

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24580356

研究課題名(和文) アルカリシリカ反応抵抗性を持つ機能性コンクリートの開発

研究課題名(英文) Development on Functional Concrete Resisted to Alkali Silica Reaction

研究代表者

佐藤 周之 (SATO, SHUSHI)

高知大学・教育研究部自然科学系・准教授

研究者番号：90403873

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、廃タイヤを利用したアルカリシリカ反応(ASR)抑制機能を有する機能性コンクリートの開発を目的とした。廃タイヤをチップ化し、粒形及び置換率を変えて混入したモルタルおよびコンクリートの力学的特性を評価し、強度特性の変化を把握した。モルタルバー法によるASR試験の結果から、混入率10%以上では、廃タイヤの置換率および粒形を変えて混入しても、膨張抑制効果を発揮せず、逆に無混入よりも大きな膨張特性を示した。この原因は、混入した廃タイヤの量が多かったこと、廃タイヤチップがモルタル中で脆弱部となった可能性が挙げられた。したがって、廃タイヤチップの混入量は連行空気量程度以下が望ましいと考えられた。

研究成果の概要(英文)：This research aims to develop the functional concrete using waste tire, which can restrict the Alkali Silica Reaction. Tipped the waste tire into small particles, variation of mechanical properties of mortar and concrete were evaluated with changing the particle sizes and replacement ratios. From the results of mortar bar test, one of the ASR test method, mortars including waste tire tips never showed the restriction effect of expansion due to ASR. Oppositely, expansion ratio of them were larger than that of non-contaminant specimen. This result indicated very important information about replacement ratio of waste tire tips that larger than 10% replacement ratio of waste tire tips generated the structural weak point in mortar matrix. It was estimated that replacement ratio of waste tire should be less than the volume of entrained air. Further experiment can be advanced based on the results above in the future.

研究分野：農業土木学

キーワード：アルカリシリカ反応 廃タイヤ モルタルバー法

## 1. 研究開始当初の背景

国内に無数に存在する農業水利施設において、近年、設計耐用年数を迎える施設数の増加に伴い、管理運営上の様々な問題が指摘されている。そのうち、技術的課題としては、既存施設の有効活用および長寿命化を目的としたストックマネジメントの導入には、適切な維持管理の実施と的確な調査診断により、各種施設の正確な機能診断・性能予測が求められる。また、長寿命化を図るための各種変状に適切に対応する対策工法の研究開発も不可欠である。

農業水利施設にも多用されるコンクリート材料で大きな問題となるのは、主として劣化により力学的性能が低下することにある。特に、劣化は一旦進行が始まると対策が極めて難しい種類のものがあり、コスト比較の結果として改築が選択されることもある。ここで、改めて振り返らなければならない点は、設計理論の変化である。近年のストックマネジメントの考え方の基本となる具体的方法論として導入が進められたのが**性能照査型設計**であるのに対して、現在更新の対象となっている構造物は全て**仕様照査型設計**が基本となっている。このことは、裏を返せば、全て同様の設計理論で農業水利コンクリート構造物を建造することで、コンクリートに生じる変状の空間的・年代的な特徴を把握することが可能である、ということである。さらに、一般にアルカリシリカ反応や凍害といった劣化に対する対策工法は存在するが、農業用コンクリート開水路に適用しようとしても、薄肉の部材が多いことや背面土の存在により水分の遮断が現実には不可能な場合もある。さらにアルカリシリカ反応の場合には、使用する骨材の反応性試験の実施で対策をとれる可能性はあるが、凍害などの供用環境条件に左右される場合には、使用するコンクリート材料そのものの改良がなければ早期の再劣化を生じることになる。

アルカリシリカ反応の特徴は、①内部からの膨張圧が増加することでセメントマトリックスが崩壊を始めること、②水の存在が劣化の進行に影響を及ぼすこと、そして、③一度劣化が進行を始めると抑制が困難であること、である。本研究では、上記①と②に注目をした。例えば膨張圧の発生を抑えるためには連行空気(AE)を利用することがセオリーであるが、多量の連行空気の導入は強度低下に加え、コンクリートの通水性を高める危険性がある。そこで、連行空気と同様にコンクリート内部で生じる膨張圧を吸収可能で、かつコンクリート中への水分の浸透を抑制することが可能な混和材を開発することができれば、アルカリシリカ反応に対する高い抵抗性を有する機能性コンクリート材料の開発に繋がると考えた。

