論文 リサイクル型大粒径ポーラスコンクリートの製造・施工に関する 基礎的研究

前川 明弘^{*1}·畑中 重光^{*2}·三島 直生^{*3}·湯浅 幸久^{*4}

要旨:本報では,結合材をコンクリートがらに吹き付け,一体化させることによりリサイ クル型大粒径ポーラスコンクリートを製造する手法について検討した。その結果、一層吹 付けの方法により大粒径ポーラスコンクリートが作製できた。大粒径ポーラスコンクリー トの強度および空隙径の確保には、粗骨材結合部分における結合材付着厚さの下限値およ び平均付着厚さの上限値を満たす適切な付着厚さを制御する必要がある。本実験の範囲で は、結合材の付着厚さは結合材のフロー値や密度が影響し、その制御にはフロー値を150mm より大きくする必要があることが明らかとなった。

キーワード:コンクリートがら、大粒径ポーラスコンクリート、吹付け、付着特性

1. はじめに

著者らは、ポーラスコンクリートの適用範囲 を大幅に拡大させることを目的として、粒径100 ~400mm程度の粗骨材を使用した大粒径ポー ラスコンクリートの製造と、魚礁への適応性に 関する検討を進めている。

さらに, 粗骨材として産業廃棄物であるコン クリートがらを粗割りの状態で使用することが 粒径ポーラスコンクリートの製造方法として,

できればリサイクル型大粒径ポーラスコンクリ ートとなり、コンクリートがらの新しい有効活 用方法が提案できる。

大粒径ポーラスコンクリートの製造における 課題は、粗骨材が大粒径であるため、ミキサの 練混ぜによる製造が不可能なことである。

前報¹⁾では、コンクリートがらを使用した大

	強度面	空隙面	その他
	・運搬、設置時に破壊しない	・対象生物にあわせた空隙径	・重金属など環境に有害な
	・海水の浸食作用などによる	の制御が可能である	物質を溶出しない
大粒径POC の要求性能	強度低下を生じない	(一例:伊勢エビの場合,	・低コスト,施工が容易
	・長期的に強度が維持できる	30∼50mm, 50∼100mm,	である
		100~150mmの3段階)	・効率的生産が可能である
		・魚礁などに必要な空隙率を	・潮流に対する抵抗性をもつ
		有している	・品質評価方法が確立できる
	・コンクリートがらに対する	・所要の空隙径が確保できる	・一定時間、経時変化が生じ
使用する結合	付着強度が確保できる	<u>結合材の膜厚上限値</u> を超え	ない
	・がらの一体化に必要な <u>結合材</u>	ない	・吹付けが可能である
材の要求性能	<u>の膜厚下限値</u> を確保できる	(吹付けによる, 空隙部分	・付着率が高く、無駄が生じ
	・大粒径POCを維持できる圧縮,	の膜厚の制御が可能)	にくい
	曲げなどの強度を有する		・品質評価方法が確立できる

表-1 大粒径ポーラスコンクリートに必要と考えられる要求性能

*1 三重県科学技術振興センター 工業研究部 主任研究員 (正会員)

*2 三重大学 工学部建築学科 教授 工博 (正会員)

*3 三重大学 工学部建築学科 助手 博士 (工学) (正会員)

*4 三重県科学技術振興センター 工業研究部 主幹研究員 博士(工学)(正会員)

吹付けによる3種類の手法を提案した。

吹付けによる製造方法では,**表-1**に示すよう に,大粒径ポーラスコンクリートに必要な強度 および空隙特性の確保のため,粗骨材粒子表面 における吹付けモルタルの付着厚さの制御が重 要となる。

本報では、3種類の手法の中から一層吹付け の手法を採用し、モデル供試体を用いた吹付け モルタルと付着厚さの関係、および、実際のコ ンクリートがらを用いた大型供試体における結 合材の付着状態などについて報告する。

2. 実験概要

2.1 吹付けモルタルの使用材料および製造条件

吹付けモルタルの使用材料を**表-2**に、物性値 を**表-3**に示す。

吹付けモルタルの調合は、水セメント比 W/C=0.22, 0.25, 0.28, 細骨材モルタル容積比 s/m=0.20, 0.35, 0.50とした。吹付けモルタル のフロー値(以下, FLとする)は高性能AE減 水剤の添加率SP/Cを変化させて調整した。

