

論文 大粒径ポーラスコンクリートに関する研究

小林 隆芳*¹・大石 英夫*²・小野 芳*³・増岡 臣一*⁴

要旨：河川護岸において多様性のある生態系を創出するためには、動植物の生息環境を考慮し、大きな空隙径を有するポーラスコンクリートを適用する必要がある。本研究では、寸法の比較的大きな粗骨材を使用したポーラスコンクリートについて、ステージミキシングによる混練り方法を提案し、安定した製造が可能であることを実機製造実験で示した。また、ポーラスコンクリート水路について水生昆虫の生息調査を実施し、大粒径ポーラスコンクリート水路で良好な生物生息環境が形成されていることを確認した。

キーワード：ポーラスコンクリート、空隙、生物多様性、ステージミキシング

1. はじめに

都市化の進展や生活様式の変化などにより、我々を取り巻く自然環境は悪化の一途を辿ってきた。このような状況に鑑み、わが国においても、1993年に「環境基本法」が制定され、1995年には地球環境保全に関する閣僚会議において「生物多様性国家戦略」が策定されるなど、「持続的発展が可能な社会の構築」には、生物多様性の保全と利用が必要不可欠であることが改めて示された。これらの施策により、河川や農業用水路などの治水・利水を目的とした施設は、本来の機能のみでなく地球環境保全用の水辺空間としての機能を求められるようになってきている。土木・建築の両分野においても、自然との調和あるいは共生を目指した様々な試みがなされており、形成される生態系が貧弱となる従来型のコンクリート護岸に代わって、ポーラスコンクリート（以下、POCと略記）による多自然型水路の採用が増えつつある。

一般的に、POC河川護岸の強度、空隙等の構造仕様は、護岸の種類や植生目標を考慮して決定される。その中でも、空隙径に代表されるPOCの空隙特性は、動植物の生息空間を確保する上で、重

要な要素の一つである。既往の文献¹⁾では、最小骨材径が13mm以上の粗骨材を使用すると、空隙径が最小骨材径の約1/4となるので、草木類の細根が進入できる空隙径3mm程度を満足し、草木類の植生が十分可能になると示されている。しかしながら、多様性のある生態系を創出するためには、自然土壌の充填やミミズをはじめとする土壤生物、大型の水生昆虫の生息が可能な広い空間を確保する必要があると考えられる。

本研究では、最小骨材径が比較的大きな粗骨材を使用した空隙径の大きなPOC、すなわち3号砕石を使用した大粒径POC（以下、3号POCと略記）について、使用材料、製造方法および運搬方法について検討を行った。さらに、3号POCに形成される生物生息環境を、植物の生長量調査および実験水路における水生昆虫の生息調査により評価した。

2. 試験概要

2.1 3号POCの概要

POCは粗骨材の粒子同士を結合材により連結する構造であることから、一般のコンクリートと比較すると強度や耐久性に劣る傾向がある。

*1 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 (正会員)

*2 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所課長代理

*3 鹿島建設(株) 技術研究所 農博

*4 ケミカルグラウト(株) 基礎本部部長

そのため、結合材であるセメントペーストやモルタルの水セメント比を 20~30%程度と低い値に設定することが一般的である²⁾。このようなPOCは、施工時に強い振動を付与することを想定しており、硬練りとする場合が多い。3号POCとして、このような硬練りのPOCを製造した場合、生コンクリートプラントのバッチャーミキサからの排出過程で、閉塞などの不具合が生じる可能性があるとともに、アジテータ車での運搬が困難であり、汎用的な製造方法が適用できない。

また、高性能 AE 減水剤などの使用により流動性の高い POC とした場合、通常の POC と比べ粗骨材の比表面積が小さい 3号 POC では、施工時の振動締固めにより結合材のダレが生じ、下層空隙の閉塞と上層部での結合材不足による強度低下が危惧される。

そこで、これらの問題点をクリアにするため A 剤と B 剤からなる 2 液型の特殊混和剤と、この混和剤を用いた 3号 POC の製造方法を開発した。具体的には、(1) 減水効果を有し、B 剤と混ぜ合わせることで粘性とチクソトロピー性を発揮する A 剤を生コンクリートプラントで添加し、低水セメント比でありながらも流動性の高い POC を製造する。(2) アジテータ車にて POC を現場まで運搬する。(3) B 剤をドラムに投入し高速攪拌を行うことにより、適度な粘性とチクソトロピー性を付与する。

