

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（その3） —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 (No.3)

- 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 (〒314-0408 茨城県神栖市波崎7620-7)

²正会員 工修 (独)水産総合研究センター 水産工学研究所 (〒314-0408 茨城県神栖市波崎7620-7)

In order to use scallop shells of a fishery by-product effectively for the back-fill material of a quay, we are investigating the internal friction angle of the sand which mixed the crashed scallop shells by consolidated-drained tri-axial compression test. In our second report, we checked that the sand which mixed the crashed scallop shells is applicable to back-fill material. However, it turned out that how to mix sand and a shell influences unit mass and internal friction angle. This time, we investigated the internal friction angle of the mixture sand which changed the mixed method and the injection method of materials at making a specimen. As a result, when the maximum grain size of crashed shell is about 10mm and the rate of shell mixture is about 25%, it is thought that we can use the sand which mixed the crashed scallop shells for the back-fill material, by carrying out consolidated-drained tri-axial compression test and grain size analysis before and after compression test.

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、廃棄物の処理および清掃に関する法律の規定上、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。しかし、種々の要因から¹⁾、その多くが漁港周辺に野積みされているのが現状である。

一方、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。

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。

なお、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。また、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ものとし、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とされている²⁾。

前報³⁾では、ホタテ貝殻を混合した砂の内部摩擦角について、ホタテ貝殻および砂の種類の組み合わせを変化させた室内試験により検討し、貝殻最大粒径5~10mm、混合率25%程度であれば、裏込材に適用できることを確認した。しかし、同時に、砂と貝殻の混じり方が、単位

体積質量，内部摩擦角などに影響することも明らかになった。そのため，実際の施工に際しては，ホタテ貝殻と砂の混合方法について工夫する必要があると考えられた。

本文は，供試体作製時の砂と貝殻の混合方法，材料投入方法が異なる混合砂の内部摩擦角について室内試験により検討し，ホタテ貝殻を混合した砂の裏込材への適用性を明らかにするものである。

2. 試験方法

試験に使用した材料は，茨城県鹿島産の洗い砂および北海道常呂産のホタテ貝殻（以下，貝殻という）である。なお，鹿島砂は，採取場所が異なるためか，前報までのものとは粒度分布が異なり，粒径の大きなものである（図-1）。また，常呂産貝殻は，前報と同じく土壌改良材用に市販されているものである。試料は，混合する貝殻最大粒径を10mm，貝殻混合率を25%とし，混合方法として事前混合および，砂と貝殻を互層状（6層および3層）に敷き均す3種類，材料投入方法として供試体作製用モールド上面の30cm上から，空中落下および水中落下の2種類の合計6種類である（図-2）。

内部摩擦角を求めるための試験は，圧密排水（CD）三軸圧縮試験を行い，圧密圧力は50, 100, 200kN/m²の3種類，供試体寸法は直径30cm×高さ60cmである。また，圧密，圧縮時に貝殻の破砕が考えられるため，試験前後における粒度試験を行った。なお，三軸圧縮試験の供試体は，乾燥密度 $\rho_d = 1.41\text{g/cm}^3$ を目標として作製した。

3. 結果および考察

(1) 内部摩擦角

使用した砂および貝殻の粒子の密度は，各々2.655 g/cm³，2.686 g/cm³で，通常の砂と大差ない。

図-3に，CD三軸圧縮試験によるモールドの破壊包絡線から得られた内部摩擦角 ϕ_d ，粘着力 c_d と貝殻混合率の関係を示す。図より，次のことがわかる。

- ①投入方法の違いによる内部摩擦角の違いは，事前混合を除くと1°程度で大差ない。
- ②混合方法の違いによる内部摩擦角の違いは，水中落下の事前混合を除くと1°程度で大差ない。
- ③粘着力は，事前混合では空中落下よりも水中落下の方が大きくなり，敷均しでは水中落下の方が小さくなっているものの，その値は事前混合の水中落下を除くと，10kN/m²程度であり，あまり大きくない。

前報³⁾でも述べたように，本来，砂は粒状体であり粘着力は発生しないが，貝殻を混合することで，圧密圧力の増加に伴いせん断中に貝殻が破砕し，強度低下が起こり，見かけの粘着力が発生したものと考えられる。