注目した混和材は**廃タイヤ**である。廃タイヤは、世界的に見ても大量に排出される産業廃棄物であり、我が国でも年間約 90 万トン

程度が排出されている。リサイクル率は過去五年間安定しており、2010 年度で 91%である。主たる再利用方法は、サーマルリサイクル(62%)であり、マテリアルリサイクルは僅かに 16%に過ぎない。廃タイヤの熱変換率は、原材料の特性からも非常に高いため、熱利用が一つの有効な再利用法であるが、地球温暖化ガスの排出による環境負荷に変わりなく、さらに地域によってはサーマルリサイクルが十分に進まず、再利用先の確保が現実的に問題となっている。一方、マテリアルリサイクルに関しては、再生ゴム等の利用が主であるが、近年では滑り止め舗装用アスファルトへの利用や、粗骨材置換した衝撃吸収型コンクリートへの利用の研究なども進められている。また、世界的にみると廃タイヤに含まれるワイヤーおよびビニル繊維による補強効果に関する研究も進められている。

## 2. 研究の目的

本研究課題の目的は、コンクリートの劣化のうち、特にアルカリシリカ反応を対象とし、産業副産物である廃タイヤを利用した「アルカリシリカ反応抑制機能」に特化した機能性コンクリートの研究開発である。本劣化の特徴は、外的・内的要因が複合的に作用して誘引される骨材の膨張圧増加に伴う内部からの破壊である。本研究では、廃タイヤの有効利用という資源有効利用に資する一面を持つとともに、従来とは異なる廃タイヤの利用方法に関する実験的研究を進めることにより、進行抑制が困難な劣化の生じたコンクリート構造物への対策として、改築を行うための機能性コンクリート材料を開発することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 使用材料の物理的性質

本実験で使用した廃タイヤは、高知県内の廃タイヤリサイクル工場から入手したものであり、粉砕機により粒径を調整した。粒径 5mm 以下に調整した廃タイヤチップ(以下、WTC とする)を写真 1 に示す。廃タイヤの物性値として、密度は 1.05g/cm<sup>3</sup>、粗粒率は 4.03、粒度分布は図 1 のとおりである。

粒度分布から明らかなように、本実験に供した WTC は、一般的な細骨材と比較すると



写真 1 使用した廃タイヤチップ

粒度の大きいものが多い。これは、今回使用した粉砕機では、粒度の小さい廃タイヤを集めるのが困難だったためである。本研究では、粉砕作業の効率性を考慮し、標準粒度への粒度調整は行わず、上記粒度のまま実験に供した。

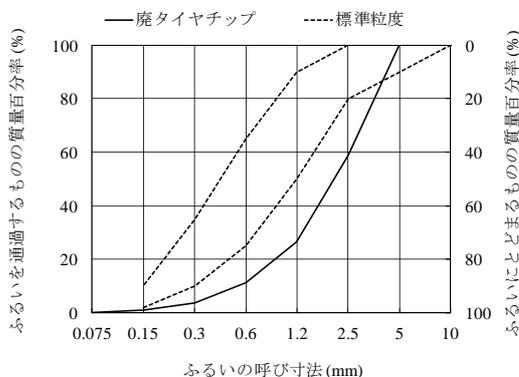


図1 廃タイヤチップの粒度分布

## (2) 実験方法

実験に使用するモルタルは、すべてセメントの物理試験方法 (JIS R 5201-1997) に準拠して W/C=50% で作製した。WTC 混入モルタルの ASR 抵抗性を評価するために、JIS A 1146 のモルタルバー法に準拠したアルカリシリカ反応性試験を実施した。反応性骨材として、既往の研究よりペシマム量が既知であるガラスカレット (粒径 3~5mm, 密度 2.4g/cm<sup>3</sup>) を使用した。ガラスカレットのペシマム量は、標準砂の質量に対して 80% (1350g) である。WTC は、ISO 標準砂に対して内割りで 5, 7.5, 10% となるように体積置換した。また、粒径の違いが ASR 抵抗性に及ぼす影響を検討するため、各置換率につき粒径が 5mm 均一、2.5mm 均一、1.2mm 均一の三水準を設定した。

## 4. 研究成果

### (1) フレッシュ状態の流動特性

WTC の混入がフレッシュモルタルの流動特性におよぼす影響を評価した。フレッシュモルタルのフロー値の測定結果を図 2 に示す。

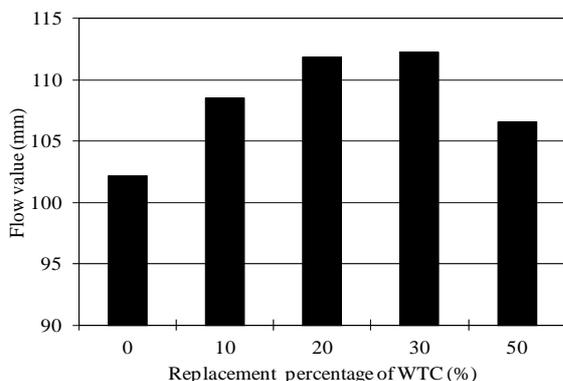


図2 フレッシュモルタルのフロー値

WTC 無混入 (Control) のモルタルのフロー値は 102mm であり、WTC 混入モルタルのフロー値はすべての置換率において 107~112mm の範囲内となった。つまり、本実験における WTC の粒径および設定した置換率の範囲内では、WTC をモルタルに混入した場合、流動性は増加することが確認できた。これは、WTC の疎水性ならびに撥水性に由来するものと考えられることから、WTC の置換率が増加するほど、セメントペーストと WTC の接着性、換言すれば複合材料としての一体化性が低下することが示唆された。

