

資 料

瓦粉砕物を骨材とした二次製品用コンクリートの耐凍害性に関する研究

江木 俊雄*・高橋 青磁*・中島 剛*・板垣 優**・高田 龍一**

1. 目 的

島根県の石見地方で製造されている石州瓦は、他産地の瓦よりも凍害や塩害に対して高い耐久性を示す¹⁾。この高い耐久性は、原料粘土に含まれる長石が熔融する1200℃近傍で焼成が行われているためと考えられる²⁾。しかしながら高温での焼成により変形や切れが生じ易く、規格外瓦が年間13,000 t程度生じている。

そこで規格外瓦をコンクリート用骨材として利用する研究^{3)~8)}が行われてきたが、瓦粉砕物は構造用コンクリートの碎石に適用されるJIS A 1110の表乾密度、絶乾密度、吸水率の3項目の規格値を満たさず、特に吸水率が規格値を満足しないため、瓦粉砕物を利用したコンクリートは凍害の発生が懸念された。

一般にコンクリートの凍害対策としては AE剤を用いてコンクリート内部に10~100 μm程度に気泡径を調整したエントレインドエアを意図的に導入し、凍結融解作用に対する抵抗性を高めている³⁾。生コンクリートのエントレインドエアの量は、JIS A 5308で荷卸し地点での空気量及びその許容差として4.5±1.5%と定めている。他方、コンクリート二次製品に使用されるフレッシュコンクリートには空気量の規定がなされず、二次製品が設置された場所の気候条件により、図1に示す凍害が生じる場合がある。すなわち、骨材にJIS A 1110を満足する碎石を利用したとしても、コンクリート内部にエントレインドエアが導入されていなければ凍害が生じる場合があることを示している。逆にコンクリート内部に規定量のエントレインドエアが導入されるとJIS A 1110を満足しない瓦粉砕物を骨材として利用しても凍害が生じない可能性がある。

そこで本報では、コンクリート二次製品の耐凍害性の評価を主目的とし、碎石に対する瓦粉砕物の置換率を0, 50, 100vol%の3種類として、それぞれ促進養生（蒸気養生）あるいは水中養生を施した供試体を作製し、JIS A 1148に準じた凍結融解試験（A法）を行った。併せて前報において被覆ブロック試作の際の試験練で使用したフレッシュコンクリート⁹⁾と床板試作の際に使用したフレッシュコンクリート¹⁰⁾により作製した供試体についても凍結融解試験を行った。以下に、これらの結果について報告する。

*無機材料・資源科, **松江工業高等専門学校

2. 方 法

2.1 使用材料, 配合および試験項目

2.1.1 供試体作製に用いた規格外瓦粉砕物

前報^{9), 10)}と同様に、島根県浜田市にある(株)石州川上窯業が自社の規格外瓦をジョークラッシャーで粉砕し、5~20mm（以下、瓦（2005）と表記）の粒度に調整した粉砕物を試験に使用した。なお、瓦に使用される粘土および焼成条件に前報^{9), 10)}から大きな変更は行われていない。この瓦（2005）に対して、JIS A 1102による骨材のふるい分け試験、JIS A 1103の骨材の微粒分量試験とJIS A 1110による粗骨材の密度及び吸水率試験を行った。

規格外瓦粉砕物は、普通骨材である碎石と比較して吸水率が高いことから、瓦粉砕物は練り混ぜ時に練混ぜ水を吸水し、流動性を著しく低下（スランプロス）させ、水セメント比を変化させる。そこで予め瓦（2005）に水を吸水させるために、必要量を透水性のある袋に詰め、水中に24時間浸漬した。その後水中から取り出し8時間の水切りを行い、乾燥を防ぐためにブルーシートで梱包した状態で保管し、保管期間は4日以内とした。これを表乾状態として使用した。

2.1.2 フレッシュコンクリートの示方配合

表1に目標空気量をそれぞれ4.5, 2.0%とし、粒度が5~20mmの粗骨材（以下、碎石（2005）と表記）を瓦（2005）で0, 50, 100%の割合で置換した設計基準強度が24N/mm²（σ₁₄）のフレッシュコンクリートの示方配合を示す。表中の



