

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第2893号

土 木 研 究 所 資 料

人工リーフ被覆材の 所要重量算定法

平成2年8月

建設省土木研究所
河川部海岸研究室

[Copyright © (1990) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、上木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、上木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

土木研究所資料第2893号

人工リーフ被覆材の所要重量算定法

本文中に誤りがありましたので、

訂正をお願い致します。

訂正箇所 26ページ

誤 $K_{\underline{u}} = S_n^3 f_u^6 K_v^{\underline{3}}$

正 $K_{\underline{L}} = S_n^3 f_u^6 K_v$

人工リーフ被覆材の 所要重量算定法

海岸研究室 室長 宇多高明
研究員 小俣 篤
齋 藤 友 伸

要 旨

人工リーフ被覆材の所要重量算定式の一般化を図った。宇多ほか（1988）の与えた算定式では、 $R/H_o' < 0.4$ かつ $H_o'/h < 0.3$ の条件が計算式の適用範囲外とされた。ここに、 R :天端水深、 H_o' :沖波波高、 h :堤脚水深である。本研究では、この条件においても被覆材の所要重量を算定可能な計算式を導くために、耐波安定性実験を行った。まず、 $R/H_o' < 0.4$ 、 $H_o'/h < 0.3$ の条件でも適用可能な岸向き最大流速の算定式を導いた。次に、被覆材の安定条件が前報と同様、安定係数 $S_n = 0.9$ で与えられることを示した。以上の実験データに基づき、人工リーフ被覆材の所要重量を与える一般式を導いた。

キーワード：人工リーフ、岸向き最大流速、被覆材、安定条件、所要重量算定式

目 次

1. まえがき	1
2. 実験方法	2
3. 人工リーフ表面上の岸向き最大流速	5
3.1 岸向き最大流速と碎石移動の発生状況	5
3.2 岸向き最大流速の算定式	8
4. 所要重量の算定式	11
4.1 堤体内の浸透流	11
4.2 所要重量の算定式の誘導	12
5. 天端上被覆材料の所要重量の低減	28
6. 結 論	30
参考文献	31
付 録	33

1. まえがき

人工リーフは天然のサンゴ礁を模倣した天端幅の広い潜堤であり、捨石等の材料を用いて建設される。これによれば、景観を損なうことなしに消波を行うことができる。これまでの研究（宇多ほか、1988；以下前報という）によれば、人工リーフの波浪減殺効果や、平面配置と海浜流パターンの関係等が明らかにされ、人工リーフ諸元の選定法も示されている。また、人工リーフの表面を被覆する被覆材の所要重量を算定する式も導かれている。しかし、前報で示した被覆材の所要重量算定式は、天端水深 R と換算沖波波高 H_0' との比 R/H_0' が0.4より大きく、かつ H_0' と堤脚水深 h との比 H_0'/h が、0.3以上の範囲での実験をもとに作成されたものであるため、 $R/H_0' < 0.4$ および $H_0'/h < 0.3$ の範囲は適用外とされた。しかし人工リーフの実際の設計に際しては、設計条件がこの範囲に入ることもしばしばであり、計算式の利用上不便であった。そこで本報では、前報の実験範囲を補充するために、 $R/H_0' < 0.4$ および $H_0'/h < 0.3$ の範囲で人工リーフの耐波安定性実験を行い、人工リーフ被覆材の所要重量算定式の一般化を図った。

2. 実験方法

実験には、前報と同様、長さ33m、幅60cmの2次元造波水路を用い、水路内に1/30勾配の木製斜面を設置した(図-1)。実験では、堤脚位置の異なる2種類の人工リーフ模型(図-1参照)を用い、さらに水位を変化させることでRとhを変化させた。ここで、天端水深R、堤脚水深hの定義を図-2に示す。また、実験ケースと波浪条件を表-1に示す。なお、模型1、2ともにのり勾配は1/3である。また、岸沖方向の座標Xは人工リーフの沖側のり肩に原点を取り、岸向きを正とする。

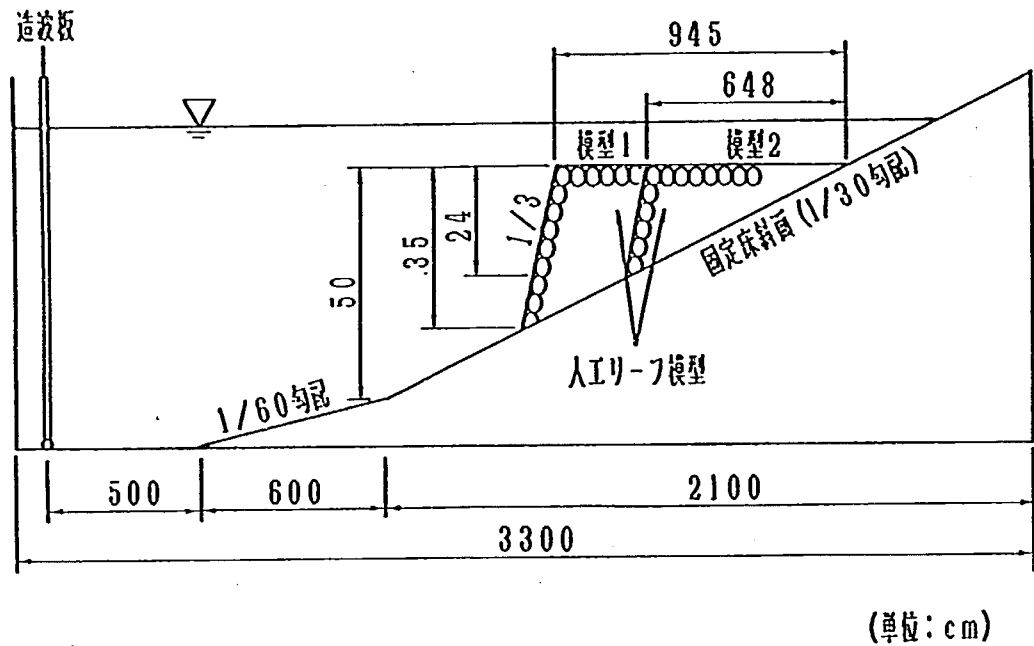


図-1 実験水路

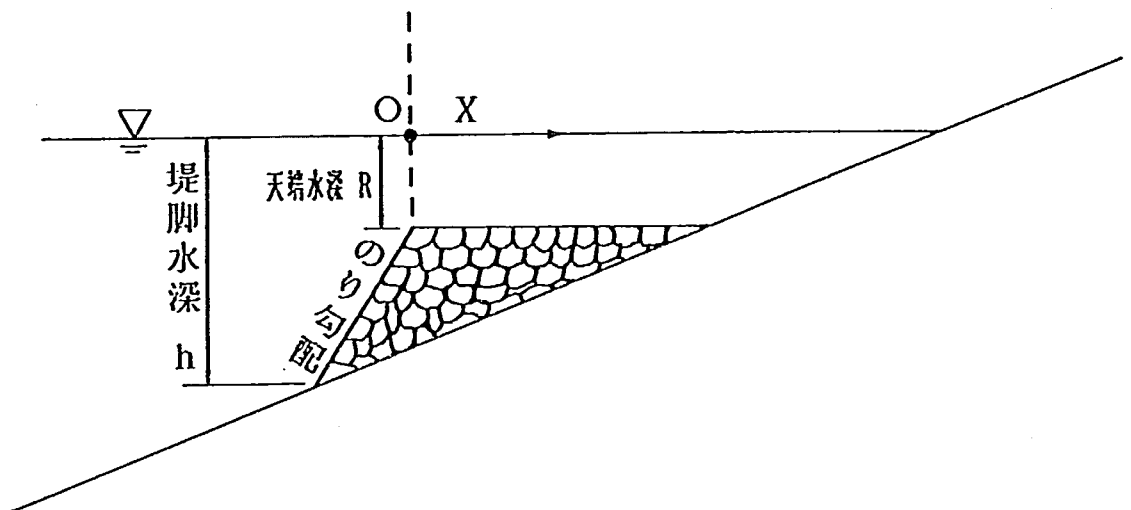


図-2 人工リーフの模式図

表-1 実験ケース

Case No.	堤脚水深 h(cm)	天端水深 R(cm)	沖波波高 H ₀ ' (cm)	周期 T(s)	H ₀ ' / h	R / H ₀ '
1	34.0	-1.0	6.8	2.1	0.20	-0.15
2	34.0	-1.0	6.8	1.0	0.20	-0.15
3	34.0	-1.0	10.2	2.6	0.30	-0.10
4	34.0	-1.0	10.2	1.3	0.30	-0.10
5	35.0	0.0	7.0	2.1	0.20	0.00
6	35.0	0.0	7.0	1.1	0.20	0.00
7	35.0	0.0	10.5	2.6	0.30	0.00
8	35.0	0.0	10.5	1.3	0.30	0.00
9	36.0	1.0	7.5	2.2	0.21	0.13
10	36.0	1.0	7.5	1.1	0.21	0.13
11	36.5	1.5	7.3	2.2	0.20	0.21
12	36.5	1.5	7.3	1.1	0.20	0.21
13	36.5	1.5	10.4	2.7	0.28	0.14
14	36.5	1.5	11.0	1.3	0.30	0.14
15	36.5	1.5	14.0	2.0	0.38	0.11
16	36.5	1.5	14.6	1.5	0.40	0.10
17	25.5	1.5	5.0	1.8	0.20	0.30
18	25.5	1.5	5.0	0.9	0.20	0.30
19	25.5	1.5	7.5	2.2	0.29	0.20
20	25.5	1.5	7.5	1.1	0.29	0.20
21	26.0	2.0	5.0	1.8	0.19	0.40
22	26.0	2.0	5.0	0.9	0.19	0.40
23	26.0	2.0	10.0	2.5	0.38	0.20
24	26.0	2.0	10.0	1.3	0.38	0.20
25	26.5	2.5	5.0	1.8	0.19	0.50
26	26.5	2.5	5.0	0.9	0.19	0.50
27	26.5	2.5	8.0	2.3	0.30	0.31
28	26.5	2.5	8.0	1.1	0.30	0.31
29	27.0	3.0	8.0	2.3	0.30	0.38
30	27.0	3.0	8.0	1.1	0.30	0.38
31	27.0	3.0	10.8	2.6	0.40	0.28
32	27.0	3.0	10.8	1.3	0.40	0.28
33	28.0	4.0	8.0	2.3	0.29	0.50
34	28.0	4.0	8.0	1.1	0.29	0.50
35	28.0	4.0	10.6	2.7	0.38	0.38
36	28.0	4.0	11.2	1.3	0.40	0.36
37	30.0	6.0	11.3	2.8	0.38	0.53
38	30.0	6.0	12.0	1.4	0.40	0.50

人工リーフ模型は碎石を用いて製作した。耐波安定性実験では各ケースごとに碎石の粒径を3種類変化した。使用した碎石は次の通りである。

①19.1mmのフルイを通過し、15.9mmのフルイに残留する碎石：代表粒径 $d_R=17.5\text{mm}$

②15.9mmのフルイを通過し、12.7mmのフルイに残留する碎石：代表粒径 $d_R=14.3\text{mm}$

③12.7mmのフルイを通過し、9.5mmのフルイに残留する碎石：代表粒径 $d_R=11.1\text{mm}$

実験では波を300波作用させ、碎石の移動状況をビデオ撮影すると共に、造波終了時にリーフ形状を測定して碎石の移動量を調べた。リーフ形状の測定には超音波式の砂面測定機を用いた。また、人工リーフ堤体を浸透する流れの状況を調べるため、のり面の中央付近においてスポイトを用いて染料を注入し、染料の拡散状況をビデオ撮影した。

人工リーフ表面上の流速は、リーフ表面上5mmの高さに設けた多数の測点（図-3参照）において超音波式流速計により測定した。流速の測定は、 $d_R=17.5\text{mm}$ の碎石を敷き並べたリーフ模型で行った。この場合、碎石が移動して流速計に触れないよう表面に金網を張り、碎石を固定した。流速測定の時間間隔は50msecとし、約20波測定して岸向きピーク流速の位相平均値 u_m の岸沖分布をもとめた。

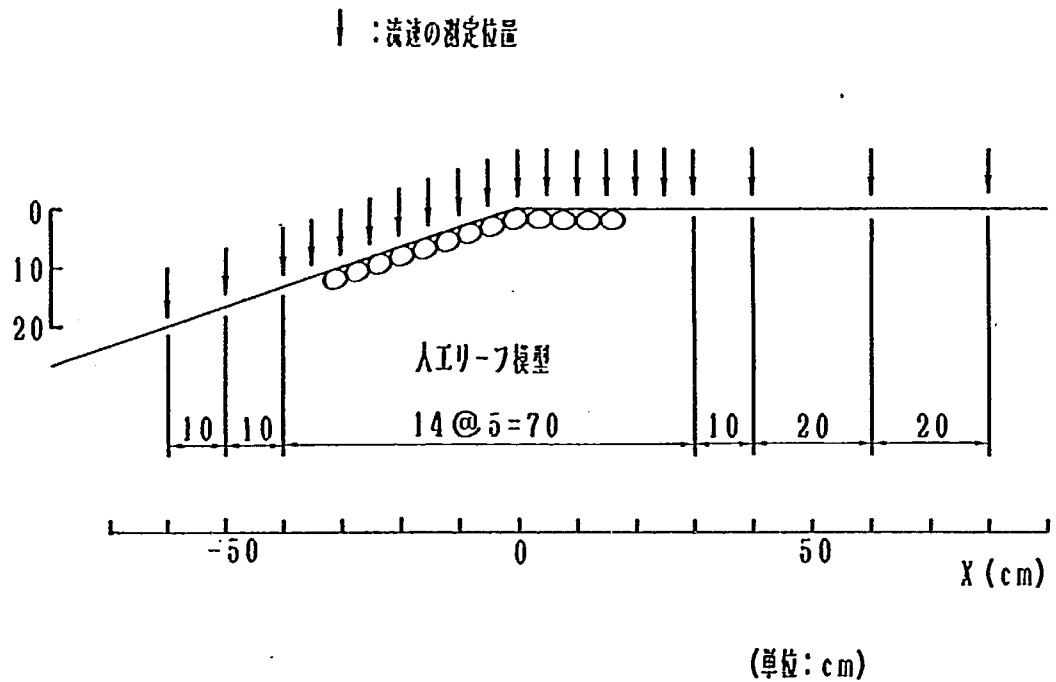


図-3 流速の測定位置

3. 人工リーフ表面上の岸向き最大流速

3.1 岸向き最大流速と碎石移動の発生状況

前報（宇多ほか、1988）では人工リーフの安定性を支配する因子として、リーフ上の各地点の岸向きピーク流速 u_m の最大値である岸向き最大流速 u_{max} を導入し、 R/H_o' あるいは H_o'/h が小さくなるほど u_{max} は大きく、かつ碎石の移動状況も激しくなることを示した。しかし、 $R/H_o' < 0.4$ かつ $H_o'/h < 0.3$ の範囲に関してはデータがなく、 u_{max} および碎石の移動状況の分布は不明であった。そこで、この範囲について実験を行い、前報と同様に u_{max} の測定結果を R/H_o' と H_o'/h により整理した（図-4(a)、(b)）。(a)は沖波波高配 $H_o'/L_o \geq 0.02$ の場合、(b)は $H_o'/L_o < 0.02$ の場合である。(a)では、 H_o'/h が一定の場合には全体として R/H_o' が小さいほど u_{max} が大きい傾向が見られる。一方、 R/H_o' を一定としてみると H_o'/h が0.3~0.4を境として傾向が変わり、 H_o'/h が3.0~0.4以上では前報同様に H_o'/h が小さくなるほど u_{max} は大きくなるが、 H_o'/h が0.3~0.4より小さくなると逆の傾向となる。また、この状況は(b)の波形勾配が小さい場合にも同様である。このように、 H_o'/h 以上0.3~0.4の場合を境として u_{max} の変化傾向は大きく異なる。

次に、碎石の移動状況を R/H_o' と H_o'/h により整理した（図-5）。この図も図-4と同様に(a) $H_o'/L_o \geq 0.02$ と(b) $H_o'/L_o < 0.02$ とに分かれている。ここでは、碎石の移動状況が最も顕著であった粒径（ $d_r = 11.1\text{mm}$ 、ただし前報における $d_r = 12.2\text{mm}$ の場合も加えた）のケースでの移動状況を示す。碎石の移動状況は前報と同様であったので、移動状況は前報と同じく以下の5段階に分類した。

A：静止（no motion）

B：動揺（rocking）

C：岸向きのわずかな移動あり

D：岸向きに多数が移動する

E：岸・沖向きに多数が移動する

H_o'/h を一定にして見ると、全体的に R/H_o' が小さいほど碎石の移動状況は著しい。この傾向は(a)、(b)共に共通している。一方、 R/H_o' が一定の場合、 H_o'/h の値が0.3~0.4で移動状況が最も激しく、これより H_o'/h の値が小さくなると碎石の移動はあまり生じなくなる。また、この傾向も(a)、(b)共に共通しているが、 H_o'/L_o が小さい(b)では碎石の移動が激しい範囲が(a)より小さな H_o'/h にまで広がっている。

以上のことから、 $H_o'/h < 0.3$ 、 $R/H_o' < 0.4$ の範囲でも前報同様に u_{max} と碎石の移動状況は良く対応することが明らかとなった。しかし、 H_o'/h が0.3~0.4以下では前報と異なる分布形状にあり、 H_o'/h が小さいほど u_{max} も小さく、碎石の移動もあまり生じなくなることがわかった。

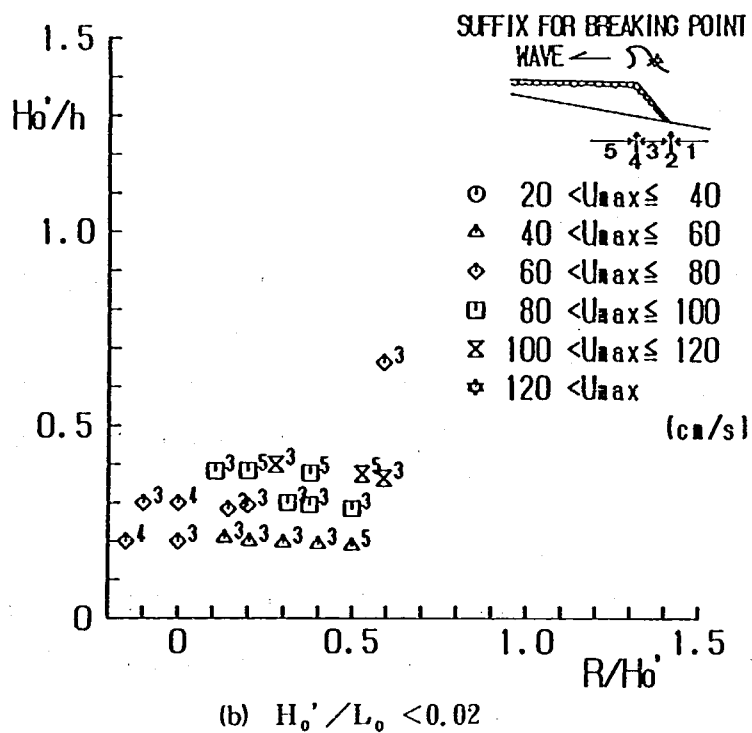
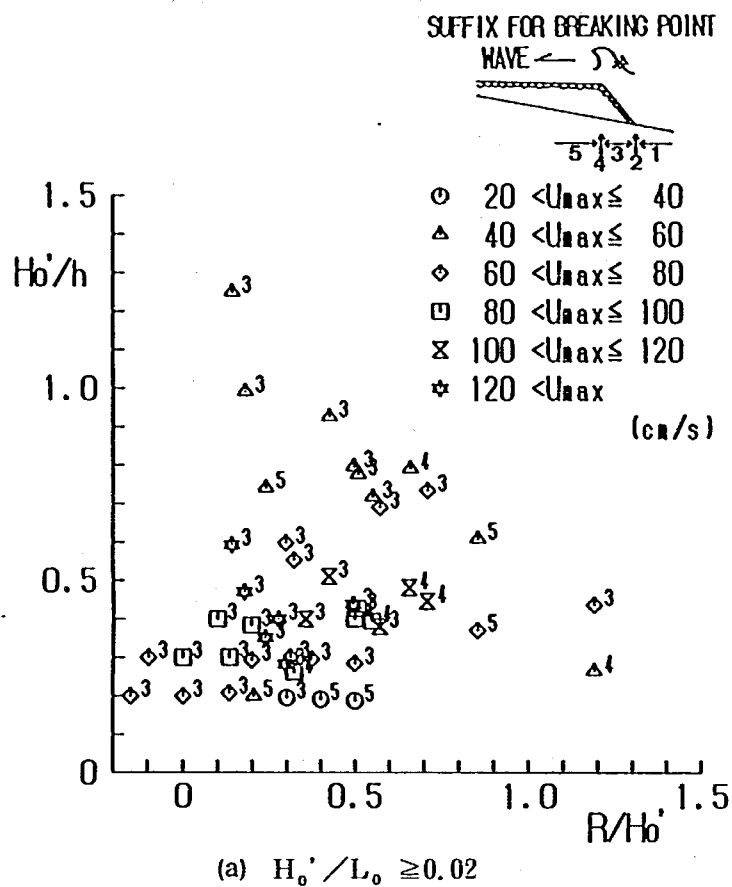


