

資 料

瓦粉砕物を骨材としたコンクリート製品の施工事例

江木 俊雄\*・中島 剛\*・高橋 青磁\*

1. 目 的

島根県の石見地方で製造されている石州瓦は、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約10,000t生じている。これまで規格外瓦の利活用を促進するために、平成23、24年度に島根県浜田県土整備事務所と共同で、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）を作製し、瓦粉砕物のコンクリート用骨材としての実用性と課題の調査、およびコンクリートの品質について評価試験を行った。その結果、瓦粉砕物をコンクリート用骨材として利用するためには、1) 瓦粉砕物を表乾状態を保つ管理方法の確立が必要、2) JIS規格製品ではない瓦粉砕物はJIS工場での攪拌が難しいため、ミキサー車での現場攪拌が望ましい<sup>1)</sup>との知見が得られた。また品質については、1) 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る、2) セメント量の調整により、碎石あるいは瓦粉砕物を用いたコンクリート間で強度に差異が無く、瓦粉砕物を骨材として活用することは可能である<sup>2)</sup>、等が分かった。さらに平成25年度に松江工業高等専門学校と共同で、瓦粉砕物を粗骨材として使用したコンクリート供試体について凍結融解試験を行い、瓦粉砕物を粗骨材として使用した空気量が4.5%のコンクリートは凍害が生じないことが確認された<sup>3)</sup>。

以上の結果から、被覆ブロックの様な海中使用のみならず陸上での瓦粉砕物を骨材としたコンクリートの利用が可能であることが示された。そこで陸上での瓦粉砕物を使用したコンクリート製品の普及促進を主目的とし、併せて瓦粉砕物の利用による意匠性を確認するために、浜田技術センター敷地内で鉄筋コンクリート製の土間とスロープの打

設を行った。以下に、これらの施工事例とコンクリートの品質試験結果について報告する。

2. 方 法

2.1 使用材料、配合および吸水方法

2.1.1 規格外瓦粉砕物

前報<sup>1) 2)</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）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大きな変更は行われていない。瓦粉砕物に対して、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。

2.1.2 コンクリートの示方配合

表1に粗骨材に瓦粉砕物を使用した呼び強度が27N/mm<sup>2</sup>のコンクリートの配合を示す。表中のセメントには普通ポルトランドセメントを使用し、細骨材には陸砂と砕砂の混合砂（容積比 陸砂：砕砂=40：60）を用いた。混和剤にはAE減水剤標準形I種（BASFジャパン(株)製マスターポリヒード15S）を使用した。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54.3%、46.7%とした。粗骨材は瓦(2005)だけを使用した。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。

2.1.3 瓦粉砕物の吸水、表乾状態の調整

瓦粉砕物は練り混ぜ時に練混ぜ水を吸水し、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確認されている<sup>1)</sup>。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

表1 瓦粉砕物を使用した呼び強度27N/mm<sup>2</sup>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 陸砂	細骨材② 砕砂	粗骨材 瓦(2005)	混和剤	水セメント 比(%)	細骨材率 (%)
328	178	328	492	808	3.28	54.3	46.7

\* 無機材料・資源科

透水性がある袋に所定の量を詰め、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、水切り後は袋をシートで包み、この状態での保管期間は3日以内とした。

## 2.2 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>1),2)</sup>と同様に、ミキサー車でモルタルと粗骨材を練り混ぜる手法で行った。具体的には、生コンクリート会社で表1に示した配合の内、瓦(2005)を除いた材料を練り混ぜ、ミキサー車で浜田技術センターの現地へ運搬後、所定の量の瓦(2005)をミキサー車の生コンクリート投入口から投入し、ドラムを最大回転数で3分間回転させた。練り混ぜ完了後、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、JIS A 1101のスランブ試験、空気量の測定を行った。また圧縮強度を測定するために、標準養生用、現場空中養生用、現場水中養生用の供試体(φ12.5×25cm)を作製した。供試体の養生は、それぞれの供試体3本ずつに対して7days, 28days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る。現場空中養生および現場水中養生は、前記の脱枠後湿らせた布等で覆い気中に静置、あるいは水中に静置する方法である。所定の養生完了後、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生コンクリートの規格値は碎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12.0±2.5cm、空気量は4.5±1.5%以下とした。

## 2.3 鉄筋コンクリート製土間

### 2.3.1 施工場所と寸法

図1に示す浜田技術センター第2棟の耐風耐震試験室への試験体搬入口手前には、幅が1mの犬走りがあり、緩やかな傾斜があるアスファルト舗装とつながっている。そのため台車を用いた重量物の搬入が難しく、搬入口から幅190cm、長さ340cm、厚さ18cmの鉄筋コンクリート製土間を形成し平坦化することとした。



