

水産系副産物（貝殻）の地盤材料への活用に関する技術開発調査

独立行政法人水産総合研究センター
水産工学研究所 水産土木工学部 漁港施設研究室
坪田幸雄・佐伯公康

平成15～17年度

緒言

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され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、埋立柱材、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。

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砕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⁾。

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

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、本調査では、ホタテ貝殻を対象に、室内試験により貝殻を混合した砂（以下、「貝殻混合砂」という）の物理的・強度的特性などの地盤材料としての緒元を把握し、貝殻を水産基盤整備事業で整備する構造物の地盤材料（裏込め材、埋戻し土等）として大量に活用する技術を開発する。

調査方法

貝殻混合砂の強度特性として内部摩擦角を把握するために、圧密排水（CD）三軸圧縮試験を行った。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。その他、土粒子の密度試験、単位容積質量試験、締固め試験を必要に応じて行った。なお、試験は次の3段階に分けて行った。

1. 貝殻最大粒径、貝殻混合率の違いによる影響把握のための試験

試験に使用した材料は、茨城県鹿島産の洗い砂及び青森県陸奥湾産のホタテ貝殻である。なお、貝殻表面及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、混合する貝殻最大粒径を3種類（5, 10, 30mm）、貝殻混合率を3種類（25, 50, 75%）に変化させ、砂のみのもので併せて10種類とした。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種類である（貝殻最大粒径30mmは150kN/m²を除く3種類）。

供試体寸法は、貝殻最大粒径30mmで直径30cm×高さ60cm、それ以外は直径5.5cm×高さ11cmである。また、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。

以上の試験から、貝殻の最大粒径、混合率を種々に変えた混合砂の内部摩擦角及び試験前後における粒度組成を比較することにより、ホタテ貝殻を混合した砂の裏込め材への適用性について検討した。

2. 砂および貝殻の種類の違いによる影響把握のための試験

試験に使用した砂は、茨城県鹿島産、山口県豊浦産、高知県佐川産の3種類である。ホタテ貝殻は、青森県陸奥湾産、北海道常呂産の2種類（鹿島砂の陸奥湾産は1. で実施）である。試料は、混合する貝殻最大粒径を2種類（5, 10mm）、貝殻混合率を2種類（25, 50%）に変化させ、砂のみ（鹿島産は1. で実施）のもので併せて22種類である。試験は、圧密排水（CD）三軸圧縮試験を行い、圧密圧力は50, 100, 150, 200kN/m²の4種類、供試体寸法は直径5.5cm×高さ11cmである。また、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、締固め試験等を行った。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。

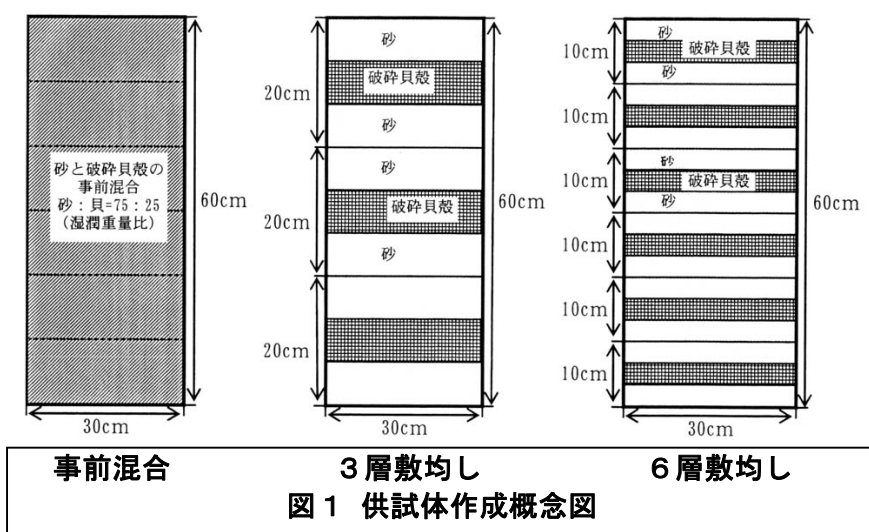
以上の試験から、貝殻および砂の種類、貝殻の最大粒径、混合率を種々に変えた混合砂の内部摩擦角及び試験前後における粒度組成を比較することにより、ホタテ貝殻を混合し

た砂の裏込材への適用性について検討した。

3. 砂と貝殻の混合方法、材料投入方法の違いによる影響把握のための試験

試験に使用した材料は、茨城県鹿島産の洗い砂及び北海道常呂産のホタテ貝殻である。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及び、砂と貝殻を互層状（3層及び6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、空中落下及び水中落下の2種類の合計6種類である（図1）。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、試験前後における粒度試験を行った。

以上の試験から、砂及び貝殻の混合方法、材料投入方法が異なる混合砂の内部摩擦角及び試験前後における粒度組成を比較することにより、ホタテ貝殻を混合した砂の裏込材への適用性について検討した。



調査結果

1. 貝殻最大粒径、貝殻混合率の違いによる影響把握のための試験

(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2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。

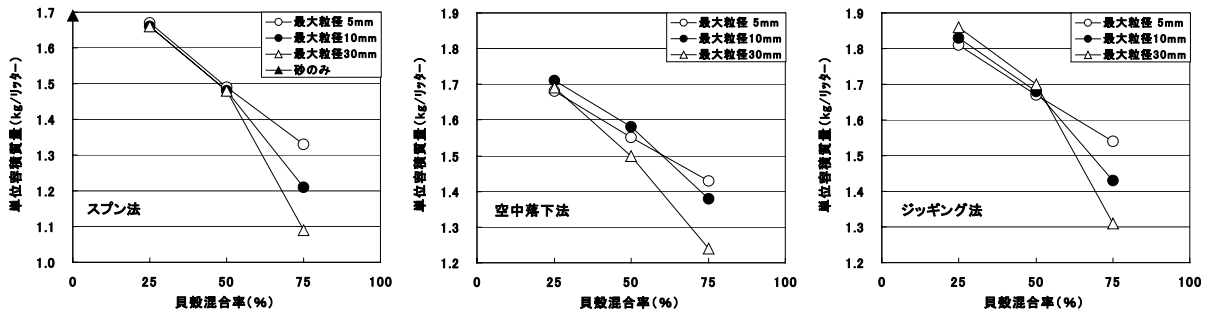


図2 単位容積質量

(2) 最大乾燥密度

図3に、締め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/cm^3 程度である。

図4に、締めめ試験の前後における粒度試験による 2mm ふり通過質量百分率の増分を示す。この増分が大きいということは、締め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、締め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。

