

## 砕石副産物の有効活用を目指した多面的検討

### Multifaceted Approach for Effective Utilization of By-product from Crushed Stone Quarry

○鈴木麻里子\* 松家武樹\*\* 井上一哉\*

Mariko SUZUKI, Takeju MATSUKA and Kazuya INOUE

#### 1. はじめに

コンクリート骨材や路盤材などを製造する際、砕石工場からは副産物として‘砕石粉(図1)’や‘砕石脱水ケーキ(図2)’が排出される。砕石副産物は、原石の約10%、砕石生産量の約2%、年間約3,000万t発生すると報告されている<sup>1),2)</sup>。砕石、砕砂がコンクリート用骨材として利用されるようになった昭和40年頃から、砕石副産物を再利用しようとする動きはあるものの、大部分が廃棄されている現状である。そこで本研究では、砕石副産物を有効活用するために、コンクリート工学、地盤工学など分野を超えて様々な検討を行った。尚、本稿の一部は既に発表済みである<sup>3),4),5)</sup>。

#### 2. 砕石粉に関する検討

##### 2.1 概要

砕石粉とは乾式で砕石、砕砂を製造する際に副産される150 $\mu\text{m}$ 以下の石粉である。これまで砕石粉をコンクリート用混和材として利用する研究が実施されたものの、優位性や性能の向上などは確認されなかった。また、JIS A 5005では、コンクリート骨材の微粒分量の最大値を砕石では3%、砕砂では9%と規定されており、砕石粉の積極的な再利用が困難な状況である。本研究では、比表面積によって分級された3種類の砕石粉(A, B, C)と乾式砕砂(DS)、湿式砕砂(WS)を組み合わせたモルタルやコンクリートの諸特性を比較し、砕石粉の有効活用の糸口を見出すことを目的とした。

##### 2.2 モルタルの流動性比較

本実験におけるモルタルの流動性は、テーブルフロー試験により明らかにした。図3より、細骨材の種類に関係なく、砕石粉含有率の増加とともにフロー値の減少が確認された。特に、比表面積の大きい砕石粉C(比表面積22,337 $\text{cm}^2/\text{cm}^3$ )を添加した場合に顕著であった。この結果は、主に砕石粉の粒子が集合することで粒子間に拘束水が発生し、流動性に寄与する水量を減少させたものと考えられる。現状JISにより砕砂の微粒分量の最大値は一律9%と定められているが、砕石粉の比表面積を限定することで、その上限値を大きくできる可能性が示唆された。



図1 砕石粉



図2 砕石脱水ケーキ

Crushed stone powder Dehydrated Cake Discharged from Crushed Stone Quarry

##### 2.3 コンクリートの性状比較

フレッシュコンクリートでは、スランプ試験(JIS A 1101)、空気量試験(JIS A 1128)、凝結試験(JIS A 1147)およびブリーディング試験(JIS A 1123)を実施した。硬化コンクリートでは、圧縮強度試験(JIS A 1108)、割裂引張強度試験(JIS A 1113)および静弾性係数試験(JIS A 1149)を実施した。

その結果、砕石粉の混入率の増加はコンクリートの単位水量を増大させるが、ブリーディング抑制の観点から適切な量の砕石粉は必要であることが分かった。また、砕石粉を

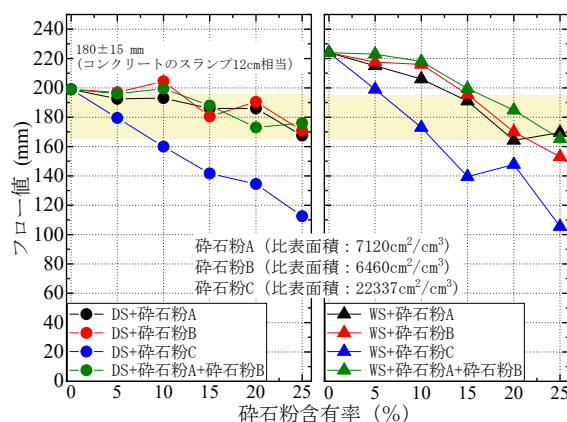


図3 モルタルフローの比較

Comparison of flow value of mortar

\*神戸大学大学院農学研究科 (Graduate School of Agricultural Science, Kobe University), \*\*熊本高等専門学校建築社会デザイン工学科 (National Institute of Technology (KOSEN), Kumamoto College)

キーワード: リサイクル, 建設残土・廃棄物, コンクリート材料

用いたコンクリートの割裂引張強度および弾性係数(図4)は、示方書式から算出される値より概ね大きな値となった。

### 3. 碎石脱水ケーキに関する検討

#### 3.1 概要

本研究で対象とした碎石脱水ケーキは近畿地方に広く分布し、堆積岩に分類される硬質砂岩から成る。碎石脱水ケーキは、砕砂製造時の洗い工程で発生する濁水に凝集剤を加え、0.7 MPaで60分間フィルタープレスにて脱水され排出される。碎石脱水ケーキの諸特性を明らかにするために各種実験を実施した。また同工場内から産出される碎石ダストや乾式砕砂の添加による改良効果についても検討した。