図-4 岸向き最大流速の発生状況

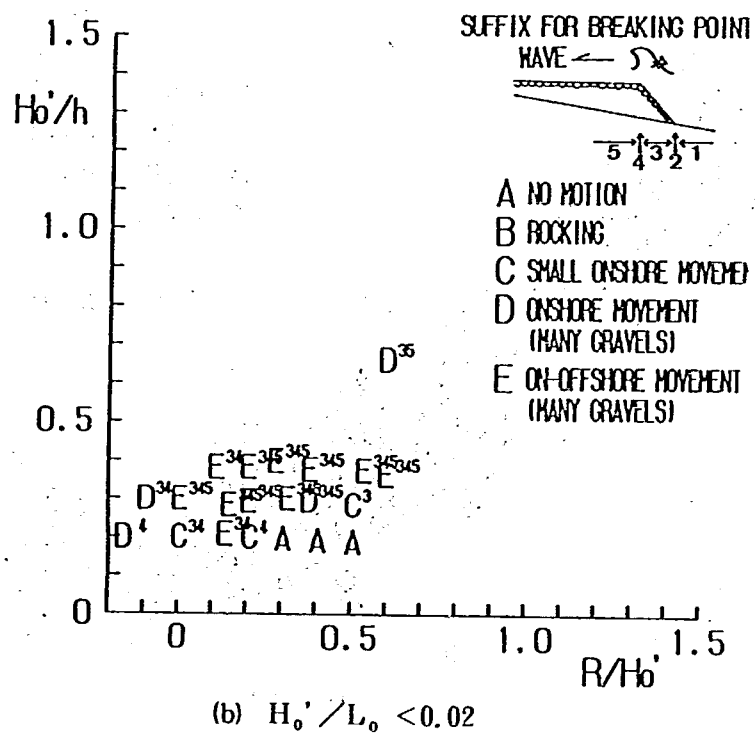
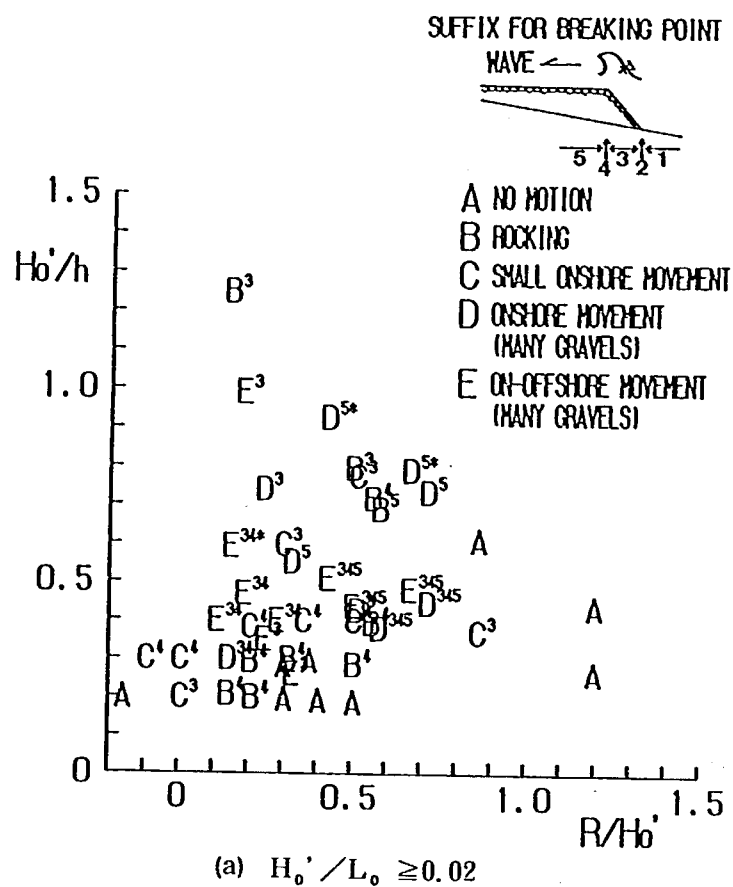


図-5 碎石の移動状況 ($d_R=11.1 \sim 12.2$ mm)

3.2 岸向き最大流速の算定式

$H_0'/h < 0.3$ 、 $R/H_0' < 0.4$ の範囲においても人工リーフ表面上の岸向き最大流速と碎石の移動状況とが良く対応することが明らかとなったので、前報で求めた $u_{\max}$ の算定式の適用範囲を広げることができれば、所要重量算定式を一般化することができる。そこで前報同様に実験データをもとに $u_{\max}$ の算定式を求める。

天端付近の流速について浅海長波付近が成立するとすれば、 $u_{\max}$ は $\sqrt{gR}$ に比例することから、前報では $u_{\max}/\sqrt{gR}$ を無次元流速として定式化した。しかし、その後の検討によれば、リーフ上で生じるwave set-upを考慮した天端水深を用いる方が $u_{\max}$ のデータがよく整理されることが分かった。そこで、人工リーフ上の水位上昇量 $\bar{\eta}$ (図-6) を

$$\bar{\eta} = 0.2H_0' - 0.1R \quad (1)$$

と表し、 R に $\bar{\eta}$ を加えた水深を用いて、無次元化に用いる代表速度を $\sqrt{g(R+\bar{\eta})}$ とした。 R/H_0' をパラメータとしたときの H_0'/h と $u_{\max}/\sqrt{g(R+\bar{\eta})}$ の関係を図-7に示す。(a)は $H_0'/L_0 \geq 0.02$ のケース、(b)は $H_0'/L_0 < 0.02$ のケースである。(a)では、 $u_{\max}/\sqrt{g(R+\bar{\eta})}$ は R/H_0' が増加するにつれ減少し、前報と同様の傾向を示す。一方、 R/H_0' を一定とすると $H_0'/h=0.4$ 付近にピークがあり、 $H_0'/h > 0.4$ では H_0'/h が大きくなると $u_{\max}/\sqrt{g(R+\bar{\eta})}$ は指数関数的に減

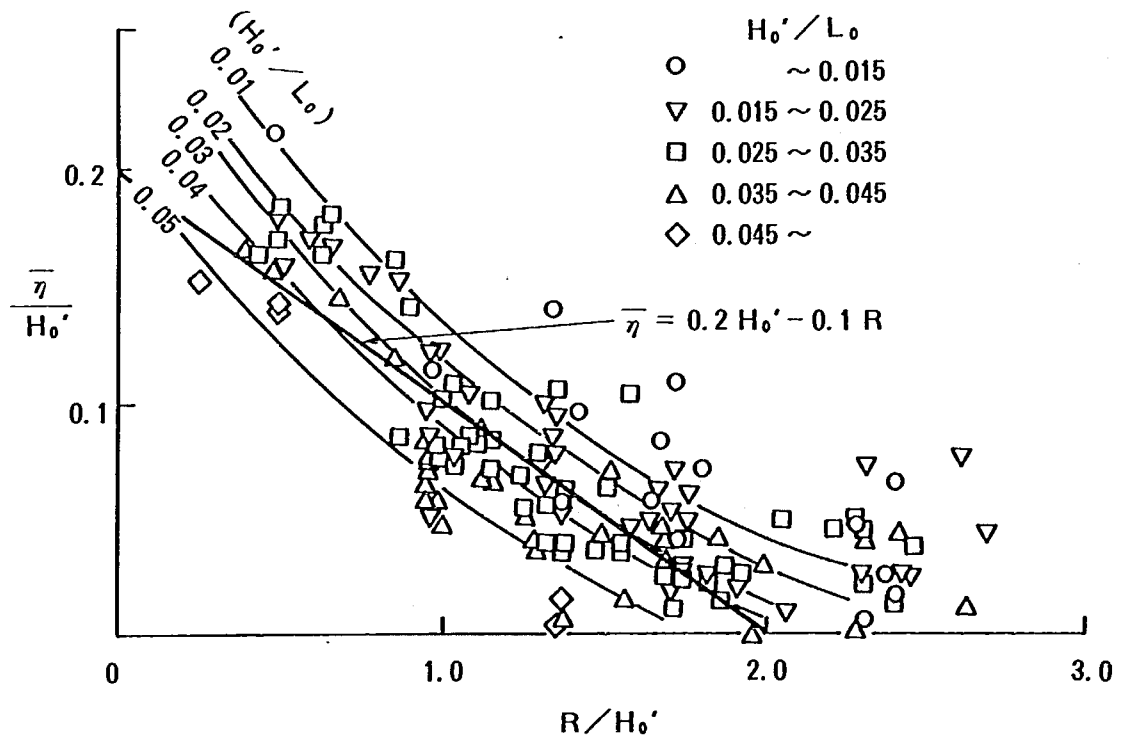
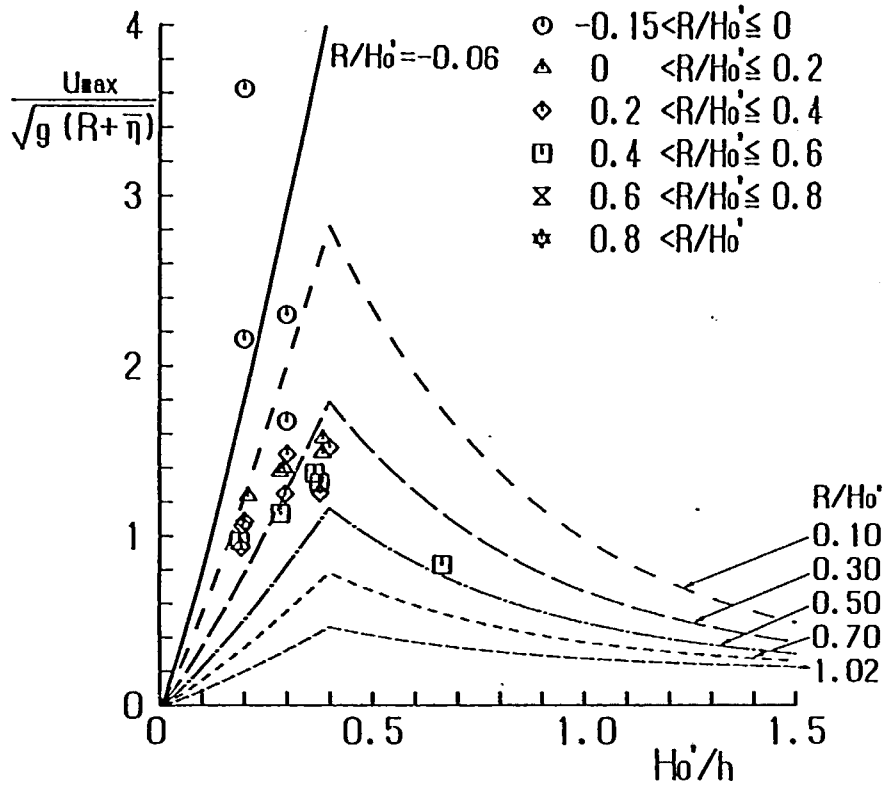
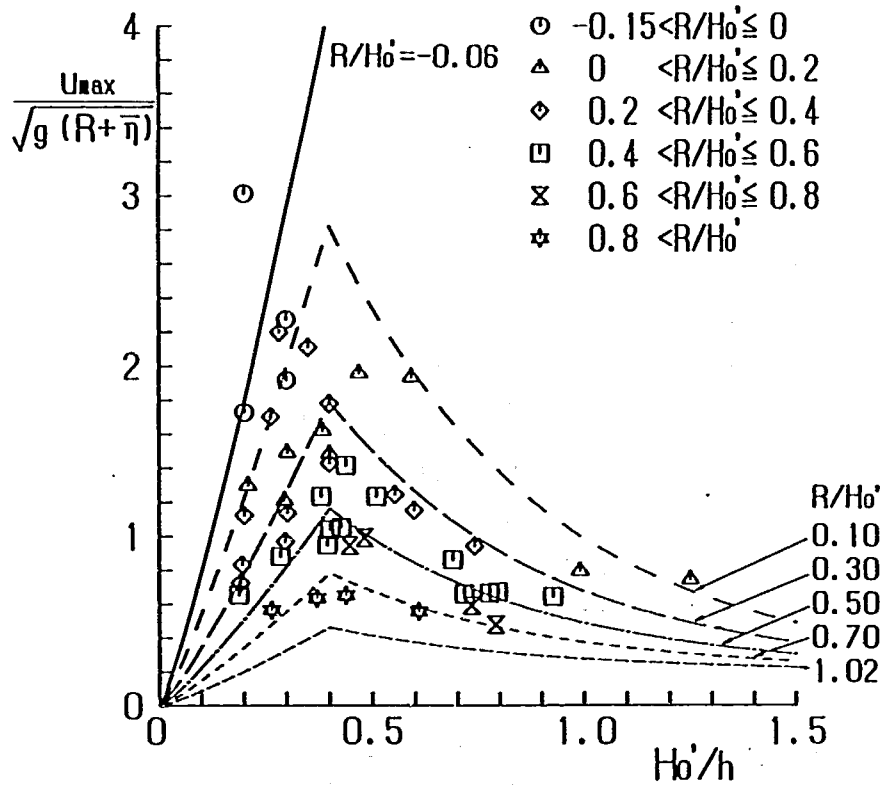


図-6 人工リーフ上の水位上昇量



(a) $H_o'/L_o \geq 0.02$



(b) $H_o'/L_o < 0.02$

図-7 $u_{max} / \sqrt{g(R+\bar{\eta})}$ と R/H_o' の関係

少し、 $H_0'/h < 0.4$ では H_0'/h が小さくなると $u_{\max}/\sqrt{g(R+\bar{\eta})}$ は急激に減少する。よって、 $H_0'/h \geq 0.4$ では $u_{\max}/\sqrt{g(R+\bar{\eta})}$ を前報と同様の関数系であらわすことができ、 H_0'/h および R/H_0' の増加とともに指数関数的に減少する形の式として、実験値と合うように係数を定めると、次式が導かれる。

$$\frac{u_{\max}}{\sqrt{g(R+\bar{\eta})}} = 7.5 \exp \left(-2.0 \frac{H_0'}{h} - 2.5 \frac{R}{H_0'} \right) + 0.2 \quad (H_0'/h \geq 0.4) \quad (2)$$

ここに、 g は重力加速度である。一方、 $H_0'/h < 0.4$ の範囲においては、 $u_{\max}/\sqrt{g(R+\bar{\eta})}$ は H_0'/h の減少に対してほぼ直線的に減少している。そこで、 $H_0'/h \rightarrow 0$ で $u_{\max} \rightarrow 0$ と考え、式(2)より求まる $H_0'/h = 0.4$ における $u_{\max}/\sqrt{g(R+\bar{\eta})}$ と原点と結ぶ曲線を、 H_0'/h による $u_{\max}/\sqrt{g(R+\bar{\eta})}$ の変化として、

$$\frac{u_{\max}}{\sqrt{g(R+\bar{\eta})}} = [7.5 \exp \left(-0.8 - 2.5 \frac{R}{H_0'} \right) + 0.2] \left(\frac{H_0'}{0.4h} \right)^{1.2} \quad (H_0'/h < 0.4) \quad (3)$$

を得る。図-7(a)、(b)に式(2)、(3)の関係を示した。(a)ではばらつきが大きいものの算定曲線は測定値と良く対応している。一方、(b)では全体的に計算値が小さい。これは波形勾配が小さくなると $u_{\max}$ が大きくなることにより、碎石の移動がやや激しくなることにも対応する(図-4、5参照)。しかしその差は大きなものではなく、(a)のばらつきと大差はない。そこで、波形勾配による移動状況の変化は、碎石の安定条件で見込むこととし、ここでは波形勾配の影響は無視することにした。また、 $R/H_0' = 0.1$ の場合、 $0.3 < H_0'/h < 0.6$ の範囲で計算値が過大となることに注意する必要がある。

全データについて式(2)、(3)による算定値の比較を図-8に示す。ばらつきは大きいものの、全体的に式(2)、(3)は実験値とよく対応している。

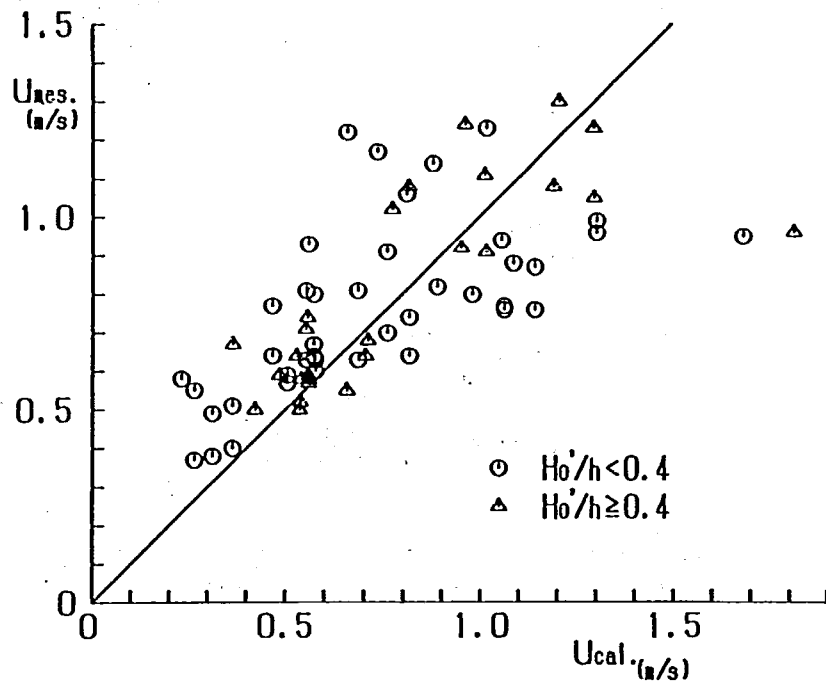


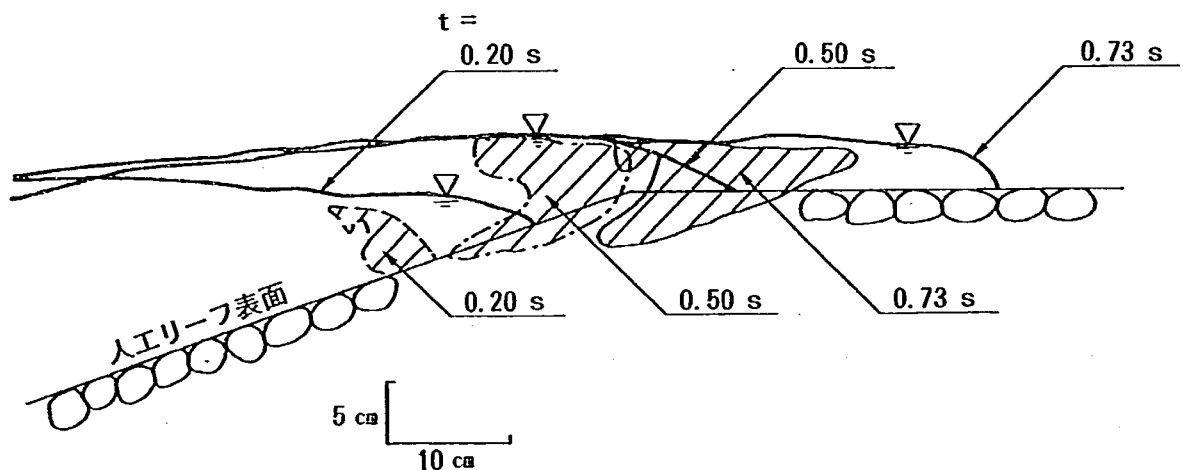
図-8 $u_{\max}$ の実験値と計算値の関係

4. 所要重量の算定式

4.1 堤体内の浸透流

人工リーフ被覆材の安定条件をモデル化する場合、前報では浸透流による揚力を無視した。この仮定が正しいかどうかを確認するため、本実験では波峰が通過する直前にリーフののり面上へ染料を注入し、その移動状況を水路側面のガラス壁からのビデオ撮影により調べた。例として、ケース3と14の測定結果を図-9に示す。染料は碎石層の内部にほとんど広がらず、堤体内には速い浸透流が生じていないことが分かる。また、この傾向は全ケースに共通して見られた。したがって、碎石の移動に浸透流はほとんど影響せず、浸透流による揚力を無視した前報の方法が正しいことが改めて確認された。

