

土 木 研 究 所 資 料

第 2 6 5 号

西湘バイパス道路護岸の水理的検討
(Ⅳ)

昭和 4 2 年 3 月

建 設 省 土 木 研 究 所

西湘バイパス道路護岸の水理的検討 (Ⅳ)

河川部海岸研究室 室 長 富 永 正 照
研究員 佐久間 襄
技 官 鷗 木 和 夫

目 次

I ま え が き	1
II 波のうちあげに関する実験	3
1) 概 要	3
2) 実験方法	3
3) 実験施設および測定方法	3
4) 実験結果	9
5) 実験結果の検討	9
III 橋脚の洗堀に関する実験	11
1) 概 要	11
2) 実験方法	11
3) 実験施設および測定方法	11
4) 実験条件	11
5) 実験結果	12
6) 実験結果の検討	12
IV 結 論	26

図 面 目 次

1.	平 面 図	2
2-1	模 型 図	4
-2	大型水路側面図	5
3.	固定床平面図	6
4.	固定床模型図	7
5.	模型縦断面図	8
6-1	堤防でのうちあげ高	10
-2	橋脚前面でのうちあげ高	10
7	実験用砂粒径加積曲線	13
8	高架橋および堤防	14
9-1~9	縦断面図	15~18
10-1~4	深 浅 図	20~21

表 目 次

1.	実 験 諸 元	12
付表 1.	case 1 堤防およびピアの打上げ高	27
2.	case 2 " "	28
3.	case 3 " "	29
4.	case 4 " "	30
5.	case 5 " "	31
6.	case 6 " "	32
7.	case 7 円型ピアおよび角型ピアの打上げ高	33
8.	case 7 堤防およびピアの打上げ高	34
9.	波記録, うちあげ高記録	35

写 真 目 次

1.	ブロック設置状況	22
2.	" "	22
3.	ブロック散乱状況	23
4.	" "	23
5.	case 4 の実験結果	24

I ま え が き

西湘バイパス道路護岸の水理的検討は、昭和38年度より当研究室で行なわれ、実験等の結果は、昭和39年3月から3回にわたって、報告書Ⅰ・Ⅱ・Ⅲで詳しく報告されている。

これらの報告書で述べられている今までの検討の結果を要約すると、海岸道路・高架橋等の護岸高を、主としてうちよせる波のうちあげ高と云う観点から検討していたものと云える。

主な内容は次の通りである。

- ① 海岸地形は平均して15～25mの汀線後退をみせている。この場合、高さにして1.5～2.0mの変動を覚悟しなければならない。
- ② 海岸堤防の堤脚附近での地盤高は、西湘海岸全体で1.5m程度の侵食を考えた方がよい。
- ③ 堤防のうちあげ高を、西湘海岸の16550の地点より西側で、Savilleの方法と、平均勾配法とで計算した結果は、Savilleの方法で、計画潮位上7.5～9.6m、平均勾配法で5.5～8.7mである。この場合平均勾配法の方が現実的な値である。
- ④ 計画波高 H_0 は6.2m、周期 $T=11.0$ 秒である。

今年度の実験の内容は、国府津海岸で高架橋を建設する際は、波のうちあげが、桁下高、上部工に与える影響と、橋脚基礎部の洗掘深を検討することである。桁下高の決定、上部工への影響に関しては、16492の地点を、橋脚部の洗掘については16552の地点をそれぞれ対象地点として模型実験を行なった。実験対象地点の平面図を図-1に示す。

以下にこれらの実験結果を報告する。

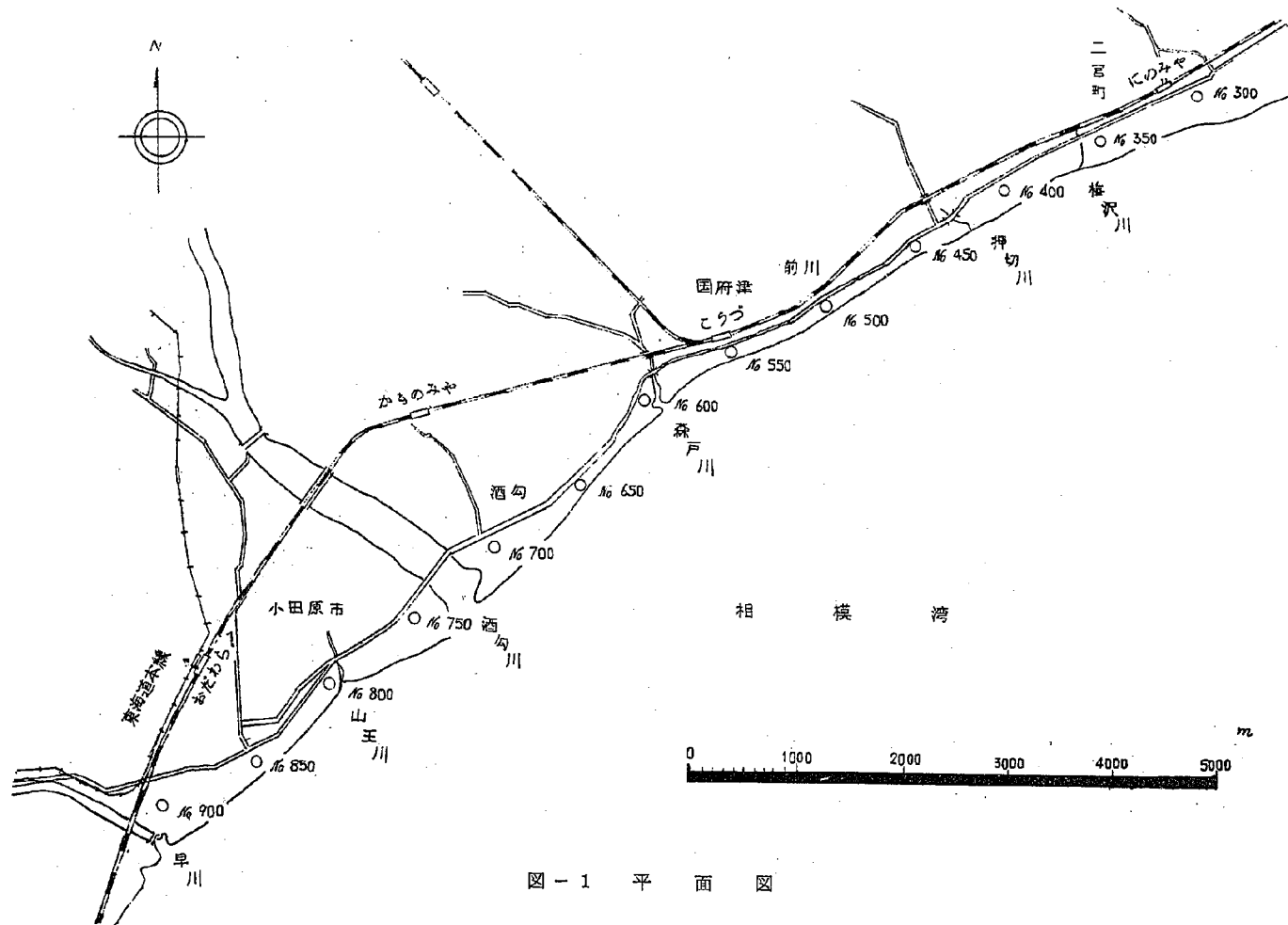


図 - 1 平 面 図

II 波のうちあげに関する実験

1) 概要

前述した如く、波のうちあげに関する実験の目的は、国府津地区 $\#58$ の地点で、うちあげた波が高架橋に与える影響を調べることである。我々はこの実験を固定床模型を使用して行つた。目的を詳しく云えば、

- ① うちあげた波が、堤防で反射し、波返しのため高架橋上部工を下から突き上げる形にならないか。
- ② 平均勾配法（報告書Ⅲ）で直立した壁を仮定して、うちあげ高を求める事が出来るが、そうして求めた値と、この様に橋脚の間が空間になつていゝときの橋脚々柱前面でのうちあげ高の違いはどうか。

の2点である。

何れの場合についても、原断面と汀線が20m後退した断面について検討した。

2) 実験方法

前述したように実験の対象区間は、 $\#58$ 断面である。前項の目的のためにはうちあげ高を測定するだけで十分であると考えて、①のためには堤防法面でのうちあげ高を測定し、もし橋脚上部の突縁部に波が当るような事があれば波圧も測定する。②のためには橋脚前面での波のうちあげ高を測定するが、現地で実際に設計されている正方形断面の橋脚だけでなく、円形断面の橋脚も同時に設置して、その違いも調べることにした。又実験で実際に起した波高を使つて、橋脚前面で壁を仮定した時のうちあげ高を平均勾配法で計算して比較してみた。実験は何れも固定床で行なつてゐる。

3) 実験施設および測定方法

模型は海岸研究室の平面水槽内に、木製側壁を使用して幅2.0m、長さ29mの水路を作り、その中に設置した。図-2、図-3はその平面図である。模型の縮尺は全て現地の $1/40$ とした。海床模型はモルタル（1:4）で作り、堤防・橋脚の模型は木製とした。模型寸法・配置等は図-4、図-5の通りである。造波板はフラッター型のもを使用し、波高・周期の測定は、抵抗線式波高計を造波板から15mのところ設置し、歪測定器を通して、ペン書きオシログラフで記録した。波高計の設置箇所を造波板から15mのところにしたのは、このような水路では波高計に対岸の構造物からの反射波が入り、正確な波高の記録がとれないので、反射波の影響が入らないような距離を考えて15mとしたのである。波のうちあげ高の測定は実験の際読み取つた後、その記録を同時に8mmシネカメラで撮影したもので補正した。実験の1回毎に約20の波を起し、波高・周期は波が起き始めてから第6～第10波の5波の平均値を、うちあげ高は第6～第15波の10波の平均値をそれぞれデータとして採用した。

