

## 論文 簡易破碎した貝殻を用いたセメント固化体に関する研究

迫井 裕樹<sup>\*1</sup>・阿波 稔<sup>\*2</sup>・小笠原 哲也<sup>\*3</sup>・酒井 貴洋<sup>\*4</sup>

**要旨**：水産事業に伴い排出されるホタテ貝殻は、野積みされた状態にあり、再利用を含めた対策が急務となっている。本研究では、簡易な処理により製造したホタテ貝殻を細骨材、粗骨材として使用したセメント固化体の基礎的特性について検討を行った。本研究の結果より、貝殻骨材の単位量の増加に伴い、単位水量やブリーディング量の増加が認められるものの、力学的特性については普通強度の範囲内であることを、また乾燥収縮について、貝殻骨材の単位量を限定することにより、普通コンクリートと同等であることを明らかとし、ホタテ貝殻の有効利用の可能性を示した。

**キーワード**：セメント固化体、貝殻骨材、配合特性、フレッシュ性状、力学的特性、乾燥収縮

### 1. はじめに

現在、全国の水産事業において生産されるホタテ貝のうち、約 20 万トンが年間の水産廃棄物として排出されており、そのうち約 10 万トンが青森県内で発生している。それらの多くは、有効利用されず、写真-1 に示すように野積みされているのが現状であり、再利用を含めた対策が急務となっている。

近年、これらホタテ貝殻等水産廃棄物を再利用・有効利用するための研究・技術開発が各機関で行われており、建設資材や抗菌材料としての利用が図られている。しかしその使用量は、発生する廃棄物の量からするとごくわずかであることから、近年、水産廃棄物を大量に有効利用するため、地盤改良材あるいは、コンクリート用細骨材としての有効利用が検討されている(例えば、<sup>1)~4)</sup>)。しかしこれらの多くは、ホタテ貝殻を微粉碎して用いるものであり、処理コストあるいはエネルギー消費量の増加が懸念され、実用化に向けたさらなる検討が必要であると考えられる。従って、年間大量に発生する水産廃棄物の大量かつ恒久的な再利用促進のためには、より簡易な処理方法を検討することが重要な課題の一つであると考えられる。

上記背景のもと、著者らは重機により簡易に破碎したホタテ貝殻をセメント固化体用粗骨材として再利用するための検討<sup>5)~7)</sup>をこれまでにしている。しかし、貝殻を破碎する際、5mm 以下の細粒分も多く発生することから、廃棄された貝殻をより大量に有効利用するためには、それら細粒分の有効利用も含めた検討が必要となる。

本研究では、簡易な処理により破碎したホタテ貝殻を骨材として用いたセメント固化体の各種基礎的特性に及

ぼす影響について検討を行った。特に、破碎した貝殻の細粒分を細骨材として、また粗粒分を粗骨材として、それぞれ単味での使用および混合使用が、各種特性に及ぼす影響について検討を行った。

なお、本実験で骨材として用いたホタテ貝殻の品質は、後述するようにコンクリート用骨材としての JIS 基準を満足していないこと、また、設計基準強度 18~24N/mm<sup>2</sup> 程度のあまり高い強度を必要としない魚礁ブロック等への利用を想定していることから、ホタテ貝殻を骨材として用いたセメント系材料をセメント固化体と呼ぶこととした。

### 2. ホタテ貝殻骨材の特性

本研究で用いたホタテ貝殻は、野積みされた状態にあるホタテ貝殻を平坦に均した後、その上を重機で往復することにより破碎したものをを用いた。破碎した後、呼び



写真-1 ホタテ貝殻の野積みされた状況

\*1 八戸工業大学工学部 土木建築工学科 講師 博士(工学) (正会員)

\*2 八戸工業大学工学部 土木建築工学科 准教授 博士(工学) (正会員)

\*3 五洋建設株式会社 技術研究所 課長 (正会員)

\*4 五洋建設株式会社 技術研究所 主任 (正会員)



(a) 貝殻細骨材 (SS)

