報告　環境に配慮したポーラスコンクリートの試験施工

上原　伸郎[*1]・田中　伸幸[*2]・佐藤　健司[*3]・増岡　臣一[*4]

要旨：多様性のある生態系を創出するために，ポーラスコンクリートの空隙径は，ある程度任意に設定可能であることが望まれる。したがって今回，主に，寸法の大きな粗骨材を使用した比較的空隙径の大きなポーラスコンクリートを製造・施工する際の留意点，ならびに対応策について検討した。この結果，プラントミキサ公称容量の 1/2 程度で 90～120 秒程度の混練が必要であることや，アジテータ車壁面への付着により 40kg 程度のバインダーが失われること，さらに，アジテートの有無が経時変化に大きく影響することなどが確認された。

キーワード：ポーラスコンクリート，空隙径，アジテータ車，品質管理，試験施工

1.　はじめに

都市的土地使用の発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。

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，近年，その有用な建設資材のひとつとして，ポーラスコンクリート(以下，POC と略記)が注目されている。POC を構造部材として用いることにより，植生機能の付加ならびに微生物などの生息空間を創出することが可能となる。

しかしながら，植生基盤などに用いられる POC には，一般的に，単一粒度の粗骨材が使用されるため，空隙径に代表される POC の空隙特性は，単調なものとなる場合が多い。多様性のある生態系を創出するためには，大小様々な生物の生息空間を創造する必要があり，言い換えれば，POC の空隙径はある程度任意に設定可能であることが望まれる。

本稿では，空隙径の異なる POC を得るために，粒径の異なる粗骨材を使用して実施した試験施工の結果から，主に寸法の大きな粗骨材を使用した POC に関して，製造・運搬・打設・品質管理等における技術的な問題点を抽出するとともに，その対応策について報告する。

2.　使用材料および配合

試験施工に用いた POC の使用材料を**表 - 1**，POC の配合を**表 - 2** に示す。

表 - 1 試験施工に用いた POC の使用材料

材料(記号)		仕様等
セメント(C)		普通セメント，密度 3.15g/cm^3
細骨材(S)		山砂，F.M. 2.52，密度 2.58g/cm^3
粗骨材(G)	G1	砕石 4020，Gmax 40mm 密度 2.66g/cm^3，実積率 58.0%
	G2	S-20(5 号)，Gmax 20mm 密度 2.70g/cm^3，実積率 60.0%
	G3	S-13(6 号)，Gmax 13mm 密度 2.70g/cm^3，実積率 60.0%
混和材(AD)		高炉ｽﾗｸﾞ微粉末，密度 2.90g/cm^3 比表面積 4260cm^2/g
混和剤(SP)		ポリカルボン酸系 高性能 AE 減水剤(遅延形)

*1 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 研究員（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
*3 鹿島建設(株) 技術研究所環境技術研究部 研究員 農修
*4 ケミカルグラウト(株) 施工本部岩盤工事部 課長

表 - 2 試験施工に用いた POC の配合

粗骨材種別	粗骨材最大寸法 (mm)	粗骨材最小寸法 (mm)	m/g※1 (p/g) (vol%)	W/B※2 (wt%)	目標空隙率 (%)	単位量 (kg/m³)					SP (B×wt%)
						W	C	AD	S	G	
G1	40	20	25.0	24.9	30.0	34	80	65	145	1490	1.5
G2	20	13	25.9	23.0	27.0	59	147	121	-	1566	1.2
G3	13	5	25.0	23.0	25.0	59	147	121	-	1620	1.2

※1) m/g の g は単位粗骨材容積，m はモルタル単位容積(G1)，p はペーストの単位容積(G2,G3)
※2) B は結合材質量(C と AD の合計質量)

結合材は，セメントの水和によるアルカリ分の溶出量を低減するため，セメント質量の 45%を高炉スラグ微粉末で置換した。粗骨材 G1 を用いた POC は，粗骨材の比表面積が少なく，運搬あるいは締固め時の振動によりダレが生じやすいものと判断されたため，バインダーにはモルタルを採用した。POC の設計基準強度は材齢 28 日で 10N/mm² 以上，また目標空隙率は植生を考慮し 25%以上とした。ここで，空隙率と圧縮強度の関係を室内試験により確認した結果，材齢 7 日において図-1 に示す傾向が認められたことから，本配合における目標空隙率は，ほぼ妥当な値であると判断した。