吹付けモルタルは,容量30リットルのオムニ ミキサを使用し,セメントと表乾状態にした細 骨材をミキサ内に投入後に加水し,100rpmの 低速回転で30秒間混合し,次に,200rpmの高 速回転で240秒間練混ぜて製造した。

2.2 モデル供試体による付着厚さ試験

吹付けモルタルのコンクリートがらに対する 付着特性の把握は,コンクリートがらの形状が 全て異なるためその評価が非常に難しい。

本研究では前報¹で実施した手法を採用し, 表乾状態にした φ 12.5cm, 高さ25.0cmの圧縮試 験用円柱供試体をモデル粗骨材と見なし,これ に結合材モルタルを吹き付けて付着厚さを測定 した。図-1に吹付け実験の概要を示す。

吹付けは、コンプレッサーに接続された内容 量1.0リットルの手動式簡易吹付け機を用いて おこなった。吹付けモルタルの最大付着量を把 握するため、供試体1本につき約3リットルのモ ルタルを様々な角度から全面に吹き付けた。

表-2 吹付けモルタルの使用材料

	普通ポルトランドセメント		
セメント	密度:3.17g/cm ³		
	比表面積:3270cm ³ /g		
	産地∶三重県櫛田川流域		
	表乾密度:2.61g/cm ³		
祁田 月 17	吸水率:1.48%		
	粗粒率:2.84		
水	水道水		
混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤		

表-3 吹付けモルタルの物性値

W/C	s/m	SP/C	FL(mm)*		密度	Fc**
			目標	実測	(g/cm³)	(N/mm^2)
0.22	0.35	1.0	200	194	2.40	123.0
0.25	0.20	0.5	200	196	2.29	104.3
	0.35	0.5	150	157	2.35	115.0
		0.7	200	196	2.35	117.9
		0.8	250	249	2.35	121.8
		1.0	300	290	2.35	123.7
	0.50	1.1	200	196	2.41	116.2
0.28	0.35	0.4	200	195	2.31	112.4

[注] *JISR5201に準拠 **材令28日圧縮強度



本実験において, 吹付け作業前後におけるモ ルタルの経時変化は見られなかった。また,本 実験の吹付け機では, FLが150mmを下回るも のを吹き付けることが不可能であった。

モルタルの付着厚さは、モルタル硬化後、湿 式切断機を使用し、中心と中心から左右5cmの 位置で3等分したすべての切断面において測定 した。付着厚さの計測位置は、1本の供試体でa ~hの8箇所とした[図-1(b)]。

2.3 大型供試体の作製方法

コンクリートがらを使用した大型供試体は, 調合を,W/C=0.25, s/m=0.35に固定し,FLを 150mm, 200mm, 250mm, 300mm(すべて±10mm) に変化させたものと,FLを200±10mmに固定し, W/Cを0.22, 0.28, s/mを0.20, 0.50に変化させたものとした。

コンクリートがらは、それらの最大となる直 径を計測し、粒径を小(S:100~200mm)、中(M :200~300mm)、大(L:300~400mm)の3サイ ズに分級して使用した。

大型供試体は、コンクリートがらを図-2のように3層に分けて積み上げた合計12個で構成し、 がら同士の安定も考慮して各がらに3ヶ所以上 は接点ができるように配置した。

吹付け量は、コンクリートがらの大きさや形 状が全て異なるために、統一することが困難で あった。このため、吹付けは、コンクリートが らの周りに結合材が付着し、がら表面の露出が 無くなった時点で終了とした。また、吹付けの 順序は、1層目から開始し層ごとに処理した。

2.4 大型供試体による付着厚さ試験

大型供試体の付着厚さは、供試体の切断面を 測定することによりおこなった。大型供試体の 切断は、供試体硬化後にダイヤモンドワイヤー ソー(ワイヤー径10φ)で各層最低1個はがら の中心で切断できる位置で半分に切断した。

付着厚さは、各層の切断面がコンクリートが らの中心にくるもの(図-3左図の□部分)を選択 し測定した。測定位置は図-3右図に示すように、 コンクリートがら表面の法線が鉛直と水平とな る4点(a,c,e,g)と、それらを結んだ直線の2等 分点付近の点(b,d,f,h)の合計8点でおこなっ た。また、コンクリートがら同士の接合部にお ける付着厚さについても測定した。付着厚さは、 上記で選択したがらとそれに接するがらの接合 部がモルタル表面に対して垂直になる方向の厚 さとした。

