

資 料

瓦粉碎物を骨材とした被覆ブロックの試作

江木 俊雄*・中島 剛*・高橋 青磁*・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1200℃近傍で焼成され、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⁾。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、そのため規格外瓦が13,000～16,000トン/年生じている。その内の約40%が路盤材や歩道用アスファルトの骨材として利用され、残りの約60%は産業廃棄物として処分されている。これら大量の規格外瓦を積極的に循環再利用するシステムを構築することは喫緊の課題である。

これまでも規格外瓦をコンクリート用骨材として利用する研究^{2)～7)}が行われており、瓦粉碎物は物理的性質にバラツキが認められるものの、骨材の一部または全量を瓦粉碎物と置換したコンクリートは総じて従来の普通骨材を使用したコンクリートと同等の強度と耐久性を示すことが報告されている⁷⁾。しかしながら瓦粉碎物は、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項目の規格値をほぼ満足できない。そのため瓦粉碎物をコンクリート用骨材として利用したコンクリート構造物は見当たらない。規格値より低い瓦粉碎物の表乾密度と絶乾密度、また高い吸水率などがコンクリート構造物に与える影響は、構造物の重量に関する事と凍害が考えられる。重量に対しては瓦粉碎物の添加量の調整や密度が大きいスラグを利用することにより解決され、また凍害に対しては水中や海中での利用を対象とすると考慮する必要がない。これらの事から、水中・海中用コンクリート構造物用の骨材としてならば瓦粉碎物が利用できると考えた。

そこで我々は平成21年度及び22年度に規格外瓦の粉碎物が漁礁コンクリートの骨材として利用が可能なかを、各種骨材試験、供試体の圧縮強度試験等を行い検討した^{8), 9)}。その結果、普通ポルトランドセメントあるいは高炉セメントを使用し、骨材に瓦粉碎物を用いたコンクリートは、普通骨材を使用したコンクリートよりも若干圧縮強度が低いものの基準強度¹⁰⁾である21N/mm²を十分に満足することが確認できた。また、瓦粉碎物の置換率の違いによる圧縮強度の顕著な差は認められなかった。よって規格外瓦の

粉碎物は漁礁ブロックの骨材として利用できる事が数値的に実証された。しかしながら漁礁利用を想定した実証試験までには至らなかった。

ところで浜田県土整備事務所では海岸の浸食を防ぐために江津市波子海岸から約100m沖に人工リーフの建設を進めている。この人工リーフは被覆ブロックと呼ばれる図1の形状のコンクリート構造物（商品名：ペルメックス、NETIS登録番号：KT-090024-A）が使用されている。この事業は3カ年間の計画で、一昨年度の平成22年度には546個の被覆ブロックが製作され、既に波子海岸沖に据付が完了している。昨年度は417個が製作され、今年度の平成24年度に据付が行われる。被覆ブロックの主な仕様は、総重量が8トン、呼び強度は18N/mm²以上、水セメント比は60%以下、粗骨材の最大寸法40mm、使用するセメントは高炉セメントB、使用する生コンクリートはJIS A 5308に適合と定められている。

前述の平成22年度の評価⁹⁾において、碎石の全量を瓦粉碎物で置換し、水セメント比が55%で、高炉セメントを使用し封緘養生（28days）した供試体の圧縮強度は35.3N/mm²に達した。また被覆ブロックは漁礁と同様に海中に沈設することから凍害の影響を考慮する必要がない。さらに被覆ブロックの型枠製造メーカーによると、瓦粉碎物を使用することによる5%程度の重量減少は被覆ブロックの安定性にほとんど影響を与えないとのことである。

以上のことから、被覆ブロックに使用される碎石を瓦粉碎物に置換しても、被覆ブロックに要求される性能を損ねる危険性は極めて低いことが確認された。そこで先ず被覆ブロックの指定配合比の内、2種類の粗骨材の内それぞれ1種類だけを規格外瓦粉碎物に置換した2種類の供試体と、2種類の粗骨材を全て規格外瓦粉碎物に置換した供試体の合計3種類を作製し、圧縮強度が被覆ブロック用生コンクリートの呼び強度を満足することを確認するとともに、それら3種類の被覆ブロックについてそれぞれ4個の合計12個を試作することとした。以下に、瓦粉碎物をコンクリート用骨材として使用した際に生じた課題と試作した被覆ブロックの品質について報告する。

*無機材料・資源グループ、**浜田県土整備事務所

表1 被覆ブロック用生コンクリートの標準配合量 (kg/m³)

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	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)
263	151	601	242	271	325	487	1.84	57.5	43.3

