

再生砕石を用いたポーラスコンクリートの 圧縮強度に関する実験的研究

Experimental Study on Compressive Strength of Porous Concrete with Recycled Aggregates

高見 錦一*

萩原 幸男*

要 旨

低品質の再生砕石を用いるポーラスコンクリートを、植生基盤として利用するために、コンクリート中の再生砕石の混入量等をパラメータとする実験を行った。その結果、再生砕石に付着している微粒分量をセメントに置換して調合することで、コンクリートのフレッシュ性状を管理できることおよびそのコンクリートの圧縮強度については空隙量および水セメント比を管理することで所要の強度が得られることが明らかになった。植生基盤のように強度を重視しない場合に用いるポーラスコンクリートでは、低品質の再生砕石でも十分に使用できることが分かった。

キーワード：ポーラスコンクリート／再生砕石／微粒分量／緑化

1. はじめに

近年、都市部のヒートアイランド現象等への対策として、国土交通省や地方自治体で、屋上への積極的な緑化指導が行われている。また、資源の有効利用や産業廃棄物量の低減を図るために、建設リサイクル法やグリーン購入法が制定されるなど、地球環境保護の重要性がうたわれている。

産業廃棄物量削減を目的とし、解体コンクリートから製造された再生砕石の現状の主用途は路盤材や埋め戻し材であり、コンクリートの骨材とするためには、その処理に多くのエネルギーやコストが必要となる。そこで、低品質な再生砕石を使用するポーラスコンクリートを植生基盤とする屋上緑化システムの開発に着手した。

エココンクリートの中で、連続空隙を有するポーラスコンクリートは、透水舗装、吸音材料、および植生基盤などへ利用されつつある。

通常の骨材（普通砕石）を使用したポーラスコンクリートは、粗骨材の実績率に補正係数 α を乗じる調合設計方法が提案されている。しかし、再生砕石は、骨材表面にモルタルまたはセメントペースト膜が付着しており、吸水率が大きいとされている。そのため、普通砕石を用いたポーラスコンクリートと比べて単位水量の増大や圧縮強度の低下が懸念される。

低品質の再生砕石を植生基盤のポーラスコンクリートに使用する場合の調合設計法の確立を目的として、再生砕石の混入量・品質がその強度性状等におよぼす影響に

ついて実験を行ったので、その結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 実験概要

植生用ポーラスコンクリートの粗骨材として、一般的に採用されている5号と6号の単粒度砕石の代わりに再生砕石を用いて試験練りを行った。シリーズⅠでは、再生砕石混入容積比を0～100%の4水準とし、再生砕石を混入することに対する影響を検討した。シリーズⅡ、Ⅲでは、再生砕石を100%使用することとして、シリーズⅡでは空隙率を22～33%の4水準、シリーズⅢでは水セメント比を5号相当で20～30%、6号相当で25～35%の3水準とした試験練りを行い、再生砕石単味での硬化物性を検討した。

2.2 使用材料

セメントは高炉セメントB種を使用し、再生砕石は、一般に路床材として使用されている低品質のものを使用した。再生砕石（RC40-0）は、粒径範囲を5～13mmの単粒度砕石6号相当（RC-6）と、13～20mmの単粒度砕石5号相当（RC-5）の2種類に粒度調整して使用した。シリーズⅠで使用した普通砕石も、硬質砂岩のコンクリート用砕石2005を、再生砕石と同様にふるい分けを行い、5号砕石相当（S-5）と、6号砕石相当（S-6）に粒度調整を行ったものを用いた。骨材の試験結果を表-1に示す。骨材試験は該当JISに準拠してそれぞれ実施した。

再生砕石RC-5並びにRC-6の表乾密度はそれぞれ、

*東京分室

2.35g/cm³、2.32g/cm³、吸水率は6.79%、8.37%であった。普通砕石と比較して、表乾密度が小さく、吸水率が大きかった。また、微粒分量も多く、RC-5で1.39%、RC-6で3.34%であった。骨材径が小さなRC-6の方がRC-5に比べて骨材に付着しているモルタル分が多く、モルタル塊の混入量が多いことを示しているといえる。

2.3 計画調査

製造方法を工場での振動締め固めと仮定して計画調査を決定した。圧縮強度は屋上の防水保護板と考え5N/mm²、空隙率は植生が可能であるといわれている25%以上を目標とした。セメントペーストフロー値は、製造工場での振動締め固めを想定して、振動によりペースト分がだれないように、水セメント比や空隙率に応じて180mm～230mmの範囲で調整した。調整は、高性能AE減水剤の添加量を変化させることで行った。計画調査を表-2に示す。