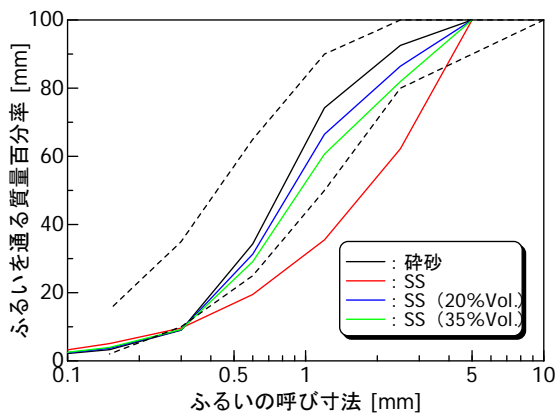


(b) 貝殻粗骨材 (SG)

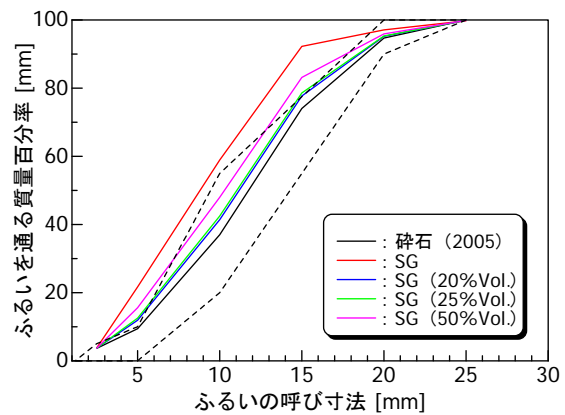
写真-2 ホタテ貝殻骨材

表-1 使用骨材の物理的特性

項目	砕砂	貝殻細骨材 (SS)	砕石		貝殻粗骨材 (SG)
			(2015)	(1505)	
表乾密度 [ g/cm <sup>3</sup> ]	2.67	2.64	2.70	2.69	2.62
絶乾密度 [ g/cm <sup>3</sup> ]	2.65	2.61	2.69	2.68	2.57
吸水率 [ % ]	0.69	1.35	0.29	0.44	1.86
実積率 [ % ]	—	50.8	59.7	59.4	42.2
粗粒率 (F.M.) [ — ]	2.87	3.68	6.55		6.24



(a) 貝殻細骨材 (SS)



(b) 貝殻粗骨材 (SG)

図-1 貝殻骨材の粒度分布

寸法 5mm のふるいでふるい分けを行い、5mm ふるいを通過した細粒分をホタテ貝殻細骨材として、また 5mm ふるいに留まる粗粒分をホタテ貝殻粗骨材として用いた。以下、粗砕したホタテ貝殻を貝殻骨材と記し、特に 5mm 以下の細粒分を貝殻細骨材 (SS)、5mm 以上の粗粒分を貝殻粗骨材 (SG) と記す。

貝殻骨材の外観を写真-2 (a) および (b) に示す。写真-2 (a) は SS を、また写真-2 (b) は SG の外観である。写真-2 より、SG については、貝殻元来の形状、つまり扁平な形状を保持したものが多く含まれてい

ることが確認された。SS についても、SG と同様、扁平な形状のものが多く含まれることが確認された。

JIS に準じて行った貝殻骨材の品質を表-1 に、また貝殻骨材の粒度分布を図-1 (a) および (b) に示す。表-1 中には、本実験で用いた比較用砕砂・砕石の結果を、また図-1 中には、本実験で検討した混合率 (後述) における粒度分布も併せて示している。

これまでに、風化した貝殻から製造した貝殻骨材は、密度、吸水率ともに JIS 規格を満足しない例<sup>5)</sup> も見られたが、本研究で用いた貝殻骨材は、表-1 に示すように、

表-2 貝殻骨材を用いたセメント固化体の示方配合

供試体名	W/C [%]	s/a [%]	単位量 [kg/m <sup>3</sup> ]						AE [C×%]	AE減水剤 [C×%]	スランブ [cm]	空気量 [%]
			W	C	S	SS	G	SG				
0-0	55	39.0	156	284	733	0	1158	0	0.025	1.0	6.9	6.0
0-25	55	45.0	183	333	795	0	736	238	0.055	1.0	7.8	4.9
0-50	55	48.0	198	360	817	0	447	434	0.045	1.0	8.0	4.7
35-0	55	49.0	173	315	576	307	932	0	0.010	1.5	7.5	5.4
35-50	55	58.0	215	391	615	328	346	336	0.010	1.5	7.1	5.5
20-20	55	48.0	184	335	677	167	740	180	0.060	1.5	7.8	5.1

