

生コン工場に常備された材料だけを用いた ポーラスコンクリートの製造・基礎実験

○尾迫良介*1 栗田英明*2 大塚三喜夫*2 河上彰馬*2 青山恭大*2

要旨：本実験では、生コン工場に常備された材料だけでポーラスコンクリートの製造が可能かを検証することを目的とし、目標値を満たす製品の製造が可能であることを確認した。また、最大の課題であった供試体作製時の締固め方法についても、型枠で作製した供試体では、空隙率、透水係数、曲げ強度に大きなばらつきがなく、基準を満たすことを確認した。

キーワード：ポーラスコンクリート、配合設計方法、空隙率、透水性、曲げ強度、締固め方法、骨材の飛散抵抗性

1. はじめに

近年、地球温暖化に起因するゲリラ豪雨や線状降水帯の発生により、雨水による被害が毎年のように報告されている。ポーラスコンクリートは、空隙が多く、浸水性や透水性を有しているため、雨水を地下に浸透させることで、これらの被害を低減させる利点がある。これまで、ポーラスコンクリートは舗装会社による製品として、バインダーと呼ばれる特殊な接着剤が使用されていたが、原材料の調達にかかる費用や生コン製造プラント洗浄の手間等が課題とされていた。そこで、本実験では特殊な材料を使用せず、生コン工場に常備された材料だけを用いてポーラスコンクリートの製造が可能かどうかを検証するための実験を行った。

本実験の目標は「組合員全工場が標準化できる配合設計方法の確立」と「構造物としての品質を評価するための各種試験方法および試験に用いる供試体作製方法の確立」の2つである。

2. 実験概要

2. 1 目標品質の決定

ポーラスコンクリートの設計基準曲げ強度、空隙率および透水係数は、文献 1) により設定を行った。設計基準曲げ強度は、一般車両の駐車場を想定して 2.5N/mm^2 とし、目標曲げ強度を 3.13N/mm^2 (正規偏差 2, 変動係数 10%) に設定した。次に空隙率は、大型車が走行しない舗装や、大型車の交通量が少ない舗装においては、15~20%とすることが多いため、20%に設定した。透水係数は、 0.01cm/s 以上と設定した。これらの条件に基づき、文献 2) の報告から水結合材比を 25%とした。骨材の飛散抵抗性を求めるためにカンタプロ試験を行い、文献 3) から質量損失率を 20%以下とした。

2. 2 配合設計方法

ポーラスコンクリートの配合設計方法には、「モルタル粗骨材容積比および細骨材空隙比による配合設計」と、「最適モルタル粗骨材容積比による配合設計」が一般的に知られている。本実験で

*1 新備広コンクリート株式会社 *2 広島県東部生コンクリート協同組合 技術委員会

は、組合員全工場におけるポーラスコンクリートの配合設計方法の標準化を考慮し、求める係数が少ない「最適モルタル粗骨材容積比による配合設計」を採用した。モルタル粗骨材容積比については、実験により最適値を求めることとし、表-1に示すように各3種類とした。使用材料は表-2に示す。

表-1 配合

工場	設計空隙率 (%)	水結合材比 (%)	結合材比	モルタル粗骨材容積比	単位量 (kg/m ³)					混和剤添加率 (C×%)
					水	セメント	混和剤	細骨材	粗骨材	
A	20	25	2.0	0.50	88	350	—	175	1546	1.0
				0.48	86	342	—	171	1569	
				0.46	83	332	—	166	1589	
B	20	25	2.0	0.48	86	344	—	172	1434	1.0
				0.46	84	334	—	167	1452	
				0.45	82	328	—	164	1463	