図1 山間部で凍害が生じた境界ブロック

セメントには太平洋セメント(株)の普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm³)を使用し、細骨材は江津市敬川町産の混合砂(密度:2.66g/cm³)を用いた。粗骨材は江津市松川町産の碎石(密度:2.65g/cm³)と2.1.1に記した瓦(2005)を用いた。混和剤には高性能減水剤とAE減水剤を使用し、それぞれ花王(株)製マイティ21LVとマイティ AE-03を用いた。表1の水セメント比およびコンクリート中の全骨材量に対する細骨材量の絶対容積比を表す細骨材率は、目標空気が4.5%ではそれぞれ46.3%と47.1%で、目標空気が2.0%ではそれぞれ47.7%と46.2%とした。これは単位水量を一定にし、かつフレッシュコンクリートの流動性を保つための高性能減水剤の使用量を目標空気が4.5%と2.0%とで極力等しくするためである。

2.2 供試体の作製方法

2.2.1 フレッシュコンクリートの練り混ぜと試験項目

フレッシュコンクリートの練り混ぜは、容量が1.0m³の2軸強制混練ミキサーを用い、1バッチ当たりの練り混ぜ量は0.45m³とした。先ず計量済みの細骨材、セメント、フライアッシュをミキサー内に投入し20秒間攪拌した。次に混和剤を混ぜた練り混ぜ水を投入し30秒間攪拌した。最後に碎石もしくは瓦(2005)を投入し90秒間攪拌した。練り混ぜ終了後、金属製トレイにフレッシュコンクリートを流し込み、直ちに切り返しを行い、JIS A 1101のスランプ試験と空気量の測定を実施した。

2.2.2 フレッシュコンクリートの供試体

所要の状態を確認後、フレッシュコンクリートを円柱状と角柱状の型枠に流し込み、圧縮強度試験用の円柱供試体(φ10×20cm)と凍結融解試験用の角柱供試体(10×10×40cm)を作製した。両供試体は3時間以上静置した後に、促進養生または水中養生の2種類の条件で養生を行った。促進養生は、供試体を養生室に導入し水蒸気を使用して10℃/hの条件で50℃まで温度を上昇し、その後3時間保持した後に常温まで放冷した(以下、促進養生と表記)。この養生室から取り出した供試体は材齢が14日と28日になるまで気中養生を行った。他方、水中養生は、供試体を水温が20℃±2℃の水中に7日間保持した後に水中から取り出した(以下、水中養生と表記)。その後は材齢が14日と28日になるまで気中養生を行った。

なお、目標空気が2.0%の角柱供試体では、促進養生のみとし水中養生は実施しなかった。

2.2.3 被覆ブロック用フレッシュコンクリートによる凍結融解試験用供試体

前報⁹⁾の瓦(2005)と瓦(4020)を骨材とした被覆ブロックの試作において、試験練時に配合した空気量4.5%のフレッシュコンクリートを用いて、凍結融解試験用にJIS A 1148の5.1および5.3に従い、角柱供試体(10×10×40cm)を作製した。

2.2.4 床板用フレッシュコンクリートによる凍結融解試験用供試体

前報¹⁰⁾の瓦(2005)あるいは碎石を骨材とした鉄筋コンクリート製床板の作製時に配合したフレッシュコンクリートを用いて、凍結融解試験用に角柱供試体(10×10×40cm)を作製した。なお、瓦(2005)を骨材としたフレッシュコンクリートの空気量は4.5%、碎石を骨材とした場合の空気量は2.0%であった。

2.3 圧縮強度および静弾性係数の測定

2.3.1 圧縮強度の測定

養生期間がそれぞれ14日、28日が経過した2.2.2の円柱状の供試体について、JIS A 1108に準じて圧縮強度試験を行った。

2.3.2 静弾性係数の測定

2.3.1と同一の供試体について、JIS A 1149に準拠し、次の式により静弾性係数を算出した。

$$E_c = \frac{(S_1 - S_2)}{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)} \times 10^{-3}$$

ここで、

E_c : 静弾性係数 (kN/mm²)

S_1 : 最大荷重の1/3に相当する応力 (N/mm²)

S_2 : 供試体の縦ひずみ 50×10^{-6} のときの応力 (N/mm²)

ε_1 : 応力によって生じる縦ひずみ

ε_2 : 50×10^{-6}

縦ひずみの測定は、円柱供試体に(株)マルイ製コンプレッソメーター(CM-10)を固定し、圧縮試験時に供試体が縮んだ量をコンプレッソメーターで計測し、その値をリング間距離100mmで除して算出した。

表1 試験に使用したコンクリートの示方配合 (kg/m³)