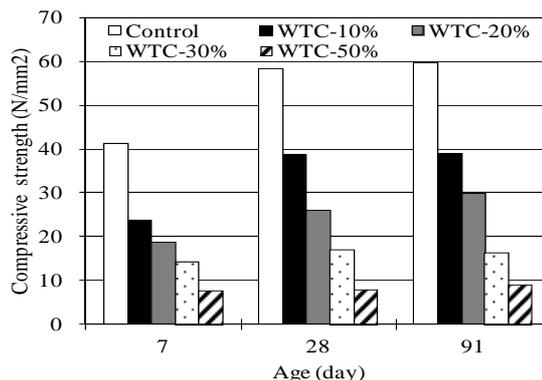


図3 各材齢における各種モルタルの圧縮強度

### (2) WTC 混入モルタルの力学的特性

すべての供試体の各材齢における圧縮強度を図 3 に示す。WTC の置換率が増加するほど、圧縮強度は低下することが確認できた。とくに置換率 30 および 50% の供試体においては、材齢 7 日と材齢 91 日の圧縮強度が同程度であることから、強度発現が非常に小さいことが分かった。この傾向については、曲げ強度も同様であった。したがって、WTC を混和材として使用するためには、設計対象とする構造物の要求性能に鑑みて、適切な粒度および混入量を検討する必要があると考えられた。

### (3) WTC 混入モルタルの ASR 抵抗特性

粒径 5mm 均一の WTC を混入したモルタルのアルカリシリカ反応性試験の結果を図 4、粒径 2.5mm 均一の結果を図 5、粒径 1.2mm 均一の結果を図 6 に示す。WTC 混入モルタルの膨張量は、すべての置換率において無混入のものよりも大きいことが分かる。粒径 2.5mm 均一および 1.2mm 均一の WTC を使用した試験結果についても同様の傾向を示したことから、WTC を混入すると、置換率ならびに粒径の違いに関わらず、モルタルの膨張量は大きくなることが分かった。つまり、本実験の結果からは、WTC の混入による ASR 抵抗性の向上効果は確認できなかった。

既往の研究より、WTC を混入したモルタ

ルの乾燥収縮量は、無混入のものより大きくなることが知られている。これは、WTC が一般的な骨材と比較して著しく弾性係数が小さく、セメントペーストの収縮挙動を拘束できないためとされる。この知見を本結果と照らし合わせると、WTC は ASR の進行に伴うセメントペーストの膨張挙動を拘束できなかったため、WTC 混入モルタルの膨張量は大きくなったと推察された。一方、わずかではあるが WTC の粒径が小さくなると膨張率が低下する傾向を示すことから、粒径を 1.2mm よりもさらに小さくし、混入率をさらに小さくした場合の膨張抑制効果について、継続して検討を進めているところである。

#### (4) WTC 混入モルタルの透水性

ASR の進展には外部からの水分の供給が必要であることから、ASR 抑制の効果的対策工法として、外部からの給水遮断という原理が利用される。廃タイヤは吸水性の小さい材料であるため、モルタルマトリックス部分に配置される WTC によって、モルタル部分の透水性・浸潤性を低下させると考えられた。そこで、低水圧領域における WTC 混入モルタルの透水試験を行った。対象としたモルタル供試体は、WTC1.2mm 均一で混入率が 10, 7.5, 5% のものである。その結果、7.5% のものが若干浸入深さは小さくなったが、無混入のコントロールと比較して浸潤線の深さに有意差は確認できなかった。そこで、加圧力を変えた浸透深さの変化に関する実験を現在も継続して進めているところである。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Yuki Hasegawa, Geoffrey E Mwangi, Shushi Sato, Shinsuke Matsumoto and Isamu Natsuka、Development of Mortar with Reduction Effect for Inner Expansion Pressure、Fifth International Conference on Construction Material、査読有、印刷中、2015
- ② Y. Hasegawa, M-K Choi, K. Yokoi and S. Sato、A study on Properties of Mortar Contained Waste Tire Chip、The 39<sup>th</sup> Conference on Our World in Concrete & Structures、査読有、Vol.1、2014、271-277
- ③ 内田美夏、高田龍一、野中資博、佐藤周之、廃ガラスを利用したコンクリート二次製品の開発に関する基礎的研究、セメント・コンクリート論文集、査読有、67 巻、2014、224-230