ケース3



ケース14

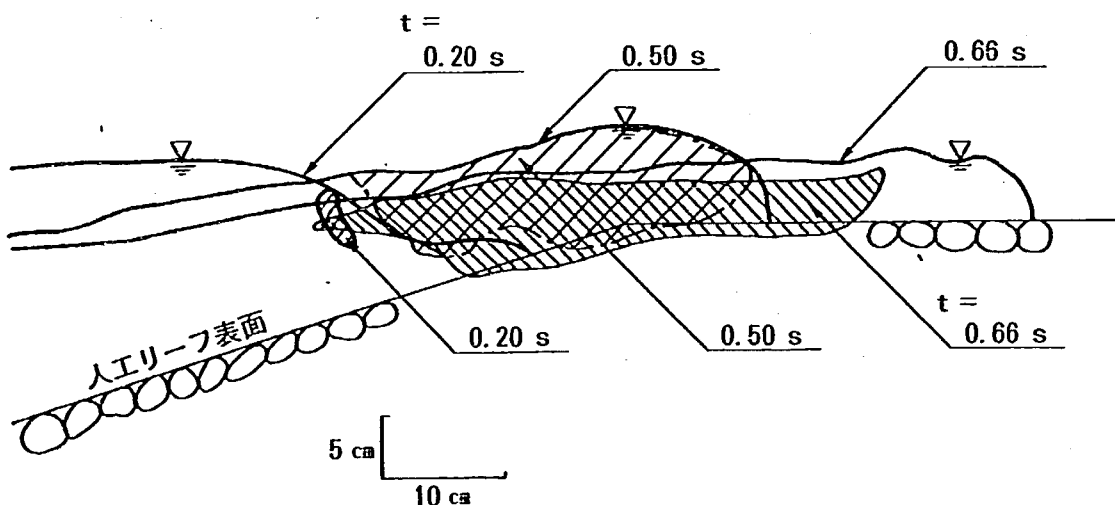


図-9 のり面に注入した染料の拡散状況

4.2 所要重量の算定式の誘導

人工リーフの被覆材の安定条件は流水による揚力と重力の釣り合いより式(4)で与えられる。

$$(W-B) \cos \alpha > F_L = 1/2 \rho_w C_L A u^2 \quad (4)$$

$$W = \rho_s g V, \quad B = \rho_w g V$$

ここに、 W ：碎石の自重、 B ：浮力、 α ：リーフのり面の角度、 F_L ：揚力、 C_L ：揚力係数、 u ：流水の流速、 A ：碎石の斜面法線方向の投影面積、 ρ_s ：碎石の密度、 ρ_w ：海水の密度、 g ：重力の速度、 V ：碎石の体積である。

個々の人工リーフ被覆材の形状を代表するパラメータとして、材料の代表長さ d_R （碎石であれば代表粒径）を用いて

$$V = K_v d_R^3$$

$$A = K_a d_R^2$$

となる係数 K_v ：体積に関する形状係数、 K_a ：面積に関する形状係数を導入する。これらを式(4)に代入すると

$$\frac{C_L K_a}{2 K_v} < \frac{s d_R g \cos \alpha}{u^2} \quad (5)$$

$$s = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w$$

となる。流水が乱流状態では C_L があまり変化しないと仮定して、

$$S_n = \frac{C_L K_a}{2 K_v} = \text{const.} \quad (6)$$

とおく。この S_n を安定係数 (Stability Number) と呼ぶ。

人工リーフ被覆材の安定性を支配するのは岸向き最大流速 $u_{\max}$ であり、式(5)の右辺の u には $u_{\max}$ を用いる必要がある。 $u_{\max}$ は式(2)、(3)を用いれば R/H_0' 、 H_0'/h の関数として求まるので、

$$u_{\max} / \sqrt{g(R + \bar{\eta})} = f_u (R/H_0', H_0'/h) \quad (7)$$

とおける。また、前報より $R/H_0' > 0.7$ のとき天端上で $u_{\max}$ が生じることから、式(5)右辺の $\cos \alpha$ は、

$$R/H_0' \leq 0.7 \quad \cos \alpha = 0.95 \quad (\text{のり面上、} \tan \alpha = 1/3)$$

$$R/H_0' > 0.7 \quad \cos \alpha = 1.00 \quad (\text{天端上})$$

として求められる。以上より、式(5)の右辺は、

$$\frac{s d_R g \cos \alpha}{u_{\max}^2} = \frac{s \cos \alpha}{f_u^2} \cdot \frac{d_R}{R + \bar{\eta}}$$

と求まる。よって、安定条件は次式となる。

$$S < \frac{s \cos \alpha}{f_u^2} \cdot \frac{d_R}{R + \bar{\eta}} \quad (8)$$

300波の波作用前後の水路中央におけるリーフ形状測定の結果より、総断面積変化量 A_R (図-10) を求め、式(8)式の右边を

$$P = \frac{s \cos \alpha}{f_u^2} \cdot \frac{d_R}{R + \bar{\eta}} \quad (9)$$

と置いて、 A_R を d_R^2 で無次元化した値 (総移動個数に対応) と P との関係を調べる。 $d_R/(R + \bar{\eta})$ によりデータを4分割し、碎石の移動状況をパラメータとして A_R/d_R^2 と P の関係を図-11(a)~(d)に示す。 P は $s=1.65$ として計算した。前報同様に P が小さい場合には A_R/d_R^2 の値が大きく、碎石の移動が激しいことがわかる。 P が大きくなると A_R/d_R^2 は急に小さくなり $P > 1$ では碎石がほとんど移動しなくなる。そこで、図-11の $A_R/d_R^2 \leq 100$ 、 $P \leq 2$ の範囲を拡大して図-12に示す。 $P > 0.9$ で碎石の移動状況はほとんどA、Bとなることが明らかである。 $P > 0.9$ にもわずかにA、Bがあるものの、安全を考慮すれば前報同様 $P > 0.9$ を安定条件とすることができる。そこで、

$$P = S_n = 0.9 \quad (10)$$

の安定条件を H_0'/h と R/H_0' で整理した移動状況の分類図にあてはめた。分類に際しては、 $d_R/(R + \bar{\eta})$ の小区間ごとに区分した (図-13(a)~(p))。図中の境界線は各図の $d_R/(R + \bar{\eta})$ の範囲の平均値を用いて式(9)、(10)より計算した。式(9)の f_u は $H_0'/h \geq 0.4$ で式(2)、 $H_0'/h < 0.4$ で式(3)を用いて計算しているため、境界線が屈曲する。また、 $R/H_0' = 0.7$ に見られる不連続は $\cos \alpha$ が不連続に変化するためであるが、この不連続性は小さいので実用上問題はないと考えられる。図中の境界線より右側が安定な領域となる。この領域にはほとんどAとBのデータのみが分布し、さらに、不安定な領域に一部あるA、Bもかなり境界線に近い位置に分布している。これらのことから式(9)、(10)の妥当

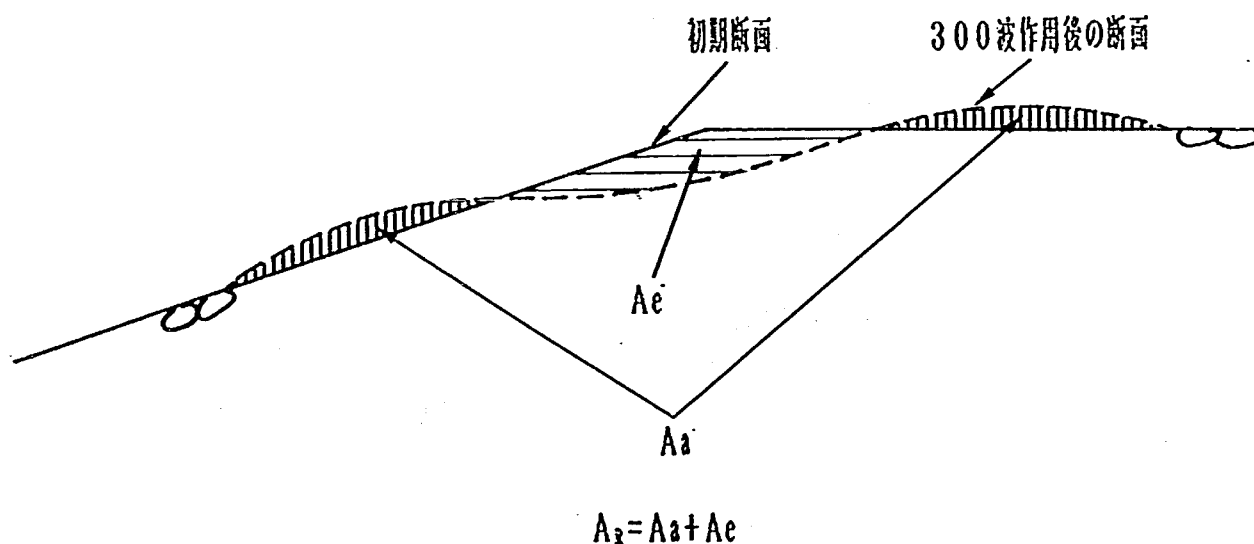
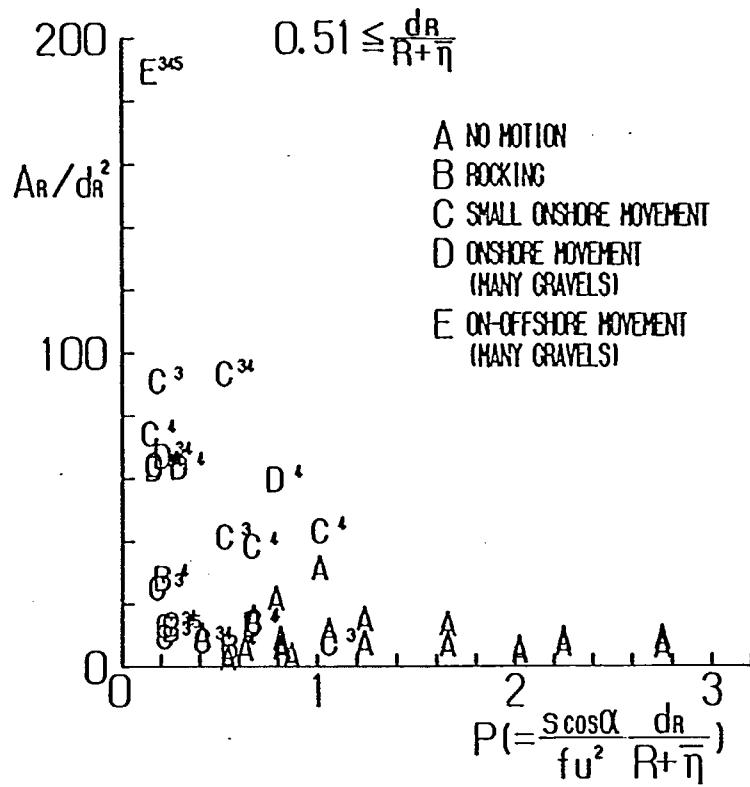
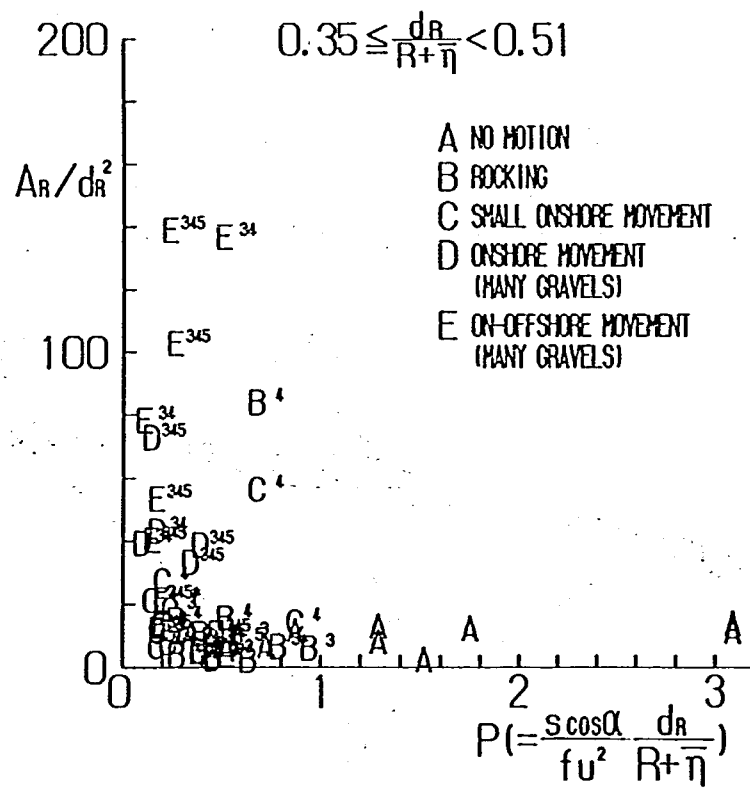


