

論文 軽量ポーラスポリマーコンクリートの物理的性質に及ぼす骨材粒径の影響

徳重英信 *1・川上 洵 *2・松岡 智 *3

要旨: ポリマーコンクリートの軽量化と機能性付与を目的として、軽量ポーラスポリマーコンクリートをプレパックド工法により作製した。骨材粒径がポーラスポリマーコンクリートの物理的性質に及ぼす影響を明らかにするために、骨材粒径を 5mm~15mm の間で 1mm 刻みの単粒度とした場合、および 5~10mm, 5~15mm, 10~15mm とした場合の骨材粒径と空隙率、圧縮強度、透水係数等の各種物性値について検討を行った。その結果、密度 620kg/m³ 以下のコンクリートを作製することができ、また骨材の粒径は各種物性値に大きく影響を及ぼすことが明らかとなった。

キーワード: 軽量骨材, ポリマー, ポーラスコンクリート, プレパックド工法, 骨材粒径

1. はじめに

ポリマーコンクリートは早強性、高強度、耐久性に優れており、今後もコンクリートの高機能化に不可欠な材料であると考えられる。一方、ポーラスコンクリートは透水性・緑化等の機能性材料としての利用がなされてきている。一般にポーラスコンクリートの骨材は、粒度を gap grade としており、既往の研究¹⁾でも骨材粒度に範囲をもたせ、各種物性に関する検討を行っている。しかし、強度や透水係数等の各種機能に関わる物性を明らかにするためには、骨材粒径と各種物性の関係を明らかにしておくことが重要である。本研究では、ポリマーコンクリートに軽量化ならびに透水性等の機能性を果たせることにより、軽量で耐化学薬品性を有するフィルター材等への適用を想定し、セメント系材料に比べて軽量で耐化学薬品性を有するエポキシ樹脂を結合材に用い、低密度・低吸水性の軽量骨材²⁾を使用し、空隙の連続性の確保のためにプレパックド工法によりポーラスコンクリートを作製し、骨材の粒径が各種物性値に及ぼす影響について実験的検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

結合剤はエポキシ樹脂を用いた。物性値は Table 1 に示すとおりである。骨材は絶乾密度 0.86g/cm³ の低密度・低吸水性の真珠岩を原料とした造粒型人工軽量骨材²⁾を粒径 5mm~15mm の間で 1mm ごとのふるいによりふるい分けを行ったもの、および粒径 5~10mm, 5~15mm, 10~15mm としたもの¹⁾を使用した。

Table 1 Physical and mechanical properties of liquid and hardened epoxy resin

Viscosity at 20°C(mPa·s)		910
Density (g/cm ³)		1.13
Strength (N/mm ²)	Tensile	41.1
	Compressive	68.6
	Flexural	60.3
Modulus of Elasticity (N/mm ²)		1922

2.2 供試体の作製および測定項目

(1) 供試体の作製方法

供試体の寸法はφ10×20cmである。底部に直径 6mm の樹脂注入・排出用の穴をあけた型枠を

*1 秋田大学講師 工学資源学部土木環境工学科 博士 (工学) (正会員)

*2 秋田大学教授 工学資源学部土木環境工学科 工博 (正会員)

*3 ランデス(株)企画開発本部技術開発部次長 (正会員)

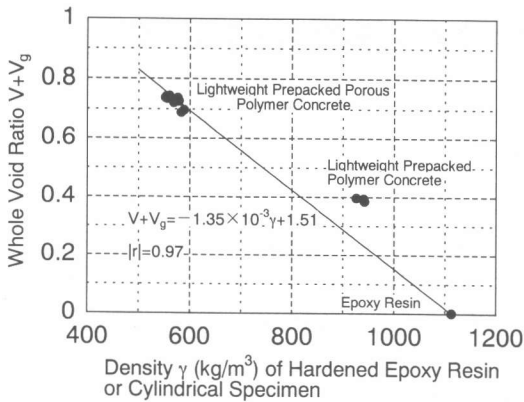


Fig. 1 Whole void content vs. density of hardened epoxy resin and lightweight polymer concrete

