

論文 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

添田政司*1・大和竹史*2・江本幸雄*3

要旨：ポーラスコンクリートへの再生骨材の適用性を明らかにするため、ポーラスコンクリートの水結合材比、結合材の流動性および骨材の粒径・品質が圧縮強度、空隙および透水係数に及ぼす影響について検討を行うとともに、緑化コンクリートとしても使用可能であるかを実際に植物を播種し、その育成状況を観察した。その結果、圧縮強度や透水係数は骨材の粒径によってやや異なるものの、ポーラスコンクリートに再生骨材を用いた場合でも天然骨材と比べなら遜色のないことが明らかとなった。

キーワード：再生骨材、ポーラスコンクリート、シリカフェーム、圧縮強度、植生

1. はじめに

近年、環境保全・景観向上を前提として、都市空間および地域開発がなされ自然環境とコンクリート構造物の間により一層の調和が求められている。このような背景から連続空隙を有し、透水性・透気性に優れていることを特徴とするポーラスコンクリートが注目され、各方面で研究が盛んに行われている。現在、ポーラスコンクリートに用いられている骨材は、そのほとんどが粒度を均一にした天然骨材が使用されており、その強度は空隙が多いため最大でも 20N/mm² 程度しか得られていないのが現状である。そのため強度面から見た場合、ポーラスコンクリートに建設副産物である再生骨材を使用した場合でもその機能は充分発揮できるものと思われる。さらに再生骨材を使用することで資源の再利用化・省エネルギー化ができ、環境保全を目的としたポーラスコンクリートとという観点からも有効であると考えられる。

そこで本研究では、ポーラスコンクリート用骨材として、再生骨材を使用した場合の強度特性および緑化コンクリートへの利用可能性を明らかにするために天然骨材とを用いた場合と比較検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメント(比重: 3.16)を、混和材として粉末状シリカフェーム(比重: 2.20, 比表面積: 20 m²/g, SiO₂: 89.8%, 略号: SF)を使用した。骨材として天然骨材には、久山産の角閃岩5号, 6号, 7号砕石および砕石2005を、再生骨材には再生プラント工場より製造された5号および6号の再生骨材の合計6種類を使用した。これら骨材の物理的性質を表-1に示す。混和剤にはポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を用いた。コンクリートの配合は、水結合材比(W/B)を25, 35および45%の3水準とし、シリカフェームはセメント質量の内割で15%混入した。また、骨材空隙への結合材の充填率(本実験では空隙充填率と呼ぶ)は30%~70%の4水準、結合材のペーストの目標フロー値は170mm, 200mmおよび260mmと変化させて実験を行った。表-2に5号砕石を使用した場合のコンクリートの配合の一例を示す。

2.2 練混ぜ方法および供試体作製

練混ぜ方法は、セメントとシリカフェームをモルタルミキサー(容量30ℓ)で30秒間空練り後、所定の水と高性能AE減水剤を30秒で投入

*1 福岡大学講師 工学部土木工学科 工博(正会員)

*2 福岡大学教授 工学部土木工学科 工博(正会員)

*3 福岡大学助教授 工学部土木工学科 工博(正会員)

表-1 使用骨材の物理的性質

骨材の種類	粒径 mm	比重	吸水率 %	実積率 %
6号砕石	13.0～5.0	2.88	1.86	59.0
7号砕石	5.0～2.5	2.85	1.96	64.7
砕石2005	20.0～5.0	2.71	0.84	57.0
再生5号	20.0～13.0	2.48	5.34	56.0
再生6号	13.0～5.0	2.48	5.26	59.0

し、その後3分間練混ぜ、出来上がったフレッシュペーストと骨材を二軸強制練りミキサー(容量100ℓ)において2分間練混ぜる分離方式を用いた。ペーストは、モルタルミキサーで練りあがった後、JIS R 5201のセメントのフロー試験に従って目標のフロー値が得られているか確認を行った。締固めは木づちと突き棒を用いて、円柱は3層、平板は2層に分けて詰め、各層を約10回突き固め、振動台で振動締固めを行った。供試体は打設後24時間で脱型し、所定の材齢まで水中養生(20±1℃)を行った。

