

再生路盤材としての破碎コンクリートの力学・環境性能

防衛大学校 学生会員 ○藤永潤樹

防衛大学校 正会員 平川大貴 宮田喜壽

1. はじめに：循環型経済社会の実現に向けて，破碎コンクリートの有効的な利用方法が模索されている．破碎コンクリートを地盤材料として用いる場合，施工時に適度に加水することによって未水和のセメントによる再固化が期待できる一方で，六価クロムの溶出という環境問題が生じる可能性もある．本研究では破碎コンクリートの活用方法を検討することを目的に，まずその工学的性質を調べた．

2. 破碎コンクリートの物理・化学特性：破碎コンクリートは現状では路盤材としての利用が多い．本研究で用いた破碎コンクリートも再生路盤材として市販されている材料である．原粒度は粒径40 mm 以下で粒度調整(RC-40)されていたが，以降に示す突固めによる土の締固め試験(JIA A 1210, A-b 法，以下，突固め試験と表記)や三軸圧縮試験，アスファルト(As)舗装模型の室内移動載荷試験を行うために最大粒径 $D_{max}=19.0\text{ mm}$ のせん頭粒度に再調整して用いた(図-1)．図-1 中には切断した粒子の写真もあわせて示した．

粗骨材には石灰岩碎石が用いられており，粗骨材の周囲にモルタルが付着している(図-1 中の写真)．粒子切断面のモルタル表面に対して，電子顕微鏡観察で得られた反射電子像を図-2 に示す．図-2 より，破碎コンクリート中心部のモルタルには，未水和のセメント粒子が存在していることが確認できる．粗骨材の周囲に付着しているモルタルは突き固め時に剥離・粉砕されやすい．また，図-1 には比較のため自然含水比 $w_n=6.9\%$ での突き固め試験後に得られた粒度の変化も示した．突固めによって粗骨材に付着していたモルタルが粉砕する結果，礫分が減少し，砂分は増加する．この砂分には未水和のセメントが微量に含まれているため，適度に加水を行うことで水和反応の発現が期待できる．

一方，コンクリートには微量ながらクロムが含まれるため，破碎コンクリート粒子の保水性能を越えて加水すると六価クロムの溶出による環境問題が生じる可能性がある．本研究で用いた破碎コンクリートにおいて環境庁告示第46号に従って六価クロムの溶出量を調べたところ， 0.08 mg/l ($>$ 環境基準 $=0.05\text{ mg/l}$)の溶出量があった．粉砕したモルタルにおいても同様に調べたところ 0.15 mg/l と溶出量は増加した．これらの結果から，破碎コンクリートを建設材料に活用するためには，六価クロムを溶出させず，セメント水和反応が発揮されるような含水管理を行う必要があることが確認された．

3. 実験結果および考察：本研究では，突き固め試験を実施して保水可能な含水比を調べ，この含水状態で有効なセメント水和反応が生じ得るのかについて三軸圧縮試験と As 舗装模型の室内移動載荷試験により調べた．図-3 に突き固め試験結果を示す．図-3 の結果は Proctor が示した特性曲線と等価であり， $\rho_d \sim w \sim$ 硬度計により算出した突固めキーワード 破碎コンクリート，リサイクル，環境基準，セメント水和反応

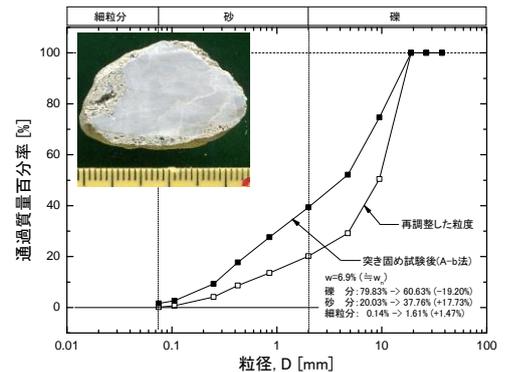


図-1 使用した破碎コンクリートの粒度分布と粒子切断面の状況

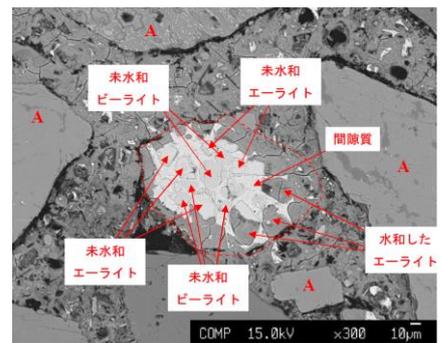


図-2 モルタルの反射電子像

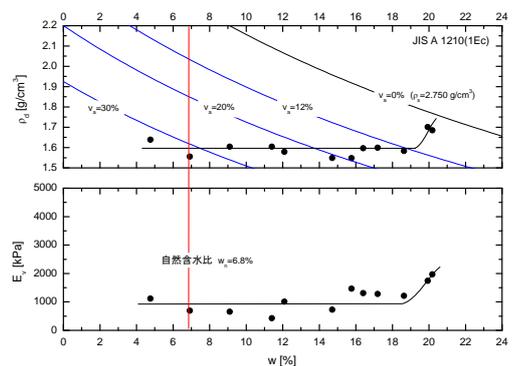


図-3 突固め試験結果(Proctor の特性曲線)