このような製造方法をとることにより、製造、運搬および施工に係る問題点を解決する方法を考案した。通常の POC に比べ粗骨材間の接点が少なく強度発現性に劣るとされる 3号 POC においても、開発した混和剤の作用効果により接点の厚みを増すことで影響を小さくし、POC 河川護岸で要求される圧縮強度 10N/mm² ²⁾ を得ることが期待できる。

本研究では、表-1 に示したコンクリート材料、表-2 に示したコンクリート配合を用いて、現場で混練り工程の一部を行うステージミキシング工法³⁾での 3号 POC 製造試験を行った。また、5号 POC および 6号 POC を対照区として生物生息

表-1 POC の使用材料

材料	種類	仕様	略記
セメント	普通ポルトランドセメント	密度 3.15g/cm ³	C
粗骨材	S-40(3号) 粒径 30~40mm	表乾密度 2.66 g/cm ³ 実積率 58.0%	G
	S-20(5号) 粒径 13~20mm	表乾密度 2.70 g/cm ³ 実積率 60.0%	
	S-13(6号) 粒径 5~13mm	表乾密度 2.70 g/cm ³ 実積率 60.0%	
混和剤	特殊混和剤	A 剤・B 剤 (2 液型)	Ad
	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系	SP

表-2 POC の配合

種別	W/C (%)	空隙率 (%)	単位量(kg/m ³)			Ad(C×%)	
			W	C	G	A 剤	B 剤
3号	26	25	86	329	1490	1.0	0.5
5号	26	25	77	294	1566	1.5	1.5
6号	26	25	77	294	1566	1.5	1.5

状況の比較を行った。

2.2 実験内容および試験方法

(1) 3号 POC 製造実験

混練り性能に乏しいアジテータ車によるステージミキシングにおいては、B 剤添加前の POC 性状、特にペーストの流動性が、製造後の POC 品質に与える影響が大きいと考えられる。適切な流動性の範囲を逸脱すると材料分離などにより、B 剤添加後の攪拌が困難となり、アジテータ車内で POC 性状にばらつきが生じるためである。そこで、ペーストの流動性がステージミキシングに与える影響を検証するとともに、流動性の最適値を求めることを目的に、実機製造実験を行った。ペーストの流動性は、特殊混和剤とは別に高性能 AE 減水剤を添加することで調整し、その添加量

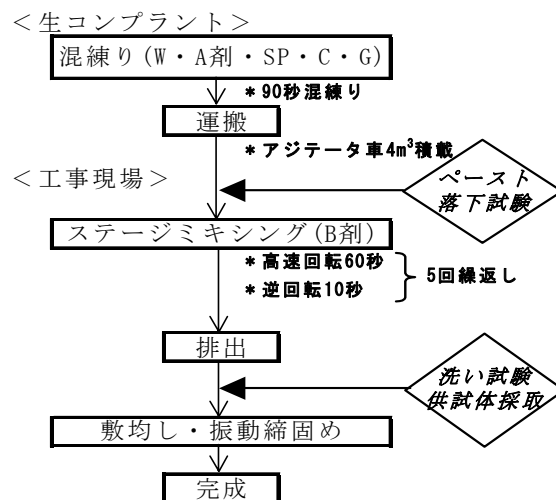


図-1 POC 製造・品質管理フロー

は C×0.0~0.5%の範囲で 5 水準とした。POC の製造方法は、生コンクリートプラントで混練りした B 剤添加前の POC 試料を、大型アジテータ車で運搬し、施工現場で B 剤を投入、攪拌するステージミキシングを実践した。なお、POC 製造工程および各評価試験のタイミングは、**図-1** に示した。

流動性の評価として、**写真-1** に示した品質管理試験機を用いた「ペーパ落下試験」を行った。この試験機は、約 2kg の試料を入れた 5mm メッシュ篩と受皿を上部の平板付バイブレーターと下部のフレームとで挟み、ボルトで締めつけた後、60 秒間振動を加えた際に落下するセメントペーストの採取試料に対する割合で流動性を評価するものである。

