HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	人工礁周辺の洗掘に関する基礎的研究
Author(s)	今井, 義弘; 佐藤, 修; 梨本, 勝昭 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 34(1), 20-29
Issue Date	1983-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23810
Type	departmental bulletin paper
File Information	34(1)_P20-29.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大水産彙報
34(1), 20–29, 1983.

人工礁周辺の洗掘に関する基礎的研究*

今井義弘**・佐藤　修**
梨本勝昭**・山本勝太郎**

Fundamental Studies on the Scour around Artificial Reefs in a Seabed

Yoshihiro IMAI**, Osamu SATO**, Katsuaki NASHIMOTO**
and Katsutaro YAMAMOTO**

Abstract

This paper investigates scour around an artificial reef placed on a sandy seabed by examining the aspect of flow near the channel bottom in uniform flow and the variations in scour around a model set on the sand bed of the channel.

There are prepared the three models of cylinder, quadrilateral and triangular prisms as fundamental types of artificial reefs used today.

The results obtained are as follows:

(1) The extent to which the model influenced uniform flow is estimated as 2–3 times the width of the maximum projected area of the model, along a cross section perpendicular to the flow.

(2) In all models, the scour similarly becomes greater with an increase in time, and gradually takes on a constant value.

(3) In the final state, the value of the maximum scour differs greatly depending on the shape and setting of the model.

緒　　言

あまり漁場として利用されていない沿岸や浅海域では，沿岸漁場整備開発事業として，各種の人工礁などが数多く投入され，利用されるようになってきた。しかし，浅海域の中でも，砂浜の未利用地帯に設置したコンクリート製ブロック礁では潮流や波浪などの流れによって，その周辺の砂床が掘られ，ブロック礁は埋没，転倒，流失などの現象が観察され，長期間，安定した姿勢が得られず，特に養殖コンブ礁などでは大きな問題となっている[1]。

今までに，離岸堤あるいは橋脚などの周辺における洗掘現象についての多くの研究[2),3)]はある。しかし，海面下に没して海底に設置した人工礁については物理学的側面からの研究は少なく，人工礁による流況変化の研究[4),5)]などがわずかにあるが，人工礁周辺の洗掘についての研究はほとんど行なわれていないのが現状である。

本報では，砂床に単体として設置した人工礁周辺の洗掘現象を解明するための基礎資料を得るために，3種類の基本模型を用いて測定を行ない，その形状および流れに対する向きと模型周辺の流況ならびに洗掘との諸関係を解明することを試みた。

---

* 本研究の概要は昭和57年10月，日本水産学会秋季大会において発表した。

** 北海道大学水産学部漁具設計学講座
Laboratory of Fishing Gear Engineering, Faculty of Fisheries, Hokkaido, University.

実験装置および方法

実験には，水路中央部の両面に観察用のガラス板をはめ込んだ長さ 220cm，幅 120cm，高さ 50cm のスクリュー式小型回流水槽を用い，中央部に Fig. 1 に示すような装置を固定して測定を行なった。模型周辺の流況と洗掘の測定には，砂床と平行に固定したモータードライブカメラを使用した。実験には砂床として，板に砂を張り付けた固定床と，水槽全面に 10cm の厚さで砂を敷き詰めた可動床とを用いた。なお，砂は両者とも Fig. 2 に示すような粒度分布をもっているものを使用した。模型は，現在使われているコンクリート製ブロック礁の基本型として円柱，四角柱および三角柱の 3 つを考え，半径が 2.7cm, 5.0cm そして 7.0cm の円柱と，一辺が 5.0cm の四角柱および三角柱の塩化ビニル製のものを作製し用いた。また，流れに対する模型の向きについても種々考えられるが，本研究では，Fig. 3 に示すように，上面から見て，模型が流れに対して左右対称になるように設置し，円柱で 1 種類，四角柱および三角柱では，流れに対して模型の頂点が向く場合と，辺が向く場合の 2 種類についてそれぞれ測定した。ここで，模型を設置するに当っては，模型の砂面上の高さ H が，円柱では半径と等しく，また四角柱と三角柱では一辺と等しくなるようにした。

