

論文 再生骨材を使用したポーラスコンクリートに及ぼす骨材品質の影響

石黒哲^{*1}・湯浅幸久^{*2}・畑中重光^{*3}

要旨：再生骨材の品質がポーラスコンクリートに与える影響を検討することを目的として、再生骨材の原コンクリートの強度、および再生骨材のすりもみ処理がポーラスコンクリートの性質に及ぼす影響について検討を行った。その結果として、再生骨材を使用したポーラスコンクリートは締固め時の骨材の破壊により空隙率の低下が起りやすいこと、再生骨材を使用したポーラスコンクリートの圧縮強度は空隙率だけでは論じることができず、原コンクリート強度が低い場合には圧縮強度は著しく低下する場合があること、再生骨材のすりもみ処理は原コンクリート強度が高い場合には必ずしも有効とはいえないことなどを示した。

キーワード：ポーラスコンクリート, 再生骨材, 圧縮強度, 空隙率, 透水係数

1. はじめに

ポーラスコンクリートは、透水性や吸音性に優れ、水質浄化、生物のすみか等としての機能も有しており¹⁾、環境共生型コンクリートとして近年とくに注目を集めている。筆者らはこれまでにポーラスコンクリートの製造方法について実験的に検討し、ミキサの種類と最適練混ぜ時間との関係について報告した²⁾。ポーラスコンクリート用の骨材としては、これまで単粒度の天然骨材を使用することが多かったが、最近では廃棄物の有効利用を考慮して、ポーラスコンクリートに再生骨材を使用する研究も行われており、強度性状は若干低下するものの、植生基盤としての機能は碎石と比べて遜色ないことが報告されている^{3,4)}。

本研究では、これまでの研究では必ずしも明らかになっていない点⁵⁾、すなわち再生骨材を使用

したポーラスコンクリートの物性に大きな影響を及ぼすと考えられる原コンクリート強度および再生骨材の処理方法の影響について検討を行った。

2. 再生骨材の製造実験

実験概要を表-1に示す。実験要因は、使用材料および再生骨材の吸水率である。実験では、10, 25, 50 N/mm²の強度レベルの原コンクリートを破碎して製造した再生骨材、および原コンクリートに使用した川砂利を破碎して製造した碎石について各種物性の試験を行った。なお、製造した再生骨材および碎石の粒径は5~13mmの範囲(単粒度碎石6号相当)となるようにした。再生骨材の目標吸水率は5%とした。ただし原コンクリートの強度が25N/mm²の再生骨材に関しては、目標吸水率が4%および3%の再生骨材の製造も行った。

2.1 原コンクリート

実験で製造した原コンクリートの調査を表-2に、原コンクリートの試験結果を表-3に示す。セメントには普通ポルトランドセメントを、細骨材には川砂を、粗骨材には川砂利を、混和剤にはAE減水剤を使用した。調査は、まず試し練りを

表-1 実験概要

使用材料	粒径 (mm)	吸水率 (%)	測定項目
再生粗骨材 (原コンクリートの強度レベル 10, 25, 50N/mm ²) 川砂利	5-13	3%* 4%* 5%	密度 実績率 吸水率 ペースト付着量 骨材強度

*原コンクリート強度 25N/mm²のもののみ

*1 三菱化学エンジニアリング(株) 工修 (正会員)

*2 三重大学大学院工学研究科 (正会員)

*3 三重大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

行い、スランプが 18cm となる様に決定した。

製造した原コンクリートは、型枠に打設後、材齢 2ヶ月まで気中養生を行った。また、圧縮強度試験用の試験体は、材齢 28 日まで水中養生を行った。

スランプ試験は JIS A 1101、圧縮強度試験は JIS A 1108 に準じて行った。

表-2 原コンクリートの調合表 (kg/m³)

目標強度 (N/mm ²)	W	C	S	G	Ad
10	179	199	994	901	2.0
25	174	274	880	956	2.7
50	181	447	726	945	4.5