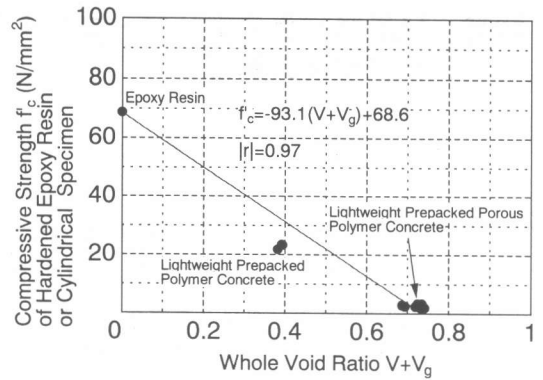


Fig. 2 Compressive strength vs. whole void content of hardened epoxy resin and lightweight polymer concrete

使用し、骨材の振動締固めを行った後、骨材を充填した型枠の底部からグリースガンにより樹脂を注入した。充填後に樹脂を型枠底部から大気圧中で抜きポーラスコンクリートとした。¹⁾

(2) 測定項目

測定項目は材齢 7 日 (20℃の気中養生) での重量法による供試体の密度と空隙率、定水位透水試験による透水係数、および圧縮強度と弾性係数である。軽量骨材については、点載荷圧裂試験³⁾により各粒径での強度の測定も行った。

3. 軽量骨材の使用と多孔質化によるポリマーコンクリートの軽量化

Fig.1 および Fig.2 は、エポキシ樹脂単体、粒径 5~10mm, 5~15mm および 10~15mm の低密度・低吸水性の軽量骨材を使用した軽量プレパックドポリマーコンクリート¹⁾と軽量プレパックドポーラスポリマーコンクリートの、全空隙率と密度および圧縮強度の関係である。なお、軽量プレパックドポリマーコンクリートの物性値は参考文献¹⁾の値を用いている。ここで供試体中の軽量骨材はコンクリート中の空隙と同様に軽量化に大きく影響する因子として仮定し、骨材の空隙率 (V_g) と供試体空隙率 (V) の総和を全空隙率 ($V_g + V$) と定義した。骨材の空隙率は、原料である真珠岩の密度 (2.3g/cm^3) と骨材

の絶乾密度、および骨材の実積率より算出したものである。軽量骨材の使用に加えて、コンクリートを多孔質化することにより、供試体の密度は Fig.1 に示すように減少しており、また Fig.2 に示すように全空隙率の増加に伴い、圧縮強度は減少する。このことから、コンクリートの強度、密度を適切に選択することにより応用の幅が広がることが期待でき、また軽量骨材の使用と多孔質化による全空隙率を用いることにより、目標とする密度、圧縮強度等の物性値を得ることが可能であると考えられる。

4. 軽量ポーラスポリマーコンクリートの物理的性質

4.1 コンクリート密度、空隙率に及ぼす骨材粒径の影響

Fig.3 および Fig.4 に、骨材を単粒径で使用した軽量ポーラスポリマーコンクリートの供試体密度および空隙率と骨材の平均粒径の関係を示す。コンクリート密度は約 $520\sim 620\text{kg/m}^3$ を示し、従来のポーラスコンクリートおよび軽量コンクリートのコンクリート密度⁴⁾の 30~40%程度まで軽量化を行えることが明らかとなった。また、空隙率は約 0.24~0.38 と高空隙率を示した。一方、骨材の粒径が大きくなるのに伴い、ほぼ直線的に密度は減少し、空隙量は増加する。

