

資 料

瓦粉碎物を骨材とした被覆ブロックの試作 (第2報)

江木 俊雄\*・中島 剛\*・高橋 青磁\*\*・江木 勝義\*\*・宇名手 環\*\*\*・堀江 広人

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<sup>1)</sup>。しかしながら高温で焼成するために変形や切れが生じ易く、そのために規格外瓦が年間13,000~16,000t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<sup>2~7)</sup>が行われたが、瓦粉碎物は、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項目の規格値を満足できず、特に吸水率が規格値を満足しないために凍害が懸念された。そのため瓦粉碎物を骨材とする大型コンクリート構造物は見当たらず、規格外瓦粉碎物を利用する上での製造上および技術的な課題は明白になっていない。そこで我々は平成23年度に島根県浜田県土整備事務所と共同で、凍害の心配がない海中の人工リーフに用いられている被覆ブロック(商品名:ペルメックス, NETIS登録番号:KT-090024-A)を用いて、瓦粉碎物のコンクリート用骨材としての実用性と課題の調査、および被覆ブロックの品質について評価試験を行った。その結果、瓦粉碎物をコンクリート用骨材として利用するためには、1)瓦粉碎物を表乾状態に保つ管理方法と吸水率を短時間で測定する技術の確立が必要、2)瓦粉碎物はJIS規格製品ではないため、コンクリート用骨材として利用するためには、専用の貯蔵用サイロ、秤量ビン、攪拌設備が必要等の課題が明らかになった<sup>8)</sup>。また品質については、1)規格外瓦粉碎物が練混ぜ水を吸収したために、スランブ量が小さく流動性が低い生コンクリートとなった、2)コンクリートの強度は、碎石あるいは瓦粉碎物を用いたコ

ンクリート間で差異が無いことが確認された<sup>8)</sup>。他方、外気温の影響を受け易いコンクリートの初期強度については、十分なデータがないため強度不足が心配され、脱枠および転置作業の日程を標準の被覆ブロックよりも遅らせた<sup>8)</sup>。また脱枠後の被覆ブロック表面の乾燥状態は瓦粉碎物の使用の有無により異なり、瓦粉碎物を使用した方が碎石を使用した被覆ブロックよりも乾燥が遅いことが確認された<sup>8)</sup>、等の課題が新たに生じた。

そこで今年度は、瓦粉碎物を使用した生コンクリートの流動性の改善と初期強度の確認を目的とし、コンクリートの配合と瓦粉碎物の管理を改善した生コンクリートの流動性、ならびに前記の生コンクリートを用いた供試体により初期強度の推移を調べた。また、脱枠後の被覆ブロック表面の乾燥状態が瓦粉碎物の使用の有無により異なる現象や、被覆ブロックの施工会社である祥洋建設(株)がブロック打設後の養生時に使用している保温箱と練炭の効果について検証した。以下に、これらの結果について報告する。

2. 方 法

2.1 使用材料、配合および試験項目

2.1.1 規格外瓦粉碎物

前報<sup>8)</sup>と同様に、島根県浜田市にある株式会社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)と20~40mm(以下瓦(4020)と表記)の粒度に調整した2種類の粉碎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大きな変更は行われていない。これらの粒度が異なる2種類の瓦粉碎物に対して、JIS A 1102による骨材のふるい分

表1 瓦①:瓦粉碎物を使用した呼び強度27Nのコンクリートの示方配合 (kg/m<sup>3</sup>)

セメント	水	細骨材① 砕砂	細骨材② 陸砂	粗骨材① 瓦(2005)	粗骨材② 瓦(4020)	混和剤 (L)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)
285	151	590	237	502	413	2.57	53.0	42.8

表2 瓦②:瓦粉碎物を使用した呼び強度27Nのコンクリートの示方配合 (kg/m<sup>3</sup>)

セメント	水	細骨材① 砕砂	細骨材② 陸砂	粗骨材① 瓦(2005)	粗骨材② 瓦(4020)	混和剤 (L)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)
292	155	584	234	497	407	2.04	53.0	42.8

\*無機材料・資源科, \*\*祥洋建設株式会社, \*\*\*浜田県土整備事務所

表3 砕石①：砕石を使用した呼び強度27Nのコンクリートの示方配合 (kg/m<sup>3</sup>)

セメント	水	細骨材① 砕砂	細骨材② 陸砂	粗骨材① 砕石 (1505)	粗骨材② 砕石 (2015)	粗骨材③ 砕石 (4020)	混和剤 (L)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)
285	151	590	237	271	325	487	2.00	53.0	42.8

表4 砕石②：砕石を使用した呼び強度24Nのコンクリートの示方配合 (kg/m<sup>3</sup>)

セメント	水	細骨材① 砕砂	細骨材② 陸砂	粗骨材① 砕石 (1505)	粗骨材② 砕石 (2015)	粗骨材③ 砕石 (4020)	混和剤 (L)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)
263	151	601	242	271	325	487	1.84	57.5	43.3

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。アルカリシリカ反応性試験は, 別ロットの瓦(2005)を使用してモルタルバー法による試験を実施した。

