

海底砂面上に設置された人工魚礁の 沈下・埋没に関する振動模型実験

東京水産大学 正会員 加 納 敬
住友建設 熊 野 倫 行
日本海洋土木 正会員 阿 部 豊太郎

はじめに

沿岸域における漁場の開発・整備のため、あるいは埋め立てや干拓などの土地造成事業による漁場の消滅に対する補償事業として人工魚礁の投入による漁場造成がよく行われている。人工魚礁の素材としては、天然石をはじめ、船舶・車両・タイヤなどの廃材、そして鋼やコンクリートの組み立て式人工魚礁など、さまざまなものが用いられている。設置の場所も、海底から海中・海面と、いろいろな個所にいろいろな形式の人工魚礁が設置せられている。ちなみに、海中に棒を一本立てるだけでも立派に魚は集ってくるのだと主張する人までいて、人工魚礁の材料とその構造・形式に基準というものは全く確立されていない状況にある。ここでは海中や海面の中層魚礁や浮魚礁は置いておき、海底に設置したコンクリートの組み立て式人工魚礁について考えることにする。この形式の人工魚礁の形状についてもさまざまな集魚効果の要因が仮説として提起されているが、定説となり得たものはまだない。建設会社やブロック会社などから各社いろいろな形状の組み立て式人工魚礁が発売されていて、どの社のカタログにも魚がついている様子の中水写真が載せられているが、あるいは或る程度の魚が賦存している場所ではどのような形状の人工魚礁を設置してもどれほどかの集魚効果は期待できるのかもしれない。このような集魚効果であるので、設置した人工魚礁が多少移動したり傾斜したりしたとしても集魚効果に重大な影響を及ぼすとは考えられないのであるが、流亡に対する配慮からか水産庁では計算上いささかも滑動・傾斜・転倒を許してはいないのである〔1〕。

環境インパクトに対する生物のレスポンスは通常かなり緩慢なものであると考えられるので、生態学的な定常状態にインパクトを受けてから落ち着くまでにかなりの時間がかかると思われ、あまり短期間に大幅な移動や状況変化はやはり好ましくないのかも知れない。著者らはスミリーフA型人工魚礁およびテトラリーフTR-5型人工魚礁について流れや波による海底に設置したこれらの人工魚礁の移動や転倒に対する安定性検討の際に必要な抗力係数および仮想質量係数の測定実験〔2、3〕、転倒や埋没の原因となる人工魚礁周辺の局所洗掘の状況把握のための風洞模型実験〔4、5〕などを実施してきたがここでは波による交番力が人工魚礁の埋没や転倒にどのような効果を及ぼすかということを考察するために、周期1秒以上の低速回転にまで減速したモーターからクランクシャフト及びバネを介して模型人工魚礁に交番力を加えて飽和砂面上に置いた模型人工魚礁の傾斜及び沈下の状況を観察・測定した。

1. 模型と実験設備

考察の対象とした人工魚礁は前述のスミリーフA型およびテトラリーフTR-5型人工魚礁である。これらの人工魚礁の概観についてはそれぞれ図. 1および図. 2に示すとおりである。振動を与えた方向は図中に矢印で表わしている正面に垂直の方向である。両人工魚礁の形状及び寸法はともに図に示した通りであるが、その他の主な事項を表. 1に示す。模型は縮尺1/15のものをアクリル樹脂で製作した。模型人工魚礁の重量はスミリーフA型が6.30kg、テトラリーフTR-5型が5.65kgであった。この値は模型と実物の間にFroudeの相似律が成り立ち、模型の幾何学的縮尺が λ であるときの重量の縮尺 $\lambda=(1/15)^3=0.00296$ から決まってくる、模型の持つべき重量よりもかなり軽くなっている。これはそれぞれの使用材料の違いから生じたものであり、わざとこのようにしたものではない。しかしながら以下に述べるような理由からウェイトなどを取付けてFroudeの相似律に従った重量に調整するようなことはしなかった。すなわち、

- (1) 考えようとする現象に対する模型実験において相似律が明確ではない。
- (2) Froudeの相似律を援用することにしても浮力が作用しない状態での実験となっている。