图-2-1 模 型 图

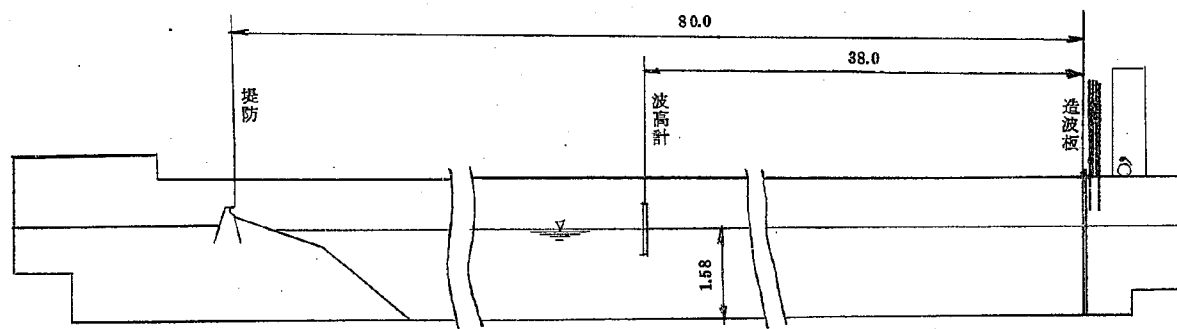
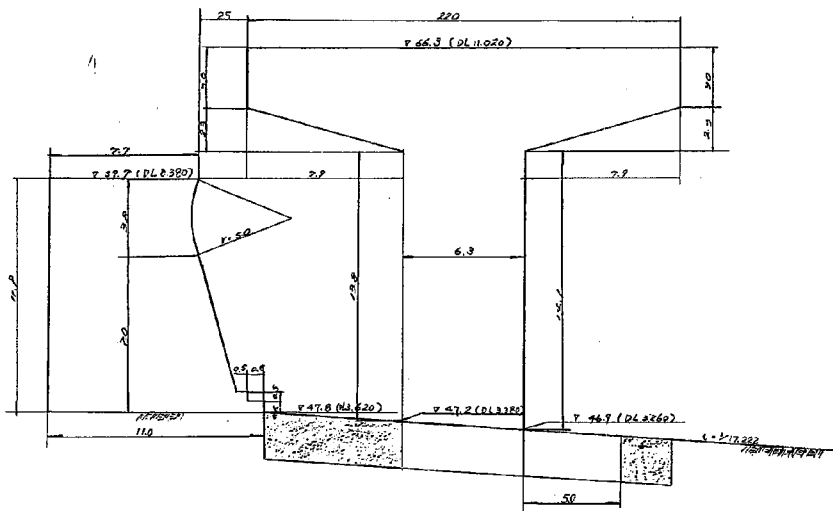


图 - 2 - 2 大型水路侧面图

单位 m

$$S = 1/20$$

堤防附近詳細圖 $S=1/2$



固定床模型縦断面圖 $S=1/20$

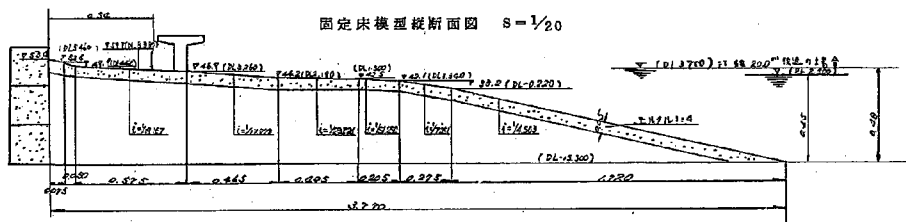


圖-4 固定床模型圖

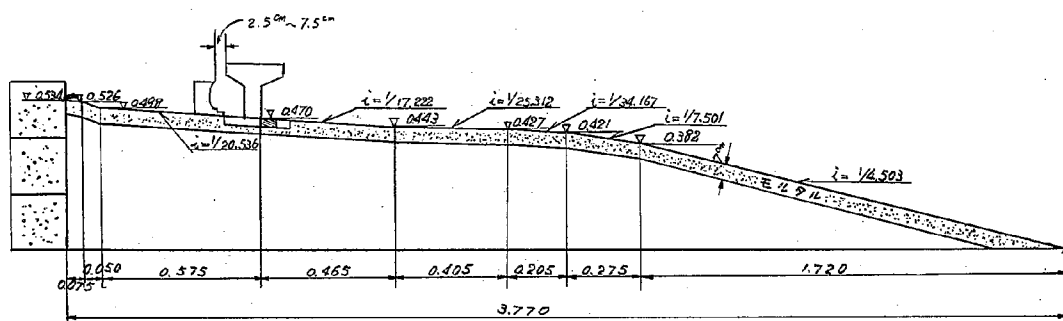


圖 - 5 模 型 縱 斷 面 圖

4) 実験結果

それぞれの波高・周期・橋脚～堤防間の距離毎に、実験を行ない、測定したうちあげ高の記録を附表1～8に、波高・周期等の波特性と、うちあげ高の無次元化した値 R/H_0 等をまとめたものを附表-9に示している。ここでは波高については現地計面波高よりも小さくなっているが、我々の使用した造波装置の能力が低く、この波高でせい一杯であつた。現地計面波高は6.2 mであり、これを $1/40$ に縮尺すると、15.5 cmであるが、実際に実験で出た波は最高で14.2 cmで、現地に直して5.7 mの波高となる。従つて実験結果の検討については、この点も考慮する必要がある。

5) 実験結果の検討

先に2つの実験目的について述べた。その1つ毎に実験結果の検討を行なう。

①について、堤防でうちあげる波について実験値と平均勾配法で計算した値とを無次元化した値 R/H_0 と H_0/L_0 との関係を図6-1に示す。実験値は相当にばらついており、20 m後退の場合0.65～0.95の範囲である。白丸印は平均勾配法による計算値であるが、実験と比較的よく一致している。また実験の範囲内では波形勾配には殆んど無関係である。この実験では波の周期はほぼ一定で、波高のみを変えているので、上述の事から、波高が若干変つてもうちあげ係数は殆んど変化しないと考えてよいであろう。堤防におけるうちあげ係数を0.95として、計画波が来襲したときのうちあげ高を計算してみるとつぎのようになる。

$$T.P. 2.50 m + 0.95 \times 6.2 m = T.P. 8.40 m$$

既設堤防の高さはT.P. 8.5 mであるから計画波が来襲しても堤防の天端高以上に波が上らないことになる。うちあげ高の実験値は6～15波の平均値であるから、一つ一つの波を考えると、うちあげ係数が0.9より大きくなることもある。実験値を詳細に調べてみると、平均値の20%程度のちらばりがあるので、0.95の2割増しの値でうちあげ高を計算すると、T.P. 9.5 mとなる。この値はほぼ最高値と考えられるうちあげ高であるが、この値でも高架橋の桁下まで達していない。模型実験では波が計画波より若干小さかつたのであるが、桁に水がかかつた例は皆無であつた。原断面の場合は、うちあげ高がずつと小さくなり同様に影響は認められなかつた。従つて既設堤防に波が当つて、それが高架橋の桁に影響を与えることはないと考えてよいであろう。

次に②の問題について検討してみる。図-6-2で R/H_0 と H_0/L_0 の関係を図示した。これで見ると、実験値は計算値よりも約2割程度小さくなっている。つまり壁の場合よりも橋脚のように空間があつた場合には、2割位うちあげ高は小さくなっている。壁の場合と空間のある場合とでは、一方では入射する波がそこで全部はねかえり、一方ではその大部分が間を通り抜けるので、うちあげ高が多少小さくなつたものと思われる。同時に行なつた円形断面の橋脚でのうちあげ高をみると、この角形断面のものよりさらに1割程小さくなっている。これは円形断面の場合の方が、流れをとめる効果が小さいことから当然予想し得る結果である。