### 2.1.2 生コンクリートの示方配合

表1, 2にそれぞれ粗骨材に瓦粉砕物を使用した呼び強度がともに27Nの被覆ブロック用生コンクリートの配合(以後, それぞれを瓦①, 瓦②と表記する)を示す。また表3, 4に砕石を使用した呼び強度が27Nと24Nの被覆ブロック用生コンクリートの示方配合(以後, それぞれを砕石①, 砕石②と表記する)を示す。砕石②は人工リーフに使用される呼び強度が24Nの被覆ブロックの標準示方配合である。なお, 本報の被覆ブロックの試作は, 冬期に施工した標準被覆ブロックの工期の合間に実施した。そのため試作被覆ブロックの初期強度不足により脱枠・転置・段積み作業の遅れが生じると, 標準被覆ブロックの製造工期を長引かす可能性がある。そこで標準被覆ブロックより高強度の呼び強度が27Nの示方配合で試作を行った。それぞれの表中のセメントには高炉セメントBを使用し, 細骨材①と②はそれぞれ砕砂, 陸砂を用いた。混和剤(フローリックSV10L)にはAE減水剤標準形I種を使用した。表1, 2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, それぞれ53.0%, 42.8%とした。なお, 表3, 4の粗骨材①, ②, ③は砕石の大きさが異なり, 粒の大きさの範囲がそれぞれ5~15mm(1505と表記), 15~20mm(2015と表記), 20~40mm(4020と表記)である。水セメント比および細骨材率は, 呼び強度が異なるため表3, 4の砕石①と砕石②のコンクリートでは異なる値となった。ただし, 表3の呼び強度が27Nの砕石①のコンクリートの示方配合は, 表1と表2の瓦粉砕物を利用した呼び強度が27Nのコンクリートと比較をするために, 水セメント比と細骨材率はそれぞれ53.0%, 42.8%と同一とした。

## 2.2 試験練り

### 2.2.1 瓦粉砕物の吸水, 表乾状態の調整

瓦粉砕物は普通骨材である砕石と比較して吸水率が高いことから, 練り混ぜ時に瓦粉砕物が練混ぜ水を吸水し, 生

コンクリートの流動性を低下(スランプロス)させるとともに, 水セメント比を変化させることが推察された。そのため瓦粉砕物を予め水に浸漬し十分に吸水をさせた後に, セメントと練混ぜる必要がある。そこで必要量の瓦粉砕物を透水性がある袋に15kg程度詰め, 水に24時間浸漬した後に取り出し, 8時間の水切りを行い, これを表乾状態として使用した。なお, 水切り後の保管期間は3日以内とした。

### 2.2.2 試験練りでの供試体の作製方法と試験項目

試験練りでのコンクリートの練り混ぜは前報<sup>8)</sup>と同様の手法で行った。練り混ぜ終了後のJIS A 1101のスランブ試験と空気量の測定, および供試体(φ12.5×25cm)の作製も前報と同様にした。供試体の養生は生コンクリートで一般的に行われている標準養生をそれぞれの供試体3本に対して材齢が7days, 28days行った。また表2に示す瓦②の供試体に対しては現場空中養生(2days, 3days, 4days)をそれぞれ供試体3本に対して行った。なお, 標準養生とは, 供試体型枠に生コンクリートを流し込み, 翌日に天板のキャッピングを行い, その翌日に脱枠し温度が20℃±2℃の水中に供試体を静置する方法であり, 現場空中養生とは, 前記の脱枠後湿らせた布等で覆い, 気中で静置する方法である。養生が完了したこれらの供試体についてJIS A 1108の圧縮強度試験を行った。なお, 瓦粉砕物を使用した試験練り生コンクリートの規格値は砕石を用いた標準生コンクリートと同様にJIS A 5308レディーミクストコンクリートに準拠し, スランブは8.0±2.5cm, 空気量は4.5±1.5%, 塩化物量は0.30kg/m<sup>3</sup>以下とした。また, 水セメント比は島根県公共工事共通仕様書において定められている60%以下とした。

## 2.3 被覆ブロックの試作

### 2.3.1 瓦粉砕物の吸水, 表乾状態の調整

瓦粉砕物の吸水と保管は前報<sup>8)</sup>と同様の手法で行った。瓦粉砕物を用いた被覆ブロックの試作数は合計3個で, 必要量の瓦粉砕物は合計21袋(約467kg/袋:瓦(2005), 約509kg/袋:瓦(4020), 合計10.2トン)となった。吸水作業は同時に4袋ずつ行えることから, 6日間で作業は終了し, 使用までの保管期間は最長の袋で10日以内とした。

### 2.3.2 生コンクリートの練り混ぜと試験項目

生コンクリートの練り混ぜは前報<sup>8)</sup>と同様の手法で行った。練り混ぜが完了すると直ちに生コンクリートをホッパーに排出し、目視で練り混ぜ状態を確認した。次に生コンクリートの品質を確認するために、必要量の生コンクリートを取り分け、スランプ試験、空気量測定、塩化物含有量の測定を行った。また圧縮強度を測定するために、標準養生用と現場空中養生用の供試体(φ12.5×25cm)を作製した。被覆ブロック試作用の生コンクリートの規格値は、2.2.2と同一とした。

### 2.3.3 被覆ブロックの打設・養生・脱枠作業

試作被覆ブロックの打設は、呼び強度が24Nの標準被覆ブロックを製作している合間の1日を利用して、前報<sup>8)</sup>と同様の手法で、瓦②の配合により3個、碎石①と碎石②の配合をそれぞれ1個の合計5個の試作を行った。養生は、気温が低い時期の打設であったため、断熱材を内側に貼り付けた保温箱の中で4日間行った。さらに、瓦②の配合による1個の試作被覆ブロックについては保温箱の中に練炭(発熱量は23,045kJ/kg)を2個入れて加温しながらの養生を実施した。図1に打設後の被覆ブロックに保温箱を被せる様子を示す。保温箱の大きさは、縦と横が3600mm、高さが1350mmで、厚さが20mmの断熱材(ダウ化工株式会社製スタイロエース2)が天板と壁に使用されている。この保温箱の保温効果と練炭による加温効果を確認するために、被覆ブロックを上面から見て中心部の穴と被覆ブロックの外周部が最も接近した場所の中間位置で、深さが10cmと30cmの場所に熱電対を埋め込み、生コンクリートの温度を測定した。同時に保温箱内と外部の温度を測定した。図2に被覆ブロック内部に熱電対の挿入が完了した時点での写真を示す。

