

令和元年6月21日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06448

研究課題名(和文) 廃酸を使用したコンクリート用骨材の回収システムの検討

研究課題名(英文) Examination of production system of recycled coarse aggregate using waste acid

研究代表者

栗原 哲彦 (KURIHARA, Norihiko)

東京都市大学・工学部・准教授

研究者番号：50262746

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、廃コンクリートを廃硫酸により溶解し、溶け残ったものが骨材であるとして、再生粗骨材の製造方法を検討した。その結果、以下の結論を得た。(1)5mm以上25mm以下の試験片を廃硫酸で溶解すると、溶解開始3日目までは反応が活発だが徐々に反応が穏やかになり、35日間で溶解が完了した。(2)35日間溶解することで、JISのH規格を満たす粗骨材を複数回収することが出来た。(3)再生粗骨材を用いた再生骨材コンクリートの圧縮強度は、リサイクルの回数が増えると若干低下するが、普通コンクリートとしては十分な強度を持っていた。(4)2サイクル目までは高品質の再生粗骨材を回収することが可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

廃コンクリート・廃硫酸は、いずれも産業廃棄物であり、所定の処理後廃棄が行われている。これらを組み合わせることで、有価物となる「再生骨材」を製造する仕組みを検討することは、廃棄物量を減じられるだけでなく、最終処分地の延命にもつながり、社会的意義が高い。

今回の研究では、普通強度の廃コンクリートと金属洗浄に使用された廃硫酸を使用した。廃硫酸により廃コンクリートを溶解し再生粗骨材を回収した。その物性値(密度、吸水率)はバージン材時とほぼ同等であった。これにより、一度使用した骨材を再度コンクリート用の材料として使用できることが分かった。資源の有効利用の観点からも学術的成果が高い成果である。

研究成果の概要(英文)：In this study, the method of manufacturing recycled coarse aggregate by dissolving waste concrete with waste sulfuric acid. As a result, the following results were obtained. (1) when a test piece of 5 mm or more and 25 mm or less was dissolved with waste sulfuric acid, the reaction was active until the third day after the dissolution started, but the reaction gradually became mild, and the dissolution was completed in 35 days. (2) by dissolving for 35 days, a recycled coarse aggregate of JIS H standard could be manufactured. (3) the compressive strength of the recycled aggregate concrete made using the recycled aggregate slightly decreases as the number of times of recycling increases, but it has sufficient strength as ordinary concrete. (4) it is possible to produce high quality recycled coarse aggregate up to the second cycle.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：廃硫酸 再生粗骨材 密度 吸水率 圧縮強度 成分調査

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

コンクリート用骨材は、川砂利・川砂の利用にはじまり、現在では碎石・砕砂などが利用されている。コンクリート用の碎石・砕砂は地山の発破掘削により採取していることから、将来必ず骨材資源の枯渇が問題化する。こうした中で、碎石・砕砂に代わる代替品として人工骨材（鉄鋼スラグ製品、再生骨材、人工軽量骨材など）が開発されている。

国土交通省の調査によると、平成20年度の建設廃棄物排出量は6,381万トンであったのに対し、平成24年度では7,269万トンと、13.9%増加している。しかし、再資源化が推進され、最終処分量は27.9%減少している。コンクリート塊の再資源化率は、平成17年度で98.1%、平成24年度で99.3%と着実に数値を高めてきている。一見、再利用率が高いように見えるが、コンクリート塊の多くは路盤材や埋戻し材に再利用されている。路盤材や埋戻し材の今後の需要増加は見込めず、いずれコンクリート塊の再利用率も低下すると予想される。そこですでに、コンクリート塊から再生骨材を製造し、再度コンクリートへ利用する取り組みが行われており、再生骨材のJIS化（JIS A 5002、JIS A 5021）も行われている。

こうした中、申請者は、コンクリートがアルカリ性であり、酸性溶液に浸漬すれば、骨材だけ溶け残る、これにより内部の骨材を全量回収できるのではないと思いついた。この着想をもとに、申請者は2009年度からコンクリートを酸性溶液で溶解させ、内部の骨材を取り出す研究に着手した。まずは、比較的取扱いが容易である乳酸を利用したコンクリートの溶解実験から開始した。2014年度は酸をギ酸（乳酸より安価）に変更し、溶解開始からの密度と吸水率を調査した。その結果、溶解開始から5日目において、回収した粗骨材の密度・吸水率は、それぞれ2.58g/cm<sup>3</sup>、1.97%となった。これはJIS規定のH規格品相当の高品質なものであった。これにより、酸溶解の手法により、JISのH規格相当の再生粗骨材を回収できることが分かった。