普通骨材と比較して、SS、SGの違いによらず、いずれも密度が低く、吸水率が大きいものの、JIS規格を満足するものであることが確認された。

また図-1より、SSは普通砕砂と比較して細かい粒度が少なく、一方、SGは普通碎石と比較して、細かい粒度が多い分布を示し、SS、SGともに単味では、コンクリート用骨材としての標準粒度から外れる分布を示すことが確認された。ただし本研究で設定した置換率とすることにより、いずれも概ね標準粒度の範囲内に分布することが確認された。

### 3. 実験概要

#### 3.1 使用材料

本研究では、セメントは普通ポルトランドセメント(密度:3.15g/cm<sup>3</sup>)を、細・粗骨材はそれぞれ、石灰岩砕砂、石灰岩碎石を用いた。混和剤はAE剤およびAE減水剤を使用し、練混ぜ水には一般水道水を用いている。

また前述の貝殻骨材をSSは細骨材に対して、またSGは粗骨材に対して容積置換して用いた。

#### 3.2 実験項目

本研究では、貝殻細骨材・粗骨材をそれぞれ単味で用いた場合および、貝殻細骨材・粗骨材を混合使用した場合の影響について、以下の項目について検討を行った。

まず貝殻骨材を使用した場合の配合特性について検討を行った。水セメント比は55%一定、目標スランブは8.0±1.0cm、目標空気量は5.0±1.0%とし、セメント固化体の練混ぜは強制二軸ミキサにより行った。スランブ試験により最適配合を決定し、SSを単味で使用した場合、SGを単味で使用した場合およびSSとSGを混合使用した場合について検討を行った。SSを単味で用いる際の置換率は、0(無置換)、35%Vol.とし、SGを単味で用いる際の置換率は、0(無置換)、25および50%Vol.とした。また、SSとSGを混合使用する際の組合せとして、SS:20%Vol.+SG:20%Vol.および、SS:35%Vol.+SG:50%Vol.とした。これら混合使用の際の置換率は、SSおよびSGの単位量がほぼ同等なるように設定したものである。また貝殻骨材は表-1に示すように吸水率が大きいことから、事前に骨材修正係数の測定を行った。骨材修正係数を加

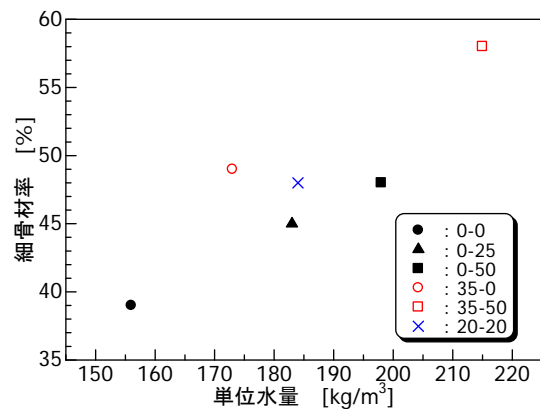


図-1 単位水量と細骨材率の関係

味した空気量が前述の目標値となるよう、配合決定を行った。なお、材料の投入、練混ぜおよび打設については、通常のコンクリートの練混ぜと同様に行い、特別な措置等は行っていない。

決定した各配合に対して、フレッシュ性状としてブリーディング試験を、硬化後の力学的特性として、圧縮強度試験、割裂引張試験および静弾性係数試験を、さらに耐久性に関わる項目として、コンタクトゲージを用いた長さ変化試験をそれぞれのJISに準じて実施した。

なお硬化後の特性について、供試体は、打設後24時間で脱型し、所定の材齢(28日)まで水中養生を行った後、各試験に供した。

### 4. 実験結果および考察

#### 4.1 貝殻骨材を用いたセメント固化体の配合特性

試験練りを行い決定した示方配合を表-2に、細骨材率と単位水量の関係を図-1に示す。表中の供試体名は、SS置換率とSG置換率の組み合わせで表記している。また表-2には骨材修正係数による補正後の空気量とスランブを併せて表記している。なお骨材修正係数は、SGを単味で用いた場合は置換率の違いによらず0.5%であり、SSを用いた場合は、2.2~2.5%であった。