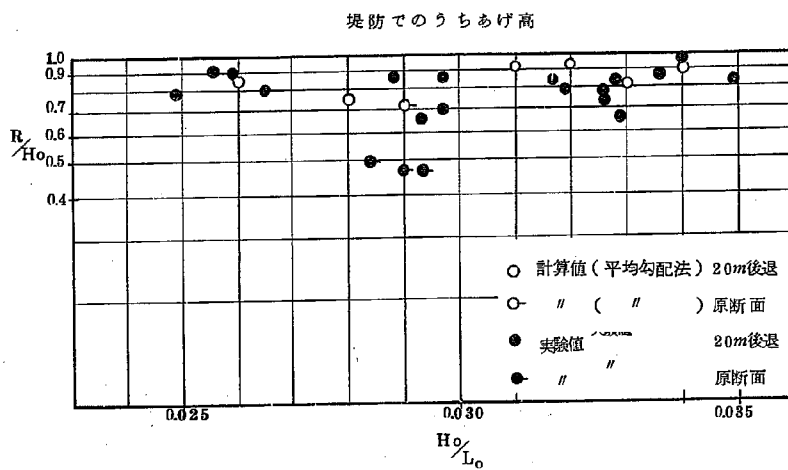


図 - 6 - 1

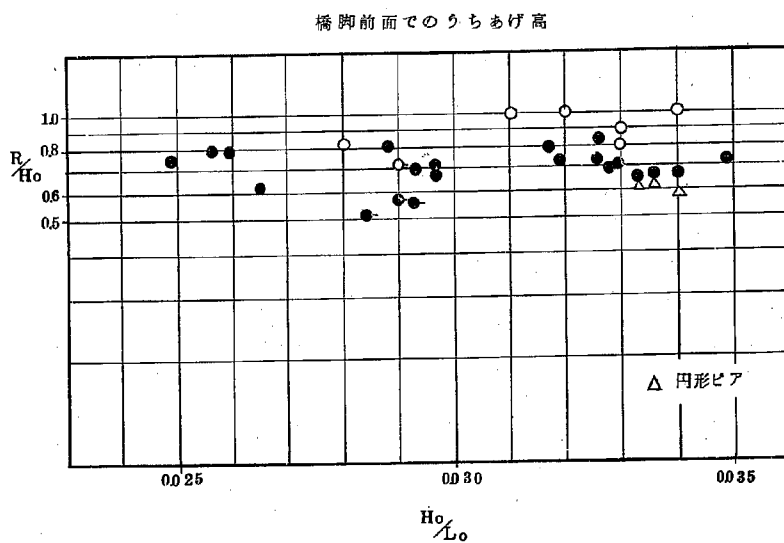


図 - 6 - 2

III 橋脚の洗堀に関する実験

1) 概要

本章の内容は国府津附近(図-1. 6. 5. 5. 0 附近)に於ける高架橋々脚のまわりの洗堀およびその防護策を検討する実験である。

「西湘バイパス道路護岸の水理的検討(II)」に於て述べられているように大磯-小田原附近に於ける汀線の変動は、場所、時期によつても異なるが、最大約 4.0 m, 平均 2.0 m 程度は十分予想される。これからその附近の平均海浜こう配を仮定して橋脚附近の洗堀量を概算すると約 1.5 ~ 2.0 m は覚悟しなければならない。唯一の実測結果と思われる昭和 40 年 9 月の 17 号台風時の洗堀量は約 1.6 m であつたが、この値は上の概算値と比較的よく一致している。しかしこの結果では波の実測結果がないので汀線変動と外力との関係はわからない。この点にかんがみ今回の実験は橋脚附近の計画波に対する洗堀量を予測することにある。しかし衆知のように波による移動床実験の結果を量的に議論することは現在のところ非常に困難である。よつて本内容もいくつかの実験結果からそれを推測するにとどめざるを得なかつた。

2) 実験方法

本実験の目的上当然移動床実験を行なわなければならない。しかし前述のように現在、波による砂の移動に関してはそれを量的に議論するのは困難である。さらに相似率がはつきりしないため実験結果から現地の結果を予測することは一般にはできない、が本実験では次の方法をとつた。すなわち 4 種類の異つた縮尺で同じ条件の実験を行ない、それ等の結果を総合して現地に於ける現象を予測しようとした。

又、海浜の時間的变化を知るため適当な時間々隔(図-9 を参照)で 3 回の測定を行なつた。

3) 実験施設および測定方法

本実験に用いた水槽は図-2-1. に示す平面水槽および図-2-2. に示す大型水槽である。前者に於て縮尺 $1/50$ および $1/40$ の実験を、後者に於て縮尺 $1/20$ および $1/15$ の実験を行なつた。波高および周期の測定は平面水槽に於ては抵抗線式波高計を、大型水槽に於ては接点式波高計を用いた。海床の高さは手製のスタッフを用いて測定した。また写真および 8 mm シネカメラをも活用した。

4) 実験条件

実験に用いた波の諸元は表-I のとおりである。用いた波は「西湘バイパス道路護岸の水理的検討(II)」に於て示されているように沖波々高 6.2 m, 周期 11.0 sec を一応の目安とした。

表-1 実験諸元

実験ケース	沖波々高		周 期		模型縮尺	註	水 槽
	模 型	現 地	模 型	現 地			
1	1.4.4 cm	5.7.7 m	1.6.1 sec	1.0.2 sec	1/40	橋脚有り	平 面
2	1.4.5	7.2.6	1.5.5	1.1.0	1/50	〃	〃
3	1.4.4	7.2.0	1.5.6	1.1.0	〃	橋脚無し	〃
4	1.6.2	8.0.8	1.7.8	1.2.6	〃	橋脚有り	〃
5	1.5.6	7.8.2	1.5.5	1.1.0	〃	〃	〃
6	3.5.8	7.1.5	2.5.1	1.1.2	1/20	〃	大 型
7	3.2.1	6.4.3	2.5.0	1.1.2	〃	橋脚無し	〃
8	3.2.1	6.4.3	2.5.2	1.1.3	〃	ブロック	〃
9	4.1.0	6.1.5	3.2.3	1.2.5	1/15	橋脚無し	〃

用いた砂は平均粒径 0.2 mm (粒度曲線は図-7 に示す) のものである。これは対象としている国府津附近の海浜材料の平均粒径 1.0 ~ 1.6 mm とくらべると $\frac{1}{8}$ ~ $\frac{1}{16}$ の大きさである。模型縮尺もこの点を考慮すべきであろうが、量的取扱いの困難な現在、その点までもこまかく考慮するのは無意味と考え、どの縮尺に於ても上記の粒径の砂を用いた。

ケース 8 に於て橋脚部を護るため試みにブロック (テトラポッド) を置いてみた。ブロックは砂土に直接置かれた。

橋脚は図-8 に示すように正方形断面のものを対象としたが、一部円形断面を試みた場合もある。

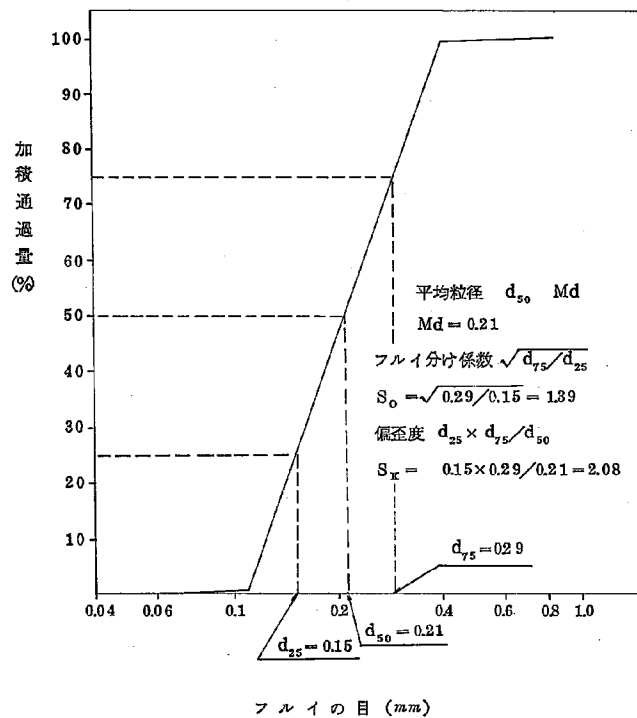
5) 実験結果

実験ケース 1 から 9 までの結果を図-9 から図-10 に示す。深淺図からわかるように海床は水槽側壁附近を除くと横断方向にほぼ一様であり、縦断面は中央部 2 ~ 3 の縦断面の平均値で代表させた。深淺図は特に対象とした橋脚附近を詳細に描いた。ケース 8 に於けるブロックの配置および移動状況は写真 1 ~ 4 に見られる。

6) 実験結果の検討

検討を加える前に少し実験の状況を見てみよう。実験結果に見られるようにケース 1 ~ 5 とケース 6 ~ 9 とでは現象が異つている。すなわち 1 ~ 5 に於ては橋脚部に堆積が見られるが 6 ~ 9 に於ては反対に洗掘が見られる。

ケース 1 ~ 5 では約 1 時間 (模型時間) 波を作用させた結果堤防前面および橋脚部附近は堆積を示し、ただ橋脚部のごく近傍でそのまわりよりわずかに低くなつてゐるにすぎない。特にケース 4 に於ては写真 5 に見られるようにほとんど堤防の天端にまで砂は達している。



平均比重 2.673

ふるい目 (mm)	各ふるいに止まる量 (g)	各ふるいに止まる量 (%)	各ふるい止まり加算百分率 (%)	各ふるい通過百分率 (%)
0.85	0	0	0	100.00
0.40	0.21	0.20	0.20	99.80
0.25	39.79	37.52	37.72	62.28
0.11	65.88	62.12	99.84	0.16
0.075	0.17	0.16	100.00	0.0
合計	106.05	100.00		

図-7 実験使用砂粒径加積曲線

縦断面図

波高 13.3cm (5.35m)

周期 1.61sec (10.18) 実験時間 30分後 模型縮尺 $\frac{1}{40}$

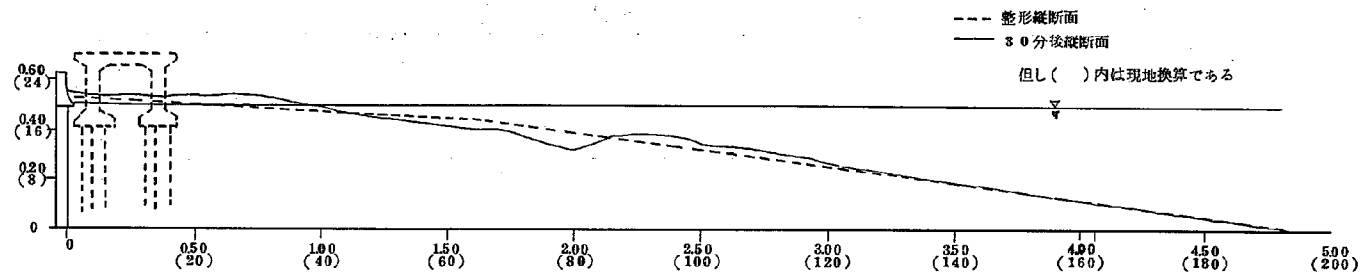


図-9-1 ケース 1 縦断面図

縦断面図

波高 13.3cm (6.67m)