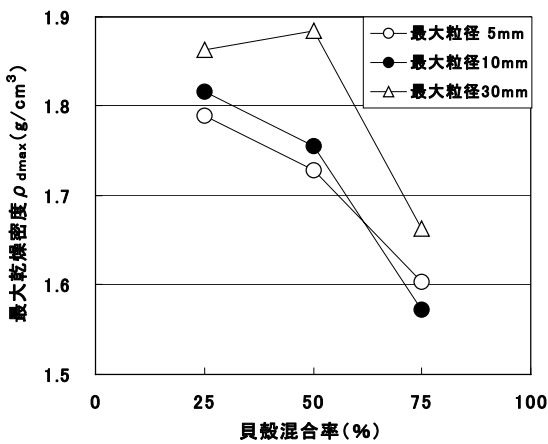


図3 最大乾燥密度

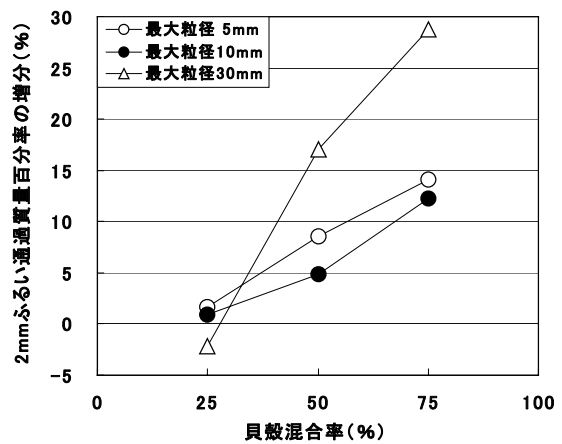


図4 締めめ試験時の貝殻破碎状況

(3) 内部摩擦角

図5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 $1\sim 2^\circ$ 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。

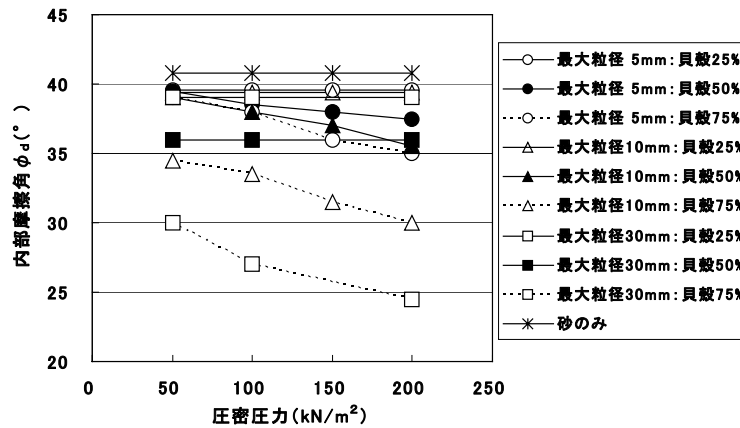


図5 内部摩擦角

図6に、C D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異なるため、縦軸のふる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砕が多くなり、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砕が多くなり、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砕が起りにくく、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)も最大で3%程度であった。

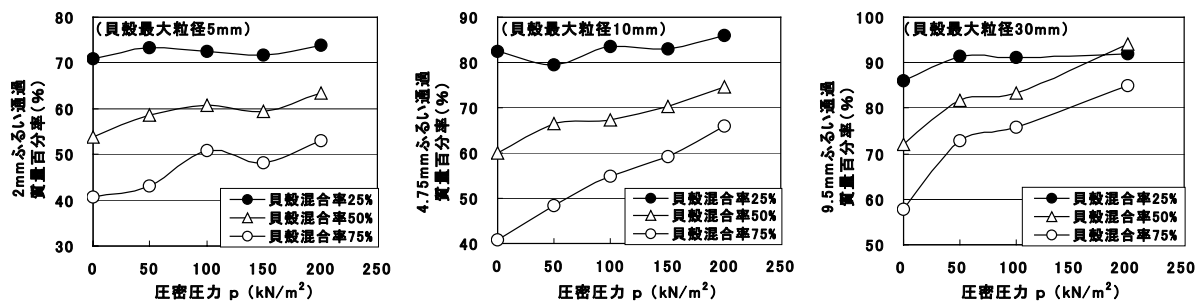


図6 三軸圧縮試験時の貝殻破砕状況 ($p=0$ は試験前, 他は試験後)

(4) 圧密過程の体積ひずみ

図7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 200kN/m^2 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。

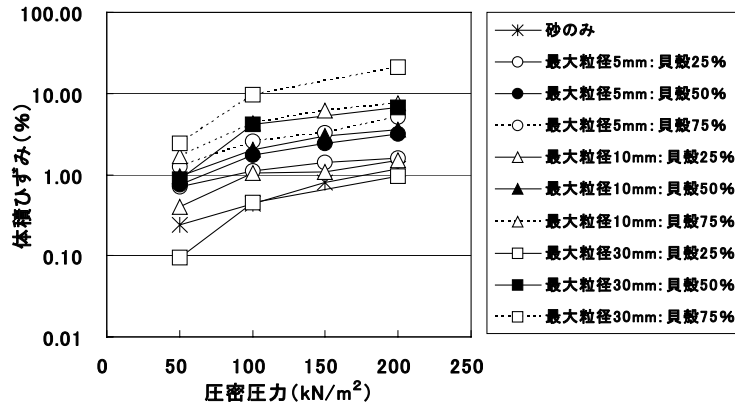


図7 圧密過程での体積ひずみ

(5) 圧縮過程の圧縮強さ、体積ひずみ～軸ひずみ

図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。

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、貝殻の破碎も継続し、強度が発現しにくくなると考えられる。