2. 方 法

2.1 使用材料, 配合および試験項目

2.1.1 規格外瓦粉砕物

試作する被覆ブロックは江津市波子海岸沖に据付けることから、釉薬からの有害重金属とりわけ鉛の溶出の危険性を考慮して、釉薬に鉛を使用していない瓦会社の規格外瓦のみを使用する事とし、前報⁹⁾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 (2005と表記)と20～40mm (4020と表記)の粒度に調整した2種類を使用した。なお、コスト縮減を図るため、前報⁹⁾と同様に角取りなどの処理は施さなかった。そのため、瓦粉砕物はやや角張った形状で扁平、鋭利な粒形をしており、表面の一部に釉薬の付着が認められた。瓦に使用される粘土および焼成条件に大きな変更がなく、瓦粉砕物の骨材としての物性値はほぼ一定と考えられることから、今回は粒度が異なる2種類の瓦粉砕物に対して、JIS A 1102による骨材のふるい分け試験とJIS A 1110による粗骨材の密度及び吸水率試験のみを実施し、前報^{8),9)}で行った粗骨材のすり減り試験やアルカリシリカ反応性試験などは省略した。

2.1.2 生コンクリートの配合方法

表1に砕石を利用した被覆ブロック用生コンクリートの標準配合を示す。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。単位水量は151kg/m³とし水セメント比は57.5%に固定した。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。細骨材率は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し、43.3%とした。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15～5mm (1505と表記)、20～15mm (2015と表記)、40～20mm (4020と表記)を表している。準備した瓦粉砕物の大きさの範囲は20～5mmと40～20mmの2種類であることから、粗骨材①と②を合わせた部分を瓦粉砕物の(2005)で置換した試料、粗骨材③の部分のみを瓦粉砕物の(4020)で置換した試料、および粗骨材①、②の部分を瓦粉砕物(2005)で置換するとともに粗骨材③の部分も瓦粉砕物(4020)で置換した3種類の配合で試験を行った。表2に3種類の試験体の表記と供試生コンクリートおよび標準生コンクリートの粗骨材の配合量を比較して示す。配合量は、細骨材が圧縮強度に及ぼす影響を最小限にし、か

つ瓦粉砕物による圧縮強度の変化を明らかにするために、標準生コンクリートと瓦粉砕物を配合した3種類の供試生コンクリートの細骨材比が等しくなるように、砕石および瓦粉砕物の密度を考慮して算出した。

2.2 試験練りにおける供試体の作製方法および試験項目

2.2.1 規格外瓦粉砕物の吸水, 表乾状態の調整

瓦粉砕物は普通骨材である砕石に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、流動性が著しく低下(スランプロス)するとともに、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のある袋に詰め、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。

2.2.2 供試体の作製方法と試験項目

試験練りの際のコンクリートの練り混ぜは、強制2軸式試験練りミキサーを用い、1バッチ当たりの練り混ぜ量は0.1m³とした。各使用材料は細骨材、セメント、砕石および瓦粉砕物の順にミキサー内へ投入して30秒間空練りを行った後、練り混ぜ水と混和剤を投入し90秒間本練りを行った。練り混ぜ終了後、切り返しを行い直ちにJIS A 1101のスランブ試験と空気量の測定を実施し、所要の状態が得られたことを確認した後に型枠に入れて円柱試験体(φ12.5×25cm)を作製した。圧縮強度試験に供する当該円柱試験体は成型後12時間静置して円柱試験体の脱型を行った。養生方法は、生コンクリートで一般的に行われている水中標準養生をそれぞれの供試体3本に対して行った。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品質は砕石を用いた標準生コンクリートと同様にJIS A 5308に準拠し、強度は表1に示した標準被覆ブロック用生コンクリートの標準配合における呼び強度の24N/

表2 3種類の試験体の表記と供試生コンクリートおよび標準生コンクリートの粗骨材の配合量 (kg/m³)

試料記号	粗骨材① 砕石 (1505)	粗骨材② 砕石 (2015)	粗骨材③ 砕石 (4020)	瓦粉砕物 (2005)	瓦粉砕物 (4020)
標準	271	325	487	-	-
瓦2005	-	-	487	504	-
瓦4020	271	325	-	-	412
瓦4005	-	-	-	504	412



図1 被覆ブロックの外観
(プラスチックの模型)



図5 攪拌後ホッパーに排出した生コンの様子



図2 瓦粉碎物の浸漬・吸水時の様子



図6 打設完了後の写真



図3 ホッパーに瓦粉碎物を投入する様子



図7 天端部のレイタンス処理後の表面



図4 ミキサー車に瓦粉碎物を投入する様子

mm²（水中標準養生：水温 20℃±2℃，材齢 28days）以上とし，スランプは 8±2.5cm，空気量は 4.5±1.5% 以下，塩化物量は 0.30kg/m³ 以下とした。ただし，試験練りにおいては塩化物量の測定は実施しなかった。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。表 3 に標準被覆ブロック用生コンクリートの仕様および JIS A 5308 の規格値を示す。