試料名	瓦置換率 (%)	目標空気量 (%)	水セメント比 W/B (%)	細骨材率 s/a (%)	セメント	水	フライアッシュ	細骨材 (混合砂)	粗骨材 碎石 (2005)	粗骨材 瓦(2005)	高性能減水剤	AE剤
①	0	4.5	46.3	47.1	340	175	38	821	919	0	2.27	0.057
②	50	4.5	46.3	47.1	340	175	38	821	459	388	2.27	0.057
③	100	4.5	46.3	47.1	340	175	38	821	0	776	2.27	0.057
④	0	2.0	47.7	46.2	330	175	37	840	975	0	2.57	0
⑤	50	2.0	47.7	46.2	330	175	37	840	487	412	2.57	0
⑥	100	2.0	47.7	46.2	330	175	37	840	0	827	2.57	0

表 2 本報で使用した規格外瓦粉砕物の物性値

試験名	規格	項目	規格値	瓦(2005)
ふるい分け試験	JIS A 1102	粗粒率		6.62
密度及び吸水率試験	JIS A 1110	微粒分量(%)	3.0以下	2.1
		表乾密度(g/cm ³)	2.45以上	2.25
		絶乾密度(g/cm ³)	2.50以上	2.11
		吸水率(%)	3.0以下	6.55

2.4 凍結融解試験

2.4.1 凍結融解試験方法 (A法)

凍結融解試験は(株)マルイ製凍結融解試験機 (MIT-683-32) を用いて、表1の試料①～⑥と、被覆ブロック用および床板用のフレッシュコンクリートにより試作した所定の角柱供試体に対して、JIS A 1148に準拠してコンクリートの凍結融解試験 (A法) を最長で300サイクルまで行った。

なお、試料①～⑥については促進養生あるいは水中養生が完了後、材齢が28日になるまで気中養生して凍結融解試験を開始した。被覆ブロック用フレッシュコンクリートによる供試体については、28日間の水中養生の終了後は建屋内で気中養生とし、材齢が189日に凍結融解試験を開始した。同じく床板用フレッシュコンクリートによる供試体については、促進養生の終了後は建屋内で気中養生とし、骨材に瓦(2005)を用い空気量が4.5%の供試体は材齢250日に、砕石を骨材とし空気量が2%の供試体は材齢237日に、それぞれ凍結融解試験を開始した。

2.4.2 相対動弾性係数の算出

凍結融解試験に用いた角柱状供試体の相対動弾性係数の算出は、JIS A 1127に準拠し、(株)マルイ製動ヤング率測定装置 (MIN-011-0-10) を用いて、角柱供試体におけるたわみ振動の一次共鳴振動数 (Hz) を測定し、次式により求めた。

$$P_n = \left[\frac{f_n^2}{f_0^2} \right] \times 100$$

ここで、

P_n : 凍結融解 n サイクル後の相対弾性係数

f_n : 凍結融解 n サイクル後のたわみ振動の一次共鳴振動数 (Hz)

f_0 : 凍結融解 0 サイクル後のたわみ振動の一次共鳴振動数 (Hz)

なお、測定は所定の凍結融解サイクル経過後に実施した。

2.4.3 重量減少率の測定

同じく角柱状供試体の重量を所定の凍結融解サイクル経過後に測定した。重量の減少率は、次式により求めた。

$$M_n = \left(\frac{m_0 - m_n}{m_0} \right) \times 100$$

ここで、

M_n : 凍結融解 n サイクル後の重量減少率 (%)

m_n : 凍結融解 n サイクル後の重量 (kg)

m_0 : 凍結融解 0 サイクル後の重量 (kg)

3. 結 果

3.1 瓦粉砕物の物性

供試体の作製に使用した瓦(2005)について、JIS A 1102の骨材のふるい分け試験結果、JIS A 1103の微粒分量試験結果とJIS A 1110の粗骨材の密度および吸水率試験結果を表2に示す。この表から瓦(2005)の粗粒率は6.62であり、一般的な粗骨材の粗粒率である6～8の範囲内にあることが分かる。なお、瓦(2005)の粒度曲線は土木学会の標準粒度範囲内に収まった。瓦(2005)の表乾密度および絶乾密度はそれぞれ2.25 g/cm³、2.11 g/cm³となり、吸水率は6.55%であった。コンクリートの耐久性に影響を与える瓦粉砕物のアルカリシリカ反応性については、前報⁹⁾で調べたJIS A 1146のモルタルバー法によるアルカリシリカ反応性試験で、瓦(2005)は「無害」の結果を示した。

3.2 フレッシュコンクリートのスランプ量と空気量

図2に表1で示したそれぞれの配合で練り混ぜたフレッシュコンクリートのスランプ量を示す。スランプの規格値は8.0±2.5cmであり、数値が大きいと生コンクリートの流