図1 第一施工区画

### 2.3.2 鉄筋コンクリート製土間の施工方法

所定の領域のアスファルトを切断し、重機でアスファルトと土砂を取り除いた後、路面を転圧し型枠を設置し次にD10(公称直径:9.53mm)の鉄筋を20cmの間隔で目目状に配筋し、D10の差し筋アンカーで建物と固定した。この配筋は上下二層あり、それぞれがコンクリートの上面あるいは下面から5cmの深さになるように配置されている。コンクリートの打設は、2.2の生コンクリートのスランブと空気量を測定した後に、ミキサー車から生コンクリートを型枠の中に直接排出し、型枠全体に生コンクリートを充填した後に、表面を金ごてで平滑にした。打設10日後に型枠を取り除き、型枠周辺の溝をアスファルトで埋め戻した。

## 2.4 無筋コンクリート製スロープ

### 2.4.1 施工場所と寸法

図3に浜田技術センター第2棟の出入り口付近の写真を示す。出入り口のドア手前の平坦部コンクリートとそれに続くスロープとに15cmの段差があり、台車による重量物の運搬を困難にしていた。そこで、この段差を無くすために既存のスロープとスロープに続く平坦部に幅100cm、長さ200cm、高さ0~15cmのスロープをコンクリートで形成することとした。

### 2.4.2 無筋コンクリート製スロープの施工方法

既存のスロープが接続する平坦部のコンクリート(幅100cm、長さ100cm)を取り除き、型枠を設置した。コンクリートの打設は、2.3.2の打設終了後、ミキサー車から小型の運搬車に生コンクリートを排出し、人力で打設現場へ運搬して行った。型枠全体に生コンクリートを充填した後に、表面を金ごてで平滑にした。その後、表面が少し硬化した後に表面を水洗い処理し、粗骨材として使用した瓦(2005)を露出させた。

## 3. 結 果

### 3.1 瓦粉砕物の物性

本試験で使用した瓦(2005)の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



図2 第二施工区画

表2 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)
微粒分量試験	JIS A 1103	微粒分量 (%)	3.0 以下	1.8
		表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.45 以上	2.24
		絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.50 以上	2.09
密度及び吸水率試験	JIS A 1110	吸水率 (%)	3.0 以下	7.30

果を表2に示す。この表から瓦(2005)の粗粒率は6.68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。瓦(2005)の粒度曲線は共に土木学会の標準粒度範囲内<sup>4)</sup>に収まった。瓦(2005)の表乾密度および絶乾密度は、それぞれ2.24g/cm<sup>3</sup>、2.09g/cm<sup>3</sup>となり、吸水率は7.30%であり、JIS A 1110の規格値を満足しなかった。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<sup>2)</sup>で示した通りJIS A 1146-2001のモルタルバー法によるアルカリシリカ反応性試験で「無害」を示した。図3にこの試験<sup>2)</sup>での供試体の材齢と平均膨張率の変化を示す。材齢が6ヶ月の平均値膨張率が0.10%未満であったことから、モルタルバー法では「無害」と判定された。なお、試験に使用された普通ポルトランドセメントのアルカリ量は、Na<sub>2</sub>O=0.29%、K<sub>2</sub>O=0.57%、R<sub>2</sub>O=0.67%であった。

### 3.2 作製した生コンクリートの試験結果

表3に2.2で作製した生コンクリートのスランプ量と空気量を示す。両値はそれぞれの規格値である120 ± 2.5cmと4.5 ± 1.5%内にあり、配合設計とほぼ等しい値となった。この結果は、被覆ブロックを試作した際の試験結果<sup>2)</sup>と等しく、打設現場でミキサー車を用いたモルタルと粗骨材の練り混ぜは、生コンクリート工場での練り混ぜとほぼ同等の攪拌効果があると考えられた。

### 3.3 コンクリート供試体の圧縮強度試験結果

図4に3種類の養生を施した供試体の材齢7days、28daysの圧縮強度試験結果を示す。なお、強度はそれぞれの材齢および養生方法毎に3本の供試体の平均値を示し

てある。現場空中養生が最も試作物の性状を反映していると考えられる。図4から両材齢において、圧縮強度は現場空中養生、現場水中養生、標準養生の供試体の順に高くなっていることが分かる。本試験は、2月に行ったことから、現場養生は標準養生よりも低温下で行われたこと、現場水中養生は現場空中養生よりも外気温の変動を受けにくいことから、圧縮強度の違いは養生時の温度の違いにより生じたと考えられる。全ての供試体の圧縮強度は呼び強度