砂床が変化する前の，砂床近傍（本研究では，砂床の砂粒子上端と考える）における模型周辺の流れの様子を知るために，ここでは固定床を用い，水槽の中央部に Fig. 3 に示すような状態で模型を固定し，一様な流れを与えて上流から砂床沿いに比重が 1.002～1.012，直径が約 2mm の Plastic 粘土製粒子（以後，Pl-粒子と呼ぶ）を流した。これをモータードライブカメラで撮影して，この画像から Pl-粒子の移動軌跡を調べ，Pl-粒子の単位時間当たりの移動距離から，砂床近傍における模型周辺の流れの様子を調べた。次に，流れを与えてからの時間経過に伴う洗掘状況の測定には，砂を 10cm の厚さで敷き詰めた可動床を用い，その中央部に Fig. 3 に示すような状態で模型を砂中に埋めて固定し，流れを与えてからの経過時間毎（最小 1 分，最大 35 分）に，模型の最上流端および両側側面における洗掘の深さ，および幅を連続して測定した。ここで，洗掘の深さの測定は砂に埋まる部分の模型の側面に予め付けておいた 2mm 等間隔の目盛を読み取って行なった。また，洗掘の幅の測定は模型の上

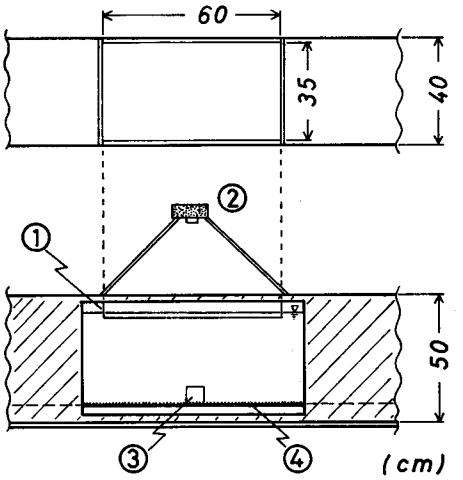

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.
1: plastic box, 2: camera, 3: model, 4: sanded board or sand bed.

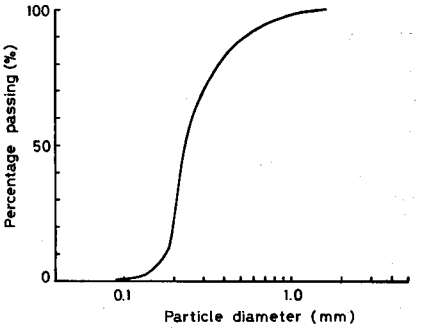

Fig. 2. Curve of distribution of grain size of sand.

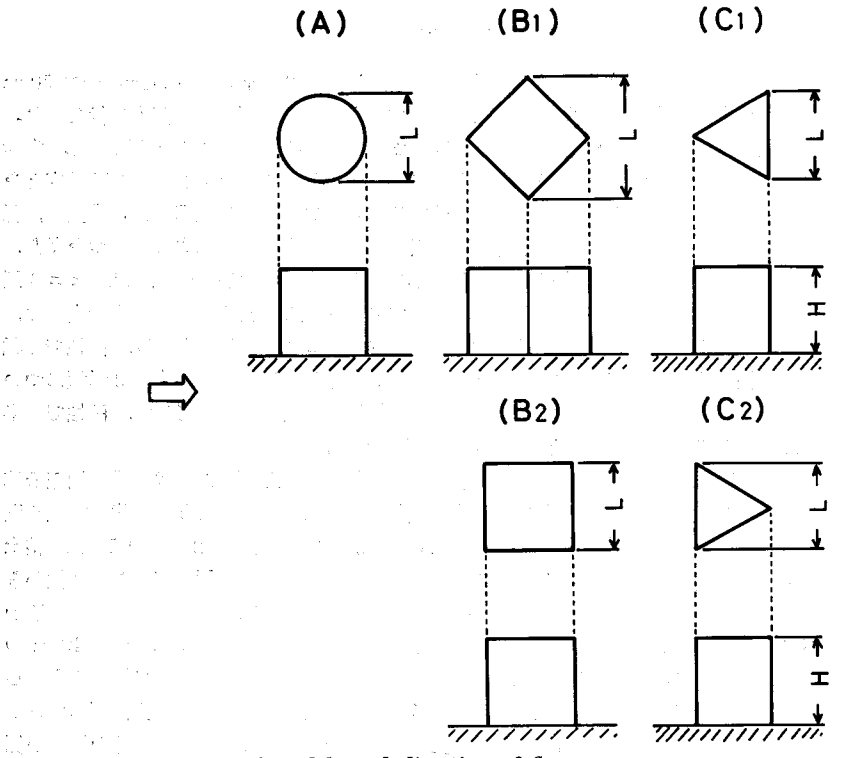

Fig. 3. Setting of models and direction of flow.
⇨: direction of flow.
L: width of maximum projected area of the model.
A: Cylinder.
B–1: Quadrilateral prism, one of its apexes facing the direction of flow.
B–2: Quadrilateral prism, one of its sides facing the direction of flow.
C–1: Triangular prism, one of its apexes facing the direction of flow.
C–2: Triangular prism, one of its sides facing the direction of flow.