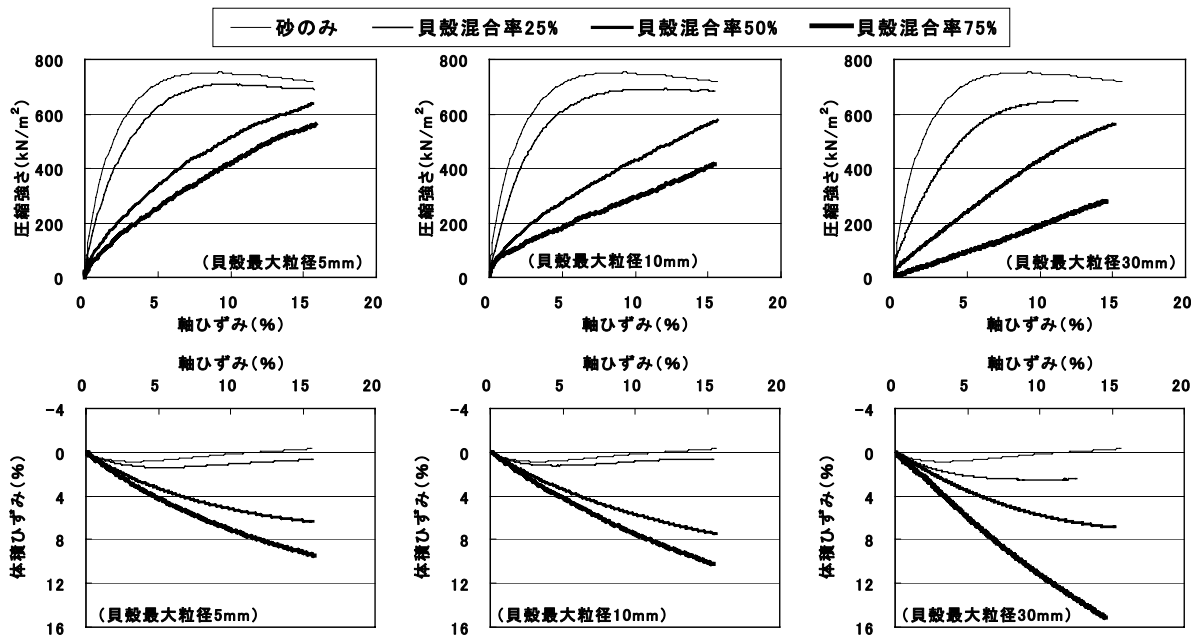


図8 圧縮過程での圧縮強さ、体積ひずみ～軸ひずみ曲線（圧密圧力=200kN/m²）

2. 砂および貝殻の種類の違いによる影響把握のための試験

(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 $2.639\sim 2.672\text{ g/cm}^3$ 、 $2.639\sim 2.699\text{ g/cm}^3$ で、ともに通常の砂と大差ない。

図9に、スプン法による単位容積質量を示す。単位容積質量は、鹿島砂、佐川砂では、貝殻混合率が増加すると小さくなるが、豊浦砂は混合率25%では逆に大きくなり、50%では一定の傾向が得られない。また、豊浦砂、佐川砂に陸奥貝を50%混合したもので、貝殻最大粒径が増加すると大きくなるものの、それ以外では最大粒径の違いによる差はほとんどない。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 0.1 kg/L 、 0.2 kg/L 大きくなるものの、同様の傾向である。

通常、砂よりも粒径の大きな貝殻を混合すると、粒子間の間隙が大きくなり、単位容積質量は減少すると考えがちであるが、今回は異なった結果が得られた。

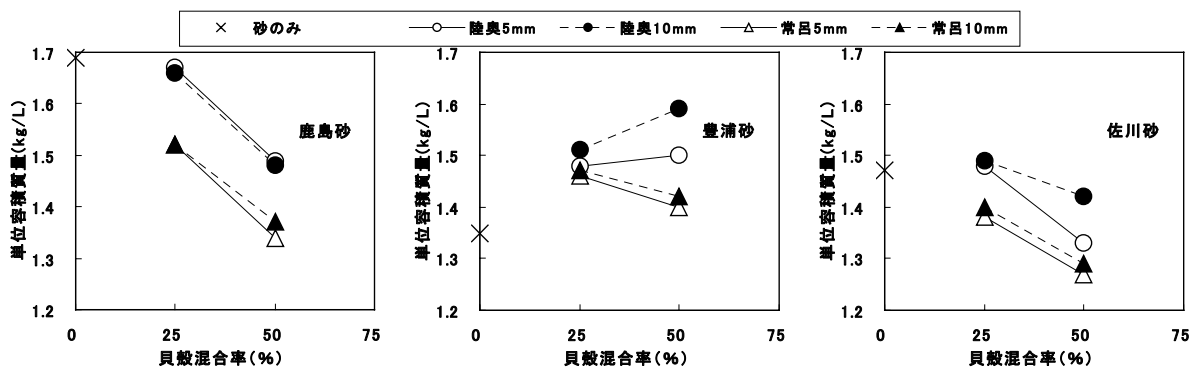


図9 単位容積質量 (スプン法)

図10に、砂および貝殻の粒径加積曲線を示す。粒度分布は、鹿島砂、佐川砂が均等であるのに対し、豊浦砂は粒径が細かく、均一である。そのため、貝殻を混合することで、鹿島砂、佐川砂では大小の球状粒子が詰まっている中に、大きな扁平粒子が混在することとなり、全体の粒子間の間隙が多くなったものと考えられる。一方、豊浦砂では、小さな球状粒子が詰まっている中に、大きな扁平粒子が混在することとなり、元の粒子間の間隙を含めて貝殻に置き換わったことにより、全体の粒子間の間隙が少なくなったものと考えられる。つまり、貝殻を混合することによる単位容積質量の増減は、砂と貝殻の粒度分布に依存するものの、混合率が25%程度であれば、貝殻最大粒径にはあまり影響されないと考えられる。なお、貝殻の種類による差は、貝殻を破碎する工程の違いに起因する貝殻の扁平率などの形状の違いによるものと思われる。