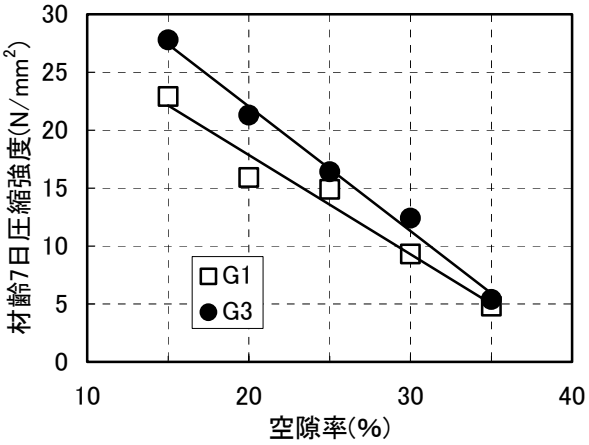

図 - 1　空隙率と POC 圧縮強度(材齢 7 日)の関係

3.　製造

3.1　混練時間

POC の混練効率は，モルタル(ペースト)が非常に少ないことから低下することが予想され，この傾向は骨材寸法が大きいほど顕著になると考えられた。したがって，粗骨材 G1 を用いた POC に関し，テストミキサにより混練時間の検討を行った。試験は，混練後ウエットスクリーニングで採取したモルタルと，専用ミキサで十分に混練したモルタルとの圧縮強度の比較によって評価した。試験結果を図 - 2 に示す。

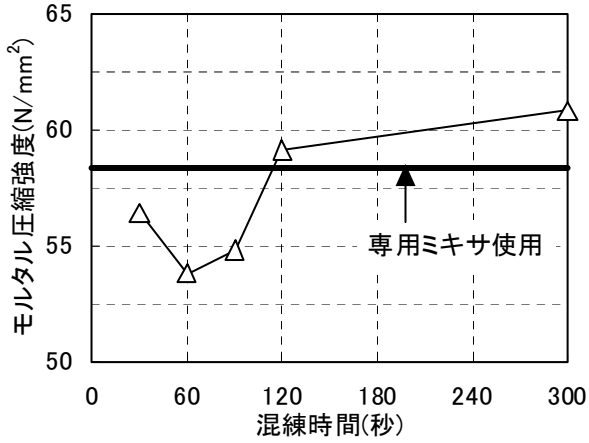

図 - 2　POC 混練時間とウエットスクリーニングで採取したモルタル圧縮強度(材齢 7 日)の関係

この結果，混練時間は 120 秒以上が必要であると判断され，90 秒以下ではバインダーが十分に混練されず，不均質なモルタルとなっている可能性が示唆された。

しかしながら，今回のプラントでは，制御可能な混練時間が 90 秒までであったため，試験施工時の混練時間は，最長の 90 秒に設定することとし，混練後の POC を目視により確認することとした。この結果，90 秒程度でもモルタルは均質化しており，十分な混練がなされているものと判断された。この理由としては，ミキサの容量が大きくなったことにより，混練効率が向上したものと考えられた。

3.2　混練量

POC は，標準的な生コンプラントで製造した。ただし，モルタル(ペースト)の非常に少ない POC は，混練時のミキサ負荷が非常に高くなることが予想されたため，事前に実機による混練試験を行い，1 バッチ当たりの混練量を設定することとした。なお，使用したミキサは，容量が $3m^3$ の 2 軸強制練りミキサである。

試験の結果，POC が同一容積であれば，粗骨材寸法が大きいほどミキサ負荷は高くなった。また，負荷値から判断すると，粗骨材 G1 を用いた POC では，1 バッチ当たり $1.5m^3$ 程度が妥当な混練量であると判断されたため，試験施工時の混練量は，各配合とも $1.5m^3$ に設定した。

一方で, 実工事を考えた場合, 1 バッチ($1.5m^3$)ごとに運搬するのでは，運搬車の台数が多く必要になるなど，施工上支障をきたすことが懸念される。したがって，2 バッチ分を 1 車で運搬するために，アジテータ車を使用し，2 バッチ分投入後ドラムを 1 分間高速回転させて POC を均一化させた後に出荷した。

4.　品質管理方法の検討

品質管理については，既往の研究から幾つかの試験方法が提案されているが, 今回は,「ポーラスコンクリートのフレッシュ性状迅速判定マニュアル(案)」[1)]を参考に，簡便かつ人的な誤差を極力排除した方法として，次に示す方法を新たに考案し採用した。