表-3 原コンクリートの性質

目標強度 (N/mm ²)	W/C (%)	スランプ (cm)	実強度 (N/mm ²)
10	90	17.5	11.9
25	63.5	18	25.3
50	40.5	18	54.5

2.2 再生骨材の製造方法および試験方法

再生骨材は、まず原コンクリートをジョークラッシャに投入できる大きさに破碎(1次破碎)し、次にジョークラッシャでさらに破碎(2次破碎)して製造した。また、原コンクリートに使用した川砂利をジョークラッシャで破碎し、碎石の製造も行った。

製造した再生骨材および碎石は、ふるいにより所定の粒度範囲(5~13mm)に調整した後、JIS A 1110 に準じて密度および吸水率の測定を行った。ただし、本研究では製造する骨材の粒径範囲を5~13mmと設定しているため、JIS A 1110 で

表-4 骨材試験結果

名称	使用材料	吸水率(%)	表乾密度 (kg/L)	絶乾密度 (kg/L)	実績率 (%)	破碎値 (%)	ペースト付着量(%)	暫定品質基準案の種別*
RG12	原コンクリート 12N/mm ²	5.4	2.44	2.32	54.2	27.2	8.9	3種
RG25-5	原コンクリート	5.3	2.45	2.32	53.1	21.3	11.5	3種
RG25-4	25N/mm ²	4.30	2.50	2.40	59.1	18.1	11.2	2種
RG25-3		3.6	2.52	2.42	59.9	18.1	10.2	
RG55	原コンクリート 55N/mm ²	5.3	2.43	2.31	52.7	21.1	24.7	3種
G	川砂利	1.33	2.64	2.61	58.6	18.0	—	—

*建設省による

指定されている 10mm 以上の骨材を用いて試験を行った場合には正確に骨材の性状を測定できない可能性があると考えられる。そこで密度および吸水率の測定には 5~13mm の粒度範囲の骨材を使用した。

原コンクリート強度が 25N/mm²のものについてはロサンゼルス試験機によってすりもみ処理し、吸水率の調整を行った。

碎石および目標の吸水率が得られた再生骨材については、実績率 (JIS A 1104)、ペースト付着量および 40 t 破碎値 (B.S.812-1975) の測定を行った。なお、ペースト付着量は、再生骨材を 2 N の硝酸中に 48 時間浸漬し、その残査を 75 μm ふるい上で洗浄し、浸漬前の再生骨材の質量に対する失われた量の、100 分率として求めた。

2.3 試験結果

実験で製造した骨材の試験結果を表-4 に、形状を写真-1 に、図表中の骨材名称の説明を図-1 に示す。

(1) 1次および2次破碎のみを行った再生骨材

表から分かるように2次破碎が終了した時点の再生骨材 (RG12、RG25-5、RG55) では、原コンクリート強度に関わらず吸水率がおおよそ5%程度の値となった。これに対してペーストの付着

ロサンゼルス試験器で
処理した物の吸水率(%)

RG 25-5

原コンクリート強度(N/mm²)

RG:再生骨材、G:碎石

図-1 骨材名称の説明

量は、原コンクリートの強度が低いものほど小さな値を示した。これは原コンクリート強度が低い再生骨材では、2次破砕によりモルタル分の多くが微粉分となって失われたためと思われる。絶乾密度および表乾密度の値には、原コンクリート強度の違いによる差異は認められなかった。

実績率については、原コンクリート強度が低い再生骨材の方が大きな値をとる傾向が見られた。これは写真-1からも分かるように、原コンクリート強度が低い再生骨材では破砕後の骨材が丸みを帯びた形状となっており、密実に詰まりやすかったためであるといえる。

これに対し骨材強度の指標となる破砕値は、2次破砕が終了した時点の骨材では、碎石がもっとも低い値を示し、再生骨材では原コンクリート強度の高いものほど低い値を示す傾向が見られた。