面からモータードライブカメラで撮影した画像を利用して行なった。洗掘は流れを与えてからの時間の経過に伴って増大し，最終的にはほぼ一定の大きさで安定する (以後，これを平衡状態と呼ぶ)。そこで，この時点で流れを止め，模型の下流側に生じた砂堆の最大高さを，模型の中心を通り流れと平行な断面で実測し，これを平衡状態における砂堆の高さとした。

なお，測定は砂床上の水深を 35cm にし常に一定に保って行なった。また，流速は目視観察に基づき砂床上の砂が若干移動し始める時の流速から，砂床上に砂漣が発生する時の流速までの間で 5 段階に変えた。実験における水路の平均流速は，砂床近傍における流速で表わすことが望ましいが，簡単に直接測定することが難しいので，ここでは，次のようにして求めた。まず，水路内の流れはほぼ一様であると見なすことができたので，模型の設定に伴って流れが影響を受けない所の代表的な流れを示す場所として，水路の中央部の砂床上 10cm に流速観測点を設け，直径 3cm の小型のプロペラ式流速計を用いて計測し，この流速を全ての実験における水路の平均流速として考え，U_{10} と呼ぶことにした。また，固定床における水路内の鉛直流速分布を小型のキャンテリバー式流速計を用いて計測して実験式を求め，これから，外挿法によって砂床近傍の流速 U_0 を求めて両者の関係を調べたところ，

$U_0=0.67U_{10}+0.84$ が得られた。これらの関係から砂床近傍の流速 U_0 を求めた。結果を整理するに当っては，水路の平均流速としてこの砂床近傍の流速 U_0 を用いた。

実験結果および考察

模型周辺の流況

洗掘が起こる前の，模型周辺の砂床近傍を流れる Pl-粒子の移動軌跡を例示したのが Fig. 4 である。図から模型の設置に伴って模型付近では流れが影響を受けている様子が分かる。このような図を重ね合わすことにより，模型が等流流れ（模型の影響を受けない所の水路の流れ）に影響を及ぼす範囲をほぼ知ることができる。これを定量的に示すために，Fig. 4 の Pl-粒子の移動距離 l_P とモータードライブカメラのコマ送りの時間間隔から Pl-粒子の移動速度を求め，模型の中心を通り流れに垂直な断面における，砂床近傍の流速分布を求め示したのが Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 である。なお，U_0 と U_0' は砂床近傍の等流流れと模型周辺の流速であり，また L は流れに対する模型の最大投影断面幅である。ここで，$L/2l$ の値が 1.0 の点は模型の側面を意味している。Fig. 5 は円柱について大きさ別に示したものである。これから，測定値はほぼ一本の曲線で表わせることが分かる。Fig. 6 は同じく円柱について流速別に示した図である。測定値に若干ばらつきがあるものの，流速が大きいほど曲線の傾きが小さくなる傾向が見られる。なお，模型の大きさ別および流速別の測定は，他の模型においても同じ結果が得られるものと考え，ここでは円柱についてのみ測定を行ない，得られた結果をそれぞれ Fig. 5, Fig. 6 に示した。また，Fig. 7 は流速一定のもとで，模型の形状別にとらえ示した図である。これから，流れに対して頂点を向けて設置した三角柱の模型の場合には他の模型とは異なり，曲線の傾きが小さいことが分かる。また，Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 において U_0'/U_0 の値は $L/2l$ が減少するにつれて

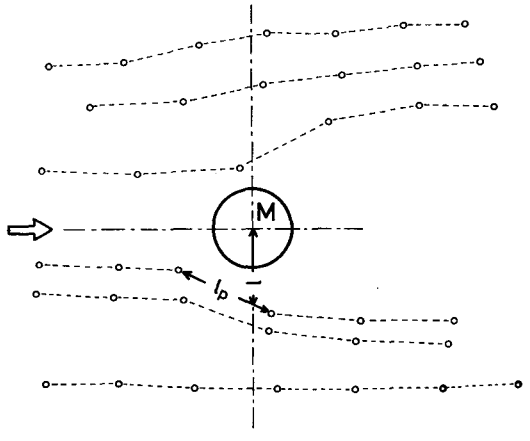

Fig. 4. Flow pattern around model without changing sand bed (Cylinder).
⇨: direction of flow. M: model.
l_P: length of movement of particle.
l: distance between the center of model and point where locus crosses the axis perpendicular to flow.