2.3 被覆ブロックの試作

2.3.1 規格外瓦粉碎物の吸水，表乾状態の調整

3 種類の被覆ブロックは，1 個当たり約 3.5m³ 程度の生コンクリートを必要とし，それぞれ 1 個に必要な規格外瓦

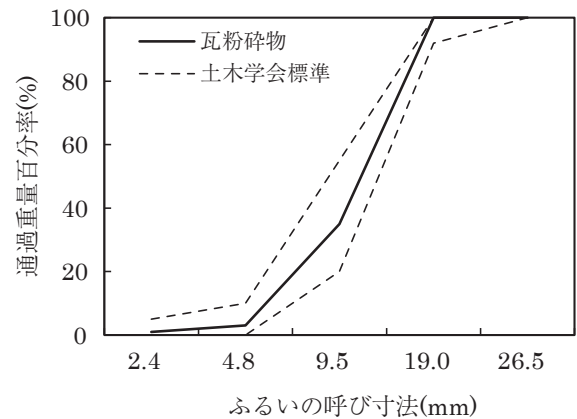
表3 被覆ブロック用生コンクリートの仕様および
JIS A 5308 の規格値

呼び強度 (N/mm ²)	水セメント比 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	塩化物含有量 (kg/m ³)
24以上	60以下	8±2.5	4.5±1.5	0.30以下

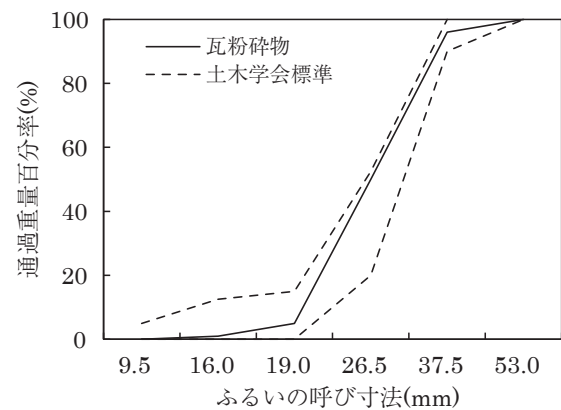
粉砕物の配合量を表2から見積もと1.4トン強～3.2トン程度となる。また浸漬をするための水槽が約1.2×1.2×4.0m³の大きさのため、透水が可能で内容量が500kgの3あるいは4袋に必要な量の瓦粉砕物を詰めた。袋詰めにした瓦粉砕物は水槽の中に24時間浸漬し吸水させた。図2に浸漬・吸水時の写真を示す。吸水が完了した後、水槽から取り出し、表乾状態にするために8時間の水切りを行った。最後に瓦粉砕物の重量を再度調整し、乾燥を防ぐためにブルーシートで梱包した状態で保管した。合計56袋の浸漬に日数を要したため、保管期間は1週間～1.5ヵ月と袋によって差が生じた。

2.3.2 生コンクリートの練り混ぜと試験項目

生コンクリート会社で表2に示した粗骨材の配合から瓦粉砕物分を除いた、モルタル1種(細骨材のみ、(瓦4005)用)と生コンクリート2種(細骨材+碎石、(瓦2005)用、(瓦4020)用)をそれぞれ練り混ぜ、ミキサー車で江津市渡津町の打設現場に運搬し、打設現場で瓦粉砕物をミキサー車に投入し練り混ぜを行った。具体的には、到着した4m³用のミキサー車のドラムに積載されている2.7m³前後のモルタルあるいは生コンクリートから約0.5m³を排出し、練り混ぜを促進するための空間をドラム内に設けた後に、図3の写真に示す通りにホッパーに瓦粉砕物を投入し、次いで図4の写真に示す通りにバックホウを用いて持ち上げ、ミキサー車の生コンクリート投入口から瓦粉砕物を投入した。瓦粉砕物を投入する間は常にミキサー車のドラムを回転させた。瓦粉砕物の投入完了後、排出しておいたモルタルあるいは生コンクリートを再投入した後に、ドラムを最大回転数で3分間回転を継続した。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。図5に瓦粉砕物を投入しドラムで攪拌した後にホッパーに排出した生コンクリートの写真を示す。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、実



(a)瓦粉砕物(2005)



(b)瓦粉砕物(4020)

図8 瓦粉砕物の粒度分布

測単位水量の算出、塩化物含有量の測定を行った。なお、単位水量は、独立行政法人土木研究所が推奨するエアメーター法による単位水量推定マニュアルに従い空気量から算出し、さらにその値を基に実水セメント比を求めた。また圧縮強度を測定するために、標準養生用と封緘養生用の円柱試験体(φ12.5×25cm)を作製した。被覆ブロック試作用の供試生コンクリートの品質は、2.2.2の表3と同様にした。

2.3.3 被覆ブロックの成型・養生・脱枠作業

被覆ブロックの成型は、予め組み上げられた被覆ブロック用型枠に、ホッパーから生コンクリートを流し込み、作業員2人がバイブレーターを用いて生コンクリートに含まれる気泡を除去しながら打設を行った。充填が完了後、天

表4 本報で使用した瓦粉砕物の物性値

試験名	規格	項目	規格値	瓦粉砕物 (2005)	瓦粉砕物 (4020)
ふるい分け試験	JIS A 1102	粗粒率		6.61	7.99
		表乾密度(g/cm ³)	2.45以上	2.24	2.22
密度及び吸水率試験	JIS A 1110	絶乾密度(g/cm ³)	2.50以上	2.10	2.11
		吸水率(%)	3.0以下	6.46	5.62