そこで，図-4に，圧密圧力ごとに粘着力 $c_d = 0$ と仮定して求めた内部摩擦角 ϕ_d と圧密圧力の関係を示す。図より，次のことがわかる。

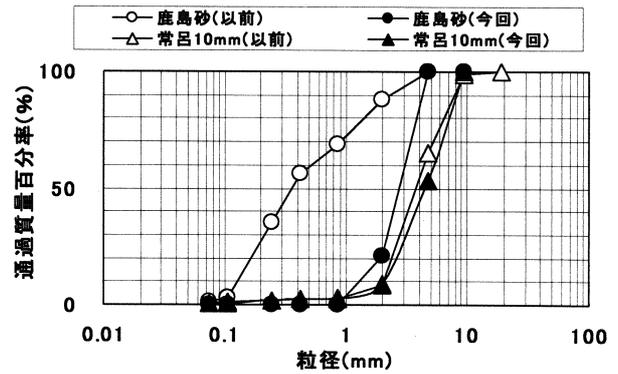


図-1 粒径加積曲線

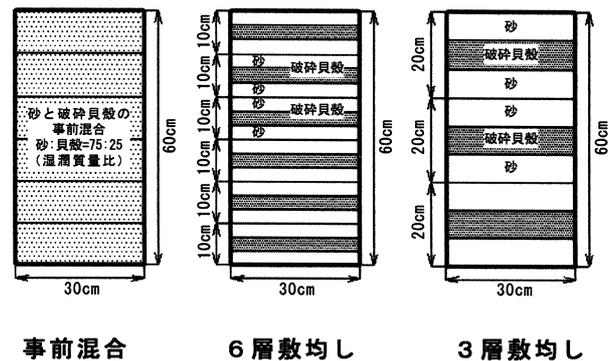


図-2 供試体作製概念図

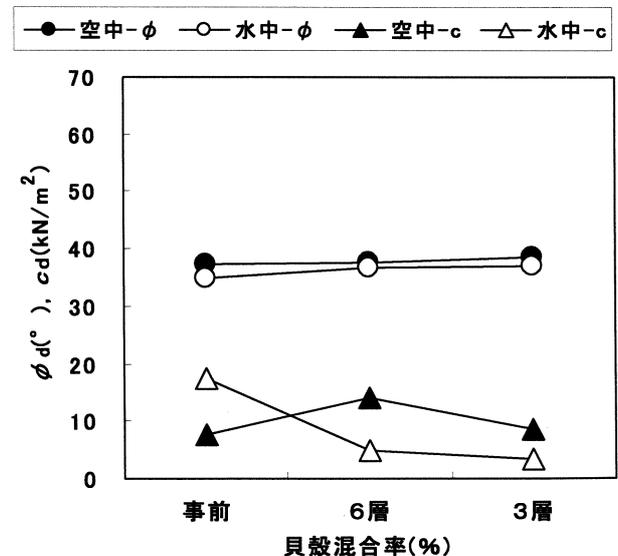


図-3 モールドの破壊包絡線による内部摩擦角と粘着力

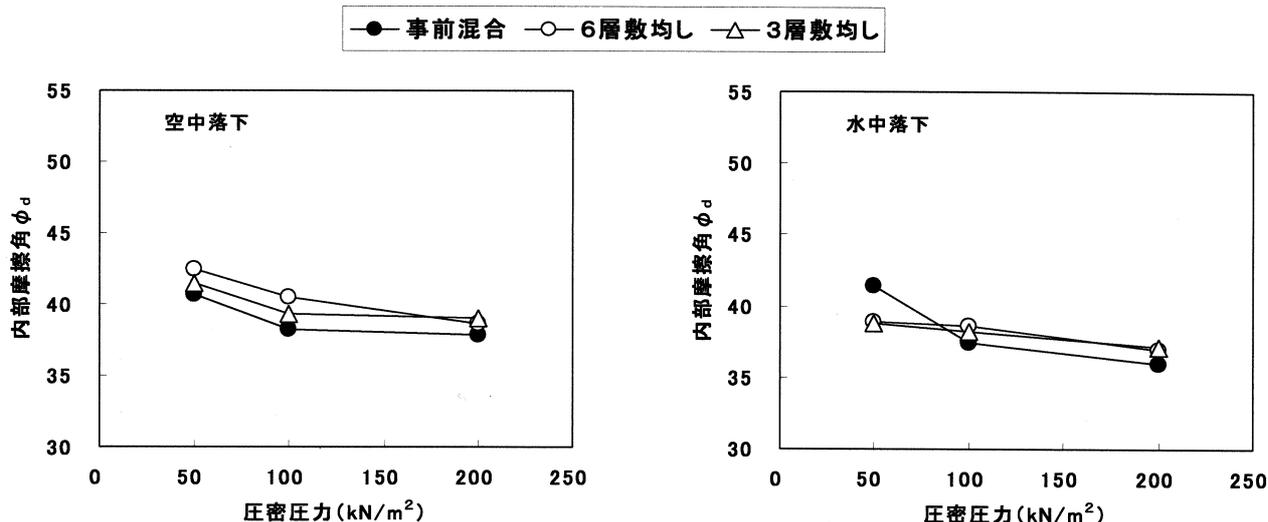


図-4 内部摩擦角 (圧密圧力ごとに粘着力=0と仮定)

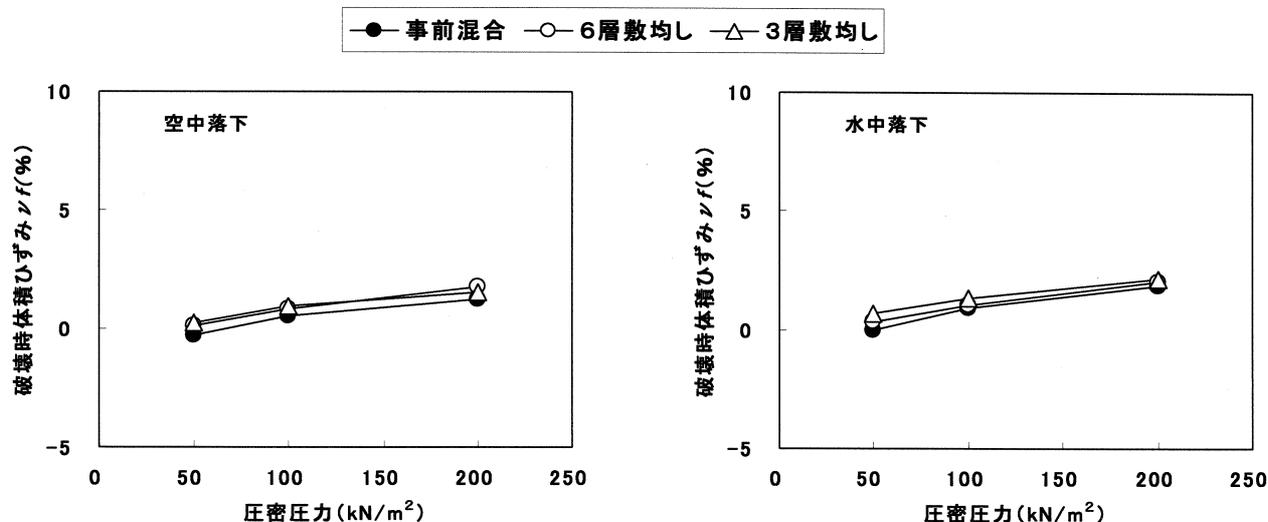


図-5 破壊時体積ひずみと圧密圧力

①投入方法の違いによる内部摩擦角の違いは、水中落下は空中落下と同程度か小さい。

②混合方法の違いによる内部摩擦角の違いは、大差なく、最大でも3°以内である。

③内部摩擦角は圧密圧力の増加に伴って減少するが、その割合は、事前混合を除くと、水中落下の方が空中落下よりも小さい。

なお、岸壁の裏込材の内部摩擦角の参考値としては、「きれいな砂または砂利」で35°という値があるが²⁾、今回の試験では、この値以上である。

図-5に、せん断破壊時の体積ひずみ v_f と圧密圧力との関係を示す(体積ひずみの符号は、正が収縮、負が膨張)。図より、破壊時の体積ひずみは圧密圧力の増加に伴って収縮するものの、最大でも2%程度の収縮でしかなく、混合方法、材料投入方法の違いによる相違もほ