### 2. 研究の目的

これまでは、乳酸やギ酸を使用した研究を行ってきたが、酸の購入コストが発生しており、これが再生骨材の製造コストを増加させる原因となる。本研究では、廃棄処分される酸性溶液を使用し、再生骨材の製造コストの低減を目指すとともに、廃棄される酸によりコンクリートを溶解させられるかの検討から始める。その後、以下について実験により明らかにすることを目的とする。

- ・入手可能な廃酸の特定と、それによるコンクリートの溶解の可否
- ・再生骨材の複数回収と複数利用の可否

### 3. 研究の方法

#### (1) モルタル溶解における廃硫酸の最適量調査

国内で生産されている無機酸は硫酸が最も多く、年間消費量は約78万トンになる。そのため、本研究では廃酸として廃硫酸を用い、コンクリートが溶解可能であることの確認をするとともに、溶解における廃硫酸の最適量を調査した。

ガラス容器に廃硫酸を200g、400g、600gに分けて入れ、そこにモルタル片（約35g）を投入し溶解した。モルタルは表-1の示方配合に基づき粗骨材以外の材料を計量して作製した。廃硫酸は希釈およびろ過をせず廃棄された状態（pH=-0.02、比重1.14）のまま使用した。溶解に用いた廃硫酸の温度は28.4℃であった。溶解開始後は9日目までは3日おきに攪拌を行い、12日目以降は4日おきに箸でモルタル片の表面に付着した粉状の物質を落とす。16日間溶解した後、モルタル片の質量を電子はかりで測定した。

表-1 モルタルの配合

	Air (%)	単位量					
		kg/m <sup>3</sup>				cc/m <sup>3</sup>	
		W	C	S	G	Ad <sub>1</sub>	Ad <sub>2</sub>
モルタル	5	174	348	682	1029	3480	3480

W:水道水

C:早強ポルトランドセメント（密度：3.14g/cm<sup>3</sup>）

S:君津市 市産（表乾密度：2.46g/cm<sup>3</sup>）

G:奥多摩町産 硬質砂岩（表乾密度：2.65g/cm<sup>3</sup>）

Ad1:AE 減水剤（ポゾリス No.70, 25%水溶液）

Ad2:補助 AE 剤（マイクロエア 303A, 1%水溶液）

#### (2) 廃硫酸を用いた再生粗骨材回収実験

表-2の示方配合でW/C=50%円柱供試体（φ100×200mm）を15本作製し14日間の気中養生を行った。養生終了後、コンクリートの圧縮強度試験（JIS A 1108）を行った。圧縮強度試験後の供試体を金槌で破碎し、5mm~25mmの試験片を回収した。試験片はポリエステル製のネットに入れ、ろ過した廃硫酸の入ったプラスチック容器内で溶解した。溶解開始から30日間は3日に1回容器を振ることで攪拌した。30日目で溶け残ったコンクリート塊は廃硫酸を入れ替えたコンテナに移し、1日1回木製のへらで攪拌しながらさらに5日間溶解した。溶解後は粗骨材を

ネットごと回収し、不純物除去のため水で洗浄した。洗浄した粗骨材について表乾密度試験・絶乾密度試験・吸水率試験を行った。試験後、回収した粗骨材を用いて再度コンクリートを作製した。粗骨材以外は新しい材料を使用した。2回目の溶解では容器内にかごを設置し、溶解層と析出物が堆積する沈殿層に分かれるようにして溶解した。

表-2 コンクリートの配合

	W kg/m <sup>3</sup>	C kg/m <sup>3</sup>	S kg/m <sup>3</sup>	G kg/m <sup>3</sup>	Ad1 cc/m <sup>3</sup>	Ad2 cc/m <sup>3</sup>
バージン材				1011		
1サイクル目	179	358	686	984	3577	3577
2サイクル目				984		

W:水道水

C:早強ポルトランドセメント (密度: 3.14g/cm<sup>3</sup>)

S:君津市 市宿産 (表乾密度: 2.46g/cm<sup>3</sup>)

G:バージン: 奥多摩町産 硬質砂岩 (表乾密度: 2.68g/cm<sup>3</sup>, Ca含有率10%)

1サイクル目: (表乾密度: 2.60g/cm<sup>3</sup>)

2サイクル目: (表乾密度: 2.60g/cm<sup>3</sup>)

Ad1:AE 減水剤 (ポゾリス No.70, 25%水溶液)

Ad2:補助 AE 剤 (マイクロエア 303A, 1%水溶液)

#### 4. 研究成果

##### (1) モルタル溶解における廃硫酸の最適濃度調査

溶解開始から14日目までの各試験体の様子を写真-1に示す。溶解開始直後はごく少量の気泡が発生した。溶解が進むとモルタル表面に白い粉末状の物質が発生し容器の底に沈殿した。10日目以降は廃硫酸200gの試験体における溶解速度が遅くなり、溶液にも白色の濁りが見られた。溶解後のモルタル表面は粗くなっており、溶解前よりも白かった。