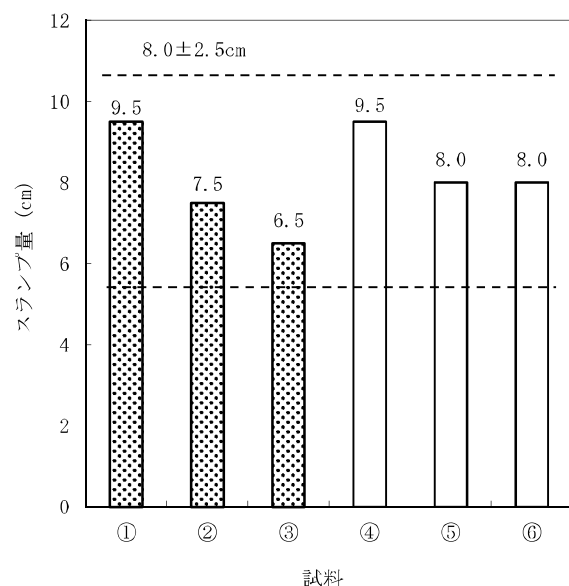


図 2 試料①～⑥のフレッシュコンクリートのスランプ量

動性が高く、小さいと流動性が低いことを表す。この図から目標空気量が4.5%と2.0%の試料のスランプ量は全て許容差内に入っているものの、目標空気量が4.5%の試料①～③では瓦粉砕物の割合の増加とともにスランプが小さくなり、流動性の低下が認められた。他方、目標空気量が2.0%の試料④～⑥では同様の変化は生じなかった。

図3に図2で示したフレッシュコンクリートの空気量を示す。空気量の規格値は $4.5 \pm 1.5\%$ であり、数値が大きいと生コンクリート中に含まれる空気割合が多く、小さいと生コンクリート中の空気割合が少ないことを示す。この図から目標空気量4.5%の試料①～③は、添加したAE剤の効果により実測の空気量が目標通りの4.5%前後となったことが分かる。またAE剤を添加していない目標空気量が2.0%の試料④～⑥は、目標値よりも少し高い2.5%前後の空気量となった。練り上がり温度、砂の粒度、細骨材率、セメント量が巻き込まれる空気量に影響を与える¹¹⁾ことから、これらの要因により空気量が高まったと考えられる。AE剤によらない空気（エントラップトエア）は、意図的に気泡径を調節したエントレインドエアと比較して気泡径は大きく、耐凍害性に対する効果は小さい¹¹⁾。このことから、試料④～⑥に導入されたエントラップトエアによる耐凍害性への寄与は小さいと考えられる。

3.3 圧縮強度と静弾性係数

図4、図5に促進養生あるいは水中養生をそれぞれ14日、28日間行った試料①～⑥の供試体の圧縮強度試験結果を示す。図4から同一の配合で作製した供試体では、促進養生よりも水中養生を行った供試体の方が圧縮強度は高く、かつ、同一の養生条件では瓦（2005）の置換量が多い方が強度は高いことが分かった。また全ての供試体が設計基準強度である 24N/mm^2 以上となった。養生期間が28日の結果を

示した図5では、養生期間が14日の図4よりも供試体の圧縮強度が高い値となっているものの、配合や養生条件に対しては図4と同様の傾向を示している。瓦（2005）による碎石（2005）の置換により圧縮強度が高まる現象は、重松ら¹²⁾が報告している瓦粉砕物によるコンクリートの内部養生効果に起因していると考えられる。

図6、図7にそれぞれ養生期間が14日と28日の供試体の静弾性係数を示す。これらの図では、養生条件に関わらず瓦（2005）の置換量の増加とともに静弾性係数が低下している。この現象は、養生条件やフレッシュコンクリートの空気量に依存していないことから、碎石（2005）を瓦（2005）で置換することにより生じたと判断できる。静弾性係数の低下はひずみが生じ易くなっていることを示しており、コンクリート二次製品の仕様により瓦（2005）の置換量を調

