ はつぎの式で求められる。

$$\epsilon = \frac{\int_0^x \Delta h_x dx}{Q_i} \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

$$1-\epsilon = \left(1 - \frac{\int_0^x \Delta h_x dx}{Q_i}\right) \times 100 \dots \dots \dots (4)$$

a) 風速の影響

実験で測定した Δh_x , Q_i および x を式(3), (4)で計算した結果が図-8 (a)~(d) に示される。

これらより V が大きいほど ϵ は距離的に漸次広がる分布になることがわかる。

これらの図は対数正規確率紙を応用したものであり、横軸が距離の対数目盛、縦軸が正規分布目盛になっている。

したがってプロットされた点の一つの直線で表わすことができればこの分布は対数正規分布をしているとみなすことができる^{12), 13)}。

これらの図はいずれも $V/\sqrt{gH_0}$ をパラメーターにし

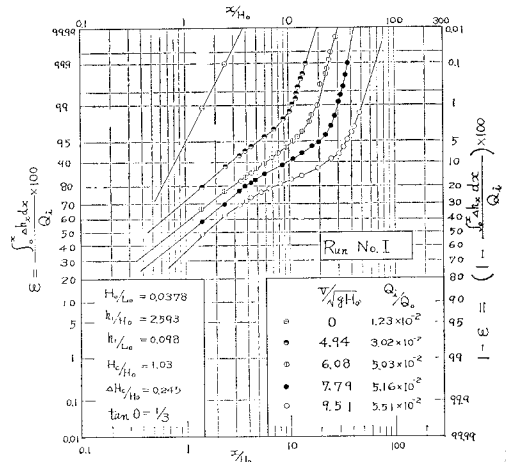
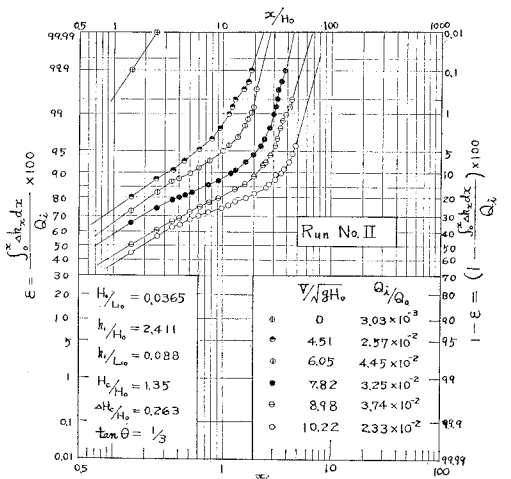
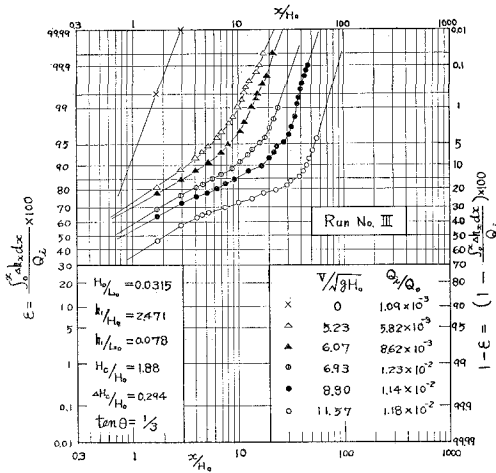
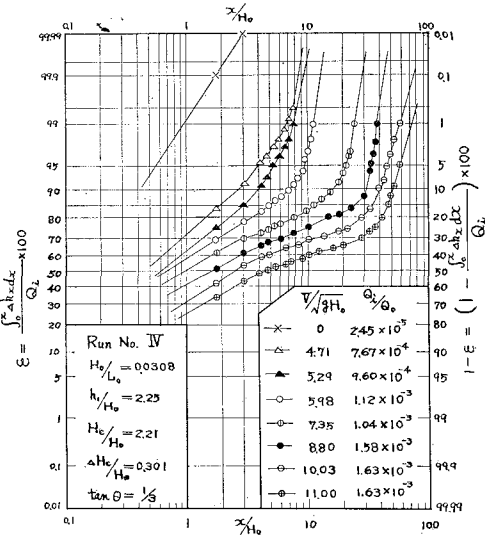
図-8 (a) $H_c/H_0=1.03$ の累積飛散率分布図-8 (b) $H_c/H_0=1.35$ の累積飛散率分布