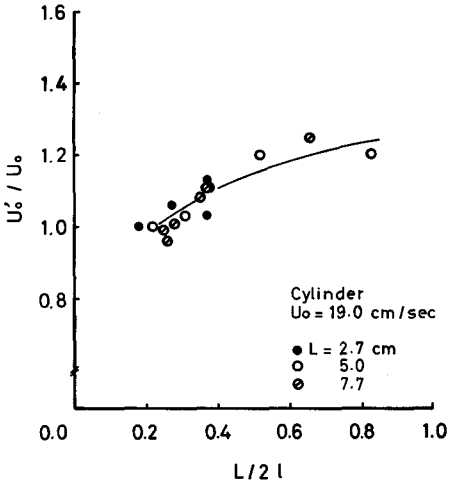

Fig. 5. Relation between U_0'/U_0 and $L/2l$ with different sizes of model, without changing sand bed (Cylinder).

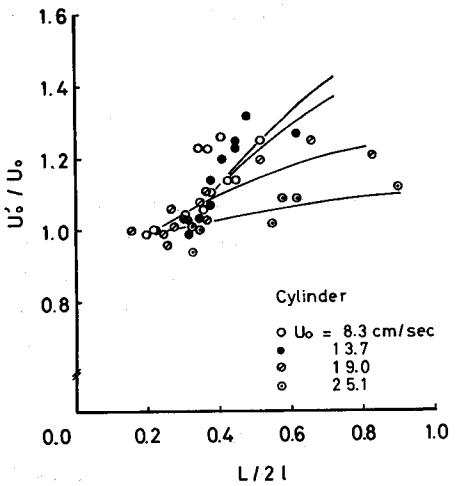

Fig. 6. Relation between U_0'/U_0 and $L/2l$ for the various values of U_0, without changing sand bed (Cylinder).

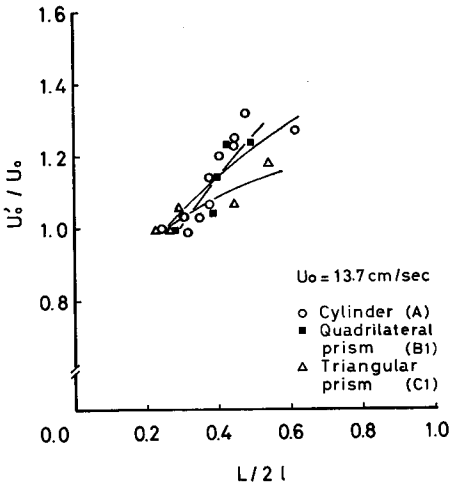

Fig. 7. Relation between U_0'/U_0 and $L/2l$ with different models, without changing sand bed.
Cylinder and Triangular prism $L=5.0$ cm,
Quadrilateral prism $L=5\sqrt{2}$ cm,
The symbols A, B-1 and C-1 are as in Fig. 3.

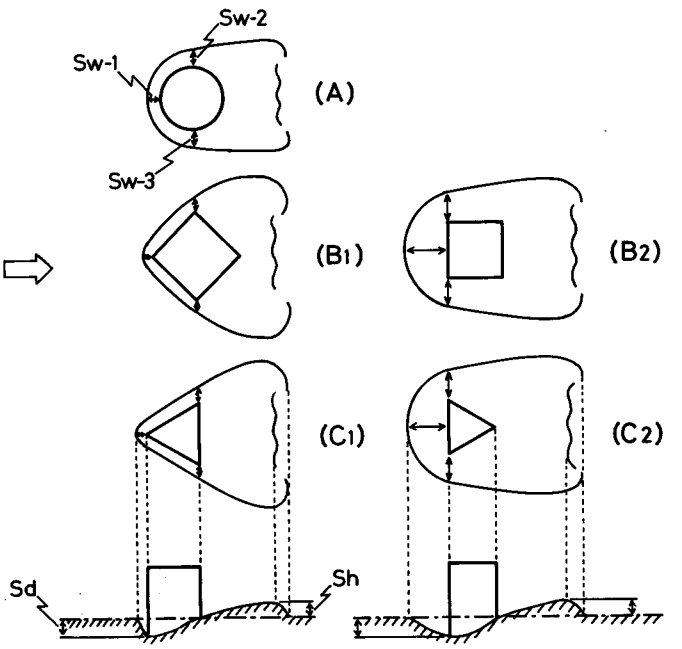

Fig. 8. Shape and definition of scour around model.
S_w: scour width, S_d: scour depth, S_h: height of bank.
The symbols A, B-1,2 and C-1,2 are as in Fig. 3.