製造した POC は、アジテータ車からの排出順序を 4 分割し試料採取することで、アジテータ内での均一性を評価した。試験項目は、骨材に付着しているペースト量を定量化するための洗い試験と φ125×250mm 供試体を用いて、JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験」に準じた圧縮強度試験とした。ここでの洗い試験とは、排出直後の試料を約 2kg 採取し、流水によりペーストを洗い流した後、骨材をウェス等で簡易的に表乾状態にし、その骨材の質量を計る方法で、骨材へのペースト付着割合を算出するものである。

アジテータ車から排出した POC の内、目視により性状が良好であったものを選び、敷均しおよび振動締固めを行った。敷均しは 0.4m³積みバックホーにより行い、表面を均一に整形したのち振動機付法面整形用バックホーで振動締固めを行った。このバケツは高周波振動機が取り付けられてあり、バケツの振動で締固めを行うものである。1 ヶ月経過後、φ150×300mm にコアカットした供試体を用いて、JIS A 1107「コンクリートからのコア採取方法及び圧縮強度試験」に準じた圧縮強度試験と JCI ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会報告「ポーラスコンクリートの空隙率試験方法(案)」¹⁾ に準じた空隙率の測定を行った。



写真-1 試験機

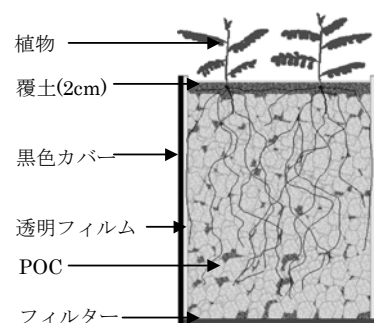


図-2 供試体の構造

表-3 実験条件

覆土	種子	ススキ (粒)	30
		イタチハギ (粒)	30
	基盤	バーク堆肥 (g)	400
充填材	肥料	緩効性肥料(10-5-16) (g)	4
	水	水道水 (g)	1000
	調整剤	液肥 (g)	5
	黒土	市販園芸培土 (g)	*
肥培管理	保水材	アクリル系樹脂 (g)	5
		灌水	水道水 (mm/day)
	温度	昼(25℃) (hr)	12
		夜(18℃) (hr)	12

*3号 POC: 500g、5号 POC: 250g、6号 POC: 0g

(2) 植物の生長量に関する室内実験

最小骨材径の違う 3 種類の骨材を使用した POC において、植物の生長量を比較した。**図-2** に示した、φ150mm×200mm にコアカットした円柱供試体を用いて、**表-3** に示した実験条件のもと、自然光型人工気象室内における POC 内部への根の侵入量と成長量を調査した。なお、対照区として POC 供試体とほぼ同径のポットに、POC 供試体とみかけの体積が同一の黒土を入れた試験区を設けた。各試験区は 3 反復とし、根の発育を適切に評価するため、発芽した植物は各試験区で最も生長の良い 2 個体だけを残して間引きした。播種から 1 年後に地上部を刈り取り、供試体周囲に回り込んだ根を取り除いた後にコンクリートカッターで POC 供試体を 4 等分に輪切りにし、圧縮試験機によって骨材がバラバラになるまで破砕した後、根を分別し地上部と根の質量を測定した。