図-10 A_R の定義図

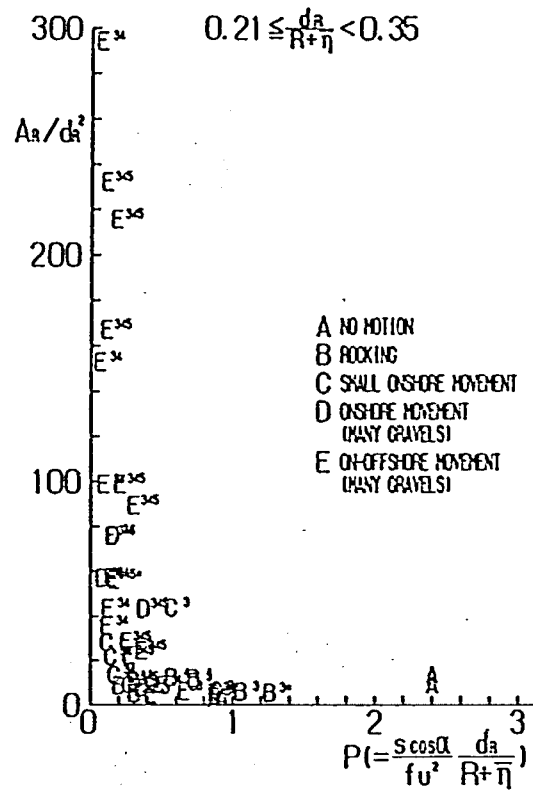


(a) $0.51 \leq d_R / (R + \bar{\eta})$

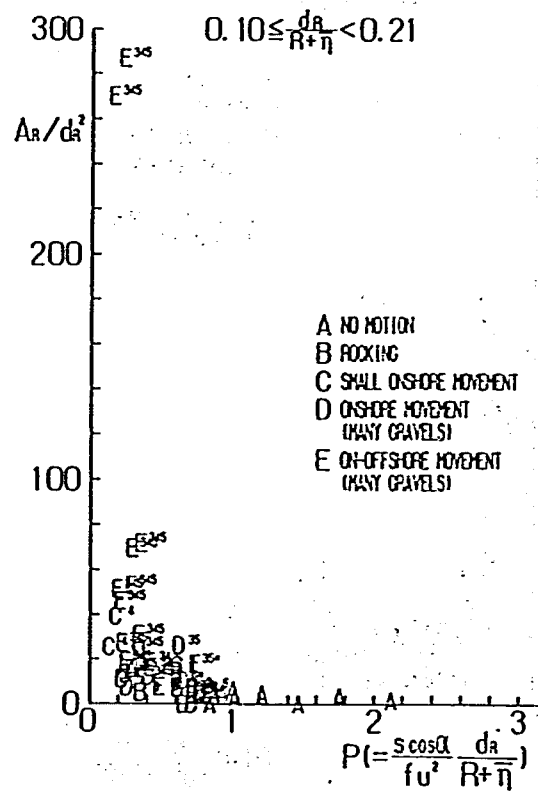


(b) $0.35 \leq d_R / (R + \bar{\eta}) < 0.51$

図-11 A_R/d_R^2 と P との関係

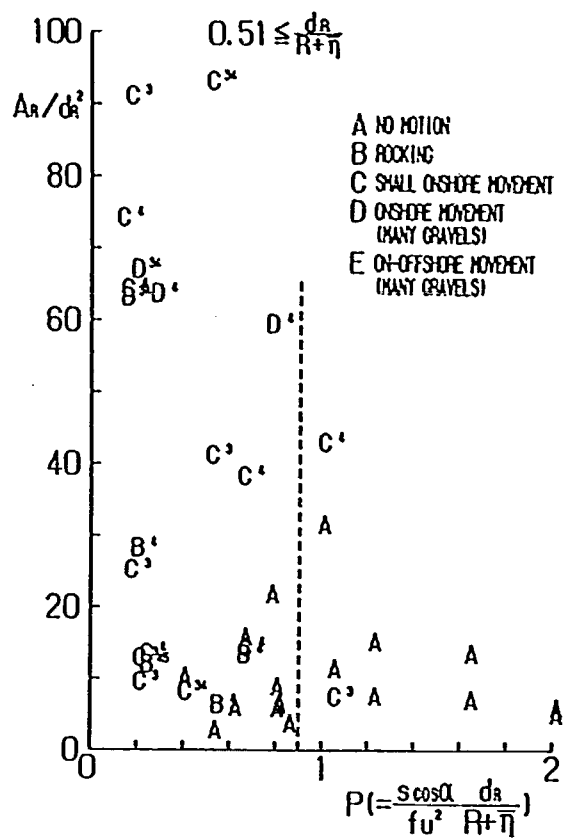


(c) $0.21 \leq d_R / (R + \bar{\eta}) < 0.35$

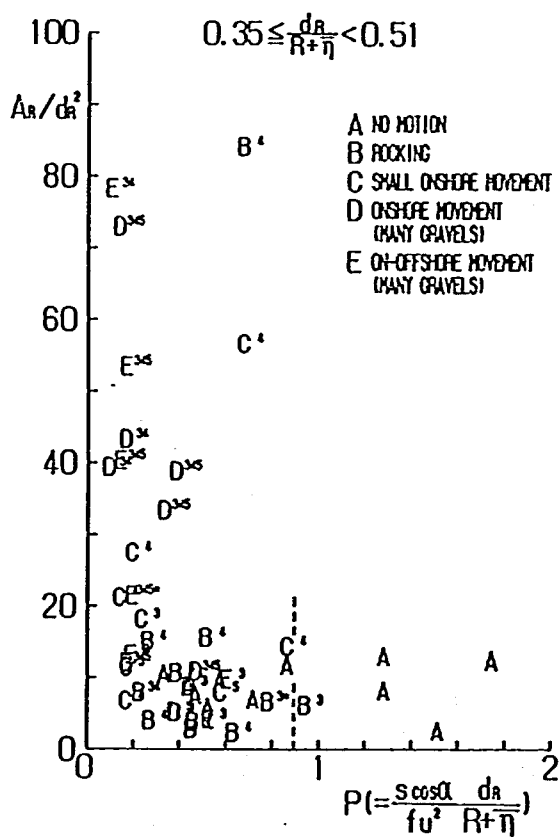


(d) $0.10 \leq d_R / (R + \bar{\eta}) < 0.21$

図-11 A_R / d_R^2 と P との関係

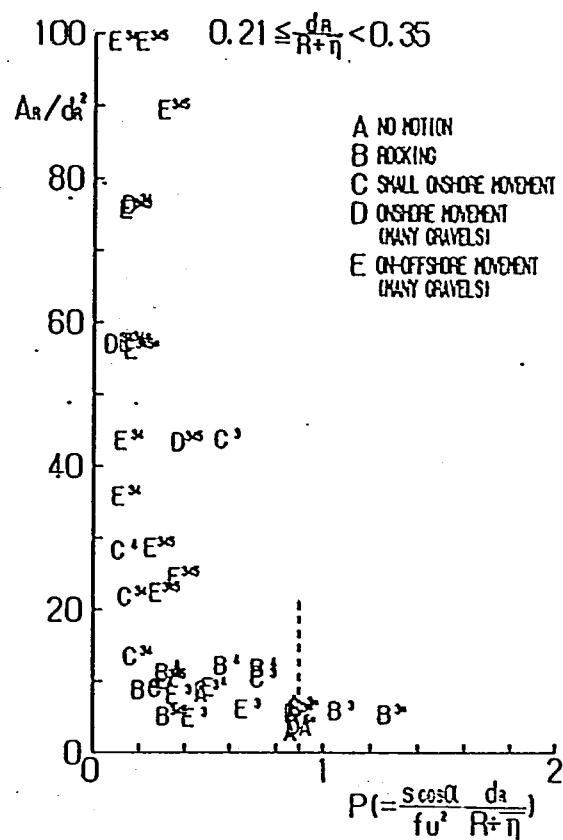


(a) $0.51 \leq d_R / (R + \eta)$

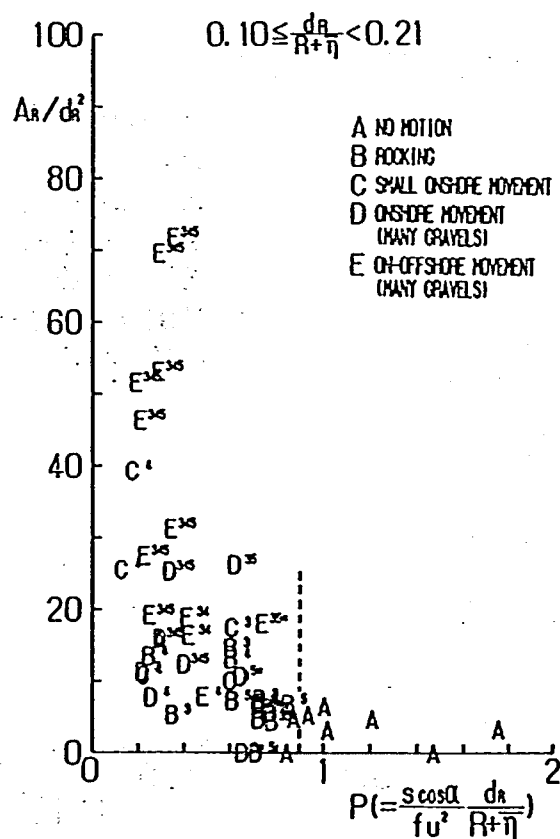


(b) $0.35 \leq d_R / (R + \eta) < 0.51$

図-12 A_R / d_R^2 と P との関係 (拡大図)

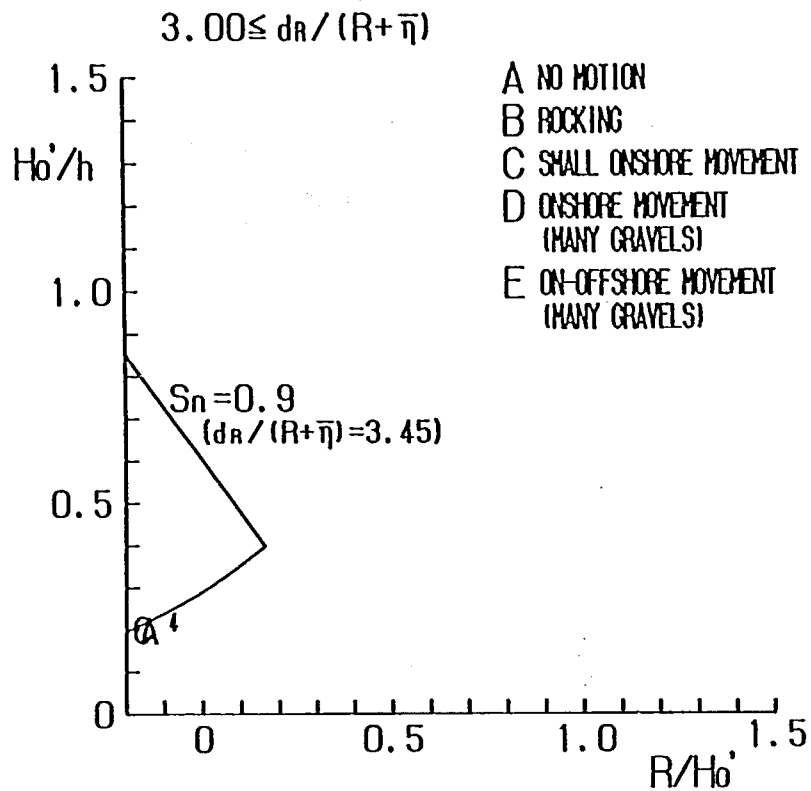


(c) $0.21 \leq d_R / (R + \bar{\eta}) < 0.35$

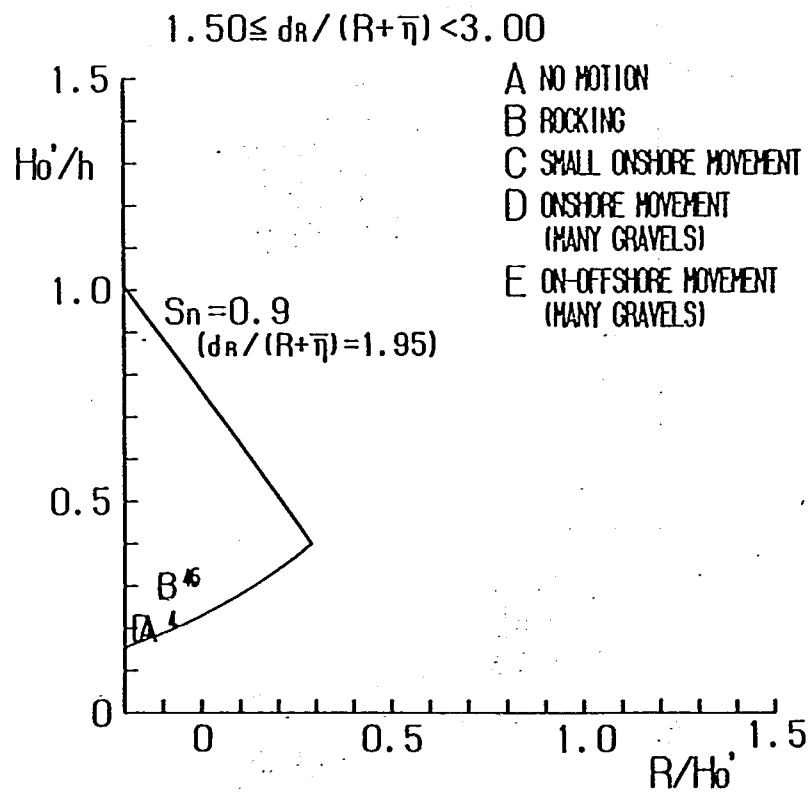


(d) $0.10 \leq d_R / (R + \bar{\eta}) < 0.21$

図-12 A_R / d_R^2 と P との関係 (拡大図)



(a) $3.00 \leq d_R / (R + \bar{\eta})$



(b) $1.50 \leq d_R / (R + \bar{\eta}) < 3.00$

図-13 $S_n=0.9$ による移動状況区分

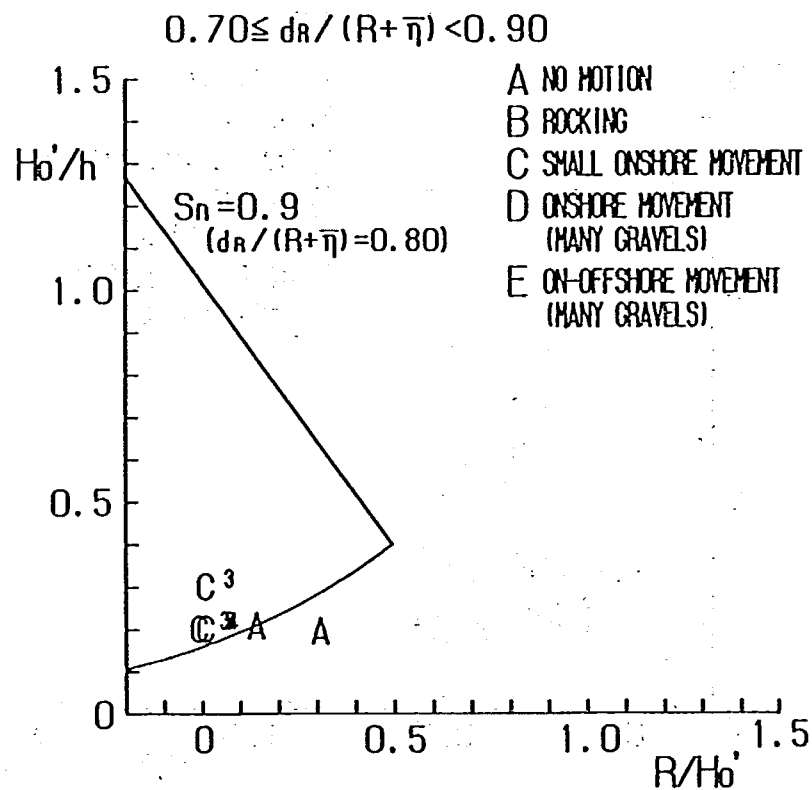
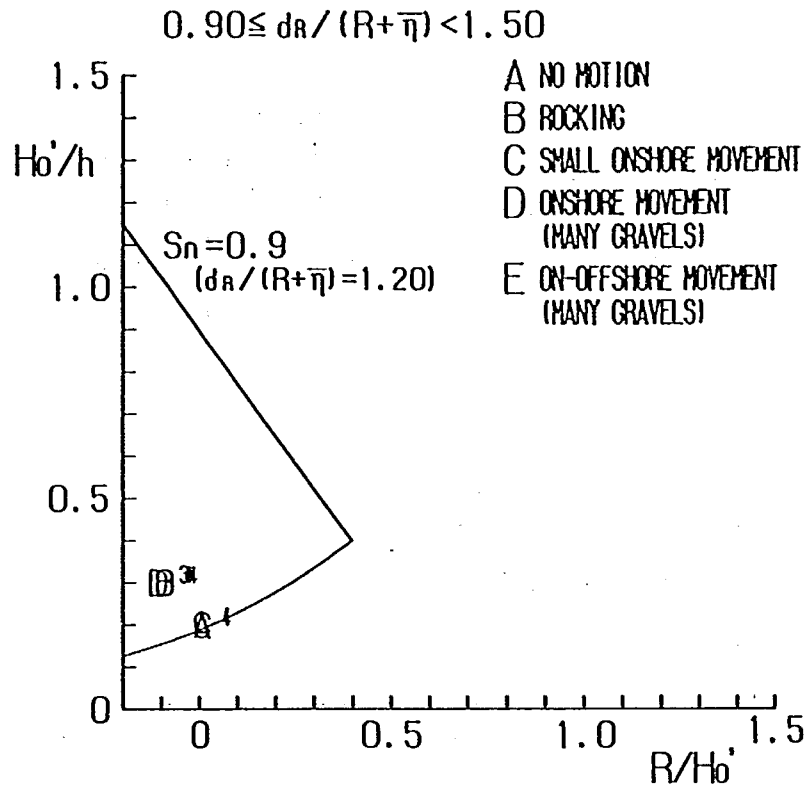
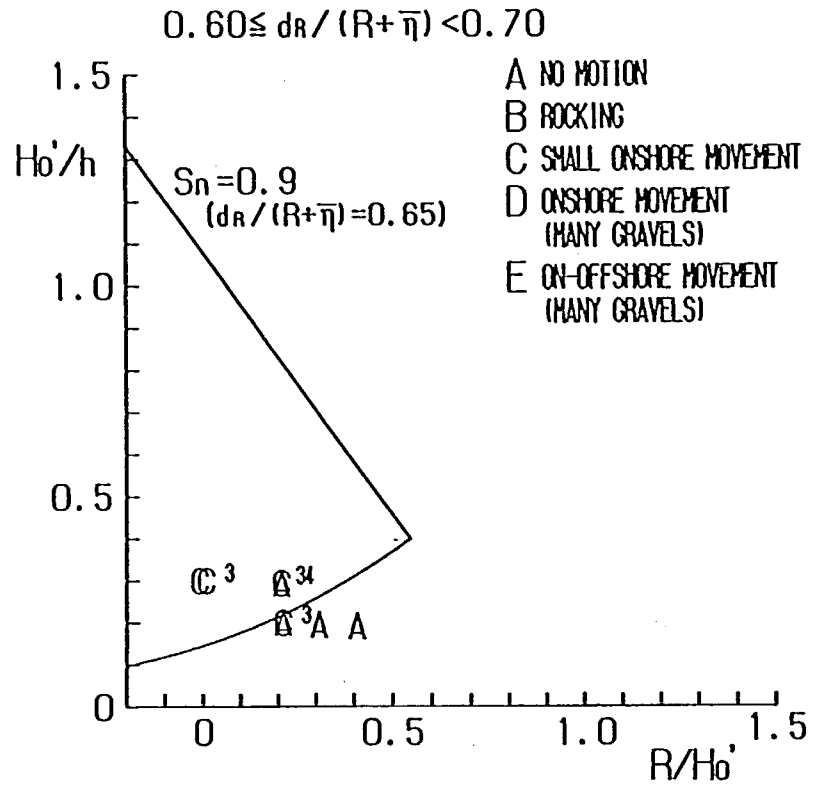
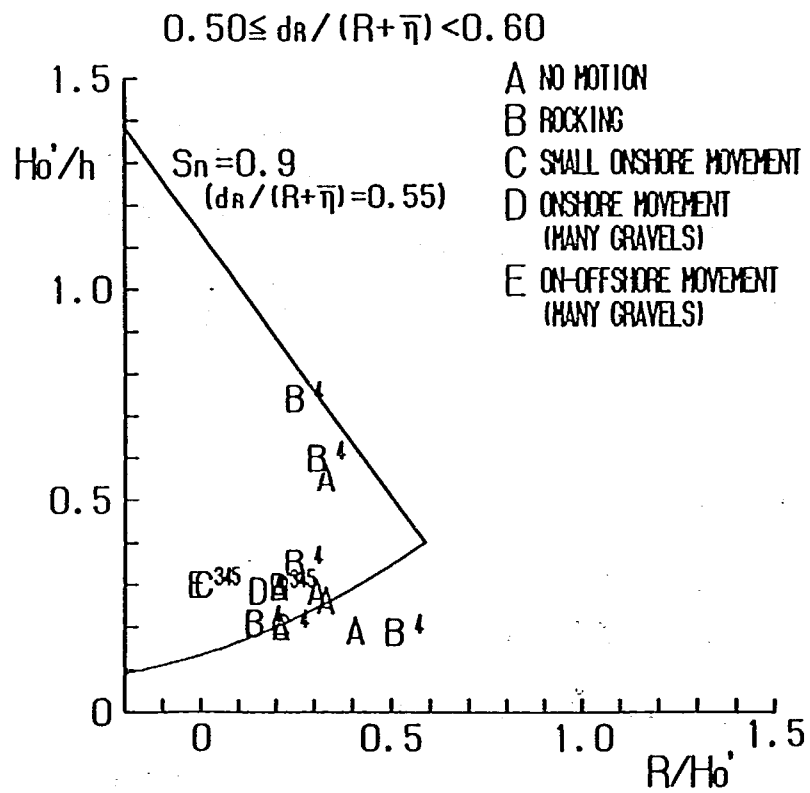


図-13 $S_n=0.9$ による移動状況区分



(e) $0.60 \leq d_R / (R + \bar{\eta}) < 0.70$



(f) $0.50 \leq d_R / (R + \bar{\eta}) < 0.60$

図-13 $S_n = 0.9$ による移動状況区分

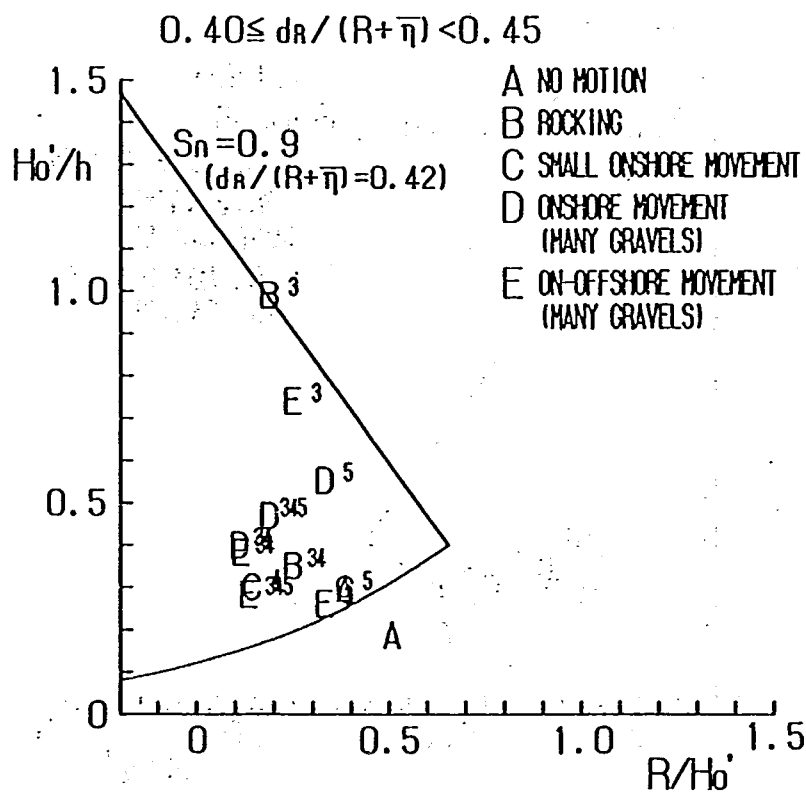
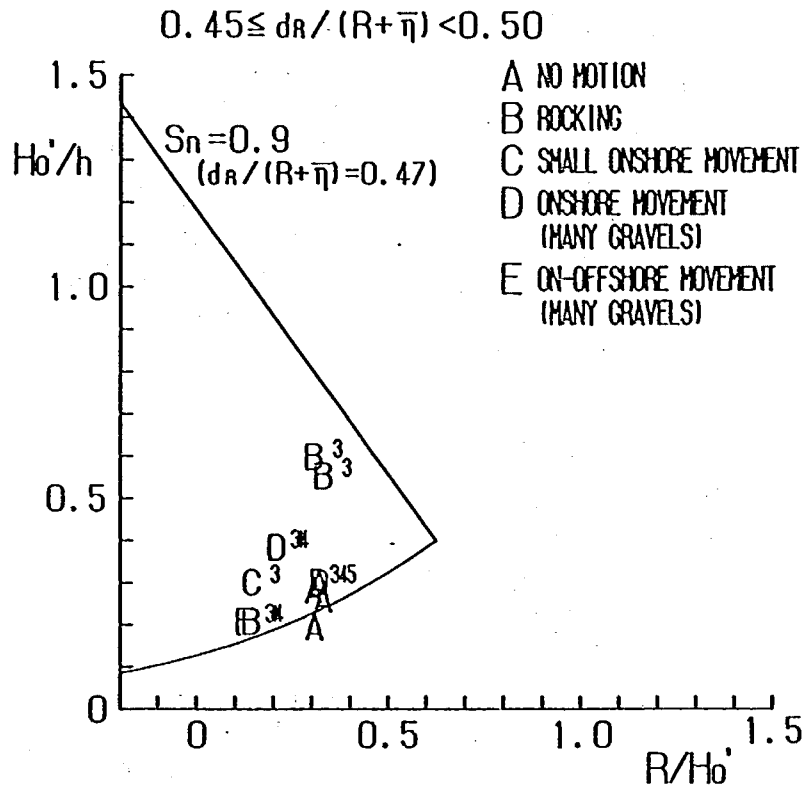


