

規格外瓦を用いた PC 跨道橋

— 産業廃棄物の実構造物への適用 —

小川 由布子^{*1}・浜崎 宏幸^{*2}・松本 正之^{*3}・佐藤 良一^{*4}

環境問題が深刻化するなかで、環境負荷低減や資源循環に関する研究があらゆる分野で進められている。建設分野においても、多くの研究報告があるものの、実際の現場へ適用された事例は少ない。一方、コンクリート施工時のもっとも重要な工程のひとつである養生は、湿潤養生が標準であり外部から水分を供給するか、内部の水分の散逸を防ぐという手法が一般的である。近年、吸水させた吸水性ポリマーや人工軽量骨材をコンクリートに混入することにより、内部から養生する内部養生という手法が注目され、研究ならびに実施工に適用されている。

本稿では、屋根瓦製造時に規格外として排出される廃瓦の適度な吸水率と適度な硬度という特徴に着目し、内部養生材として現場打ちプレストレストコンクリートへ適用した事例について報告する。対象構造物は折居跨道橋であり、主桁部および高欄・地覆部のコンクリートにおいて総細骨材体積の10%を廃瓦細骨材で置換して使用した。試験練りの結果、スランプロスは施工に問題なく、封緘養生した場合の圧縮強度およびヤング係数は、廃瓦を混入していない通常のコンクリートと同等以上であった。さらに、内部養生や廃瓦コンクリートの特徴および今後の課題についても報告する。

キーワード：廃瓦、内部養生、現場打ちプレストレストコンクリート

1. はじめに

近年、環境問題が深刻化し、環境負荷抑制や資源循環に関する研究が分野を問わず進められている。コンクリート分野においても、新規構造物の高品質化によるライフサイクルコストの低減、廃棄物および副産物をコンクリート材料として使用することによるリサイクルおよびリユースなど、多くの研究成果が発表されている。しかし、高品質なコンクリートは、長寿命化を目的として実際の構造物への適用も多く行われているものの、廃棄物および産業廃棄物を実際の構造物へ適用した事例は多くない。

本稿では、島根県において製造される石州瓦の製造時規格外品を破碎した廃瓦の適度な吸水率と適度な硬さに着目し、内部養生材として国内外で初めて実際の現場打ちプレストレストコンクリート跨道橋へ適用した事例について報告する。なお、本文の多くは既発表報告「廃瓦骨材を使用したプレストレストコンクリート橋（折居跨道橋）の施工」¹⁾から引用していることをあらかじめお断りしておく。

2. 内部養生と石州瓦規格外品

2.1 内部養生

コンクリート構造物の施工において、もっとも重要な工程のひとつに養生がある。養生については、土木学会コンクリート標準示方書においては、セメント種類および日平均気温に応じて、5日から12日の湿潤養生を標準としている²⁾。しかし、現場における長期間の湿潤養生は実現が難しく、コストの増大、工期の長期化等の課題がある。この課題の解決策として、散水ホースを配置して長期間水分を供給する工法、シートを用いて長期間にわたり封緘状態を保持する工法、プレキャストコンクリートを用いた残置型型枠工法等が開発されており、適用されつつある。これらの工法は、いずれも外部からの水分供給や内部の水分が外部へ逸散することを防ぐ方法である。

一方、内部養生とは³⁾、保水性のある内部養生材をコンクリートに混入し、セメントペーストとの湿度勾配により自然に内部養生材から水が供給され、内部からコンクリー



^{*1} Yuko OGAWA

広島大学
工学研究科 助教



^{*2} Hiroyuki HAMASAKI

国土交通省
中国地方整備局



^{*3} Masayuki MATSUMOTO

(株)日本ピーエス
中国支店 技術グループ



^{*4} Ryoichi SATO

広島大学
工学研究科 名誉教授

トを養生する方法である。通常のコンクリートでは、セメントの水和反応によって練混ぜ水が消費され自己乾燥し、とくにセメント量の多い超高強度および高強度コンクリートにおいて大きな自己収縮が生じる。一方、あらかじめ給水させた内部養生材を混入したコンクリートにおいては、セメントペーストが自己乾燥した際に内部養生材から水分が供給され、自己収縮が低減される。また、普通強度のコンクリートにおいても内部から養生することにより強度や耐久性を向上することができる³⁾。

