

ホタテ貝殻を用いた 摩擦増大用マットに関する実験的研究

STUDY ON FRICTION-INCREASING MAT USED SCALLOP SHELL

河村 昌益¹・南 将人²

Shoeki KAWAMURA, Masato MINAMI

¹ 学生会員 八戸高専 専攻科 建設環境工学専攻 (〒039-1192 青森県八戸市大字田面木字上野平 16-1)

² 正会員 八戸高専 建設環境工学科 助教授 (〒039-1192 青森県八戸市大字田面木字上野平 16-1)

The scallop shells have continued to heap up in the open. Scallop shells having nowhere to go continue increasing every year. The purpose of this research is considering recycling use of scallop shells. It considered mingling and using scallop shells for a friction-increasing mat. It examined for the relation between the weight content of shells, and a frictional resistance coefficient by model experiment. It turned out that a frictional resistance coefficient exceeds 0.7 by the size of crushed shells 1.2mm and the case of 40 or less % of weight content.

Key Words: Friction increasing mat, Scallop shell, Friction coefficient

1. はじめに

1年間に青森県では約10万トンの養殖ホタテが水揚げされる。この半分の約5万トンが貝殻として処理されるが、1972年のロンドン条約によって貝殻の海洋投棄が禁止されているために陸上に野積み処理しなければならない。野積み処理は悪臭を発生し近隣住民へ被害を及ぼすとともに、2001年7月に旧厚生省からリサイクルのための保管でない貝殻について野積み状態での保管は禁止となり、その結果として行き先のないホタテの貝殻は産業廃棄物として年々増え続けている。

近年、ホタテ貝殻を用いた多くのリサイクル方法や製品および工法等が開発され、野積み処理されているホタテ貝殻が様々な分野で用いられている。事例として、小早川ら¹⁾による路盤材料への利用、中島ら²⁾による土壌改良材への適用等の研究やコンクリートの骨材への適用、小山³⁾らの未来材料としてのホタテ貝殻セラミックスの実用化等が挙げられる。このようなホタテ貝殻を用いた研究事例の多くから、ホタテ貝殻の多様な長所を知ることが出来た。しかし、粉末状

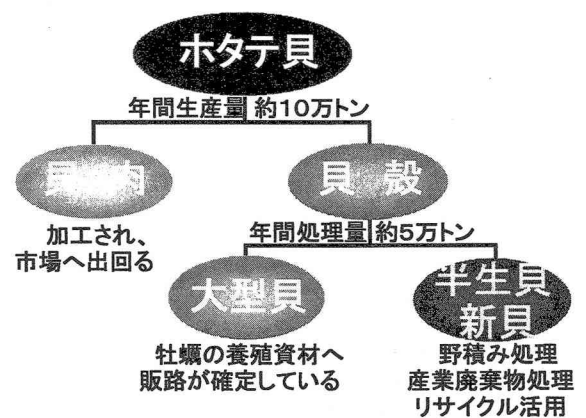


図-1 青森県における水揚げ後のホタテ貝の現状

に粉碎する工程、加熱処理を行う工程においてコストがかかる点から、ホタテを用いた製品は広く流通していないのが現状である。また、ホタテをリサイクルする場合においてコスト面を考慮すると、ホタテ貝殻をそのまま利用する事が最も望ましいが、細工や利用時を鑑みると破碎して用いリサイクルする事が利用促進に繋がる場合もある。

本研究は、ホタテ貝殻のリサイクル活用を海に求める事を目的とした実験結果である。貝殻のまま、あるいは破碎した状態での活用を拡げるため、ケーソン用の摩擦増大用マットやケーソンマウンドとして貝殻を再利用すべく、その効果について「貝殻の重量含有率(C)」と「摩擦係数(μ)」について模型実験によって検討したものである。

2. 実験内容

(1) 摩擦増大用マットについて

混成堤の直立部は、ケーソン底部とマウンド部間の摩擦抵抗力によって滑動および転倒に対して安全であることが必要である。前者の滑動に対する場合、移動させようとする外力である波力に対し、抵抗力はケーソン重量と前述の摩擦抵抗力によって決定される。通常、コンクリートと捨石との摩擦抵抗係数は0.6とされ、抵抗力を高める事を目的とする「摩擦増大用マット」は、ケーソン底部とマウンド部間の噛み合わせを増大する事によって、この抵抗係数を増大させるものである。それにより、ケーソンの重量を減らせ、ケーソン断面を小さくする事が出来る。現在、ゴムタイプとアスファルトタイプの2種類がある。