図-13 $S_n = 0.9$ による移動状況区分

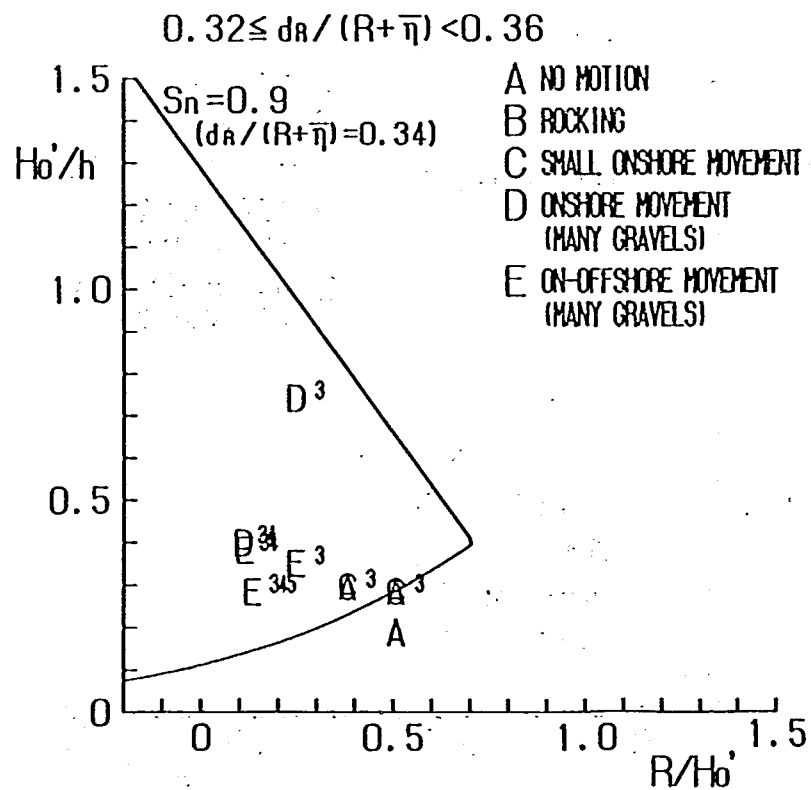
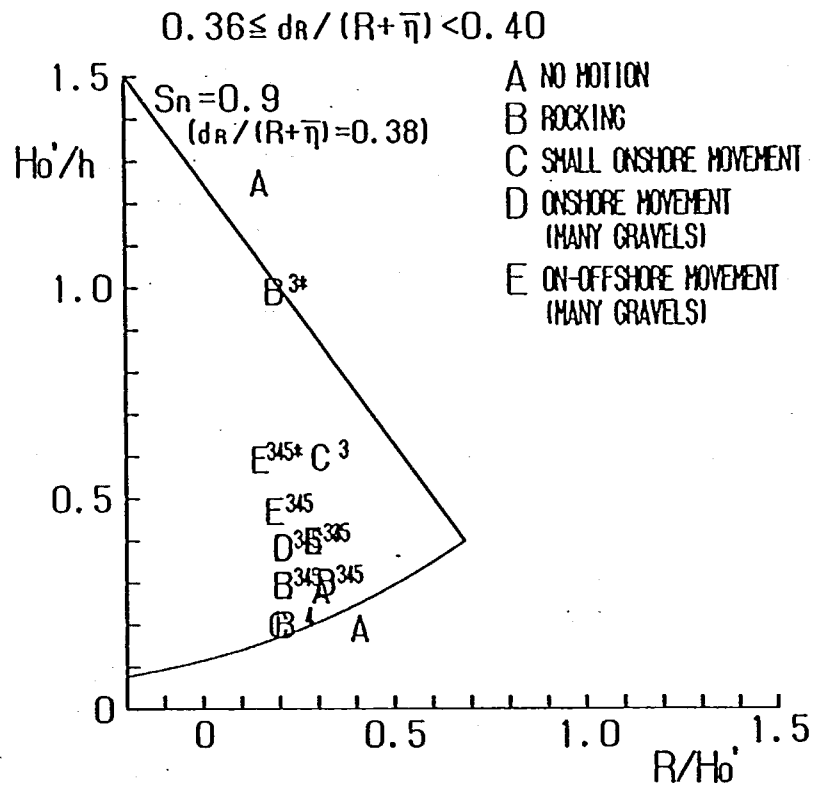
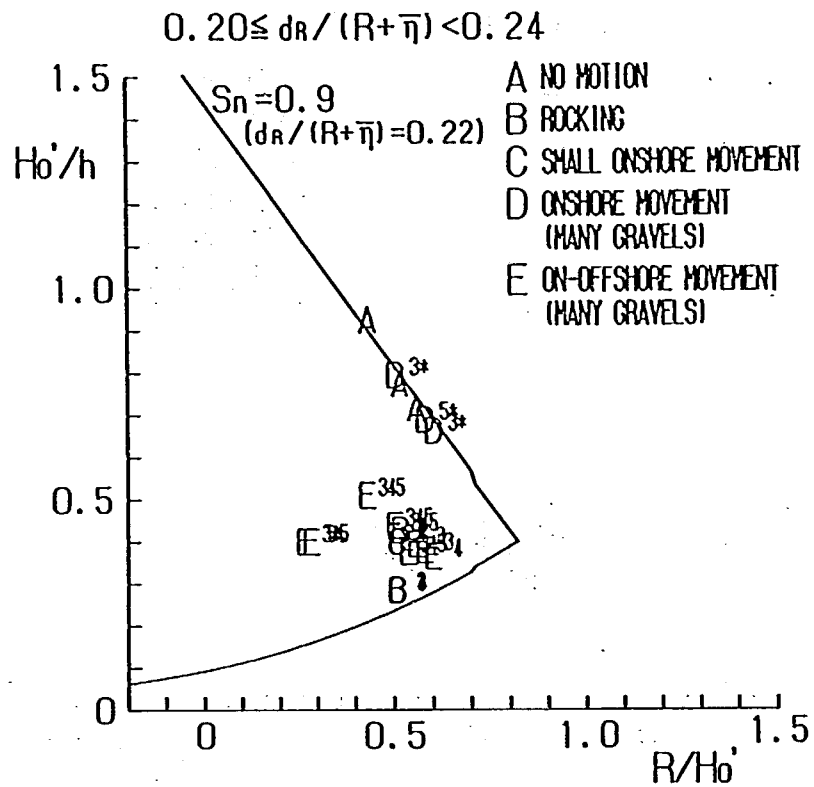
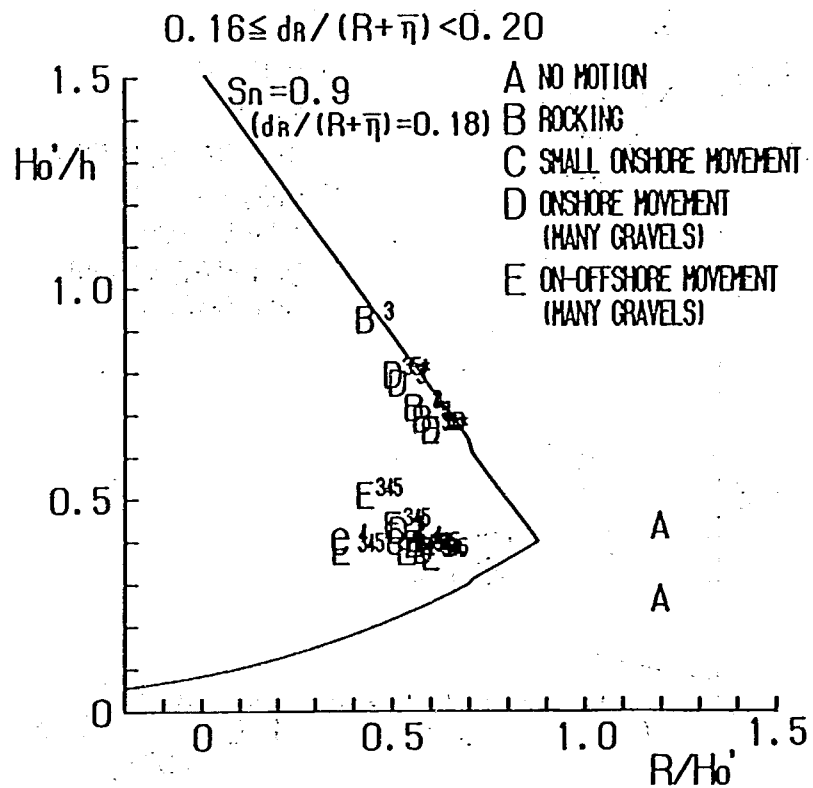


図-13 $S_n=0.9$ による移動状況区分



(m) $0.20 \leq d_R / (R + \bar{\eta}) < 0.24$



(n) $0.16 \leq d_R / (R + \bar{\eta}) < 0.20$

図-13 $S_n = 0.9$ による移動状況区分

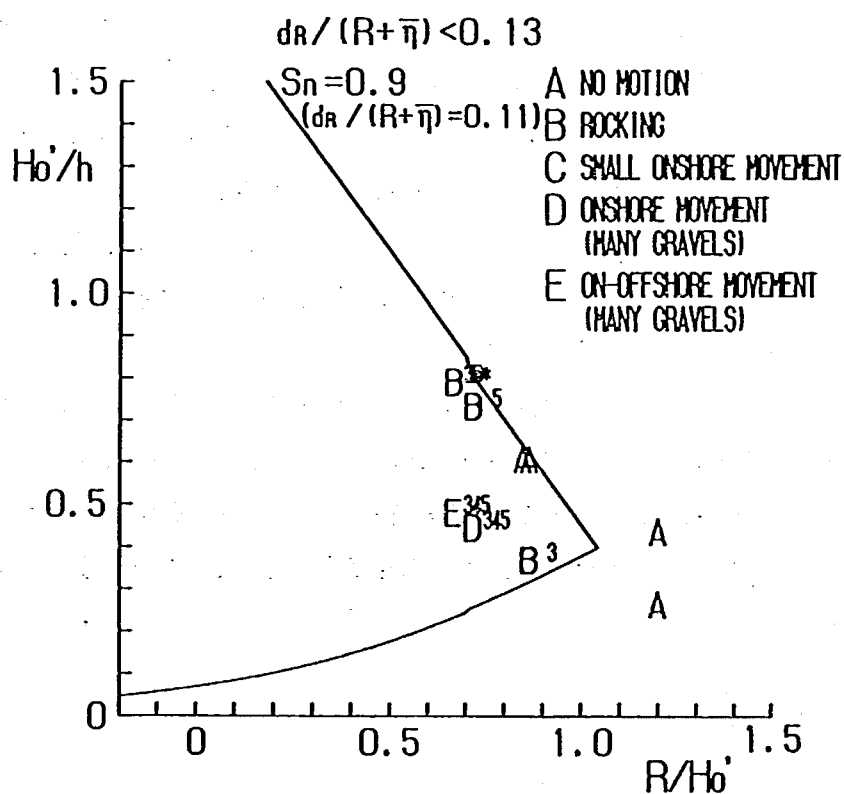
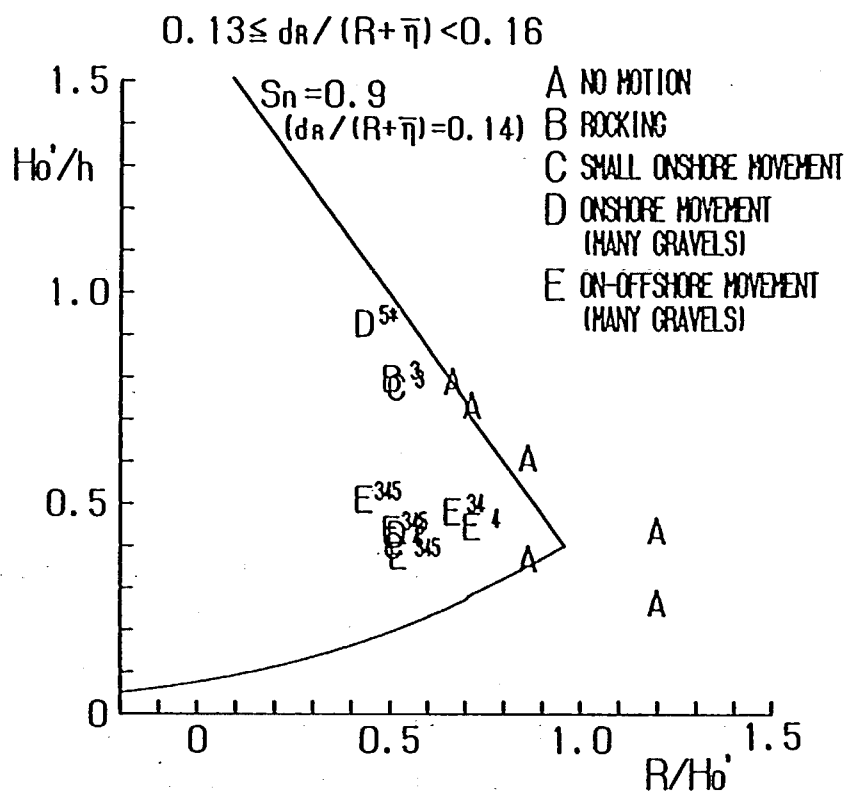


図-13 $S_n = 0.9$ による移動状況区分

性が理解される。

以上の解析結果より、人工リーフ被覆材の所要重量算定式は以下のように導かれる。

$$W = \left(Sn \frac{f_u^2}{s \cos \alpha} \right)^3 \rho_s K_v (R + \bar{\eta})^3$$

$$= K_L \frac{\rho_s (R + \bar{\eta})^3}{s^3 \cos^3 \alpha}$$

$$K_u = Sn^3 f_u^6 K_v^3$$

(II)

この式より、被覆材料および人工リーフの諸元が決定されれば、所要重量の算定が可能である。ただし、次の点に注意する必要がある。

①実験は海底勾配 1/30 の条件で行っているので、この条件とかなり異なる海底勾配では式(2)、(3)が成立しない場合がある。特に堤脚水深が小さい場合には海底勾配の影響が大きいと考えられる。

②実験は、 $R/H_0' > 1.0$ または $H_0'/h > 1.5$ の範囲と、 $R/H_0' < 0.1$ かつ $H_0'/h > 0.4$ の範囲を対象としておらず、この範囲における式(II)の適用性は確認されていない。ただし、この範囲は R または h が大きな条件にあり、実用上あまり用いられないことはないと考えられる。

自然石 ($s=1.65$) の場合に式(II)で定まる沖波波高と所要重量の関係を $R=2\text{ m}$ について図-14に示す。ここでは $K_v=0.5$ 、 $\rho_s=2.65\text{ ton/m}^3$ としている。 h が大きいほど急勾配ののり面の影響が大きくなるため、所要重量 W が増大する。また、 H_0' がある程度以上大きくなると所要重量 W は低下する傾向を示すが、これは沖合で砕波が生じるためである。実際の設計では、ある堤脚水深 h での所要重量 W が最大となる沖波波高を $(H_0')_{\max}$ としたとき、当該海岸の計画波高が $(H_0')_{\max}$ より大きい場合には $(H_0')_{\max}$ で求まる所要重量を設計重量とすべきである。ただし、式(II)の利用に当たっては、上記①、②の条件に配慮するとともに、 f_u が過大となる場合 (R/H_0' が 0.1 前後で $H_0'/h=0.3\sim 0.6$ の範囲) があることに注意する必要がある。後者に関しては図-7 に示される実験値そのものから f_u を求め、式(II)を利用すれば対応可能である。

なお、付録には $R=0\sim 5\text{ m}$ の範囲で 0.5m きざみに W と H_0' の関係を示した。また、横軸を R とした場合の W の算定図を $h=6, 8, 10, 12\text{ m}$ について示した。この場合、 h 、 H_0' についてある値を定めたとき、所要重量を最大にする天端水深 R が存在することが指摘される。したがって、人工リーフの消波効果をそれほど下げない範囲において、 R を多少変化させれば所要重量を小さくすることも可能と考えられる。

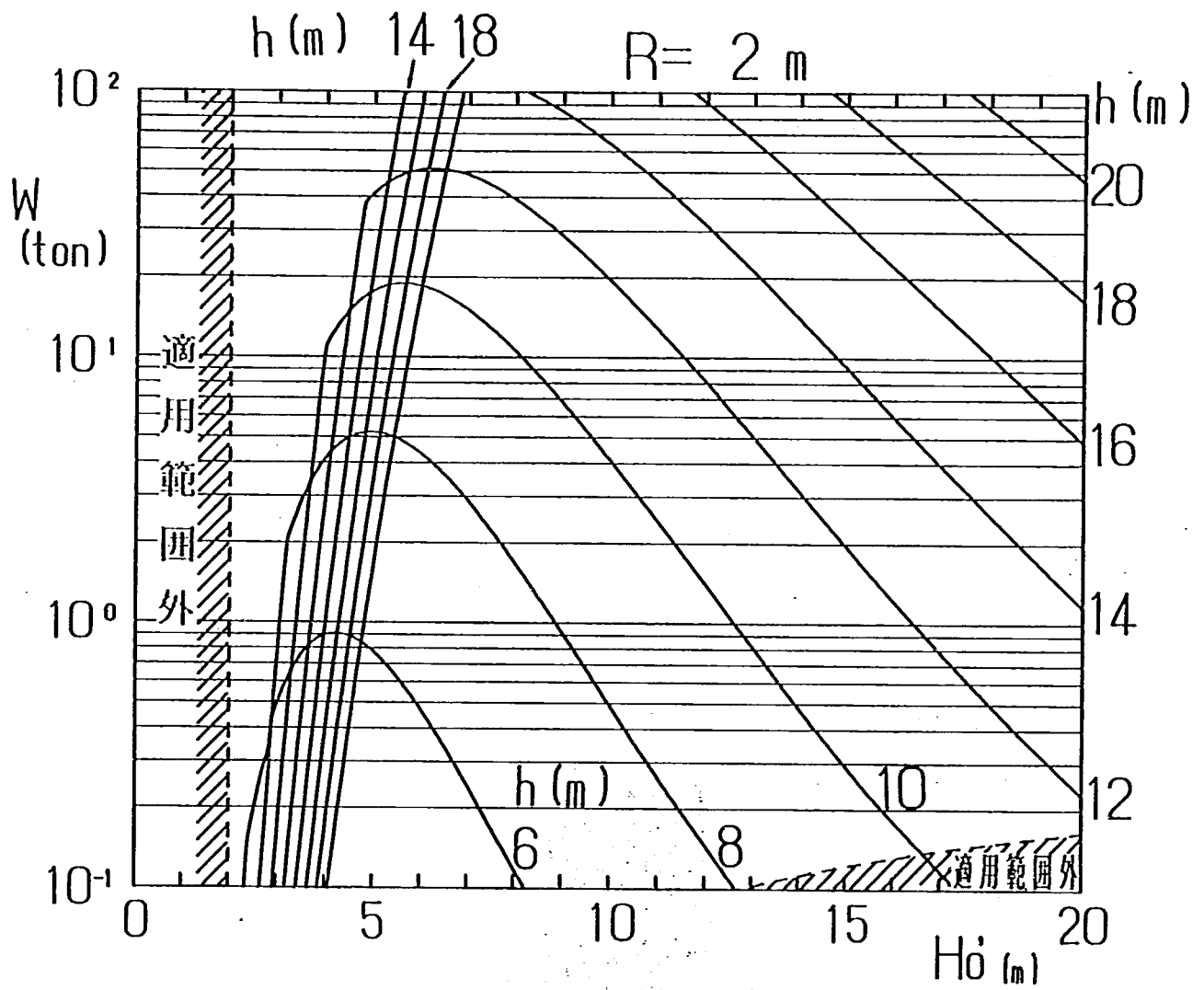


図-14 W の算定図 ($R=2$ m、 $s=1.65$ 、 $K_v=0.5$)

