

特別寄稿

石州瓦由来規格外瓦細骨材のPC橋への活用！

1 はじめに

島根県西部の石見地方（江津市、浜田市）は日本三大瓦産地の一つ「石州瓦」の生産地です。

石州瓦の全国シェアは第2位で石州瓦工業組合によれば、平成26年は37・167・000枚生産されているそうです。その特徴の一つは1200〜1300度という焼成温度の高さで、硬質で緻密なことから凍結融解作用に対する耐久性が高い瓦です。しかし、生産過程において発生する「きず」や「冷割」などの規格外瓦（以下、廃瓦）が生産数の8%（約9・750t）発生しており、瓦組合ではこの有効活用を模索していました。一方、生コンクリートの骨材の採取量は減少傾向にあります。また、国土交通省発注工事では、通常のコンクリートでは建設リサイクル法やグリーン購入法およびアルカリ

骨材反応の抑制目的で高炉セメントを使用しています。しかし、水和反応が遅くコンクリートの所要の性能を発揮するために、十分な初期湿潤養生を行う必要があります。

この双方の課題に対し、かねてから廃瓦骨材が有する適度な吸水率によるコンクリートの内部養生に着目した研究を進めていた広島大学と地域の地場産業材の有効活用を推進する浜田河川国道事務所は包括的研究協力協定を結び、平成23年度から廃瓦骨材コンクリートに関する共同研究を行っています。平成25年度には山陰道浜田・三隅道路において容積置換率12%の廃瓦細骨材を用いた鉄筋コンクリート造函渠工の試験施工を行い、昨年12月には同じく容積置換率12%の廃瓦細骨材を用いたプレストレストコンクリート（PC）跨道橋の試験施工を行いました。常に高応力状態にある場所打ち



国土交通省 中国地方整備局
企画部 環境調整官
(前 浜田河川国道事務所長)

松本 治男



広島大学大学院工学研究院
社会環境空間専攻 名誉教授

佐藤 良一



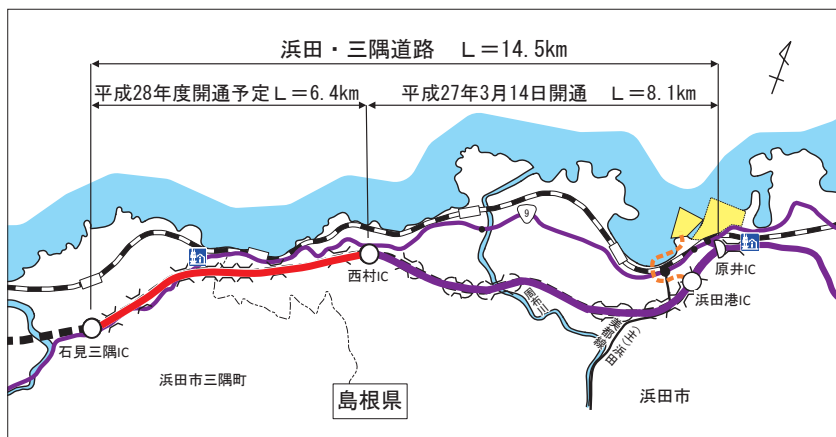
広島大学大学院工学研究院
社会環境空間部門 助教

小川 由布子

PCへの廃瓦骨材の適用は国内外で初めてであり、これら一連の試験施工は従来のリサイクル材の認識を覆すもので、廃棄資源の有効活用、環境保全、地域活性化に大きく資すると考えています。

山陰道浜田・三隅道路

浜田・三隅道路は、一般国道9号のバイパスとして計画され、浜田市原井町から浜田市三隅町森溝上までの延長14.5kmの自動車専用道路で、急勾配やカーブ、要防災箇所、渋滞等の解消と、災害時等のリダンダンシーの確保のほか、地域間連携を強化し、沿線の産業振興や観光振興、生活圏の拡大など地域経済の発展と活性化に大きく寄与するもので、平成16年3月に都市計画決定され、平成16年度から事業着手し、平成27年3月に原井IC〜西村IC間が開通し、平成28年度的全線開通を目指しています。



