

水産系副産物（貝殻）の裏込材への 有効利用に関する基礎的研究 —ホタテ貝殻を混合した砂の内部摩擦角—

BASIC STUDY ON PRACTICAL USE TO BACK-FILL MATERIAL OF FISHERY BY-PRODUCT

- INTERNAL FRICTION ANGLE OF SAND MIXED WITH SCALLOP SHELL -

坪田幸雄¹・佐伯公康²

Yukio TSUBOTA and Kimiyasu SAEKI

¹正会員 工修 (独)水産総合研究センター 水産工学研究所 (〒314-0421 茨城県鹿島郡波崎町海老台)

²正会員 工修 (独)水産総合研究センター 水産工学研究所 (〒314-0421 茨城県鹿島郡波崎町海老台)

In order to using scallop shells of a fishery by-product effectively for the back-fill material of a quay, we investigated the internal friction angle of the sand mixed crashed scallop shells by consolidated-drained tri-axial compression test. The following conclusion can be obtained from this study. When the maximum grain size of crashed shell and the rate of shell mixture decreased, the mass of unit volume and the internal friction angle increased, and it turns out that the crush of shell itself decreased. It has checked that the sand mixed crashed scallop shells is applicable to back-fill material to some extent.

Key Words : Fishery by-product, mixed sand, back-fill, internal friction angle, scallop shell

1. はじめに

水産系副産物である廃貝殻は、ホタテガイが北海道、青森県を中心に約26万トン/年、カキが広島県、宮城県を中心に約24万トン/年（共に推定値）が発生している。ホタテガイなどの加工業者から排出される廃貝殻は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、「廃掃法」という）の規定上、産業廃棄物に該当するため、事業者自らが処分する必要がある。また、廃貝殻は廃掃法で海洋投入処分が可能とされているが、①摩砕し油分を除去する必要があること、②埋立処分を行うのに支障がない場合は、海洋投入処分を行わないこと、③海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律（以下、「海防法」という）の規定により登録された廃棄物排出船から海洋へ排出すること、④海防法施行令に規定された排出方法で、C海域（50海里以遠）に排出すること、の規制がかかり、陸上処分に比べて事業者の負担が大きいため、海洋投入処分の実績がない。陸上処分も土壌改良材、家畜用飼料、カキ採苗原板などの有効利用や焼却処分が行われているものの、まだ多くが漁港周辺に野

積みになっているのが現状である。

平成12、13年度の水産基盤整備事業では、ホタテ貝殻、カキ殻がコンクリート骨材、埋立材、魚礁の餌料培養基質材として、約18千トン利用されているが¹⁾、発生量の4%程度でしかない。

そこで、廃貝殻を大量に有効利用する一方策として、漁港の岸壁などの裏込材に利用するための技術開発を行っている。

2. 再生資源および裏込材の要件

循環型社会形成推進基本法では、廃棄物等のうち有用なものを循環資源と定義しており、循環資源はできる限り循環的な使用（再利用や再生利用等）を行わなければならないとされている。しかし、廃貝殻の有効利用に際しては、付着している有機物の除去や破碎等の前処理にコストがかかる。そのため、大量かつ恒常的に有効利用するには、利用目的の効果が十分に発揮され、他の代替品と同等の効果があることなどを確認する必要がある。

水産基盤整備事業においては、カキ殻、ホタテ貝

殻を漁港・漁場施設に使用される再生資源としており、その物理的・化学的・力学的性質等を十分に調査のうえ使用することとされている。一方、裏込材は、適切な強度、耐久性および比重を有しているものを選定することとされている。具体的には、内部摩擦角が大きく、かつ、比重の小さいものが望ましい。また、裏込材の内部摩擦角および単位体積重量は、土質試験により決定するが、便宜的に表-1の値を参照してもよいとしている²⁾。

しかし、再生資源としての廃貝殻を混合した土の内部摩擦角などの力学的特性に関する知見は少なく^{3)~5)}、ホタテ貝殻に関してはほとんど見受けられない。そこで、本研究では、ホタテ貝殻を混合した砂の内部摩擦角を中心に室内試験により検討した。