とんどない、ことがわかる。また、図示はしていないが、圧密過程における体積ひずみは、収縮のみで、値、形状ともにほぼ同様の傾向を示している。

図-6に、各圧密圧力ごとのCD三軸圧縮試験の前後における各粒度の質量変化率を示す。図より、次のことがわかる。

①混合方法、材料投入方法に関係なく、粒径4.75~9.5mmの中礫分に相当する粒度の貝殻が破碎して減少し、粒径2~4.75mmの細礫分に相当する粒度が増加している。

②投入方法後違いによる粒度の質量変化の違いは、水中落下の方が空中落下よりも大きいものの、大差ない。

③混合方法の違いによる粒度の質量変化の違いは、事前混合の水中落下を除き大差なく、その値は最大でも4%程度である。

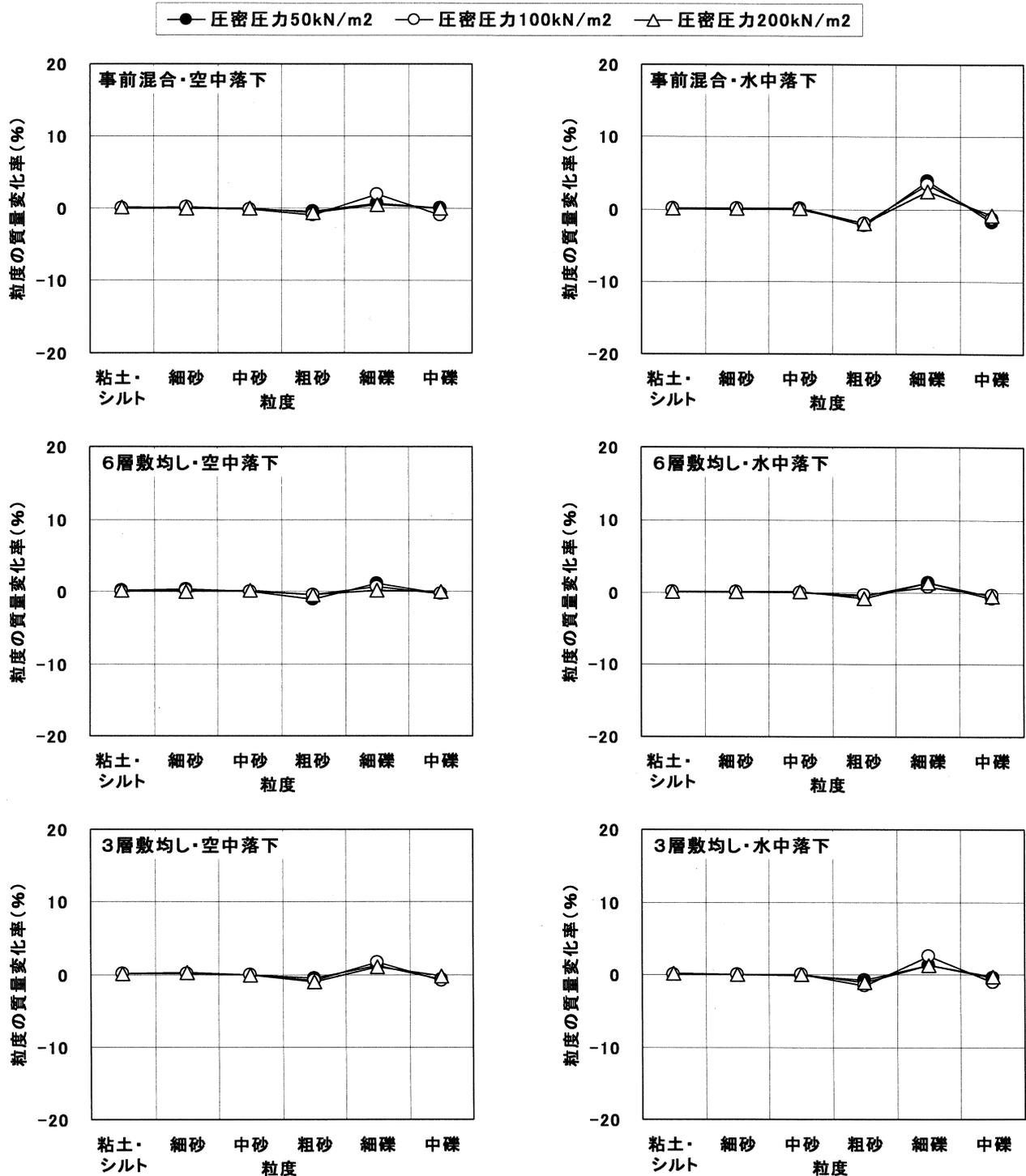


図-6 CD三軸圧縮試験時の貝殻破碎状況

(2) 圧縮過程の圧縮強さ、体積ひずみ～軸ひずみ

図-7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）。なお、空中落下の場合には、比較のため、前報で実施した小型供試体（直径5.5cm×高さ11cm、落下高さ0cm）でのデータも図示している。図から、次のことがわかる。