廃瓦骨材コンクリートの特徴
 コンクリートに廃瓦細骨材を使用することによって、その吸水性の高さから水和反応や蒸発によって失われた水分を内部から補いコンクリートの水和反応を促進する内部養生効果が発生し、コンクリート強度が10%程度向上すると共に自己収縮を抑制する事ができ、コンクリートの緻密化とクラックの抑制が図られます。橋梁等の構造物の長寿命化が全国的な課題となるなか、高



至 浜田 撮影：平成28年3月4日

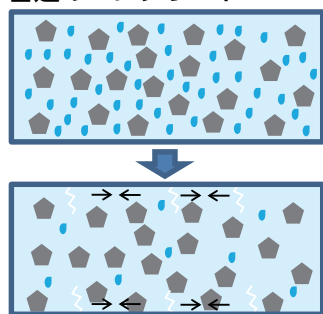
浜田・三隅道路（折居地区から三隅地区を望む）



西村高架橋

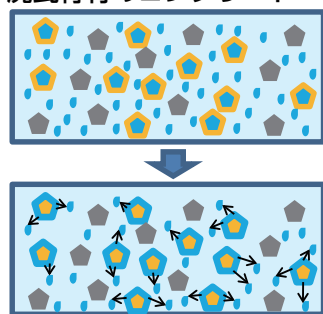
品質で耐久性の高い構造物を構築出来る新たな材料として期待できるものです。内部養生材に関しては欧米等では軽量骨材を使用している事例がありますが、廃瓦は地域地場産業の活性化にもつながるとともに、リサイクル材でありながらコンクリートの性能が向上するもので、リサイクル材は性能が劣化するという認識を覆す非常に優れた骨材で、廃棄物のサステイナビリティーにも有効なコンクリート骨材です。

普通のコンクリート



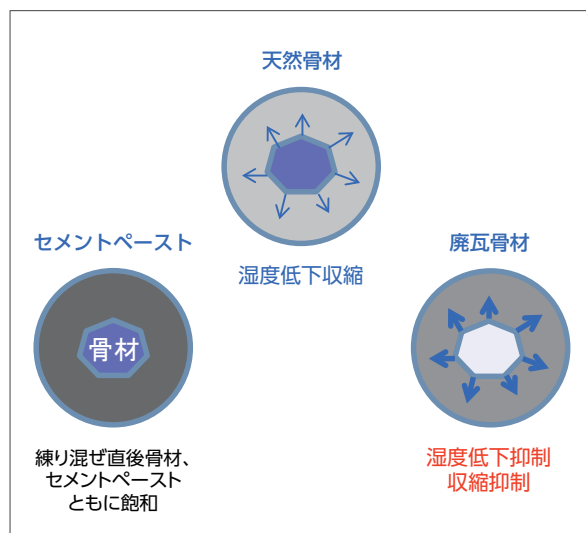
セメントの水和反応によって練混ぜ水は消費されコンクリートの内部は自己乾燥する。しかし、通常の骨材は吸水率が小さいため、水和反応に要する水分を供給できない。このため強度が実現されにくく、自己収縮も大きくなる。

廃瓦骨材のコンクリート



セメントの水和反応によってセメントの内部は相対湿度が低下し、自己乾燥する。その結果適度な吸水率を有し水を貯留した廃瓦骨材内部の湿度より小さくなる。この湿度差により廃瓦骨材内部の水分はセメント空隙中に自動的に移動し、水和反応を助け、自己収縮も低減する。