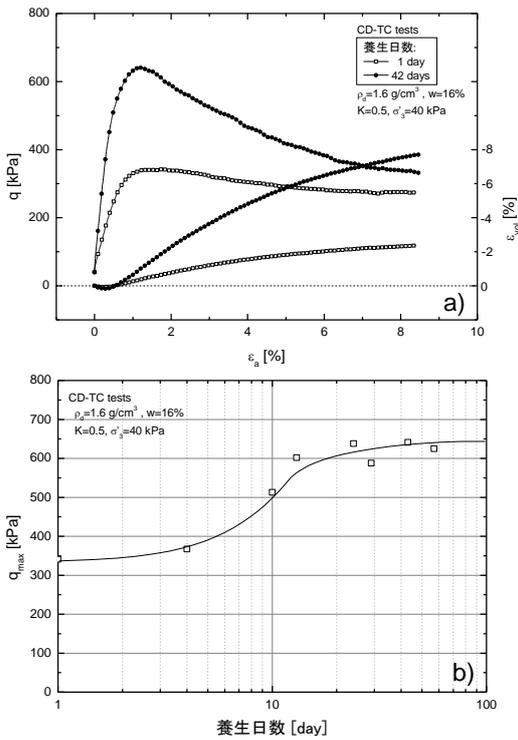


図-4 三軸圧縮試験結果；a) 強度変形特性の養生効果の例，b) q_{max} ～養生日数の関係

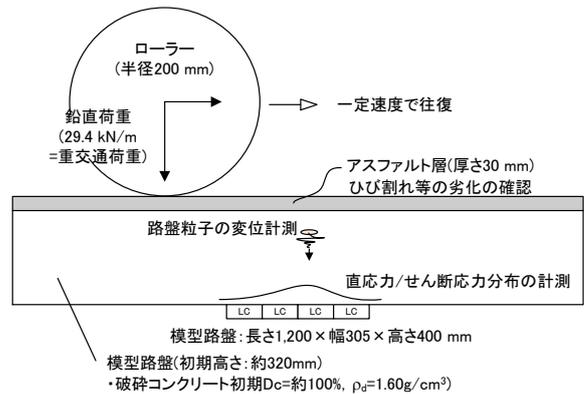


図-5 As 舗装の室内移動載荷試験の概要

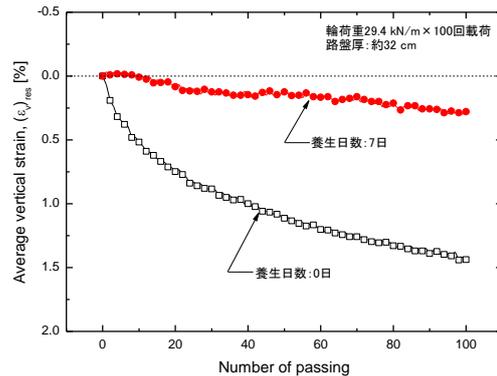


図-6 As 舗装の室内移動載荷試験結果；平均 $(\epsilon_v)_{res}$ に及ぼす養生の効果

め供試体の硬さ E_v の関係である。 E_v は突固め時での含水状態のまま、不飽和状態に対して山中式土壌硬度計により算出した。本研究で用いた破碎コンクリートは、 w の増加に対して明瞭な ρ_d と E_v の増加は得られにくいという特徴的な挙動を示した。 $w=20\%$ 程度まで加水すると突固めに対して ρ_d は若干増加するが、 $w=18\%$ 程度以上の含水状態では間隙水の流出が見られた。これより、六価クロムの溶出をpushしつつ、セメント水和反応の発現を期待する含水状態として、本研究では $w=16\%$ の含水状態を設定した。この含水状態において、三軸試験および舗装模型試験いずれにおいても間隙水の流出は確認されていない。

三軸圧縮試験結果を図-4に示す。三軸供試体は $w=16\%$ 、 $\rho_d=1.60 \text{ g/cm}^3$ となるようにプラモールド内で突き固め、室内で養生した。所定の期間養生させた後に三軸セル内に設置して飽和化させ、 $K=0.5$ 、 $\sigma_3=40 \text{ kPa}$ の拘束圧条件で排水せん断した。図-4より養生日数 20 日程度まで水和反応が生じ、 q_{max} が倍増することが分かる。

また、現状での破碎コンクリートの適用先は路盤であることを考慮し、破碎コンクリート路盤を有するAs舗装の室内移動載荷試験¹⁾(図-5)を実施した。模型路盤の (w, ρ_d) 条件は三軸試験に等しい。養生日数 0 日と 7 日の 2 ケースに対してそれぞれ 29.4 kN/m の輪荷重を計 100 回与え、路盤に生じる残留鉛直ひずみ $(\epsilon_v)_{res}$ を比較した。図-6に養生による路盤の平均 $(\epsilon_v)_{res}$ の比較を示す。適度に加水することによって未水和のセメントの水和反応が発生して強固な路盤を構築できる結果、輪荷重によって生じる路盤の平均 $(\epsilon_v)_{res}$ も減少させることができる。この $(\epsilon_v)_{res}$ 値は、安山岩の粒度調整砕石を用いた路盤での結果¹⁾と比べても小さい。以上より、破碎コンクリートは含水管理を行うことで環境問題を最小化しつつ、強固な土構造物を構築できる地盤材料であると考えられる。

4. まとめ：破碎コンクリートの有効利用に向けて、その工学的性質を調べた。この結果、六価クロムの溶出を抑制しつつ、未水和のセメントによる固化の発現を両立する含水状態を設定することによって、破碎コンクリートは安定的な土構造物を構築できる材料であると考えられる。

謝辞：本研究は科学研究費補助金(課題番号：25420513)による成果である。六価クロムの溶出試験は、末次大輔先生(佐賀大学)のご指導を受けた。ここに明記し、関係各位に謝意を表す。

参考文献：1)松木ら，路盤の短繊維・ジオグリッド補強によるアスファルト舗装の残留変形の抑制，第41回土木学会関東支部技術研究発表会概要集(DVD-Rom)，III-34，2014。