打設後の試作被覆ブロックの脱枠・転置・段積作業は4日目に実施した。なお、標準被覆ブロックの脱枠・転置・段積作業は、製造工程の都合により打設後の4日目に全て実施する場合と、打設後の3日目に脱枠・転置作業を行い4日目に段積作業を実施する2通りの作業日程があるが、今回は4日目に脱枠・転置・段積作業の全てを実施した。コンクリートの圧縮強度は試作被覆ブロックと一緒に保温箱に入れて現場空中養生(2, 3, 4, 7, 28days)を行った供試体、および標準養生(7, 28days)を行った供試体を用いて



図1 打設後の被覆ブロックに保温箱を被せる様子



図2 2本の熱電対を挿入する様子

確認した。脱枠が完了した被覆ブロック自体の強度の確認は、土木学会基準「硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法(JSCE-G504)」により、材齢28日以降の51日目に乾燥した状態で圧縮強度相当の測定を行った。

## 3. 結果

### 3.1 瓦粉碎物の物性

被覆ブロックの試作に使用した瓦(2005)と瓦(4020)についてJIS A 1102の骨材のふるい分け試験, JIS A 1103の微粒分量試験とJIS A 1110の粗骨材の密度および吸水率試験結果を表5に示す。表5から瓦(2005)と瓦(4020)の粗粒率はそれぞれ6.52と7.98であり一般的な粗骨材の粗粒率である6~8の範囲内であった。なお、瓦(2005)と瓦(4020)の粒度曲線は共に土木学会の標準粒度範囲内に収まった。瓦(2005), 瓦(4020)の表乾密度

表5 本報で使用した瓦粉碎物の物性値

試験名	規格	項目	規格値	瓦(2005)	瓦(4020)
ふるい分け試験	JIS A 1102	粗粒率		6.52	7.98
微粒分量試験	JIS A 1103	微粒分量(%)	3.0以下	1.7	0.6
		表乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.45以上	2.25	2.23
密度及び吸水率試験	JIS A 1110	絶乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.50以上	2.11	2.11
		吸水率(%)	3.0以下	6.98	5.66

および絶乾密度はほぼ等しく、吸水率はそれぞれ6.98%、5.66%であり、瓦（4020）の方が低い値を示した。これは瓦（4020）の方が粗粒であるため加工履歴が瓦（2005）と比べて少なく、粉砕加工時に発生するクラックが少ないためと推測している。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<sup>9),10)</sup>で示した通り化学法による2回の測定結果はともに「無害でない（有害）」と判定された。しかしながら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を実施したところ「無害」を示した。

### 3.2 試験練りによる試験結果

図3に表1, 2, 3に示した瓦①, 瓦②および砕石①の試験練り生コンクリートのスランプ量を示す。スランプの規格値は $8.0 \pm 2.5$ cmであり、数値が大きいと生コンクリートの流動性が高く、小さいと流動性が低いことを示す。この図から瓦①と瓦②の2種類の試験練り生コンクリートと砕石①の試験練り生コンクリートの全てが許容差内には入っ

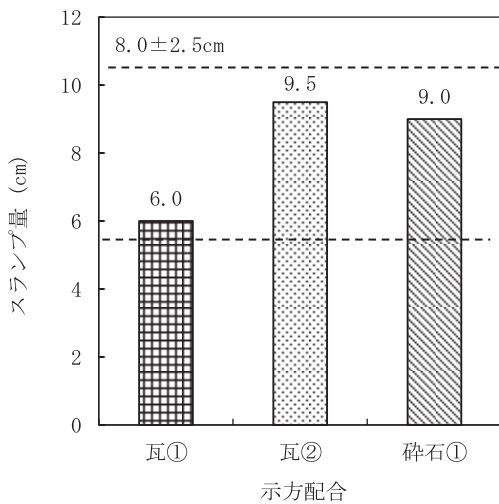


図3 試験練り生コンクリートのスランプ量

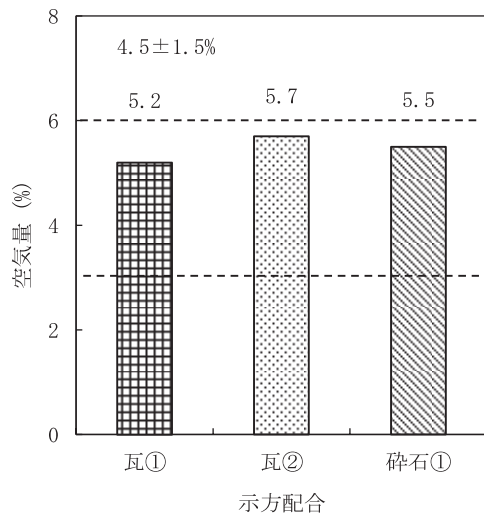


図4 試験練り生コンクリートの空気量

ているものの、瓦①の生コンクリートは、瓦②と砕石①の生コンクリートと比べてスランプ量が明らかに小さくなった。同様に規格外瓦粉砕物を使用している瓦②との差異は、瓦①の方が単位容積当たりのセメント量と単位水量がともに少ないことであり、瓦②の示方配合の方が生コンクリートの流動性の観点から望ましいと判断できる。

図4に図3の試験練り生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に含まれる空気の割合が多く、小さいと生コンクリート中の空気の割合が少ないことを示す。この図から瓦①, 瓦②および砕石①の全ての生コンクリートが規格値を満足し、かつ大きな違いは認められない結果となった。