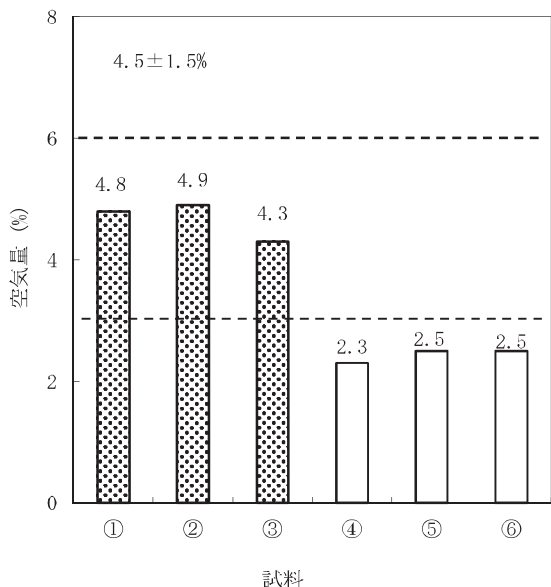


図3 試料①～⑥のフレッシュコンクリートの空気量

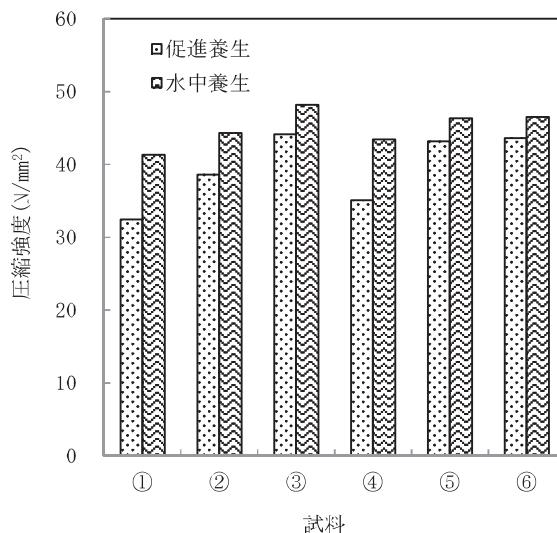


図4 試料①～⑥の材齢が14日の圧縮強度

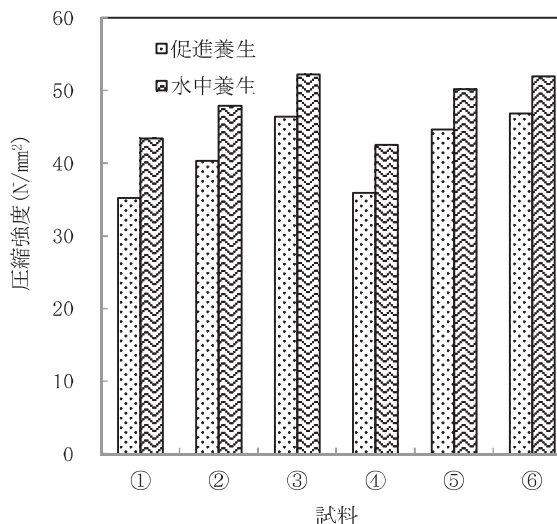


図5 試料①～⑥の材齢が28日の圧縮強度

整する必要があると考えられる。

3.4 凍結融解試験

3.4.1 凍結融解試験による相対動弾性係数の変化

図8に表1に示した試料①～⑥の相対動弾性係数と凍結融解試験サイクル数の関係を示す。なお、凍結融解試験において相対動弾性係数が60%未満に達すると測定を中止し、凍害が生じたと識別した。この図からフレッシュコンクリートの空気量が2.5%程度の試料④～⑥は、フレッシュコンクリートの空気量が4.5%程度の試料①～③の供試体とは異なり、百数十サイクル以下で全ての供試体に凍害が生じ、凍結融解試験が終了した。さらに凍害が生じた試料④～⑥を比較すると、瓦（2005）の置換量の増加とともに凍害発生までのサイクル数が長くなる傾向があった。他方、試料①～③は促進養生を行った供試体の方が僅かに相対動弾性係数の低下が大きいが、水中養生を行った供試体と同

様に凍結融解300サイクルまでに凍害が生じなかった。これらから、フレッシュコンクリートの空気量を4.5%程度に高めることにより、粗骨材に吸水率が高い瓦（2005）を使用しても凍害が生じないことが判明した。またJIS規格を満足する砕石（2005）を粗骨材としても、AE剤を使用せずフレッシュコンクリートの空気量が2.5%程度のコンクリートでは凍害が生じることが明らかとなった。さらに砕石（2005）を瓦（2005）で置換することにより、コンクリートの耐凍害性が向上する可能性が示唆されたが、これについては更なる検証が必要である。

図9に前報^{9), 10)}の被覆ブロック試作に向けた試験練時と床板の試作時に作製した角柱状供試体の相対動弾性係数と凍結融解試験サイクル数の関係を示す。なお、これらの