5. 天端上被覆材料の所要重量の低減

人工リーフ上で碎波した波は進行にともない急速に減衰するため、所要重量の材料により天端を一律に被覆することは不経済である。式(9)、(10)、(11)を変形して所要重量 W を導入すると

$$\left(\frac{W}{\rho_s K_v}\right)^{1/3} = \frac{S n u_{\max}^2}{s g \cos \alpha} \quad (12)$$

となる。同じ材料を用いれば ρ_s と s は一定である。したがって、 $u_{\max}$ を各地点のリーフ表面上の岸向きピーク流速 $u_{\max}$ におきかえて、各地点の所要重量 W' との関係を求めると

$$W' \propto \left(\frac{u_m^2}{\cos \alpha}\right)^3 \quad (13)$$

となる。これより、流速の岸沖方向変化と各地点の所要重量 W' を関係づけることができる。式(13)により求めた W'/W の岸沖分布を図-15に示す。 $X=0$ がリーフ天端の沖端であり、岸向きが正である。横軸は H_0' で無次元化した距離とした。 $W'/W=1$ となる位置は $-6 < X/H_0' < 5$ の範囲にあることが分かる。現地海岸では種々の波高をもつ波が来襲するため、流速分布形は波浪や潮位の条件によって変化する。そのため、所要重量の必要範囲にもある程度の幅が必要と考えられる。そこで、ここでは安全を考慮して $W'/W=1$ となる範囲に所要重量を有する材料を用いるものとした。この範囲より岸側の天端上については、前報同様に次のように W を減じることができるとした。

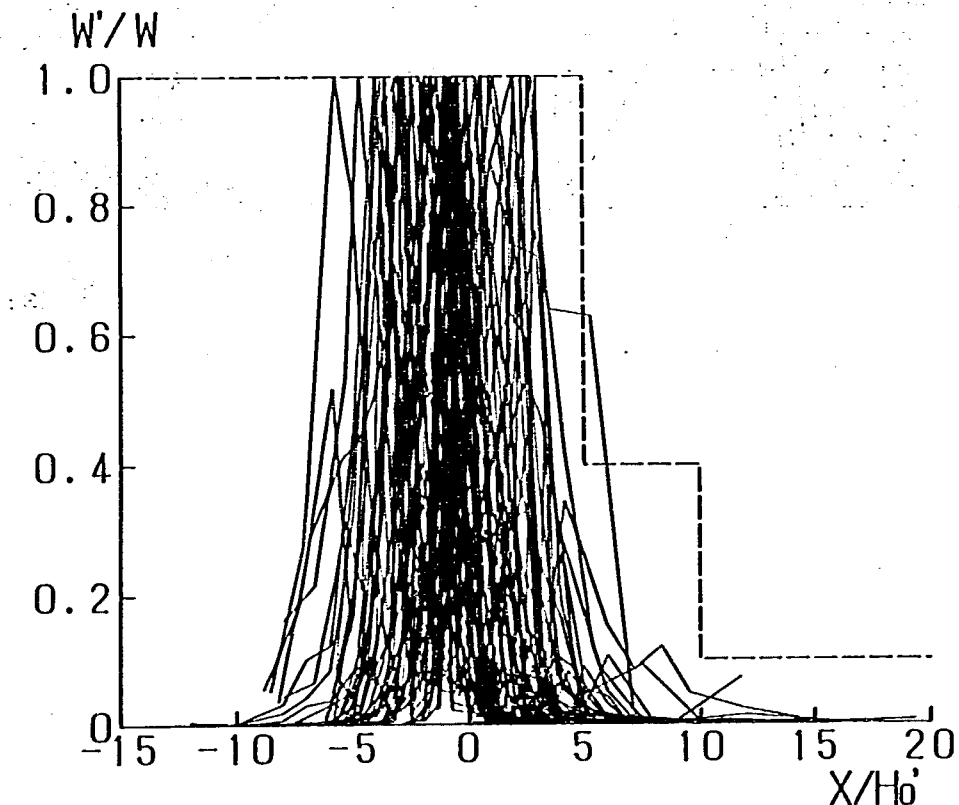


図-15 W'/W の岸沖分布

$$5 \leq X/H_0' < 10 \quad W'/W \geq 0.4$$

$$10 \leq X/H_0' \quad W'/W \geq 0.1$$

(19)

式(19)で求まる W'/W を図中に破線で示した。一部わずかに破線より大きくなるデータがあるが、実用上問題はないと考えられる。

6. 結論

- ①人工リーフ表面上の岸向き最大流速は、式(2)、(3)を用いることにより、これまで適用範囲外であった $R/H_0' < 0.4$ かつ $H_0'/h < 0.3$ においても算定できるようになった。
- ②人工リーフの安定性は式(8)で評価され、安定限界条件は $S_n=0.9$ である。
- ③リーフ構成材料の所要重量は式(11)で求められる。
- ③リーフの構成材料の所要重量は式(11)にしたがい低減することができる。

参考文献

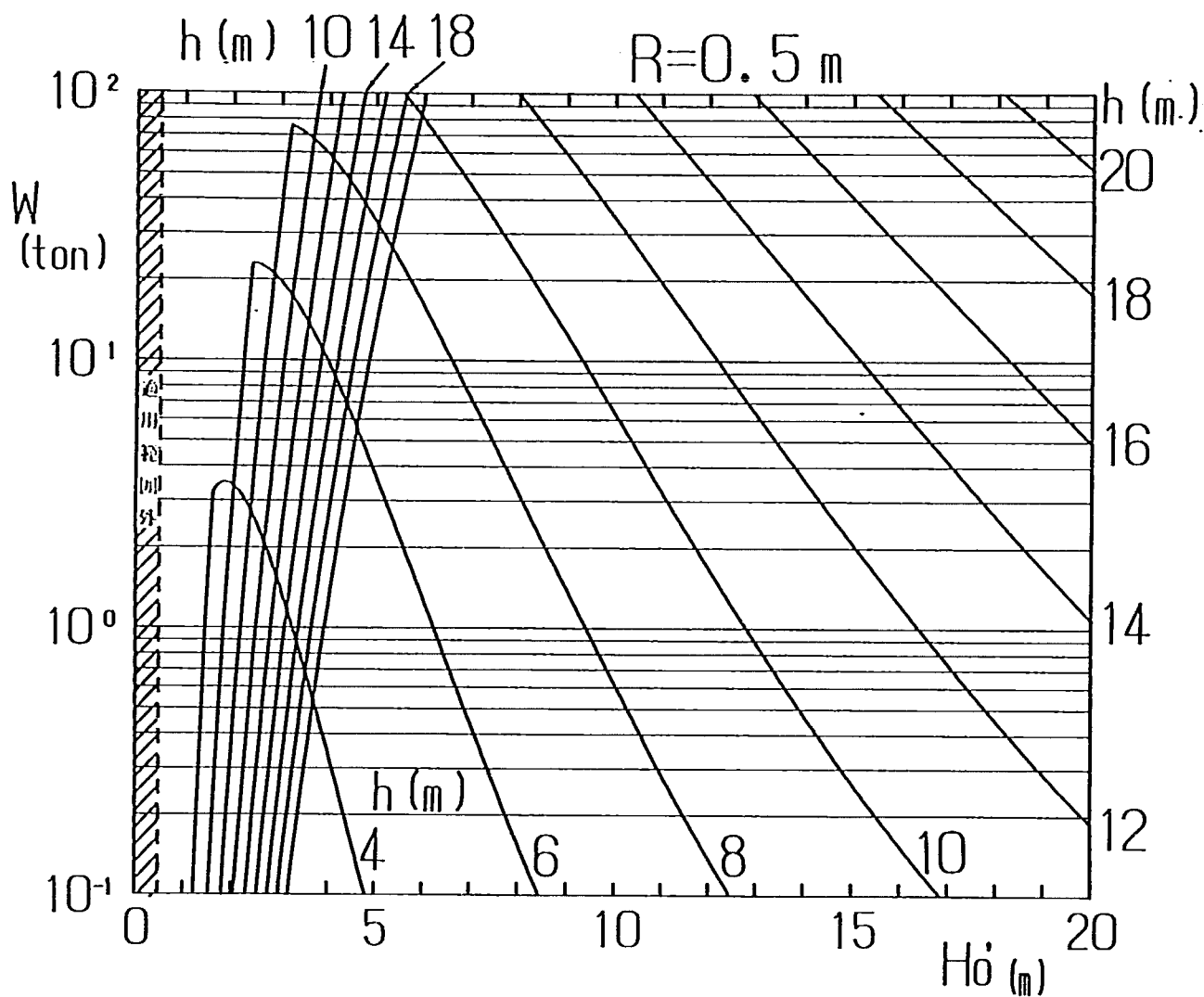
宇多高明・小俣 篤・横山揚久（1988）：人工リーフの機能と設計法、土木研究所資料、第2696号、79p.

付 録

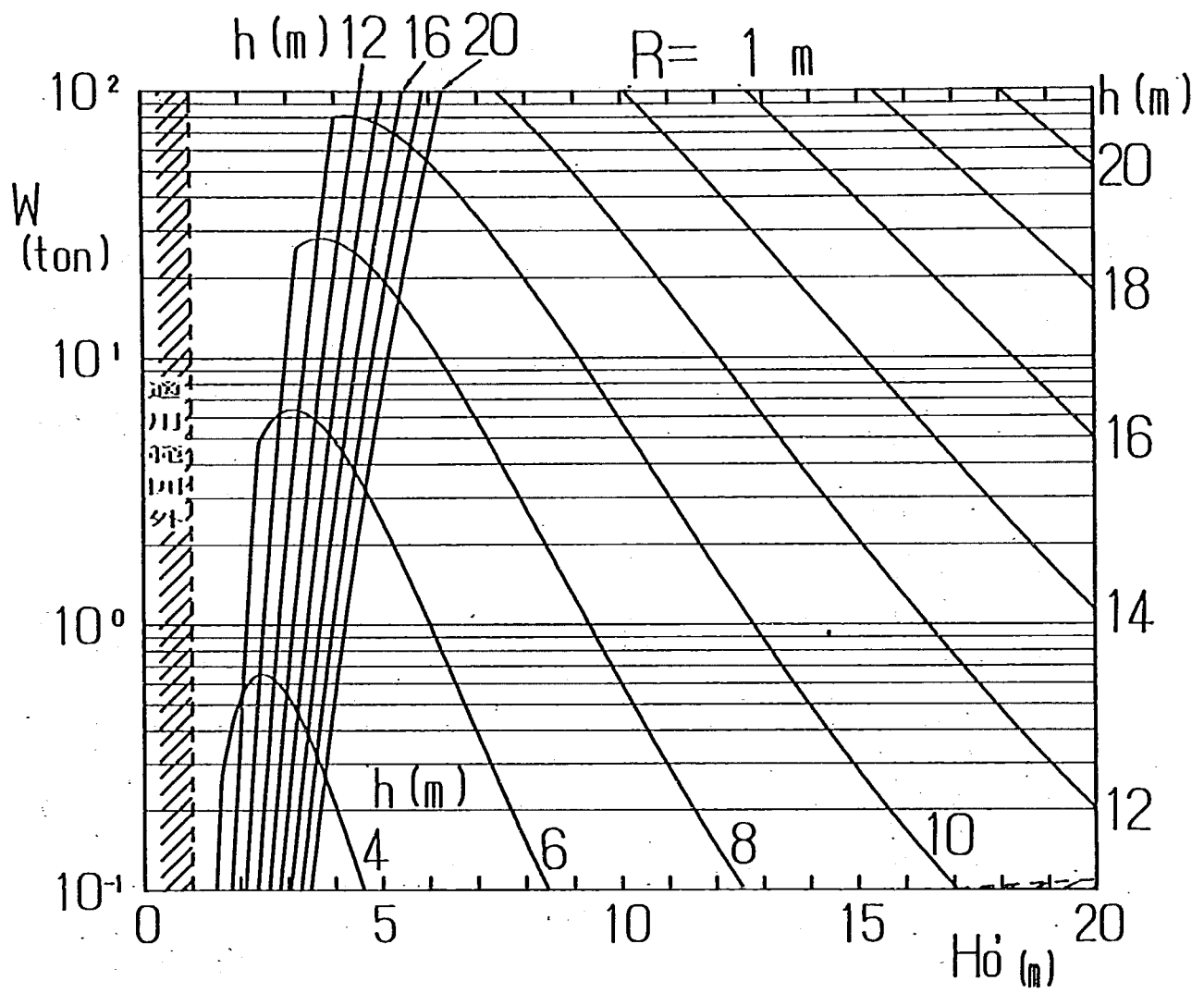
W の 算 定 図

○横軸を H_0' とした図（付図－1～10）

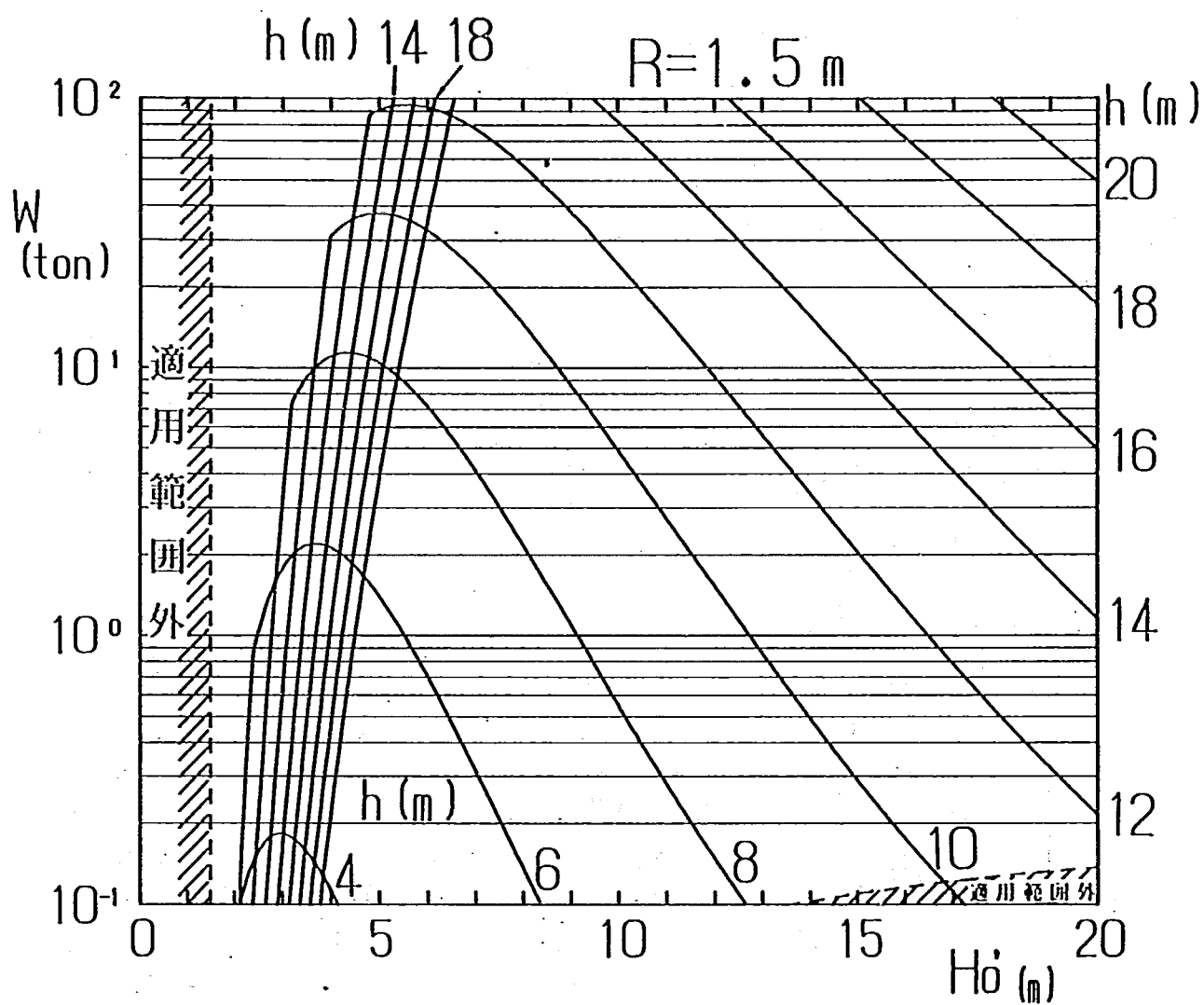
○横軸をRとした図（付図－11～14）



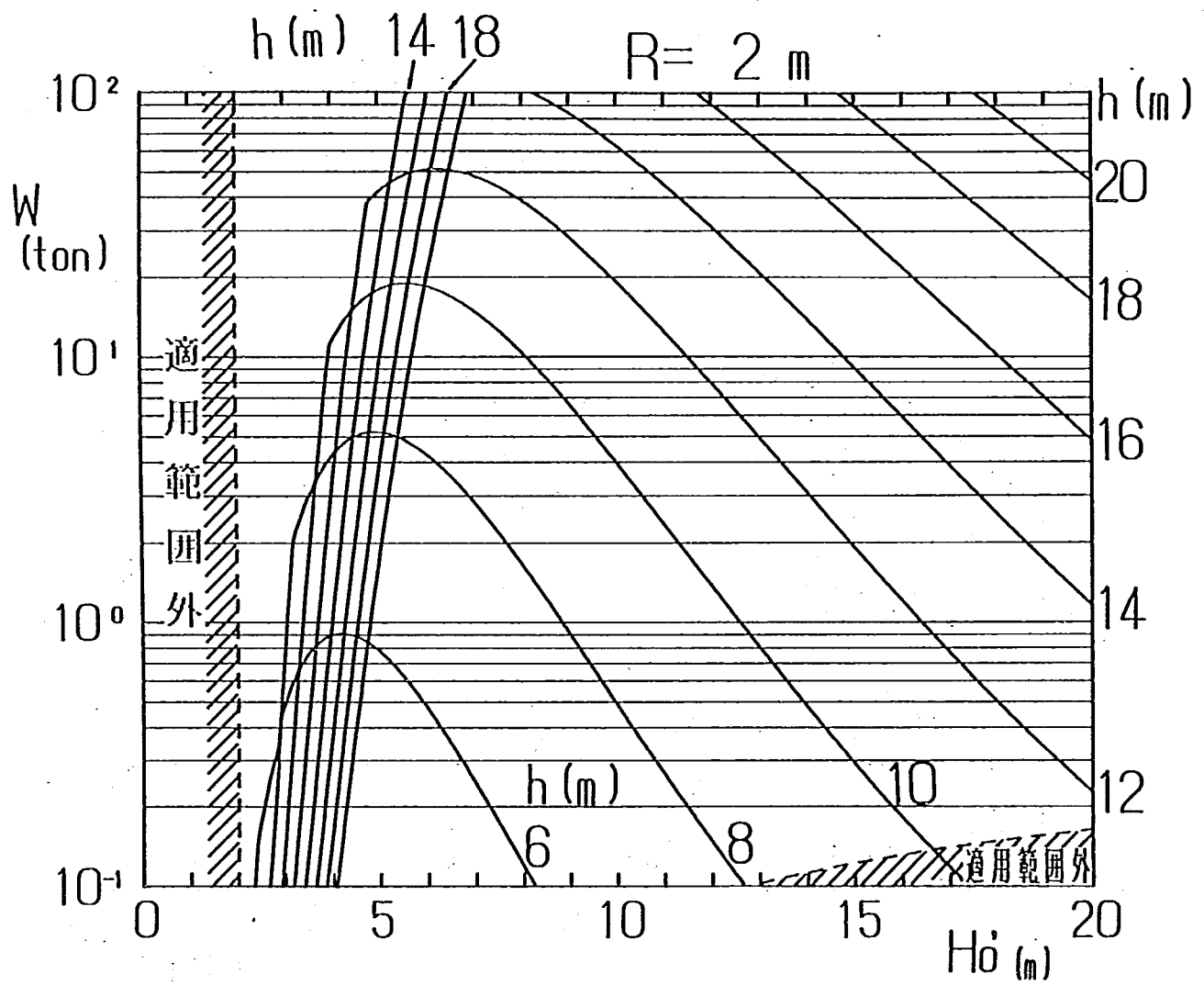
付図-1 W の算定図 ($R=0.5$ m、 $s=1.65$ 、 $K_v=0.5$)