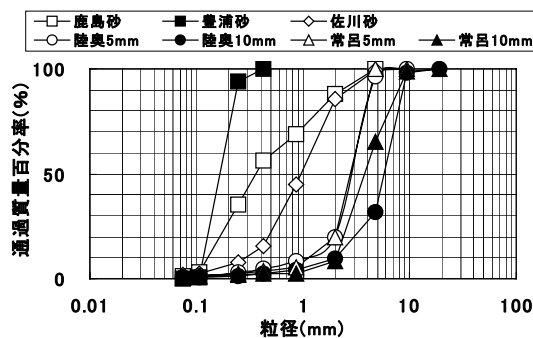


図10 粒径加積曲線

(2) 締固めによる貝殻の破碎

図 11 に、締固め試験の前後における各粒度の質量変化率（粒度試験から得られる各粒径間の質量百分率の増分）を示す。各試料ごとに多少のバラツキがあるものの、全体的には次のことがわかる。

- ① 粒径 2～9.7mm の細礫・中礫分に相当する粒度の貝殻が破碎して減少し、逆に粒径 0.075～2mm の細砂～粗砂分が増加している
- ② 混合率 25% よりも 50% の方がより多く減少しており、混合率が多くなるとより多くの貝殻が破碎する。
- ③ 混合率 25% の場合は、貝殻の破碎は砂および貝殻の種類、貝殻最大粒径に関係なく、最大 5% 程度である。

なお、図 11 中央上下の豊浦砂の場合に、中砂が増加し、細砂が減少するという通常考えられない現象が起きている。この内訳は、中砂のうち粒径 0.25～0.425mm の粒度が増加し、細砂のうち粒径 0.106～0.25mm の粒度が減少している。この原因としては、締固め試験前の粒度は実際の試験に供した混合試料の粒度ではなく、図 10 に示した個々の材料の粒度から貝殻混合率により計算上求めたものであり、かつ、豊浦砂の粒度が粒径 0.25～0.425mm に偏在しているため、混合試料採取時に試料が十分に均一化していない状態で採取してしまった可能性が考えられる。

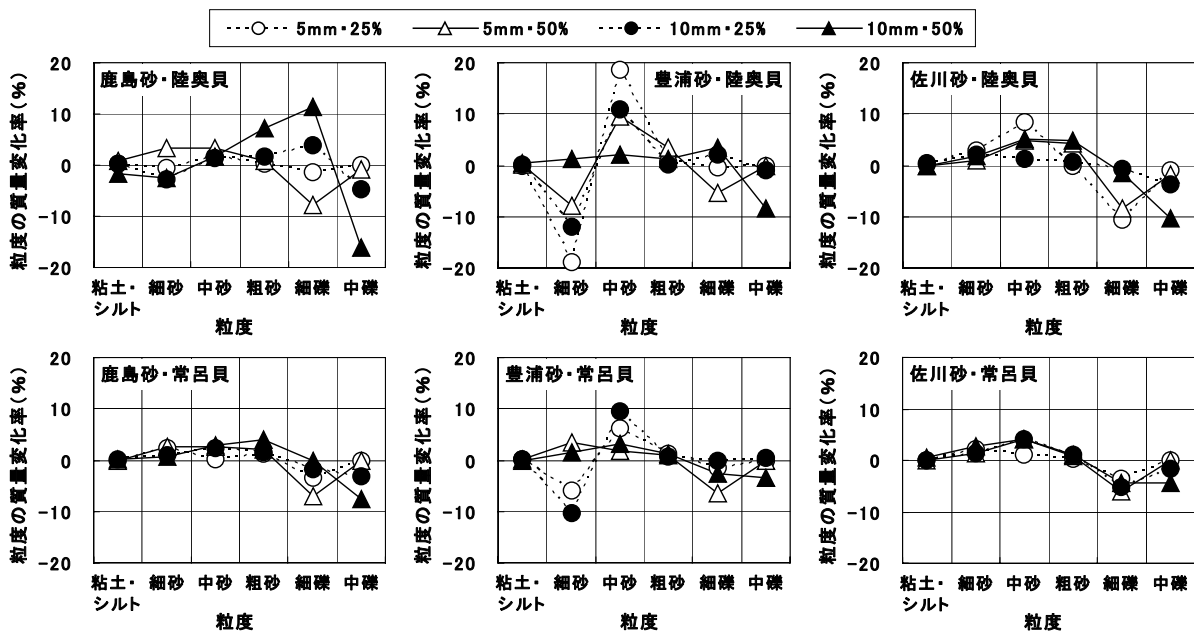


図 11 締固め試験時の貝殻破碎状況

(3) 内部摩擦角

図 12 に、CD三軸圧縮試験によるモール円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 混合率 50% 以上では、比較的大きな粘着力が発生する。
- ② また、混合率 50% 以上では、砂および貝殻の種類により粘着力の大きさが異なるものの、貝殻最大粒径の差による粘着力の違いはあまりない。
- ③ 一方、混合率 25% では、内部摩擦角は砂と同等、または、それ以上である。
- ④ また、混合率 25% では、貝殻の種類、貝殻最大粒径の差による内部摩擦角の違いもほとんどない。

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碎し、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。