●：普通の細骨材 ●：廃瓦骨材（内部に水分） ●：水分



廃瓦（製造時の規格外品）



廃瓦を小さく砕いた状態



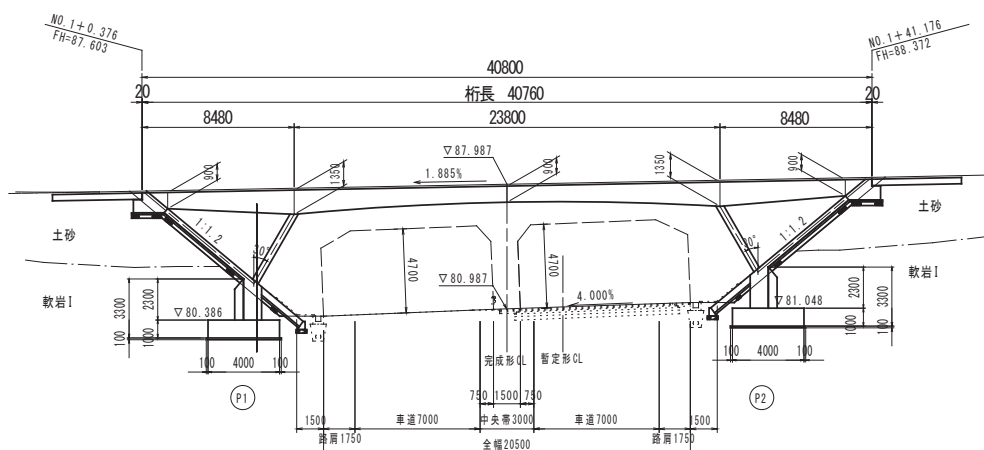
細骨材化した廃瓦

2 PC橋に廃瓦骨材コンクリートを使用

折居跨道橋

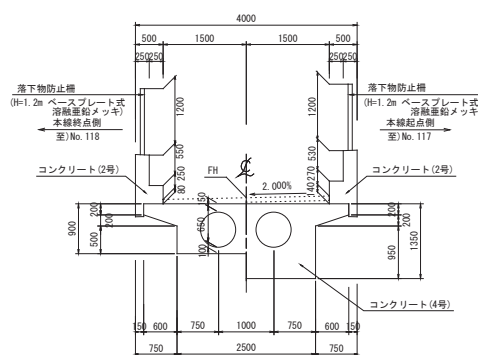
折居跨道橋は山陰道浜田・三隅道路の折居地区で本線を跨ぐ橋長40.8m幅員4.0mのPC斜材付π型ラーメン

側面図



活荷重	A活荷重
雪荷重	1.0kN/m ²
舗装	アスファルト舗装 車道tmin=80mm
地盤種別	I種地盤
上部工	PC斜材付π型ラーメン橋
下部工	逆T式橋台
基礎工	直接基礎
主桁	コンクリート $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$
床版・横桁	コンクリート $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$
地覆・壁高欄	コンクリート $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$
鉄筋	SD345
下部工	コンクリート $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 鉄筋SD345
適用示方書	道路橋示方書・同解説 (平成14年3月) 土木工事設計マニュアル(平成19年4月)

標準断面図



中空床版橋で、平成27年12月に本体スラブ部、平成28年1月に壁高欄部に廃瓦コンクリートを打設しました。完成後は浜田市に管理移管する予定のもので、高規格道路の本線上に架かることから長寿命と高耐久性は重要な条件といえます。

本体スラブ部のコンクリート

橋梁スラブ部のコンクリートは、設計基準強度 36N/mm^2 スラブ12cm、骨材最大寸法20mmで早強セメントを使用し水セメント比45:1%で細骨材の12%、1立方メートルあたり83kgを廃瓦に置き換えたもので、廃瓦に置き換えない通常配合のコンクリートに比べ過去のデータでは約10%程度強度アップが確認されており、今回も通常配合試験練り 57.2N/mm^2 に対し廃瓦置換本打設 61.4N/mm^2 (何れも現場封緘養生)と高強度となっていることが確認されました。



折居跨道橋

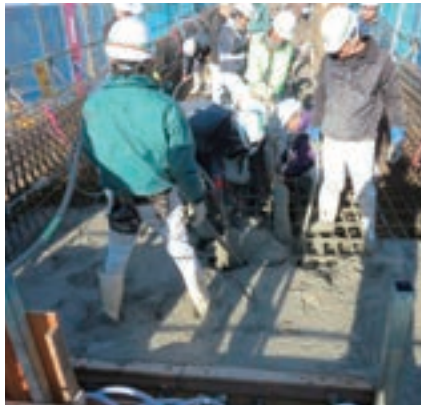
粗骨材の最大骨材 mm	スラブ SL cm	設計基準強度 N/mm ²	水セメント比 %	空気量 %	セメントの種類	湿潤養生期間 日	適用部位
20	12	36	45.1	4.5	早強 [※] ポルトランド [※] セメント	28	床版
20	8	27	53.4	4.5	混合セメントB種	28	地覆・高欄