(2) マウンド用砂の粒径の選定

模型実験を実施するに先立ち、現地の基礎マウンド部の摩擦抵抗係数0.6を再現する為に必要なマウンド用の砂の粒径について検討した。実験は、様々な粒径の川砂を用い、各々厚さ3cm程度に敷き詰め、(社)「施設の技術上の基準・同解説」⁴⁾よりコンクリートと捨石の静止摩擦係数0.6となるように、フルイ分けを行った砂をマウンドとして、粒度別に4ケースについて引張実験を行った(実験方法や模型については、(3)～(7)で説明)。

実験ケースを表-1に、実験結果を図-2に示す。

表-1 川砂とコンクリートの引張試験ケース

ケース番号	砂の粒度と実験ケース
1	粒度425 μ mの川砂とコンクリート
2	粒度1.0～1.2mmの川砂とコンクリート
3	粒度2.5～3.35mmの川砂とコンクリート
4	粒度5.0～7.0mmの川砂とコンクリート

粒径と摩擦抵抗係数との関係は、粒径が大きくなる程、抵抗係数が小さくなっている。これは、粒径が大きくなると、ケーソン底面との設置面積が小さくなる為と考えられる。

この図-2に示す4ケースの実験結果より、(社)「施設の技術上の基準・同解説」に記載されている静止摩擦係数0.6に最も近い $d_{50}=1.0\sim1.2$ mm(静止摩擦係数0.62)の粒度の砂をマウンドとして以下の実験で用いる事とした。

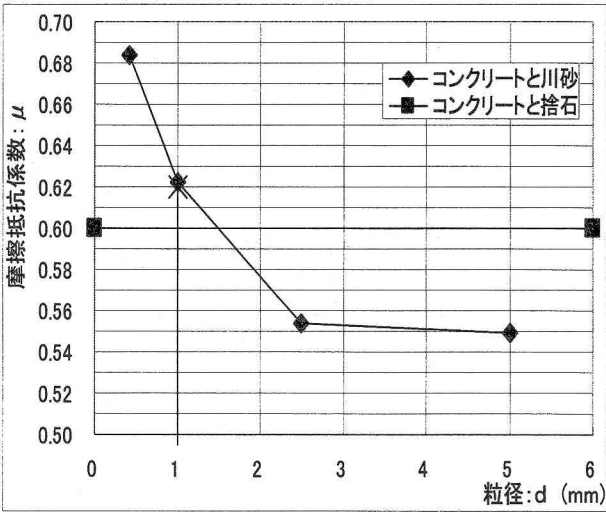


図-2 砂の粒径と静止摩擦係数の関係

(3) ケーソン模型

実験に用いたケーソン模型は、太平洋に面したある海岸に設置されている施工済みのケーソン（実機諸元：幅18.5 m×長さ25.0m×高さ18.0m）を対象とした。まず始めに、施工完了時のケーソン断面諸元よりケーソンの空中重量を算定した。次に、実験装置の大きさ等を考慮して、フルード相似則を用い縮尺 $\lambda=1/100$ と設定した。この結果を用いてケーソン模型をモルタルで製作した。その際、真水と海水の密度のずれは無視した。

製作した模型ケーソンの諸元は、幅18.5cm×長さ25cm×高さ18cm、空中重量79 N (8.094kgf)である。床板および側壁のモルタル厚さは15mmとして、ケーソン模型を中空とし、内部にボルト等を入れることで目標重量となるように調整した。