周期 1.567sec (11.01) 実験時間 60分後 模型縮尺 $\frac{1}{60}$

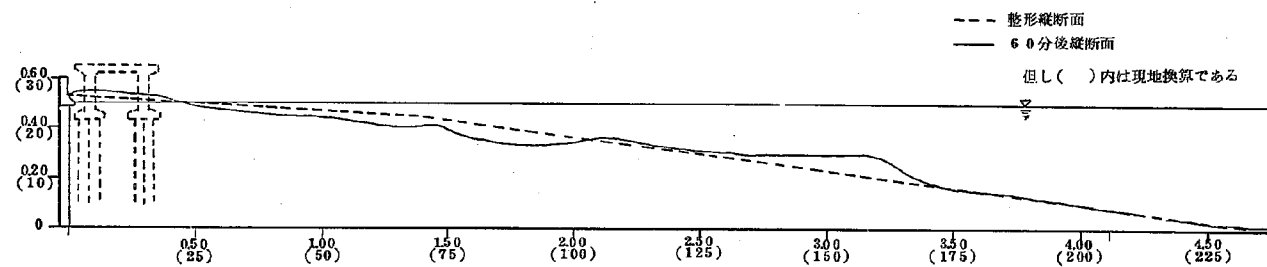


図-9-2 ケース 2 縦断面図

縦断面図

波高 13.2cm (6.6m)

周期 1.56 sec (11.03) 実験時間 60分後 模型縮尺 $\frac{1}{60}$

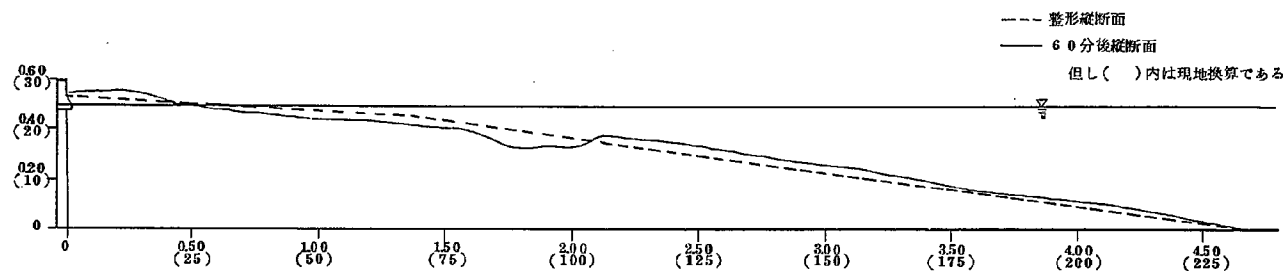


図-9-3 ケース 3

縦断面図

波高 15.0cm (7.5m)

周期 1.78 sec (12.6) 実験時間 60分後 模型縮尺 $\frac{1}{60}$

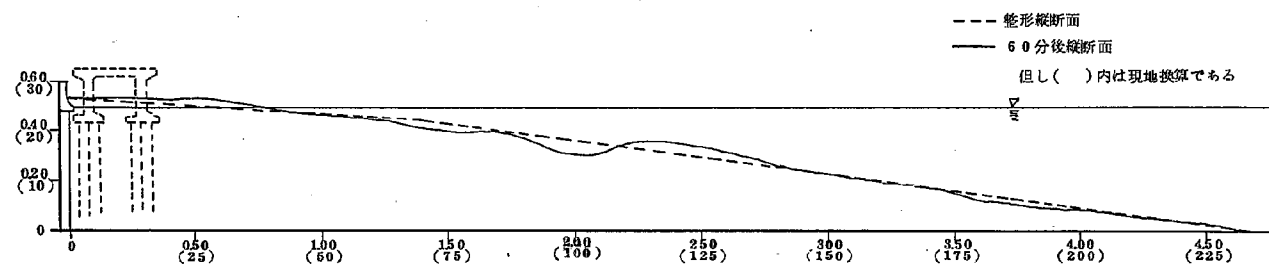


図-9-4 ケース 4

縦断面図

波高 14.3 (7.16 m)

周期 1.55 sec (10.96) 実験時間 39分55秒後 模型縮尺 $\frac{1}{60}$

--- 整形縦断面

— 39分55秒後縦断面

但し () 内は現地換算である

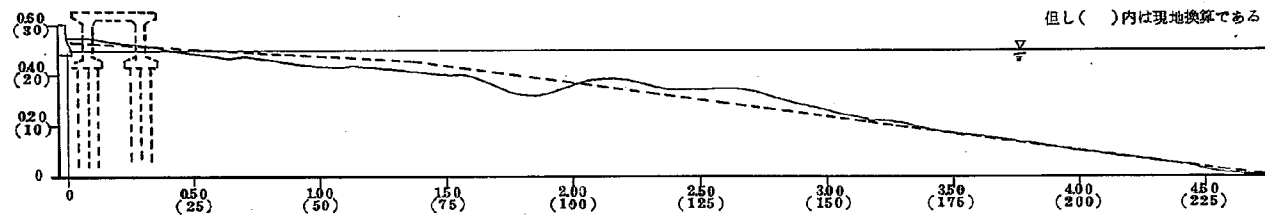
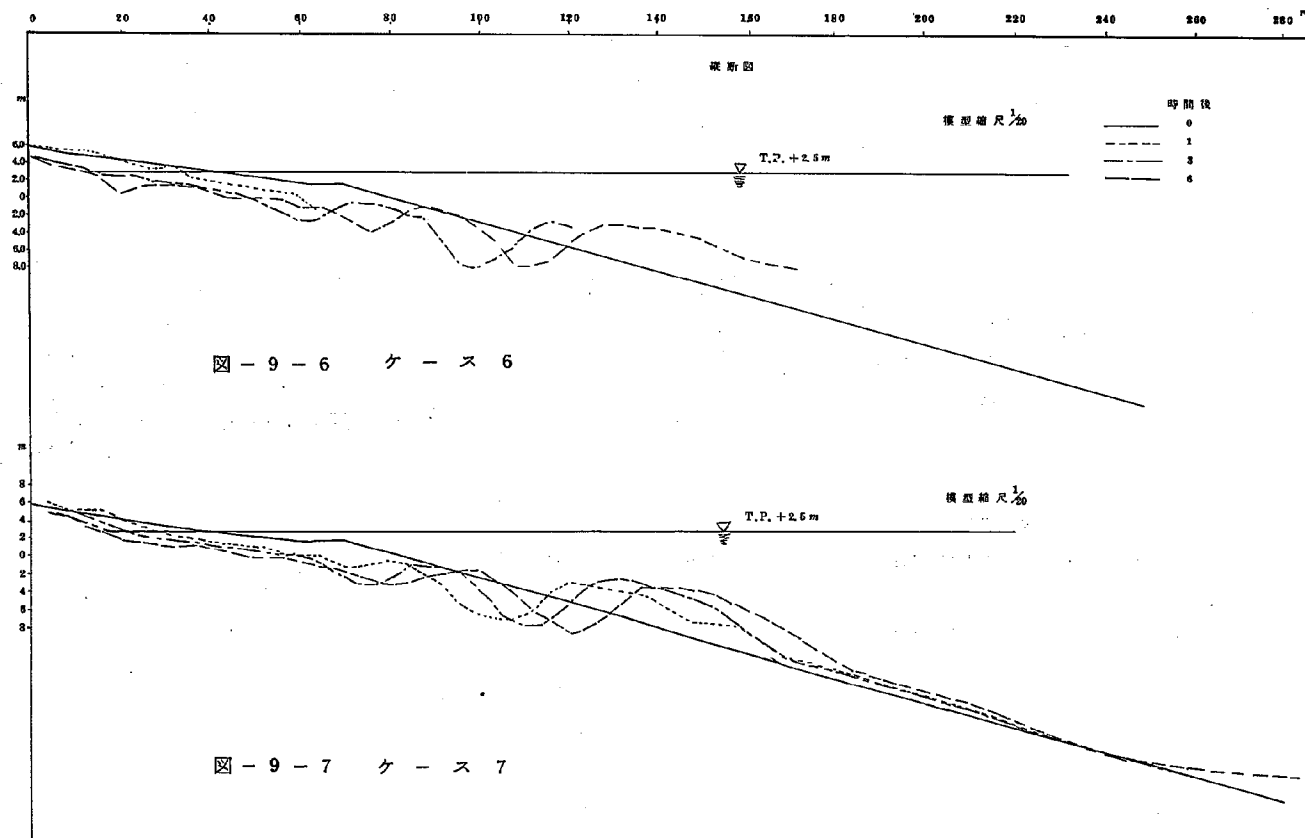
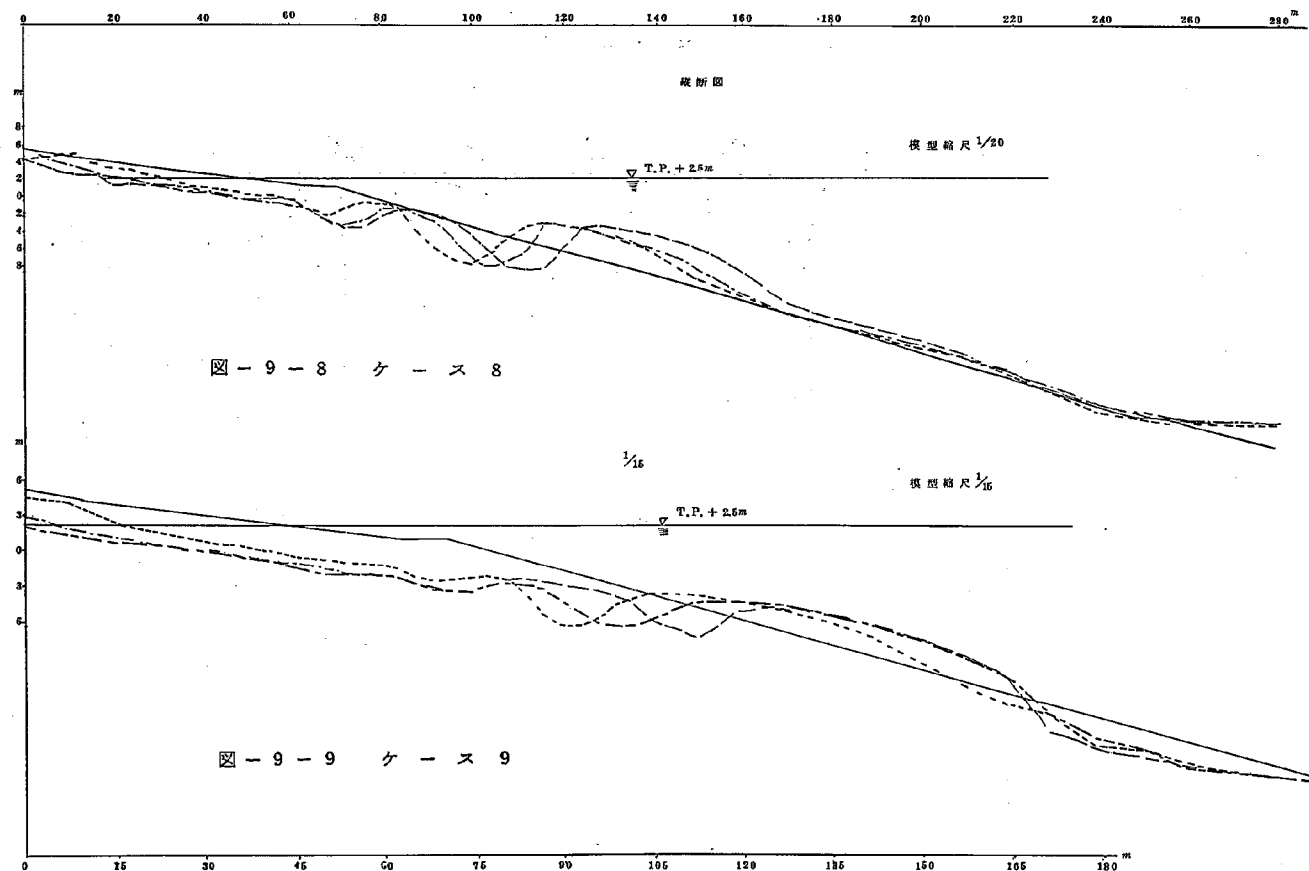