4.1　粗骨材質量の確認

POC の空隙率は，単位粗骨材容積ならびに粗骨材とバインダーとの容積比よって決定される。したがって，約 5kg の POC を洗い試験に供し，試料中に含まれる粗骨材質量を単位粗骨材質量と比較することによって，単位粗骨材容積および単位バインダー容積を確認することとした。

4.2　バインダーの流動性

バインダーの流動性は，ダレなどによる空隙の閉塞, あるいは粗骨材表面での付着性状など, POC の物性や施工性に影響を及ぼすため，以下の試験により評価・確認することとした。試験機を**写真 - 1**，主な仕様を**表 - 3** に示す。

(1)　試験方法

約 2kg の POC 入れた 5mm メッシュの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，ボルトで締め付ける。30 秒間振動を加えた後，受け皿に落下したバインダー質量を測定するとともに，同時に 5mm 篩に留まった POC 中に含まれる粗骨材質量を洗い試験により求める。

写真 - 1 POC 品質管理試験機

表 - 3 品質管理試験機の仕様

試験機総質量 (kg)		14.3
バイブレーター	形式	MSZ-F100A
	電圧(V)	100
	電流(A)	4.5
	出力(W)	280
	振動数(Hz)	150～183

(2)　試験の評価

篩に留まった粗骨材質量を洗い試験の結果と比べ, サンプリングが適正か否かを判断した後, バインダー落下量の実測値から求めた落下率と, 配合選定時の落下率との差から品質を評価する。

(3)　バインダーの流動性と落下率の関係

粗骨材 G1 を用いた POC について，バインダーの流動性と，振動時間を変化させた場合の落下率との関係を**図 - 3** に示す。なお, 流動性は, ウエットスクリーニングをしたモルタルのテーブルフロー値 (JIS R 5201) で表し，落下量は, 式(1)により計算した落下率(Db)で表した。

$$Db = Vb / (Ab \times (B / T)) \times 100 \ (\%) \qquad (1)$$

ここに，Vb : 落下量の実測値

Ab : 採取した試料の質量

B : 単位バインダー質量

T : POC の単位質量

粗骨材 G1 を用いた POC では，振動時間が 30 秒から 60 秒程度で良好な相関が認められた。ただし，両者の関係は，バインダーの粘性によって変化すると考えられるため，混和剤添加量や水セメント比が異なる配合では，試験練りによりこの関係を求めておく必要がある。なお，この試験方法は，S-13(6 号)程度以下の比較的小さな粗骨材を用いた POC では，バインダーが十分に落下しないため，適応することが難しい。

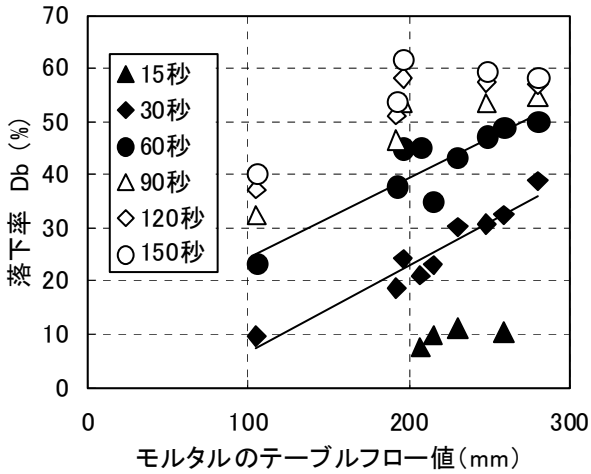

図 - 3 ウエットスクリーニングで採取したモルタルのテーブルフロー値と落下率の関係

5. 運搬

5.1 アジテータドラムへのバインダー付着

POC の運搬手段には，大きく分けて，アジテータ車による方法と，ダンプトラックによる方法とが挙げられる。アジテータ車による方法の欠点のひとつとして，ドラム内へのバインダー付着が考えられたため，POC をアジテータ車で 90 分間アジテートし，全量排出後のドラム内壁に付着したバインダーを採取し，その質量を測定した。なお，アジテータ車は 10t 車(ドラム内にフレッシュなモルタルがないもの)を使用し，粗骨材 G1 を用いた POC を $3m^3$ 分積載した。