2.4 練り混ぜ方法および供試体作製方法

ポーラスコンクリートの練り混ぜは、強制2軸ミキサーを用い、粗骨材とセメントを15秒空練りした後、水を投入しながら120秒練り混ぜた。

φ100×200mm円柱供試体を各5本ずつ作製し、標準水中養生材齢28日後に圧縮強度試験に供した。なお、供試体の締め固めは、表面振動機をモールド上部に置き、10秒間振動を加えた。

2.5 試験方法

(1) 圧縮強度

圧縮強度試験は、供試体の端面を両面キャッピングして、JISS A 1108（コンクリートの圧縮試験方法）に準じて行った。

(2) 空隙率

空隙率の測定は、「ポーラスコンクリートの空隙率試験法（案）容積法」に準じて行った。



写真-1 ポーラスコンクリート

表-1 骨材試験結果

	表乾密度 (g/cm ³)	吸 水 率 (%)	微粒分量 (%)	実 積 率 (%)
S-5	2.65	0.65	0.60	59.7
S-6	2.65	0.65	0.60	59.0
RC-5	2.35	6.79	1.39	62.7
RC-6	2.32	8.37	3.34	62.8

表-2 計画調査

	骨材 最大 粒径 (mm)	再生 骨材 混入量 (Vol%)	W/C * (wt%)	目標 空隙 率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
					W	C	Gv	Gr
シリーズ I a	20	0	25.0	30.0	53	212	1532	0
	20	30	25.0	30.0	53	212	1070	407
	20	70	25.0	30.0	53	212	459	949
	20	100	25.0	30.0	53	212	0	1356
	13	0	30.0	30.0	58	194	1582	0
	13	20	30.0	30.0	57	191	1266	277
	13	60	30.0	30.0	53	178	633	831
	13	100	30.0	30.0	49	165	0	1385
シリーズ I b	20	0	25.0	30.0	52	209	1535	0
	20	30	25.0	30.0	52	202	1074	408
	20	70	25.0	30.0	52	194	460	953
	20	100	25.0	30.0	52	187	0	1361
	13	0	30.0	30.0	58	194	1532	0
	13	40	30.0	30.0	58	177	919	537
	13	80	30.0	30.0	58	160	306	1073
	13	100	30.0	30.0	58	152	0	1341
シリーズ II	20	100	30.0	30.0	59	196	0	1356
	20	100	30.0	22.0	88	293	0	1400
	20	100	30.0	25.0	74	245	0	1400
	20	100	30.0	30.0	50	166	0	1400
	20	100	30.0	33.0	35	118	0	1400
	13	100	30.0	30.0	58	194	0	1340
	13	100	30.0	22.0	87	292	0	1384
	13	100	30.0	25.0	73	244	0	1384
	13	100	30.0	30.0	49	164	0	1384
	13	100	30.0	33.0	35	117	0	1384
シリーズ III	20	100	20.0	27.5	56	280	0	1356
	20	100	25.0	27.5	64	256	0	1356
	20	100	30.0	27.5	71	236	0	1356
	20	100	25.0	30.0	53	213	0	1356
	13	100	25.0	27.5	55	222	0	1384
	13	100	30.0	27.5	61	204	0	1384
	13	100	35.0	27.5	66	189	0	1384
	13	100	30.0	30.0	49	164	0	1384

3. 試験結果と考察

3.1 再生碎石の混入による影響

(1) フレッシュコンクリートの性状

シリーズ I a において、同一のペーストフロー値を得るためには、再生碎石の混入量の増加に伴い、高性能 AE 減水剤添加量が増大した。シリーズ I b では、再生碎石に含まれる微粒分をセメントに置換して、セメントペースト容積、および高性能 AE 減水剤使用量を一定としたところ、ペーストフロー値はほぼ同一であった。

(2) 圧縮強度

シリーズ I a、b の試験結果を表-3 に示す。全空隙率に対する連続空隙の占める割合は、再生碎石を混入することで低下した。また、圧縮強度は、水セメント比 (W/C) を一定としたシリーズ I a において、ほぼ同一の空隙量であっても再生碎石の混入によって低下した。