[学会発表] (計 4 件)

- ① 長谷川雄基、佐藤周之、横井克則、廃タイヤチップを利用した内部膨張圧緩和効

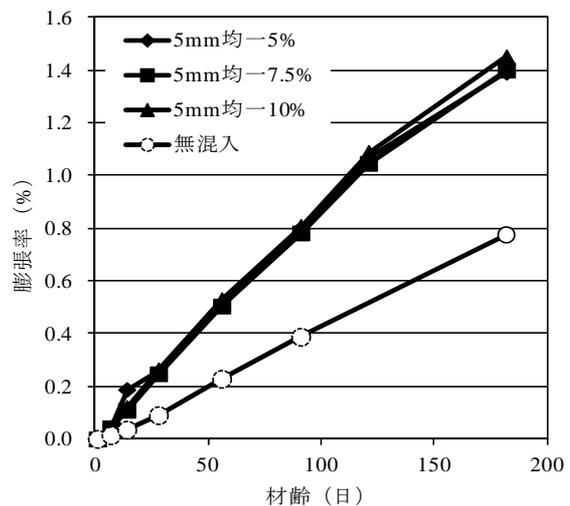


図 4 ASR 抵抗性 (WTC 粒径 5mm 均一)

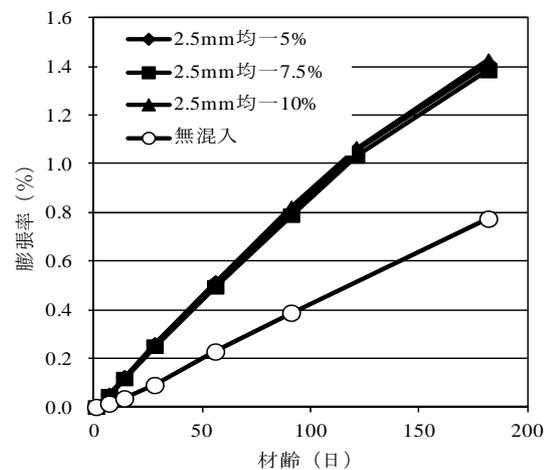


図 5 ASR 抵抗性 (WTC 粒径 2.5mm 均一)

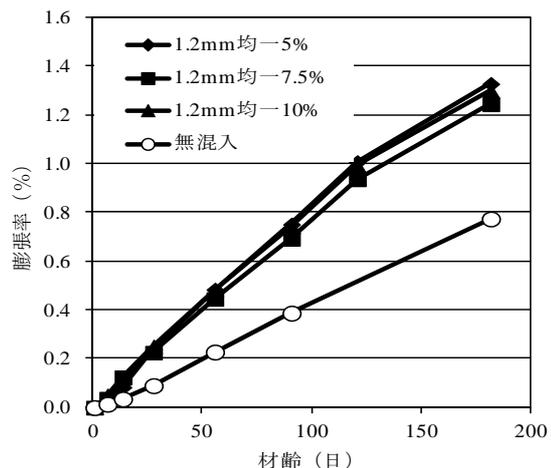


図 6 ASR 抵抗性 (WTC 粒径 1.2mm 均一)

果を有するモルタルの開発に関する基礎研究と今後の展開、第 69 回農業農村工学会中国四国支部講演会、平成 26 年 11 月 5 日、梨花ホール (鳥取県鳥取市)

- ② 長谷川雄基、佐藤周之、横井克則、廃タイヤチップ混入モルタルの諸特性に関す

る研究、第12回日本材料学会四国支部学術講演会、平成26年4月19日、徳島大学（徳島県徳島市）

- ③ Man-Kwon Choi, Yuki Hasegawa, Shushi Sato and Hyeon-Tae Kim、Experimental Study of Concrete and Mortar Mixing Waste Tire Rubber、3<sup>rd</sup> International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment、平成25年11月13-15日、三重鉄ニューグランドホテル（愛知県名古屋市）
- ④ 内田美夏、金岡弘記、長谷川雄基、佐藤周之、ASRが生じたモルタルの養生方法が力学的特性に及ぼす影響、平成25年度農業農村工学会大会講演会、平成25年9月3-5日、東京農業大学（東京都世田谷区）

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

佐藤 周之 (SATO, Shushi)  
高知大学・教育研究部自然科学系・准教授  
研究者番号：90403873

### (2)研究分担者

( )

研究者番号：

### (3)連携研究者

( )

研究者番号：

### (4)研究協力者

長谷川 雄基 (HASEGAWA, Yuki)