また、各試験体のモルタルの溶解前後のモルタル片質量とその質量減少率を表-2に示す。400gと600gにおいてどちらも質量減少率が約70%であった。溶解終了時における各試験体の溶液のpHと溶液温度を表-3に示す。溶液温度は液量に関わらずほぼ同値であったが、pHは廃硫酸の量が少ない試験体ほど値が大きく、特に200gの試験体では原液に対して+0.78の差が出た。pHの値と質量減少率から、硫酸量が多い方がpH変化は小さく質量変化も大きい。廃硫酸が400g以上となると溶液量に関わらず溶解量は一定であるといえる。以上の結果より、モルタル溶解に最適な廃硫酸の量は400gであると考えられる。

200gの試験体において溶解速度が遅ったのは、廃硫酸中の硫酸イオンがセメントと反応し減少したことが原因と考えられる。また、400gと600gの質量減少率がほぼ等しいことから、同じ濃度の廃硫酸を使用する場合、溶液量は一定以上になると溶解速度に影響しないと考えられる。

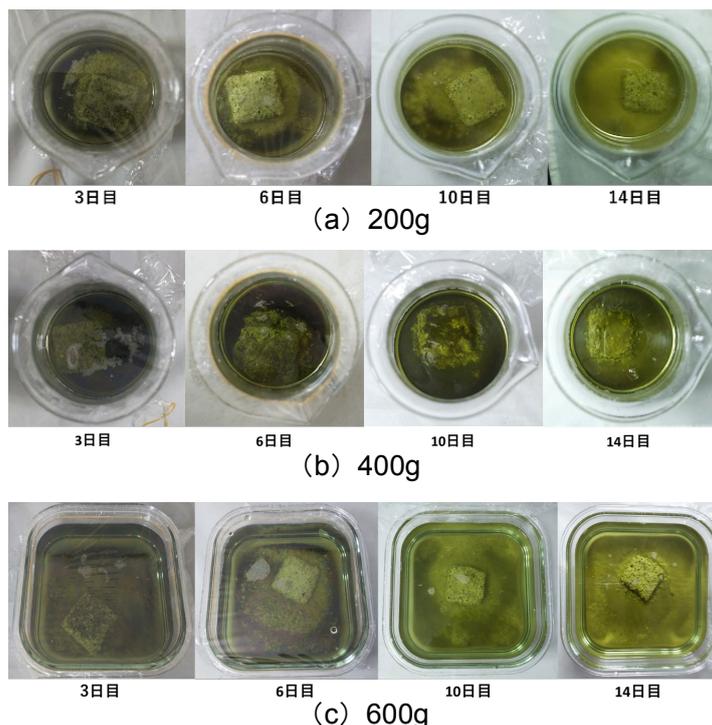


写真-1 溶解時の様子

表-3 試験体の質量と質量減少率

試験体	200g			400g			600g		
	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
廃硫酸(g)	200.11	200.74	200.26	400.84	400.40	400.21	600.13	600.36	600.78
溶解前モルタル(g)	35.25	34.66	34.70	35.24	34.93	34.92	35.12	35.30	35.31
溶解後モルタル(g)	17.71	17.43	15.93	10.95	9.82	10.99	9.87	10.65	10.37
質量減少率(%)	49.8	49.7	54.1	68.9	71.9	68.5	71.9	69.8	70.6

表-4 溶解後の廃液の pH と温度

試験体	200g			400g			600g		
	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
pH	0.77	0.75	0.76	0.35	0.42	0.37	0.22	0.22	0.21
温度(°C)	28.1	28.0	28.0	28.1	28.1	28.1	27.9	27.9	27.9

(2) 廃硫酸を用いた再生粗骨材回収実験

① 溶解中のコンクリートおよび粗骨材の様子

骨材が溶液に触れた瞬間に細かい気泡が現れ、反応が始まった。溶解時に白い粉末状の物質（硫酸カルシウム）が析出し、コンクリート片のセメント部分は白くなり表面が硬くなっていた。溶解 30 日目にはモルタルの外側に骨材が付着した塊が溶け残った（写真-2）。35 日目に溶解を終了し回収した粗骨材に多少の付着モルタルが見られた（写真-3）。1 サイクル目では析出した硫酸カルシウムが容器の底に堆積し、溶解中のコンクリート片が埋もれていた。これによりコンクリートと廃硫酸の接触面が覆われ、反応が遅くなったことで長期の溶解となったと考えられる。2 サイクル目の溶解では容器内にかごを設置した結果、30 日目には写真-2 のような塊と、骨材表面に溶け切っていないモルタルが見られた。2 サイクル目の溶解時期が冬であり、溶液中の温度が 13.3°C と低かったため反応が遅く、溶解完了まで 42 日かかった。