端部が平滑になる様にて掛けを行い、打設作業を完了した。この打設作業により3種類の瓦粉碎物の配合に対してそれぞれ4個の被覆ブロックの試作を行った。図6に打設完了後の外観写真を示す。養生は、断熱材を内側に貼り付けた保温箱の中で5日間行った。3種類の被覆ブロック各4個の内のそれぞれ1個については、瓦粉碎物を骨材として使用した場合の環境調和性を確認するために、打設の翌日に天端部のレイトランス処理（骨材の水洗い出し処理）を行った。図7にレイトランス処理後の天端部の写真を示す。この処理により瓦粉碎物が露出し、周辺のセメント表面は凹凸がある状態になった。脱型は気温が低い時期の打設のため、強度不足が心配され、通常は打設後2日に行う脱枠作業を、打設後5日に変更して実施した。なお、コンクリートの圧縮強度は被覆ブロックと一緒に保温箱に入れて養生（封緘養生28days）を行った供試体、および水中標準養生（28days）を行った供試体を用いて確認した。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30日前後で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 規格外瓦粉碎物の物性

被覆ブロックの試作に使用した規格外瓦粉碎物（2005）と（4020）について JIS A 1102 の骨材のふるい分け試験と JIS A 1110 の粗骨材の密度および吸水率試験結果を表4に示す。また2種類の瓦粉碎物の粒度曲線を図8(a),(b)に示す。表4から瓦粉碎物（2005）と（4020）の粗粒率はそれぞれ6.61と7.99であり一般的な粗骨材の粗粒率である6～8の範囲内にあった。図8(a),(b)に示す（2005）と（4020）の粒度曲線は、共に破線で示す土木学会の標準

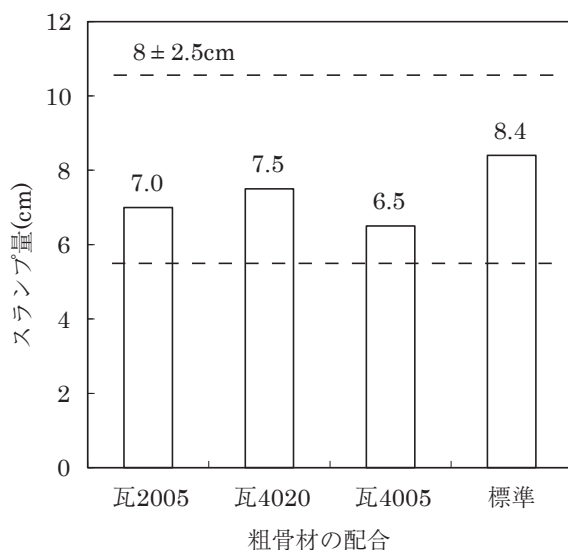


図9 試験練り生コンクリートのスランプ量
（破線は JIS A 5308 による許容差を示す。）

粒度範囲内に収まった。

瓦粉碎物（2005）、（4020）の表乾密度および絶乾密度はほぼ等しく、吸水率はそれぞれ6.46%、5.62%であり、（4020）の方が低い値を示した。これは（4020）の方が骨材サイズが大きく、加工履歴が（2005）と比べて短く粉碎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碎物のアルカリシリカ反応性については、前報^{8),9)}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。使用する瓦の原料および焼成条件には変更がないことから、今回使用した瓦粉碎物も化学法による測定結果は「無害でない」との可能性が高い。しかし、今回の試作では、国土交通省が平成14年度に示したアルカリ骨材反応の抑制手法の1つである、「抑制効果のある混合