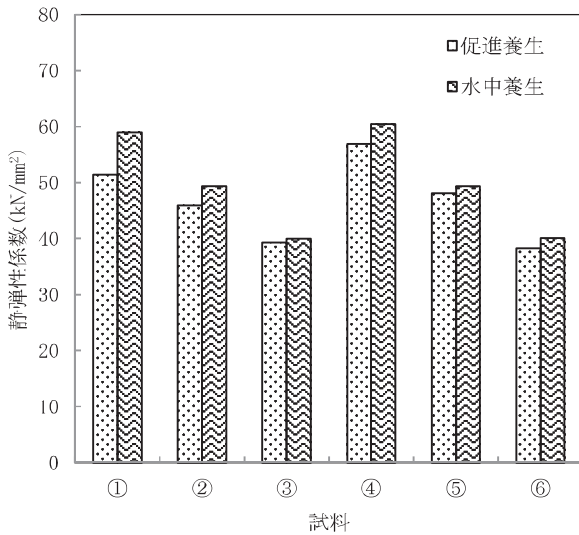


図6 試料①～⑥の材齢が14日の静弾性係数

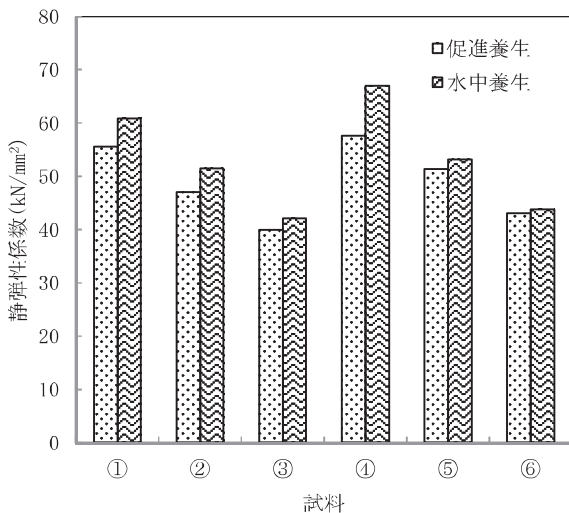


図7 試料①～⑥の材齢が28日の静弾性係数

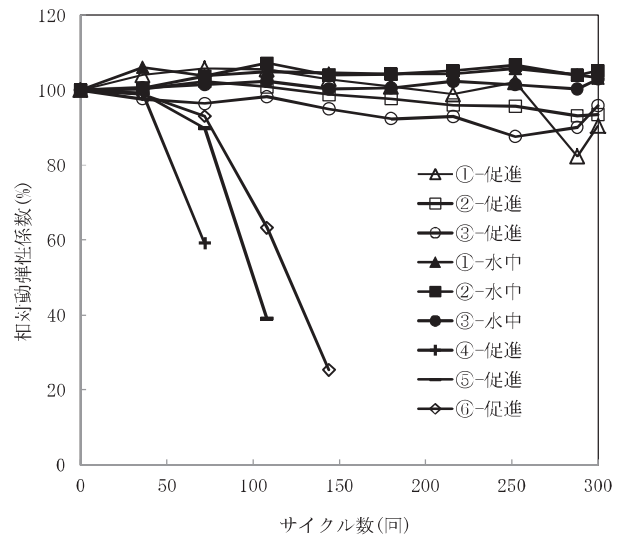


図8 試料①～⑥の相対動弾性係数と凍結融解試験サイクル数との関係

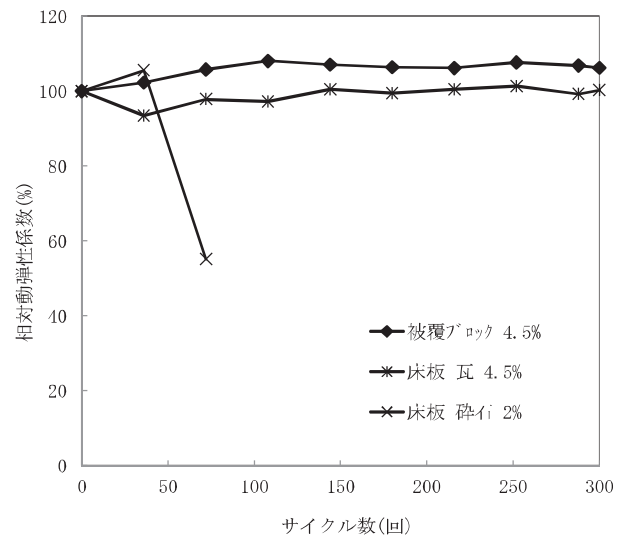


図9 試作用フレッシュコンクリートで作製した角柱供試体の相対動弾性係数と凍結融解試験サイクル数との関係

供試体は図8に示した供試体と同時に凍結融解試験を行ったことから、気中養生期間が200日弱から250日程度と長くなっている。図9から空気量が4.5%のフレッシュコンクリートから作製した2種類の配合の供試体の相対動弾性係数は、試験のサイクル数が増しても変化が少なく、他方、空気量が2%で碎石を粗骨材とした供試体は100サイクル未満で凍害が生じた。この結果から、瓦（4020）や瓦（2005）を使用して試作した被覆ブロックや床板についても、フレッシュコンクリートの空気量を4.5%程度に調整すると耐凍害性が高いと判断できる。図11に示した境界ブロックの凍害は、フレッシュコンクリートにエントレインドエアが導入されていないために生じたと推測される。

