

原コンクリートの供用条件が破碎コンクリートの固化特性に及ぼす影響

中央大学 学生会員 ○北村 海
 中央大学 非会員 石井 祐宇
 中央大学 正会員 平川 大貴

1. はじめに

破碎コンクリートは建設副産物のうち最も排出量が多い材料である。現状ではその用途は再生路盤材に限定されているが、締固め後でも軽量で力学的にも優れた特性^{1)~2)}を有しており、地盤材料としての利用方法の拡大が期待できる。破碎コンクリート粒子に付着しているセメントペーストの内部には未水和のセメント粒子が含まれ³⁾、粒状体として扱う場合には施工時に適度に加水することによって再固化が生じる²⁾ことが多い。しかし、原コンクリートが長期間浸水状態である場合、未水和セメント粒子がなくなる結果、加水・締固めによっても再固化は生じないと予測される。しかし、固化現象に及ぼす原コンクリートの供用条件の影響は現状では不明瞭である。そこで本研究では、長期間浸水状態にあった原コンクリートを用いた破碎コンクリートを用い、破碎コンクリートの固化特性に及ぼす影響を実験的に調べた。

2. 使用材料

本研究で用いた破碎コンクリートは、基礎構造物として昭和初期(1930年代)に施工された原コンクリートを粉碎～粒度調整(RC-40)されたものである。この基礎構造物は埋立地に構築されていた。設置位置の地盤状況を確認したところ、地下水面は地表面付近と高く、2015年の撤去まで原コンクリートは長期にわたって浸水状態にあった。粉碎後の破碎コンクリートに付着しているペーストに対して得られた反射電子像を図-1に示す。反射電子像は電子顕微鏡観察時に試料から反射される電子を検出・画像化したものであり、セメントペーストにおいては明暗を基に組織の緻密さや物質の形状を評価できる。ペースト内に未水和のクリンカー(セメント粒子)が存在している場合は明るい領域として表示される。図-1よりエーライト・ビーライト(クリンカー)が確認できるものの、水和した状態にあることが分かる。通常、フレッシュコンクリートの固化過程ではセメント粒子は水和物、さらに緻密化した構造に変化していく。しかし、図-1で確認できるビーライトはその形状を保持しており、水和反応を伴わないでゆっくりと飽和したことを示している。すなわち、飽和の原因は地下水であり、原コンクリートの打設後に長期にわたってコンクリート内部に浸水したと考えられる。このような原コンクリートの浸水状況は、六価クロムの溶出試験での状況からも推測可能であった。環境庁告示第46号法により検液を作成したところ、検液は茶色に変色した。原コンクリートの基礎構造物は関東ロームで埋め立てられており、ペーストの微細構造の中にローム粒子が地下水とともに浸透し、それが振とう時に溶出したものと考えられる。したがって、本研究で用いた破碎コンクリートでは未水和のセメント粒子はほぼ残存しておらず、破碎後に再度加水してもセメント固化は生じないことになる。この様はセメント固化の有無は力学的物性の大きな差となるため、破碎コンクリートを地盤材料として活用するためには材料の履歴を把握することが望ましいと考えられる。

原粒度はRC-40であるが、以降に示す「突固めによる土の締固め試験(JIS A 1210, A-b法:以下,突固め試験)」および三軸圧縮試験(供試体寸法 $\phi 100 \times$ 高さ 200 mm)を実施するために最大粒径 $D_{max}=19.0$ mmのせん頭粒度に再調整した(図-2)。本研究で使用した破碎コンクリートは粉碎・粒度調整だけなされたものであり、ペーストを削除するような研磨はなされていないため、粒子は角張った形状をしている。また、ペーストの安定度は地盤材料としての力学的安定性に寄与する。乾湿繰り返しを4回実施して調べたが、本研究で使用した破碎コンクリートにおいては有意なスレーキング特性は生じない。