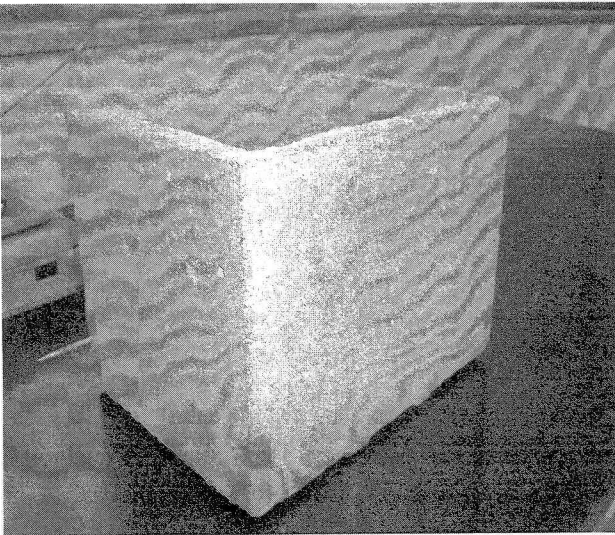


図-3 ケーソン模型

図-3に製作したケーソン模型の外観を示す。また、模型にはワイヤーが切れないために角部にテープを貼った。また、滑動が正確に分かるように目印を取り付けた。また、摩擦増大用マットを底面に取り付けるため、単に積み重ねた場合にはケーソンとマットの接触面で滑る事が予想されるため、模型の底面には2箇所凸部を設けてマットとは鍵状に噛み合って滑りを生じないようにした。実験中の目視観察では、ケーソンとマットとのずれは見られなかった。

(4) 実験で用いるホタテ貝殻の大きさ

ホタテ貝殻については、直径約8cmのホタテ貝殻を乾燥炉にかけ、ハンマーで破碎後、フルイ分けを行い1.2mm以下と2~5mmの粒径の2種類(図-4)をマットに混入させることで用いた。また、後述するように、ケーソンのマウンドそのものに破碎した貝殻を代用する事を想定した実験も実施した。



図-4 ホタテ貝殻の破碎前後の比較

(5) 摩擦増大用マットの種類

摩擦増大用マットは、現場での材料の調達のし易さを考慮し、瀝青材料を用いたアスファルトマットを用いた場合を想定して実験を行った。

摩擦増大用のマットとして用いる場合、破碎した2種類のホタテ貝殻を重量比でアスファルト混合物と加熱温度約130℃で混ぜ合わせ、1cmのシート状にしたものを作製した。アスファルト混合物は市販のものを用い、5mmふるいを通過する材料のみを使用した。

マウンドの代用として用いる場合、市販の蜜柑ネット、洗濯ネット(網間隔3mm, 0.5mm)の3種類のネットで貝殻を混入したアスファルトを包んでマウンドとして用いた。図-5に3種類の作製したネットで覆った摩擦増大用マットを示す。なお、ケーソン底面積に対して4分割してマットを用いる場合を想定した。

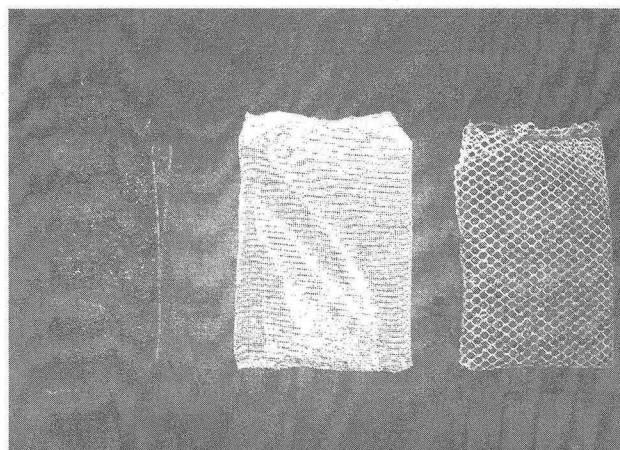


図-5 ネットを用いた摩擦増大用マット

(6) 測定方法

実験手順は、ホタテ貝殻を混ぜた摩擦増大用マットを作成し、この上に模型ケーソンを設置し、これを引っ張りその効果について「貝殻の重量含有率(C)」と「摩擦係数(μ)」の関係について模型実験によって検討した。

浜田ら⁵⁾に習い、マウンドの上にアスファルトマットを敷き、その上にケーソン模型(重量:W)を設置した。ここで、マウンド部は水で満たした。模型をワイヤーで巻き、ワイヤーの先にある載荷用水容器に水を徐々に入れていって、ケーソン模型が滑動し始める時の水の重量を測定した。1ケースにつき3回の平均値を外力(P)として算出した。この時の滑り始める時とは、ロッキング等を見捨てたもので純粋にワイヤー方向に滑り始める時である。滑り始めを判断するために、定規を当てておき、ケーソン模型の左に取り付けた目印を定規の数値0へ合わせ滑動の様子を観察した。図-6に作製した実験装置の断面図を示す。