3.4.2 凍結融解試験による重量減少率の変化

図10に図8で示した凍結融解試験を行っている際に生じた各供試体の重量減少率を示す。この図から空気量が4.5%

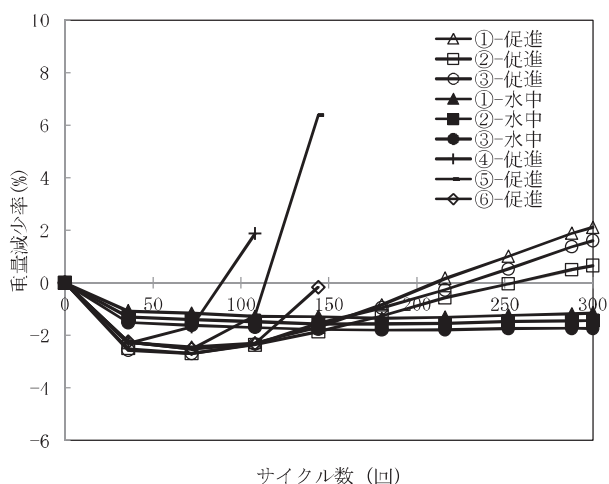


図 10 試料①～⑥の重量減少率と凍結融解試験サイクル数との関係

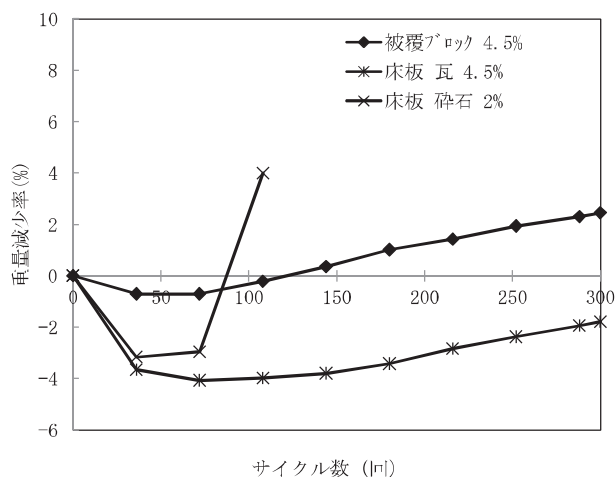


図 11 試作用フレッシュコンクリートで作製した角柱供試体の重量減少率と凍結融解試験サイクル数との関係

で水中養生を行った3種類の供試体は、凍結融解試験の初期に重量増加が生じ、その後は変化せず一定の値を示した。また、空気量が4.5%で促進養生を行った3種類の供試体は、凍結融解試験の初期に重量増加が生じ、その後は重量が徐々に減少した。これは凍結融解試験を繰り返すことで供試体表面からコンクリートの剥離が生じたためと考えられる。ただし剥離量は微量である。他方、空気量が2.5%程度の促進養生を行った3種類の供試体は、凍結融解試験の初期に重量増加が生じた後、急激な重量減少が生じた。以上より、フレッシュコンクリートの空気量を4.5%に調整すると骨材の種類に関わらず耐凍害性が高まることが重量減少率の変化からも確認された。

図11に図9で示した凍結融解試験を行っている際に生じた各供試体の重量減少率を示す。床板製作時のフレッシュコンクリートで作製した空気量が4.5%で瓦（2005）を用いた供試体と空気量が2%で碎石を用いた供試体を比較すると、共に凍結融解試験の初期では重量増加が生じ、その後空気量が4.5%の供試体は緩やかに重量減少が進行したが、他方、空気量が2%で碎石を用いた供試体は急激な重量減少が生じた。被覆ブロック用のフレッシュコンクリートで作製した空気量が4.5%の供試体は、凍結融解試験の初期では僅かに重量増加が生じ、その後は床板用の空気量が4.5%の供試体とほぼ同様の割合で重量減少が生じた。

以上の結果から、多少異なる配合のフレッシュコンクリートにおいても、AE剤を用いて空気量を4.5%に調整すると、粗骨材が碎石、瓦（2005）あるいはその混合物であっても耐凍害性が高まることが重量減少率の変化からも確認された。