3. 実験結果と考察

3.1 モデル供試体における付着厚さ試験結果

(1) 各測定位置におけるモルタル付着厚さ

W/C=0.25, s/m=0.35の条件でFLを150mm~
300mmに変化させたモルタルを、モデル供試
体に吹き付けた場合における付着厚さの分布を



図-2 大型供試体に使用するコンクリート がらの構成



図-3 大型供試体の付着厚さ測定位置の例





図-4に、それらの切断面の例を写真-1に示す。 図-4より、フロー値にかかわらず、最下測定 位置であるe付近では付着厚さが低下する傾向 があることが確認された。これは、供試体底部 周辺におけるモルタルの自重による剥落による ものである[写真-1(b)]。

また,FLが150mmの場合には,モルタルの たれが小さいために付着厚さが厚くなりすぎ, 大量に剥落する場合があった。

(2) 各調合における平均付着厚さ

平均付着厚さは、(1)項の結果もふまえ、測 定位置eのデータを除く、7点の平均値から算出 した。W/C=0.25、s/m=0.35の調合で、FLを変 化させたときの平均付着厚さを図-5に示す。FL を200mmに固定し、W/C=0.25でs/mを変化させ た場合と、s/m=0.35でW/Cを変化させた場合に おける平均付着厚さをあわせて図-6に示す。

図-5によれば、平均付着厚さは吹付けモルタ ルのFLの影響を大きく受け、FLが小さくなる ほど、付着厚さが増加した。FLにより付着厚 さが変化したのは、吹付けモルタルのたれによ る影響が大きく、FLが300mmではモルタルの ほとんどがたれにより流失した。

図-6より, W/Cが大きくなるほど, あるいは, s/mが小さくなるほど平均付着厚さは増加した。

これは、各調合における吹付けモルタルの密 度の差に起因していると考えられる。本実験の 調合は、W/Cが大きくなるほどあるいは、s/m が小さくなるほどモルタル密度が小さくなるよ う設計されており(表-3参照)、密度が小さいと たれにくくなり付着性が向上した。

以上の結果より、吹付けモルタルの付着厚さ はFLの変化やモルタル密度によるたれの影響 を受けるため、その制御には、モルタルのFL や密度を考慮する必要がある。

3.2 大型供試体による付着厚さ試験結果

(1) 大型供試体の作製

コンクリートがらにモルタルを吹き付け一体 化させる手法により,全ての調合において大型 供試体を作製することができた。作製した大型 供試体の物性値を表-4に,外観を写真-2示す。

表-4より、コンクリートがらの粒径が300mm







図-6 W/C, s/mを変化させたときの付着厚さの変化

を超えると大型供試体に占めるモルタルの割合 (MBR)が小さくなった。また,すべての供 試体で20~30%程度の空隙率が得られたが,結 合材のFLおよびがらのサイズとの相関は認め られなかった。

(2) 大型供試体の切断面における付着厚さ

大型供試体をダイヤモンドソーで切断した切 断面の一例(L150)を写真-3に,FLが200mm のモルタルで作製した大型供試体(L200,M200, S200)の各測定位置における付着厚さを図-7に 示す。同図には,1つの供試体内の1,2,3層で厚 さの傾向が認められないため,測定に使用した コンクリートがら3個の平均を示した。

切断面の観察結果より,FLが小さいほど付着 厚さが大きくなる傾向が見られたが,図-7の測 定位置d,e,fのコンクリートがら同士の接合 部分の内側や下部にモルタルが付着していない

表-4 大型供試体の調合および物性値

供試体名	W/C	s/m	FL	大型供試体			
				重量(kg)	MBR(%)	空隙率 [*] (%)	
S150		0.35	150	37.0	28.9	20.6	
S200	0.25		200	35.0	18.5	24.3	
S250			250	41.8	20.7	25.7	
S300			300	27.6	19.6	19.4	
M150			150	87.9	27.0	20.9	
M200			200	97.6	22.9	27.9	
M250			250	78.7	25.2	22.2	
M300			300	84.2	19.9	33.4	
L150			150	215.5	18.5	22.8	
L200			200	158.8	15.1	24.1	
L250			250	167.6	15.5	19.7	
L300			300	192.7	8.9	25.4	
M2235	0.22	2 0.35	0.25		105.5	22.6	29.0
M2835	0.28		200	87.5	28.2	25.7	
M2520	0.25	0.20	200	95.6	20.3	26.3	
M2550	0.20	0.50		97.5	24.9	20.5	