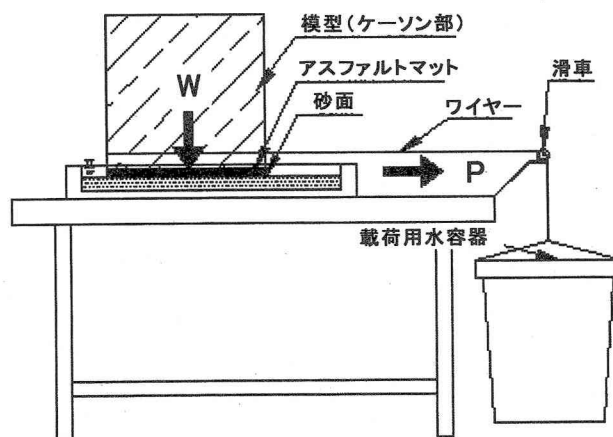


図-6 実験装置断面図

(7) 摩擦抵抗係数の算定

ケーソン重量 (W) と移動時の水平力 (P) の測定結果を用いて摩擦抵抗係数の算出は以下の通りとした. 直立堤及び混成堤直立部におけるケーソンの滑動安全式は, 水平力, 揚圧力, 空中重量そして浮力から算出される. 実験方法を考慮して浮力等を省略し, 滑動安全式を変形して, 式(1)に示すケーソンの空中重量を外力で除する事で静止摩擦係数(μ)を算出した.

実験は, 1枚のマットに対して, ホタテ貝殻の含有率を重量比で様々調整し, それぞれの含有率における水平力 (P) の測定を繰り返した.

μ = W / P (1)

ここで, μ:静止摩擦係数, W:ケーソンの空中重量, P:外力, を示す.

(8) 実験ケース

貝殻重量含有率(C) を, 1枚のアスファルトマット重量に対する貝殻重量比と定義した.

実験ケースは, 表-2に示す全16ケースを行い, 比較・検討を行った. 表-2に記す番号1は, (2)で求めた d₅₀=1.0~1.2mmの静止摩擦係数の値 (μ=0.62) をそのまま用いた.

表-2 実験ケース一覧

番号	材料	C(%)	径(mm)	ネット
1	砂面	0	1~1.2	無し
2	貝殻のみ	100	1.2以下	
3			2~5	
4				蜜柑ネット
5	アスファルトマット	0	---	無し
6		20	1.2以下	
7		50		
8		80		
9		20	2~5	
10		50		
11		20		
12		50		
13		20		
14		50		
15		20		
16		50		
			蜜柑ネット	
			洗濯ネット (細)	
			洗濯ネット (粗)	

3. 結果と考察

本実験から得られた実験結果で, 増大用マットとしてアスファルトマットを用いた実験結果を図-7に, マウンドの代用として用いた実験結果を図-8に, そして全ての実験結果をまとめたものを図-9に静止摩擦係数 (μ) と貝殻重量含有率 (C) の関係として記す.

(社)「施設の技術上の基準・同解説」⁴⁾ から摩擦増大用マットと捨石の静止摩擦係数は0.7~0.8である. 同書によれば, 摩擦増大用マットの摩擦係数は瀝青材料, ゴム材料等を使用した場合, 摩擦係数は0.7としている実例が多いが, 施工条件によっては0.7以上が期待できる結果もある. 一般に, 摩擦増大用マットの使用に当たっては, 使用する材料の耐久性, 構造物の重要度, 海象条件及び経済性を十分考慮して, 材料を選定するとともに, 摩擦係数に関する実験結果を十分検討することが重要である, と記述されている.

即ち, 静止摩擦係数0.7以上の効果を持ったマットであれば, 実際に摩擦増大用マットへの適用が出来るという事である. これを目標値として以下の実験結果を考察する.

以下, 各実験ケースについて, a) 重量含有率別, b) ネットの使用別, c) 粒径別, d) マウンド部に対し, の4つにわけて考察する.

(1) 貝殻重量含有率別の関係

図-7に貝殻重量含有率と摩擦抵抗係数との結果を示す, 図中の「貝殻なし (C=0%)」とは, 貝殻が全く含まれていないアスファルト混合物のみを用いたマットである事を示す. 以下, 図-8および図-9も同様である.