3. 試験方法

試験に使用した材料は、茨城県産の洗い砂および青森県産のホタテ貝殻（以下、「貝殻」という）である。なお、貝殻表面および内部から有機物を除去することを目的に、事前に貝殻を約550℃の熱風で加熱処理した。試料は、破碎した貝殻最大粒径（以下、最大粒径という）を3種類（5, 10, 30mm）、貝殻混合率（以下、混合率という）を3種類（25, 50, 75%）に変化させ、砂のみのものと併せて、表-2に示す10種類とした。

内部摩擦角を求めるための試験は、圧密排水（CD）三軸圧縮試験を行った。圧密圧力は、50, 100, 150, 200kN/m²の4種類（最大粒径30mmは150kN/m²を除く3種類）とした。供試体寸法は、最大粒径30mmは直径30cm×高さ60cm、それ以外は直径5.5cm×高さ11cmとした。さらに、圧密、圧縮時に貝殻の破碎が考えられるため、試験前後における粒度試験を行った。その他、土粒子の密度試験、単位容積質量試験、締固め試験を行った。単位容積質量試験は、ジグギング法のほか、空中落下法（落下高さ50cm）、スプーン法（落下高さ0cm）も行った。なお、三軸圧縮試験の供試体は、密度が最もゆるいスプーン法で求めた単位容積質量を目標として作製した。

4. 結果および考察

(1) 粒子密度および単位容積質量

使用した砂および貝殻の粒子密度は、各々2.672 g/cm³、2.663g/cm³で、貝殻の方が若干小さいものの、ともに通常の砂と大差ない。

図-1に、単位容積質量を示す。なお、砂の単位容積質量はスプーン法のみ試験している。スプーン法による単位容積質量は、混合率が多くなると小さくなり、最大粒径が大きくなると小さくなるものの、混合率50%までは最大粒径の違いによる差はほとんどない。また、混合率25%では、各最大粒径とも砂と

表-1 裏込材の設計標準値

裏込材の種類	内部摩擦角(°)	残留水位上の単位体積重量(kN/m ³)
一般の割石	40	18
もろい材質の割石	35	16
玉石	35	18
きれいな砂または砂利	35	18
切込砂利	30	18

表-2 試料の種類

貝殻最大粒径(mm)	貝殻混合率(%)	試料記号
砂のみ		S
5	25	A25
	50	A50
	75	A75
10	25	B25
	50	B50
	75	B75
30	25	C25
	50	C50
	75	C75

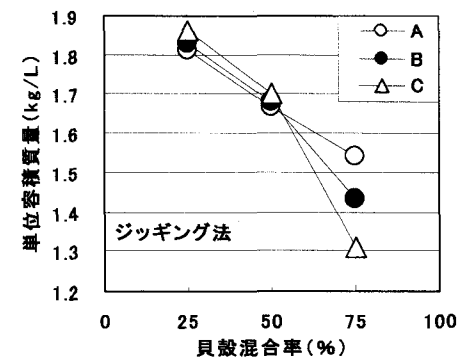
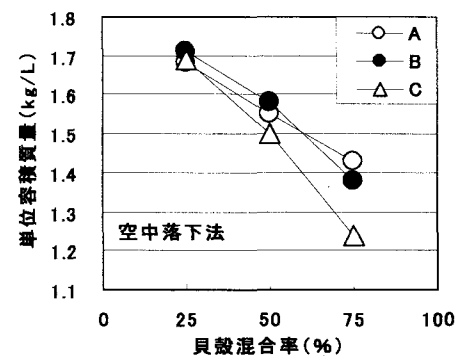
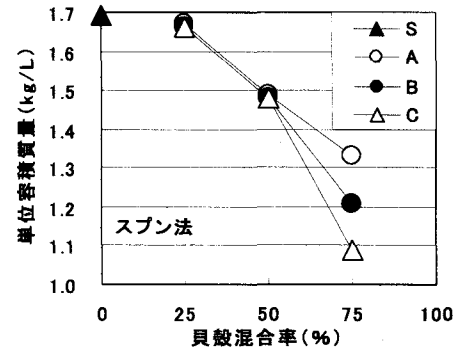