2.3 試験方法

(1) 圧縮強度試験：供試体にはφ10×20cmの円柱を用い、供試体上面にキャッピングを施し、JIS A 1108に従って行った。

(2) 透水試験：コンクリートを塩ビパイプ(φ10×20cm)に打設し、JIS A 1218の定水位試験法に従って行った。

(3) 空隙率の測定：フレッシュ時の空隙率は、JIS A 1116のまだ固まらないコンクリートの単位容積重量試験および空気量の重量による試験方法により空気量を測定し、これにより空隙率を求めた。硬化後の空隙率の測定は、透水試験後の供試体を切断し、砕石と空隙の輪郭をトレースして空隙を明瞭にした後、画像解析処理により求めた。

(4) 植生実験：供試体には30×30×10cmの平板を用い、骨材空隙への結合材の充填率を50%とした。水中養生を行った後、覆土の有無による洋芝(ケンタッキーブルーグラス)の育成状況を観察した。

表-2 コンクリートの配合例

W/B %	充填率 %	単位量 (kg/m ³)				SP %	ペーストの Flow,mm
		W	C	SF	G		
25	50	88	317	56	1619	1.3	168
25	50	87	317	56	1619	1.8	204
25	50	81	317	56	1619	3.2	267
35	50	111	271	48	1619	0.2	175
35	50	110	271	48	1619	0.5	171
35	50	108	271	48	1619	1.0	266
45	50	125	237	42	1619	-	167
45	50	125	237	42	1619	0.2	198
45	50	124	237	42	1619	0.5	267

3. 実験結果および考察

3.1 強度および空隙特性

図-1は充填率を変化させた場合のペーストのフロー値と圧縮強度の関係をそれぞれ水結合材比ごとに示したものである。図より、いずれの配合の場合も充填率が高いほど圧縮強度は大きくなる傾向にあった。水結合材比で比較すると、水結合材比25%では、目標フロー値200mmの場合の方がフロー値170mm、260mmの場合よりも圧縮強度は高くなる傾向が顕著に認められた。水結合材比35%では充填率が50%以上と比較的高い場合には、水結合材比25%と同様に、フロー値200mmにおける圧縮強度のピークが認められた。しかし、充填率が40%以下になると、フロー値が変化しても圧縮強度は変化せず、フロー値の違いによる圧縮強度への影響はほとんど認められなかった。また、水結合材比45%では、いずれの充填率の場合もフロー値の違いによる圧縮強度への影響は全く認められなかった。これらの要因としては、水結合材比が45%と高い場合は、ペースト自体の強度が卓越し、フロー値による影響がほとんど生じなかったものと思われる。一方、水結合材比25%の場合は、フロー値が高すぎても、低すぎても骨材とペーストとの付着が不良になるため圧縮強度の低下につながったものと考えられる。そこでこの要因を明らかにするため、ペーストの充填状況(空隙率)