表-2 使用材料

工場	材料	種類 (産地)
A	セメントC	普通ポルトランドセメント： p=3.16g/cm ³
	細骨材 S	加工砂 ⁴⁾ ：表乾密度 2.57g/cm ³ ，粗粒率 2.69 (島根県仁多郡奥出雲町)
	粗骨材 G	碎石 1305 ：表乾密度 2.90g/cm ³ ，粗粒率 6.35 (広島県福山市芦田町)
	水 W	上水道
	混和剤AD	高性能 AE 減水剤標準形
	B	セメントC
細骨材 S		石灰砕砂 ：表乾密度 2.65g/cm ³ ，粗粒率 2.69 (大分県津久見市)
粗骨材 G		碎石 1505 ：表乾密度 2.65g/cm ³ ，粗粒率 6.35 (広島県福山市瀬戸町)
水 W		上水道
混和剤AD		高性能 AE 減水剤標準形

2. 3 供試体締固め方法

(1) 角柱供試体

「ポーラスコンクリートの供試体の作り方(案)」(JCI-SP01)を基準として、表-3に示すように、締固め方法、締固め時間および振動機等を選定するために、3種類の締固め実験を行った。

供試体製作は、2層に分けて均等に詰めた。この際、使用する量は単位容積質量から算出した1層当たりの理論値とし、1g単位で計量した。上面のならしは、計量した試料を型枠に入れ、上面が平らになるようならした。その後、タンピング治具を試料の上面に当て締固め、設定した高さに到達するまでの時間の測定を行った。この手順を繰り返し、型枠の上端を超えるコンクリートは取り除き、表面を注意深くならした。

締固め方法①：ランマーとタンピング治具(錘)による締固め

図-1に示すように、試料の上にタンピング治具A(錘)を置き、4.5kgのランマーを落下させ、その衝撃によって締固めを行う方法を試みた。具体的には、所定の締固めとなるよう4.5kgの錘を75cmの高さから落下させた。

締固め方法②：電動ハンマーとタンピング治具(錘)による締固め

図-2に示すように、締固め方法①の改良として、ランマーによる衝撃を電動ハンマーに、タンピング治具Aをタンピング治具Bに置き換える締固め方法とした。

締固め方法③：電動ハンマーと専用タンピング治具(錘)による締固め

図-3、図-4に示すように、締固め方法②の改良として、タンピング治具Bをタンピング治具C(専用のタンピング治具)に置き換える締固め方法とした。

表-3 締固め方法の変動因子

	締固め治具 (締固め方法)	振動機
①	タンピング治具 A	4.5kg ランマー
②	タンピング治具 B	電動ハンマー
③	タンピング治具 C1, C2	電動ハンマー