減少し，$L/2l$ の値が 0.2～0.3 でほぼ一定値 ($U_0'/U_0=1.0$) になっていると考えられる。このことから，模型の設置に伴って流れが影響を受ける範囲は，模型の中心から $2L$ 付近，すなわち，模型の最大投影断面幅の約2倍になることが予想される。

洗掘の時間的変化

砂床に模型を固定し流れを与えると，模型周辺の流れは影響を受けて，その周辺の砂床は特徴ある変化を見せる。目視観察によると，模型の最上流端および両側側面においては，模型から若干離れた地点で洗掘が生じ（洗掘の幅 S_w の発生），これが発達するにつれて模型に接する砂床が掘れ（洗掘の深さ S_d の発生），しだいに模型の下流側には砂が堆積し始める（砂堆 S_h の発生）。洗掘は，初め急激に進行するが，時間の経過に伴い Fig. 8 に模式的に示したような形状を保って平衡状態に達する。

流れを与えてからの経過時間と洗掘の様子との関係について示したのが Fig. 9～Fig. 14 である。なお，ここでは洗掘の幅 S_w および深さ S_d は，Fig. 8 に示したように模型の両側側面（例えば S_{w-2} と S_{w-3}）を測定し，その値を平均したものである。Fig. 9, Fig. 10 は円柱について，流速別に洗掘の幅および深さの時間的変化を示したものである。これから，流速が大きいほど洗掘の幅 S_w あるいは洗掘の深さ S_d は大きく，また短時間で洗掘が起こり，すぐに平衡状態に達することが分かる。Fig. 11, Fig. 12 は一定の流速のもとで模型の形状別にとらえ示した図である。円柱，四角柱そして三角柱のいずれにおいても，流れを与えてからの時間が経過するにつれて，洗掘の幅 S_w あるいは洗掘の深さ S_d は初め急激に増加し，その後は，増し方が減少して一定値に近づくようになる。このような傾向は，斉藤ら[3]の研究報告にも見られた。また，円柱について，模型の大きさ別に示したのが，Fig. 13, Fig. 14 である。ここで，それぞれ三本の実線上の測定値はほぼ一本の曲線で表わせるものと考え，洗掘が始まってから平衡状態に達するまでの洗掘の幅 S_w や洗掘の深さ S_d と経過時間との関係を求めると，使用したどの模型でも，一般に次式のように示すことができる。

$$S_w/L \text{ or } S_d/L = m(U_0 \cdot t/L)^n \qquad (1)$$

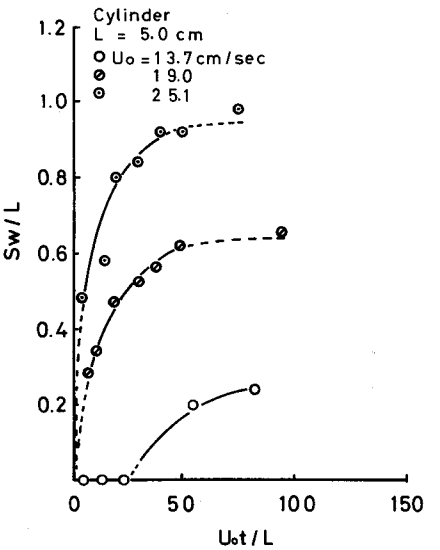

Fig. 9. Change of scour width for the various values of U_0 (Cylinder).

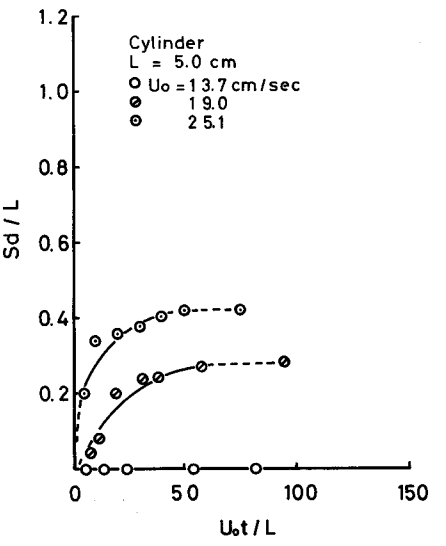

Fig. 10. Change of scour depth for the various values of U_0 (Cylinder).

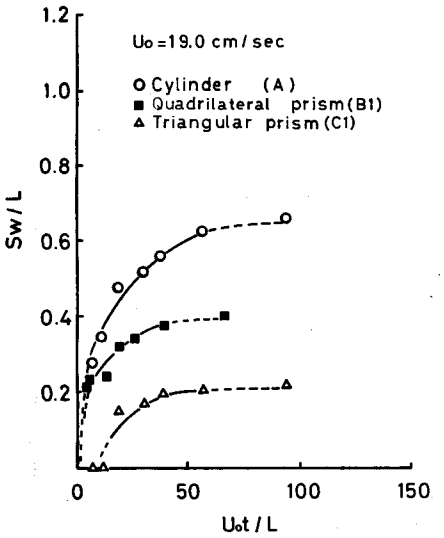

Fig. 11. Change of scour width with different models.
Cylinder and Triangular prism L=5.0 cm,
Quadrilateral prism $L=5\sqrt{2}$ cm,
The symbols A, B-1 and C-1 are as in Fig. 3.