内部養生材としては、吸水性ポリマーのような化学製品、人工軽量骨材のような工業製品、再生骨材などがあげられる。吸水性ポリマーは、パピリオン⁴⁾や舗装⁵⁾へ適用され、人工軽量骨材は、コンクリート床版⁶⁾やコンクリート舗装⁷⁾へ適用されている。日本では、人工軽量骨材を用いた歩道橋が施工されている。しかし、これらの物質は、製品でありコストがかかるうえ、普通の骨材よりもろく、混入した場合に、強度の低下を引き起こすという課題をもつ⁸⁾。

2.2 石州瓦規格外品による内部養生

石州瓦は、主に島根県で生産されており、粘土を1200℃以上で焼成して作られる。この焼成温度は、他地方で生産される瓦よりも高く、このため比較的高い硬度をもつといわれている。一方、高温焼成および厳しい品質管理のため、写真-1に示すような規格外品が製造時に約5%から10%の不良品が排出される。これらの規格外品は、写真-2および写真-3に示されるような破砕機により、破砕およびふるい分けされ、産業廃棄物として処理される。近年では、循環型社会の構築の観点から再利用が望まれ、主に路盤材や敷石などに利用されている。

著者らは、廃瓦が比較的高い吸水率をもち、人工軽量骨材よりも小さい破砕値をもつことに着目し、内部養生材として適用する検討を行ってきた。水結合材比0.15の超高強度コンクリートへ廃瓦骨材を混入した場合、粗骨材容積に40%置換した場合と無混入を比較して圧縮強度の増進と共に高い収縮低減効果を示すことを明らかにした⁹⁾。さらに長期にわたり検討した結果、膨張材および収縮低減剤とともに20%の置換率で廃瓦粗骨材を使用した場合にもっとも収縮低減効果が高いことを示した¹⁰⁾。

一方で、初期に比較的高い湿潤養生を要する高炉セメントB種を使用したコンクリートに対しても廃瓦骨材による内部養生を適用している。普通強度の高炉セメントB種コンクリートに対し、廃瓦骨材を10%および20%置換することにより、細孔構造が緻密化し、圧縮強度が増進することを示した¹¹⁾。さらに、鉄筋コンクリート梁の曲げ、せん断特性も検討し、廃瓦骨材置換率20%までの範囲において、混入しない場合と同等以上の性能であることを確認した^{12, 13)}。これらの成果をもとに、2013年に置換率12%で廃瓦細骨材を混入したコンクリートと混入しないコンクリートを用いて、ボックスカルバートの試験施工を行った。カルバートの施工に関して廃瓦混入の影響はほとんどなく、また、施工後の経時計測の結果、廃瓦の内部養生により自己収縮が低減され、誘発目地付近の鉄筋ひずみが、無置換と比較して低減されていることがわかった。



写真-1 石州瓦の規格外品



写真-2 規格外瓦の破砕機

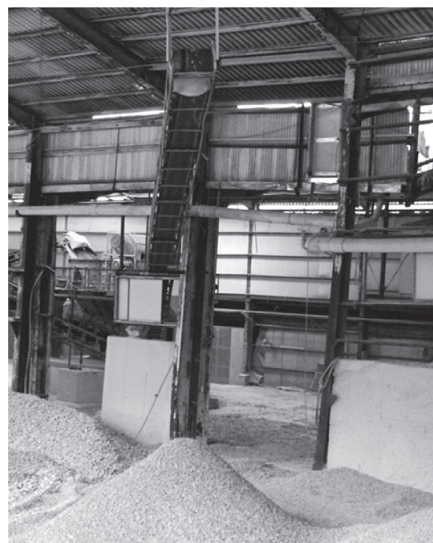


写真-3 破砕およびふるい分けされた廃瓦



写真-4 廃瓦骨材（左：粗骨材，右：細骨材）

一般国道9号のバイパスとして計画された山陰道浜田・三隅道路は、浜田市原井町から浜田市三隅町三隅までの延長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、沿線の産業復興や観光復興、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、2004年3月に都市計画決定され、2004年度から事業着手し、2016年度に全線開通している。