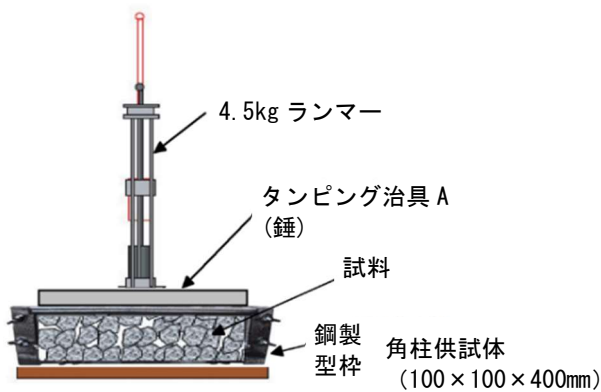


図-1 締固め方法①



図-2 締固め方法②

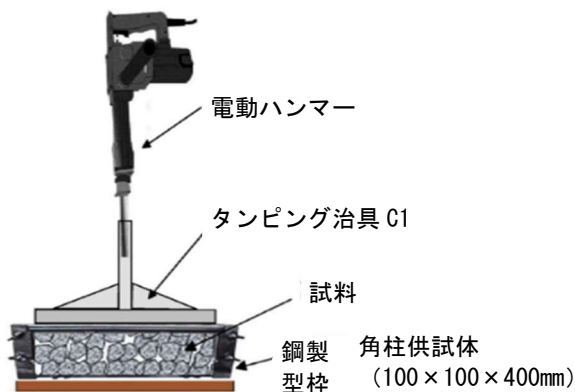


図-3 締固め方法③：曲げ強度試験用

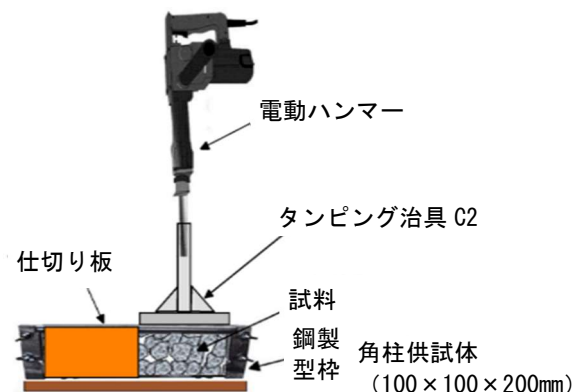


図-4 締固め方法③：透水試験用

(2) カンタプロ試験供試体

「ポーラスコンクリートの供試体の作り方(案)」(JCI-SP01)を基準として、写真-1 に示す治具を用いて締固め時間を確認し供試体を作成した。

2. 4 品質管理試験方法

(1) フレッシュ時の性状確認

締固め直後に供試体の側面および底面を目視で観察し、ダレが生じていないことを確認した。

(2) 曲げ強度試験

曲げ強度試験は、「コンクリートの曲げ強度試験方法」(JISA1106)に基づいて実施した。なお、写真-2 に示すように、载荷ローラおよび支持ローラに接する箇所には、5mm厚のゴムシートを使用した。

(3) 空隙率試験

空隙率試験は、「ポーラスコンクリートの空隙率試験方法(案)質量法」(JCI-SP02-1)を基準とした。

(4) 透水試験

透水試験は、「ポーラスコンクリートの透水試験方法(案)」(JCI-SP03-1)を基準とした。透水試験装置と測定状況を図-5 と写真-3 に示す。



写真-1 タンピング治具

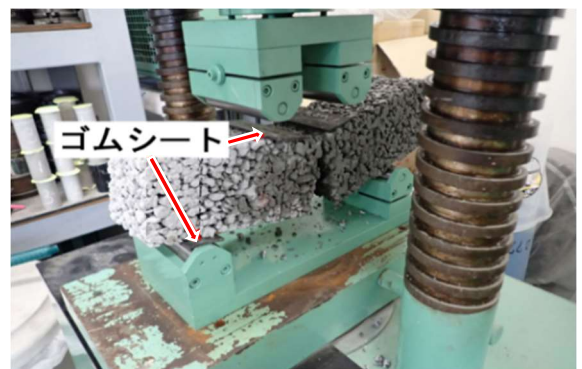


写真-2 曲げ強度試験

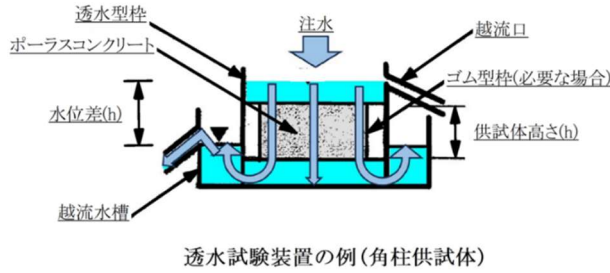


図-5 透水試験装置



写真-3 測定状況

(5) カンタブロ試験

試験方法は「ポーラスコンクリートのカンタブロ試験方法」(ZKT-214)を基準とした。図-6に示すロサンゼルス試験機を使用し、30~33回/分の回転数で300回転させ、式(1)により質量損失率を算出した。

$$M = \frac{m1 - m2}{m1} \times 100 \quad (1)$$

ここに、M：質量損失率(%)

m1：試験前の供試体質量(g)

m2：試験後の供試体質量(g)