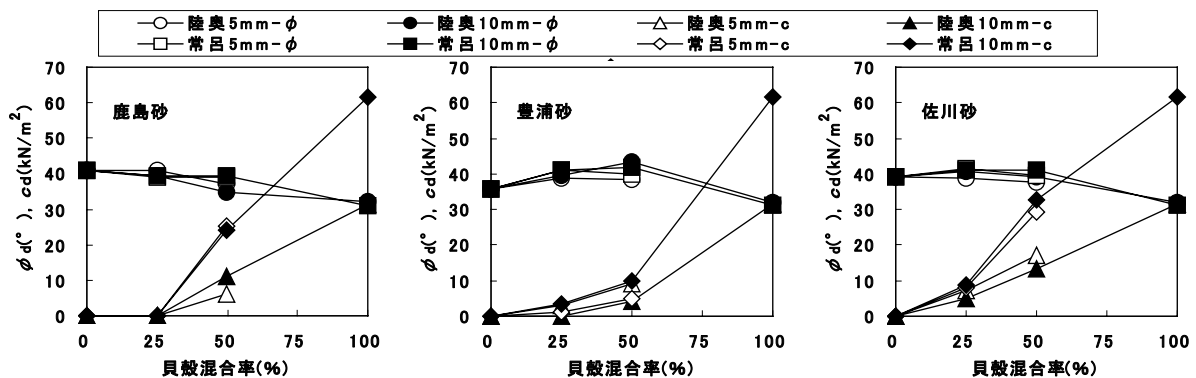


図 12 モール円の破壊包絡線による内部摩擦角 ϕ_d と粘着力 c_d

そこで、図 13 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。

- ①内部摩擦角は圧密圧力の増加に伴って減少し、混合率 50% 以上ではその減少幅が大きい。混合率 25% ではほとんど変化がない。
- ②混合率 25% では、砂および貝殻の種類、貝殻最大粒径に関わらず、内部摩擦角は砂と同等、または、それ以上である。