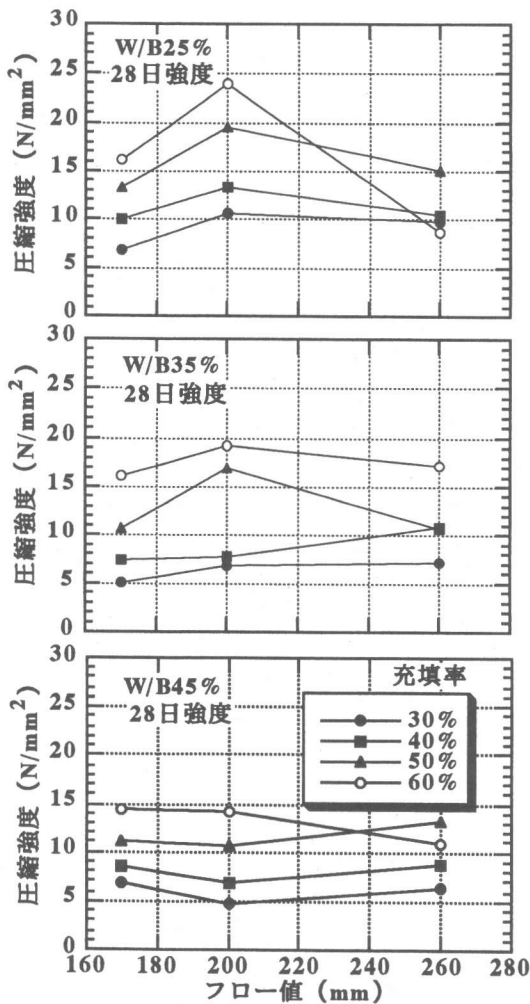


図-1 フロー値と圧縮強度の関係

に着目して検討を行った。

図-2は水結合材比25%で5号再生骨材を用いた場合の測定空隙率と理論(配合より求めた)空隙率の関係を示したものである。なお、画像解析による空隙率の測定には、透水試験後の供試体の両端面から4cmの部分切断し、それぞれ2ヶ所測定を行った。ここでは供試体上部および下部の空隙率の平均値を示した。図より、フレッシュ時の空隙率は理論空隙率とほぼ同程度を示しているが、画像解析によって求めた空隙率は若干大きくなる傾向にあった。これは再生骨材には骨材にモルタルが付着しているため、ペーストとの付着が良好になり理論空隙率よりも測定空隙率の方が大きくなったのではないかと

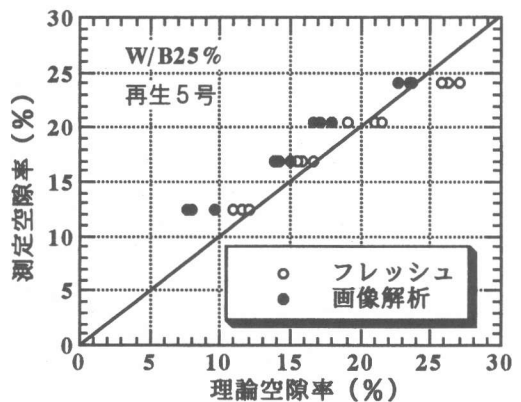
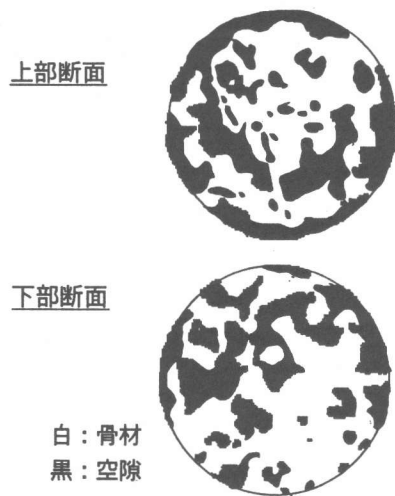


図-2 理論空隙率と測定空隙率の関係



W/B=25%, 充填率50%, フロー値260mm

図-3 ポラスコンクリートの断面

と考えられる。しかしながら、画像解析による空隙率は、図-3に示すように、水結合材比やフロー値によっては、切断面の位置で異なっていたため、上下部断面の空隙差で検討を加えた。その結果を図-4に示す。図より供試体の上下空隙差は、水結合材比により若干異なるものの、フロー値が200mmの場合の上下空隙差が最も小さくなり、フロー値がそれより小さくても大きくても上下空隙差は大きくなる傾向を示している。たとえば、水結合材比25%の場合では最大で約5%の空隙差が生じていた。このようにフロー値の差によって連続した空隙が供試体に一

様に分布できなかったことにより圧縮強度に差が生じたものと考えられる。これらの結果より再生骨材はペーストとの付着が良好になり、空隙率は低下するが、天然骨材と同様に最適なコンシステンシーが存在する¹⁾ことが明らかとなった。

次に圧縮強度に及ぼす水結合材比の影響を検討するため、図-5にフロー値200mmの場合の圧縮強度と水結合材比の関係を示す。図よりいずれの充填率においても結合材水比が大きくなるに従い圧縮強度も増加し、再生骨材を用いた場合でも圧縮強度と結合材水比は一次の直線で回帰することができる。しかし、フロー値が200mm以外では良好な相関関係が得られなかった。したがって、以下においては水結合材比25%、フロー値200mmお場合について考察を行う。