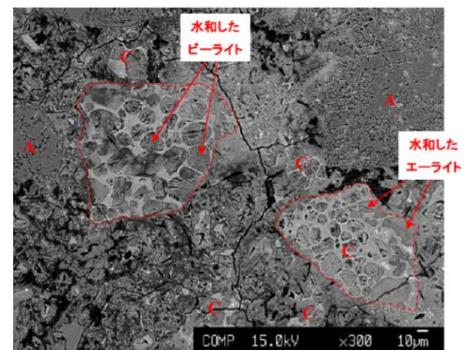


図-1 ペースト部の反射電子像

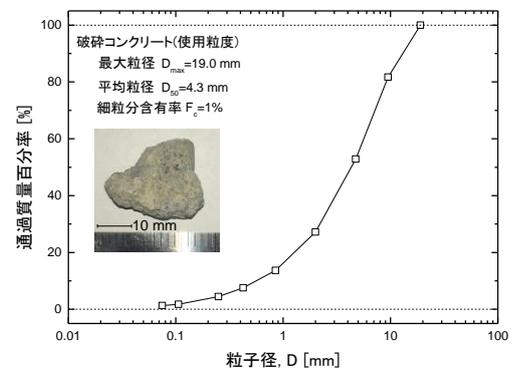


図-2 使用粒度と粒子形状

キーワード 破碎コンクリート, セメント固化, 供用条件, 強度変形特性

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科 Tel 03-3817-1799

3. 三軸供試体の作成条件

破碎コンクリートのような礫質土を地盤材料では通常、土の締固めの行程を伴う。この場合、締固めエネルギー E_c の規定とともに締固め管理値(w, ρ_d)が設定される。破碎コンクリートのペーストには少なからず六価クロムが含まれるため、粒子の保水性能を超えて加水すると六価クロムを伴った土中水が流出する可能性がある。本研究で使用した破碎コンクリートの六価クロム溶出量(ジフェニルカルバジド吸光光度法による測定)は 0.02 mg/l (<環境基準値: 0.05 mg/l)と微量であったが、破碎コンクリートの共通的な締固め管理方法²⁾を確立するために粒子の保水性能を考慮して(w, ρ_d)条件を定めた。基準エネルギーは標準的な土工を想定し、 $1E_c$ とした。図-3に突固め試験結果を示す。本研究で用いた破碎コンクリートでは $w=9\%$ 程度で土中水の流出が見られた。これより、六価クロム溶出量の溶出を最小化するため $w=8\%$ 、この時に取り得る ρ_d 値として 1.65 g/cm^3 を施工管理値に設定した。この施工管理値となるように突固め法によってプラモールドを用いて三軸供試体を作成し、乾燥を防ぐように密封した状態で所定の時間養生した。

4. 締め固めた破碎コンクリートの力学特性

破碎コンクリートの強度変形特性に及ぼす原コンクリートの供用条件(浸水の有無の影響)は、三軸圧縮試験で調べた。土粒子の骨格構造の強さとその経時変化に着目するため、全ての供試体は飽和化した。本試料は自立性が低いため、供試体は凍結させてからプラモールドから脱型して三軸セルに設置した。三軸試験中での供試体の変形を理想状態に近づけるように、ラテックスメンブレン(0.3 mm厚)と高真空グリース(50 μm)による摩擦軽減層を供試体上下面に配置した。水平地盤を想定して初期側圧係数 $K(=\sigma_3/\sigma_1)=0.5, \sigma_3=40 \text{ kPa}$ で圧密後、排水条件で軸圧縮した。図-4に三軸圧縮試験で得られた偏差応力 q ~軸ひずみ ϵ_a ~体積ひずみ ϵ_{vol} 関係(図-4a)、および最大偏差応力 q_{max} ~養生日数の関係(図-4b)を示す。図-4aは養生1日と100日での $q \sim \epsilon_a \sim \epsilon_{vol}$ 関係を比較した結果である。破碎コンクリート粒子に付着しているセメントペースト内に未水和のセメント粒子があれば、締固め時に加水したことによって少なからずセメント固化挙動が生じ、強度変形特性も変化していく²⁾。しかし、本研究で検討した破碎コンクリートでは、締固め時に加水してもセメント固化反応は生じない(図-4b)。この結果は、破碎コンクリートを地盤材料として活用していくためには粉碎前の原コンクリートの供用状態を把握・選別することが必要であることを示している。