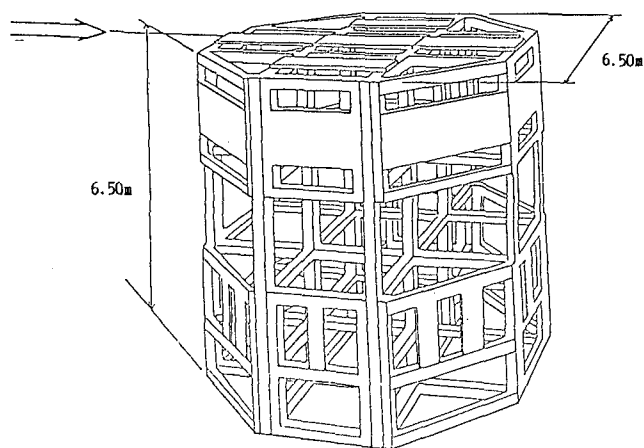


図. 1 スミリーフA型人工魚礁の概観

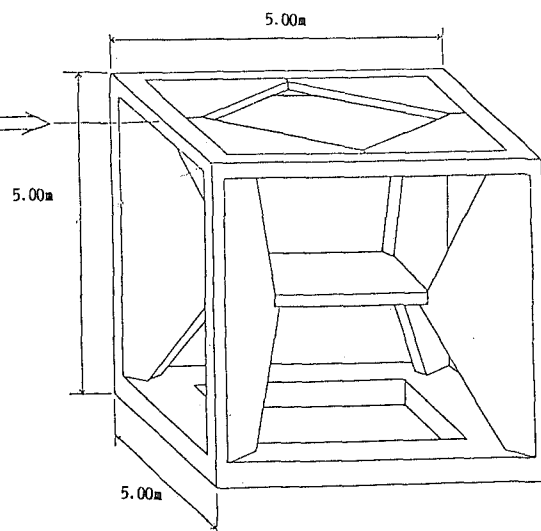


図. 2 テトラリーフTR-5型人工魚礁の概観

表. 1 スミリーフA型人工魚礁及びテトラリーフTR-5型人工魚礁の諸元

	空間容積	底面の大きさ	材 質	重量 (空中)
スミリーフA型	226.4m	対辺距離 6.5m	鉄筋コンクリート	33.1ton
テトラリーフTR-5型	125.0m	5.0m×5.0m	鉄筋コンクリート	38.2ton

(3) 砂の粒度組成が正しく縮尺されていない。すなわち歪み模型である。

(4) 波による砂の間隙水圧増加など、砂が波から受ける影響が無視されている。

ことなどによる。これは致命的ともいえる欠陥となっているところもあるが、本実験では交番力が人工魚礁の沈下・埋没にどのように影響するかをみる目的で行ったものであり、装置の長時間運転が交番力の状況を変えずに行えることを主たる目的として実験条件を設定したためである。その実験装置の模式図を図. 3 に示す。これは実験装置の運転中は常に一定強さ、一定周期の交番力が模型人工魚礁に作用させるようにしたものである。人工魚礁にかかる交番力の強さはシャフトの先端に取付けたバネの剛さで、交番の周期はクランクシャフトを取付けたホイールにトルクを伝達する、モーターからVベルト連結されたプーリーの直径で、それぞれ段階的に調節できるようにした。プーリーは回転周期3.33秒、1.76秒、1.11秒となるものの3種類を用意し、バネは表. 2 のようなもの6種類を用意した。実験装置は24時間運転し、1時間毎に運転を止めてレベルにより

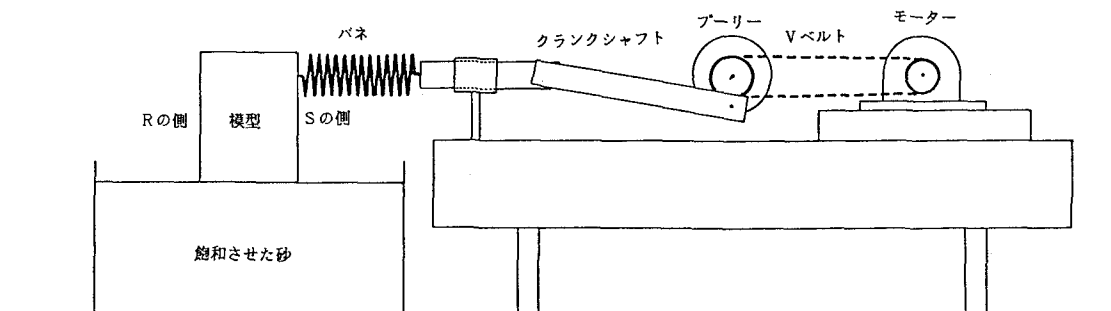


図. 3 実験装置の構成の模式図

表. 2 実験に用いたバネ

バネの番号	全 長	有効長	ストローク	バネ定数
1	13.0cm	10.0cm	-2.5cm～+2.5cm	132.6g/cm
2	13.0cm	10.0cm	-2.5cm～+2.5cm	205.8g/cm
3	13.0cm	10.0cm	-2.5cm～+2.5cm	418.5g/cm
4	13.0cm	10.0cm	-2.5cm～+2.5cm	606.9g/cm
5	13.0cm	10.0cm	-2.5cm～+2.5cm	841.6g/cm
6	21.0cm	18.0cm	-2.5cm～+2.5cm	363.7g/cm