図-1 単位容積質量

大差ない。空中落下法，ジグギング法でも，単位容積質量がそれぞれ概ね0.1kg/L，0.2kg/L大きくなるものの，同様の傾向が得られた。これは，砂よりも粒径の大きな貝殻を混合したことで，粒子間の間隙が大きくなるためと考えられる。

(2) 最大乾燥密度

図-2に，締固め試験による最大乾燥密度を示す。最大乾燥密度は，混合率が多くなると小さくなるものの，最大粒径が大きくなると大きくなる傾向があるが，最大粒径の違いによる最大乾燥密度の差は0.1g/cm³程度である。

図-3に，締固め試験の前後における粒度試験による2mmふるい通過質量百分率の増分を示す。この増分が大きいうことは，締固め試験でより多くの貝殻が破碎したことになる。図から，混合率が多くなると増分が大きくなることがわかる。つまり，混合率が多くなるとより多くの貝殻が破碎し，最大粒径30mmでは，その傾向がより顕著になることがわかる。最大粒径の違いによる最大乾燥密度の差が，単位容積質量の差ほど大きくならないのは，締固め試験による貝殻の破碎が影響しているものと考えられる。

(3) 内部摩擦角

図-4に，CD三軸圧縮試験による内部摩擦角 ϕ_d と圧密圧力の関係を示す。なお，内部摩擦角は圧密圧力ごとに粘着力 $c_d=0$ と仮定して求めた。図から，次のことがわかる。

- ①混合率が多くなると，内部摩擦角は減少する。
- ②最大粒径が大きくなると，内部摩擦角は減少する。
- ③混合率25%では，圧密圧力が増加しても内部摩擦角はほぼ一定であり，砂よりも1~2°程度小さいだけである。
- ④混合率が50%を越えると圧密圧力の増加に伴い，内部摩擦角が減少する。