3.5 まとめ

促進養生が行われるコンクリート二次製品の耐凍害性の評価を主目的とし、碎石（2005）を瓦（2005）で0, 50, 100%置換した3種類の配合において、促進養生あるいは水中養生を施した供試体を作製し、JIS A 1148に準じた凍結融解試験（A法）を行った。併せて前報^{9),10)}で被覆ブロックあるいは床板を試作した際に使用したフレッシュコンクリートを使用して作製した供試体についても凍結融解試験を行った。以下に、これらの結果をまとめた。

- 1) 促進養生あるいは水中養生を施した両供試体において、圧縮強度は粗骨材中に含まれる瓦（2005）の置換量が多い方が高くなることが分かった。しかしながら静弾性係数は瓦（2005）の置換量の増加とともに低下し、ひずみが生じ易くなることが認められた。
- 2) AE剤を使用しフレッシュコンクリートの空気量を4.5%に高めた供試体では、粗骨材の一部あるいは全てに瓦（2005）が使用されても高い耐凍害性を示した。他方、粗骨材に碎石（2005）を用いても、AE剤により空気量が調整されていない供試体では耐凍害性が低いことが確認された。

3) AE剤を用いてエントレインドエアを導入したフレッシュコンクリートにより作製した被覆ブロックと床板は、耐凍害性が高いことが確認された。

謝 辞

本報告は、平成25年度資源循環技術基礎研究実施事業による研究成果の一部である。凍結融解試験用供試体の作製においては、極東興和(株)江津PC工場、今井商事(株)川戸工場、江津コンクリート工業(株)の各社に協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

文 献

- 1) 江木俊雄, 原山達也, 中島剛. 粘土瓦の耐凍害性と耐塩害性. 鳥根県産業技術センター研究報告. 2012, no. 48, p. 28-33.
- 2) 江木俊雄, 中島剛, 前原清霞, 高橋青磁. 粘土瓦の耐凍害性と耐塩害性 (第二報). 鳥根県産業技術センター研究報告. 2013, no. 49, p. 20-26.
- 3) 谷口義則. KCクリートの開発とKCプレキャスト地覆の施工報告～廃瓦を活用したコンクリート～. 平成19年度中国地方建設技術開発交流会 (鳥根県会場) 発表課題, 極東工業(株).
- 4) 友竹博一, 清水利康, 坂本一樹, 鳥居和之. 廃瓦再生骨材を使用したコンクリート製品の諸性質. コンクリート工学年次論文集. 2003, vol. 25, no. 1, p. 1355-1360.
- 5) 上原匠, 梅原秀哲, 友竹博一, 篠田泰宏. 瓦廃材を細骨材として用いたコンクリートの物性. コンクリート工学年次論文集. 2005, vol. 27, no. 1, p. 1405-1410.
- 6) 飛田浩孝, 上原匠, 梅原秀哲, 友竹博一. 瓦廃材のコンクリート用骨材への適用性に関する研究. コンクリート工学年次論文集. 2006, vol. 28, no. 1, p. 1577-1582.
- 7) 井上正一, 黒田保, 金子泰治, 吉野公. 廃瓦を細骨材として用いたコンクリートの物性. 日本材料学会誌. 2007, vol. 56, no. 8, p. 730-735.
- 8) 阿部公平, 安藤邦広, 江角典弘, 原田達也, 江木俊雄. 瓦粉碎物を骨材としたコンクリートの製造並びに評価試験. 鳥根県産業技術センター研究報告. 2011, no. 47, p. 11-15.
- 9) 江木俊雄, 中島剛, 高橋青磁, 江木勝義, 宇名手環, 堀江広人. 瓦粉碎物を骨材とした被覆ブロックの試作 (第2報). 鳥根県産業技術センター研究報告. 2014, no. 50, p. 36-44.
- 10) 江木俊雄, 中島剛, 高橋青磁, 大塚浩, 木村克志, 堀江広人. 規格外瓦粉碎物を骨材とした鉄筋コンクリート製床板の試作および設置. 鳥根県産業技術センター研究報告. 2014, no. 50, p. 45-51.
- 11) 鎌田英治. “寒冷地とコンクリート構造物の劣化”. セメント・コンクリート化学とその応用. 第1版第4刷, 社団法人 セメント協会, 2011, p. 11.
- 12) 重松明, 温品達也, 木村守, 佐藤良一. 廃瓦粗骨材の内部養生による高炉B種コンクリートの性能向上について. コンクリート工学年次論文集. 2009, vol. 31, no. 1, p. 205-210.