沈下量を測定した。これを各バネ、各ブリーに対して測定を繰り返した。なお、使用した砂の粒径加積曲線を図. 4 に示す。

2. 実験結果

沈下量の時間的経過の状況の代表的な例を図. 5 及び図. 6 に示す。予備実験として水槽に砂を入れ、水を注いだ直後に模型人工魚礁をセットし、装置を運転したときには数時間で数cmもの沈下を示したが、翌日から本実験にかかったときには沈下量は図. 5 及び図. 6 のように一昼夜で数mmのオーダーの沈下量にと大幅に減じた。これは、水槽中の飽和砂が水締めを受けて締め固められ、支持力が増大したためと考えられる。また、模型人工魚礁の沈下量はバネの側とその反対側とはほぼ等しくなると思われたが、実際には図のように差が生じた。

これはバネが中立の位置に正しく初期設定されなかったことや設置前の砂面の均らかたが不均一であった可能性などに依るものと思われる。碎波帯以浅の砂質海底地盤では波の影響で局所的かつ一過性の液化化現象が起り、砂面上の物体の沈下が促進されると思われるが、本実験では砂は静置されたままであり、この面からも沈下量は少なめに出ているのかもしれない。あるいは一昼夜という運転時間が短か過ぎるということも考えられる。実際に人工魚礁の沈下・埋没が問題になるのは魚礁設置後数カ月から数年後というスケールのことであり、Froudeの相似律によって時間を考えても運転時間が短いのではないかという懸念は残る。このことはモーターの容量と実験者の肉体的条件に関わることであるので、今後の大きな問題として残しておく。つぎにスミリーフA型人工魚礁とテトラリーフTR-5型人工魚礁について交番力を加えるバネのバネ定数、交番力の周期と模型人工魚礁の24時間後の沈下量との関係を図. 7 及び図. 8 に示す。沈下量の測定箇所は模型人工魚礁のバネを取付けた面とは反対側の面における沈下量とした。図中の実線、一点鎖線、点線の三本の線はそれぞれ交番力の周期を変えるブリーの種別を表わしている。これらの図から分るようにバネ定数が大きいほど、すなわちバネが剛いほど大きく沈下することが分る。実験におけるバネの選択は砂とコンクリートとの摩擦係

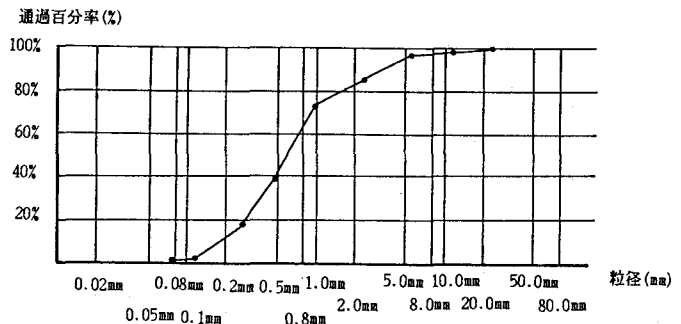


図. 4 実験に用いた砂の粒径加積曲線

平均粒径: 2.37mm
均等係数: 3.8

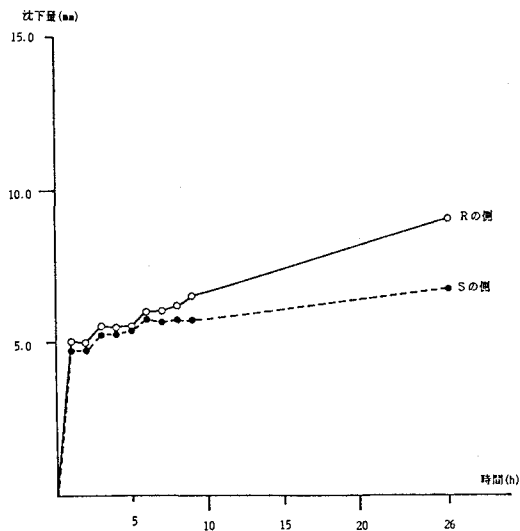


図. 5 沈下量の時間的变化
(パネ=No. 5、周期=1.11秒: スミリーフA型)