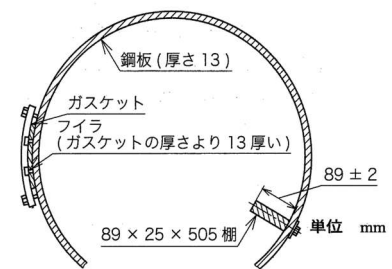


図-6 ロサンゼルス試験機

3. 実験結果と考察

3. 1 配合設計：モルタル粗骨材容積比

表-4に示す通り、A、B工場とも、フレッシュ性状および締固め状況においてモルタル粗骨材容積比0.46が最適値であった。このことより、品質管理試験については、モルタル粗骨材容積比0.46について、実施することとした。

表-4 最適モルタル粗骨材容積比の決定

工場	モルタル粗骨材容積比	水 (kg/m³)	セメント (kg/m³)	混和剤 (kg/m³)	細骨材 (kg/m³)	粗骨材 (kg/m³)	フレッシュ性状
A	0.50	88	350	—	175	1546	モルタルダレ有
	0.48	86	342	—	171	1569	モルタルダレ有
	0.46	83	332	—	166	1589	最適
B	0.48	86	344	—	172	1434	モルタルダレ有
	0.46	84	334	—	167	1452	最適
	0.45	82	328	—	164	1463	締固め困難

3. 2 供試体締固め方法

(1) 締固め方法①：ランマーとタッピング治具(錘)による締固め

設定した高さとなるランマーの落下回数は、30回程度であった。この方法では時間と労力を要するため、作製方法としては適さないと判断した。

(2) 締固め方法②：電動ハンマーとタッピング治具による締固め

締固め方法①より締固め時間は短縮されたが、均一な締固めを行うことが難しいことが判明した。また、曲げ強度試験を実施したところ角柱供試体は引張側表面のスパン中央の3等分点外で破壊し、

試験規格に適合しなかった。

(3) 締固め方法③：電動ハンマーと専用タンピング治具による締固め

曲げ強度試験を実施し、角柱供試体は引張側表面のスパン中央の3等分点内で破壊が生じることを確認した。適切な破壊性状となったため、この締固め方法を採用することとした。

3.3 品質管理試験結果

(1) フレッシュ時の性状確認

写真-4、写真-5に示すように、締固め直後の供試体に於いてモルタルのダレが生じない良好な供試体であることを確認した。



写真-4 フレッシュ性状の確認方法（側面） 写真-5 フレッシュ性状の確認方法（底面）

(2) 締固め時間

表-5に示すように、角柱供試体 100×100×400mm は 8 秒±2 秒、100×100×200mm は 7 秒±2 秒が適切であり、カンタプロ試験供試体は 6 秒±2 秒が適切であることが分かった。

表-5 締固め時間(秒)

工場	角柱供試体				カンタプロ 試験供試体	
	100×100×400mm		100×100×200mm			
	1層目	2層目	1層目	2層目		
A	7.22	8.97	6.17	6.31	—	標準養生：材齢 28 日
B	7.40	8.53	6.23	5.85	—	標準養生：材齢 28 日
	7.41	8.35	3.77	4.85	6.09	冬期 標準養生：材齢 28 日
	7.07	8.41	—	—	—	冬期 現場養生：材齢 28 日
	6.17	9.32	—	—	—	冬期 養生なし：材齢 28 日
	6.61	7.09	—	—	6.35	冬期 標準養生：材齢 7 日
	7.50	8.58	—	—	—	冬期 現場養生：材齢 7 日
	7.42	9.12	—	—	—	冬期 養生なし：材齢 7 日

(3) 曲げ強度試験

試験結果一覧を表-6に示す。材齢7日、材齢28日において、現場養生は標準養生と強度発現に差が生じないことが確認された。また、冬期の養生なしの場合は、標準養生より材齢7日、28日で約15%の強度低下が確認された。

表-6 曲げ強度試験(N/mm²)

