

# 論文 各種材料を用いたポーラスコンクリートの圧縮強度に関する研究

本田 陵二\*1・水口 裕之\*2・上田 隆雄\*2

**要旨:** ポーラスコンクリートは、連続空隙を多く持ち、透水性および透気性が大きい構造のため圧縮強度が従来のコンクリートに比べて低い。ポーラスコンクリートの圧縮強度を向上させるため、セメントペーストの強化のためにシリカフュームセメントおよびポリマーを、セメントペーストの粘度を向上させセメントペーストの層を厚くするために増粘剤を用いて検討した。締固めは、現場での施工方法で多く用いられているたたきによる締固めとした。圧縮強度向上のため締固め方法も変化させて検討した。シリカフュームセメントおよび増粘剤を用いたことによって圧縮強度は向上した。

**キーワード:** ポーラスコンクリート, 圧縮強度, 空隙率, 各種材料

## 1. はじめに

ポーラスコンクリートは、連続空隙を多く持ち、透水性および透気性が大きく、その空隙構造によって従来のコンクリートにはない多様な性能がある。そのため、生物が息が可能で、水質浄化機能を持つコンクリート構造物、植生コンクリートや漁礁、また、吸音版、透水舗装等に利用されている。

しかし、ポーラスコンクリートの強度は従来のコンクリートに比べて低く、またばらつきが大きいという問題点がある。ポーラスコンクリートの強度は、その特徴である空隙率が大きく関係している。ポーラスコンクリートの強度を増大させる方法の一つは、空隙率を小さくすることである。しかし、空隙率を小さくすることは、水質浄化機能、植生との相性等、ポーラスコンクリート自身の性能を所定のものとできないことになる。所要の性能を持ったポーラスコンクリートを製造するためには、その空隙率を所定のものとする必要がある。しかしポー

ラスコンクリートの空隙率の制御は難しく、配合が同一でも締固めによって大きく変動する。

ポーラスコンクリートの供試体の締固めの多くは、通常のコンクリートと同様に突き棒を用いて締固めるが、実施工での締固め方法と異なっている。そのため、締固めは現場での施工方法で多く用いられているたたきによる締固めを設定し、土の締固め試験方法で使用されているランマーに鉄板を取り付けたものを用いた。

本研究では、圧縮強度の向上を目的としてバインダーであるセメントペーストを強化するため、シリカフュームセメントおよびポリマーを用いた。またバインダーの粘度を大きくすることで降伏値を大きく向上させることにより、バインダーの層を厚し圧縮強度を向上させるため、増粘剤を用いた。圧縮強度向上のため、締固め方法も変化させて調査、検討した。

表-1 ポーラスコンクリートの配合と組合せ

配合名	W/C (wt %)	目標空隙率 (%)	セメントの種類	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					SP剤 (C x %)	SP剤 (%)
				水	セメント	粗骨材	ポリマー	増粘剤		
N	25	21	普通ポルトランドセメント	95	378	1469	0	0	2.65	0.7
S			シリカフュームセメント	93	372		0	0	3.35	0.9
P			普通ポルトランドセメント	91	327		36	0	0	0
T			普通ポルトランドセメント	95	378		0	0.095	2.65	0.7

\*1 徳島大学大学院 工学研究科マクロ制御工学専攻 (正会員)

\*2 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部エコシステムデザイン部門 工博 (正会員)

## 2. 実験の概要

### 2.1 使用材料および配合

セメントには密度  $3.16\text{g/cm}^3$ 、比表面積  $3270\text{ cm}^2/\text{g}$  の普通ポルトランドセメントおよび密度  $3.08\text{g/cm}^3$  および比表面積  $6480\text{ cm}^2/\text{g}$  のシリカフュームセメントを使用した。シリカフュームセメントは、低熱系ポルトランドセメントを基とし、シリカフュームを混合したセメントである。

粗骨材には、粒径  $5\sim 13\text{mm}$ 、表乾密度  $2.55\text{g/cm}^3$ 、吸水率  $2.30\%$ 、実積率  $58.8\%$  の鳴門市撫養町木津中山産の碎石 1305 を使用した。

混和剤には、ポリカルボン酸エーテル系の複合体を主成分とする高性能 AE 減水剤、酢酸ビニルとエチレンの共重合体エマルジョンであるポリマーおよびセルロースを原料とし、これを苛性ソーダで処理した後、塩化メチル、酸化プロピレンあるいは酸化エチレン等のエーテル化剤と反応させて得られる非イオン性の水溶性セルロースエーテルの増粘剤を使用した。

使用したポーラスコンクリートの配合を表-1 に示す。この配合は河川護岸で使用することを想定して、ポーラスコンクリートの目標空隙率は  $21\%$ 、水セメント比は  $25\%$  とした。高性能 AE 減水剤は、セメントペーストフロー値を  $200\pm 10\text{mm}$  にするためセメント質量に対して、配合名 N（以下配合 N とする）では  $0.7\%$ 、配合 S では  $0.9\%$ 、配合 P では  $0\%$  および配合 T では  $0.7\%$  とした。配合 T は配合 N に対して粘度を上げることにより圧縮強