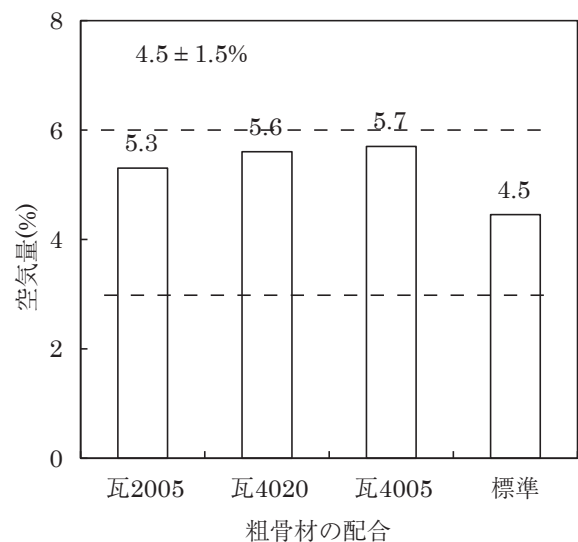


図10 試験練り生コンクリートの空気量
（破線は JIS A 5308 による許容差を示す。）

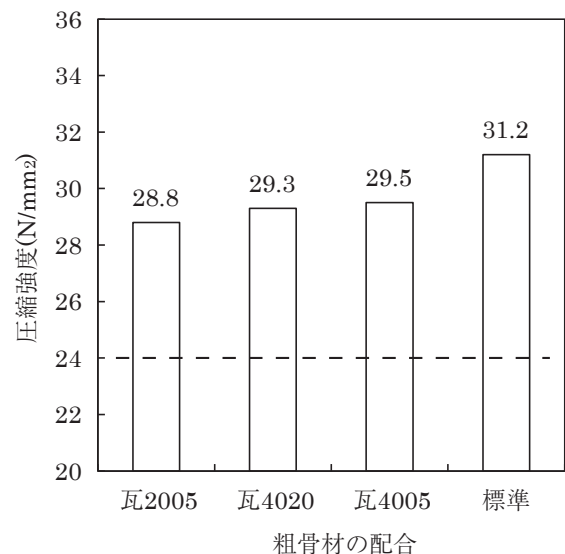


図11 試験練り生コンクリートの圧縮強度
（破線は呼び強度を示す。）

セメントなどを使用する」に適合する高炉セメント B を使用することから、瓦粉砕物の使用は問題ないと判断された。なお、今後瓦粉砕物に対して 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予定している。

3.2 試験練りによる試験結果

図 9 に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 $8 \pm 2.5\text{cm}$ 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。この図から瓦粉砕物を使用した供試体の全てが許容差内には入っているものの、砕石のみを使用した標準の供試体と比べてスランプ量が少なくなっており、この原因の 1 つとして瓦粉砕物による水分の吸収が考えられる。

図 10 に図 9 と同様の供試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の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。この図から瓦粉砕物を使用した供試体は、全て規格値を満足しているものの標準の供試体と比べて高い値を示し、コンクリート中の空気量が多い結果となった。

図 11 に表 1 の標準配合の内、粗骨材を表 2 の瓦粉砕物の使用量に基づき置換した呼び強度が 24N/mm^2 の円柱試験体の圧縮強度試験結果、および比較のために砕石のみによる標準配合の供試体の測定結果 ($N=6$) を示す。この図から骨材を砕石から瓦粉砕物に置換すると圧縮強度が低下することが分かった。この結果は前報⁹⁾の結果とも一致した。これらの供試体の作製に用いた生コンクリートを用いて試作する被覆ブロックの圧縮強度の確認は、水中標準養生ではなく、打設現場にて供試体をフィルムでラップし適度に加温した環境で養生する封緘養生を施した供試体で行われる。そのため水中標準養生と封緘養生を施された供試体で圧縮強度が異なり、封緘養生では約 15% 程度の圧

縮強度の低下が生コンクリート製造現場での経験則として見込まれる。しかし、図 9 の測定値を 15% 低下させたとしても全ての供試体が呼び強度 24N/mm^2 を満足する事から、瓦粉砕物の使用と配合比率は問題がないと考えられる。

図 12 に瓦粉砕物を使用した 3 種類の円柱試験体と砕石を使用した標準供試体の重量を示す。瓦粉砕物は砕石よりも密度が小さいため、瓦粉砕物を使用した供試体は標準供試体よりも軽くなり、瓦粉砕物の使用量にはほぼ比例して重量が軽くなっている。しかし、最も瓦粉砕物の使用量が多い(瓦 4005)においても標準試験体の重量の 5% 程度の減少である事から、被覆ブロックの安定性に影響を与えないと判断された。

上記の試験練りの試験結果において、瓦粉砕物を骨材として使用した供試体の圧縮強度、生コンクリートのスラン

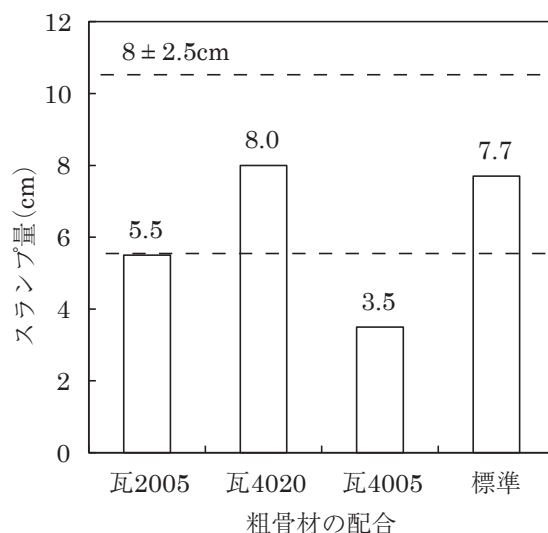


図 13 被覆ブロック試作用生コンクリートのスランプ量 (破線は JIS A 5308 による許容差を示す。)