図5に図3, 4に示したそれぞれの生コンクリートを用いて作製した供試体の圧縮強度試験結果を示す。それぞれの供試体は7日と28日の標準養生を施した。なお、瓦①については7日の圧縮強度試験は行っていない。この図から骨材を砕石から瓦粉砕物に置換すると28日の標準養生にお

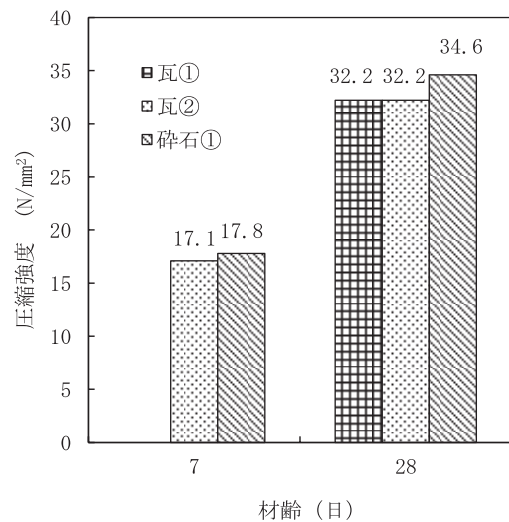


図5 試験練り生コンクリート供試体の材齢と圧縮強度（標準養生）

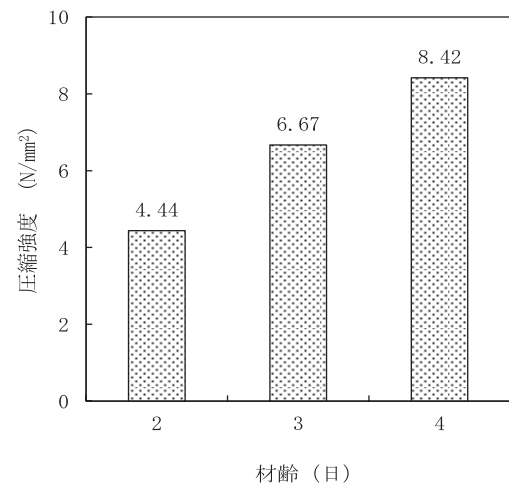


図6 瓦②の試験練り生コンクリート供試体の材齢と圧縮強度（現場空中養生）

いて圧縮強度が約7%低下することが分かった。この結果は前報<sup>8)</sup>の結果と良く一致している。

図6に瓦②の生コンクリートを用いて作製した供試体の材齢が2, 3, 4日の圧縮強度試験結果を示す。なお、養生方法は、実製品である被覆ブロックの圧縮強度の確認に用いられる供試体に施される現場空中養生とした。被覆ブロックの型枠メーカーが指定している脱枠・転置・段積の作業が行えるコンクリートの圧縮強度は、それぞれ3.5N/mm<sup>2</sup>, 6.0N/mm<sup>2</sup>, 9.0N/mm<sup>2</sup>と示されており、図6のデータに基づくと、瓦②のコンクリートでは、打設2日後に脱枠、3日後に転置が行え、5日目以降で段積が可能となる。段積作業だけが実製品と同様の4日目の材齢で実施できない結果となったが、現場空中養生のため外気温の影響を受けて低い初期強度になったと推測される。

以上の試験練りの試験結果から、圧縮強度は瓦①と瓦②とでは差異が無いが、瓦②は砕石①と同等の流動性を示す、また脱枠と転置については実製品と同様の材齢で実施でき、型枠の回収が行えることが確認されたことから、瓦②の示方配合で被覆ブロックの試作を行うこととした。

### 3.3 被覆ブロック試作時の試験結果

図7に被覆ブロックの試作のために準備した瓦②と砕石①の生コンクリート、および比較のために平成24年3月に打設した標準被覆ブロックの示方配合(砕石②)に基づいて練られた生コンクリートのスランプ量を示す。瓦②と砕石①の生コンクリートのスランプ量はそれぞれ9.0, 7.5cmとなり、規格値の中央値より瓦②はやや高く、砕石①はやや低めの値となった。他方、砕石②の生コンクリートはほぼ中央値を示していることが確認された。瓦②に使用した瓦(2005)と瓦(4020)のそれぞれの吸水率は6.29%, 8.29%であり、表5に示す吸水率と比較して、保管期間中に瓦粉砕物の乾燥が進まなかったと判断できる。前報<sup>8)</sup>では、瓦粉砕物が練混ぜ水を吸収し、瓦粉砕物の含有量の増加と

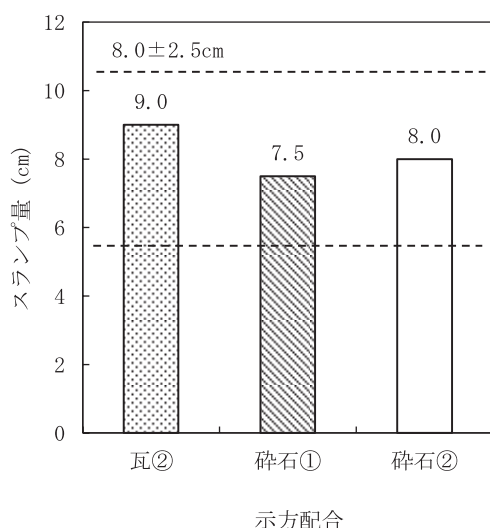


図7 被覆ブロック試作用生コンクリートのスランプ量

共にスランプ量が小さくなる結果が生じたが、瓦粉砕物を表乾状態にした後の保管期間を10日以内とすることにより、3 m<sup>3</sup>を超えた規模の練り混ぜにおいても小規模の試験練りと同じ結果が得られ、スランプ量の低下は生じなかった。このことから、瓦粉砕物の表乾状態が維持できれば実用規模の生コンクリートにおいても瓦粉砕物による練混ぜ水の吸収が抑制され、生コンクリートの流動性(スランプ)は基準値を満たすことが確認された。