図-1 に、シリーズ I a、b での普通碎石のみの結果を 1 とした場合の圧縮強度比と再生碎石混入率の関係を示す。それぞれの圧縮強度は、空隙率、水セメント比が異なるため、シリーズ II、III で得られた結果を基に補正を行った。普通碎石を用いたポーラスコンクリートの圧縮強度に対する再生碎石を混入したポーラスコンクリートの圧縮強度の比は、RC-5 では、30% の混入で平均約 15%、70% および 100% の混入で平均約 25% の低下であった。また、RC-6 では、20% の混入で約 10%、40% の混入で約 20%、80% の混入で約 30%、100% の混入で約 35% の低下であった。粒径の小さな再生碎石の方が、強度低下が大きかった。粒径の大きな RC-5 では、再生碎石の混合率が 70% を超えると、その強度低下率は小さくなった。

3.2 再生碎石単味での物性

(1) 全空隙率と連続空隙率

シリーズ II、III の試験結果を表-4 に、全空隙率と連続空隙率の関係を図-2 に示す。連続空隙率と全空隙率は相関係数 0.986 という高い相関を示し、一次式で示すことができた。

全空隙率に占める連続空隙率の占める割合は、RC-5 では約 95.6%、RC-6 では約 94.3% であった。骨材径の小さな RC-6 の方が連続空隙の占める割合が若干小さかった。

(2) 骨材に対するペースト量 (P/G) と空隙率および強度

P/G と全空隙率の関係を図-3 に示す。P/G の増大に伴い連続空隙率は減少した。連続空隙率が 25% を超えたものについては、RC-5 で約 25% 以下、RC-6 では約 20% 以下の P/G であった。また、表-4 から分かるように、同一空隙率・同一水セメント比の場合、P/G が大きい方

が圧縮強度は大きくなった。

表-3 シリーズ I 試験結果

	骨材最大粒径 (mm)	再生骨材混入量 (Vol%)	連続空隙率 (%)	全空隙率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	かさ密度 (kg/m ³)
シリーズ I a	20	0	35.5	35.7	10.6	1659
	20	30	34.2	35.9	9.7	1645
	20	70	34.7	36.6	7.2	1574
	20	100	33.2	35.7	7.4	1561
	13	0	28.6	30.0	15.1	1791
	13	20	28.2	29.9	13.7	1763
	13	60	25.6	28.5	11.3	1744
	13	100	23.0	27.0	10.5	1712
シリーズ I b	20	0	33.9	34.6	12.0	1707
	20	30	34.4	35.8	9.3	1650
	20	70	32.8	35.6	8.7	1620
	20	100	30.9	34.5	8.7	1606
	13	0	29.8	31.8	14.5	1774
	13	40	29.5	32.9	10.5	1718
	13	80	28.8	33.8	8.2	1660
	13	100	29.8	35.7	6.8	1606

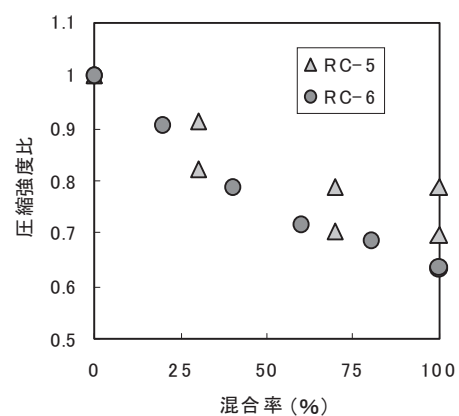


図-1 再生碎石混合率と圧縮強度比

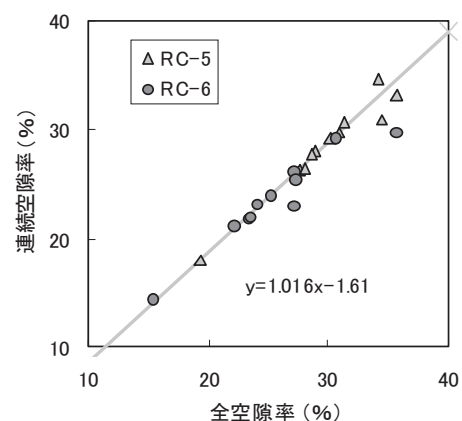


図-2 全空隙率と連続空隙率

(3) 全空隙率と圧縮強度

図-4に全空隙率と圧縮強度の関係を示す。全空隙率が20%から30%に増加すると、圧縮強度は4N/mm²弱減少した。圧縮強度は、骨材粒径の違いによる影響は少なく、空隙率による違いが支配的であった。