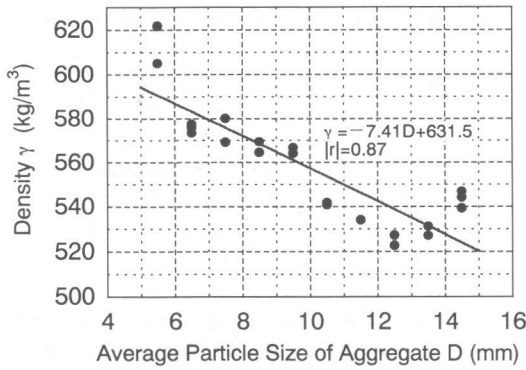


Fig. 3 Density vs. average particle size of aggregate

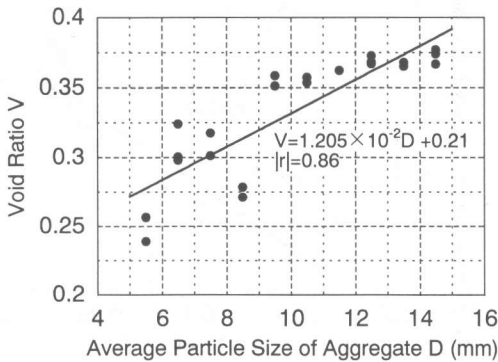


Fig. 4 Void ratio vs. average particle size of aggregate

このことより、軽量ポーラスポリマーコンクリートの密度と空隙量に骨材粒径が大きく影響していることが明らかとなった。

4.2 コンクリートの圧縮強度に及ぼす骨材粒径の影響

軽量ポーラスポリマーコンクリートの骨材の平均粒径と圧縮強度の関係を Fig.5 に示す。圧縮強度は約 2~5N/mm² を示し、骨材粒径が大きくなると共に減少している。

一方、圧縮強度と空隙率の関係は、Fig.6 に示すように空隙率の増加と共に圧縮強度は若干低下しているが相関はあまり良くなく、高空隙率と軽量骨材の使用により、空隙率だけでなく骨材自体の強度も軽量ポーラスポリマーコンクリートの圧縮強度に大きく影響しているものと考