図-8 (c) $H_c/H_0=1.88$ の累積飛散率分布図-8 (d) $H_c/H_0=2.21$ の累積飛散率分布

でプロットしてあるが、 $V/\sqrt{gH_0}$ が増大すれば ε も漸次広範囲におよぶことがわかる。すなわち同一の ε であるいは $(1-\varepsilon)$ に対する x/H_0 は大きくなることを示している。

なお、プロットされた点は一般に一本の直線で表わすことはできないけれども、天端よりある距離まではほぼ直線的に変化することから、天端付近は巨視的に対数正規的な分布をしていると考えて差し支えないように思われる。

累積飛散率に対数正規分布をして変化する範囲は風速および天端高さに影響されるが、一般に風速の比較的小さい ($V/\sqrt{gH_0}=0\sim5$) 場合は累積飛散率 $\varepsilon \approx 99\%$ まで近似的に対数正規分布的な分布をしている。

風速の比較的大きい場合 ($V/\sqrt{gH_0} > 5$) で $H_c/H_0 \leq 1.88$ は $\varepsilon \approx 90\sim95\%$ まで対数正規的な分布とみさせるが、 $H_c/H_0 \geq 2.21$ では $\varepsilon \approx 80\sim90\%$ まで対

数正規分布に近似していると考えられる。

このように天端付近の越波の累積飛散率が対数正規分布をしていると近似的にみなすことができるので、累積飛散分布関数形 $\varepsilon(\xi)$ はつぎのように式で表わすことができる。

$$\varepsilon(\xi) = \frac{\int_0^x \Delta h_x dx}{Q_i} \times 100 = 100 \int_{-\infty}^{\xi} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\xi^2}{2}} \right) d\xi \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中

$$\xi = \frac{\log_{10} \left(\frac{x/H_0}{x_0/H_0} \right)}{\sigma_0} \quad \dots\dots\dots (6)$$

x_0 : $\varepsilon=50\%$ の飛散距離

σ_0 : $\varepsilon=x_0$ に対する標準偏差

$$\log_{10} \frac{x_0}{H_0} = \frac{\sum_{n=1}^{(\Delta Q_x)_n} \log_{10} \left(\frac{x}{H_0} \Delta Q_x \right)}{Q_i} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{(\Delta Q_x)_n} \left(\log_{10} \frac{x}{H_0} - \log_{10} \frac{x_0}{H_0} \right)^2 \Delta Q_x}{Q_i}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