(3) 水生昆虫の生息調査

生物生息調査を実施した、水路断面を**図-3**、

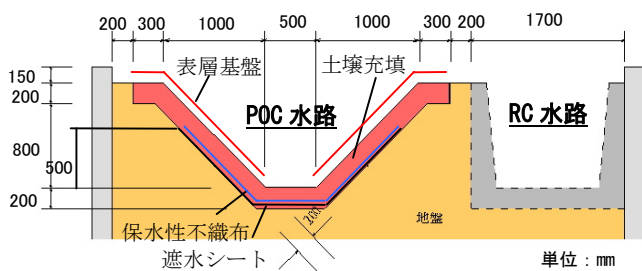


図-3 水路断面図

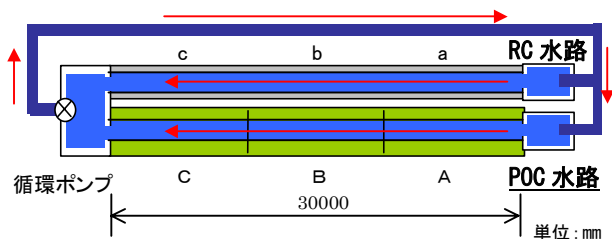


図-4 水路平面図

平面を図-4に示す。3号POC水路およびRC水路を隣接して構築し、農業用水路から導水した水をポンプで循環させ一定の水量を保つように設定した。各水路は水深300mm、流量0.02 m³/sの一定としたが、断面形状が異なるため、流速は3号POC水路が0.15 m/s、RC水路が0.04 m/sであった。POC水路と地盤の境界には、保水性不織布と漏水防止の遮水シートを底面より500mmの高さの範囲で敷設した。空隙にはスラリー化した黒ボク土を充填し、法面には数種の種子を配合したバーク堆肥を厚さ30mmの表層基盤として吹き付けた。

調査は、RC水路では各試験区(a, b, c)の中央部(低泥域)で実施した。3号POC水路はRC水路と異なり水際部に植生が形成されているため生物相に違いがあると考えられ、各試験区(A, B, C)の中央部に加えて水際部(植生域)も調査対象とし、合計6箇所調査を実施した。各調査ポイントに生息する水生昆虫を全て捕獲し、種および個体数を計測した。

3. 試験結果

3.1 3号POC製造実験結果

高性能AE減水剤の添加量とペースト落下試験によるペースト落下割合の関係を図-5に示す。比較としてJIS R 5201「セメントの物理試験方法 フロー試験」に準じて測定した、ペース

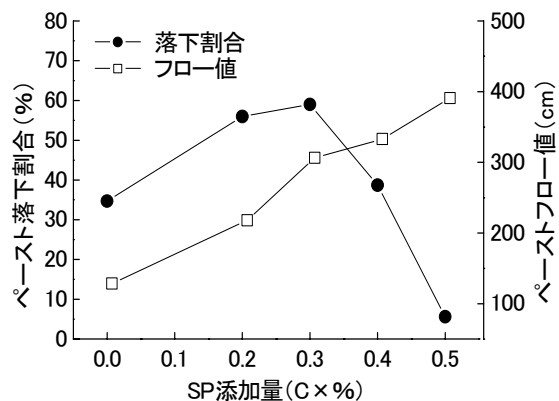


図-5 SP添加量とペースト落下割合の関係

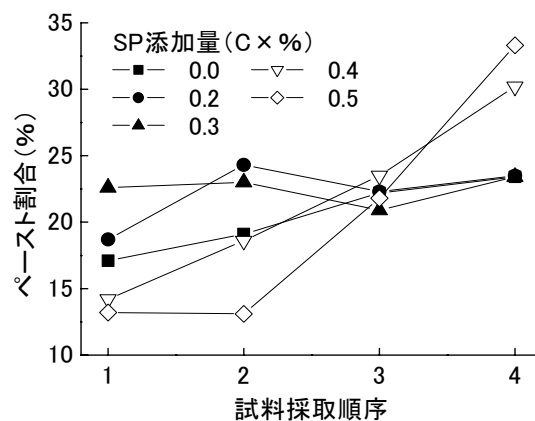


図-6 洗い試験の結果

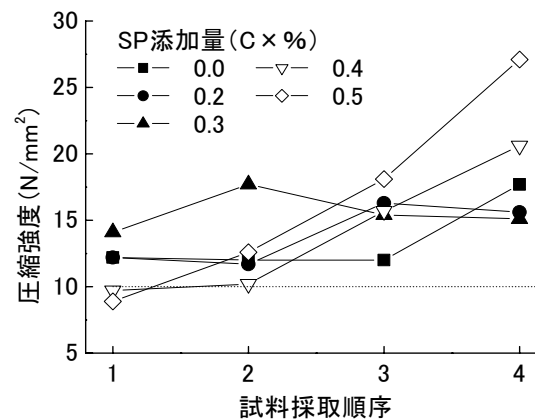


図-7 圧縮強度試験の結果

トのフロー値を示す。この値は同配合からペースト部だけを抽出した予備実験の結果である。ペーストのみを混練りしフロー試験を行うと、SP添加量の増加に伴いフロー値が大きくなる。一方、アジテータ車から試料を採取し、ペースト落下試験を行うと、SP添加量C×0.3%で落下割合はピークを示し、さらに添加量が増加すると、急激に低下する結果となった。ペーストの流動性がある一定値以上になると、アジテータ車内で骨材から分離したペーストがドラムの最深部で滞留し、適

