

ポーラスコンクリートの X 線 CT 画像への粒子分離計測に関する基礎研究

近畿大学大学院 学生会員 ○岡田 裕平

近畿大学 正会員 麓 隆行

1. はじめに

連続空隙を有するポーラスコンクリートは、植生や排水性など、都市環境を守るうえで重要な役割を担うと考えられる。しかし、その性能を制御するためには、ポーラスコンクリートの内部構造と要求性能との関係を明確にする必要がある。そこで、X 線 CT により非破壊で得られた内部画像の 3 次元画像計測による評価を考えた。本研究では、ポーラスコンクリートの 3 次元画像に粒子分離計測を実施し、その適用性を確認した。

2. 供試体の概要

早強ポルトランドセメント（密度=3.13 g/cm³，比表面積=4550cm²/g，50%D=13.3 μm），砕石粉（硬質砂岩，密度=2.47g/cm³，50%D=40.0 μm）を使用した。赤穂産流紋岩砕石を、目開き 4.75 mm および 9.5mm のふるいで分級して粗骨材（表乾密度=2.60g/cm³，吸水率=1.5%，実積率=59.6%）とした。ポーラスコンクリートの配合を表-1 に示す。ペーストと粗骨材の体積比 p/g=45%，W/C=25.5%，そしてポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を C×0.8%とした。さらに、砕石粉をセメントペースト全体積の 10%添加した。強制二軸練りミキサを用いて、粗骨材(1/2)，砕石粉，セメント，粗骨材(1/2)の順にミキサに入れて 30 秒練混ぜた後、水と高性能 AE 減水剤を入れ 90 秒練混ぜる手順でポーラスコンクリートを作製した。上面振動締固め試験¹⁾により締固めた際の空隙率（24.4%）で直径 100mm，高さ 200mm の円柱供試体を作製した。翌日に脱型し、材齢 7 日まで 20℃で水中養生し、X 線 CT での撮影を実施した。

表-1 ポーラスコンクリートの配合

W/C (%)	p/g* (%)	単位量 (kg/m ³)				SP (C×%)
		W	C	CSP	G	
25.5	45	107	420	66	1551	0.8

*p/g は、粗骨材とペースト(W+C)との体積比である。



図-1 使用した X 線 CT

3. 画像計測の概要

近畿大学所有の X 線 CT²⁾は、図-1 に示す開放型マイクロフォーカス X 線管(最大電圧 230kV，最大電流 1000 μA)と受感パネルを有している。一度の撮影範囲は、直径 100mm，高さ 60mm 程度である。本研究では、0.1226 mm/voxel の画像を使用し、管電圧 145kV，管電流 85 μA，プロジェクション数 1200，0.1226mm/pixel で行った。また、比較として粗骨

表-2 画像解析条件

条件	砕石		ボラコン	
	粒子	間隙	粒子	空隙
エロージョン(回)	3	0	3	0
近傍削除(粒子半径×倍)	1.0	1.0	1.0	1.0
近傍同一視(粒子半径×倍)	1.4	1.0	1.0	1.0
ダイレーション(回)	3	0	3	0
微小粒子統合直径(mm)	2.0	0.2	2.0	0.2

*各条件については、参考文献 3)を参照のこと。

材を塩ビ管容器に詰め、管電圧 135kV，管電流 80 μA，プロジェクション数を 1200 で撮影した。得られた再構成画像を用いて、試験体の空隙率となる閾値で二値化し、それをポーラスコンクリート粒子として 3 次元画像計測を行った。本研究では、粒子径から既報³⁾を勘案し、直径 100mm，高さ中央から±20mm を対象範囲とした。画像解析では、市販の産業用画像解析ソフトを使用して、砕石とポーラスコンクリートの粒子径分布，ならびに砕石の比表面積を算出した。粒子の接触点のくびれを利用し、球形分離処理により粒子を判別、計測するが、粒子は複雑な形状をもつため、球形分離処理には工夫が必要となる。その各条件を表-2 に示す。詳細は、参考文献 3)を参照頂きたい。また、表面積計測には、精度良く計測を実施するため、2 値化画像と濃淡画像がキーワード ポーラスコンクリート，X 線 CT，3 次元画像計測，粒子分離

連絡先

〒577-8502 大阪府東大阪市小若江 3-4-1 近畿大学理工学部社会環境工学科 TEL 06-4307-3557



図-2 試験体の端面

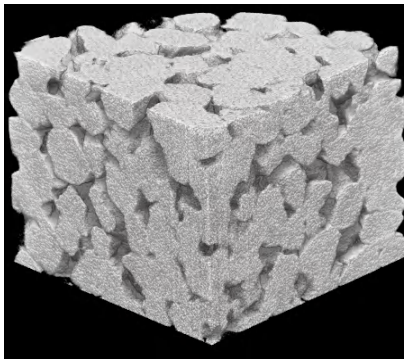


図-3 X線CT画像(1/4切断)