図8に図7に示した生コンクリートの空気量を示す。被覆ブロック試作用の砕石①と瓦②の生コンクリートは共に仕様値の4.5±1.5%を満足し、かつ標準の被覆ブロックに使用された砕石②の生コンクリートと同等の値を示した。塩化物含有量は全ての供試生コンクリートにおいて0.03 kg/m<sup>3</sup>となり、JIS A 5308の基準値を十分に満足した。

図9に図7, 8に示した瓦②と砕石①の被覆ブロック試作用生コンクリートから作製した供試体の材齢が2, 3, 4,

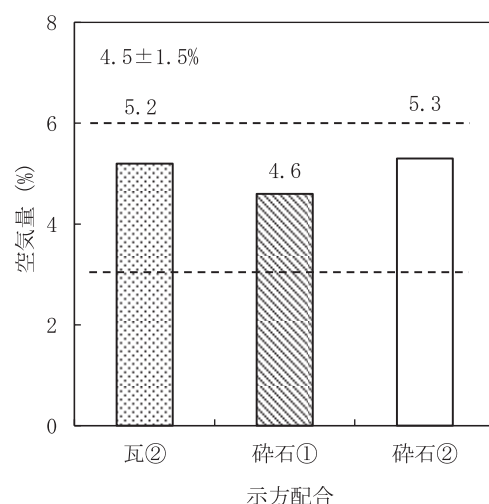


図8 被覆ブロック試作用生コンクリートの空気量

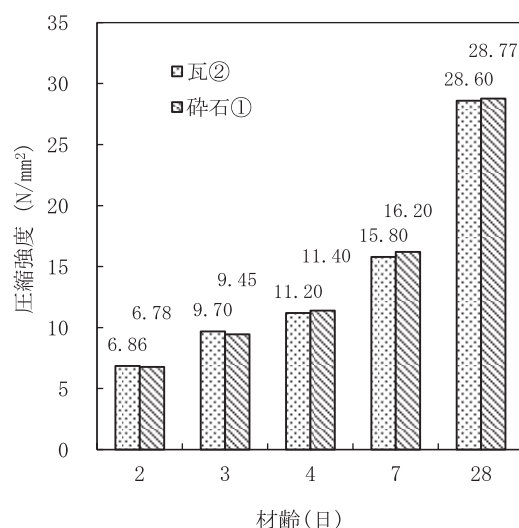


図9 被覆ブロック試作用生コンクリート供試体の材齢と圧縮強度(現場空中養生)

7, 28日の圧縮試験結果を示す。なお、供試体の養生は現場空中養生とした。この図から、瓦②と碎石①の圧縮強度はほぼ等しいことが分かる。被覆ブロックの型枠メーカーが指定している脱枠・転置・段積の作業が行えるコンクリートの圧縮強度は、それぞれ3.5N/mm<sup>2</sup>、6.0N/mm<sup>2</sup>、9.0N/mm<sup>2</sup>と示されており、図9のデータに基づくと、瓦②、碎石①の試作被覆ブロックでは、打設2日後に脱枠と転置が可能になり、3日目で段積が可能となる。

図10に本試作と同時期に作製された呼び強度が24Nの標準ブロックに使用される生コンクリート（碎石②と同一配合）を用いた供試体の材齢2, 3, 4, 7, 28日目の圧縮強度を示す。なお、養生は現場空中養生とした。この図から標準被覆ブロックの脱枠・転置・段積の作業は、材齢2日目に脱枠、材齢3日目に転置、4日目に段積み可能になることが分かる。このように呼び強度が27N（碎石①）と24N（碎石②）の1日の作業工期の違いは、セメント使用量の増加によるコストアップを相殺し、あるいはそれ以上のコストダウンになる可能性があり、被覆ブロックの製作数に応じて検討する価値があると考えられる。

図11に図9に示す瓦粉砕物あるいは碎石を使用した呼び強度が27Nのコンクリートの圧縮強度試験結果を基に、呼び強度を24Nとした場合のコンクリートの材齢が2, 3, 4, 7, 28日の推定圧縮強度を示す。この推定圧縮強度は、瓦②および碎石①の被覆ブロック試作用生コンクリートから作製した材齢が7, 28daysの供試体の実測した圧縮強度から、それぞれ2Nまたは3Nを減じて求めた2つの推定圧縮強度をゴーラル関数<sup>11)</sup>に代入して算出した。なお、材齢が7daysの呼び強度が24Nの供試体強度は高めの値を示すことが経験的に把握されていることから減じる量を2Nとし、材齢が28daysについては減じる量を呼び強度の差分の3Nとした。この図の碎石①の推定圧縮強度と、図10に示した

呼び強度が24Nの標準被覆ブロック用コンクリートから作製した供試体の圧縮強度の値がほぼ等しいことから、推定圧縮強度値の精度は高いと判断できる。そこで瓦②の推定圧縮強度から脱枠・転置・段積の作業が可能になる材齢を求めると、呼び強度が24Nの標準被覆ブロックと同様に、材齢2日目に脱枠、材齢3日目に転置、4日目に段積み可能になる。このことから、瓦粉砕物を用い呼び強度が24Nの被覆ブロックを作製しても現行の標準被覆ブロックと同様の脱枠・転置・積みの作業日程が可能で、生産性の低下は無いと考えられた。