切な試料採取が困難になるためと考えられる。

洗い試験の結果を図-6に、圧縮強度試験の結果を図-7に示す。洗い試験の結果、SP添加量C×0.4%以上では、アジテータ車からの排出順序が後半になるほど、ペースト割合が増加しており、前半と後半でペースト割合に大きな差が見られる。B剤添加前のペーストの流動性が高い場合、B剤の均一な攪拌が得られず、POC性状にばらつきが生じることとなる。一方、SP添加量C×0.3%以下では、前半と後半でペースト割合の差が小さい結果となった。

圧縮強度試験の結果、SP添加量C×0.4%以上では、前半と後半で強度に大きな差が見られる。特に最終強度が著しく大きいことから、ペースト量過多により、空隙が閉塞していると考えられる。一方、SP添加量C×0.3%以下では、前半と後半での強度の差が小さい結果となった。しかし、SP無添加では、個別の試験体で10N/mm²を下回るものが存在し、目視観察でもペーストが骨材から剥離している状況が確認されている。

以上の結果より、B剤の均一な攪拌が可能となるSP添加量は、C×0.2~0.3%程度であることが分かる。すなわち、B剤添加前のペースト落下試験結果を指標とした場合、ペースト落下割合が50%程度以上であれば、ペーストは適切な流動性を有し、品質の良好なPOCがステージミキシングで製造可能であると言える。SP添加量C×0.3%のPOCを厚さ200mmの平板に施工し、コアカットし試験を実施した。その結果、圧縮強度は平均で10.9N/mm²、空隙率は平均で26.3%となり、いずれも目標値を満足している。本研究で

示したステージミキシングによる製造方法で、大粒径POCが安定して製造可能であることを確認した。

3.2 植物の生長量に関する室内実験結果

植物の乾燥質量の測定結果を表-4に示す。地上部でのイタチハギの生長量は、対象区である黒土に対し、3号POCでは75%、5号POCでは47%であり、6号POCではほとんど生育が見られなかった。ススキの生長量は、黒土に対し、3号POCでは41%、5号POCでは37%と生育が抑えられており、6号POCに至っては全て枯死する結果となった。

次に、地下部でのイタチハギの根の進入量は、黒土に対し、3号POCでは55%、5号POCでは36%であり、ススキの根の進入量は、3号POCでは33%、5号POCでは36%であった。いずれも6号POCではほとんど根の進入は見られなかった。3号POC、5号POCともにPOCの最下部まで根の進入が確認できたことから、5号POC以上の空隙径があれば根がPOC内に侵入し、植生が十分可能であることが示された。

また、イタチハギの地上部の生長量と根の進入量は、5号POCに比べ3号POCが上回っており、3号POCにおける植生の優位性が示されたと言える。一方で、ススキのように比較的根の大きい植物では、5号POCと3号POCで大きな差は見られず、植物の種類によっては、植生が制限される結果となった。POCでは、黒土と比較しても植生は最大で75%程度と制限されていることから、植生を保ちつつ過剰に植物が繁茂することを抑制する効果も期待できる。

表-4 植物の部位別乾燥質量の測定結果

		乾燥質量(g)										
		地下部								地上部	合計	
		覆土部	POC 周囲	POC内 ①*	POC内 ②*	POC内 ③*	POC内 ④*	底	地下部 計			
イ タ チ ハ ギ	黒土									28.6	7.9	36.6
	3号	6.4	3.6	2.0	1.7	0.4	0.4	1.2	15.8	5.9	21.7	
	5号	5.3	2.4	1.6	0.2	0.2	0.5	0.0	10.2	3.7	13.9	
	6号**	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.7	0.3	1.0	
ス ス キ	黒土									46.9	48.2	95.1
	3号	7.4	2.9	3.0	0.7	0.6	0.2	0.8	15.5	19.9	35.4	
	5号	8.2	2.3	2.9	1.2	0.6	0.8	0.9	17.0	17.9	34.8	
	6号**	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