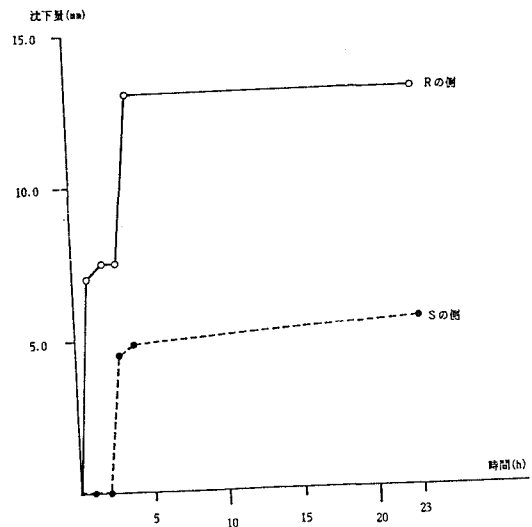


図. 6 沈下量の時間的变化
(パネ=No. 5、周期=1.11秒: テトラリーフTR-5型)

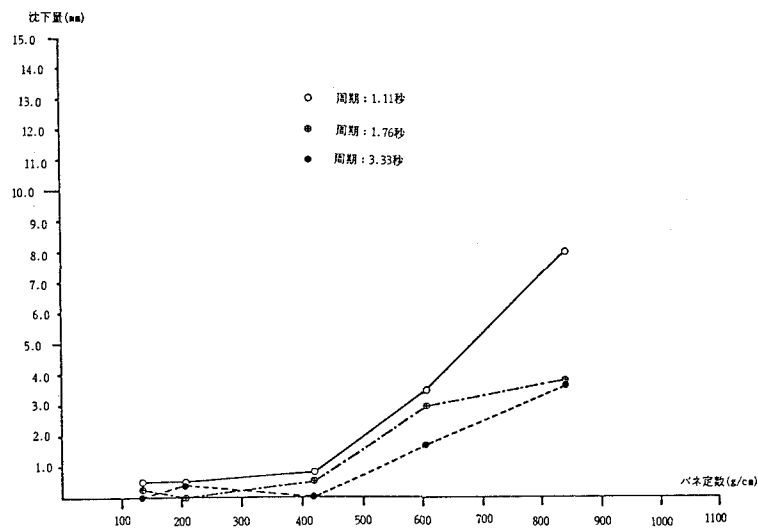


図. 7 パネ定数の違いによる沈下量の差 (スミリーフA型)

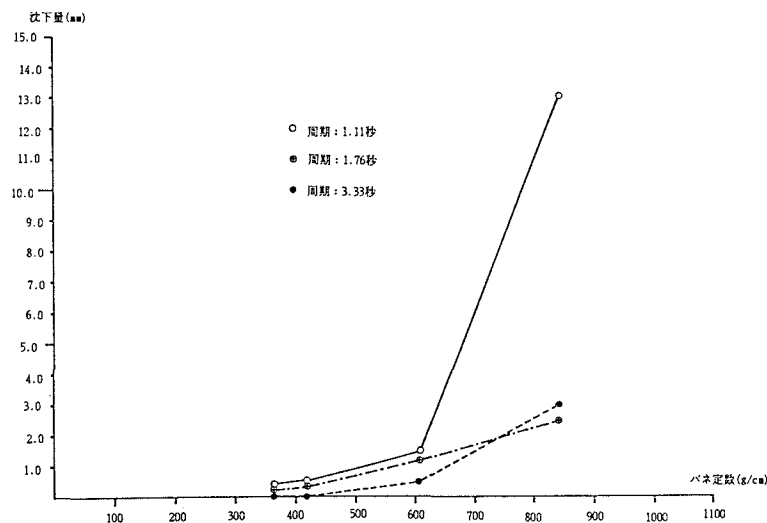


図. 8 パネ定数の違いによる沈下量の差 (テトラリーフTR-5型)