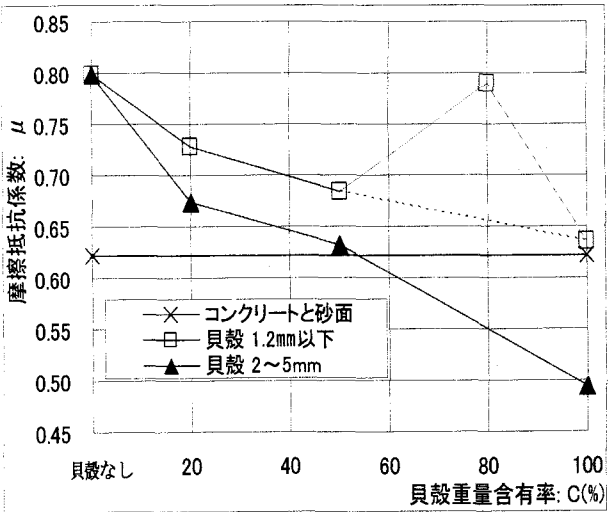


図-7 摩擦係数と貝殻重量含有率の関係(マット)

本実験から、アスファルト混合物のみを用いたマットでは $\mu=0.8$ となっている。図-7から、貝殻重量含有率20%、50%、100%で見ると、2種類どちらの粒径の場合でも含有率が小さい程、静止摩擦係数の値が増している。これは、貝殻とアスファルトとの付着に問題があるためと推測される。即ち、貝殻には裏と表があり、一方はツルツルと滑りやすい面を有しているため、アスファルトとの接着力が弱い事が原因の一つと考えられる。

(2) 貝殻の粒径別

図-7から、貝殻の粒径と静止摩擦係数の関係は、粒径1.2mm以下の細かい粒径(図中、□印)の方が粒径2~5mmの大きい粒径(図中、▲印)より摩擦抵抗が大きい事が分かる。また、貝殻の含有率が大きい程、粒径間による摩擦係数の差が大きくなっていく。

即ち、粒径が細かいと抵抗力の減少は小さくなるのに対し、粒径が粗く含有率も大きくなると摩擦係数が急激に小さくなっている。これは、貝殻とケーソン底面との接触面積が異なるためと考えられる。

(3) ネットの使用別

図-8に、ネットを用いた場合の実験結果を示す。

ネットを使用しているもの、していないものと見ると、2~5mm粒径をネットで覆い使用した場合の静止摩擦係数は、貝殻重量含有率が50%以下の場合、ネットを使用しない場合より値が大きくなっており、その増加値は貝殻重量含有率が低くなればなるほど静止摩擦係数も高い値を示している。特に、網目間隔が大きい蜜柑ネットでの増加値が最も高い。これは、ネットによって貝殻を含んだアスファルトマットの変形が制約された為と考えられる。

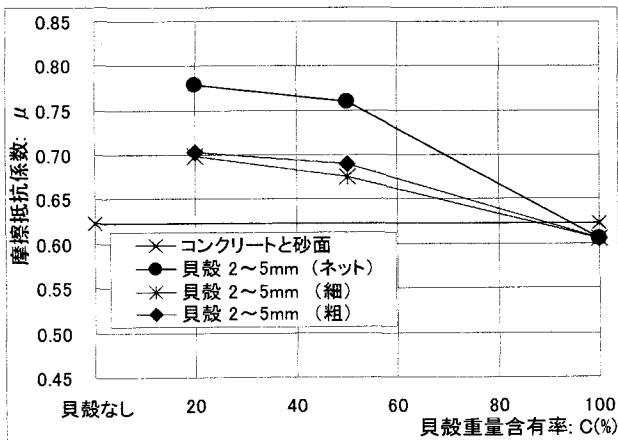


図-8 摩擦係数と貝殻重量含有率の関係(ネット)

(4) マウンド部に関して

図-9に、全ケースをまとめた結果を示す。これより、貝殻重量含有率100%に着目して、ホタテ貝殻を

敷き詰めた場合、ホタテ貝殻1.2mm以下に破碎したものは、コンクリートと砂面の静止摩擦係数0.62と、相対誤差で約3%しか変わらない。即ち、マウンドの石の代わりに貝殻を使用できる事を示している。さらに、ホタテ貝殻をネットに覆う事によって、貝殻の動きが制約されるため、同様にケーソン用のマウンドとしての使用ができると考えられる。

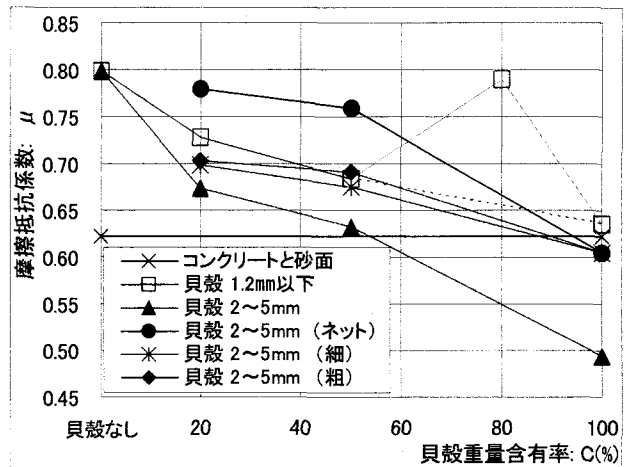


図-9 摩擦係数と貝殻重量含有率の関係(全結果)