配合表 (kg/m ³)							適用部位	
水: W	セメント: C	細骨材: S			粗骨材: G	混和剤		混和材
		陸砂	砕砂	廃瓦			混合砕石	
164	364	406	309	83	972	3.28	—	床版
155	291	432	330	90	977	3.27	20	地覆・高欄

壁高欄部のコンクリート配合 壁高欄部のコンクリートは、設計基準強度 27N/mm^2 スラブ8cm、骨材最大寸法20mmで高炉Bセメントを使用し水セメント比53:4%で細骨材の12%、1立方メートルあたり90kgを廃瓦に置き換えたもので、こちらも43:6 N/mm^2 と高強度コンクリートとなっている事が確認されました。



コンクリート打設前鉄筋確認状況



コンクリート打設状況



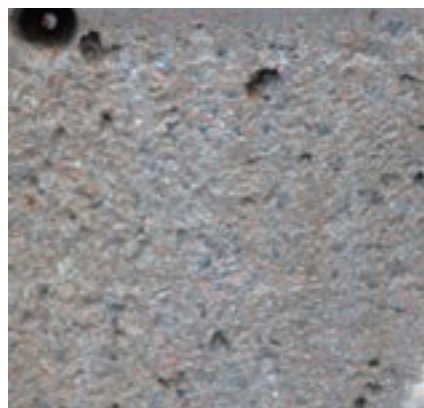
広島大学佐藤名誉教授と小川助教による現地指導状況



コンクリート打設状況全景



コンクリート打設完了直前の全景



後打箇所洗出し面(赤い細骨材が廃瓦)



生コンプラントでの廃瓦骨材の保管状況



トンパックにて保管されている廃瓦細骨材



貯蔵ビンへの投入状況

参考文献および資料提供者

- 1) 佐藤良一: "廃瓦骨材を活用したコンクリートおよびコンクリート構造部材の性能評価に関する研究" - 国土交通省中国地方整備局包括協定に基づく浜田河川国道事務所受託研究報告書(2015.3.27) -
- 2) 資料提供: 石州瓦工業組合、浜田地区生コンクリート協同組合

3 廃瓦骨材コンクリートの課題

廃瓦骨材の生産

冒頭に記載したとおり、規格外瓦は年間約9750t発生しており、ほぼその全量が瓦メーカーにより30mm程度から1mm以下に粉砕ふるい分けされコンクリート骨材の他、路盤材やマルチング材、園芸材などに活用されていますが、更なる再利用の拡大が望まれています。

廃瓦骨材生コンクリートの生産

廃瓦骨材コンクリートを生コンプラントで製造するためには、通常の骨材の他、廃瓦骨材(今回は細骨材)を保管するためのストックヤード、貯蔵ビンの空きが必要になります。さらに、JIS製品ではないことから廃瓦コンクリート製造後に通常コンクリートを製造するためには、ミキサの洗浄が必要となることから、製造可能なプラントに限られるうえに、通常のコンクリートを製造しない休日に製造が限られるなどの課題があります。このため、

4 今後の取り組み

浜田河川国道事務所と広島大学との共同研究において、浜田地区生コン協同組合の協力を得ながら平成27年度にアジテータ車への直接投入試験を行いデータの収集をしているところです。

浜田河川国道事務所では、地場産業の活性化支援、限りある資源の有効活用の観点に加え、コンクリートの高強度、高耐久性に資する廃瓦骨材コンクリートを積極的に活用していきたいと考えています。中でも、今回実施した壁高欄への適用は、他のPC橋への適用も可能で、その特性をより発揮できるものと考えており、今後とも、広島大学をはじめ、浜田地区生コンクリート協同組合、石州瓦工業組合の皆様方とともに、更なる研究を重ね、資源の有効活用とコンクリートの品質向上の両立が図られる廃瓦骨材コンクリートが幅広く使用可能となるよう取り組んでいきたいと考えています。