数をもとに、模型人工魚礁にロッドを介して水平力が作用しても砂との摩擦力で安定となるような大きさの力しか模型に及ぼさないような剛さのものを中心に近傍5種類のバネを選んだ。ただし、バネは市販のものを用了。摩擦係数についてはアクリル樹脂と砂との間の摩擦係数が分らなかったので、コンクリートと砂の間の値を援用したので実験装置運転中の模型人工魚礁の動揺が大きいのではないかと危ぶまれたが、実験に使用したバネのうちで剛いもの2種類についてよく注意して観察したときにわずかな前後の動揺がみられたという程度であった。図. 7及び図. 8から分るようにスミリーフA型とテトラリーフTR-5型の両方ともに当然のことではあるがバネ剛さが大きいほど、そして交番力の周期の短いときほど沈下量が大きくなる。このことはバネ剛さが大きいほど強い交番力が作用し、周期が短いほど時間が同じであれば力のかかる回数が多くなることによる。バネ定数が最も大きなもので交番力の周期が一番短いときにスミリーフA型とテトラリーフTR-5型とでは沈下量にかなり大きな差が生じていることが分る。これは両者の図における傾向からみるとテトラリーフTR-5型の実験状態に何らかの異常が生じて大きな沈下量を示したもののか、あるいはこのバネ剛さと交番力の周期の組合せがテトラリーフTR-5型人工魚礁の交番力による沈下に対してなんらかの臨界状態となったのか、残念ながら判然としていない。魚礁による差が出るのであれば、底面の形と構造そして着力点の高さが関係するものと考えられる。ここでは人工魚礁模型に対するバネの連結法の制約から実際に波による交番力が作用すると思われる正射影の図心ではなく、両者とも上端の横部材にバネを連結した。このこともあるいは効いているのかもしれない。

3. 結論と今後の課題

この実験に取りかかった動機は砂浜域沿岸漁場で投入された人工魚礁が各地で海底地盤に埋没し、魚礁としての機能を比較的短期間のうちに失ってしまったという事例を多く耳にしたからである。このような埋没の原因となるのは流れや波による海底砂の移動が大きな役割を果たすのではないかとということと、設置された人工魚礁が波による交番力を受けたときに人工魚礁の底面でモーメントによる圧力増加が生じ、これによって底面下の砂に部分的な液化状が起り、これが埋没の促進要因となるのではないかと考えたからである。しかし、交番力を単純化するあまり、水の動きを考えずに力だけを主要員としたために実験時間の問題もあるが、実験開始直後に多少の沈下がみられたのちはほとんど沈下が生じないというような結果になってしまった。ただし、視認できないような振動、実際には力がかかっているだけで変位が認められないような状況でもなにがしかの沈下が起る場合もあった訳で、一応の結果は得られたが現実の沈下・埋没の現象を説明するには十分でない。今後更に、より実際に近い現象を実験室内で再現しようとすれば、既に述べているように実験時間に対する配慮とともに波が砂を動かすこと、また波が砂層表面近傍の間隙水圧を増加させることなどの効果を取入れた実験を行う必要があろう。このためには実験装置に対する改良・工夫がなされなければならない。

この実験結果を勘案し、かなりの推定を加えて砂質海底地盤への人工魚礁の沈下・埋没防止に効果的な形状を考えてみると、局所洗掘に対してその抑止効果が高かった、底面にその外接円より大きめの円形のフレキシブルシートを貼付したものがこの場合に対しても有効であろうと思われる。すなわち、人工魚礁近傍の砂質海底面が水との接触が絶たれて波の影響を受ける度合いが小さくなることと底面に貼付したフレキシブルなシートが振動を受けた人工魚礁が底面から海底に及ぼす力を逃がす役割をもつと考えられるからである。

装置を改良してさらに実験を重ね、より実際に近い状況を実験室内で再現して合理的な処置法の開発を目指したいと考えている。

4. 謝辞

本研究の遂行に当たって飽和砂収納水槽の製作に関して太陽工業(株)に大変お世話になった。また、実験の実施については東京水産大学海洋環境工学科4年生吉原裕美君(当時:現鹿島建設(株)技術研究所勤務)の努力に負うところが大きい。ここに記して各位に深甚なる謝意を表するものであります。

参 考 文 献

- (1) 沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針編集委員会（編）：沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針 pp.14, 日本水産資源保護協会 1978
- (2) 加納敬、熊野倫行、阿部豊太郎：人工魚礁の水理学に関する研究〔1〕、水産土木 第48号 PP.11-16 1988
- (3) 加納敬、熊野倫行、阿部豊太郎：人工魚礁の水理学に関する研究〔3〕、水産土木（投稿中）
- (4) 加納敬：人工魚礁における局所洗掘防止工に関する研究、第7回水産工学研究推進全国会議報告書 pp.64-67, 1988
- (5) T.Kano, T.Kumano, T.Abe: Studies on Local Scouring Protection Works of Artificial Fishing Reef by Means of Aerial Flow Model, 6th Congress APD-IAHR Proceedings, Vol.4, pp.129-136, 1988