①圧縮強さ～軸ひずみ曲線は、空中落下では小型の場

合とほぼ同様の形状を示し、軸ひずみ11～13%でピークが現れる。

②しかし、水中落下の場合は、圧縮強さ～軸ひずみ曲線の形状は、ピークが明瞭ではなく、ダラダラと増加する。

③体積ひずみ～軸ひずみ曲線も、空中落下では小型の場合と同様の形状を示し、軸ひずみ7～9%程度で収縮から膨張に変化している。

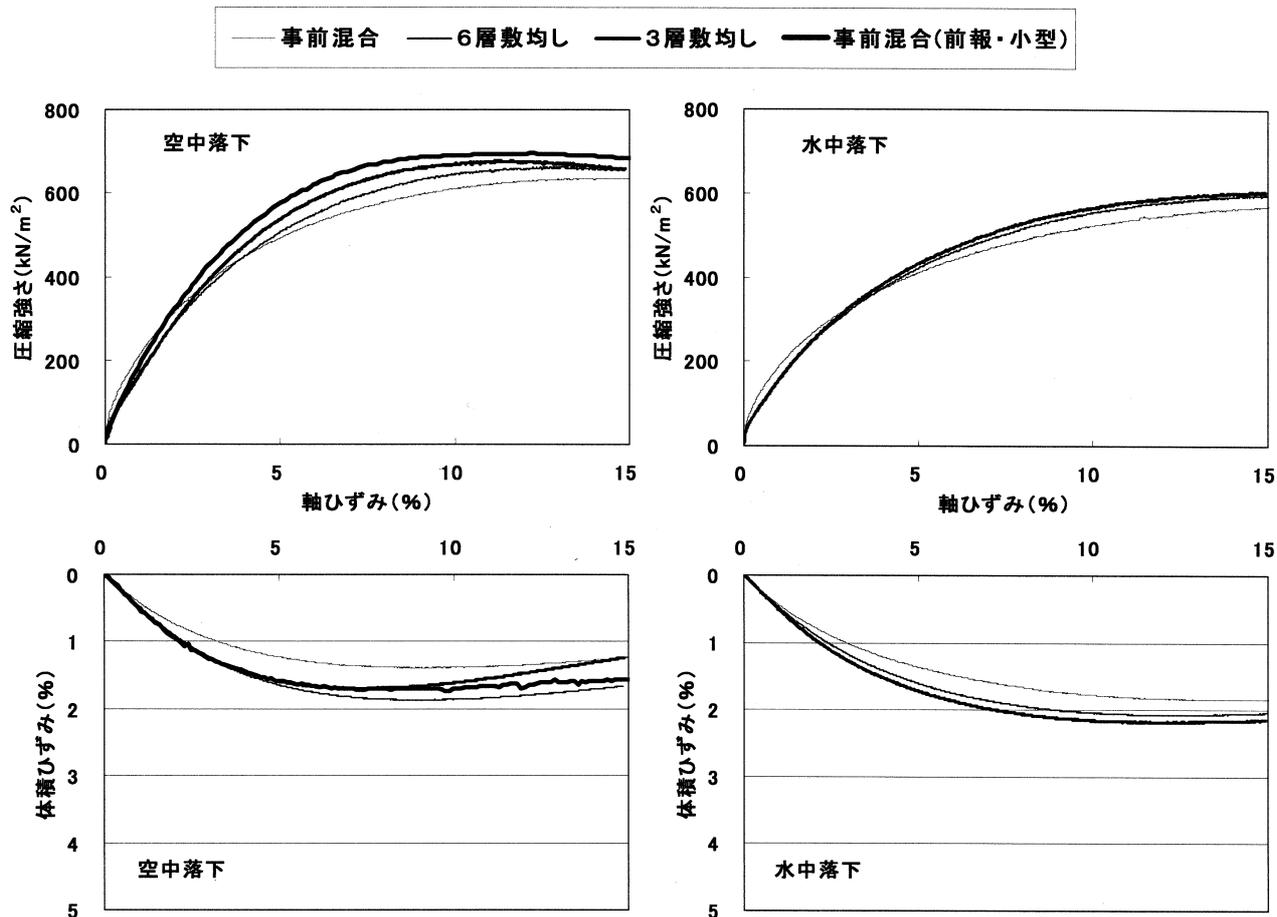


図-7 圧縮過程での圧縮強さ、体積ひずみ～軸ひずみ曲線（圧密圧力=200kN/m²）

④しかし、水中落下の場合は、体積ひずみ～軸ひずみ曲線の形状は、収縮のピークが明瞭ではなく、ダラダラと収縮する。

⑤材料混合方法の違いによる差は、ほとんど見られなかった。

(3) まとめ

以上のことから、水中落下の場合には、空中落下と比べると内部摩擦角が若干小さくなり、貝殻の破碎も若干多くなる傾向にあるものの、大差ないことがわかる。

なお、水中落下の場合、6層および3層敷均しと比べて、事前混合における内部摩擦角の減少、見かけの粘着力の増加、貝殻の破碎の増加が若干大きくなる傾向にある。これは、水中での砂と貝殻の落下速度が異なることから、事前に混合した試料であっても、水中落下の際に砂と貝殻が部分的に分離するため、粒子配列が不規則になり、前報で述べた「砂粒子が貝殻の周りをクッションのように保護し、貝殻同士が接触、破碎する確率が小さくなる」という効果が発現しにくかったのではないかと推察される。また、今回行った試験では、水中落下距離はたかだか60cmでしかなく、水中落下距離がより大きくなる実際の施工時には、水中での砂と貝殻の落下速度の

違いによる内部摩擦角の減少、見かけの粘着力の増加、貝殻の破碎の増加の程度がより大きくなることも考えられる。この点については、今後、試験施工等により、検討する必要があると考えられる。

4. おわりに

破碎したホタテ貝殻を混合した砂について、内部摩擦角および貝殻の破碎状況を中心に、3報にわたり検討した結果をまとめると、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、砂と貝殻の各々の粒度分布に依存するものの、混合率が25%程度以下の場合には、貝殻最大粒径にはあまり影響されない。