図 - 9 - 5 ケース 5

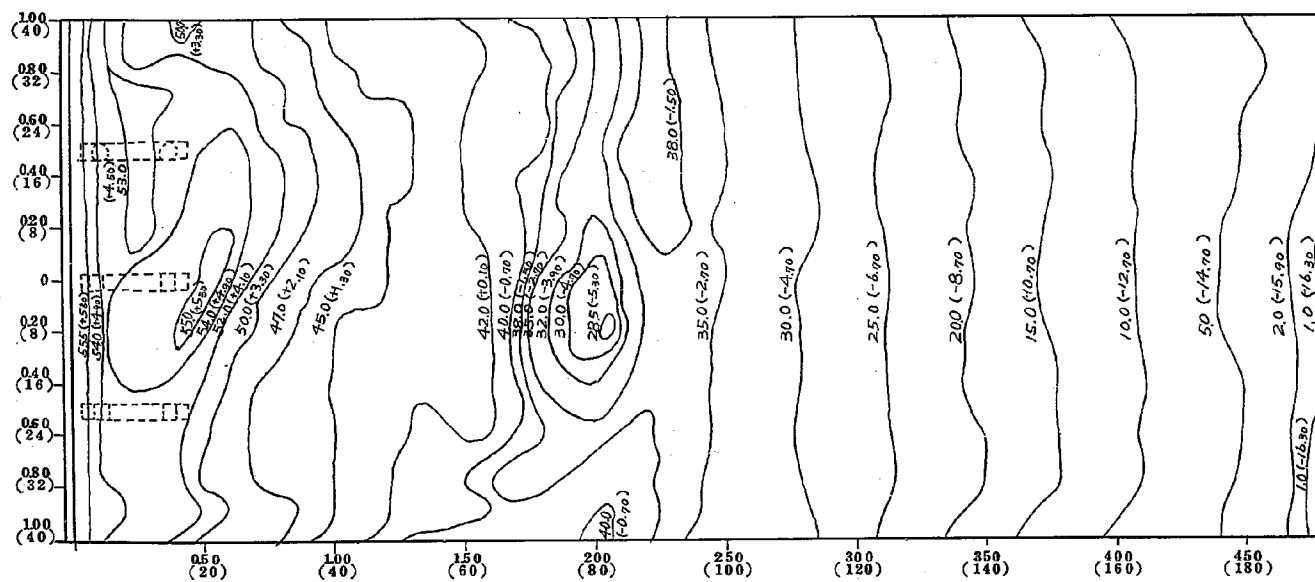




波高 13.29 (5.31m)