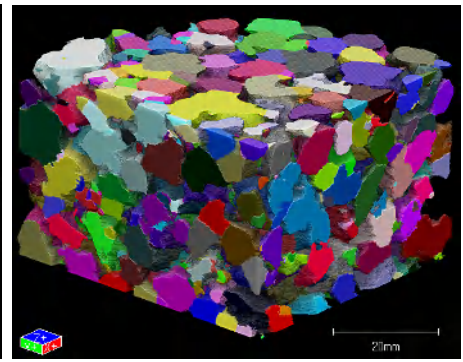


図-4 粒子分離状況(1/4切断)

ら三角面を作成し、計測した。

4. 実験結果と考察

図-2～4に、ポーラスコンクリートの撮影前の試験体端面、X線CT画像、粒子分離状況を、断面を確認できるように1/4に切断した画像として示した。粒子分離状況では、分離された粒子や空隙を256色に塗り分けて表示している。多くは独立粒子と判別できたが、表面の凹凸の影響で粒子が分割される場合もあった。

図-5にポーラスコンクリート粒子の計測結果を示

す。なお、粒子形状は扁平だが、直感的な傾向の比較を目的として、球相当直径1mmごとの体積割合分布を表示した。ポーラスコンクリート粒子の球相当径は、3～13mmの粒径範囲で、平均値は8.94mmとなった。一方、砕石は3～11mmの粒径範囲で、平均値は8.31mmと、ポーラスコンクリートに比べて小さかった。この差は、砕石へのペーストの被覆に起因すると考えられる。

そこで、ペースト総体積を配合から算出し、粗骨材の総表面積で除して、粗骨材周囲のペースト膜厚を求めた。X線CT画像から砕石の比表面積を計測すると $0.9403\text{mm}^2/\text{mm}^3$ (球相当径分布から粗骨材を球形と仮定して算出した場合の1.297倍)であった。このことから、ペースト膜厚は0.4803mmと算出された。この厚さのペーストが被覆したポーラスコンクリート粒子の体積は、粗骨材と同等の球に $1.297 \times 0.4803\text{mm}$ の厚さのペーストが被覆した体積と等しいと考えられる。したがって、粗骨材の球相当直径に $1.297 \times 0.4803\text{mm}$ の2倍の厚さを加えるとポーラスコンクリート粒子の球相当直径と近似できる。図-5に、算出されたポーラスコンクリート粒子径分布を■印で示した。その結果、粗骨材にペースト膜厚を加えた粒径範囲は、およそ4～12mmで、平均値は9.27mmとなった。すなわち、ポーラスコンクリートの場合と砕石とペースト膜厚を加算した場合は頻度の高い粒径範囲がほぼ同じで、ペーストが砕石に比較的均等に被覆していたと考えられる。

5. まとめ

砕石とポーラスコンクリートの3次元X線CT画像に対して画像計測を実施し、内部構造を考察した結果、ポーラスコンクリート内部の粒子判別やペーストが粗骨材に被覆している状態を推定が可能であることがわかった。今後、各種要因による内部構造の変化の計測を実施していきたい。

参考文献

- 1) 麓隆行, 柏木洸一: 粗骨材粒子径が砕石粉を用いた舗装用透水性コンクリートの性状に及ぼす影響, セメントコンクリート論文集, No. 62, pp. 269-276, 2009.
- 2) 麓隆行: 新しい機構のX線CTの開発とポリマーコンクリートの圧縮試験への適用, 土木学会論文集 E2, Vol. 69, No. 2, pp. 182-191, 2013. 4
- 3) 麓隆行, 平井慎一, 溝口達也, 松本嶺: X線CT画像の3次元粒子計測による砕石の粒子形状の分析, コンクリート工学年次論文集, Vol. 66, No. 1, pp. 70-75, 2012.

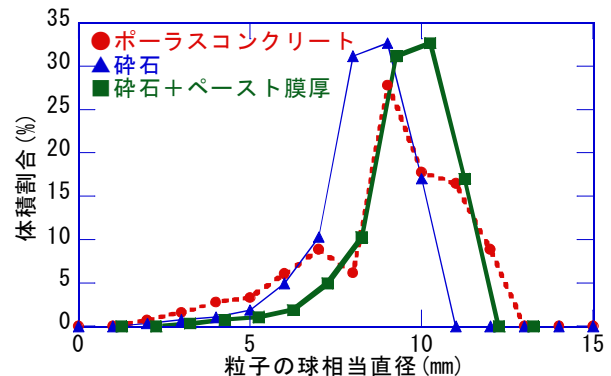


図-5 ポーラスコンクリートと砕石の粒子径分布