(2) すりもみ処理を行った再生骨材

吸水率を目標の値まで減少させた再生骨材 (RG25-4、RG25-3) の製造に際しては、それぞれ15分 (RG25-4) および30分 (RG25-3) の間、ロサンゼルス試験機ですりもみ処理することにより目標の吸水率を達成することができた。

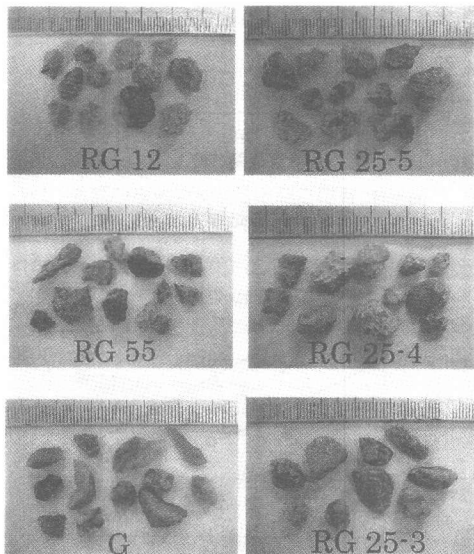


写真-1 骨材の形状

また、すりもみ処理を行った再生骨材は写真-1から分かるように、いずれも未処理のもの (RG25-5) に比べ、丸みを帯びた比較的良好な形状をしている。実績率についても、ロサンゼルス試験機で処理を行った再生骨材は、碎石と同等かそれ以上の高い値を示している。骨材強度についても、すりもみ処理を行った再生骨材は碎石と同程度の破砕値を示しているが、これは骨材が丸みを帯びているため壊れにくかったことが主な原因であるといえる。

3. 再生骨材を使用したポーラスコンクリートの製造実験

3.1 実験概要

実験概要を表-5に示す。実験要因は骨材の種類および目標空隙率である。

3.2 使用材料

結合材としては普通ポルトランドセメントにセメント用顔料を内割りで2% (wt) 添加したものを使用した。骨材としては第2章で製造したものを使用した。また混和剤としてマレイン酸誘導体供重合物系の高性能 AE 減水剤を使用した。

3.3 供試体の作成および養生方法

ポーラスコンクリートの作成に当たっては、単位粗骨材量を一定とし、骨材間の空隙をペーストで充填する方法を採用した。

ポーラスコンクリートの練混ぜ手順としてペースト先練り方式を採用した。練混ぜには揺動攪拌型ミキサーを使用し、練混ぜ時間はペーストが450秒、コンクリートが90秒とした。

練りあがったコンクリートは10φ×20 (cm) の円柱型枠に2層に分けて打ち込んだ。なお、供試体の締固めには型枠パイプレータを使用し、コンクリートの沈下がほぼ終了する時点まで振動締固

表-5 実験概要

結合材	普通ポルトランドセメント+顔料
W/C (%)	21
混和剤	高性能 AE 減水剤
骨材	RG12, RG25-5, RG25-4, RG25-3, RG55, G
目標空隙率 (%)	20, 25, 30
測定項目	圧縮強度、空隙率、透水係数、空隙形状

めを行った。

3.4 試験方法

圧縮強度の測定は、コンクリートの圧縮強度試験方法 (JIS A 1108) に準じて行った。また試験には事前にモルタルキャッピングを行った供試体を使用した。連続空隙率の測定は「ポーラスコンクリートの空隙率試験方法 (案) 容積法」⁶⁾ に準じて、また透水係数の測定は「ポーラスコンクリートの透水試験方法 (案)」⁶⁾ に準じて行った。また、空隙状態の観察は、ポーラスコンクリート硬化体中にホワイトセメントペーストを流し込み研磨を行った供試体を作成して行った。