深 浅 図

周期 1.61 sec (10.18) 実験時間 30分後 模型縮尺 $\frac{1}{40}$



但し () 内は現地換算である

図-10-1 ケース 1 深浅図

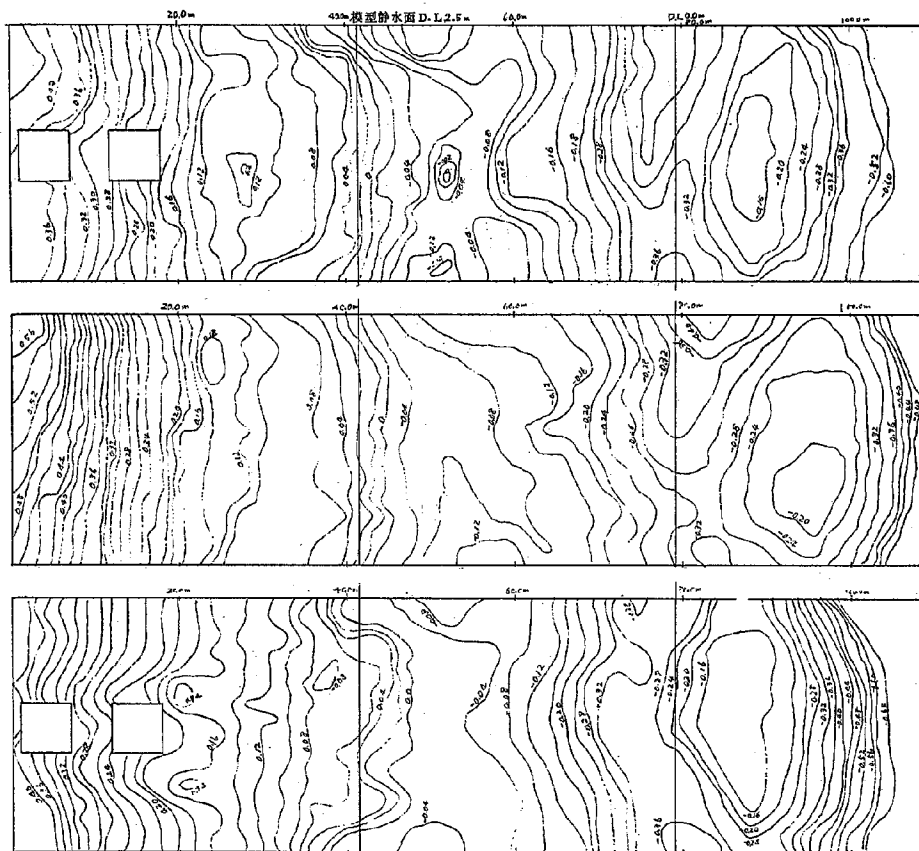


図-10-2 ケース 6

橋脚付 370分後

D.L + 2.50 m

$H_0 = 7.15 m$

$T = 11.2 sec$

図-10-3 ケース 7

橋脚なし 370分後

D.L + 2.50 m

$H_0 = 6.43 m$

$T = 11.2 sec$

図-10-4 ケース 8

橋脚, 消波工付 370分後

D.L + 2.50 m

$H_0 = 6.43 m$

$T = 11.3 sec$

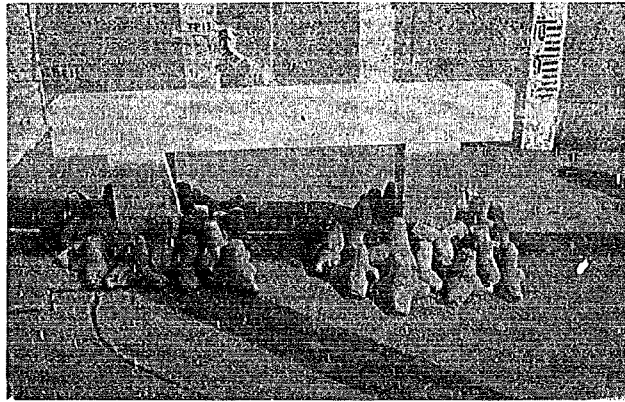


写真-1 ブロック設置状況

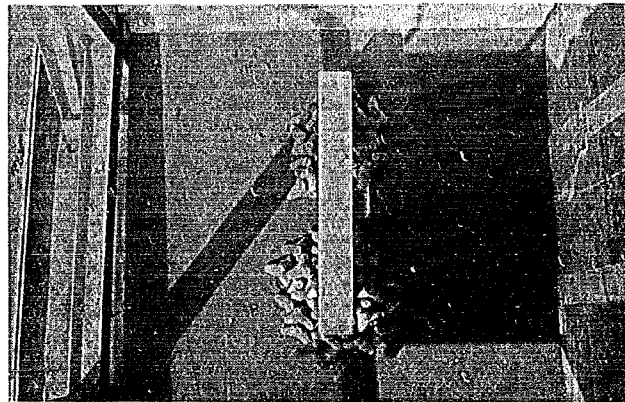


写真-2 ブロック設置状況



写真-3 ブロック散乱状況

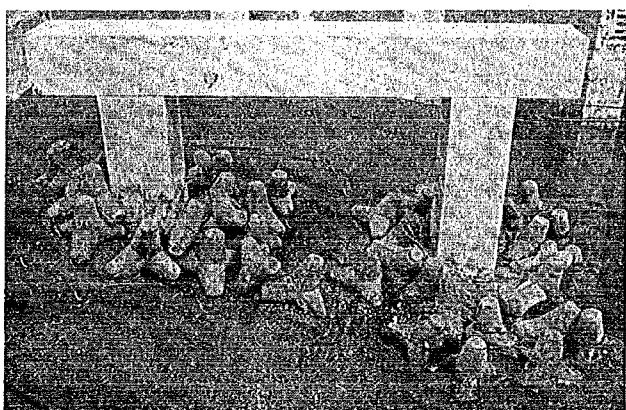


写真-4 ブロック散乱状況

一方砕波点附近は深く掘られている。

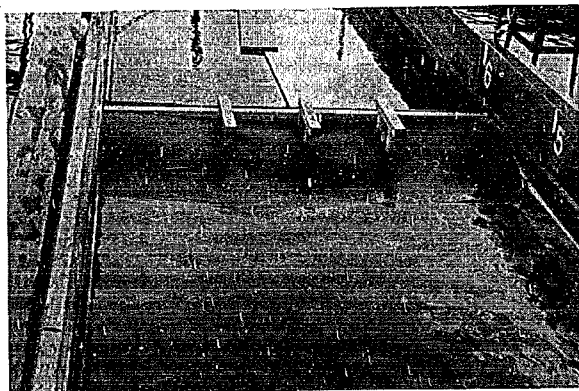


写真-5 case 4 の実験結果

ケース6～9に於ては堤防前面附近は大きく洗掘されこの傾向は時間と共に増大すると考えられる。砕波点の後退にも見られるように洗掘された砂は沖の方へ持ち去られ汀線はずつと後退しているのがわかる。

又、橋脚のある場合とない場合を深淺図によつて調べてみると堤防前面附近の海浜変化はほぼ同様と見なすことができる。ただ橋脚のごく近傍はわずかに掘られているのが見られる。

ここでケース1～5とケース6～9の現象のちがひについて次のように考えてみる。砂の移動は流水による κ 掃流力 κ と関係している。すなわち流水の砂をおし流す力が大きい程砂の移動量も多量であると考えられる。この κ 掃流力 κ は、この場合砕波後の波によるものと考えているが、波高の大きさに関係している。すなわち波が大きい程砂を運ぶ能力も大きいと考えられる。

今波高と砂粒径との関係を模型と現地について比較してみる。実験に用いた砂はどのケースも平均粒径 0.2 mm である。一方現地に於ける海浜材料は平均粒径 $1.0 \sim 1.6\text{ mm}$ である。もし波と砂との関係を波高と砂粒径との関係でとらえられるとすると、模型に於ける砂を 0.2 mm のものを用いるかぎり模型縮尺は少なくとも $1/8 \sim 1/16$ が必要となる。(模型に於てあまり小さい粒径のものをを用いることはできない。例えば 0.15 mm 以下のものは掃流よりも浮遊の傾向がつよくなり現象が全く異つたものになる。) 又模型の縮尺効果の方から考えても(例えば波の周期が短くなりすぎると砂を伴わない現象に於ても縮尺効果が見られる)あまり小縮尺の実験結果を用いるときは慎重を要する。これ等のことから縮尺の大きい程その結果はより現地の現象に近いと思われる。よつて以下ケース6～9を重視して橋脚附近の洗掘の予

測を行なう。

ケース6～9の結果を見ると堤防前面に於ける最大洗掘深はケース7で約2 m, ケース9で約3 mを示している。(この値は実験値を縮尺でわつて求めたものである)これからも波高が大きくなると洗掘深も大きくなることが予測され, また波高と砂粒径との関係から推察すると現地(沖波々高6.2 m)ではケース9の1.5～2.0倍(4.5～6.0 m)にはなるのではないかと考えられる。

ここで一つ問題になるのは実験結果を現地に適用する場合に考えなければならない規則波と不規則波との関係である。特に砂を含んでいる場合には問題である。すなわち砂の移動を有義波で議論できるかということである。この点に関する研究は現在のところ皆無といつてよい。不規則な波の分布を考えてみると有義波より大きい波は約13%であり他はこれより小さい波高のものである。よつてある一定時間不規則波が海浜に作用すると有義波より小さい波の方が作用時間はずっと長いと考えられる。洗掘量は明らかに時間の関数である。とすると洗掘に関係している波は有義波より小さい波であるとも考えられないだろうか。これ等の点は今後の研究にまつべき問題であろう。

一方「西湘バイパス道路護岸の水理的検討Ⅲ」によると国府津附近の約8年間の変動の最大値をしらべた結果大きいところで約30 mの汀線後退を示し平均15～20 mの変動が見られる。これに対し橋脚部の洗掘深を平均こう配から予測すると大きなところで3～4 m, 平均的なところで1.5～2 mの変動は覚悟すべきであるとし, また昭和40年9月の17号台風時の大磯ロングビーチ附近の洗掘量を調べてみると最大で約2.8 m, 平均1.6 mの変動を示している。もつともこの場合波はわからない。

とすると前述の実験結果から結論した最大洗掘量4.5～6 mというのはさほど非現実的なものではない。すなわちこの程度の洗掘は覚悟すべきものと考えられる。

次に洗掘に対する防護策について少し考えてみる。上の結果から橋脚附近の洗掘は明らかである。これの対策としてまず考えられるのはブロックを橋脚のまわりに設置することである。実験ケース8に於てその例を試みた。用いたブロックはテトラポッドで4トンに相当する。2本の橋脚のうち海側のまわりに28個, 陸側に20個で橋脚をかこむように砂上に直接に乱横にした。(写真1, 2を参照)

結果は橋脚部の洗掘防止に対してその効果は認められなかつた。すなわちブロックを置かない場合とほぼ同程度の洗掘が見られた。またブロックのちらばり方も大きい。この例が示すように砂上に直接ブロックを置いてもその効果はほとんど期待できない。砂上に碎石を敷きその上にブロックを設置すればある程度の効果は期待できるが, 海浜の利用を考えると良策とは言い難いようである。橋脚のまわりの海浜を有効に利用しようとするれば, ブロックを置かず橋脚基礎部の根入れを十分深くして, たとえ根入部が洗掘により露出しても転倒しない構造にしておく方がよいと考えられる。

最後に, 正方形断面の橋脚と円形断面のそれとに於て洗掘状況を調べてみたが, 大きな相違は認められなかつた。

Ⅳ 結 論

以上の検討の結果次の事が結論される。

波のうちあげ高に関しては、

1. 堤防でのうちあげ高は小さく、ごく小数の例を除いて堤防から上に上げる事はない。従つて橋脚上部への影響は無視できる。
2. 橋脚へのうちあげ高は壁へのうちあげ高よりも2割位小さくなる。
3. うちあげ高を角形橋脚と円形のものについて較べてみると、後者に於ける方が若干小さくなる。

橋脚部の洗掘に関しては、

4. 計画波を6 m程度とすると橋脚部に於て4.5～6 mの洗掘は覚悟する必要がある。
5. 橋脚部の洗掘防止に対してはブロックのみを設置したのではほとんどその効果は期待できない。また海浜の有効利用を考えるとブロックの設置はあまり良策とは言えない。橋脚基礎部の根入れを十分深くし、洗掘されても、転倒しない構造にしておくのが良いと思われる。

最後に実験および資料整理に熱心に御協力いただいた海岸研究室折敷秀雄、小林貞夫阿技官に謝意を表わす。

附表-1 Case 1. 堤防およびピア-の打上げ高(R)

$$d = 4.5 \text{ cm}$$

$$D = 2.5 \text{ cm} (1,000 \text{ m})$$

実験 波数	1 - 1		1 - 2		1 - 3	
	R		R		R	
	堤防 (cm)	ピア- (cm)	堤防 (cm)	ピア- (cm)	堤防 (cm)	ピア- (cm)
6	2.0	5.0	4.0	6.0	2.0	6.0
7	3.0	4.0	2.0	4.0	2.0	5.0
8	3.0	4.0	1.0	4.5	2.0	5.0
9	2.0	4.0	2.0	4.5	2.0	5.0
10	2.0	4.0	1.0	4.5	2.0	4.0
11	1.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0
12	1.0	4.0	1.0	4.0	2.0	4.0
13	2.0	3.0	1.0	4.0	1.0	3.5
14	2.0	3.5	1.0	4.0	1.0	4.5
15	2.0	3.5	1.0	4.0	1.0	4.5
平均	2.00	3.90	1.60	4.35	1.70	4.55
基準高	3.90	2.20	3.90	2.20	3.90	2.20
R _m	5.90 (2.360 ^m)	6.10 (2.440 ^m)	5.50 (2.200 ^m)	6.55 (2.620 ^m)	5.60 (2.240 ^m)	6.75 (2.700 ^m)
R _{max}	6.90 (2.760 ^m)	7.20 (2.880 ^m)	7.90 (3.160 ^m)	8.20 (3.280 ^m)	5.90 (2.360 ^m)	8.20 (3.280 ^m)
H (cm)	11.06 (4.424 ^m)		10.82 (4.328 ^m)		11.00 (4.400 ^m)	
T (sec)	1.64 (1.0372)		1.60 (1.0119)		1.62 (1.0246)	
L (m)	3.061 (12.2440 ^m)		2.957 (11.8280 ^m)		3.008 (12.0320 ^m)	