ドラム内壁の状態により結果は異なるものと考えられるが，今回の試験では，アジテート後のドラム内壁に約 41kg のモルタルが付着していることが確認された。この量は，POC に含まれるモルタルの約 4.3%に相当する量であり，m/g (vol%)で考えると 1.1%程度モルタルが減少していることになる。

試験施工では，ドラム内にモルタルがすでに付着しているとして特に補正は行わなかったが，今後アジテータ車を用いて運搬を行う場合には注意が必要である。

5.2 運搬中のアジテートの有無

アジテータ車を用いる方法の 2 つ目の欠点として，運搬中の乾燥が考えられた。すなわち，ドラム内は比較的湿潤状態に保たれていると考えられるものの，POC が転動することによって，乾燥が促進されることが懸念された。そこで，攪拌羽をアジテータ車ドラムのような形状に改造した傾胴ミキサを用い，試験室において 60 分後までのバインダーの経時変化を測定した。なお，試験には粗骨材 G1 を使用した POC を用い，評価は 4.2 の方法により行い，振動時間は 30 秒とした。試験結果を図 - 4 に示す。

この結果，POC を静置した場合には，アジテートする場合に比べ，バインダーの流動性低下は少ないことが明らかとなった。すなわち，POC の運搬においては，アジテートを実施しないほうが流動性の低下は少ないものと予想された。

次に，実際のアジテータ車を用いて，混練後 90 分経過した POC に関し，アジテートの有無による影響について確認した。なお，POC には粗骨材 G1 を使用したものを用い，当日の評価は試験の都合上，目視によるものとした。

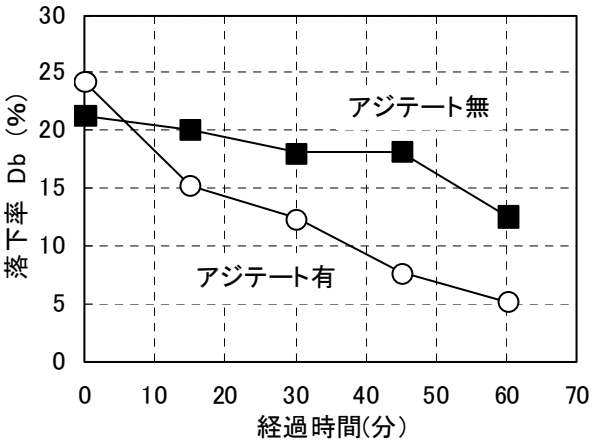

図 - 4 アジテートの有無がモルタル流動性の経時変化に与える影響

この結果，排出後の POC の表面光沢を比べると，アジテートしないものの方が明らかに良好であると判断されたことから，試験施工時の運搬では，アジテートを実施しないこととした。

6. 打設

6.1 試験区の概要

1) 試験区 1

面　積；10m^2 (幅 2.5m×法長 4.0m)
厚　さ；200mm
勾　配；1：1.8
粗骨材；G1 を使用
型　枠；幅 240mm の木製型枠をアンカーピンで固定
背　面；ヤシマット

2) 試験区 2

面　積；6m^3 (幅 2.0m×3.0m) ×3 工区
厚　さ；150mm
勾　配；1：1.5
粗骨材；G1，G2，G3 を使用
型　枠；鉄筋およびフレーム材
背　面；不織布

6.2 敷均し

試験区 1 では，アジテータ車から 0.2m^3 のバケットを装着したバックホウで受け，試験区へ荷下ろし後，レイキで所定厚(余盛含む)に敷均した。試験区 2 は，重機が進入できないため，バックホウから一輪車に投入し，人力で所定厚さに敷均した。

6.3 締固め

試験区 1 の締固め方法は，3 種類(**表 - 4**)の方法について事前に検討した結果，合板とプレートコンパクタ(バックホウに取付け)の組み合わせを採用した。プレートコンパクタの仕様を**表 - 5**，施工状況を**写真 - 2** に示す。なお，合板の寸法は 1,250×1,000 を標準とした。

試験区 2 については，人力で敷均し後，合板で覆い，一般的な小型転圧機で転圧する方法を用いた。施工状況を**写真 - 3** に示す。

表 - 4 締固め方法の検討結果

	締固め機	振動	合板	評価
1	バックホウ バケット背面	無	無	締固め 不十分
2	プレート コンパクタ	有	無	平坦性 難あり
3	プレート コンパクタ	有	有	良好