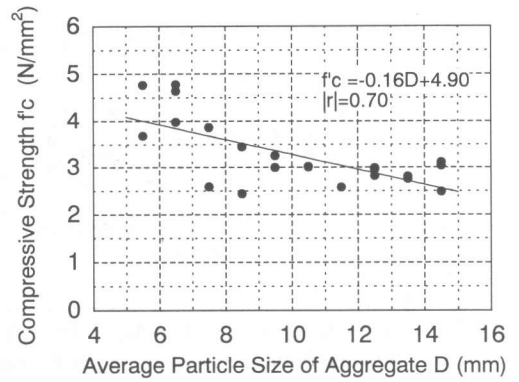


Fig. 5 Compressive strength vs. average particle size of aggregate

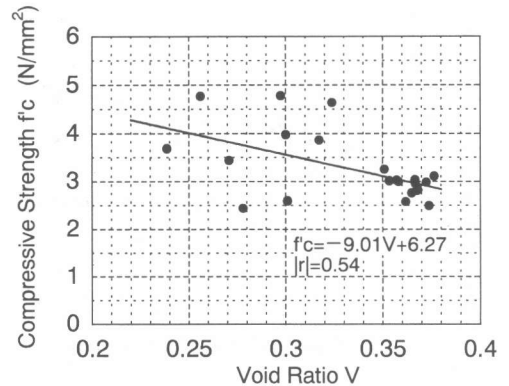


Fig. 6 Compressive strength vs. void ratio

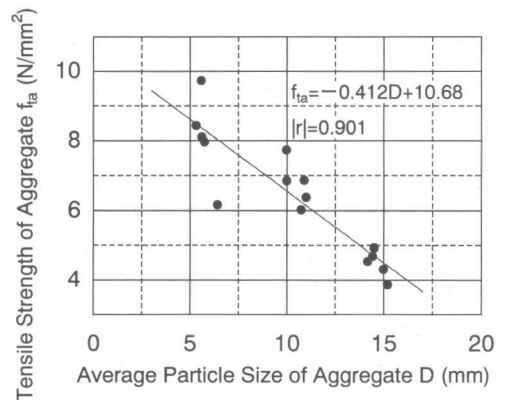


Fig. 7 Strength vs. average particle size of aggregate

えられる。

Fig.7 は点載荷圧裂試験³⁾により求めた粒径 5mm 前後、10mm 前後、15mm 前後の軽量骨材

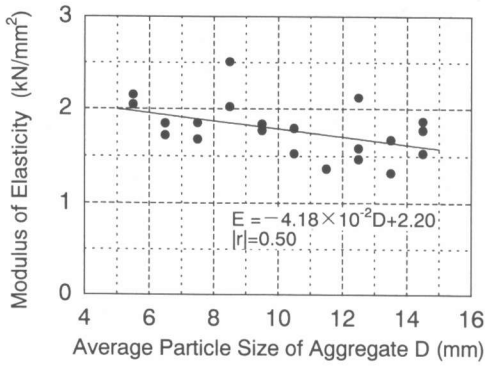


Fig. 8 Modulus of elasticity vs. average particle size of aggregate

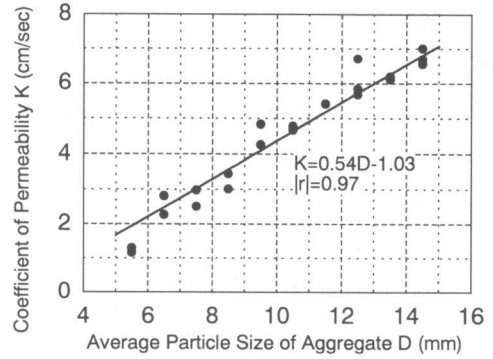


Fig. 10 Coefficient of Permeability vs. average particle size of aggregate

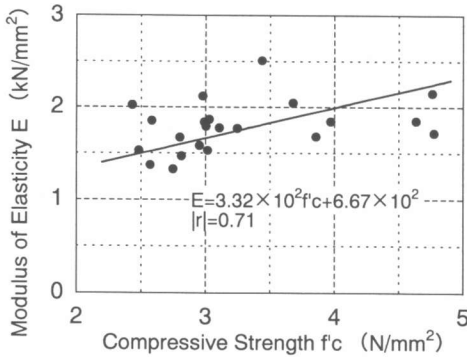


Fig. 9 Modulus of elasticity vs. compressive strength

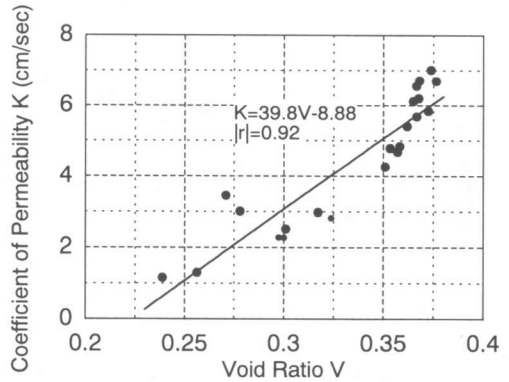


Fig. 11 Coefficient of Permeability vs. void ratio of porous polymer concrete

の強度測定結果である。本研究で使用した軽量骨材の圧裂強度は約 $4 \sim 10 \text{ N/mm}^2$ であり、粒径が大きくなるとともに圧裂強度はほぼ直線的に減少する結果を示した。以上のように、本研究で作製した軽量ポーラスポリマーコンクリートの圧縮強度には、骨材粒径と骨材自体の圧裂強度が大きく影響しており、ポーラスコンクリート自体が高空隙率であり、また供試体密度も非常に小さいため、供試体を構成する要素のほとんどを占める軽量骨材の強度特性が、コンクリートの強度特性を支配したものと考えられる。

一方、供試体の弾性係数は、Fig.8 に示すように約 $1.5 \sim 2.5 \text{ kN/mm}^2$ を示し、骨材粒径が大きくなるとともに若干低下するもののあまり変わらない結果を示した。また、弾性係数と圧縮強度

の関係は、Fig.9 に示すように圧縮強度の増加に伴い、弾性係数は若干増加する結果を示した。

以上の結果より、軽量ポーラスポリマーコンクリートの圧縮強度には、骨材の圧裂強度が大きく影響を及ぼし、また弾性係数は骨材の粒径にあまり影響されないことがわかった。

4.3 透水係数と骨材粒径の関係

軽量ポーラスポリマーコンクリートの透水係数と骨材の粒径の関係を Fig.10 に示す。透水係数は骨材の粒径が大きくなると直線的に増加し、約 $1 \sim 7 \text{ cm/sec}$ を示した。