写真-2 溶解 30 日目のコンクリート片



(a) バージン材のコンクリート片

(b) 溶解後の再生粗骨材

(1 サイクル目)



(c) 1 サイクル目のコンクリート片

(d) 溶解後の再生粗骨材

(2 サイクル目)

写真-3 各サイクルにおける溶解完了後の再生粗骨材

## ② 再生骨材コンクリートの強度試験結果

圧縮試験結果を**表-5**に示す。1 サイクル目に作製した供試体はバージン材を使用した場合と同等の圧縮強度であった。2 サイクル目はバージン材に対し圧縮強度が 7%低下した。また、試験後に供試体を破碎した際、バージン材を破碎した時と比べ、コンクリートと骨材の付着が弱くなっている印象を受けた。これは、溶解時に骨材内部への酸溶液の浸透が起こり、残存していた酸溶液が再生コンクリート製造後に骨材表面部に浸出し、骨材とモルタルの付着を弱めたと考えられるが、本研究ではそこまでの確認はできなかった。

表-5 圧縮強度試験結果

	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
28日養生	36.6
バージン材	34.7
1サイクル目	35.6
2サイクル目	32.3

## ③ 回収された再生粗骨材の物性

各サイクルにおける粗骨材の吸水率、表乾密度、絶乾密度を**表-6**に示す。バージン材に対し再生粗骨材では表乾密度および絶乾密度どちらも約 3%減少した。吸水率はバージン材に対し 1 サイクル目は 1.45 倍、2 サイクル目は 1.94 倍であった。品質低下の原因は、再生粗骨材の表面に付着したセメントペーストが水分を吸収したためと考えられる。また使用した骨材の含有カルシウムは 10%とやや多く、繰り返し酸に浸したことで反応し、骨材自体が劣化していた可能

性もある。絶乾密度と吸水率の関係を図-1に示す。1、2サイクル目で回収した再生粗骨材は品質低下が見られたが、いずれも絶乾密度  $2.5\text{g/cm}^3$  以上、吸水率 3%以下の再生骨材規格 H (JIS A 5021) を満たした。

以上より、廃硫酸を用いてコンクリートを溶解することにより、内部の粗骨材を回収できることを示した。また、その回収が複数回可能であることを示した。

表-6 粗骨材の物性試験結果

	吸水率 (%)	密度試験	
		表乾密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	絶乾密度 ( $\text{g/cm}^3$ )
再生骨材規格H	3.0以下	2.5以上	2.5以上
バージン材	0.86	2.68	2.64
1サイクル目	1.25	2.60	2.56
2サイクル目	1.68	2.60	2.56

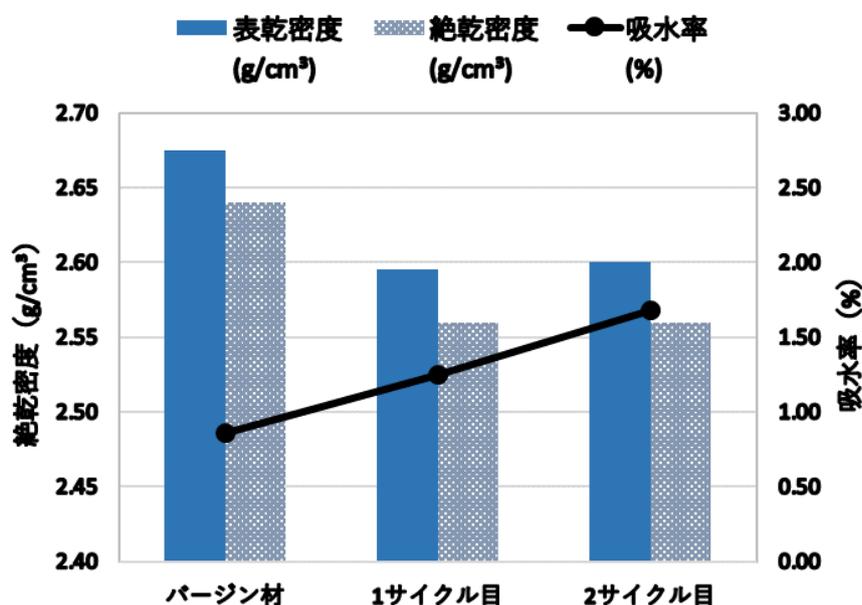


図-1 骨材物性の変化

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 2件)

- ① 南梨佳、神山健太、栗原哲彦：廃硫酸溶解にて回収された再生粗骨材の複数回利用、第46回土木学会関東支部技術研究発表会、2019
- ② 神山健太、南梨佳、栗原哲彦：コンクリート溶解後の廃硫酸廃液からの成分分離実験、第46回土木学会関東支部技術研究発表会、2019

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。