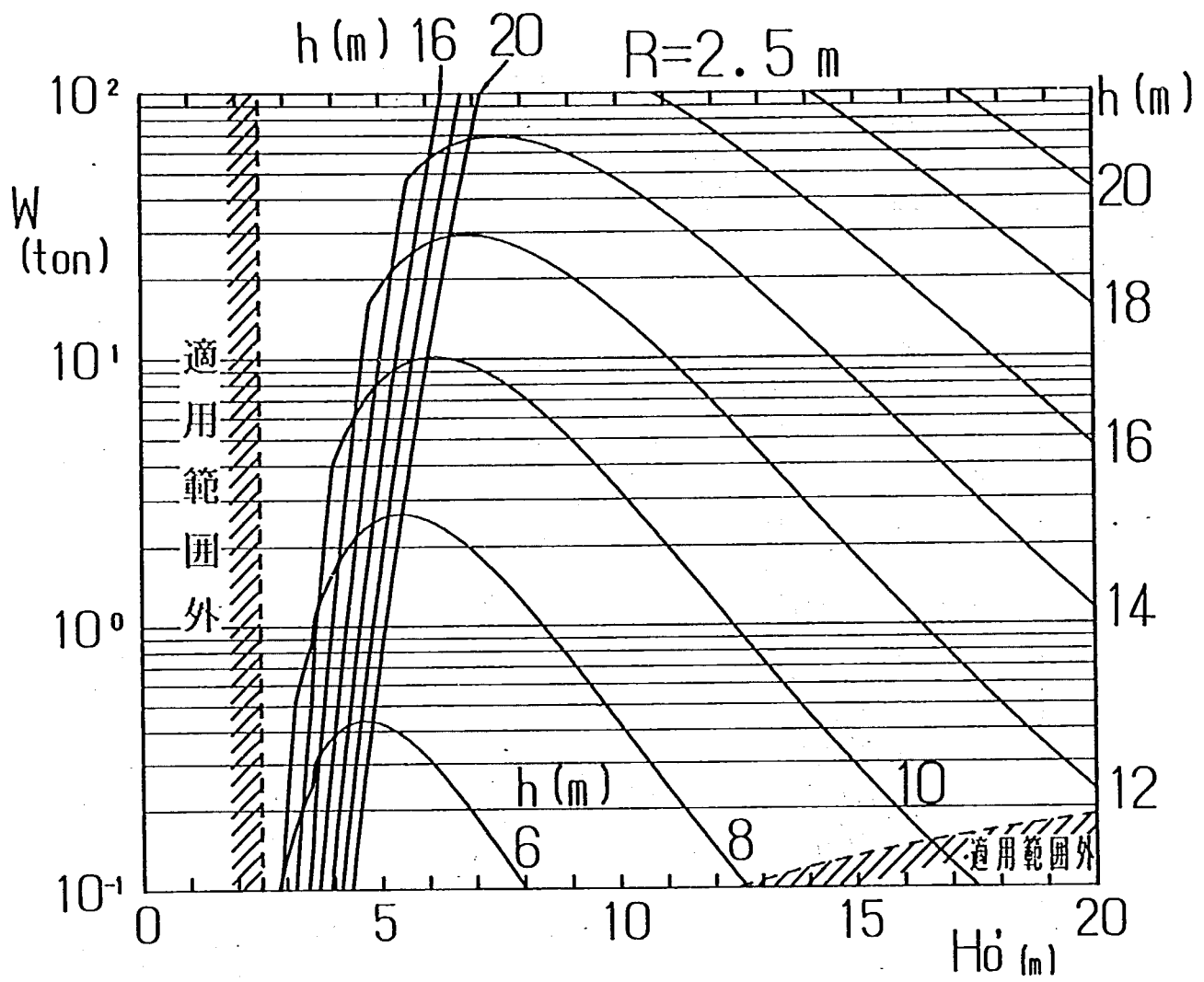
付図-2 W の算定図 ($R=1$ m、 $s=1.65$ 、 $K_v=0.5$)



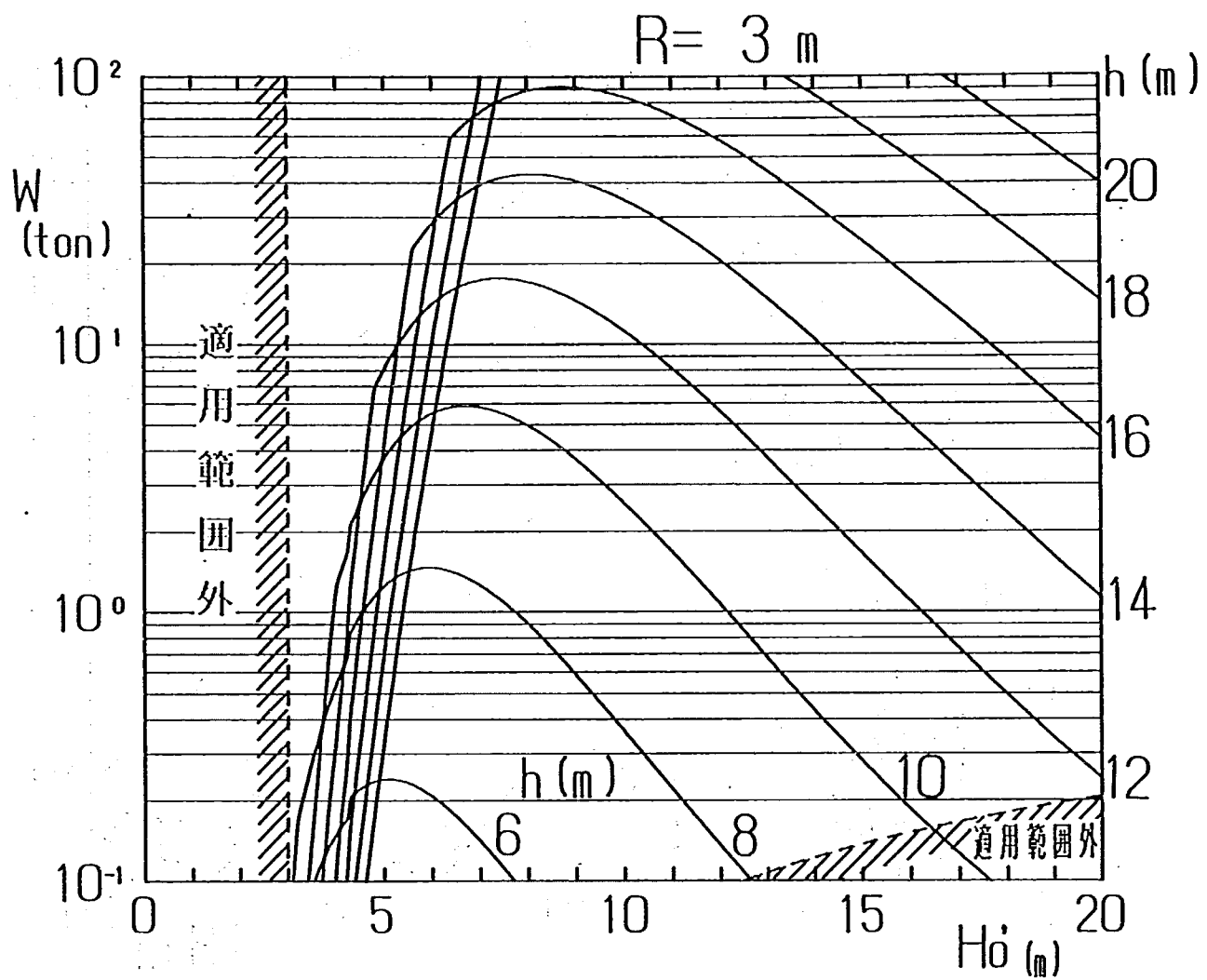
付図-3 W の算定図 ($R=1.5$ m、 $s=1.65$ 、 $K_v=0.5$)



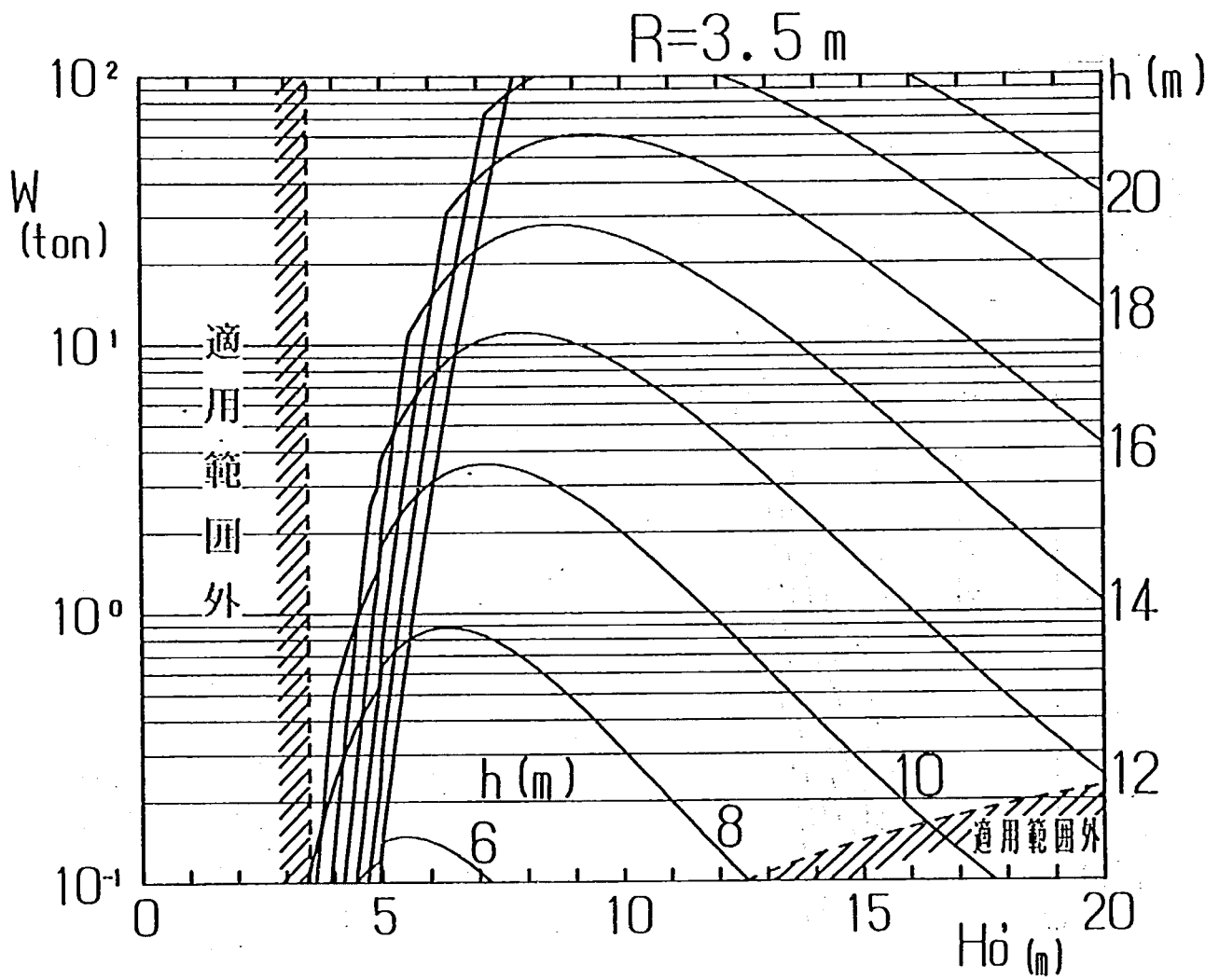
付図-4 W の算定図 ($R=2$ m、 $s=1.65$ 、 $K_v=0.5$)



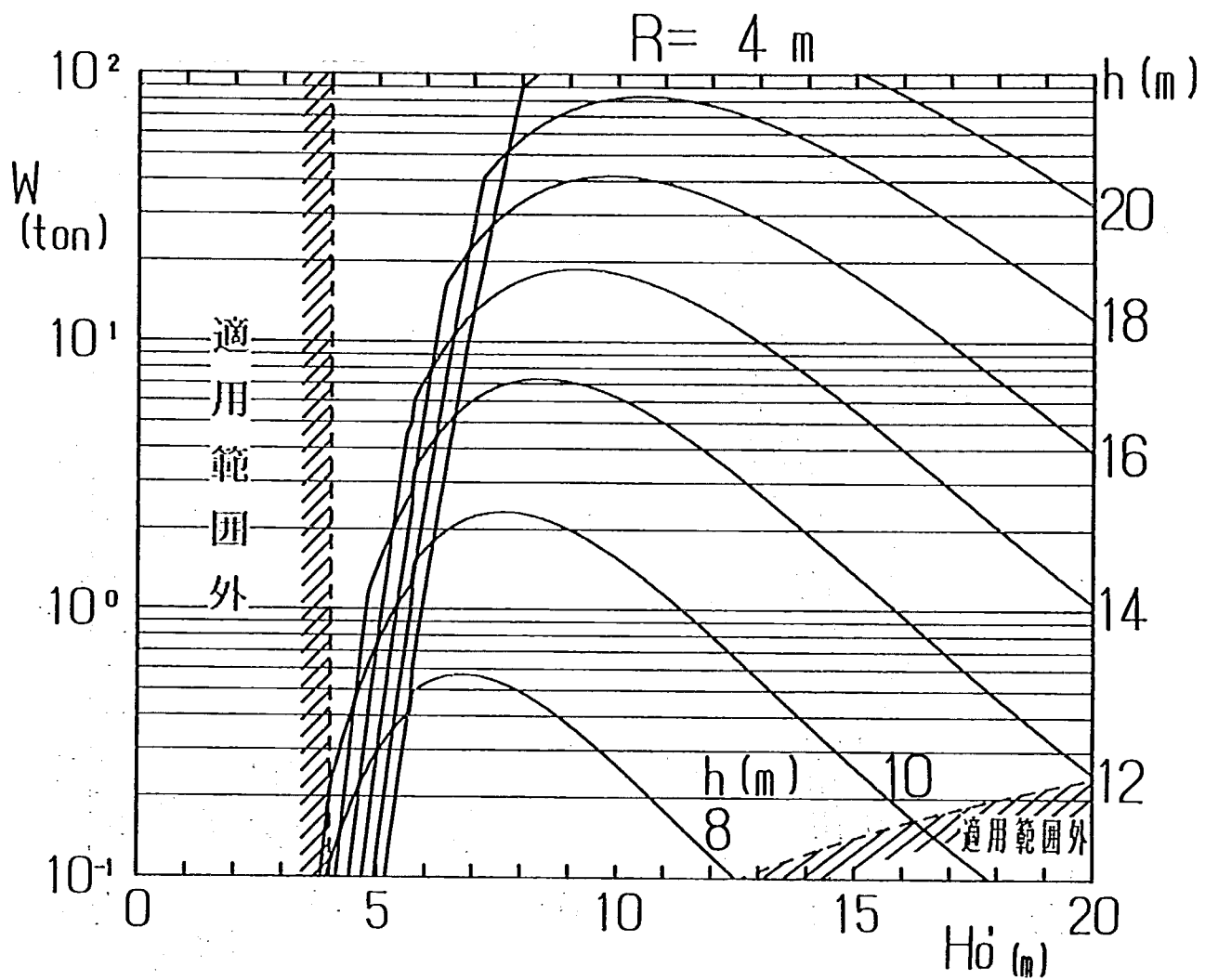
付図-5 W の算定図 ($R=2.5\text{m}$, $s=1.65$, $K_v=0.5$)



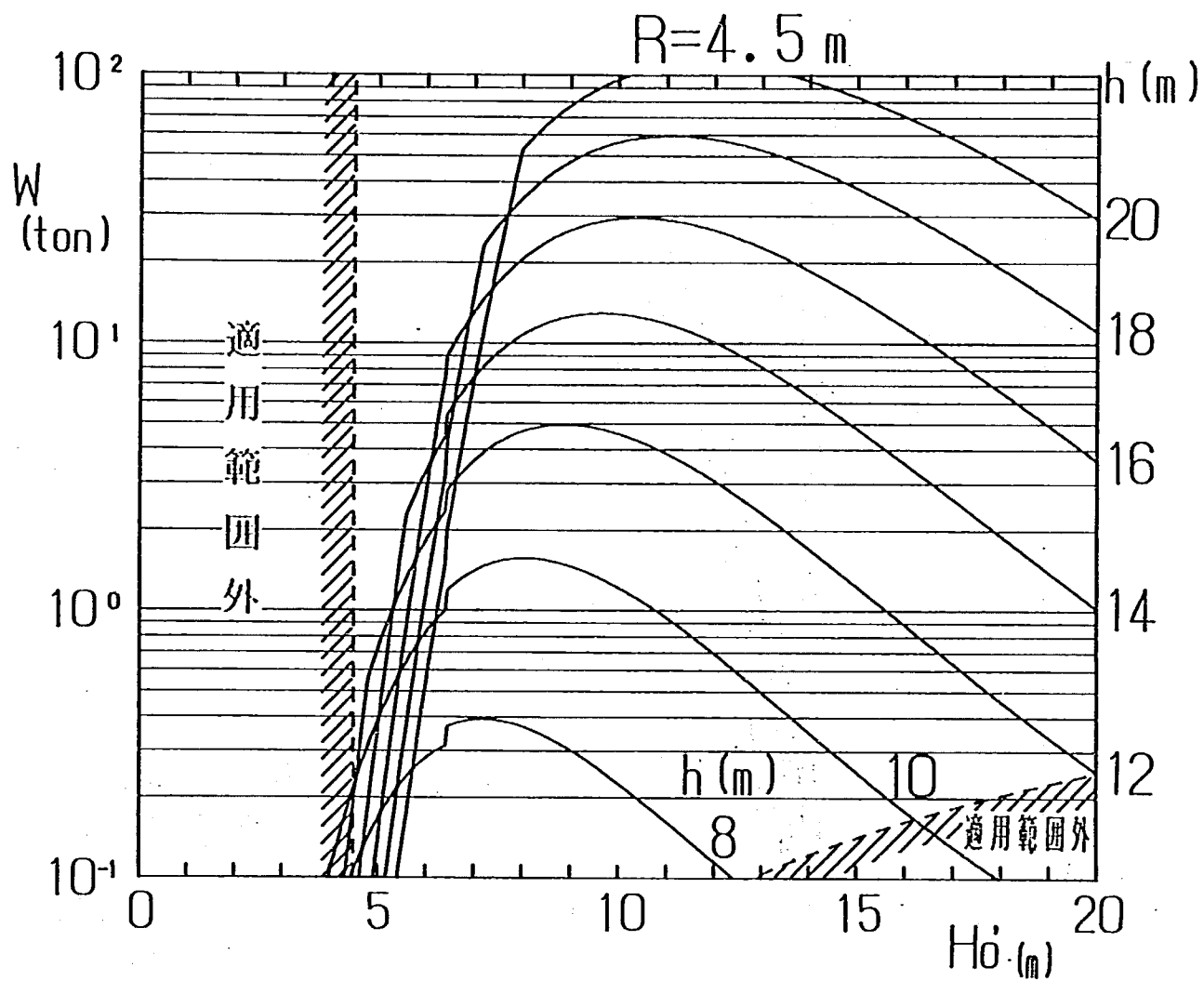
付図-6 W の算定図 ($R=3 \text{ m}$ 、 $s=1.65$ 、 $K_v=0.5$)