一方、図-4の結果は、固化反応が生じなくても破碎コンクリートは有益な地盤材料であることも同時に示している。 $1E_c$ での締固めに対して実現する ρ_d 値は 1.65 g/cm^3 と軽量であるのに対して、三軸応力状態(CD条件)での最大主応力比 $R_{max}(=(\sigma_1)_{max}/\sigma_3)$ は9とそれなりに高く、また著しい正のダイレタンス挙動を表す。これより、未反応のセメント粒子が残存しない破碎コンクリートであっても、六価クロムの封じ込めが必要であるものの、軟弱な粘性土地盤上の盛土など軽量化と安定性が求められる土構造物の構造部材としては有益な材料であると考えられる。
まとめ：地盤材料としての破碎コンクリートの活用方法に向けて、原コンクリートの供用条件の影響を調べた。この結果、破碎前のコンクリート構造物が浸水状態にある場合は、破碎コンクリートには固化挙動が生じないことを確認した。これより、破碎コンクリートを地盤材料として活用していくためには粉碎前の原コンクリートの供用状態を把握・選別することが必要であると考えられる。

謝辞：本研究では東鉄工業株式会社より試料の提供を受けた。ここに明記し、関係各位に謝意を表す。

参考文献：1) 関根悦夫ら、再生砕石の地盤工学的特性、土と基礎、Vol.51, No.5, pp.31-33., 2013. 2)平川大貴ら、破碎コンクリートの工学的性質に関する一考察、第50回地盤工学研究発表会(DVD-Rom), pp.555-556, 2015. 3) 沢木大介ら、野添築港市街地跡の遺構から得られたセメント硬化物の化学的評価-構成部材の化学分析に基づく近代土木遺産の考古学的解析-, 土木学会論文集D, Vol.65, No.3, pp.229-243, 2009.

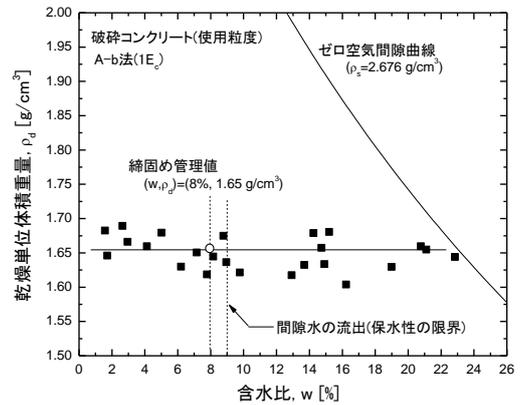


図-3 突固め曲線(A-b法)

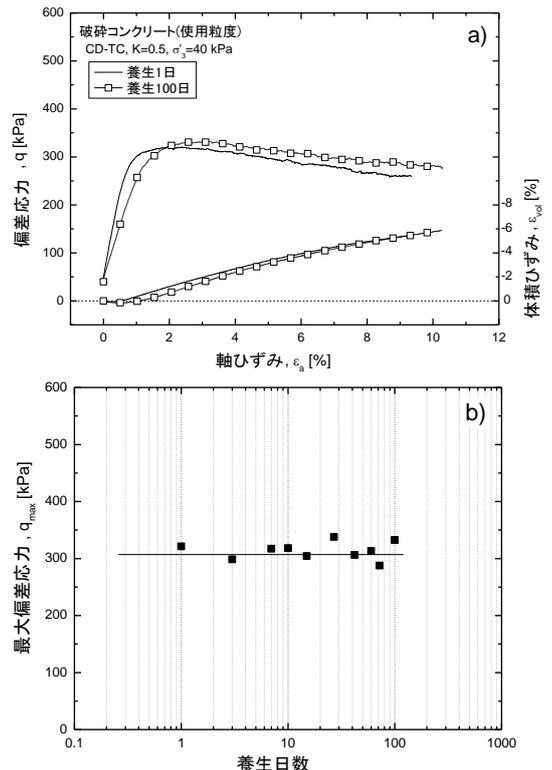


図-4 本研究で検討した破碎コンクリートの力学的性質; a) $q \sim \epsilon_a \sim \epsilon_{vol}$ 関係に及ぼす養生日数の影響, b) $q_{max} \sim$ 養生日数の関係