(4) 水セメント比と圧縮強度

図-5にセメント水比と圧縮強度の関係を示す。圧縮強度は前述のように空隙率の影響が強いため、全空隙率を27.5%として補正を行なった。

水セメント比と圧縮強度には、相関はあるがその影響は小さく、同一空隙率の場合、水セメント比の10%増加で、圧縮強度は2N/mm²程度の低下であった。

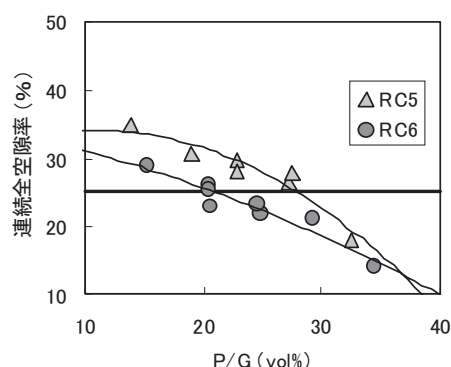


図-3 P/Gと連続空隙率

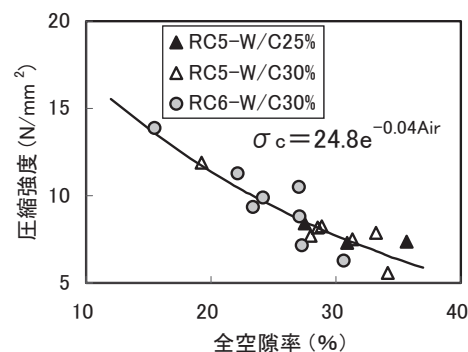


図-4 全空隙率と圧縮強度

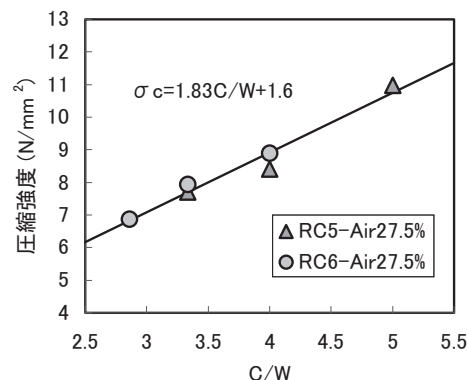


図-5 セメント水比と圧縮強度

表-4 シリーズⅡ、Ⅲ試験結果

	骨材 最大粒径 (mm)	W/C (wt%)	P/G (vol%)	連続 空隙率 (%)	全 空隙率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	かさ密度 (kg/m ³)
シリーズⅡ	20	30.0	22.8	28.0	28.9	8.2	1633
	20	30.0	32.6	18.0	19.2	11.9	1759
	20	30.0	27.5	27.7	28.5	8.2	1634
	20	30.0	19.0	30.7	31.3	7.5	1598
	20	30.0	13.9	34.8	34.2	5.6	1539
	13	30.0	24.4	23.1	24.2	9.9	1688
	13	30.0	34.3	14.2	15.5	13.9	1806
	13	30.0	29.1	21.1	22.1	11.3	1726
	13	30.0	20.4	26.0	27.1	8.8	1655
	13	30.0	15.2	29.2	30.6	6.3	1602
シリーズⅢ	20	20.0	27.2	29.2	30.1	10.1	1629
	20	25.0	27.2	26.2	27.5	8.4	1662
	20	30.0	27.2	26.4	28.0	7.7	1643
	20	25.0	22.8	29.7	30.9	7.3	1594
	13	25.0	24.8	24.0	25.2	9.8	1688
	13	30.0	24.8	21.8	23.4	9.4	1696
	13	35.0	24.8	21.9	23.5	8.3	1692
	13	30.0	20.4	25.4	27.3	7.2	1657
	13	30.0	20.4	25.4	27.3	7.2	1657

4. まとめ

実験の結果以下のことが分かった。

- 低品質の再生砕石を使用してポーラスコンクリートを製造する場合、その微粒分量をセメントに置換することでフレッシュコンクリートの性状をコントロールできる。
- 圧縮強度は普通砕石を使用する場合より低下するが、空隙量を調整することで所要の強度が得られる。
- 植生基盤のように強度を重視しないポーラスコンクリートでは、低品質の再生砕石が使用できる。

今後、再生砕石を使用したポーラスコンクリートに植栽を行い、植生基盤として採用できるかどうかを確認する。

[参考文献]

- 1) 財団法人先端建設技術センター：ポーラスコンクリート河川護岸工法の手引き、2001年
- 2) 村尾 健他：砕石並びに再生砕石を用いたポーラスコンクリートの圧縮強度性状に関する実験的研究、ポーラスコンクリートの設計・施工法と最近の適用例に関するシンポジウム論文集、p71、2002年5月
- 3) 月岡 存他：再生骨材の緑化コンクリートへの利用に関する研究、コンクリート工学年次論文集vol.24、p1125-1130、2002年