表-2および図-1より、貝殻骨材を用いた場合、貝

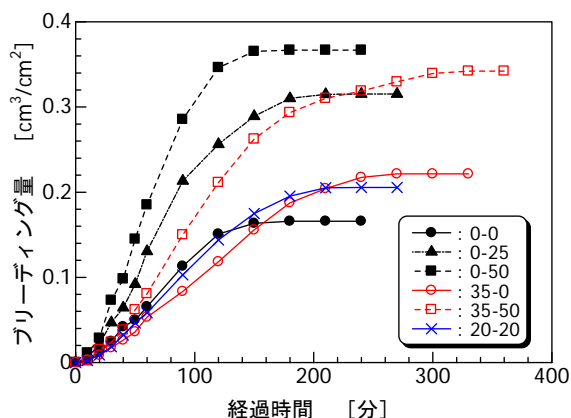


図-2 ブリーディング量の経時変化

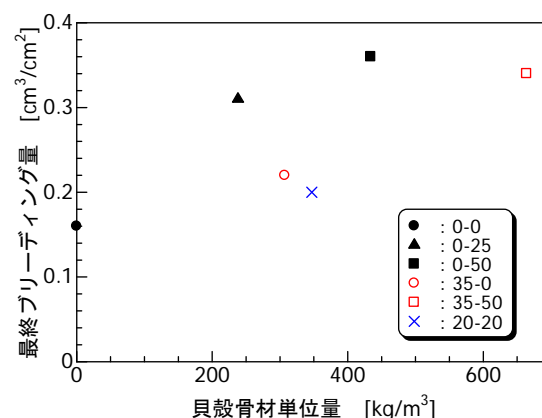


図-3 ブリーディング量と貝殻骨材単位の関係

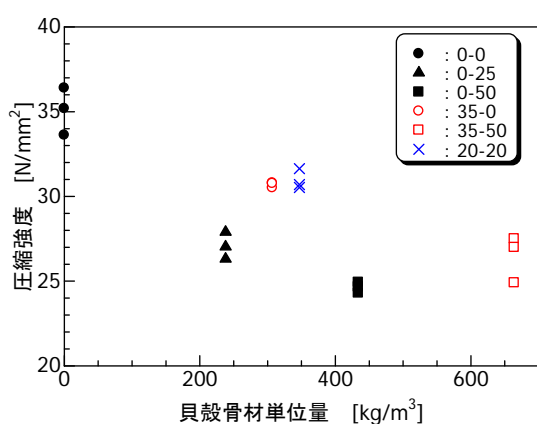


図-4 圧縮強度と骨材単位の関係

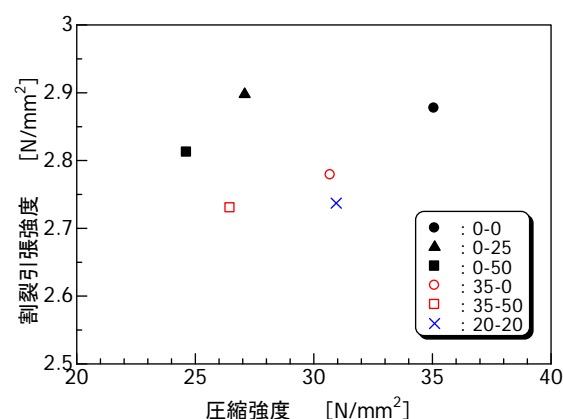


図-5 圧縮強度と割裂引張強度の関係

殻骨材を用いない場合 (0-0) と比較して、細骨材率、単位水量ともに、増加することが把握された。特に SG を 50% Vol. 置換した場合、所定のスランブを得るために必要となる単位水量は、SG を用いない場合と比較して、 $42\text{kg/m}^3$  増加することが把握された。