図12に材齢が28日の瓦②と碎石①の標準養生と現場空中養生を行った供試体の圧縮強度の測定値を示す。瓦②と碎石①の強度を比較すると、標準養生と現場空中養生の双方ともほぼ等しいことが分かった。また標準養生と現場空中養生での強度を比較すると、標準養生の方が約17%程度高く、前報<sup>8)</sup>と同様の結果となった。

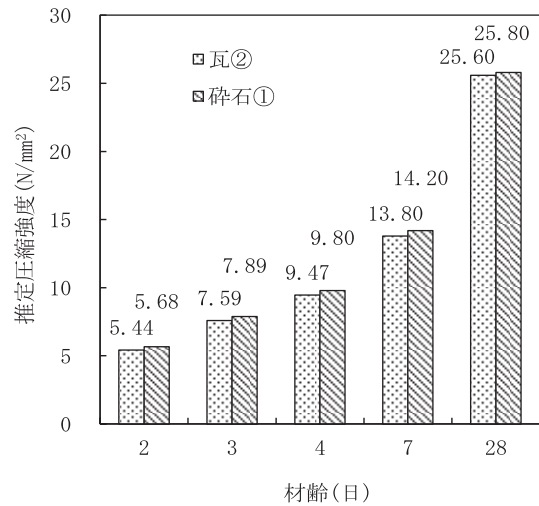


図11 図9の圧縮強度を基にした呼び強度24Nの供試体の材齢と推定圧縮強度

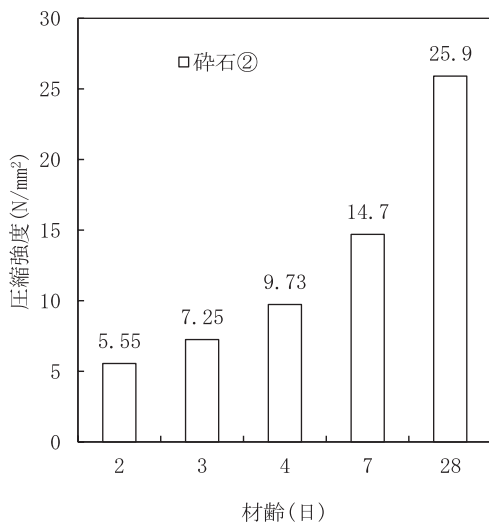


図10 碎石②の被覆ブロック試作用生コンクリート供試体の材齢と圧縮強度（現場空中養生）

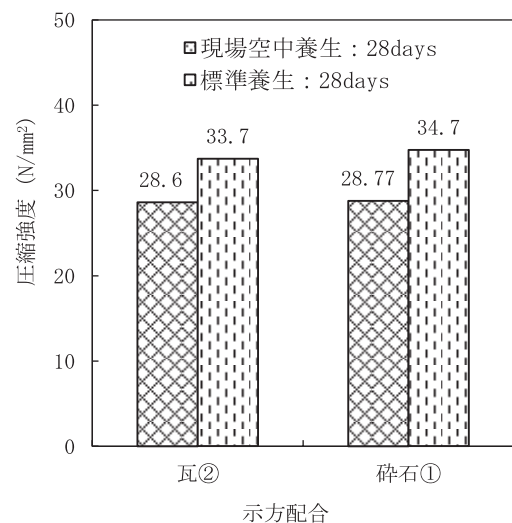


図12 被覆ブロック試作用生コンクリート供試体の圧縮強度（材齢28日）

図13に打設後51日目の瓦②, 砕石①, 砕石②の被覆ブロックのテストハンマー試験による強度試験結果を示す. この図から強度は瓦②, 砕石①, 砕石②の順に低下し, 図12に示した圧縮強度試験とは異なる結果となった. このような材齢が28日を越えた瓦②と砕石①の強度の逆転は前報<sup>8)</sup>と同様の結果であり, また重松ら<sup>12)</sup>が報告している結果と等しく, 瓦粉砕物を骨材として使用したコンクリートの特長と考えられる.

図14 (a), (b) に脱枠後7hが経過した瓦②と砕石①の被覆ブロックの外観の一部を示す. 瓦②では前報<sup>8)</sup>と同様に白い斑模様と表面が湿っている部分が認められる. 他方, 砕石①では被覆ブロックの表面全体が白く, 表面が均一に乾燥している. 瓦②の供試体を用いて, 斑模様が表面近傍の瓦粉砕物の分布によるものかを確認するために, 表面のコンクリートを削り取り瓦粉砕物の有無を調べたが, 斑模様と瓦粉砕物の分布は完全には一致しなかった. このことから, 表面近傍だけではなく, より深部の瓦粉砕物も模様の発生に影響を与えていると思われる. また瓦粉砕物を骨材に使用した被覆ブロックの表面の乾燥が遅い原因は, 表面から蒸発する水分を補う量の水分が内部から表面に供給されるためと考えられ, 内部の瓦粉砕物が吸水していた水分が排出され表面に供給されたと推測している.

図15に外気温と瓦②, 砕石①, 砕石②の被覆ブロックを入れたそれぞれの保温箱内および瓦②の被覆ブロックと練炭2個を入れた保温箱内の温度の推移を示す. 外気温と保温箱内の温度を比較すると, 経過時間が3540min前後の外気温が-1.5℃に低下した時, 保温箱内の温度は12℃前後であり, 保温箱は養生時の被覆ブロックの凍結予防に大きく寄与していることが分かった. また保温箱内の温度は外気温の変動を受けるものの, その変動幅は小さいことが明らかになった. 次に瓦②, 砕石①, 砕石②の被覆ブロックを入れた保温箱内の温度を比較すると, 砕石①の保温箱内部の温度が全体的に高く, 次いで砕石②, 瓦②の順に低下