n : 飛散水量測定受箱(スリット)の番号

$(\Delta Q_x)_n$: 各スリットの飛散水量

図-9 (a)~(d) は種々の累積飛散率と飛散水平距離

図-9 (a) $H_c/H_0=1.03$ が同一累積飛散率を与える $V/\sqrt{gH_0}$ と x/H_0

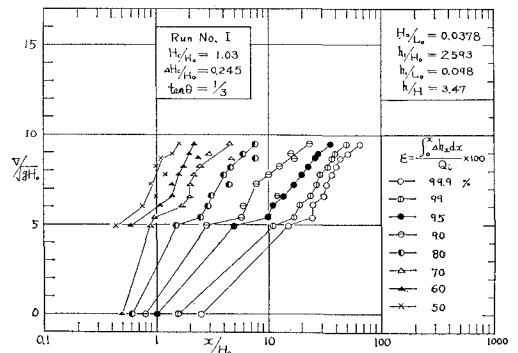


図-9 (b) $H_c/H_0=1.35$ が同一累積飛散率を与える $V/\sqrt{gH_0}$ と x/H_0

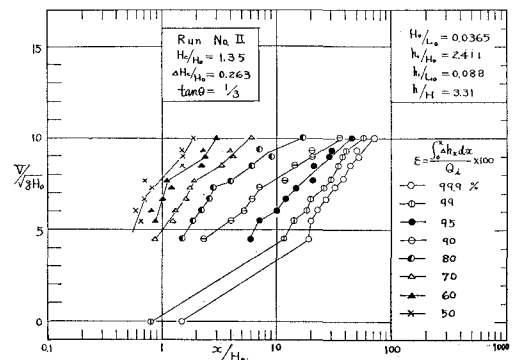


図-9 (c) $H_c/H_0=1.88$ が同一累積飛散率
を与える $V/\sqrt{gH_0}$ と x/H_0

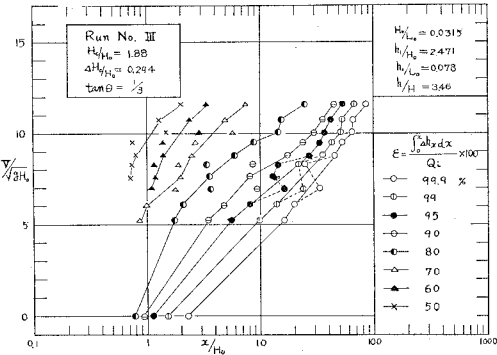
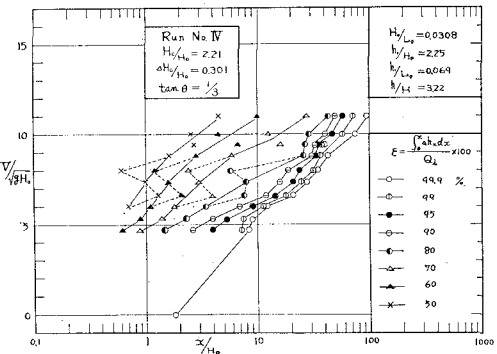


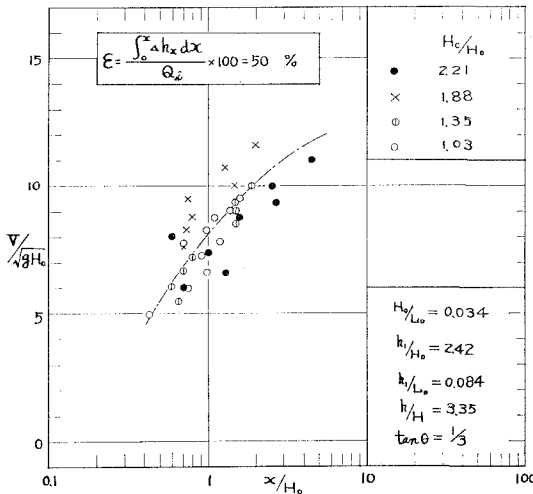
図-9 (d) $H_c/H_0=2.21$ が同一累積飛散率
を与える $V/\sqrt{gH_0}$ と x/H_0



が風速によってどのように変化するかを調べたもので、横軸に x/H_0 、縦軸に $V/\sqrt{gH_0}$ をとり、 ϵ をパラメーターにして示してある。

いずれの場合も、 $V/\sqrt{gH_0}$ の増大につれて同一の ϵ を与える x/H_0 は大きくなるが、その増大の割合は x/H_0 を対数とした片対数紙上近似的にほぼ直線とみなすこと

図-10 (a) 累積飛散率 $\epsilon=50\%$ の
 $V/\sqrt{gH_0}$ と x/H_0



ができる。

同一の ϵ に対する $V/\sqrt{gH_0}$ と x/H_0 の関係は次式で表わされると考えられる。

$$V/\sqrt{gH_0} + \alpha = \beta \log \frac{x}{H_0} \dots\dots\dots (9)$$

式中

α, β : ϵ および H_c/H_0 によって変化する実験定数 ($\alpha < 0, \beta > 0$)

b) 天端高の影響

種々の ϵ (50, 70, 90 および 9.99%) が H_c/H_0 によってどのように変化するかを調べた結果が図-10 (a) ~ (d) に示される。