#### 4.2 貝殻を用いたセメント固化体のフレッシュ性状

貝殻を用いたセメント固化体のフレッシュ性状として、ブリーディング水量の経時変化を図-2 に示す。これより、貝殻骨材を用いた場合、その種類、置換率、混合使用の有無によらずいずれも 0-0 と比較して最終ブリーディング量が大きくなる傾向が明らかとなった。これは、貝殻骨材を用いることによる単位水量の増加が一因であると考えられる。ただし、単位水量の大きな配合ほど最終ブリーディング量が大きくなるものではない。最終ブリーディング量と貝殻骨材単位数 (SS+SG) の関係 (図-3) より、貝殻骨材単位数が同等である場合、SG を用いた場合に最終ブリーディング量が大きな値を示すことが明らかとなった。図-3 中の 20-20 および 35-50 における SG 量は、それぞれ、 $180\text{kg/m}^3$ 、 $336\text{kg/m}^3$  であることから、SS 単味での使用および SG を  $180\text{kg/m}^3$  程度

用いた SS との混合使用は、単位水量が大きくなって最終ブリーディング量に及ぼす影響は少なく、一方、SS との混合使用の有無によらず、SG 使用量が  $200\text{kg/m}^3$  程度以上において、最終ブリーディング量が顕著になることが明らかとなった。貝殻骨材を用いたセメント固化体のフレッシュ性状の観点から、野積みされた貝殻を簡易かつ大量に用いることを考慮すると、20-20 程度の混合使用が有効であると考えられる。

### 5. 貝殻セメント固化体の硬化後の特性

#### 5.1 力学的特性

図-4 に材齢 28 日における圧縮強度と貝殻骨材の単位数 (SS+SG) との関係を示す。これより、SS、SG およびそれらの混合使用によらず、貝殻骨材の単位数の増加に伴い圧縮強度が低下する傾向が認められた。また SG を単味で用いる際よりも SS および SG を混合使用した場合に、貝殻骨材の単位数増加に伴う圧縮強度の低下を抑制できる傾向にあることが明らかとなった。