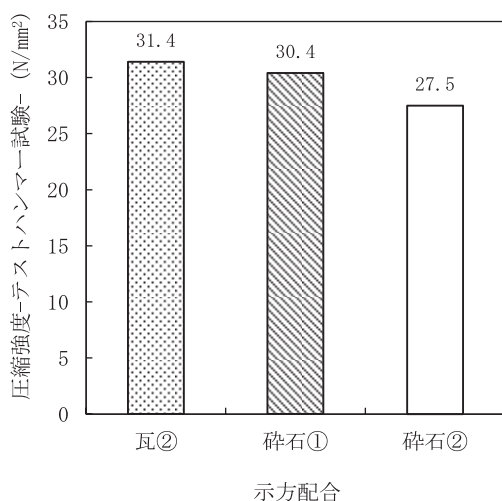


図13 試作被覆ブロックの強度 (打設後51日目)

しているが, 瓦②においては3000, 4200min辺りで砕石①, ②よりも高い値を示している. 野外での評価試験のため温度センサー周辺の日射量に違いがあったためと推測される. 瓦②と練炭を入れた瓦②の保温箱内の温度を比較すると, 1080min経過後までは約4~5℃の温度差が生じ, 1260min以降では2~3℃程度の温度差で推移している. 練炭は1440min程度の燃焼が可能なことから, 1260min以前の温度差は練炭の加温によると判断できる.

図16に瓦②の被覆ブロックの内部の2か所 (深さ10cmと30cm) に熱電対を差し込み, コンクリート内部の温度を直接測定した結果を示す. 図中の瓦②\_保温箱は, 瓦②の配合で試作した被覆ブロックを保温箱に入れた場合, 瓦②\_練炭は, 瓦②の配合で試作した被覆ブロックと練炭2個を保温箱に入れた場合を示す. この図から練炭を入れることによりコンクリートが加温され, 水和反応熱と相まって45℃前後まで温度が上昇し, 練炭が無い被覆ブロックよりも14℃程度温度が高くなるとともに, 全体として深さ方向の温度差も少ないことが分かる. この結果から, 練炭を保温箱内で使用することにより, コンクリートの初期強度の向



(a) 瓦②の被覆ブロック



(b) 砕石①の被覆ブロック

図14 脱枠後7hが経過した試作被覆ブロックの外観

上が見込まれる。

図17に図16に示したそれぞれの被覆ブロック内部の温度差（10cmの深さの温度－30cmの深さの温度）の経時変化を示す。縦軸の+側は10cmの深さの温度の方が高いことを表している。この図から練炭を使用すると内部の温度差は全般に小さくなるものの、養生初期の600min前後で4.5℃の温度差が生じており、練炭を使用しない場合よりも約1℃ほど差が大きい。この差分は練炭に起因し、差分を小さくするために外気温を考慮し練炭量を調整する必要がある。練炭は凡そ1440min程度で焼失したと考えられることから、その経過時間以降の温度差は水和熱と保温箱内部の温度のバランスによると考えられる。練炭を使用しない場合には、1400min以降でも4℃弱の温度差が生じており、練炭がある場合と比べて、深さが10cmと30cmの領域での水和反応の進行度の違いが大きいと判断できる。この差分は1400min程度継続した後に縮小し始めた。

図18に保温箱に入れた瓦②、砕石①、砕石②の被覆ブロックの内部の2か所（10cmと30cmの深さ）での温度の経時変化を示す。30cmの深さでの温度を比較すると、砕石①が最も高く、砕石②と瓦②がほぼ等しいことが分かる。砕石①は呼び強度が27Nであり、セメント量が多いことから温度が高くなったと考えられるが、砕石①よりもセメント量が多い瓦②の温度が、呼び強度24Nでセメント量が少ない砕

石②とほぼ等しくなった要因については現時点においては不明である。内部の温度差については、砕石①と砕石②はほぼ同等となったが、瓦②は砕石①、②と較べると2倍程度の温度差が生じている。先の内部温度が低いことと同様に、より精緻な実験での確認が必要であり、今後の課題である。

### 3.4 まとめ

瓦粉砕物を使用した生コンクリートの流動性の改善と初期強度の確認を目的とし、コンクリートの配合と瓦粉砕物の管理を変更した生コンクリートの流動性、ならびに前記の生コンクリートを用いた供試体により初期強度の推移を調べた。また、脱枠後の被覆ブロック表面の乾燥状態が瓦粉砕物の使用の有無により異なる現象や被覆ブロックの打設後の養生時に使用している保温箱と練炭の効果について検証した。以下に、本試験で得られた知見を示す。

- 1) 同一呼び強度の生コンクリートにおいて、単位体積当たりのセメント量の増加と粗骨材量の削減により、粗骨材に瓦粉砕物を利用した生コンクリートの流動性が改善された。また、冬期において瓦粉砕物の表乾状態での保管期間を10日以内とすることにより、瓦粉砕物による練混ぜ水の吸収をほぼ抑えることが出来た。
- 2) 流動性が改善された瓦粉砕物を使用したコンクリートの供試体の初期強度は、呼び強度が27Nと等しい砕石を用