プロットされた点は不規則に変動していることから、 H_c/H_0 の影響を明確にすることはこれだけの実験からは不十分であるが、一般に変動量は少なく H_c/H_0 の影響は著しくないことがわかる。とくに ϵ の大きいほ

図-10 (b) 累積飛散率 $\epsilon=70\%$ の
 $V/\sqrt{gH_0}$ と x/H_0

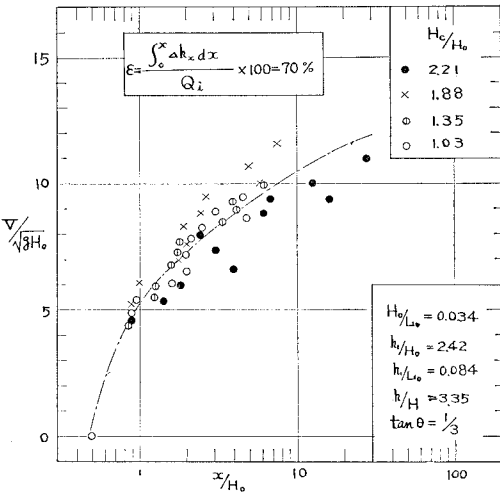


図-10 (c) 累積飛散率 $\epsilon=90\%$ の
 $V/\sqrt{gH_0}$ と x/H_0

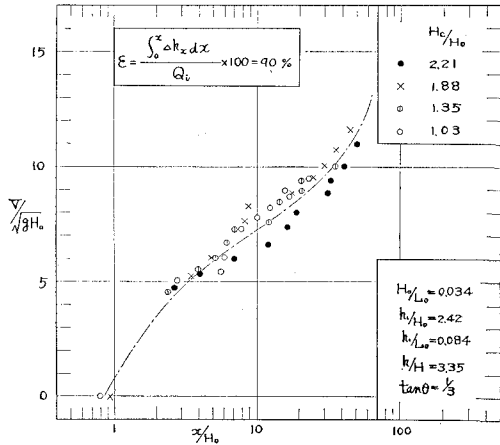
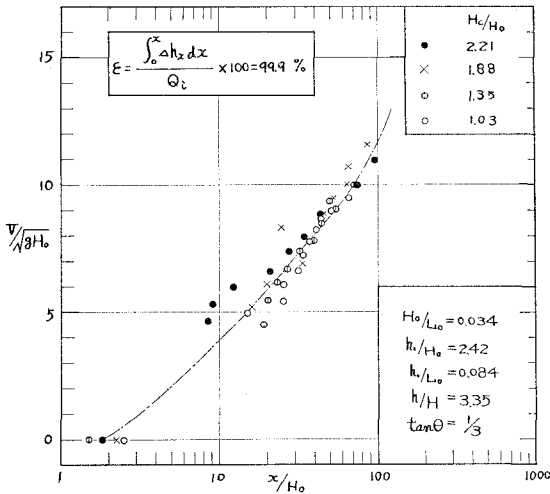
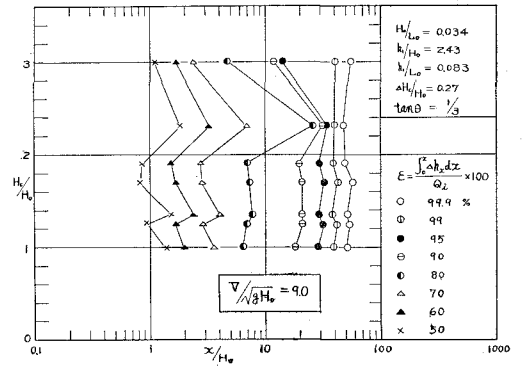
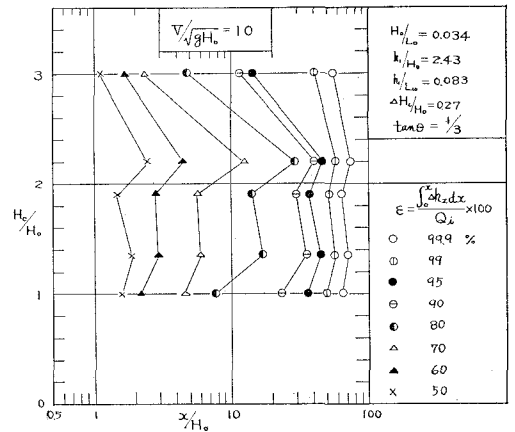
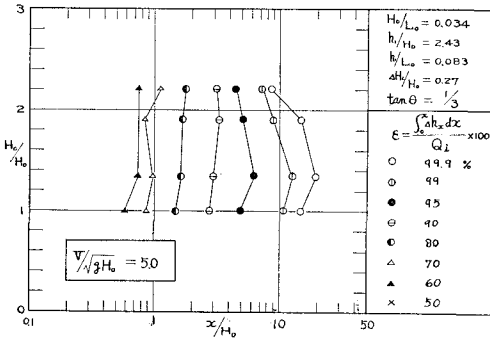
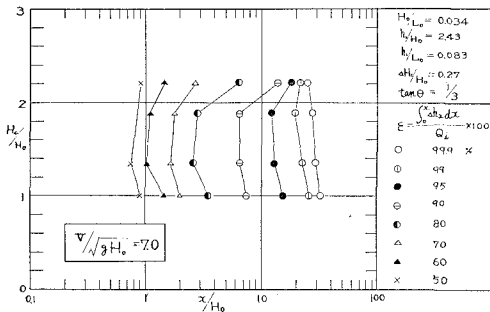