図-6に骨材の粒径を変化させた場合と再生骨材を使用した場合における充填率と圧縮強度の関係を示す。図よりいずれの骨材においても充填率が増加するに従い圧縮強度の増加する傾向が認められた。粒径の違いでは、5号砕石、6号砕石、砕石2005は同一充填率においてほぼ同程度の圧縮強度を示しているが、7号砕石は他の骨材に比べ低い値を示している。これは7号砕石の粒径が非常に小さく骨材の総表面積が大きくなるため砕石に付着するペースト層の膜厚が不足したことが原因であると思われる。次に骨材の品質の違いで比較すると、6号再生骨材は、充填率60%以下では同一粒径の6号砕石とほぼ同程度の強度発現を示しているが、充填率70%において6 N/mm²程度低い値を示している。この要因として、充填率が70%とペースト量が増えると、骨材そのものの強度に支配され、再生骨材に付着したモルタルが剥離し始め強度が低下したものと考えられる。一方、5号再生骨材の場合は同一粒径の5号砕石に比べいずれの充填率においても3~5 N/mm²程度低下する傾向を示していた。これは再生骨材には通常30~40%の古いモルタルが付着²⁾しており、その中でも粒径の大きい5号再生骨材の方が6号再生骨

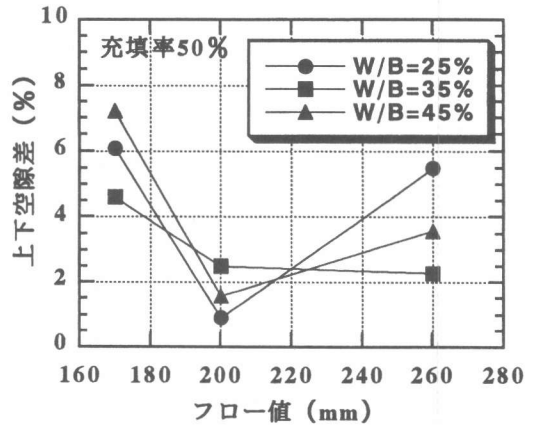


図-4 切断面の上下空隙差

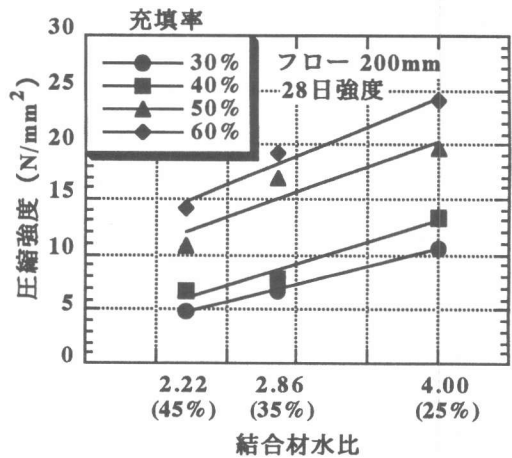


図-5 圧縮強度と水結合材比の関係

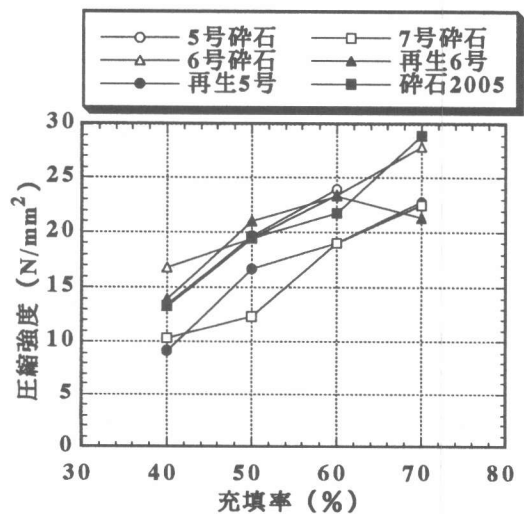


図-6 充填率と圧縮強度の関係

材に比べ、付着しているモルタル量が多いため強度の低下が生じたものと考えられる。

これらのことから、再生骨材を使用し、ある目標強度を確保するためには、その骨材の粒径によってペーストの充填率を増加させる必要があることがわかった。

3.2 透水係数