- ③締固め、圧密、圧縮により、貝殻は破碎するが、混合率25%程度以下の場合には、破碎の程度は軽微である。
- ④混合率25%程度以下の場合には、圧密圧力が増加しても貝殻の破碎が起りにくく、内部摩擦角も砂と同程度以上である。
- ⑤水中落下の場合には、空中落下と比べると内部摩擦角が若干小さくなり、貝殻の破碎も若干多く

なるものの、大差がない。

⑥今回行った水中落下距離の範囲では、6層および3層敷均しと比べて、事前混合における内部摩擦角の減少、見かけの粘着力の増加、貝殻の破碎の増加が若干大きくなるものの、大差がない。

つまり、貝殻最大粒径10mm、貝殻混合率25%程度であれば、CD三軸圧縮試験および試験前後における粒度試験を実施することで、ホタテ貝殻を混合した砂を裏込材として適用することができるものと考えられる。

なお、水中での砂と貝殻の落下速度が異なることによる内部摩擦角等への影響については、試験施工等により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

式会社の岩根清信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17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) 坪田幸雄, 佐伯公康: 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, 海洋開発論文集, VOL. 20, pp. 377-381, 2004.
- 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) 坪田幸雄, 佐伯公康: 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(その2), 海洋開発論文集, VOL. 21, pp. 861-866, 2005.