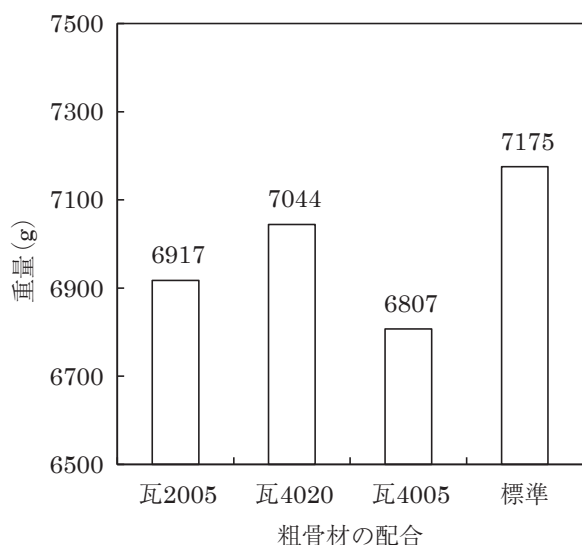


図 12 試験練り生コンクリートの円柱試験体の重量

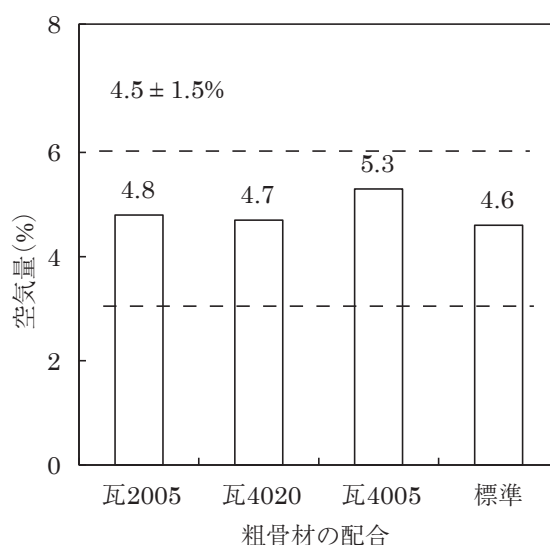


図 14 被覆ブロック試作用生コンクリートの空気量 (破線は JIS A 5308 による許容差を示す。)

プ量、空気量等の数値が全てそれぞれの仕様あるいは規格値を満足したことから、瓦粉碎物を骨材として使用した3種類の生コンクリートの配合割合による被覆ブロックの試作は可能と判断された。

3.3 被覆ブロック試作時の試験結果

図13に平成24年1月末から2月にかけて瓦粉碎物を使用した被覆ブロックを試作した際の生コンクリートおよび比較のために平成24年1月に打設した標準被覆ブロックに使用した生コンクリートのスランプ量を示す。標準供試体と（瓦4020）のスランプ量はほぼ等しく規格値のセンター値を示したが、（瓦2005）はスランプ量の下限値の5.5cm、（瓦4005）は下限値よりも2cm下回る3.5cmとなり、（瓦4005）は流動性が低い生コンクリートになったことが確認された。

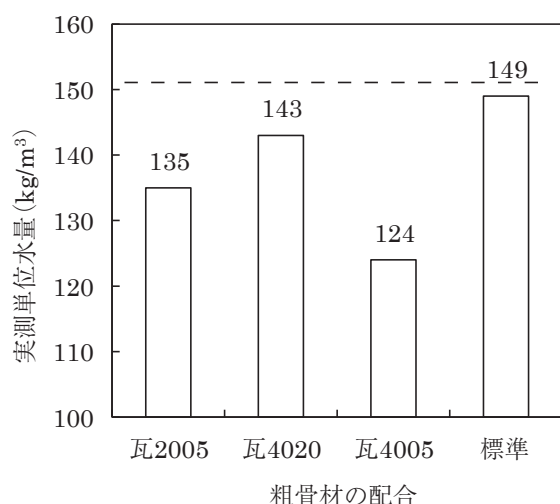


図15 被覆ブロック試作用生コンクリートの実測単位水量（破線は管理値を示す。）

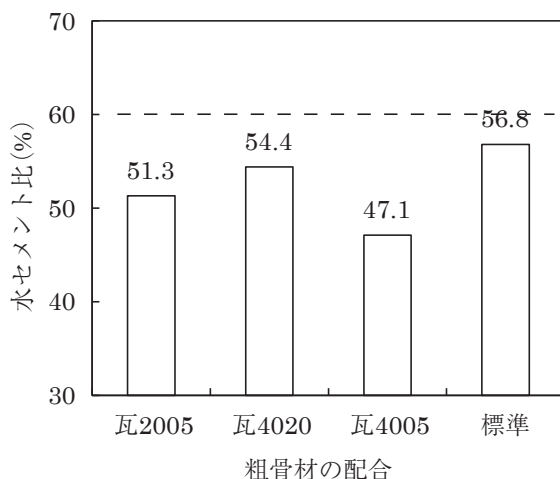


図16 被覆ブロック試作用生コンクリートの実測単位水量から求めた水セメント比（破線は仕様値を示す。）

図14に図13に示した供試生コンクリートの空気量を示す。試作の被覆ブロックに使用された供試生コンクリートの全てが仕様値の $4.5 \pm 1.5\%$ を満足し、かつ標準の被覆ブロックに使用された生コンクリートと同様の値を示した。塩化物含有量は全ての試作用供試生コンクリートにおいて 0.02kg/m^3 となり、JIS A 5308の基準値を満足した。