写真-1 下部に鉄板を溶接したランマー

度を向上させるために、高性能 AE 減水剤の量を配合 N と同じにした。配合 P のポリマー使用量は、セメント質量に対して内割で  $10\%$  置換した。配合 T の増粘剤は水質量比で  $0.1\%$  とした。

### 2.2 コンクリートの練混ぜ、供試体の作製、養生および試験

コンクリートの練混ぜは、容量  $60\text{L}$  の強制水平 2 軸ミキサーを使用し、セメントおよび粗骨材を入れて  $30$  秒間練混ぜを行い、水と高性能 AE 減水剤を加えてさらに  $90$  秒間練混ぜた。配合 P の場合では、ポリマーを水に添加して練混ぜた。配合 T の場合では、増粘剤をセメントと同時に添加して練混ぜた。

供試体は円柱供試体  $\phi 100\times 200\text{mm}$  とし、圧縮試験用に  $3$  本ずつ、空隙率試験用に  $2$  本ずつ作製した。

締固めは、表-2 に示すように、突き棒およびランマーを用いた。

表-2 円柱供試体の締固め方法

道具	層	一層当たりの打撃回数	記号
突き棒	3	25	SR
ランマー	1	0	1-0
	2	5	2-5
	2	10	2-10
	2	15	2-15
	3	10	3-10
	3	15	3-15

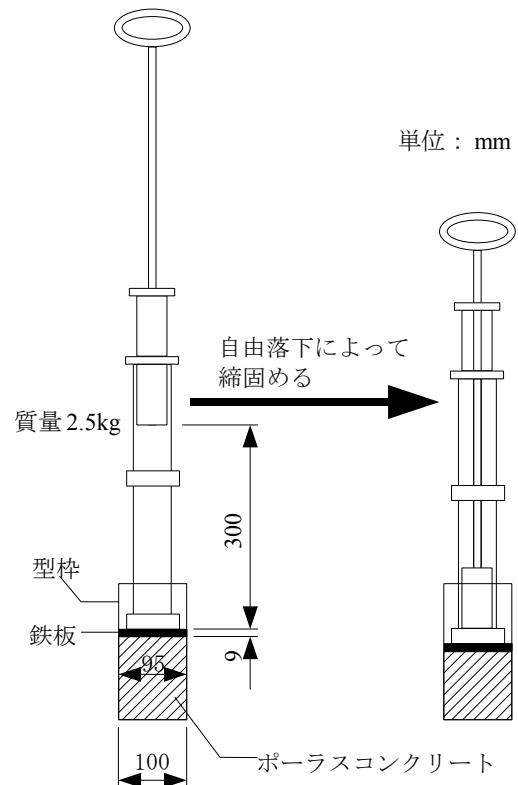


図-1 ランマーの締固め方法

φ16mmの突き棒による締固め方法は、所定の空隙率とするために、供試体1体当たりの質量を理論的に求め、供試体ごとに所定量を計りとり、ほぼ等しい3層に分けて詰めた。各層25回ずつ突いて行った。

写真-1は、JIS A 1210「土の締固め試験方法」で使用されている質量2.5kgのランマーに、直径95mm、厚さ9mmの鉄板を下部に取り付けたものの写真である。ランマーによる締固め方法は、図-1および表-2に示すように、ほぼ等しい1~3層に分け、ポーラスコンクリートを均してから、各層を0、5、10および15回で高さ300mmから自由落下させて締固めた。

供試体は、打設から24時間後に脱型を行った。養生方法は、河川護岸で使用することを想定しているため、気温20±1℃の標準養生水槽室内で供試体を湿布し、1週間に1回の割合で供試体に散水した。養生期間は、28日とした。

圧縮強度試験はJIS A 1108「コンクリートの圧縮試験方法」に基づき、万能試験機を用いて行った。圧縮強度試験用供試体の打設面を平面とするためセメントペーストでキャッピングを行った。供試体の載荷時には、アンボンドキャッピング用のゴムパッドおよび鋼製キャップを用いて試験を行った。セメントペーストによるキャッピングと研磨での圧縮強度に違いを調べるため、空隙率試験用の供試体の打設面を研磨し、載荷時にはゴムパッドおよび鋼製キャップを用いて圧縮試験を行った。

空隙率試験は、フレッシュコンクリート時と硬化コンクリート時の2種類行った。フレッシュコンクリート時には、JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法」に従って行った。ポーラスコンクリートを容器に突き棒もしくはランマーで締固めた後注水し、質量の変化より連続空隙率を算出した。全空隙率は、算出した連続空隙率に、試験によって得られた空気量を加えたものである。締固め方法がランマーの場合は、空気量試験容器の面積がφ100×200mmの円柱供試体の面積

の4倍で高さはほぼ等しいため、一層当たりの打撃回数を表-2の4倍とした。硬化コンクリート時には、日本コンクリート工学協会の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の方法<sup>1)</sup>のポーラスコンクリートの空隙率試験方法(案)に従って行った。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 セメントペーストフロー値