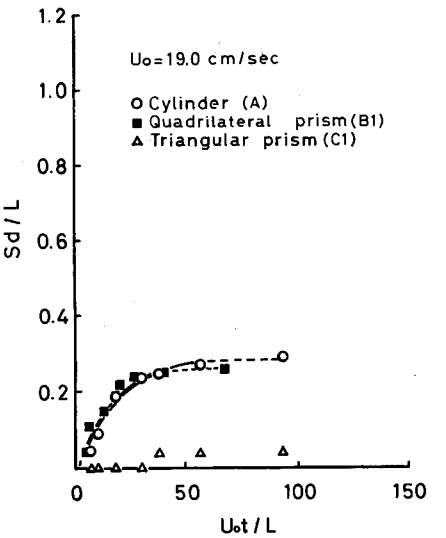

Fig. 12. Change of scour width with different models.
Cylinder and Triangular prism L=5.0 cm,
Quadrilateral prism $L=5\sqrt{2}$ cm,
The symbols A, B-1 and C-1 are as in Fig. 3.

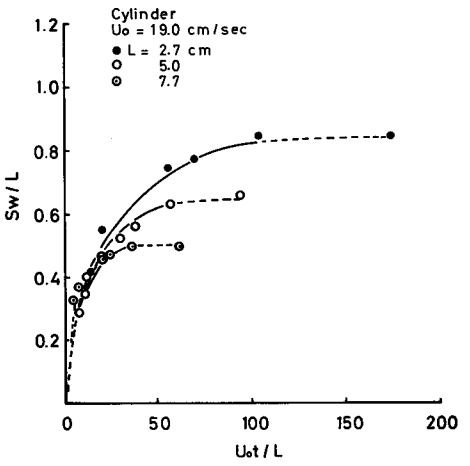

Fig. 13. Change of scour width for the various values of L (Cylinder).

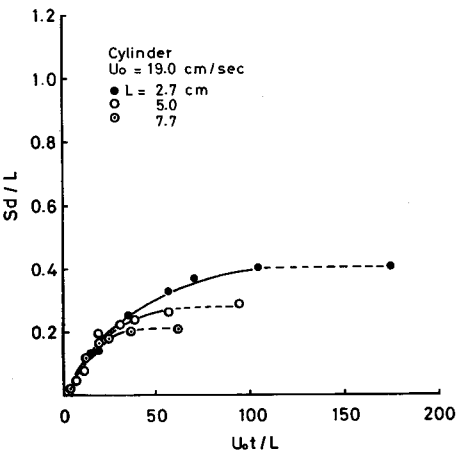

Fig. 14. Change of socur depth for the various values of L (Cylinder).

ここに m, n は係数である。なお，この係数は流速や模型の形状によって異なる。

平衡状態における洗掘

Fig. 9～Fig. 14 において，破線は横軸とほぼ平行になっていると考えられ，この破線上の洗掘の幅 S_w と洗掘の深さ S_d の値を洗掘が安定し平衡状態に達した時の洗掘の幅と深さの値として読み取り，模型の形状および流れに対する向き別に，平衡状態における洗掘の幅，洗掘の深さ，砂堆の高さを示したのが Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17 である。また，同様に円柱について，大きさ別に平衡状態における洗掘の幅，洗掘の深さ，砂堆の高さを示したのが Fig. 18, Fig. 19, Fig. 20 である。なお，模型の下流側に生じる砂堆の高さ S_h については，洗掘が平衡状態に達したと見られる時点で流れを止め，実測した値を描いた。Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17 を見ると，模型の形状および流れに対する向きの違いによって洗掘が大きく変わることが明らかである。流れに対して模型の一辺が垂直に向くように設置した四角柱と三角柱の模型では，ほとんど同じような洗掘現象が生じる傾向があり，洗掘が最も大きく発達する。また，流れに対して頂点を向けて設置した三角柱の模型では，洗掘が最も小さいことが分かる。これは，後者のような状態で流れの中に置かれた三角柱の模型では，Fig. 7 で見られたように，その周辺の流れの乱れが少なく，渦などがあまり発生していない結果であると考えられる。一方，前者のよ