図15に図14の空気量から算出した供試生コンクリートの実測単位水量を示す。瓦粉碎物を使用した生コンクリートの単位水量は、表1に示した標準配合における 151kg/m^3 （管理値）よりも少なくなり、（瓦2005）では -16kg/m^3 、（瓦4005）では -27kg/m^3 となった。国土交通省が平成15年10月2日付けで通知した「生コンクリートの品質確保について」において、単位水量の管理値 $\pm 15\text{kg/m}^3$ 以上で改善指示、 $\pm 20\text{kg/m}^3$ 以上で持ち帰り、と示されて

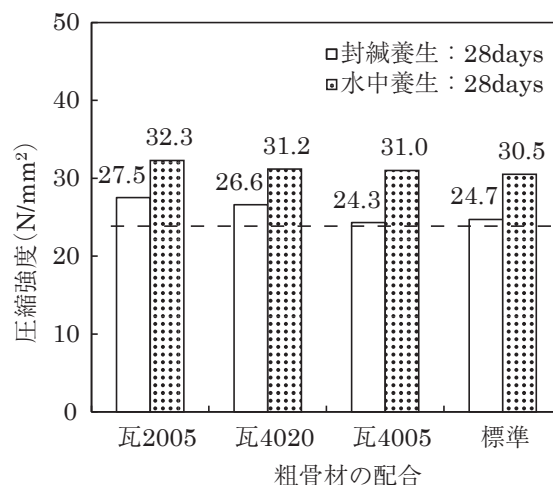


図17 被覆ブロック試作用生コンクリートの圧縮強度（破線は呼び強度を示す。）

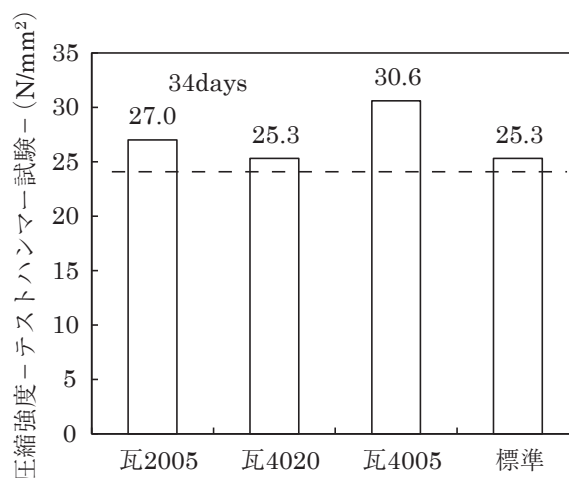


図18 試作被覆ブロックの圧縮強度（破線は呼び強度を示す。）

いる。(瓦 4005)の単位水量は持ち帰りの水準に当たり、通常の建築構造物には使用できない生コンクリートであることが確認された。

図 16 に図 15 の実測単位水量から求めた供試生コンクリートの水セメント比を示す。(瓦 4005)の生コンクリートが最も水セメント比が小さく 47.1% となった。実測単位水量から算出した水セメント比が仕様値よりも相当低く、セメントの水和に必要な水量が確保できていないことが懸念されたため、使用した高炉セメントが水和反応に要する水セメント比を田代ら¹¹⁾の手法に従って求めた。まず、高炉セメントに含まれるカルシウム塩は全て水和物を形成すると仮定して水和反応に必要な総水量を算出し、総水量を総カルシウム塩量で割った値とゲル水(セメント硬化体内の水)量(約 0.14%)を合算して算出した。その結果、理論水セメント比は 43% となり、(瓦 4005)の水セメント比 47.1% は理論水セメント比よりも大きく、使用した高炉セメントは全て水和反応することが確認された。そこで(瓦 4005)の生コンクリートの単位水量は持ち帰りの区分になったが、試作した(瓦 4005)の被覆ブロックの強度が基準値を満足すれば海底に沈設することとした。

なお、瓦粉砕物を骨材として用いた生コンクリートにおいて、単位水量および水セメント比が配合設計通りにならなかったこの結果は、 0.1m^3 程度の小規模な練り混ぜで試験を行った従来の研究^{8),9)}や今回の試験練りによる結果では示されておらず、今回の試作における 3m^3 を超えた規模の練り混ぜで初めて顕在化したと思われる。この知見は、コンクリート構造物に瓦粉砕物を活用するにあたり、大量の瓦粉砕物を表乾状態に調製し、セメントと練り混ぜ時まで表乾状態を維持しておく必要があることを示しており、実用上の大きな技術課題であると考えられる。

図 17 に図 13 に示した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および標準供試体の圧縮試験結果を示す。供試体の養生は、水中養生と封緘養生とし、材齢はともに 28 日とした。試験練りにおいては図 11 に示したように、水中養生を施した瓦粉砕物を使用した生コンクリートの供試体の全てが、標準被覆ブロックの供試体よりも低い圧縮強度を示したが、被覆ブロック試作用の生コンクリートから作製した瓦粉砕物を用いた供試体は、標準供試体よりも高い値を示した。また封緘養生を施した供試体では、(瓦 4005)以外は標準供試体よりも高い強度を示した。