3.5 実験結果および考察

(1) 空隙率

図-2 に原コンクリート強度別の目標空隙率と実測空隙率の関係を示す。また、図-3 に再生骨材の処理方法別の目標空隙率と実測空隙率の関係を示す。ここで、目標空隙率とは骨材のかさ容積から実績率より求めた骨材の体積および結合材ペーストの体積を差し引いたものをいう。また、実測空隙率は連続空隙率と見なすことができる。

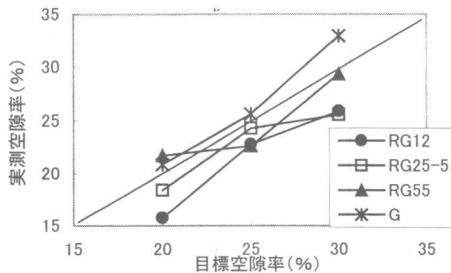


図-2 目標空隙率と実測空隙率の関係 (原コンクリート別)

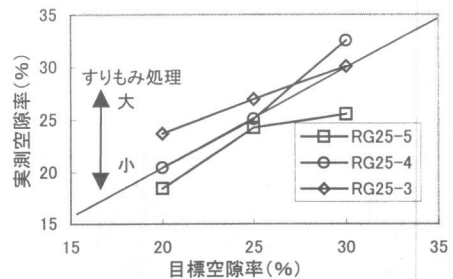


図-3 目標空隙率と実測空隙率の関係 (再生骨材の処理方法別)

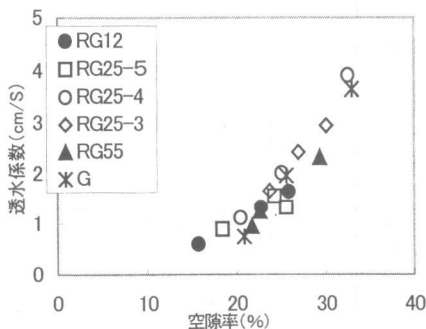


図-4 空隙率と透水係数の関係

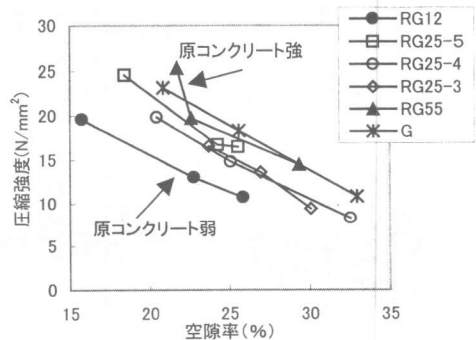


図-5 空隙率と圧縮強度の関係

図-2によれば、再生骨材を使用したポーラスコンクリートの実測空隙率は、砕石(G)を使用したものとは異なり、全体的に実測空隙率が目標空隙率を下回る傾向が見られ、その傾向は、原コンクリート強度が低い再生骨材を使用したもの (RG12, RG25-5)ほど明確であった。また図-3から分かるように、ロサンゼルス試験器ですりもみ処理をした再生骨材では、処理時間の増大に伴い、目標空隙率に対する実測空隙率の値が大きくなる傾向が認められた。

一般に、型枠に打ち込んだポーラスコンクリートの連続空隙率は、型枠面に沿って形成される空隙のため目標空隙率より大きな値をとることが指摘されている⁷⁾。また文献⁴⁾では、再生骨材を使用したポーラスコンクリートにおいても、実測空隙率 (ここでは全空隙率) は、目標空隙率より大きくなることが報告されている。

本実験においては、このような傾向は認められなかった (図-2)。この理由として、文献⁴⁾では突き棒による実績率試験に準じた締固めを行っているが、本実験では型枠バイブレータによるコ

ンクリート上部からの極めて入念な締めを行ったために、締め時に再生骨材が破壊され実績率以上に型枠内に骨材が詰まったことが考えられる。すなわち原コンクリート強度が低く、実績率の小さな角張った形状の骨材（ここでは、RG12、RG25-5）を使用したポーラスコンクリートでは、締め強度を考慮しないと目標とする空隙率を保つことが難しいと思われる。