一方、Fig.11 に示すように、透水係数は空隙率の増加と共に直線的に増加した。

以上のように、透水係数と骨材の粒径および空隙率は非常に良い相関を示し、このことから、

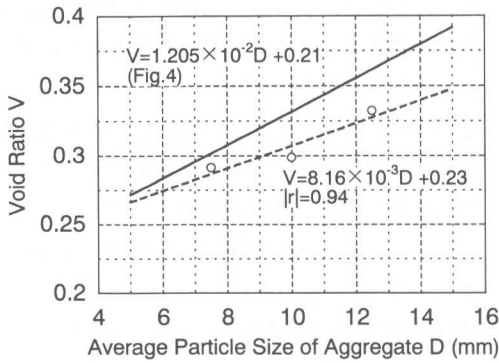


Fig. 12 Void ratio vs. average particle size of aggregate

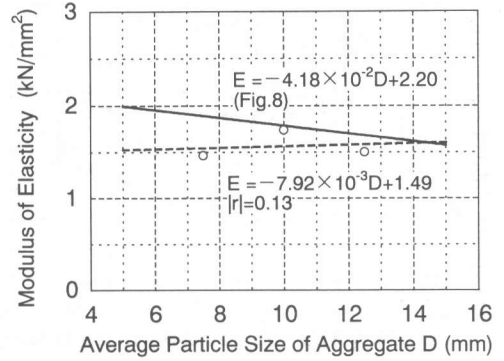


Fig. 14 Modulus of elasticity vs. average particle size of aggregate

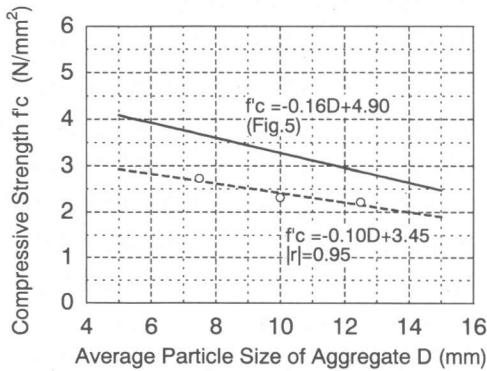


Fig. 13 Compressive strength vs. average particle size of aggregate

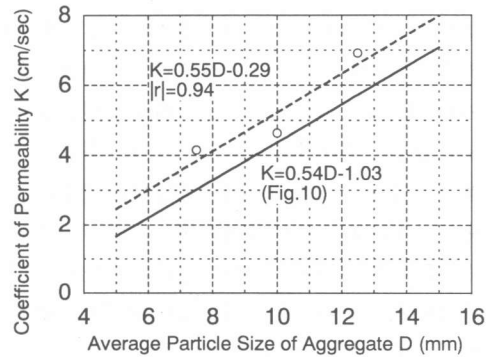


Fig. 15 Coefficient of permeability vs. average particle size of aggregate

軽量ポーラスポリマーコンクリートの透水係数には、骨材粒径、空隙率が大きく影響することが明らかとなった。

5. 粒度に範囲が存在する場合の各物性値との関係

ポーラスコンクリートの骨材は、一般的に gap grade として使用されているが、前節の議論に用いたような単粒径ではなく、粒径にある範囲が存在する。このため、前節では軽量ポーラスコンクリート各物性値を詳細に検討するために骨材を単粒径で用いているが、実用的な粒径幅の骨材を使用して供試体を作製し、単粒径の場合との比較検討を行った。

Fig.12, Fig.13, Fig.14 および Fig.15 は骨材の粒

径を 5~10mm (平均粒径 7.5mm), 5~15mm (平均粒径 10.0mm), 10~15mm (平均粒径 12.5mm) とした場合の軽量ポーラスポリマーコンクリート供試体の、骨材の平均粒径に対する空隙率、圧縮強度、弾性係数および透水係数を示したものであり、図中の実線は前節の Fig.4, Fig.5, Fig.8 および Fig.10 おける直線であり、骨材が単粒径の場合の各物性値を表している。

粒度に範囲を与えた場合、空隙率および圧縮強度は、平均粒径の増加とともに各々増加・減少する傾向を示したが、単粒径の場合に比べて若干下回る結果となった。Fig.16 には供試体の作製時と同様な振動締めによって求めた骨材の実積率である。粒度に幅がある場合、同一の平均粒径の場合でも単粒径の場合よりも密にな