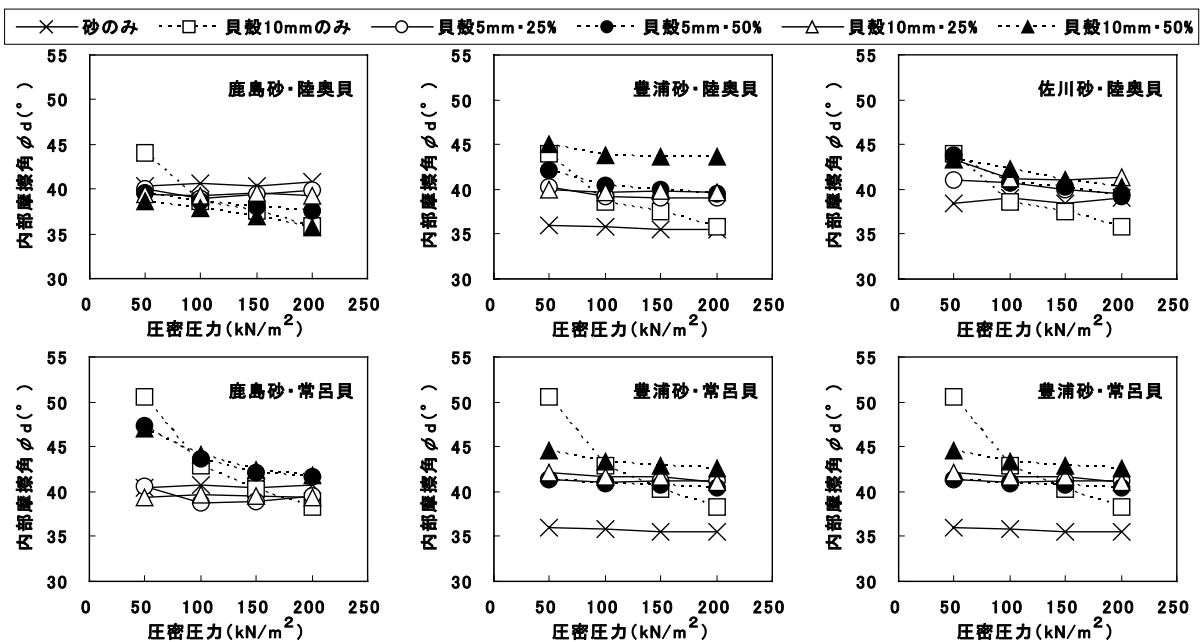


図 13 内部摩擦角（圧密圧力ごとに粘着力=0 と仮定）と圧密圧力

次に、図 14 に、せん断破壊時の体積ひずみ v_f と圧密圧力の関係を示す（体積ひずみの符号は、正が収縮、負が膨張）。図より、次のことがわかる。

- ①破壊時体積ひずみは圧密圧力の増加に伴って収縮し、混合率 50% 以上ではその収縮幅も大きい。

②混合率 25%では、砂および貝殻の種類、貝殻最大粒径に関わらず、破壊時体積ひずみは砂と同等、または、たかだか3%程度多めに収縮するだけである。

なお、図は示していないが、圧密過程における体積ひずみは、収縮のみで、値も破壊時

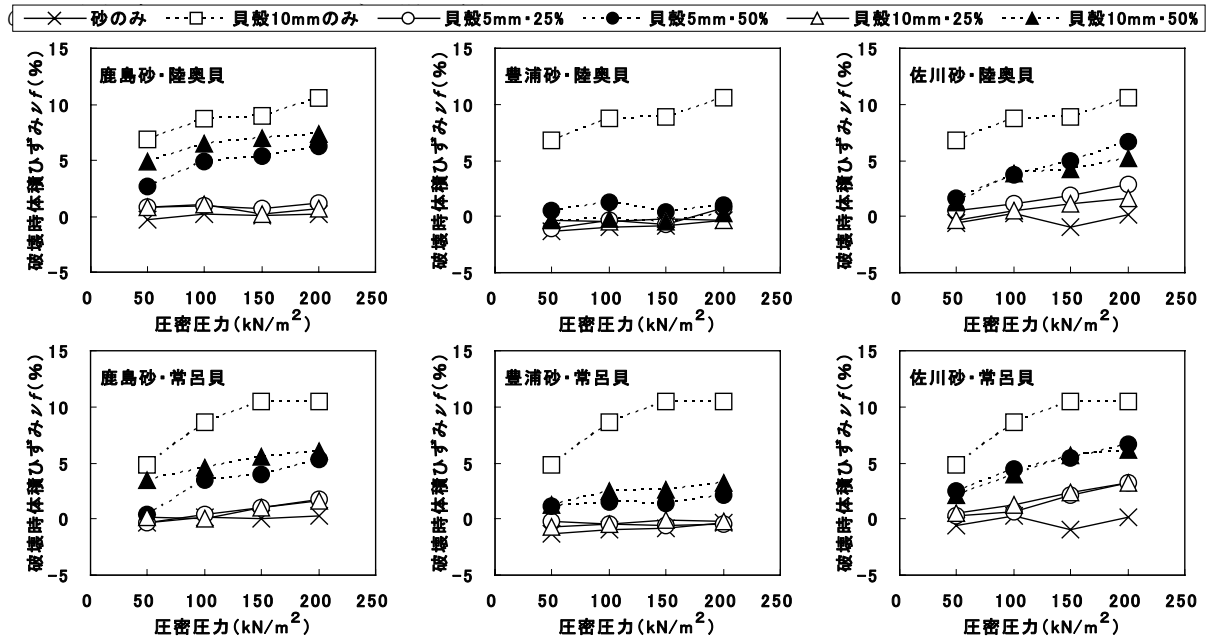
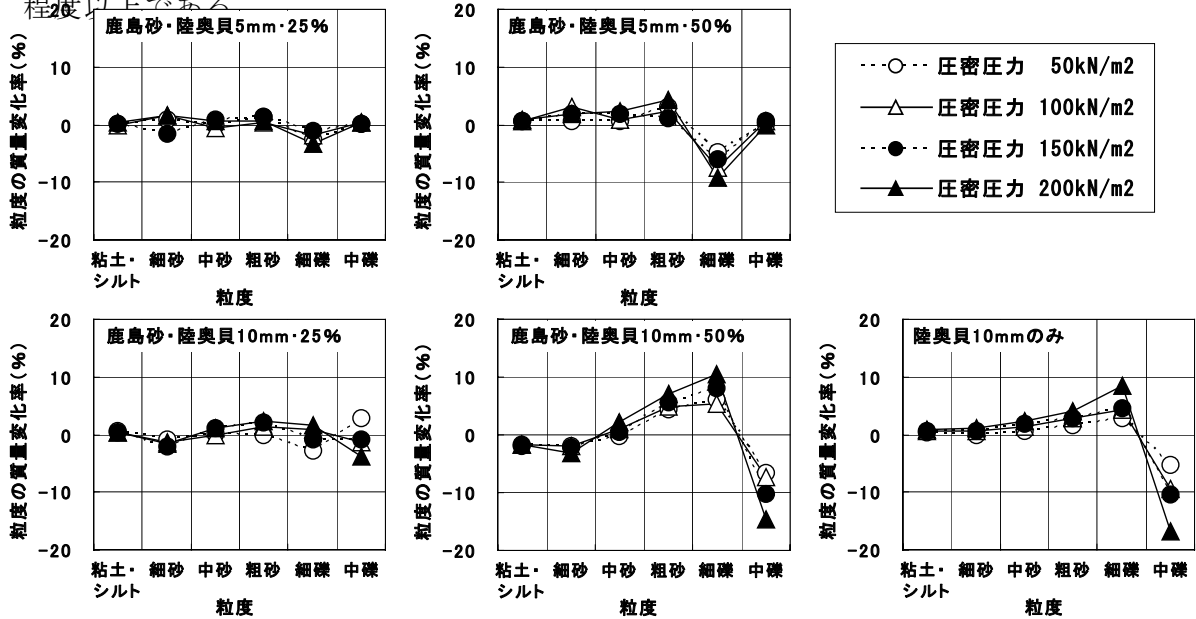


図 14 破壊時体積ひずみと圧密圧力

また、図 15 に、各圧密圧力ごとの C D 三軸圧縮試験の前後における各粒度の質量変化率の一例（鹿島砂・陸奥湾産貝殻）を示す。図から、次のことがわかる。

- ① 圧密圧力および混合率、貝殻最大粒径に関係なく、粒径 2~9.7mm の細礫・中礫分に相当する粒度の貝殻が破碎して減少し、それ以下の粒度が増加している
- ② 混合率 25%では、貝殻の破碎による粒度変化は、最大でも 4%程度である。
- ③ 混合率 50%以上では、粒度変化は、10%程度以上であり、締固め試験による破碎と同程度以上である。



なお、他の砂と貝殻の組合せでも、同様の傾向である。

これらのことから、砂粒子によって貝殻が破砕されるのではなく、貝殻同士が接触することにより破砕されるものと推察される。すなわち、貝殻混合率 50%以上では、扁平で粒径の大きな貝殻同士が接触して破砕する確率が大きくなるのに対し、混合率 25%では貝殻よりも粒径の小さい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、破砕する確率が小さくなるためと考えられる。

(4) 圧縮過程の圧縮強さ、体積ひずみ～軸ひずみ

図 16 に、最大粒径 5mm の陸奥湾産貝殻を混合した試料について、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 25%では砂とほぼ同様の形状を示し、軸ひずみ 5～10%でピークが現れる。
- ② しかし、混合率 50%以上では、圧縮強さ～軸ひずみ曲線の形状は砂と異なり、ピークが明瞭ではなく、直線的になり、貝殻のみでは、ほぼ直線となる。
- ③ 体積ひずみ～軸ひずみ曲線も、混合率 25%では砂と同様の形状を示し、軸ひずみ 5%程度で収縮から膨張に変化している。
- ④ しかし、混合率 50%以上では、体積ひずみ～軸ひずみ曲線の形状は砂と異なり、収縮のみで直線的になり、貝殻のみでは、ほぼ直線となる。