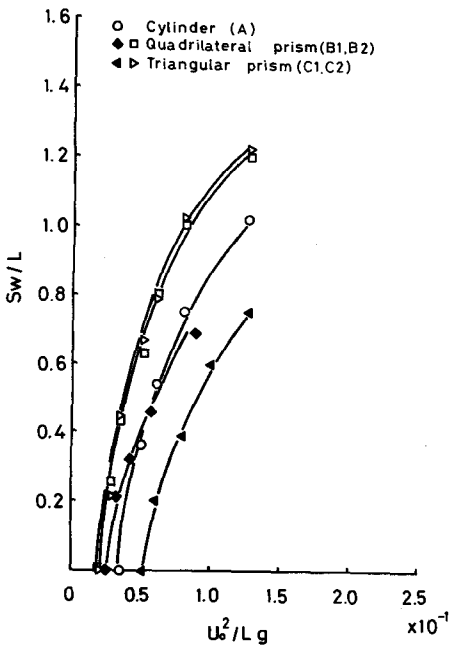

Fig. 15. Maximum scour width with different models, in the final state.
Cylinder, Triangular and Quadrilatral prism (B–2) L=5.0 cm,
Quadrilateral prism (B–1) $L=5\sqrt{2}$ cm,
The symbols A, B–1,2 and C–1,2 are as in Fig. 3.

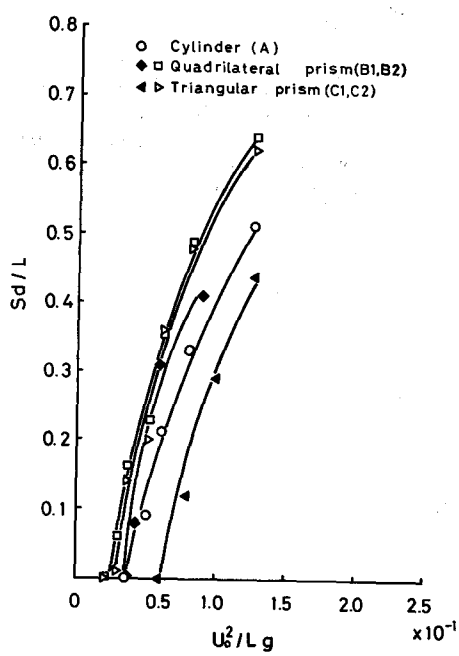

Fig. 16. Maximum scour depth with different models, in the final state.
Cylinder, Triangular and Quadrilateral prism (B–2)
L=5.0 cm,
Quadrilateral prism (B–1) $L=5\sqrt{2}$ cm,
The symbols A, B–1, 2 and C–1,2 are as in Fig. 3.

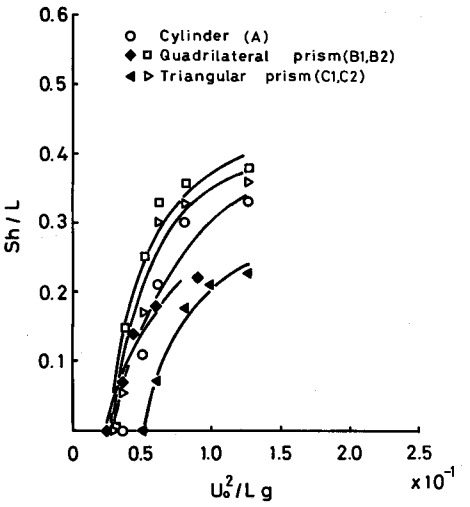

Fig. 17. Maximum height of bank with different models, in the final state. Cylinder, Triangular and Quadrilateral prism (B–2) L=5.0 cm, Quadrilateral prism (B–1) $L=5\sqrt{2}$ cm, The symbols A, B–1, 2 and C–1, 2 are as in Fig. 3.

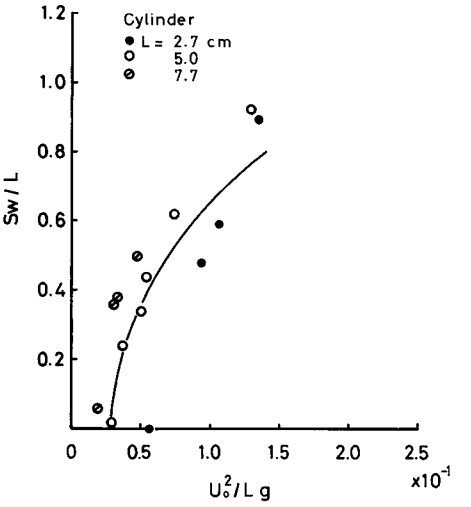

Fig. 18. Maximum scour width for the varius values of L, in the final state.