表3 生コンクリートのスランプ量と空気量

スランプ量 (cm)	空気量 (%)
120	5.0

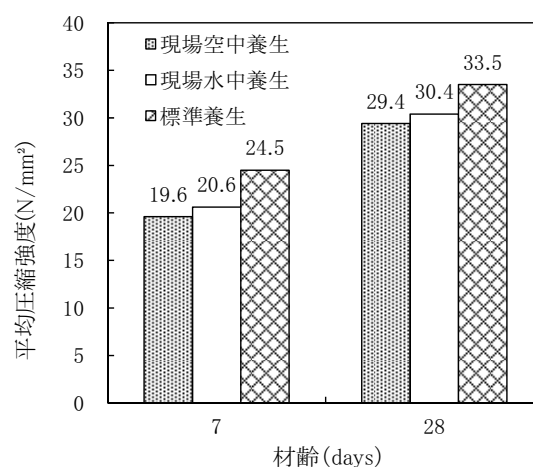


図4 異なる養生を施した供試体の材齢と圧縮強度

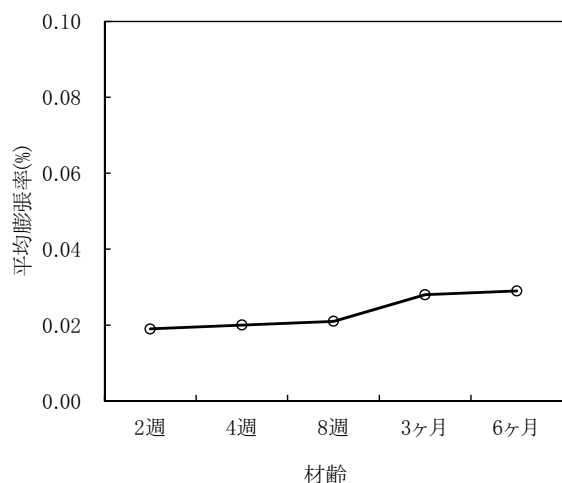


図3 モルタルバー法試験による供試体の平均膨張率



図5 配筋が完了した型枠の外観写真

の $27\text{N}/\text{mm}^2$ を超えていることから、配合設計通りのコンクリートに仕上がっていることが確認された。

### 3.4 鉄筋コンクリート製土間の施工

図5に型枠内の配筋が完了した状況での写真を示す。一辺が20cmのマス目状の配筋が2層に形成されていることが確認できる。

図6に図5の型枠内にミキサー車から生コンクリートが流し込まれている状況の写真を示す。生コンクリートのスランプ量が12cmであり、流動性が確保されていることから、打設作業は短時間で完了した。

図7に打設の14日後に型枠を取り除いた状態の土間の外観写真を示す。表面を金ごてで平滑にしたことから、瓦粉砕物が表面に現れず、目視では碎石を使用した一般のコンクリートと見分けがつかない表面となった。

図8に打設後21ヶ月が経過した土間の外観写真を示す。土間はその表面にせん断力が生じる荷重がほとんど印加されないため、表面状態は変化せず、瓦粉砕物は露出していない。そのため、未だに目視では瓦粉砕物を利用したコンクリートと判別できない。

### 3.5 無筋コンクリート製スロープの施工



図6 打設作業の様子



図9 打設前の型枠の外観写真



図7 型枠除去後の外観写真



図10 金ごて仕上げ後の外観写真



図8 施工後21ヶ月経過後の外観写真



図11 水洗い処理後の表面の様子



図9に打設前の型枠の写真を示す。型枠内の約半分領域はコンクリートが取り除かれており、また無筋であることが確認できる。

図10に打設・表面金ごて仕上げ後のスロープの外観写真を示す。この時点では、図7と同様に使用した瓦粉砕物は目視では確認できない表面状態であった。

図11にある程度コンクリート表面が硬化した後、水洗い処理を施した表面写真を示す。水洗い処理により、粗骨材や細骨材が露出し、瓦粉砕物を使用したコンクリートであることが目視で確認できた。露出物には、瓦の素地や異なる色の釉薬面が認められ、通常のコンクリートを水洗い処理した場合よりも意匠性が高いと思われる。

### 3.6 まとめ

陸上での瓦粉砕物を使用したコンクリート製品の普及促進を目的とし、鉄筋コンクリート製の土間とスロープの打設を行った。以下に、本試験で得られた知見を示す。

- 1) ミキサー車でモルタルセメントと瓦粉砕物を練り混ぜた生コンクリートは、配合設計どおりのスランプ、空気量を示し、養生後のコンクリートは呼び強度以上の圧縮強度を示した。このことから、ミキサー車による練り混ぜはコンクリートの品質に悪影響を与えないと考えられる。
- 2) 外気温の影響を最も受ける現場空中養生を行った供試体の圧縮強度は、標準養生のそれよりも低い値を示した。しかし、2月の施工であるにもかかわらず、呼び強度以上

の値を示したことから、本報の示方配合は年間を通じて利用できると考えられる。

- 3) 骨材を露出させるコンクリート表面の水洗い処理は、瓦粉砕物を使用した使用したコンクリート構造物の意匠性をより高める手段の一つと考えられる。

### 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。施工においては、宮田建設工業株式会社、株式会社石州川上窯業、ウベコン浜田株式会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, 中島剛, 高橋青磁, 宇名手環, 掘江広人. 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.
- 2) 江木俊雄, 中島剛, 高橋青磁, 江木勝義, 宇名手環, 掘江広人. 瓦粉砕物を骨材とした被覆ブロックの試作(第2報). 島根県産業技術センター研究報告. 2014, no. 50, p. 36-44.
- 3) 江木俊雄, 高橋青磁, 中島剛, 板垣優, 高田龍一. 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. 島根県産業技術センター研究報告. 2015, no. 51, p. 25-31.
- 4) 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.