図-7に骨材の粒径および品質を変化させた場合における測定空隙と透水係数の関係を示す。図よりいずれの骨材を使用した場合でも空隙率が高くなるに従い透水係数は大きくなる傾向にあり、空隙率と透水係数には高い相関性が認められた。骨材粒径の違いでは、天然骨材および再生骨材いずれにおいても、骨材粒径が大きい5号砕石の方が大きな透水係数を示した。粒径の違いによって透水係数に差が生じたのは、同一空隙充填率でも骨材の寸法が大きい5号砕石の方が個々の空隙が大きくなり、より多くの連続空隙が存在し、高い透水性を示したものと考えられる。骨材品質の違いでは、6号粒径では天然骨材、再生骨材ともに同程度の値を示しているが、5号粒径では再生骨材の方が高い透水性を示している。これは前述したように、粒径の大きい5号再生骨材の方が吸水率の高い古いモルタルが多く付着しているため、ペーストが付着しやすくなり、そのため連続した空隙(Funicularの第一領域¹⁾)が形成しにくくなり透水性が低下したものと考えられる。

次に圧縮強度と透水係数の関係を図-8に示す。いずれの骨材を使用した場合でも圧縮強度が高くなるに従い、透水係数は小さくなり透水係数と圧縮強度は良い相関性を示している。また、同一強度において骨材粒径の相違により0.5~2.0cm/secとかなりの差を生じることが判った。これらの結果より、ポーラスコンクリートの透水係数と圧縮強度および空隙率には高い相関性があり、圧縮強度や透水性の設定は、骨材の種類や粒径を変えることによってある程度コントロールすることが可能と思われる。

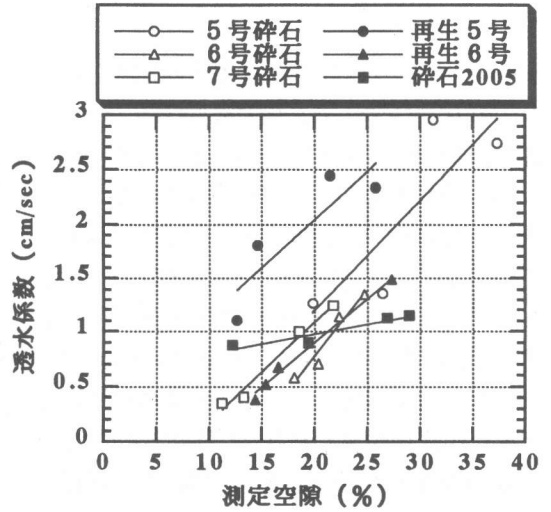


図-7 測定空隙率と透水係数の関係

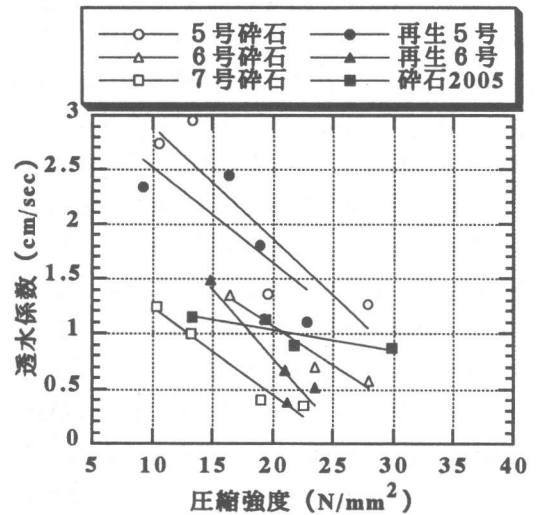


図-8 圧縮強度と透水係数の関係

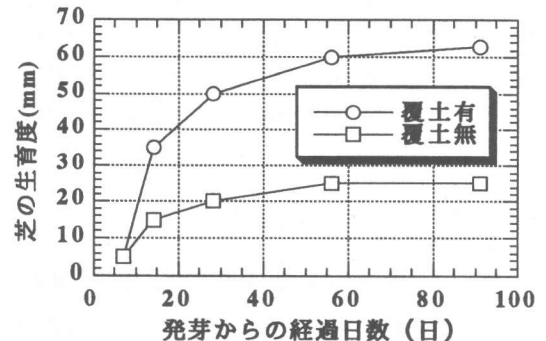


図-9 覆土の有無による芝の生育状況

3.3 植性実験

図-9は発芽後91日までの覆土の有無による芝の育成状況を表したものである。発芽から7日目までは覆土の有無にかかわらず、同様に成長するが、発芽から14日目以降は覆土を行った方が生育が良好であり、発芽91日の芝の背丈は、覆土の有無により40mm程度の差が認められた。