#### 3.2 基本特性

碎石脱水ケーキの物理特性を明らかにするために、土粒子密度試験(JIS A 1202)、粒度試験(JIS A 1204)、液性塑性限界試験(JIS A 1205)、締固め試験(JIS A 1210)など各種土質試験を実施した。碎石脱水ケーキの外観や粒度分布、透水係数などは、一般的な土工用粘土と類似していた。一方、図5に示すように碎石脱水ケーキの締固め特性は、粘性土に比べ最適含水比が低く、乾燥密度の最大値が明確であり、砂質土に近い特徴を有していた。碎石脱水ケーキは、人工的に粉碎された岩石由来の細粒分の集合体である。ゆえに、一般的な薄片状の粘土鉱物の粒子とは異なる挙動を示したと考えられる。

#### 3.3 力学特性

碎石脱水ケーキの一軸圧縮強度は、含水比を低下させることで著しい増加を見込めることが明らかとなった(図6)。碎石ダストや乾式砕砂は、乾燥材料かつ粗粒材料であるため、碎石脱水ケーキに添加することで含水比低下や粒度改善に繋がることが分かった。圧密非排水条件で実施した三軸圧縮試験からは、 $c' = 12.0 \text{ kN/m}^2$ 、 $\phi = 33.3^\circ$ が得られ、せん断強度の大半を粘着力が占める一般的な粘性土と大きく異なる強度定数を示した。

### 4. まとめ

本研究では、碎石副産物の有効活用を目指し様々な検討を行った。碎石粉は比表面積を限定することで利用量の増加を見込めることが分かった。碎石脱水ケーキは、粘性土や砂質土を併せた性質を有する特異な材料であり、適用先を見据えた検討が必要である。

【参考文献】1)佐藤道生ら(2002): 湿式にて捕集した碎石スラッジの混和材としての特性, コンクリート工学年次論文集, 24(1), 1335-1340. 2)本居貴利ら(2015): 湿式にて捕集した碎石スラッジの混和材としての特性, コンクリート工学年次論文集, 37(1), 1909-1914. 3)鈴木麻里子ら(2019): 比表面積の異なる碎石粉が砕砂モルタルの流動性に及ぼす影響, 農業農村工学論文集, 87(2), I\_143-I\_148. 4)松家武樹ら(2020): 碎石粉の比表面積および混入率がコンクリートの諸特性に及ぼす影響, 骨材資源, 51(204), 173-179. 5)鈴木麻里子ら(2020): 碎石脱水ケーキの物理特性と力学挙動に関する一考察, 農業農村工学会論文集, 88(2), 1\_179-1\_184.

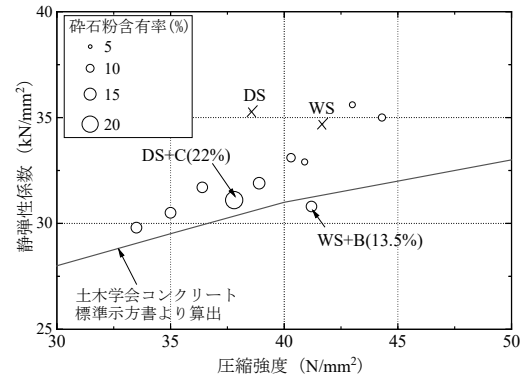


図4 圧縮強度と静弾性係数関係  
Relationships between compressive strength and static modulus of elasticity

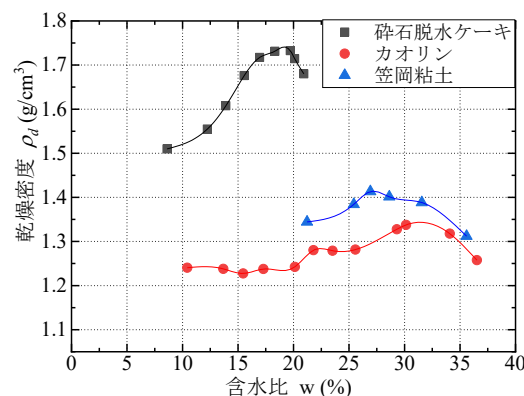


図5 碎石脱水ケーキの締固め曲線  
Compaction test results

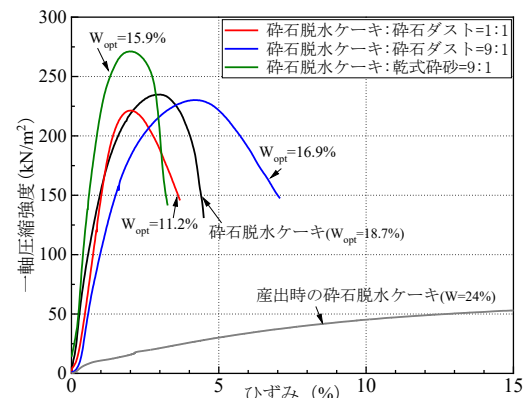


図6 碎石脱水ケーキの一軸圧縮強度  
Compressive strength