本研究の範囲では、貝殻骨材の単位数の増加に伴い、圧縮強度が 1~3 割程度低下するが、いずれも  $24\text{N/mm}^2$



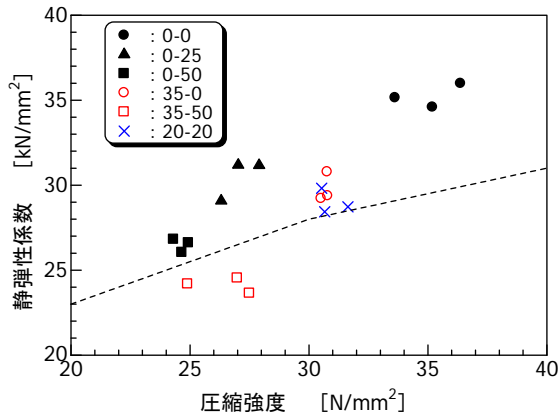


図-6 圧縮強度と静弾性係数の関係

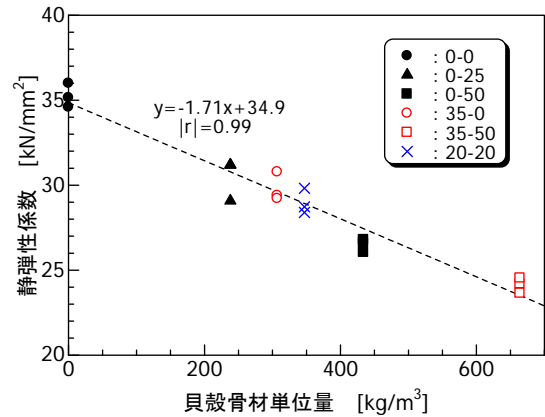


図-7 静弾性係数と貝殻骨材単位量の関係

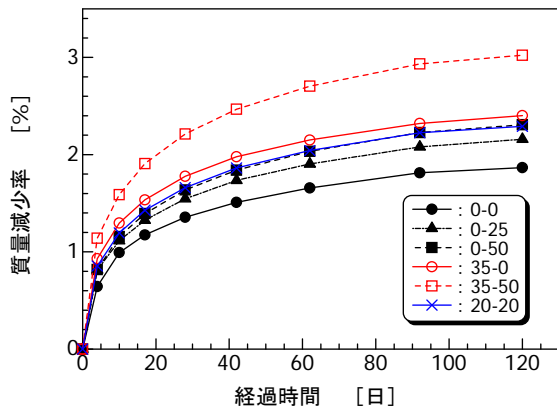


図-8 質量減少率の経時変化

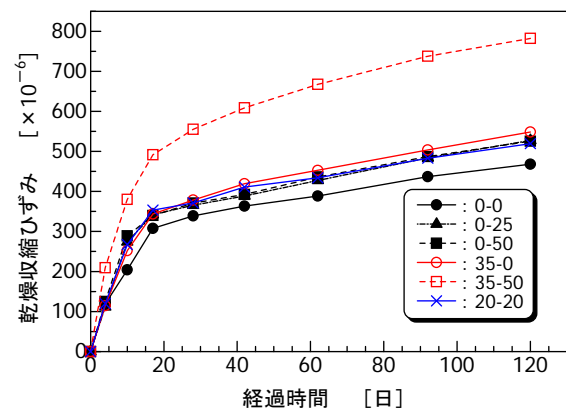


図-9 乾燥収縮ひずみの経時変化

以上の強度を示しており、本研究において想定する利用の範囲内では十分な強度を示すことが明らかとなった。

材齢 28 日における割裂引張強度と圧縮強度の関係を図-5 に示す。図-5 は各供試体 2~3 個の平均値を示しており、いずれの配合においても、圧縮強度の 1/9~1/12 程度の値を示していることが把握された。

図-5 より、SG を単味で使用した場合、置換率の違いによらず、0-0 とほぼ同等の割裂引張強度を示すことが明らかとなった。一方、SS と SG を混合使用した場合は、0-0 と比較してわずかに低い値を示す傾向にあることが明らかとなった。SG を用いた場合に 0-0 と同等の割裂引張強度を示す点について、固化体内におけるひび割れの進展が異なるためと推察される。SG はその形状的特徴から、固化体内で異方性を示すことが確認されており、SG を用いない場合と比較して破壊性状が変化することから、割裂引張強度が高い値を示すものと考えられる。この点については、今後より詳細な検討が必要であると考えられるが、いずれの配合においても割裂引張強度は 2.7~2.9N/mm<sup>2</sup> 程度を示しており、貝殻骨材の種類、置換率および混合使用の有無の違いが割裂引張強度

に及ぼす影響は少ないものと判断される。

材齢 28 日における静弾性係数と圧縮強度の関係を図-6 に示す。また図-6 中には、土木学会標準方書設計編に示される両者の関係を破線で示している。図-6 を概観すると、静弾性係数と圧縮強度の関係は、貝殻骨材の使用の有無、置換率の違いによらず、圧縮強度の増加に伴い静弾性係数が増加する傾向を示している。貝殻を使用した配合について着目すると、SS と SG を混合使用した場合、SG 単味で用いたものと比較して、同一圧縮強度における静弾性係数が低い値を示す傾向にあることが明らかとなった。また材齢 28 日における静弾性係数と貝殻骨材の単位量の関係(図-7)より、貝殻骨材の種類、混合使用の違いによらず、貝殻骨材の単位量により静弾性係数が定まることが明らかとなった。これは、ホタテ貝殻の弾性係数が普通砕砂・砕石と比較して小さいことによるものと考えられる。そのため、SS、SG の違いによらず、貝殻骨材の単位量が増加した場合に、固化体としての弾性係数も低くなるものと考えられる。

## 5.2 貝殻骨材を用いたセメント固化体の乾燥収縮

図-8 には乾燥収縮試験時における質量減少率の経時変化を、また図-9 には乾燥収縮の経時変化を示す。両

図とも供試体2~3個の平均値を示している。図-8より、貝殻骨材を用いた場合、0-0と比較して質量減少率が大きくなる傾向にあることが把握された。特に、SSを用いた場合に質量減少率が大きくなる傾向があり、SSとSGの混合使用、特に35-50においては、0-0の2倍程度の質量減少率を示すことが明らかとなった。ただし、混合使用する場合においても、20-20程度であれば、0-50, 35-0とほぼ同程度であることが明らかとなった。

暴露材齢120日までの乾燥収縮について(図-9)は、図-8と同様の傾向が認められた。つまり、貝殻骨材を用いた場合、同一材齢において0-0より乾燥収縮が大きくなり、特に35-50で顕著となることが明らかとなった。ただし、図-8と同様、混合使用であっても20-20程度であれば、SSあるいはSG単独使用とほぼ同等の値を示すことが明らかとなった。