[注] MBR: 大型供試体中のモルタル容積率 *:空隙率の測定は容積法を用いた

場所(平均付着厚さ=0mm)のあることが確認 された。これは、1層ごとの吹き付け処理のた め、吹付けができない部分が存在したためであ る。図-7からは、がらの粒径が大きくなるほど 付着厚さが大きくなる傾向があることも確認で きた。

大型供試体のコンクリートがらの粒径別の FLと平均付着厚さとの関係を図-8に示す。同 図では,がらの結合部分の影響を取り除くため, その周辺のデータは除外した。

その結果,空隙の形成状態,特に,空隙径に 大きく影響する平均付着厚さは,ばらつきは大 きいものの,L,MサイズではFLが大きくなる と平均付着厚さが小さくなる傾向が確認でき た。しかしながら,Sサイズの場合には,良い 相関が得られなかった。これは,粒径が小さい ものは結合部のデータを除いても,その影響を 受けやすいことや,がら自体の形状などによる 影響を受けたためではないかと推察される。

図-9に、大粒径ポーラスコンクリートの強度 性状に大きく影響する大型供試体の結合部分に おけるFLと平均付着厚さとの関係を示す。図-9 より、平均付着厚さとFLの相関は良く、すべて の調合において、がらの結合部分の付着性状は 良好で、FLが300mmの場合においても10mm以



写真-2 作製した大型供試体の一例



写真-3 大型供試体切断面の一例(L150)





上の付着厚さが確保されていた。

(3) 大型供試体とモデル供試体の平均付着厚 さとの比較

図-5に示したモデル供試体の付着厚さに関す るデータと、図-8、図-9で示した大型供試体の データをそれぞれ比較した結果を図-10に示す。 図-10(a)において、モデル供試体付着厚さが 27mmの場合(FL=150mm)では、大型供試体の 付着厚さが小さくなる傾向があった。これは、 大型供試体の吹付け量が一定とならなかったこ とによる。また、FLが150mmの条件は、吹付 け量が多い場合には必要な空隙径が確保できな い可能性などがあり、付着厚さの制御が困難で あると判断される。

モデル供試体付着厚さが10mm以下の場合 (FL≧200mm)では、L、Mサイズのがらを用 いた場合に比較的良い相関が見られたが、Sサ イズのがらには良い相関関係は見られなかっ た。これは、前述のがらの結合部の影響などに よると思われる。

また,図-10(b)からは,ばらつきはあるもの の大型供試体とモデル供試体の付着厚さにはあ る程度の相関関係があることが確認された。

4. まとめ

本研究では、以下に示す知見が得られた。

- リサイクル型大粒径ポーラスコンクリート は、一層吹付けの方法により作製できる。
- 2) 大粒径ポーラスコンクリートの強度および 空隙径を確保するためには、粗骨材結合部分 における結合材付着厚さの下限値および平均 付着厚さの上限値を満たす適切な付着厚さを 制御する必要がある。
- 結合材の付着厚さには、モルタルのフロー 値および密度が影響する。
- 4) 結合材の付着厚さの制御には、ある程度の 流動性確保が必要であり、本実験の範囲では、 モルタルのフロー値を150mmより大きくす る必要がある。また、現時点では、結合材の 付着厚さが制御できる粗骨材粒径は200mm以 上となった。

今後,強度性状に関する検討をおこなうこと で,製造方法の確立を進める予定である。

謝辞

本研究は,三重県と三重大学との共同研究「特 定プロジェクト研究事業」の成果の一部である。

本研究費の一部は平成15年度日本学術振興会 科学研究費補助金・基盤研究(B)(2)並びに三重 大学萌芽重点経費(いずれも研究代表者 畑中 重光)によった。また,浦純子君(三重大学学 生)には実験において多大なる援助を受けまし た。ここに謝意を表します。



図-8 大型供試体におけるフロー値と平均付 着厚さとの関係



図-9 大型供試体の結合部分におけるフロー 値と平均付着厚さとの関係



図-10 大型供試体とモデル供試体の平均付着 厚さとの比較

参考文献

1)前川明弘,湯浅幸久,松田浩一,三島直生,畑 中重光:コンクリートがらを使用した大型 ポーラスコンクリートの製造方法に関する 基礎的研究,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,日本コンクリート工学協会,pp.77-84,2003