トを適用した。

(1) コンクリートの材料および配合

各コンクリートの配合を表 - 1 に示す。

橋梁主桁のコンクリートは、設計基準強度 36 N/mm²、スランプ 12.0 cm であり、空気量 4.5 % である。セメントは、早強ポルトランドセメントを使用し、細骨材は陸砂 (S1) および砕砂 (S2) の混合使用、粗骨材は碎石を使用した。単位水量を 164 kg/m³ とし、水セメント 45.1 % のコンクリートに対し、廃瓦細骨材 (吸水率 10.1 %, 表乾密度 2.25 g/cm³) は細骨材体積の 12 % を砕砂に対して置換して混入した。なお、比較用に廃瓦細骨材を混入しない同配合のコンクリートも作製した。同様のスランプおよび空気量を得るために使用した高性能 AE 減水剤量は、廃瓦の有無にかかわらず、セメント量に対して 1.0 % 程度であった。

一方、壁高欄部のコンクリートは、設計基準強度 27 N/mm²、スランプ 8.0 cm、空気量 4.5 % である。セメントは、

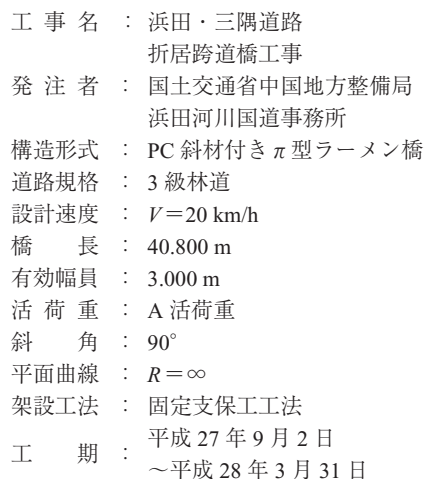
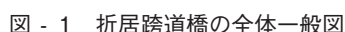


図 - 2 折居跨道橋の標準断面および工事情報

表 - 1 配合条件および養生

	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	設計基準 強度 (N/mm ²)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)							SP
						W	C	S1	S2	廃瓦細骨材	G	EX	
主桁用	20	12.0	36	45.1	4.5	164	364	406	309	83	972	—	C*0.9 %
主桁比較用	20	12.0	—	45.1	4.5	164	364	432	406	0	977	—	C*1.0 %
地覆・高欄用	20	8.0	27	53.4	4.5	155	291	406	330	90	972	20	(C+EX)*1.05 %

高炉セメント B 種を使用し、細骨材および粗骨材は主桁部と同じ骨材を使用した。単位水量を 155 kg/m³ とし、水セメント比 53.4 % のコンクリートに対し、廃瓦は細骨材体積の 12 % を砕砂に対して置換して混入した。

(2) スランプの経時変化

吸水率の高い骨材を使用した場合、スランプの経時変化が大きくなる場合がある。実際の打込み条件への適用性を検討するため、試験練りの際に、主桁用コンクリートのスランプの経時変化を測定した。図 - 3 に示すとおり、練混ぜ直後が 13.0 cm であったスランプは、時間とともに低下し、60 分後に許容範囲下限の 9.5 cm、90 分後で 4.5 cm となった。生コンクリート工場から施工現場までの運搬時間は 30 分程度であり、練混ぜから打込みまでを 1 時間以内で完了でき、フレッシュ性状に問題ないと判断した。

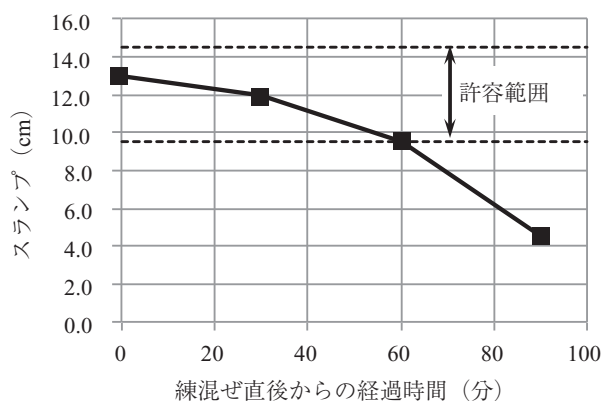


図 - 3 スランプの経時変化

(3) 圧縮強度およびヤング係数

試験練りした主桁用のコンクリートの圧縮強度およびヤング係数を図 - 4 に示す。すべての供試体は、練混ぜ後、現場封緘養生した。廃瓦を混入したコンクリートの圧縮強度は、設計基準強度である 36 N/mm² を十分満足し、材齢 4 日において、廃瓦を混入しない場合よりも若干小さいものの、材齢 7 日に以降では同等以上となった。材齢 28 日では廃瓦を混入しない場合と比較して 7 % 程度高い結果となった。ヤング係数は、材齢に関わらず同等以上であった。廃瓦自体はヤング係数が小さいが、細骨材として 12 % 置換して混入した範囲では大きな影響を及ぼさないことを確認した。なお、高欄部のコンクリートも圧縮強度は 43.6 N/mm² となり設計基準強度 27 N/mm² を十分満足した。