図-10 (d) 累積飛散率 $\varepsilon=99.9\%$ の $V/\sqrt{gH_0}$ と x/H_0 図-11 (c) $V/\sqrt{gH_0}=9.0$ の累積飛散率分布図-11 (d) $V/\sqrt{gH_0}=10$ の累積飛散率分布図-11 (a) $V/\sqrt{gH_0}=5.0$ の累積飛散率分布図-11 (b) $V/\sqrt{gH_0}=7.0$ の累積飛散率分布

ど H_0/L_0 の影響が少なくなる傾向にある。

以上のように、天端高さによる累積飛散率はあまり影響を受けないことが一般に認められるが 図-11 (a)～(b)においても示すことができる。しかし、図-11 (c)、(d)において累積飛散率を最大(同一の ε に対する最大飛散距離)にする天端高さの存在が推測されるのでこれらについてはより詳細な実験をして検討しなければならないであろう。

5. 結 論

越波の飛散に関係する要素は非常に多く、種々の要素が競合しているが風の影響がとくに著しい。

本研究は重複波水深領域に設置された傾斜式 (1:3) の海岸堤防について、風の影響が越波の水平飛散にどのような影響を及ぼすかを実験的に考察したものであり、飛散水量分布および累積飛散率 (非超過飛散率) と風速の関係について二、三の新しい成果を得ることができた。

しかし、越波の飛散の相似性については議論ができなかったので現地への応用にあたってはさらに表面張力の影響などを考慮して相似性の面より検討すべきであろう。

主な実験結果を要約すればつぎのとおりである。

(1) 海岸堤防は風に対して一種の障害物となり堤体背面の風速分布は複雑である。

とくに天端付近は沖側の一様風速よりかなり増大し、最大 1.5～1.8 倍になる地点がある。

(2) 総越波水量は風速の大きいほど一般に増大するが、 $V/\sqrt{gH_0} \geq 7$ では増加の割合は非常に少なく、ある風速以上になると一定値に近似するので越波水量には