但し () 内は現地換算である。

附表-2 Case 2. 堤防およびピア-の打上げ高

$d = 48\text{cm}$

$D = 2.5\text{cm} (1.000\text{m})$

実 験	2 - 1		2 - 2		2 - 3	
打上げ高 測定箇所 波 数	R		R		R	
	堤防 (cm)	ピア- (cm)	堤防 (cm)	ピア- (cm)	堤防 (cm)	ピア- (cm)
6	15.0	12.0	12.0	10.0	10.0	10.0
7	13.0	12.0	10.5	11.0	11.0	12.0
8	14.0	12.0	10.0	—	10.0	11.0
9	9.0	9.0	11.0	12.0	11.0	12.0
10	8.0	8.0	9.0	10.0	10.0	11.0
11	7.5	10.0	10.0	10.0	10.0	12.0
12	7.0	11.0	11.0	11.5	12.0	12.0
13	8.0	11.0	10.0	9.0	10.0	8.0
14	7.5	11.0	9.0	9.0	9.0	9.0
15	7.0	10.0	9.5	8.0	9.0	8.0
平 均	9.60	10.60	10.20	10.06	10.20	10.50
基 準 高	0.90	-0.80	0.90	-0.80	0.90	-0.80
R _m	10.50(42.00) ^m	9.80(39.20) ^m	11.10(44.40) ^m	9.26(37.04) ^m	11.10(44.40) ^m	9.70(38.80) ^m
R _{max}	15.90(63.60) ^m	11.20(44.80) ^m	12.90(51.60) ^m	11.20(44.80) ^m	12.90(51.60) ^m	11.20(44.80) ^m
H (cm)	1232(4928) ^m		1222(4888) ^m		1216(4864) ^m	
T(sec)	1.62(10.246)		1.61(10.182)		1.56(9.866)	
L (m)	3.085(123.400) ^m		3.052(122.080) ^m		2.941(117.640) ^m	

但し — はピア-の打上げで13cm以上とする

()内は現地換算である。

附表-3 Case 3. 堤防およびピア-の打上げ高 (R)

$d = 48 \text{ cm}$

$D = 2.5 \text{ cm} (1.000 \text{ m})$

実 験	3 - 1		3 - 2		3 - 3	
打上げ高 測定箇所 波 数	R		R		R	
	堤防 (cm)	ピア- (cm)	堤防 (cm)	ピア- (cm)	堤防 (cm)	ピア- (cm)
6	12.0	11.50	12.0	10.0	10.0	9.0
7	10.0	9.5	10.0	9.0	10.0	8.0
8	8.0	8.0	8.0	10.0	9.0	8.5
9	8.0	9.0	8.0	10.0	9.0	8.0
10	8.0	9.0	10.0	—	9.0	10.0
11	7.5	9.0	11.0	12.0	8.0	11.0
12	7.5	—	10.0	11.0	9.0	10.0
13	10.0	9.5	8.5	—	12.0	9.0
14	8.0	8.0	8.0	10.0	8.0	9.0
15	8.0	8.0	8.0	10.0	9.0	9.0
平 均	87.0	90.6	93.5	102.5	93.0	91.5
基 準 高	0.90	-0.80	0.90	-0.80	0.90	-0.80
R _m	9.60(3.840) ^m	8.26(3.304) ^m	10.25(4.100) ^m	9.45(3.780) ^m	10.20(4.080) ^m	8.35(3.340) ^m
R _{max}	12.90(5.160) ^m	10.70(4.280) ^m	12.90(5.160) ^m	11.20(4.480) ^m	12.90(5.160) ^m	10.20(4.080) ^m
H (cm)	9.68(3.872) ^m		10.86(4.344) ^m		10.92(4.368) ^m	
T (sec)	1.62(10246)		1.62(10246)		1.60(10119)	
L (m)	3.085(123400) ^m		3.085(123400) ^m		3.036(121440) ^m	

但し — はピア-の打上げ高で 13 cm 以上とする

() 内は現地換算である。

附表-4 Case 4. 堤防およびピア-の打上げ高 (R)

$$d = 4.8 \text{ cm}$$

$$D = 2.5 \text{ cm} (1.000 \text{ m})$$

実験	4 - 1		4 - 2		4 - 3	
打上げ高 測定箇所 波数	R		R		R	
	堤防 (cm)	ピア- (cm)	堤防 (cm)	ピア- (cm)	堤防 (cm)	ピア- (cm)
6	10.0	6.0	10.0	10.0	9.0	10.0
7	5.0	7.0	8.0	9.0	8.0	9.5
8	8.0	8.0	11.0	9.0	10.5	9.0
9	9.0	8.0	11.0	10.5	11.0	10.0
10	9.0	7.0	9.5	7.5	9.0	9.0
11	6.0	10.0	7.0	8.0	7.0	7.0
12	8.0	8.0	6.5	9.0	6.5	9.0
13	8.0	7.0	5.0	9.0	5.0	8.5
14	8.0	8.0	5.0	10.0	5.0	9.5
15	8.5	8.0	5.0	11.0	6.0	8.0
平均	7.95	7.70	7.80	9.30	7.70	8.95
基準高	0.90	-0.80	0.90	-0.80	0.90	-0.80
R _m	8.85(3.54 ^m)	6.90(2.76 ^m)	8.70(3.48 ^m)	8.50(3.40 ^m)	8.60(3.44 ^m)	8.15(3.26 ^m)
R _{max}	10.90(4.36 ^m)	9.20(3.68 ^m)	11.90(4.76 ^m)	10.20(4.08 ^m)	11.90(4.76 ^m)	9.20(3.68 ^m)
H (cm)	10.26(4.104 ^m)		10.02(4.008 ^m)		10.16(4.064 ^m)	
T (sec)	1.64(10.372)		1.64(10.372)		1.68(10.625)	
L (m)	3.137(125.480 ^m)		3.137(125.480 ^m)		3.226(129.040 ^m)	

但し — はピア-の打上げで 1.3 cm 以上とする

() 内の数字は現地換算である。

附表-5 Case 5. 堤防およびピアの打上げ高 (R)

$d = 48 \text{ cm}$

$D = 5.0 \text{ cm} (2.000 \text{ m})$

実験	5 - 1		5 - 2		5 - 3	
打上げ高 測定箇所 波数	R		R		R	
	堤防 (cm)	ピア (cm)	堤防 (cm)	ピア (cm)	堤防 (cm)	ピア (cm)
6	7.0	10.0	135	8.0	125	9.5
7	8.0	9.0	105	—	10.0	9.0
8	11.0	9.0	11.5	12.0	10.5	12.0
9	10.0	10.0	11.0	10.5	10.0	9.5
10	10.0	11.0	8.0	—	9.0	12.0
11	8.0	9.5	8.0	12.0	8.0	12.0
12	10.5	10.0	8.0	12.0	9.0	13.0
13	12.0	13.0	9.0	12.0	9.0	11.0
14	10.0	—	9.0	11.0	9.0	9.0
15	7.0	12.5	10.0	11.0	9.5	9.0
平均	9.35	10.44	9.85	11.06	9.65	10.60
基準高	0.90	-0.80	0.90	-0.80	0.90	-0.80
Rm	10.25(4.100) ^m	9.64(3.856) ^m	10.75(4.300) ^m	10.26(4.104) ^m	10.55(4.220) ^m	9.80(3.920) ^m
Rmax	12.90(5.160) ^m	11.70(4.680) ^m	14.40(5.760) ^m	11.20(4.480) ^m	13.40(5.360) ^m	12.20(4.880) ^m
H (cm)	12.04(4.816) ^m		11.96(4.784) ^m		12.32(4.928) ^m	
T (sec)	1.62(10.246)		1.62(10.246)		1.62(10.246)	
L (cm)	3.085(12.3400) ^m		3.085(12.3400) ^m		3.085(12.3400) ^m	

但し — はピアの打上げ高で 13 cm 以上とする

() 内の数字は現地換算である。

附表-6 Case 6. 堤防およびピア-の打上げ高 (R)

$d = 48\text{cm}$

$D = 7.5\text{cm} (3.000\text{m})$

実 験	6 - 1		6 - 2		6 - 3	
打上げ高 測定箇所 波 数	R		R		R	
	堤防 (cm)	ピア- (cm)	堤防 (cm)	ピア- (cm)	堤防 (cm)	ピア- (cm)
6	9.0	11.0	9.0	—	9.0	10.0
7	11.0	11.0	7.5	—	7.0	9.0
8	10.0	10.5	10.0	10.0	9.0	—
9	9.0	11.0	10.0	11.0	10.0	12.0
10	7.5	11.0	8.0	12.0	9.0	11.0
11	7.0	9.5	6.0	11.0	8.5	10.0
12	7.5	9.5	6.5	10.0	7.0	11.0
13	6.0	11.0	7.5	10.0	9.5	9.5
14	8.0	10.5	8.0	8.0	8.0	8.5
15	9.0	11.0	7.5	10.0	7.5	9.5
平 均	8.40	10.60	8.00	10.25	8.45	10.06
基 準 高	0.90	-0.80	0.90	-0.80	0.90	-0.80
R _m	9.30(3.720) ^m	9.80(3.920) ^m	8.90(3.560) ^m	9.45(3.780) ^m	9.35(3.740) ^m	9.26(3.704) ^m
R _{max}	11.90(4.760) ^m	10.20(4.080) ^m	10.90(4.360) ^m	11.20(4.480) ^m	10.90(4.360) ^m	11.20(4.480) ^m
H (cm)	13.22(5.288) ^m		12.40(4.960) ^m		12.42(4.968) ^m	
T (sec)	1.76(1.131)		1.62(1.0246)		1.70(1.0752)	
L (m)	3.426(13.7040) ^m		3.085(12.3400) ^m		3.265(13.0600) ^m	

但し はピア-打上げで13cm以上とする

()内の数字は現地換算である。

附表-7 Case 7. 円型ピア-および角型ピア-の打上げ高 (R)