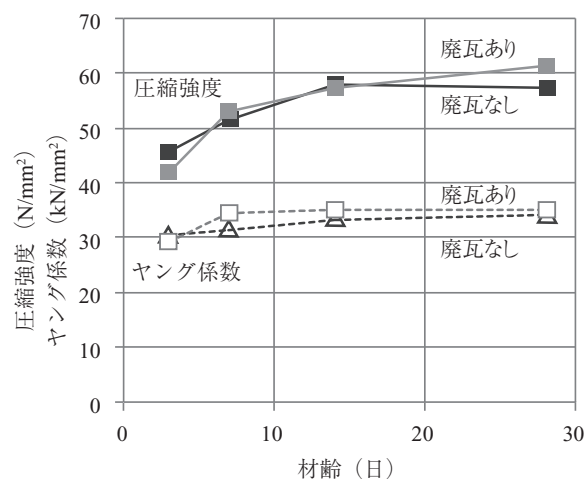


図 - 4 主桁用コンクリートの圧縮強度およびヤング係数

3.3 施工状況

(1) 廃瓦細骨材の吸水方法

十分な内部養生効果を発揮させるためには、一般的な骨材と比較して吸水率の大きい廃瓦細骨材に確実に吸水させる必要がある。本工事では写真 - 5 に示すように、生コンクリート工場において、フレキシブルコンテナバッグに入れた廃瓦細骨材を、簡易な吸水プールに浸せきさせた。浸せき期間は既往の研究に基づいて、十分に吸水できる 7 日間とした。その後、写真 - 6 に示すとおり、フレキシブルコンテナバッグに入れたまま、吸水プールより引き上げ、パレットの上に静置し、3 日間の水切りを行った。



写真 - 5 廃瓦細骨材の吸水状況



写真 - 6 廃瓦細骨材の水切り状況

(2) コンクリートの練混ぜおよび打込み

写真 - 7 に配筋状況を、写真 - 8 にコンクリートの打込み状況を示す。廃瓦骨材は打込み日に袋から取り出し、表面水が均質の分布するように攪拌したのち、表面水率を測定し、コンクリートの配合の表面水補正を行った。これらの作業により打込み時は安定したワーカビリティを得ることができ、一般のコンクリートと同様の品質管理で問題なく打ち込むことができた。ただし、生コンクリート工場において通常使用している骨材と廃瓦骨材が混合しないようにする必要があるため、廃瓦コンクリートの打込み日は他の配合のコンクリートが出荷されない日曜日などに限定した。



写真 - 7 配筋状況



写真 - 8 コンクリートの打込み状況

(3) 仕上り状況

桁端部の全景を写真 - 9 に、桁端部の踏掛版受台打継目粗し面の近景を写真 - 10 に示す。目粗し面は廃瓦の茶色が薄く確認できる程度、その他仕上げ面は一般のコンクリートと相違なかった。また、主桁および地覆・壁高欄は目視点検では一切ひび割れは見られなかった。



写真 - 9 桁端部全景



写真 - 10 桁端部の踏掛版受台打継目粗し面の近景

4. 今後の課題

本報告では、廃棄物である廃瓦を内部養生材として活用する技術を実構造物へ適用した例を紹介した。廃瓦コンクリートのさらなる活用を目指した場合、以下のような課題がある。

まず、廃瓦コンクリートの供給方法である。上述のとおり、廃瓦コンクリートを供給する際、生コンクリート工場では通常出荷するコンクリートに廃瓦が混入してはいけない。このため、廃瓦コンクリートの供給は、通常出荷のない日曜日などにかぎられている。また、骨材サイロを余分に所有している工場でなければ出荷できない状況にある。この課題を解決するため、練り混ぜたベースコンクリートを攪拌しているアジテータ車へ廃瓦を投入する方法を検討している。

また、内部養生は超高強度コンクリートの自己収縮の低減に効果があり、とくに廃瓦は前述のとおり従来の内部養生材より硬く、強度を低下させることなく自己収縮を低減させることができる。この効果を最大限に発揮させるため、