図-5に，CD三軸圧縮試験の前後における粒度組成と圧密圧力の関係を示す。なお，最大粒径により粒度組成が変化する粒径が違うため，縦軸のふる

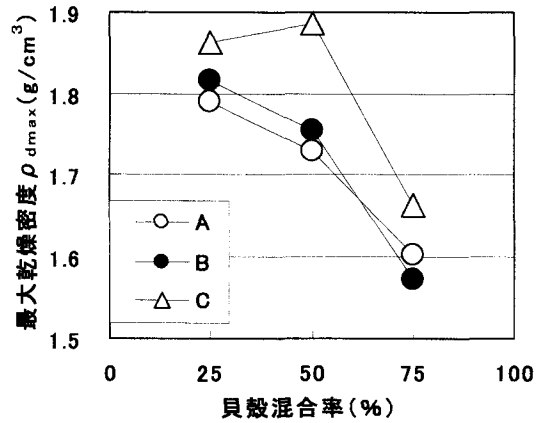


図-2 最大乾燥密度

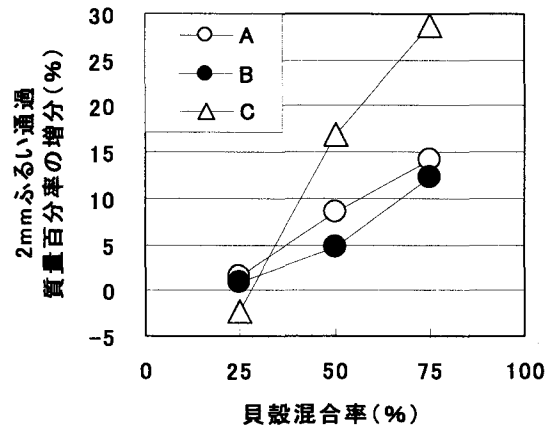


図-3 締固め試験時の貝殻破碎状況

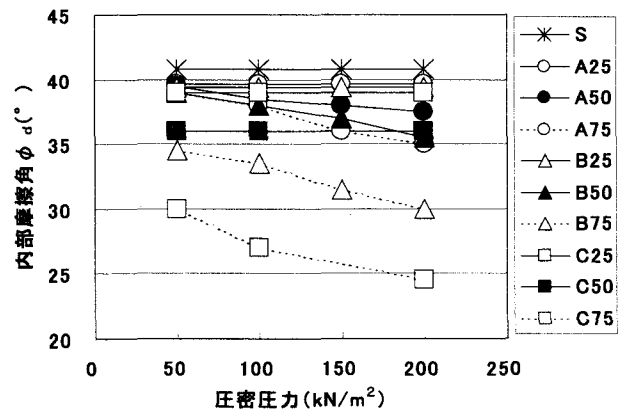


図-4 内部摩擦角

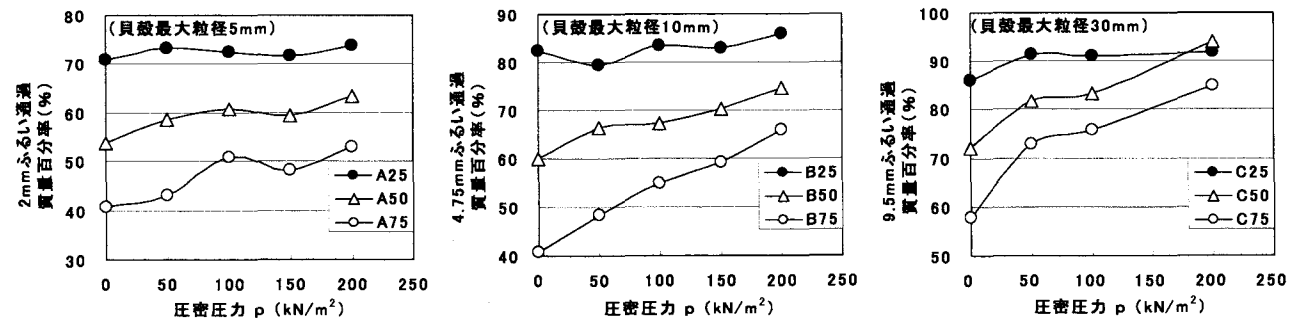


図-5 三軸圧縮試験時の貝殻破碎状況 (p=0 は試験前，他は試験後)

いの大きさは組成変化が最大となる付近のふるいを用いた。図から、次のことがわかる。

- ①混合率が多くなると、圧密圧力の増加に伴って貝殻の破碎が多くなり、細かな粒子が増加する。
- ②最大粒径が大きくなると、圧密圧力の増加に伴って貝殻の破碎が多くなり、細かな粒子が増加する。

以上のことから、混合率が少なく、最大粒径が小さい場合は、圧密圧力が増加しても貝殻の破碎が起こりにくく、内部摩擦角もあまり減少しないことがわかる。なお、最大粒径5mm、混合率25%では、内部摩擦角は約40°で砂よりも約1°小さいだけであり、かつ、貝殻の破碎による粒度組成の変化(2mmふるい通過質量百分率の増加)も最大で3%程度であった。

(4) 圧密過程の体積ひずみ

図-6に、圧密過程での体積ひずみと圧密圧力の関係を示す(縦軸は対数目盛、体積ひずみの符号は、正が収縮、負が膨張)。なお、体積ひずみは圧密時間60分における値であり、この時点で圧密はほぼ終了している。図から、混合率が多くなると体積ひずみは増加し、最大粒径が大きくなると体積ひずみは増加することがわかる。つまり、混合率が少なく、最大粒径が小さい場合には、圧密による圧縮が少なくなる。なお、混合率が25%では、圧密圧力が200 kN/m²でも、体積ひずみは2%未満であり、砂の場合とあまり変わらなくなる。