表 - 5 プレートコンパクタの仕様

起振力 (ton)	0.5～3.0
振動数 (Hz)	18～47
使用流量 (m^3/min)	0.02～0.05
作動圧力 (N/mm^2)	4.9～11.8
標準ベースプレートサイズ(mm)	320×570
全長 (mm)	680
全幅 (mm)	320
全高 (mm)	510
本体重量 (kg)	170
標準的ホース内径(mm)	12
適合ショベル標準バケット容量 (m^3)	0.1～1.08

写真 - 2 施工状況(プレートコンパクタ)

写真 - 3 施工状況(小型転圧機)

表 - 6 品質管理項目

項目	試験方法	実施時期		基準値等
		出荷時	打設時・硬化後	
単位粗骨材質量との差	洗い試験 (4 章参照)	1 回/バッチ	—	±3%
バインダー流動性(落下率；Db)	振動落下による試験(4 章参照)	1 回/バッチ	1 回/車	現着時 25～35%
圧縮強度	JCI「ポーラスコンクリートの試験方法(案)」に準拠	—	1 回	10N/mm^2 以上(材齢 28 日)

なお余盛厚は，試験区 1 で 40mm, 試験区 2 で 30mm とし，所定の厚さになるまで締固めた。

6.5 品質管理試験結果

品質管理項目を**表** - 6, 試験結果を**表** - 7, 仕上り状況を**写真** - 4 に示す。ただし，圧縮強度試験に用いた供試体寸法は, 粗骨材 G1 を用いた POC で φ125×250mm とし，その他は φ100×200mm とした。なお，供試体の本数は 5 本とし，最大値および最小値を示した 2 本を除く 3 本の平均値で評価した。また，バインダーの流動性試験の振動時間は 60 秒とし, 現着時で 25%～35%程度を基準値として設定した。

表 - 7 品質管理試験結果

POC (粗骨材) 種別	出荷時		打設時，硬化後	
	単位粗骨材質量との差 (%)	バインダー流動性 上段；落下率 Db(%), 下段；単位粗骨材質量との差(%)		圧縮強度 (N/mm^2)
G1	- 5.7	68.1	26.2	13.4
		- 3.8	- 1.4	
G2	+4.1	25.9	24.8	13.1
		+1.7	- 0.7	
G3	—	—	—	10.3

出荷時の単位粗骨材質量に関する試験では，粗骨材 G1，G2 ともに基準値を外れたが，一方で，現着後の値は良好な結果を示している。このことから，出荷時の結果は，POC が排出され始めた直後に試料を採取したことによるばらつきと考えられた。なお，出荷時の粗骨材 G1 を用いた POC のバインダーの流動性は, ロスを見込んで予め高い値に設定したものである。

強度発現性については, いずれの POC も設計基準強度を満足した。

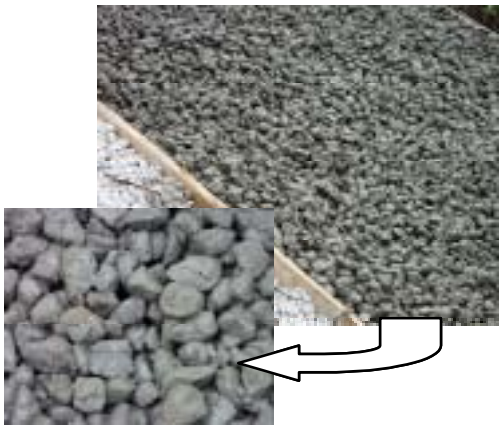

写真 - 4 **仕上り状況** (G1 **使用** POC)

7. まとめ

今回の試験施工並びに事前の検討結果をまとめると以下のようである。

(1) POC の混練時間は 90 秒以上，可能であれば 120 秒程度必要である。

(2) 1 バッチ当たりの混練量は，ミキサ公称容量のおよそ 1/2 程度と考えられる。

(3) バインダーの品質を把握するためには，振動下におけるバインダー落下量を指標にする方法が有効である。

(4) 3m^3 の POC を 90 分間アジテートした結果, 40kg 程度のバインダー損量が認められた。

(5) アジテータ車を用いる場合，ドラムを回転させなければ， POC の経時変化は，ある程度抑えることができる。

参考文献

1) 片平博，河野広隆：ポーラスコンクリートのフレッシュ性状迅速判定マニュアル(案)，土木研究所資料，第 3765 号，2000.12