図 18 に打設後 34 日目の各種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 4005)、(瓦 2005)、(瓦 4020)の被覆ブロック、(標準-碎石)の被覆ブロックの順となった。この変化は図 16 の水セメント比の挙動と強い相関が認められる。一般的に同一のセメントにおいて水セメント比が低い生コンクリートは強度が高いとされていることから、(瓦 4005)、(瓦 2005)を使用した被覆ブロックの強度が高い原因は、水セメント

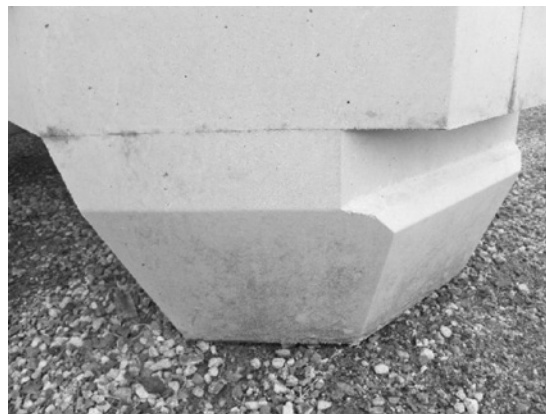
比が他の 2 種類の被覆ブロックよりも低いためと考えられる。(瓦 4005)の被覆ブロックに使用した生コンクリートの単位水量は基準値から大きく離れていたが、水セメント比は理論水セメント比よりも高い値を示し、かつ強度の仕様値よりも高い値を示したことから、海底に沈設しても問題ないと判断した。



(a) 4h 後の外観写真



(b) 4days 後の外観写真



(c) 9days 後の外観写真

図 19 脱枠後の被覆ブロックの外観写真

図 19(a)～(c)にそれぞれ（瓦 4005）の瓦粉碎物を使用した被覆ブロックの脱枠後 4h, 4days, 9days 経過後の外観写真を示す。脱枠後 4 時間前後で表面に白い斑点が生じ、図 19(b)の通り時間の経過と共に被覆ブロックの上部から下部に向かって全体的に白くなり、図 19(c)の 9days 経過後に漸く表面全体が白く乾燥した。この現象は瓦粉碎物を利用した全ての被覆ブロックで観察され、標準の被覆ブロックでは観察されないことから、瓦粉碎物の使用にその要因があると考えられる。斑点が生じていることから表面部分で不均一な乾燥が進行したと考えられ、ヘアークラックの発生が心配されたが、全ての被覆ブロックでヘアークラックは検出されなかった。水和反応初期の自己収縮が緩やかになり、かつヘアークラックが生じない強度が発現した段階での脱枠だったためと推測している。この現象が生じる要因とヘアークラック発生に対する安全性については今後調査する予定にしている。

3.4 まとめ

規格外の石州瓦粉碎物を粗骨材として使用した被覆ブロックの試作を通じて、2 種類の大きさの瓦粉碎物を粗骨材とした生コンクリートを作製し、その諸性質を普通骨材（碎石）を使用した生コンクリートと比較した。またそれぞれの生コンクリートを用いた供試体を用いて、瓦粉碎物と普通骨材による供試体の圧縮強度を比較した。さらに試作した被覆ブロック自体の強度および外観についても標準被覆ブロックと比較した。

以下に、本試験で得られた知見および瓦粉碎物をコンクリート用骨材として利用する上での課題を示す。

- 1) 瓦粉碎物を利用した被覆ブロックの実強度は実測の単位水量から算出した水セメント比に強く依存し、水セメント比が小さいほど強度が向上した。
- 2) 瓦粉碎物を利用した被覆ブロックでは脱枠後から表面に白い斑点が生じ、被覆ブロック全体が白く乾燥するのに約 9days 要した。標準の被覆ブロックでは観察されない現象で、今後その原因を明らかにする必要がある。
- 3) 瓦粉碎物を利用した生コンクリートの実測単位水量や水セメント比が仕様値よりも小さい値となった。この原因は、表乾状態にした瓦粉碎物が長期の保管時に乾燥し、練混ぜ時に水を吸水したためと考えられる。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、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となる。

- 4) 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、攪拌設備が必要となる。

謝 辞

本報告は、平成 23 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。本研究を進めるにあたり、島根大学生物資源科学部の野中資博教授にご指導を賜りました。また(株)イズコンの阿部公平研究員からご助言を頂きました。被覆ブロックの試作においては、(株)石州川上窯業、祥洋建設(株)、今井商事(株)、川戸工場、(株)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, 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, 25(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, 27(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, 28(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, 56(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. コンクリートテクノ. 2007, 26(1), p.17-21.
- 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. 島根県産業技術センター研究報告. 2011, 47, p.11-15.
- 9) 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, 48, p.34-38.
- 10) 水産庁監修. 漁港・漁場の施設の設計の手引き [下]. 社団法人全国漁港漁場協会. 2003, p.676.
- 11) 田代忠一, 田澤栄一, 笠井芳夫. セメント・コンクリート中の水の挙動. セメント・コンクリート研究会 水委員会. 1993, p.18-25.