超高強度プレストレストコンクリート実橋への適用が必要であると考えている。研究成果を取りまとめ、実橋への適用を図りたい。

上記の課題を解決することにより、廃棄物である廃瓦のアップサイクルが可能となると考えている。

5. おわりに

本稿では、石州瓦の規格外品である廃棄物すなわち廃瓦を内部養生材として活用し、高品質なコンクリートの性能向上を検討した例、とくに、国内外発の現場打ちプレストレストコンクリートへの適用例を示した。地産地消やりサイクルのみならず、内部養生という付加価値を加え廃瓦のアップサイクルを目指した実施工例は少ないが、研究成果を踏まえ、実施工へ適用を増加させることで循環型社会の構築への貢献につながると考えている。

謝 辞

本研究は、石州瓦工業組合、浜田地区生コンクリート協同組合のご協力のもと遂行いたしました。本取組みに関わるすべての皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 松本正之, 浜崎宏幸, 小川由布子, 佐藤良一: 廃瓦骨材を使用したプレストレストコンクリート橋 (折居跨道橋) の施工, 第25回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, 2016.10
- 2) 土木学会: 2012年制定コンクリート標準示方書 [施工編], p.122, 2013.3
- 3) K.Kovler, O. M. Jensen: Internal Curing of Concrete, State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 196-ICC, 2007.6
- 4) V. Mechtcherine, L. Dudziak: Mitigation of volume changes of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) by using Super Absorbent Polymers, Proceedings of second international symposium on ultra high performance concrete, pp.425-432, 2008.3
- 5) B. Craeye, M. Geirnaert, G. D. Schutter: Super absorbing polymers as an internal curing agent for mitigation of early-age cracking of high-performance concrete bridge decks, Construction and Building Materials, Vol.25, Issue 1, pp.1-13, 2011.1
- 6) L. G. Mcsaveney: The Wellington stadium - New Zealand's first use of high strength lightweight precast concrete, Proceedings of second international symposium on structural light weight aggregate concrete, pp.385-395, 2000. 6
- 7) V. H. Villarreal, D. A. Crocker: Better pavements through internal hydration, Concrete International, pp.32-36, 2007.2
- 8) 黒岩修介, 陣内浩, 並木哲, 名和豊春: 人工軽量細骨材による高強度コンクリートの自己収縮低減, 日本建築学会構造系論文集, 第79巻, 第695号, pp.19-26, 2014.1
- 9) 鈴木雅博, 丸山一平, 川端智亮, 佐藤良一: 廃瓦粗骨材を用いた超高強度コンクリートの変形と拘束応力に関する検討, コンクリート工学年次論文集, 第29巻, 第1号, pp.651-656, 2007.7
- 10) M. Suzuki, M. S. Meddah, R. Sato, T. Kawabata: Long-term shrinkage and stress in ultra high strength concrete using porous ceramic waste for internal curing, Proceedings of the International RILEM Symposium on Use of superabsorbent polymers and other new additives in concrete, pp.263-272, 2010.8
- 11) R. Sato, A. Shigematsu, T. Nukushina, M. Kimura: Improvement of Properties of Portland Blast Furnace Cement Type B Concrete by Internal Curing Using Ceramic Roof Material Waste, Journal Of Materials in Civil Engineering, ASCE, Vol. 23, Issue 6, pp.777-782, 2011.6
- 12) Mwangi M. MACHARIA, 小川由布子, 山口克己, 佐藤良一: 廃瓦骨材を活用したRCはりのせん断強度, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, pp.481-486, 2014.7.
- 13) M. M. Macharia, Y. Ogawa, K. Yamaguchi, K. Kawai, R. Sato: Flexural Crack Width of Reinforced Concrete Beams with Roof Tile Waste Aggregate, Proceedings of the Thirteenth International Conference on Recent Advances in Concrete Technology and Sustainability Issues, 14-17, pp.83-102, 2015.07
- 14) 松本治男, 佐藤良一, 小川由布子: 国内外初 PC 橋コンクリートの細骨材に規格外瓦を活用!, コンクリートテクノ, Vol.35, No.5, 2016.5

【2017年9月27日受付】



刊行物案内

更新用プレキャスト PC 床版技術指針

平成 28 年 3 月

定 価 8,000 円 / 送料 300 円

会員特価 6,000 円 / 送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会