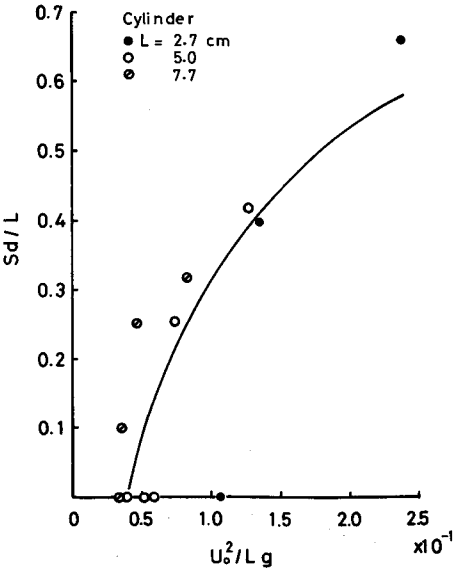

Fig. 19. Maximum scour depth for the various values of L, in the final state.

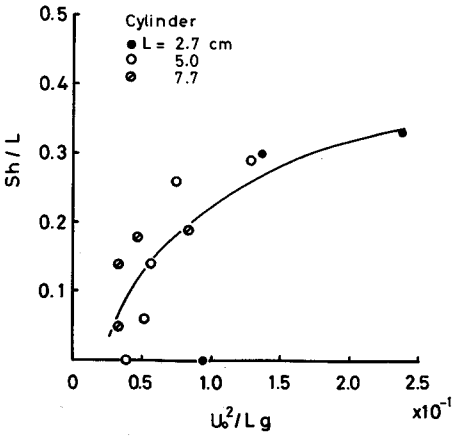

Fig. 20. Maximum height of bank for the various values of L, in the final state.

うな状態で流れの中に置かれた四角柱と三角柱の模型では，Fig. 15, Fig. 16 に示したように，特に洗掘の幅と深さは同じような傾向が見られる。このことから，洗掘の幅と深さは，模型全体の形状ではなく，むしろ模型前面の形によって決まるものと思われる。また，Fig. 18, Fig. 19, Fig. 20 より，$L=2.7$cm の模型については流速が小さい場合の測定値に若干ばらつきが見られるが，その他は，ほぼ一本の曲線に乗るものと考えて良い。従って，平衡状態における洗掘の幅 S_w，洗掘の深さ S_d，砂堆の高さ S_h はそれぞれの模型ごとに一般に次式のような関係で示すことができる。

$$S_w/L,\ S_d/L \text{ or } S_h/L = A \ln(U_0^2/L\cdot g)+B \tag{2}$$

なお，ここに A, B は模型の形状や流れに対する向きによって定まる係数である。ただし，この関係は，砂床近傍の流速 U_0 が 12.2cm/sec から 25.1cm/sec までの間で成立する。

実際の海底では，この流速よりも速い流れの場に設置されていることもあり，また，使用した砂粒子の大きさと比較して設置する人工礁ははるかに大きいので，ここで得た関係をこのまま適用して，現場での洗掘量を直接推定することには問題があるかもしれない。しかし，人工礁を流れのある海底に設置した場合の洗掘の様子を知る手掛りにはなるであろう。また，洗掘を起こし難い，単体の人工礁の形状としては，円柱か，または設置の仕方によっては三角柱がより優れていると考える。一方，単位面積当りの人工礁の数を少なくして，より効果的に洗掘を起こしたいような場合には，形状としては四角柱が適当である。ここでは，礁と礁との間隔も洗掘に大きく影響してくるので，人工礁の配置に当っては充分考慮すべきである。

本研究では，模型の下流側に生じる砂堆などについては充分検討することができなかったので，これらについては，今後，解明していく所存である。

要　　約

砂床に人工礁の基本模型を設置し，一様な流れの中における模型周辺の砂床近傍の流況，ならびに洗掘の時間的変化を調べ，次のような結果を得た。

1) 砂床近傍において，模型が一様な流れに影響を及ぼす範囲は，模型中心を通り流れに垂直な断面で，模型の中心から，模型の最大投影断面幅の 2～3 倍になる。

2) 円柱，四角柱および三角柱のいずれの模型においても，その周辺の洗掘は，時間の経過に伴って同じように増加し，しだいに一定な大きさになり安定する。

3) 模型の形状や流れに対する模型の向きは洗掘現象に大さな影響を及ぼす。

文　　献

1) 秦　英樹 (1973). 大規模増殖場開発事業構想について．水産土木 **9**, 9–16.
2) 平山秀夫 (1980). 離岸堤の先端部周辺における局所洗掘の特性について．海岸工学講演会論文集 **27**, 260–264.
3) 斎藤　隆，浦　勝，柴田幸信 (1969). 円柱周囲の洗掘について．山口大学工学部研究報告 **20**, 83–90.
4) 佐藤　修 (1968). 人工魚礁における若干の問題点．水産増殖（臨時号 **7**), 43–62.
5) 高田　彰，大野陽男 (1977). 人工魚礁による流況変化について．土木学会中部支部講演概要集 **2**, 103–106.