なお、貝殻最大粒径 10mm および常呂産貝殻を混合した場合も同様の傾向になり、貝殻最大粒径による差はあまり見られなかった。

すなわち、混合率 50%以上では、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

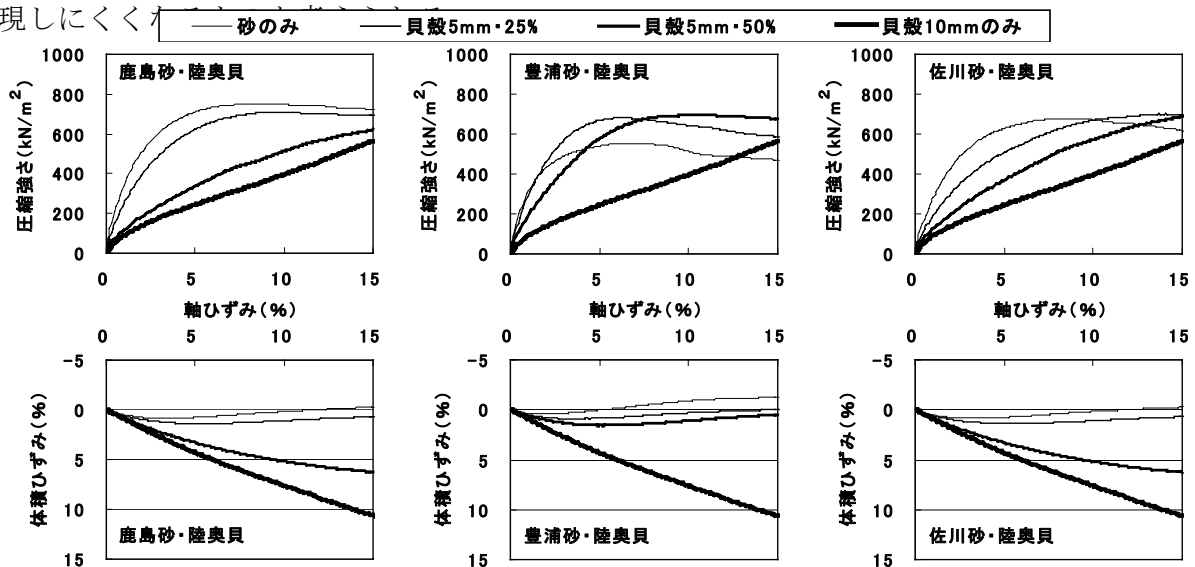


図 16 圧縮過程での圧縮強さ、体積ひずみ～軸ひずみ曲線（圧密圧力=200kN/m²）

3. 砂と貝殻の混合方法、材料投入方法の違いによる影響把握のための試験

(I) 粒子密度および単位容積質量

図 17 CD 三軸圧縮試験時の貝殻破砕状況

使用した砂及び貝殻の粒子の密度は各々2.655g/cm³、2.686 g/cm³で、通常の砂と大差ない。

(2) 内部摩擦角

図 17 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。

- ①水中落下の内部摩擦角は、空中落下よりも減少する。
- ②内部摩擦角は、6層敷均し > 3層敷均し > 事前混合の順に減少するが、その差は最大でも 3° 以内である。
- ③圧密圧力の増加に伴う内部摩擦角の減少の割合は、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を考慮しては、「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、この値以上ではない。

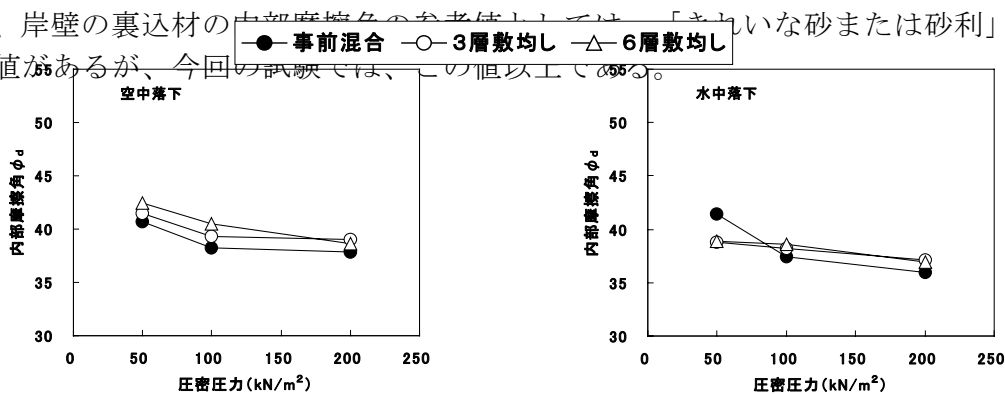


図 17 内部摩擦角（圧密圧力ごとに粘着力=0と仮定）と圧密圧力

図 18 に、せん断破壊時の体積ひずみ ν_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%程度の収縮を示す。混合方法による相違もほとんどない、ことがわかる。

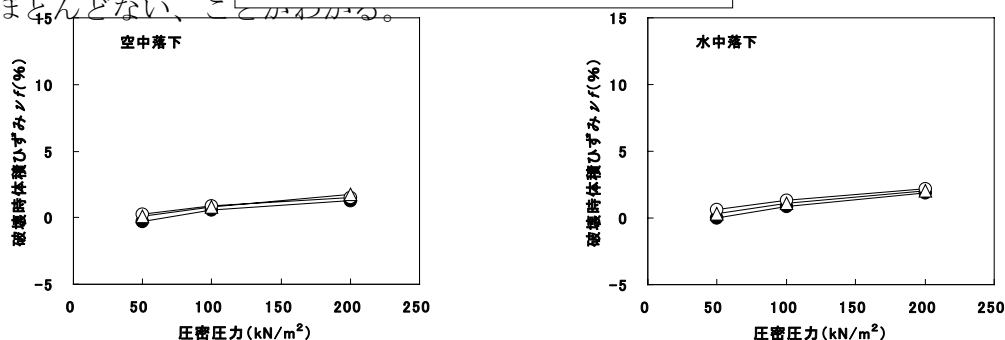


図 18 破壊時体積ひずみと圧密圧力

図 19 に、各圧密圧力ごとの C D 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粒度の質量変化は、水中落下の方が空中落下よりも大きい。
- ③粒度の質量変化は、同軸ひずみ、同軸ひずみ、軸ひずみの順に大きくなるが、最大でも 1.0% 以内である。