図-10には暴露材齢120日の乾燥収縮ひずみと材齢28日における静弾性係数の関係を示す。これより、貝殻骨材の置換率の違い、混合使用の有無によらず、静弾性係数が低下するに従って、乾燥収縮ひずみが増加する傾向が把握された。

## 6. まとめ

本研究では、簡易に破砕したホタテ貝殻をセメント固化体用骨材として用いるための基礎的検討を行った。本研究で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- 1) 貝殻骨材を用いることにより、単位水量および細骨材率は著しく増加する。特に、SGを50%Vol.用いた場合、SGを用いない場合と比較して、単位水量の増加は $42\text{kg/m}^3$ と著しい。
- 2) 貝殻を用いたセメント固化体のブリーディングは、貝殻粗骨材の置換率の増加に伴い、ブリーディング速度が増加し、最終ブリーディング量も増加する。
- 3) 貝殻粗骨材の同一単位量における最終ブリーディング量は、貝殻細・粗骨材を混合使用することにより、抑制することが可能である。
- 4) 貝殻骨材の単位量の増加に伴い、圧縮強度は1~3割程度低下する。ただし、貝殻骨材単位量の増加に伴う圧縮強度の低下は、混合使用することにより抑制可能である。また貝殻骨材がセメント固化体の割裂引張強度に及ぼす影響は少ないと判断される。
- 5) 貝殻骨材の種類、混合使用の有無によらず、貝殻骨材の単位量の増加に伴い、静弾性係数は低下する。
- 6) 貝殻骨材を用いたセメント固化体の乾燥収縮は、混合使用、特に35-50の場合に顕著であり、材齢120日において約 $800 \times 10^{-6}$ 程度となる。ただし、貝殻

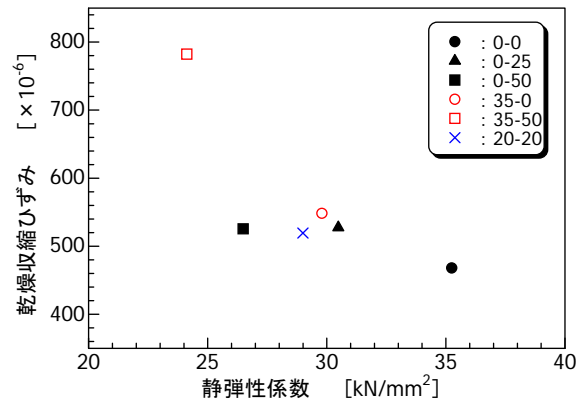


図-10 乾燥収縮ひずみと静弾性係数の関係

細骨材、粗骨材の単独使用および、20-20については、0-0と比較してわずかに大きくなるものの材齢120日において、約 $500 \times 10^{-6}$ 程度である。

## 参考文献

- 1) 山内匡, 清宮理, 高橋久雄, 山路徹: ホタテ貝殻を細骨材として活用したコンクリートの耐久性および実証試験, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.2, pp.469-474, 2008
- 2) 清宮理, 山内匡, 横田季彦: シェルコンクリートの強度特性について, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.2, pp.475-480, 2008
- 3) 多田克彦, 福田康昭, 福田一見, 外崎正: ホタテ貝殻を用いたコンクリートの魚礁ブロックへの適用, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1655-1660, 2006
- 4) 迫田恵三, 渡邊晋也: コンクリート内の貝殻の方向がホタテ貝殻コンクリートの性質に及ぼす影響, セメント・コンクリート工学論文集, No.59, pp.531-536, 2005
- 5) 迫井裕樹, 阿波稔, 庄谷征美, 内藤英晴: ホタテ貝殻を粗骨材として用いたセメント固化体の基礎的性質, セメント・コンクリート論文集, No.62, pp.557-564, 2009
- 6) 上野一彦, 山田耕一, 阿波稔, 藤田大介: 貝殻を粗骨材として利用したセメント固化体ブロックの技術開発(その1), 土木学会第63回年次学術講演会, pp.107-108, 2008
- 7) 山田耕一, 上野一彦, 阿波稔, 藤田大介: 貝殻を粗骨材として利用したセメント固化体ブロックの技術開発(その2), 土木学会第63回年次学術講演会, pp.109-110, 2008