* POC内①~④は、POC供試体を輪切りに4等分にカットした、上から1~4番目の部分を指す。

** イタチハギ6号POC区は、3反復のうち1試験区を除いて全て枯死した。値は植物が残った1試験区のもの。ススキ6号POC区は、実験終了前に全て枯死した。

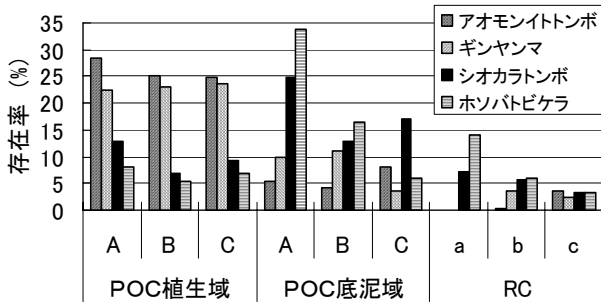


図-8 試験水路での存在率

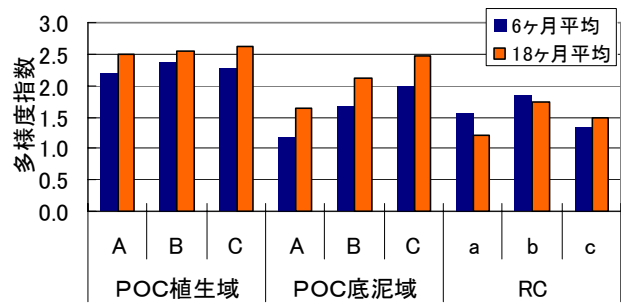


図-9 水生昆虫の多様性指数

3.3 水生昆虫の生息調査結果

施工から2ヶ月経過した時点で、水の供給を行い、その後18ヶ月にわたり水生昆虫を採取し、その平均出現種数を調査した。各生物の出現数には大きな差があるため、出現数の大小で生息環境の嗜好性を直接比較することは困難である。そのため、ある試験区において採取された個体数を出現総数で割った値を存在率(%)として算出し、各生物が生息する試験区の傾向を比較した。植生域および底泥域に選択的に生息する代表的な種の存在率を図-8に示す。

ギンヤンマとアオモンイトトンボの存在率は3号POC植生域の総計でそれぞれ78.5%と69.5%であるのに対し、RC水路では4.0%と6.1%と著しく少なかった。これらの生物は水際の植物に産卵するため、試験開始から2ヶ月を経過した時点で草丈200mm前後の植生が成立していた3号POC水路は、生息環境として好適であったと考えられる。また、孵化した後は植物などにしがみつく生活形態であるため、3号POC水路の中でも特に植生域に生息する個体が多かったと考えられる。

生物の個体数や種数だけでなく、生息生物のバランスを評価するため、多様度についても検討を行った。指標は、Shannon-Weaverの多様度指数(H')を用いた。これは種類数と個体数のバランスを見るもので、各種が平均的に出現している地点が高く、特定の種が卓越している地点は低い値となる。結果を図-9に示す。多様度指数は3号POC植生域が高く、RC水路は低い値を示した。特に、ホソバトビケラが優占する上流部が最も低い値となった。また、時間経過とともに3号POC

水路は植生域と底泥域の全域に渡って多様度指数が向上するのに対し、RC水路は一部で低下する状況も見られた。このことは、3号POC水路は施工後半年で比較的良好な生物生息環境が形成され、時間経過とともにその傾向が強まっていくのに対し、施工後1年半ではRC水路は良好な生物生息環境の形成が困難であることを示している。

4. まとめ

- (1) 2液型の特殊混和剤を使用した、ステージミキシングによる製造方法で、大粒径ポーラスコンクリートの安定製造が可能であると考えられる。
- (2) 大粒径POCでは通常のPOCと比較して、植物の種類により制限されるものの、根の進入量が多く、植生の優位性が示された。
- (3) RC水路と比較して、大粒径POC水路は多様な水生昆虫の生息が確認でき、良好な生物生息環境が形成できることを確認した。

参考文献

- 1) (財)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，山川堂，2001.4
- 2) (社)日本コンクリート工学協会：ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会報告書，(社)日本コンクリート工学協会，2003.5
- 3) 依田和久，原田実，黒沼出：ステージミキシング方式により製造した再生コンクリートの実用性の検討，日本建築学会構造系論文集，第548号，pp.1-7，2001.10