(2) 透水係数

図-4に使用骨材別の空隙率と透水係数の関係を示す。図から分かるように、骨材の種類が空隙率と透水係数の関係に及ぼす影響はあまり見られず、空隙率の増加に伴い透水係数は大きくなる。

(3) 圧縮強度

図-5に空隙率と圧縮強度の関係を示す。図によれば、再生骨材を使用したポーラスコンクリートの強度性状は、再生骨材の原コンクリート強度の影響を大きく受け、原コンクリート強度の高いものほど、同一の空隙率における圧縮強度が大きくなる事が分かる。すなわちポーラスコンクリートの圧縮強度は、空隙率だけで論じることではできない。特に原コンクリートの圧縮強度が12N/mm²の再生骨材を使用したRG12のシリーズでは、他の骨材を使用したポーラスコンクリートに比べて、同一の空隙率における圧縮強度は著しく低い値を示している。ただし、圧縮強度12N/mm²のコンクリートは現実にはほとんど存在しないと思われる。

また、すりもみ処理を行った再生骨材を使用したポーラスコンクリートのシリーズ(RG25-4, RG25-3)では、未処理のもの(RG25-5)に比べて、

同一の空隙率における圧縮強度が若干ではあるが低くなる傾向が見られた。これは、すりもみ処理によって骨材の形状が丸みを帯びたことが原因と思われる。写真-2に実測空隙率がほぼ同じで、すりもみ処理を行っていない骨材とすりもみ処理を行った骨材を用いたポーラスコンクリートの断面写真を示す。写真から分かるように骨材が丸みを帯びると、ポーラスコンクリート断面内で、極端に細いペースト部分ができやすく、この部分が破壊時の弱点となったといえる。

本実験では、原コンクリート強度が12および55 N/mm²の再生骨材についてはすりもみ処理を行っていないが、すりもみ処理の影響はおおよそ図-6のようになると予想できる。すなわち、す



すりもみ処理なし すりもみ処理あり

写真-2 空隙形状（白い部分）

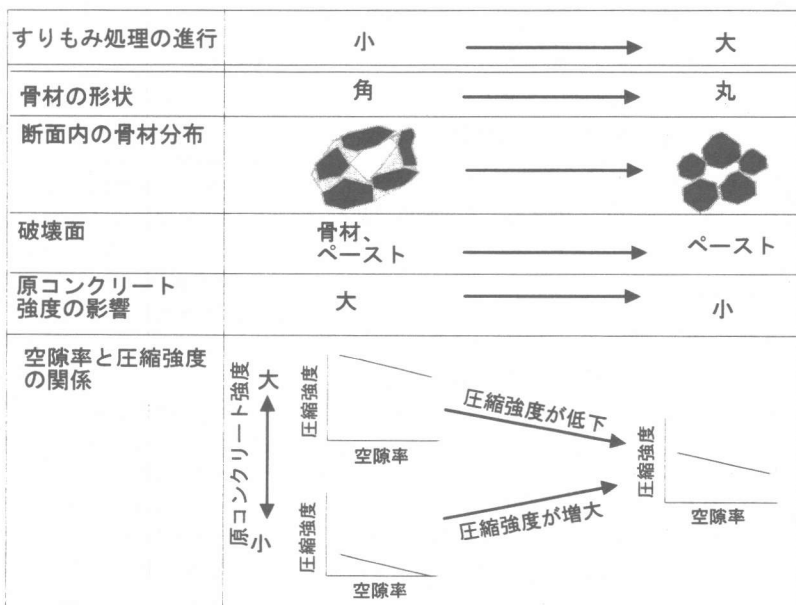


図-6 すりもみ処理の影響

りもみ処理により丸みを帯びた再生骨材を使用したポーラスコンクリートでは、骨材間に極端に細い部分ができ(図-6および写真-2参照)、そのペースト部分で破壊しやすくなる。これに対して、角張った再生骨材を使用したポーラスコンクリートでは、極端に細い部分ができにくく、破壊は再生骨材自体の破壊を伴って起こるため、原コンクリートの強度の影響を大きく受けることになるのである。