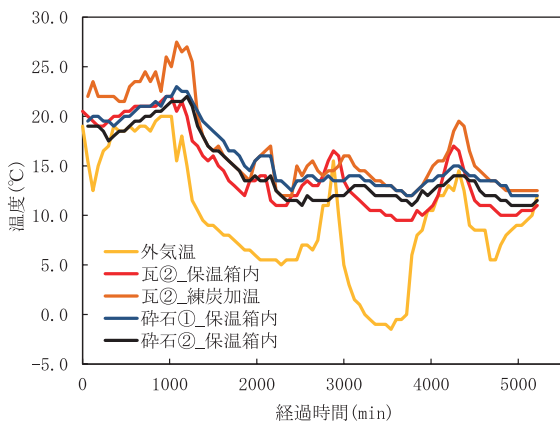


図15 外気温と保温箱内の温度の推移

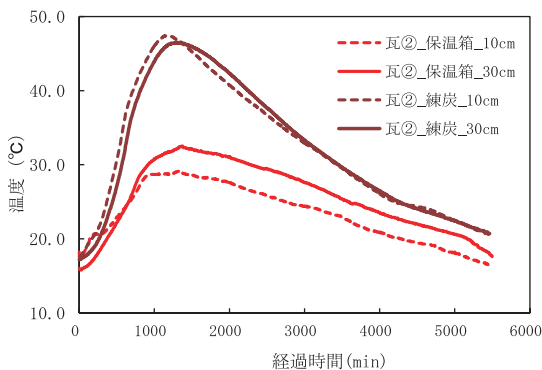


図16 瓦②の被覆ブロックの内部温度（深さ10cm, 30cm）

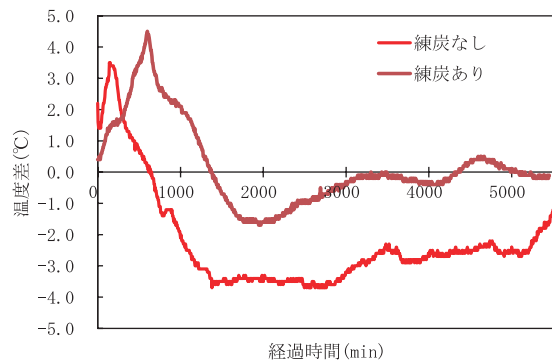


図17 図16に示した被覆ブロック内部の温度差（10cmの深さの温度－30cmの深さの温度）の経時変化

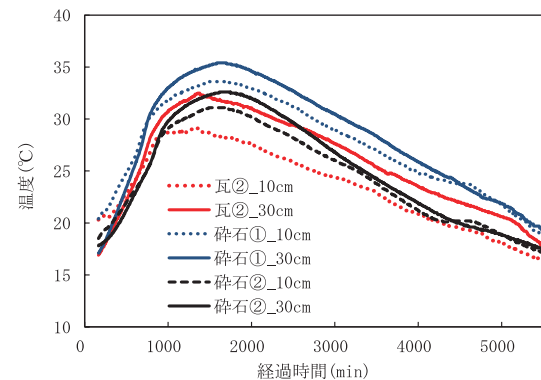


図18 保温箱中の被覆ブロック内部（深さ10cm, 30cm）温度の経時変化



いたコンクリートの供試体と同等の初期強度を示した。さらに呼び強度が24Nでのそれぞれのコンクリートの推定呼び強度も同等であり、かつ被覆ブロックの脱枠・転置・段積作業の基準となる強度も共に満足した。コンクリートの配合の調整により、瓦粉砕物を骨材として活用することは可能である。

3) 瓦粉砕物を使用した生コンクリートから試作した被覆ブロックの表面の乾燥は、砕石を使用した生コンクリートから試作した被覆ブロックよりも明らかに遅い。乾燥が遅い原因は、表面近傍の瓦粉砕物が吸水していた水分が排出されて表面に供給されたためと推測される。

4) 被覆ブロックの養生期間に使用されている保温箱は、外気温の変化を内部に伝え難くし、養生中の被覆ブロックの内部の温度が安定化する。また、被覆ブロックの水和反応により保温箱内部の温度が適度に上昇し、初期強度が発現し易い環境となっている。保温箱に入れた練炭による加温の効果は高い。しかしながら養生の初期で被覆ブロックの表層と深部での温度差が大きくなった。外気温を考慮し、練炭の投入量を調整する必要がある。

5) 呼び強度が27Nの瓦粉砕物を使用した被覆ブロックの内部温度は、同一強度の砕石を使用した被覆ブロックよりも低く、呼び強度が24Nの被覆ブロックと同様であった。また、表層と深部との温度差は、呼び強度が27Nの瓦粉砕物を使用した被覆ブロックが他と比較して約2倍大きい。この要因は不明であり、より精緻な実験による検証と要因の解明が必要である。

## 謝 辞

本報告は、平成24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。被覆ブロックの試作においては、株式会社石州川上窯業、今井商事株式会社川戸工場、株式会社不動テトラの各社に多大な協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

## 文 献

- 1) 江木俊雄, 原田達也, 中島剛. 粘土瓦の耐凍害性と耐塩害性. 島根県産業技術センター研究報告. 2012, no. 48, p. 28-33.
- 2) 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(島根県会場)発表課題, 極東工業(株).
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 高田龍一. 「廃瓦リサイクル骨材を活用したコンクリート製品」の開発について. 月刊コンクリートテクノ. 2007, vol. 26, no. 1, p. 17-21.
- 8) 江木俊雄, 中島剛, 高橋青磁, 宇名手環, 堀江広人. 瓦粉砕物を骨材とした被覆ブロックの試作. 島根県産業技術センター研究報告. 2013, no. 49, p. 33-41.
- 9) 阿部公平, 安藤邦広, 江角典弘, 原田達也, 江木俊雄. 瓦粉砕物を骨材としたコンクリートの製造並びに評価試験. 島根県産業技術センター研究報告. 2011, no. 47, p. 11-15.
- 10) 阿部公平, 安藤邦広, 江角典弘, 原田達也, 江木俊雄. 瓦粉砕物を骨材とした高炉セメントコンクリートの製造並びに評価試験. 島根県産業技術センター研究報告. 2012, no. 8, p. 34-38.
- 11) 土木学会コンクリート委員会. コンクリート標準示方書「施工編」. 社団法人土木学会. 2002, p. 52.
- 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.