(5) 圧縮過程の圧縮強さ、体積ひずみ～軸ひずみ

図-7, 8に、圧密圧力200kN/m²の場合の圧縮過程での圧縮強さ、体積ひずみ～軸ひずみ曲線を示す(軸ひずみの符号は、正が圧縮)。図から、次のことがわかる。

- ①圧縮強さ～軸ひずみ曲線は、混合率が25%では砂と同様の形状を示し、軸ひずみが5～10%でピークが現れる。しかし、混合率が増加すると、圧縮強さ～軸ひずみ曲線の形状は砂と相違し、直線的になる。なお、混合率25%、最大粒径30mmの場合は、両者の中間の形状となっている。
- ②体積ひずみ～軸ひずみ曲線も、混合率が25%では砂と同様の形状を示し、軸ひずみが5%程度で収縮から膨張に変化している。しかし、混合率が増加すると、体積ひずみ～軸ひずみ曲線の形状は砂と相違し、直線的になる。なお、混合率25%、最大粒径30mmの場合は、両者の中間の形状となっている。

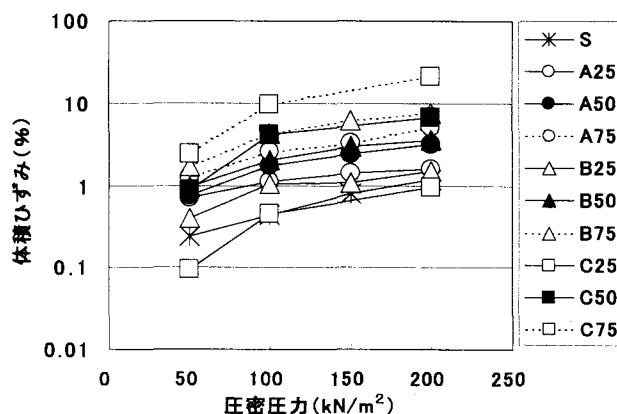


図-6 圧密過程での体積ひずみ

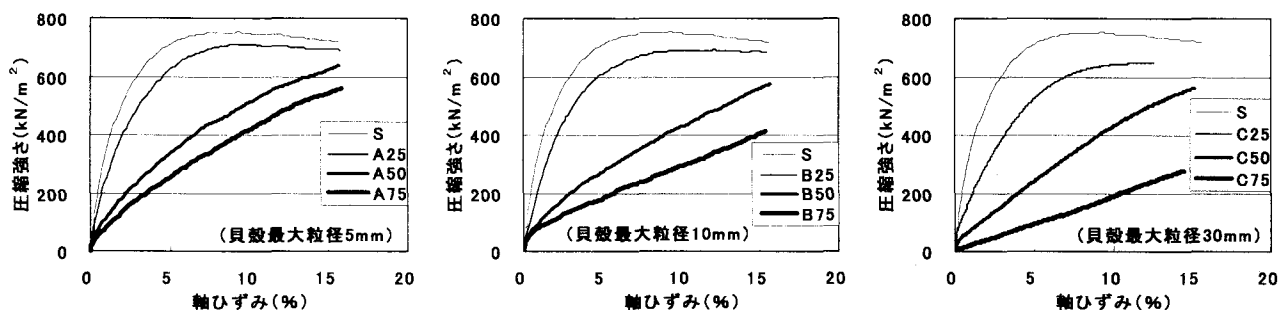


図-7 圧縮過程での圧縮強さ～軸ひずみ曲線 (圧密圧力=200kN/m²)