次に粒径の異なる骨材や再生骨材を使用した場合における芝の育成状況を図-10に示す。骨材粒径の違いでは、7号砕石は他の骨材に比べ著しく成長が悪く発芽91日で芝の背丈は30mm程度でしかなかった。これは、7号砕石の粒径が5~2.5mmと小さく、それにより形成される空隙も小さくなり、植物の根が空隙間に進入しにくかったことが原因であると考えられる。さらに7号砕石においては、散水時播種した種子が土壌と共に流れだす傾向が目視観察により認められた。したがって、7号砕石を使用したポーラスコンクリートは、緑化コンクリートとしての使用が困難であると考えられ、むしろ7号砕石を使用した多孔質コンクリートは、植物が育成しにくいという特徴を生かし雑草が生えてこない透水性のある駐車場の舗装や歩道として利用できるものと思われる。一方、5号砕石や6号砕石においては芝の育成も良好で、ほぼ同様の成長過程を示しており、骨材の粒径が6号以上であれば緑化コンクリートとして使用できるものと思われる。次に骨材の品質の違いについて検討してみると、同一粒径の6号砕石と6号再生骨材は発芽からほとんど同様の成長をたどっており、植生実験においても骨材品質の違いによる影響は認められなかった。この結果より再生骨材は十分に緑化コンクリートの骨材として使用可能であることが確認された。

4. まとめ

ペーストの流動性、水結合材比、および骨材の粒径や品質がポーラスコンクリートの強度特性や植生実験に及ぼす影響を検討した。

本実験で得られた結果を要約すると以下のと

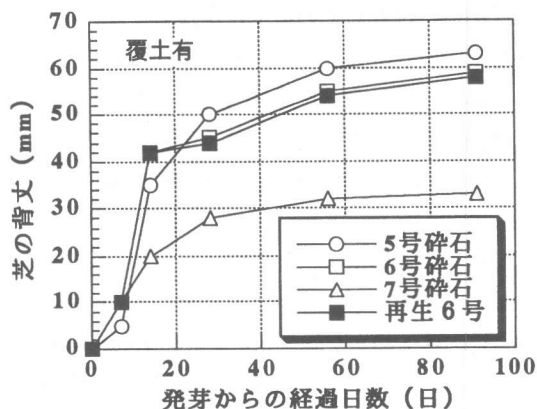


図-10 骨材の違いによる芝の生育状況

おりである。

(1)ペーストの流動性が悪い場合は、骨材とペーストとの付着が不良になるため強度低下を生じる。

(2)5号再生骨材は5号砕石に比べ強度は若干低下するが、ペースト充填率を増加させることによって使用可能である。また、6号再生骨材は6号砕石とほぼ同程度の強度が得られることから、ポーラスコンクリートの骨材として十分使用できると考えられる。

(3)骨材の粒径や品質の相違により透水係数は、著しく異なるが、透水係数と圧縮強度および空隙率には相関性が認められた。

(4)植生を行う場合には、コンクリート表面に覆土を行い、骨材粒径を6号以上のものを使用することが望ましい。また、植物の生育状況において再生骨材と天然骨材との品質の違いによる顕著な差は影響は認められず、再生骨材を緑化コンクリートの骨材としての利用も可能である。

参考文献

- 1) 玉井元治: 連続空隙を有する固化体の透水性, セメント技術年報, 4 2巻, pp.487-490, 1988.12
- 2) 江本幸雄・大和竹史・添田政司: 再生骨材コンクリートの諸性質について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14 No.1, pp.229-234, 1992.6