工場	1	2	3	平均	
A	4.11	4.05	4.08	4.08	標準養生：材齢 28 日
B	3.72	3.99	4.17	3.96	標準養生：材齢 28 日
	4.20	4.80	4.32	4.44	冬期 標準養生：材齢 28 日
	4.62	4.62	4.47	4.57	冬期 現場養生：材齢 28 日
	4.02	4.05	3.42	3.83	冬期 養生なし：材齢 28 日
	4.20	4.14	3.82	4.06	冬期 標準養生：材齢 7 日
	4.29	4.26	4.44	4.33	冬期 現場養生：材齢 7 日
	3.39	3.21	3.45	3.35	冬期 養生なし：材齢 7 日

(4) 空隙率試験

表-7 に示すように、目標品質の 20%を満足することが確認された。

(5) 透水試験

表-8 に示すように、目標品質の透水係数 0.01cm/s 以上を大きく上回った。なお、冬期標準養生については、後述の表-9 に示すように、締固め時間が短く締固めのバラツキにより透水係数にバラツキが生じたものと推測する。

(6) カンタブロ試験

表-9 に示すように、目標品質の 20%以下を満足することが確認された。材齢 7 日でも判定可能であると確認された。

表-7 空隙率(%)

工場	1	2	3	平均	
A	23.0	22.9	20.2	22.0	標準養生：材齢 28 日
B	20.4	20.7	21.2	20.7	標準養生：材齢 28 日
	20.4	21.6	20.0	20.7	冬期 標準養生：材齢 28 日

表-8 透水係数 (cm/s)

工場	1	2	3	平均	
A	0.70	0.61	0.58	0.63	標準養生：材齢 28 日
B	0.66	0.86	0.81	0.78	標準養生：材齢 28 日
	0.73	1.02	0.60	0.78	冬期 標準養生：材齢 28 日

表-9 質量損失率(%)

工場	1	2	3	平均	
B	21.9	17.3	18.5	19.2	冬期 標準養生：材齢 28 日
	17.4	12.5	18.6	16.1	冬期 標準養生：材齢 7 日

4. まとめ

- (1) フレッシュ時の性状確認により、配合設計方法は、粗骨材が砕石 1305 または砕石 1505 の場合、モルタル粗骨材容積比(θ)0.46 が適切であった。
- (2) 角柱供試体の作製は「ポーラスコンクリートの供試体の作り方(案)」(JCI-SP01)を基準として、締固め方法③：電動ハンマーと専用タンピング治具（タンピング治具 C）を用い、100×100×400mm は 8 秒±2 秒、100×100×200mm は 7 秒±2 秒が適切であった。
- (3) カンタブロ試験用供試体の作製は「ポーラスコンクリートのカンタブロ試験方法」(ZKT-214)を基準とし、その締固め時間は 6 秒±2 秒程度が適切であった。
- (4) 製作した供試体により、品質目標である曲げ強度 (3.13N/mm² 以上)、空隙率 (20%)、透水係数 (0.01cm/s 以上)、質量損失率 (20%以下) を満たす結果が得られた。

以上の結果より、生コン工場に常備された材料だけを用いて、ポーラスコンクリート製造が適切に行えることが確認できた。

謝辞 本実験の実施にあたっては、呉工業高等専門学校 堀口至教授にご指導頂きました。ここに記して謝意の意を表します。

参考文献

- 1) 全国生コンクリート工業組合連合会、全国生コンクリート協同組合連合会、社団法人セメント協会：エコ舗装 ポーラスコンクリートの製造・施工の手引き（舗装編）、2011.02
- 2) 入江一次他：ポーラスコンクリートの骨材飛散抵抗性評価方法の検討、第 18 回（2015 年）生コン技術大会 研究発表論文集
- 3) 東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)、西日本高速道路(株)編：設計要領 第一集 舗装編、2015.8
- 4) 辛崎秀剛他：舗装コンクリートの合理的な強度管理手法提案に向けた実験、第 18 回（2015 年）生コン技術大会 研究発表論文集