以上をまとめると、原コンクリート強度が高い再生骨材を使用した場合には、すりもみ処理を行わない方が、同一の空隙率における圧縮強度は高くなる。一方、原コンクリート強度が低い再生骨材を使用した場合には、すりもみ処理を行った丸みをおびた再生骨材を使用した方が、同一の空隙率における圧縮強度は高くなるといえる(図-6)。ただし、一般に建築物に適用されている実強度 25N/mm^2 程度のコンクリートを原コンクリートとして使用した再生骨材ならば、ポーラスコンクリートの製造時に、とくにすりもみ処理を行う必要はないと考えられる(図-5)。

また、再生骨材にすりもみ処理を行って原モルタルを十分に除去することができても、骨材自体が丸みを帯びた形状となるため、同一空隙率という条件の下で、碎石と同様の強度性状を得ることはできないと考えられる。そのため、ポーラスコンクリートに再生骨材を用いる場合には、吸水率のみで再生骨材の品質を判断することは好ましくなく、実積率も加味して考えることが肝要である。

4. まとめ

本研究では、ポーラスコンクリートにおける再生骨材の品質の影響について検討を行った。得られた結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 原コンクリート強度が低く、実績率の低い角張った再生骨材を使用したポーラスコンクリートの実測空隙率は、締固め時に骨材が破壊されることにより骨材が実績率以上に詰まるため、目標空隙率をかなり下回る可能性がある。このため、調査計画の際には、締固め方法ごとに最

適な実績率を求める必要がある。(図-2、3)。

- (2) 再生骨材を使用したポーラスコンクリートにおいても、空隙率と透水係数の間の関係は碎石を使用したポーラスコンクリートと同様であった(図-4)。
- (3) 再生骨材を使用したポーラスコンクリートの圧縮強度は、原コンクリート強度の影響を大きく受ける(図-5)。
- (4) すりもみ処理を行った再生骨材(原コンクリート強度:約 25N/mm^2)を使用したポーラスコンクリートの圧縮強度は、未処理のものを使用したポーラスコンクリートに比べ若干低下した(図-5)。すなわち、再生骨材のすりもみ処理は原コンクリート強度が高い場合には必ずしも有効とはいえない(図-6)。

謝辞

本研究を行う際に、適切な助言をいただいた下村圭二氏(東亜コンクリート(株))、高垣内仁志氏(三重県生コンクリート工業組合)、並びに実験に協力していただいた三重県工業技術総合研究所の方々および別府智子さん(三重大学大学院)に深謝いたします。なお、本研究費の一部は平成10年度熊谷科学技術振興財団研究助成金、並びに平成11年度文部省科学研究費・基盤研究(B)によったことを付記する。

参考文献

- 1) 玉井元治：地球環境とコンクリート、セメント・コンクリート、No.619, pp.1-9(1998)
- 2) 湯浅幸久 ほか：ポーラスコンクリートの製造方法に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.21, No.1, pp.235-240, 1999
- 3) 大和竹史 ほか：ポーラスコンクリートへの再生骨材の適用性に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.20, No.1, pp.1117-1122, 1998
- 4) 井上正一 ほか：再生骨材の緑化コンクリートへの適用性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.21, No.1, pp.181-186, 1999
- 5) 石黒哲 ほか：ポーラスコンクリートの物理的性質に及ぼす各種要因の影響、日本建築学会東海支部研究報告集、第38号
- 6) 日本コンクリート工学協会：エココンクリート研究委員会報告書、1995
- 7) 六郷恵哲 ほか：ポーラスコンクリートの空隙率と空隙分布の評価、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.21, No.1, pp.249-264, 1999