限界値がある。

また天端の比較的低い場合 ($H_c/H_0 \leq 1.35$) はある風速以上になると減少するので越波を最大にするような風速がある (最大越波風速の存在)。

(3) 越波の水平飛散水量は天端付近が最大であり、天端を離れると急激に減少する。

風速が大きくなるほど、また天端が低いほど飛散水量は広範囲に拡散して落下する。

(4) 累積飛散率 (非超過飛散率) は天端よりある距離までは対数正規分布的な分布をしており式 (5) で表わされ、その適用範囲は風速と天端高によって変化する。

一般に風速の小さい場合 ($V/\sqrt{gH_0} = 0 \sim 5$) は $\varepsilon \approx 99\%$ まで、風速の大きい場合 ($V/\sqrt{gH_0} > 5$) では $\varepsilon = 80 \sim 95\%$ まで対数正規分布をしていると考えられる。そしていずれの場合も天端が低いほど適用範囲が広い。

飛沫が対象となる比較的低い方における飛散は対数正規分布より内側に分布する (実験の飛沫の飛散水量の方が少ない)。

(5) 風速が大きいくほど累積飛散分布は距離的に漸次広がる分布になるが、天端高による影響は比較的小なく相関性が薄い。したがって、風速が与えられると累積飛散曲線は天端高の高低にあまり左右されず、一つの分布曲線で近似できる。

謝辞：本研究をまとめるにあたり名古屋大学足立昭平教授に終始ご指導を賜わり、実験の一部に文部省科学研究費 (特定研究 2 件、研究代表者 北海道大学尾崎晃教授、名大足立昭平教授) のご援助を戴いた。

また、2 次元造波風洞水槽を新設するにあたり本学の三浦幸平学長、結城朝蒸副学長、および河津彦一主任教

授の絶大なご援助を戴いた。

ここに記して深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 永井莊七郎・上田伸三：風と波を考慮した海岸堤防の形状と構造に関する研究，第7回海岸工学講演会講演集，昭 35.11.
- 2) 岩垣雄一・土屋義人・井上雅夫：風洞水槽を用いた海岸堤防の越波に関する研究 (I)，第9回海岸工学講演会講演集，昭 37.10.
- 3) 建設省中部地方建設局：由比海岸工事誌，昭 41.3.
- 4) 高田 彰：海岸堤防の越波の飛散 (水平) 分布について一のり面勾配の影響一，第15回海岸工学講演会講演集，昭 43.12.
- 5) 足立昭平・高田 彰：海岸浸食におよぼす消波堤の影響，中部地区の災害の地域的特性に関する総合的報告書 (文部省特定研究，代表者名大理学部，松沢勲教授)，昭 42.12.
- 6) 岩垣・井上・大堀：風洞水槽を用いた海岸堤防の越波に関する研究 (2) 一鉛直堤の越波におよぼす風の影響に関する実験一，第12回海岸工学講演会講演集，昭 40.11.
- 7) Paape, A. : Experimental data on the overtopping of seawalls by waves, Proc. of 7th. Conf. on Coastal Engineering Vol. 2, 1961, pp. 674~681.
- 8) 高田 彰：不透過壁面の線形および透過斜面の空隙が越波量におよぼす影響について，第14回海岸工学講演会講演集，昭 42.10.
- 9) 岩崎敏夫・沼田 淳：消波工の越波防止効果に関する実験，第14回海岸工学講演会講演集，昭 42.10.
- 10) 富永正照・佐久間襄：海岸堤防の越波について，第15回海岸工学講演会講演集，昭 43.12.
- 11) 永井・高田：海岸堤防の越波に及ぼす消波堤の効果，第11回海岸工学講演会講演集，昭 39.11.
- 12) 椿 東一郎・荒木正夫：水理学演習，下巻，森北出版，昭 40 版，pp. 140~141.
- 13) 依田 浩：技術者の統計学，宝文館，昭 43 版，pp. 192~198.