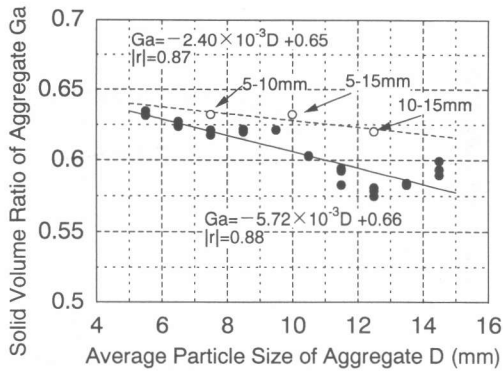


Fig. 16 Solid content vs. average particle size of aggregate

り、最小粒径の実積率に近い値をとることが空隙率の値に影響したのと考えられる。また圧縮強度は前節で述べたように骨材の強度に影響され、Fig.7 に示したように骨材粒径が大きくなるとともに骨材強度が低下し、コンクリートの強度が粒径の大きな骨材の強度に影響されるために、平均粒径が単粒径の場合と同一であっても圧縮強度が低下したのと考えられる。一方、弾性係数は、単粒径の場合と同様に平均粒径が変化してもあまり変わらない結果を示した。

透水係数の値は単粒径の場合よりも若干上回る傾向を示したが、骨材の平均粒径が大きくなるとともに、単粒径の場合とほぼ同様に増加した。5~10mm (平均粒径 7.5mm) および 10~15mm (平均粒径 12.5mm) の骨材を用いた場合の透水係数の値は、単粒径の場合の 10mm および 15mm の透水係数の値と各々ほぼ同様な値を示したが、5~15mm の骨材を用いた場合の平均粒径 (10mm) での透水係数の値は、平均粒径と同じ (10mm) ときの値に近く、粒径の幅によって透水係数に与える影響が異なる傾向を示した。

6. まとめ

本研究で使用した低密度・低吸水性の軽量骨材は各粒径ともにほぼ球形であり、形状が物性値に与える影響がほとんど無かったことが以上の結果を得た大きな要因であると考えられ、ま

た粒径の範囲が広い場合には各物性値と粒度の関係の詳細に検討する必要があると考えられる。

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 骨材容積率と空隙率の総和である全空隙率をポリマーコンクリートの軽量化の因子とすることにより、軽量骨材の使用と多孔質化はポリマーコンクリートの軽量化に有効な手段であることが明らかとなった。
- (2) 本研究で作製した軽量ポーラスポリマーコンクリートの密度は約 520~620kg/m³ を示し、従来の軽量コンクリートおよびポーラスコンクリートのコンクリート密度の約 30~40% を示し、また空隙率は約 0.24~0.38 を示した。
- (3) 軽量ポーラスポリマーコンクリートのコンクリート密度、空隙率、圧縮強度および透水係数は骨材粒径とほぼ直線関係にあり、弾性係数は粒径の影響をあまり受けない結果を示した。
- (4) 本研究では使用骨材の粒径に範囲が存在する場合でも単粒径の場合とほぼ同様に骨材の平均粒径は各物性値に大きく影響を及ぼすことが明らかとなったが、軽量ポーラスポリマーコンクリートを実際に適用する場合には、骨材の平均粒径および粒径の幅と各種物性値の関係を詳細に検討する必要があると考えられる。

[参考文献]

- 1) 徳重英信, 川上 洵, 岡本享久: 超軽量ポリマーコンクリートの物理的特性, 軽量コンクリートの性能の多様化と利用の拡大に関するシンポジウム論文集, pp.29-34, 2000
- 2) 岡本享久, 早野博幸, 柴田辰正: 超軽量コンクリート, コンクリート工学, Vol.36, No.1, pp.48-52, 1998
- 3) 西林新蔵, 木山英郎, 阪田憲次: 点載荷圧裂試験による人工軽量骨材の強度に関する研究, 土木学会論文報告集, Vol.199, pp.89-96, 1972
- 4) Neville, A.M.: Properties of Concrete, Third Edition, Longman Scientific & Technical, 1990