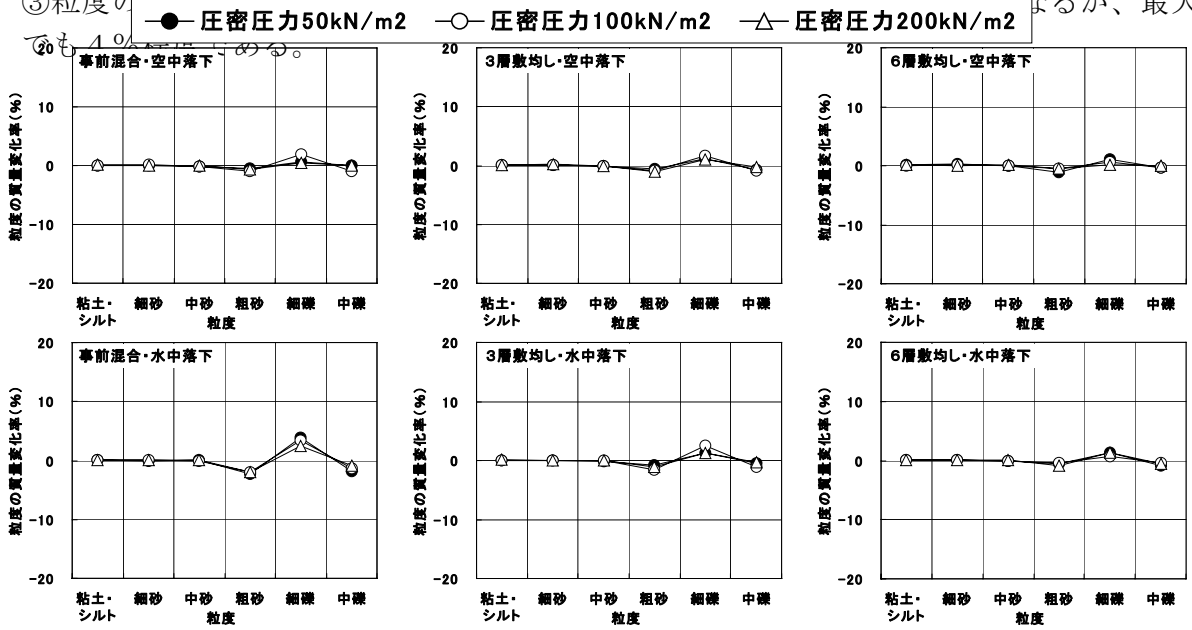


図 19 CD三軸圧縮試験時の貝殻破碎状況

(3) 圧縮過程の圧縮強さ、体積ひずみ～軸ひずみ

図 20 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、16 年度に実施した小型のデータも図示している。図から、次のことがわかる。

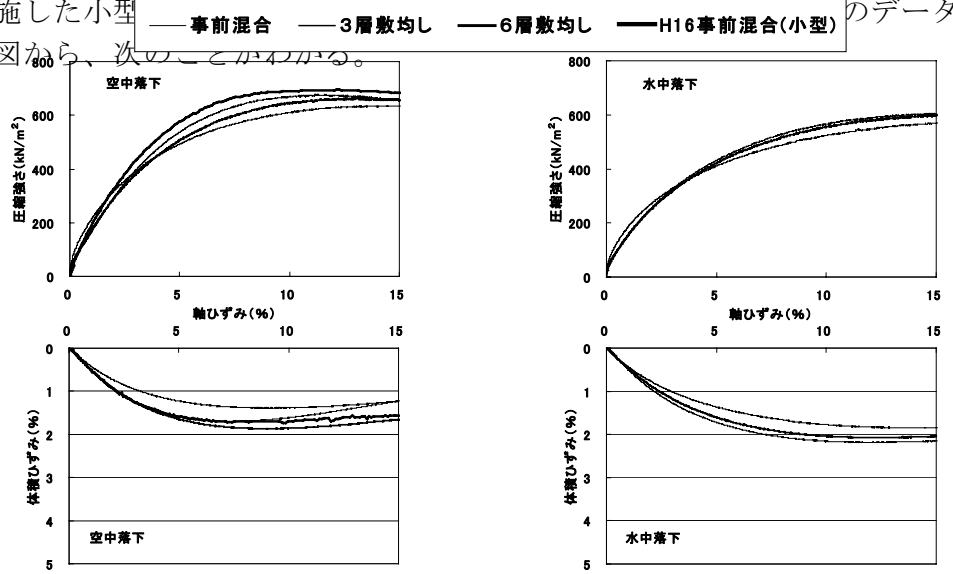


図 20 圧縮過程での圧縮強さ、体積ひずみ～軸ひずみ曲線 (圧密圧力=200kN/m²)

- 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。
- 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。

考察

破砕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砕状況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、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、貝殻は破砕するが、混合率 25%程度以下の場合には、破砕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砕が起こりにくく、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、貝殻の破砕も若干多くなるものの、ホタテ貝殻を混合した砂を裏込材に適用できるものと考えられる。
- ⑥事前混合の場合、水中での砂と貝殻の落下速度が異なるため、不規則な粒子配列になると考えられることから、砂と貝殻を互層状に敷き均した方が、事前混合に比べて内部摩擦角が若干大きくなり、貝殻の破砕も若干少なくなるものの、大差ないものと考えられる。

摘要

貝殻最大粒径 10mm、貝殻混合率 25%程度であれば、三軸 C D 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活用することができるものと考えられる。

なお、事業実施に際しては、試験施工により、砂と貝殻の混合方法および材料投入方法について検討するとともに、試験施工箇所からのサンプリング等を行って、室内試験により内部摩擦角等を検証する必要があると考えられる。

引用文献

- 1) (社)水産土木建設技術センター、2003年：水産基盤整備事業における廃棄物等の再利用

- 2) 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、p. 2-1
- 3) 水産庁監修、2003 年：漁港・漁場の施設の設計の手引、(社)全国漁港漁場協会、pp177-178
橋立洋一・福田定治・奥村樹郎・小林直正、1993 年：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
- 4) 君島芳友・李基豪・柳沢栄司・風間基樹、2000 年：カキ殻混合土の非排水せん断特性、
5) 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
李基豪・風間基樹・寺田賢二郎、2002 年：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