(5) リサイクル量の検討

摩擦抵抗係数に関する実験結果より、アスファルトマットに用いた場合を想定し、貝殻の含有率および貝殻(炭酸カルシウム:CaCO₃)の単位体積重量を考慮して、ケーソン1函当たりの使用量、即ち見込まれるリサイクル量について検討した。

まず、摩擦増大用マットに混入した場合を考える。実験の結果、貝殻の重量含有率としては、40%が推奨される。この値を用い、佐藤ら⁶⁾の実験結果から、ホタテ貝殻の比重を1.53として、摩擦増大用アスファルトマットを8cmの厚さとした場合を考えると、ケーソン1函(幅18.5m、長さ25.0mを想定)当たりの貝殻の重量は、約221KN(22.6tf)となる。前書きに記述したように、年間の発生量が約5万トンである事より、この重量は年間の貝殻発生重量の約1/2230に相当する。

次に、マウンドの代わりに用いた場合を考える。1.2mm以下の破碎したホタテ貝殻を含有した場合は、マウンドのみの場合と約3%の相対誤差程であり、通常ケーソンマウンドとしている部分の代わりとしての利用法が考えられる。ケーソン基礎部の捨石が4900N/個(500kgf/個)として、マウンド基礎の捨石一層の高さを約50cm、ホタテ貝殻の比重を前と同様に1.53として、1函当たりの捨石部面積にホタテ貝殻を代用すると、約3450KN(353.8tf)のホタテ貝殻リサイクル量となる。これは、年間の貝殻発生重量の約1/140相当となる。

4. まとめ

ホタテ貝殻の摩擦増大用マットおよびマウンドへのリサイクルを目的として、摩擦抵抗係数に関する実験によって得られた結果を以下に列記する。

- 1) 貝殻含有率が小さい程、静止摩擦係数の値が増している。これは、貝殻には裏と表があり、一方はツルツルと滑りやすい面を有しているため、アスファルトとの接着力が弱い事が原因の一つと考えられる。
- 2) 「施設の技術上の基準・同解説」より摩擦増大マットと捨石による場合の静止摩擦係数0.7を超える値を示すのは、1.2mm 以下に破碎した粒径のホタテ貝殻で重量含有率40%以下の時である。
- 3) 重量含有率40%として用いた場合、1函当たり約221KN(22.6tf)、全体の1/2230相当のホタテ貝殻リサイクル量が見込まれる。
- 4) 1.2mm以下の破碎したホタテ貝殻を含有した場合は、マウンドのみの場合と約3%の相対誤差程であり、通常ケーソンマウンドとしている部分の代わりとしての利用法が考えられる。その場合、約3450KN(353.8tf)、全体の1/140相当のリサイクル量と見込まれる。

参考文献

- 1) 小早川正樹・張金喜・藤原忠司(2001)：ホタテ貝殻のアスファルト混合物材料としての適用性, 東北支部技術研究発表会講演概要, Vol. 64, pp. 620-621.
- 2) 中島博行・井上博泰・伊藤利明(1999)：牡蠣貝を用いた土壌改良材の開発, 東北支部技術研究発表会講演概要, Vol. 68, pp. 628-629.
- 3) 小山信次, 奥田愼一, 笹谷廣治「ホタテ貝殻セラミックスの機能性とその実用化」、東北地域バイオインダストリー振興会議誌, No20, pp. 6-10
- 4) (社)日本港湾協会(1999)：港湾の施設の技術上の基準・同解説, pp. 310-311.
- 5) 浜田敏明・北山斉・岡良・中井章・若杉利彦(2001)：海水中における摩擦増大用アスファルトマットの長期耐久性(30年)について, 海岸工学論文集第48巻, pp. 1001-1005.
- 6) 佐藤朱美・伊藤敏朗・森信幸：ケーソン中詰材としてのホタテ貝殻の有効性について,
http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/gijyutu/pdf_files/06kouwan/kou-28.pdf