$d = 4.8 \text{ cm}$

$D = 2.5 \text{ cm} (1.000 \text{ m})$

実 験	7 - 1		7 - 2		7 - 3	
打上げ高 測定箇所 波数	R		R		R	
	円形ピア-	角形ピア-	円形ピア-	角形ピア-	円形ピア-	角形ピア-
6	110	—	90	—	90	100
7	90	115	80	100	90	—
8	90	100	80	95	100	90
9	85	—	80	115	80	105
10	80	120	85	100	90	95
11	100	105	90	105	110	90
12	95	120	90	100	80	100
13	90	70	100	105	90	120
14	80	75	90	100	80	90
15	80	75	90	70	80	80
平 均	90.0	97.5	87.5	98.9	89.0	95.6
基準高	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80
R _m	820(3280) ^m	895(3580) ^m	795(3180) ^m	909(3636) ^m	810(3240) ^m	876(3504) ^m
R _{max}	1020(4080) ^m	1120(4480) ^m	920(3680) ^m	1070(4280) ^m	1020(4080) ^m	1120(4480) ^m
H (cm)	1236(4944) ^m		1250(5000) ^m		1226(4904) ^m	
T (sec)	1.60(10.119)		1.60(10.119)		1.60(10.119)	
L (m)	3036(121440) ^m		3036(121440) ^m		3036(121440) ^m	

但し — はピア-の打上げ高 1.3 cm 以上とする

() 内は現地換算である。

附表-8

Case 7. 堤防およびピアの打上げ高 (R)

$$d = 4.8 \text{ cm}$$

$$D = 2.5 \text{ cm (1.000 m)}$$

実験番号 波数	7 - 1	7 - 2
	R	R
6	13.0	14.0
7	13.0	13.0
8	9.0	16.0
9	11.0	12.0
10	9.0	12.0
11	13.0	13.0
12	9.0	9.0
13	10.0	12.0
14	11.0	11.0
15	10.0	10.0
平均	10.80	12.2
基準高	0.90	0.90
R _m	11.70 (4.680 ^m)	13.10 (5.240 ^m)
R _{max}	13.90 (5.560 ^m)	16.90 (6.760 ^m)
H (cm)	12.36 (4.944 ^m)	12.50 (5.000 ^m)
T (sec)	1.60 (1.0119 ^m)	1.60 (1.0119 ^m)
L (m)	3.036 (121.440 ^m)	3.036 (121.440 ^m)

但し () 内は現地換算である。

附表-9 波 の う ち あ げ 高

但し()内は現地換算である

実験 番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖	㉗	㉘	㉙	㉚		
	H (cm)	T (sec)	L ₀ (m)	d/L ₀	d/L	L ₁ (m)	H/H ₀	H ₀ (cm)	H/L	H ₀ /L ₀	R _m (cm)	R _m /H	R _m /H ₀	R _{max}	R _{max} /H	R _{max} /L ₀	R _m (cm)	R _m /H	R _m /L ₀	R _{max} (cm)	R _m /H	R _m /H ₀	R _m (cm)	R _m /H	R _m /L ₀	R _{max} (cm)	R _m /H	R _m /L ₀	d (cm)	D (cm)		
				㉔/㉓		㉔/㉕		①/⑦			角 形 ビ ア ー						堤 防						丸 形 ビ ア ー									
1 - 1	1160 (4424)	164 (10372)	41958 (167832)	0.1073	0.1470	30612 (122448)	0.9276	11923 (4787)	0.0361	0.0284	610 (2440)	0.552	0.512	720 (2880)	0.551	0.604	590 (2360)	0.533	0.495	690 (2760)	0.624	0.579										
2	1082 (4328)	160 (10119)	39936 (159744)	0.1126	0.1522	29567 (118268)	0.9239	11711 (4584)	0.0366	0.0293	655 (2620)	0.605	0.559	820 (3280)	0.758	0.700	550 (5200)	0.508	0.460	790 (3160)	0.730	0.675								45	25	
3	1100 (4400)	162 (10240)	40941 (163764)	0.1099	0.1496	30080 (120320)	0.9257	11883 (4753)	0.0366	0.0290	675 (2700)	0.614	0.568	820 (3280)	0.745	0.690	560 (2240)	0.509	0.471	590 (2360)	0.536	0.497										
2 - 1	1232 (4928)	162 (10240)	40941 (163764)	0.1172	0.1556	30848 (123392)	0.9218	13365 (5346)	0.0399	0.0326	980 (3920)	0.795	0.733	1120 (4480)	0.909	0.838	1050 (4200)	0.852	0.786	1590 (6360)	1.291	1.189										
2	1222 (4888)	161 (10182)	40437 (161748)	0.1187	0.1573	30515 (122060)	0.9209	13270 (5308)	0.0400	0.0328	926 (3704)	0.758	0.698	1120 (4480)	0.919	0.844	1110 (4440)	0.908	0.836	1290 (5160)	1.056	0.972									48	25
3	1216 (4864)	156 (9866)	37964 (151856)	0.1264	0.1632	29412 (117648)	0.9182	13243 (5297)	0.0413	0.0349	970 (3880)	0.798	0.732	1120 (4480)	0.921	0.846	1110 (4440)	0.913	0.838	1290 (5160)	1.061	0.974										
3 - 1	968 (3872)	162 (10240)	40941 (163764)	0.1172	0.1556	30848 (123392)	0.9218	10501 (4200)	0.0314	0.0256	826 (3304)	0.853	0.787	1070 (4280)	1.105	1.019	950 (3840)	0.992	0.914	1290 (5160)	1.333	1.228										
2	1086 (4344)	162 (10240)	40941 (163764)	0.1172	0.1556	30848 (123392)	0.9218	11781 (4713)	0.0352	0.0288	945 (3780)	0.870	0.802	1120 (4480)	1.031	0.951	1025 (4100)	0.944	0.870	1290 (5160)	1.188	1.095									48	25
3	1092 (4368)	160 (10119)	39936 (159744)	0.1202	0.1581	30361 (121444)	0.9204	11864 (4746)	0.0360	0.0297	835 (3340)	0.765	0.704	1020 (4080)	0.934	0.859	1020 (4080)	0.934	0.859	1290 (5160)	1.181	1.087										
4 - 1	1026 (4104)	164 (10372)	41958 (167832)	0.1144	0.1530	31373 (125492)	0.9234	11111 (4444)	0.0327	0.0265	690 (2760)	0.673	0.621	920 (3680)	0.897	0.828	885 (3540)	0.863	0.797	1090 (4360)	1.062	0.981										
2	1002 (4008)	164 (10372)	41958 (167832)	0.1144	0.1530	31373 (125492)	0.9234	10851 (4340)	0.0319	0.0259	850 (3400)	0.848	0.783	1020 (4080)	1.018	0.940	870 (3480)	0.868	0.868	1190 (4760)	1.188	1.097									48	25
3	1016 (4064)	168 (10625)	44029 (176116)	0.1090	0.1488	32258 (129032)	0.9263	10968 (4387)	0.0315	0.0249	815 (3260)	0.802	0.743	920 (3680)	0.906	0.839	860 (3440)	0.846	0.784	1190 (4760)	1.171	1.085										
5 - 1	1204 (4816)	162 (10240)	40941 (163764)	0.1172	0.1556	30848 (123392)	0.9218	13061 (5225)	0.0390	0.0319	964 (3856)	0.801	0.738	1170 (4680)	0.972	0.896	1025 (4100)	0.851	0.785	1290 (5160)	1.071	0.988										
2	1196 (4784)	162 (10240)	40941 (163764)	0.1172	0.1556	30848 (123392)	0.9218	12975 (5190)	0.0388	0.0317	1026 (4104)	0.858	0.791	1120 (4480)	0.936	0.863	1075 (4300)	0.899	0.828	1440 (5760)	1.204	1.110									48	5.0
3	1232 (4928)	162 (10240)	40941 (163764)	0.1172	0.1556	30848 (123392)	0.9218	13365 (5346)	0.0399	0.0326	980 (3920)	0.795	0.733	1220 (4880)	0.990	0.913	1055 (4220)	0.856	0.789	1340 (5360)	1.088	1.003										
6 - 1	1322 (5288)	176 (11131)	48323 (193292)	0.0993	0.1401	34261 (137044)	0.9335	14162 (5664)	0.0386	0.0293	980 (3920)	0.741	0.692	1020 (4080)	0.772	0.720	930 (3720)	0.793	0.657	1190 (4760)	0.900	0.840										
2	1240 (4960)	162 (10240)	40941 (163764)	0.1172	0.1556	30848 (123392)	0.9218	13452 (5381)	0.0402	0.0329	945 (3780)	0.762	0.702	1120 (4480)	0.903	0.832	890 (3560)	0.718	0.662	1090 (4360)	0.879	0.810									48	7.5
3	1242 (4968)	170 (10752)	45084 (180336)	0.1065	0.1470	32653 (130612)	0.9276	13389 (5356)	0.0380	0.0297	926 (3704)	0.746	0.692	1120 (4480)	0.902	0.836	935 (3740)	0.753	0.698	1090 (4360)	0.878	0.814										
7 - 1	1236 (4944)	160 (10119)	39936 (159744)	0.1202	0.1581	30361 (121444)	0.9204	13429 (5372)	0.0407	0.0336	895 (3580)	0.724	0.666	1120 (4480)	0.906	0.834	1170 (4680)	0.947	0.871	1390 (5560)	1.124	1.035	820 (3280)	0.663	0.611	1020 (4080)	0.825	0.760				
2	1250 (5000)	160 (10119)	39936 (159744)	0.1202	0.1581	30361 (121444)	0.9204	13581 (5432)	0.0412	0.0340	909 (3636)	0.727	0.669	1070 (4280)	0.856	0.788	1310 (5240)	1.048	0.965	1690 (6760)	1.352	1.244	795 (3180)	0.636	0.585	920 (3680)	0.736	0.677		48	25	
3	1226 (4904)	160 (10119)	39936 (159744)	0.1202	0.1581	30361 (121444)	0.9204	13320 (5328)	0.0404	0.0334	876 (3504)	0.715	0.658	1120 (4480)	0.914	0.844				810 (3240)	0.661	0.608	1020 (4080)	0.832	0.766							