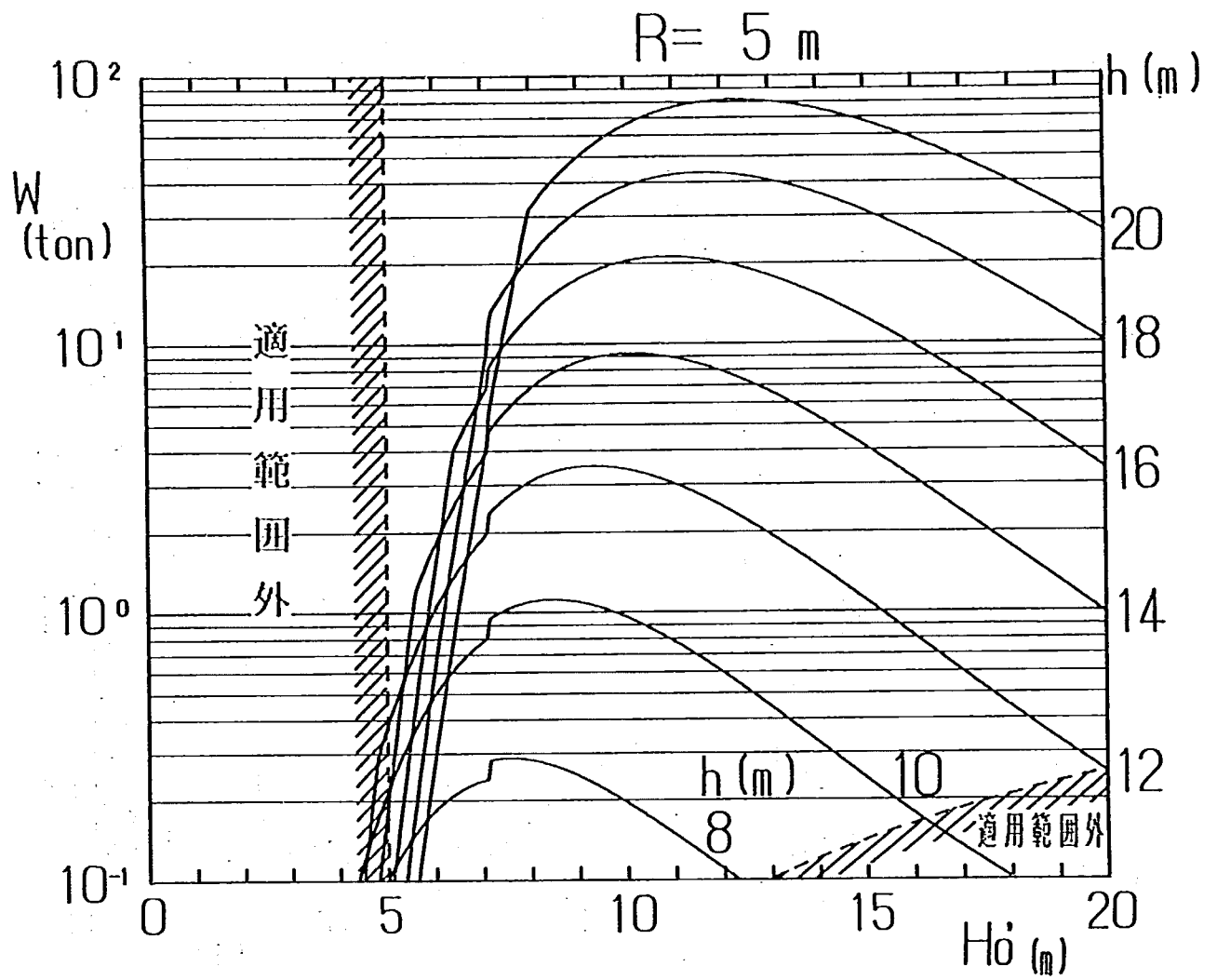
付図-7 W の算定図 ($R=3.5\text{m}$ 、 $s=1.65$ 、 $K_v=0.5$)



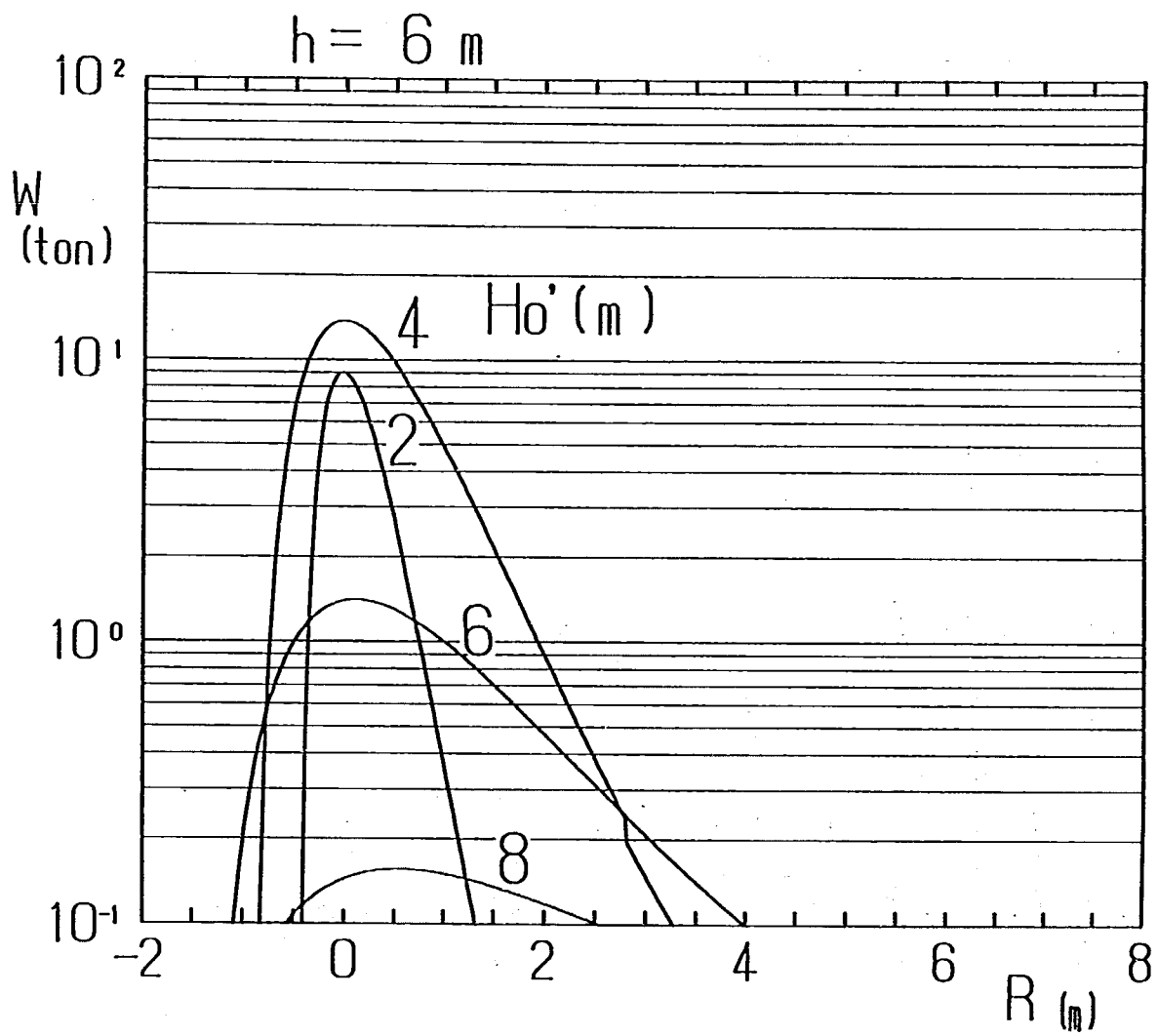
付図-8 W の算定図 ($R = 4 \text{ m}$ 、 $s = 1.65$ 、 $K_v = 0.5$)



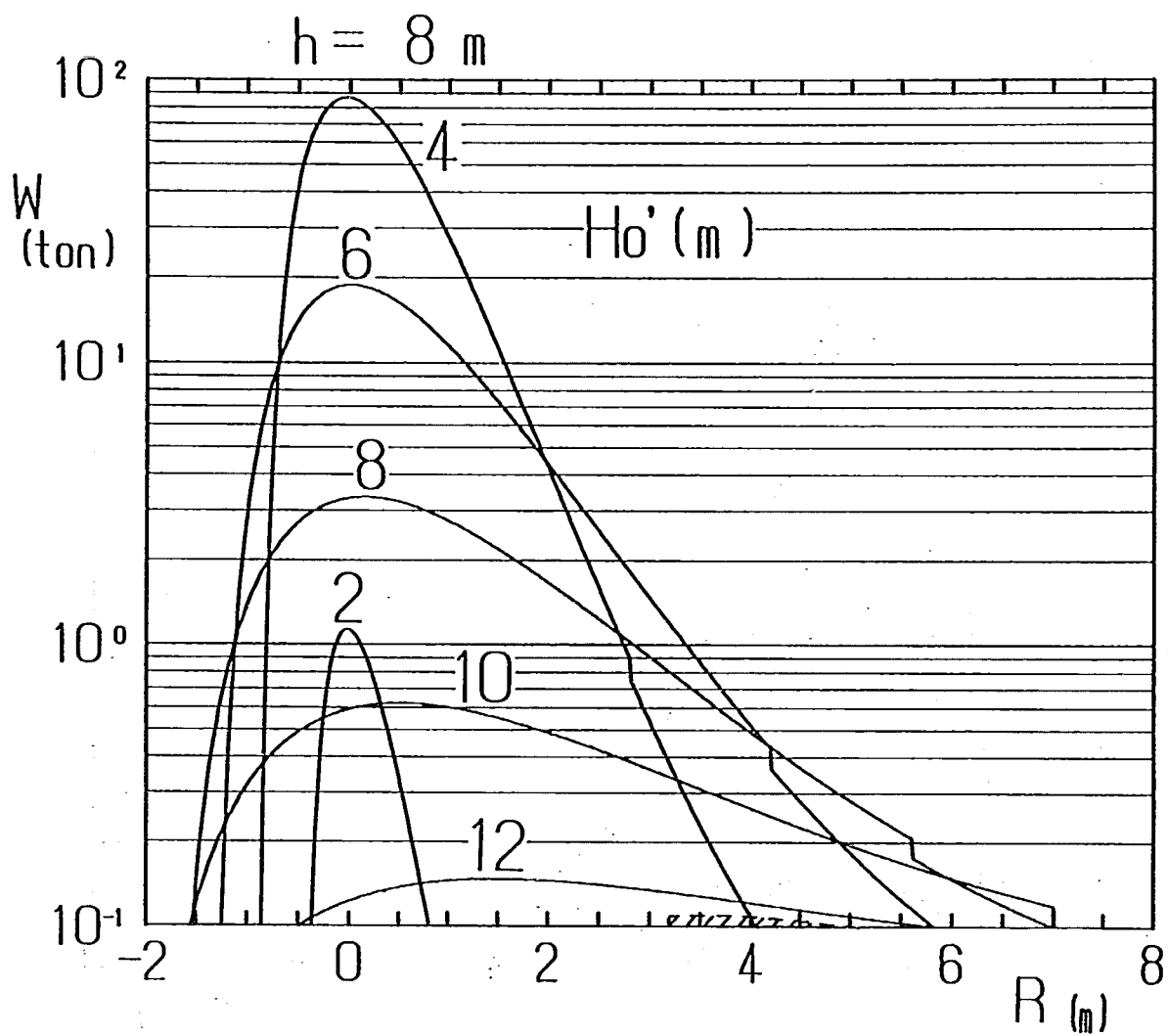
付図-9 W の算定図 ($R=4.5\text{m}$, $s=1.65$, $K_v=0.5$)



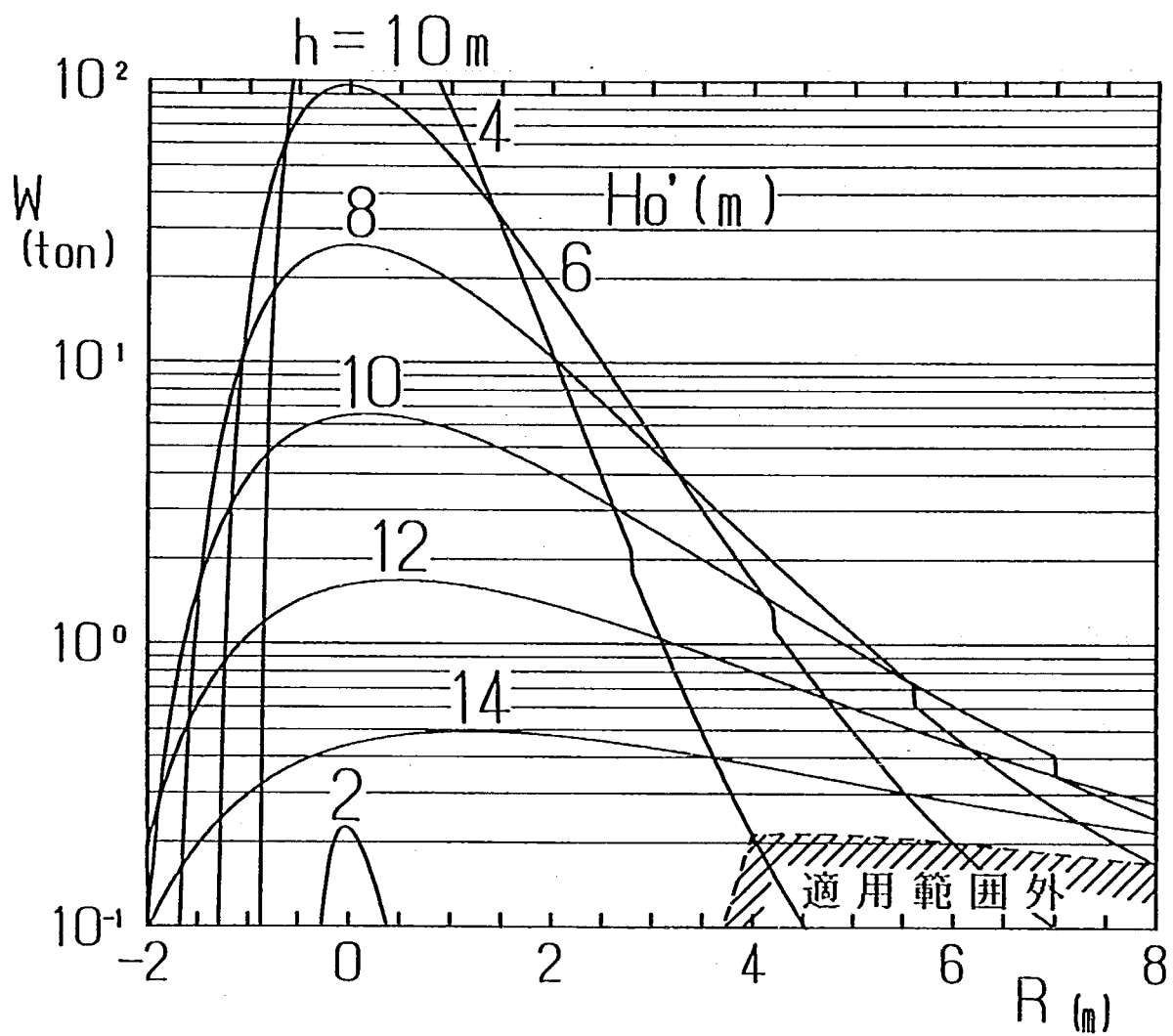
付図-10 W の算定図 ($R = 5 \text{ m}$ 、 $s = 1.65$ 、 $K_v = 0.5$)



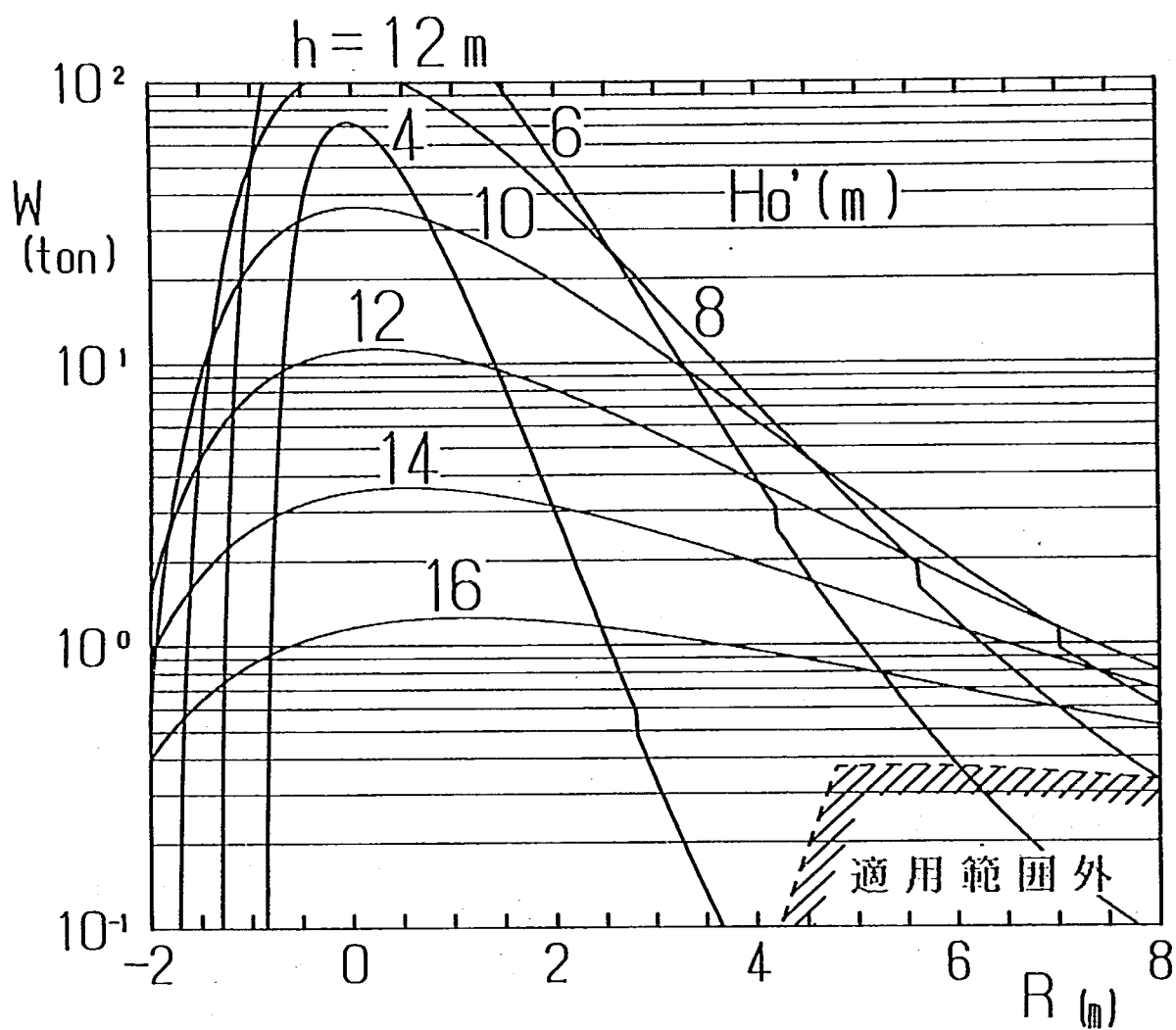
付図-11 W の算定図 ($h = 6 \text{ m}$ 、 $s = 1.65$ 、 $K_v = 0.5$)



付図-12 W の算定図 ($h = 8 \text{ m}$ 、 $s = 1.65$ 、 $K_v = 0.5$)



付図-13 W の算定図 ($h=10\text{m}$ 、 $s=1.65$ 、 $K_v=0.5$)



付図-14 W の算定図 ($h=12$ m、 $s=1.65$ 、 $K_v=0.5$)

人工リーフ被覆材の
所要重量算定法

ISSN 0386 - 5878
土研資料 第2893号
平成2年8月(1990)

宇多高明, 小俣篤
齋藤友伸

要 旨

人工リーフ被覆材の所要重量算定式の一般化を図った。宇多ほか(1988)の与えた算定式では、 $R/H_o' < 0.4$ かつ $H_o'/h < 0.3$ の条件が計算式の適用範囲外とされた。ここに、 R :天端水深、 H_o' :沖波波高、 h :堤脚水深である。本研究では、この条件においても被覆材の所要重量を算定可能な計算式を導くために、耐波安定性実験を行った。まず、 $R/H_o' < 0.4$ 、 $H_o'/h < 0.3$ の条件でも適用可能な岸向き最大流速の算定式を導いた。次に、被覆材の安定条件が前報と同様、安定係数 $S_n = 0.9$ で与えられることを示した。以上の実験データに基づき、人工リーフ被覆材の所要重量を与える一般式を導いた。

キーワード: 人工リーフ、岸向き最大流速、被覆材、安定条件、所要重量算定式



郵便はがき

切手を
はつ
て
下
さい

305-□□

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
海岸研究室 行

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2893号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印

土木研究所資料第2893号