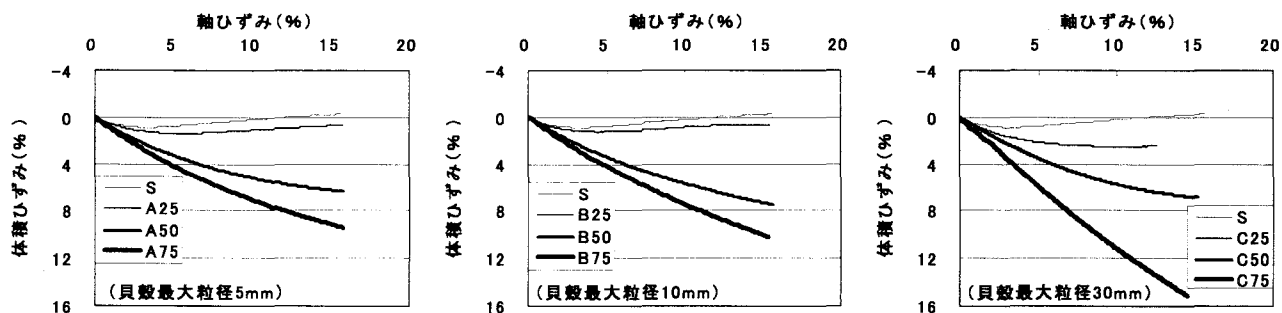


図-8 圧縮過程での体積ひずみ～軸ひずみ曲線 (圧密圧力=200kN/m²)

つまり、最大粒径が大きく、混合率が多い場合は、圧縮の進行とともに、貝殻の破砕も継続し、強度が発現しにくくなると考えられる。

5. おわりに

破砕したホタテ貝殻を混合した砂について、内部摩擦角を中心に検討した結果、次のことがわかった。

- ①ホタテ貝殻の粒子密度は、砂と大差ない。
- ②単位容積質量は、混合率が多くなると小さくなり、最大粒径が大きくなると小さくなるが、混合率25%では砂と大差ない。
- ③締固め、圧密、圧縮により、貝殻は破砕する。
- ④混合率が少なく、最大粒径が小さい場合は、圧密圧力が増加しても貝殻の破砕が起こりにくく、内部摩擦角もあまり減少しない。
- ⑤混合率が少なく、最大粒径が小さい場合は、圧密による圧縮が少ない。

また、表-1に示すように、裏込材の内部摩擦角の参考値として、「きれいな砂または砂利」で 35° という値があるが、今回の試験では、貝殻の最大粒径5mm、混合率25%で、内部摩擦角が約 40° 、貝殻の破砕による粒度組成の変化(2mmふるい通過質量百分率の増加)も最大3%程度であり、ホタテ貝殻を混合した砂を裏込材へ適用できることが、ある程度確認できた。

今後は、貝殻から有機物を除去するための前処理方法が異なる(天日干し、ボイルなどの)ホタテ貝殻を使用して、同様の検討を行うこととしている。

なお、ホタテガイなどの貝殻の主成分は炭酸カルシウム CaCO_3 であり、水中では徐々にではあるがカルシウム分が溶脱することが知られているので、こうした物性の変化についても、今後検討する必要がある。

謝辞：室内試験の実施に際しては、復建調査設計株式会社の松本敏明氏ほかのご協力を頂いた。ここに感謝の意を表します。また、本研究は「平成15年度水産基盤整備調査委託事業」による研究であることを付記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) (社)水産土木建設技術センター：水産基盤整備事業における廃棄物等の再利用技術手法の検討，平成14年度水産基盤整備施工技術調査報告書，2003。
- 2) 水産庁監修：漁港・漁場の施設の設計の手引：(社)全国漁港漁場協会，pp177-178，2003。
- 3) 橋立洋一，福田定治，奥村樹郎，小林直正：カキ殻混り砂の工学的特性について，第28回土質工学研究発表会講演集，pp. 869-872，1993。
- 4) 君島芳友・李基豪・柳沢栄司・風間基樹：カキ殻混合土の非排水せん断特性，土木学会第55回年次学術講演会講演概要集，第3部(B)，pp. 528-529，2000。
- 5) 李基豪・風間基樹・寺田賢二郎：カキ殻混合土の非排水せん断強度・変形特性，土木学会論文集，No. 701/Ⅲ-58，pp. 303-314，2002。