図-2に各種配合のセメントペーストフロー値を示す。配合N、配合Sおよび配合Tでは、目標とした200±10mmに入っている。配合Pは245mmと大きくなっている。本実験では、セメントペーストフロー値は、高性能AE減水剤で目標値となるよう調整しているが、配合Pは他の配合と違い、高性能AE減水剤でセメントペーストフロー値を目標値にできなかったためである。ポリマーの置換率を小さくする方法もあるが、今回は圧縮強度向上のために、置換率を変えずに行った。

#### 3.2 空隙率

図-3にフレッシュコンクリート時の空隙率を示す。図-3の記号は、表-1および表-2のを組合わせて表記している。配合Nの7種類の締固め方法から、空隙率は

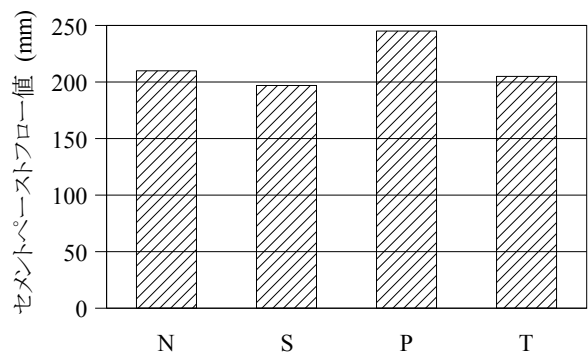


図-2 セメントペーストフロー値

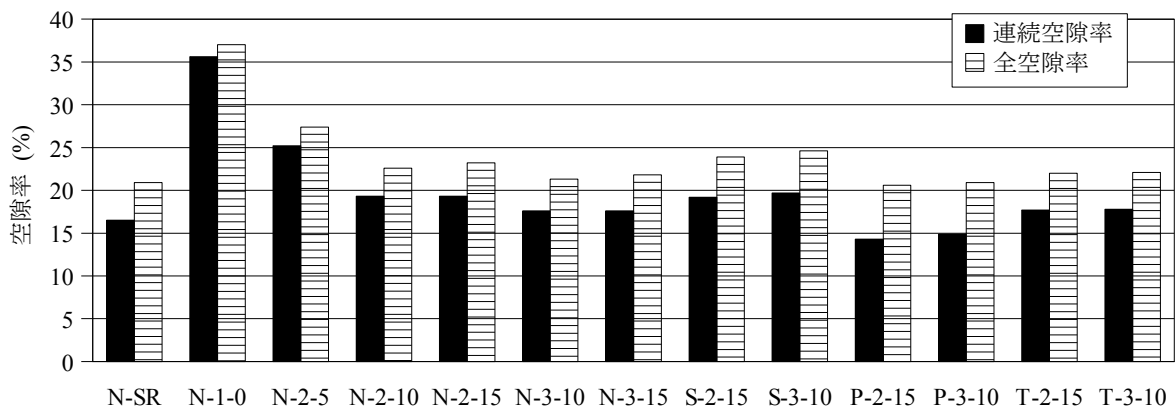


図-3 フレッシュコンクリート時の空隙率

突き棒を用いたN-SRが最も小さくなっており、ランマーを用いたN-1-0からN-3-15では、ランマーの打撃回数が増えるほど、小さくなっている。これは既往の傾向と一致している<sup>2)</sup>。ただし、N-2-10、N-2-15、N-3-10およびN-3-15の空隙率の差はほとんどない結果となっている。連続空隙率と全空隙率の差が、ランマーの総打撃回数が増え、締固まっているものと思われるほど、大きくなっている。ランマーの総打撃回数と同じN-2-15およびN-3-10で若干差が出ているが、配合S、配合Pおよび配合Tではほとんど差がなく、総打撃回数と同じならば、空隙率が同様になることがわかる。配合Pの空隙率が低いのは、図-2のセメントペーストフロー値が大きいためだと考えられる。

図-4に硬化コンクリート時の空隙率を示す。配合Pに関しては、供試体の不備により空隙率を計測することができなかった。締固め方法の違いによる変化は、フレッシュコンクリート時と同様な傾向である。フレッシュコンクリート時との大きな違いとしては、目標空隙率の21%からかなり大きくなってしまっている。ほとんど変わらないのは、ランマーで打撃していないN-1-0のみで、その他は5~10%程度の空隙率が上がっている。フレッシュ

コンクリート時と違い、連続空隙率と全空隙率との差がほとんどない結果となっている。これは従来の傾向と一致している<sup>3)</sup>。フレッシュコンクリート時には、ほとんど差がなかったN-2-10、N-2-15、N-3-10およびN-3-15が、ランマーの総打撃回数が増えるごとに、空隙率が小さくなっている。

フレッシュコンクリート時と硬化コンクリート時の空隙率の差は、配合の種類別の大小関係が同様の傾向となっている。

### 3.3 圧縮強度

図-5に材齢28日の圧縮強度を示す。ポリマーの研磨した供試体は、供試体の不備により計測できなかった。突き棒を使用したN-SRよりもランマーを使用した供試体の圧縮強度は小さくなっている。ポーラスコンクリートのため、バラツキは大きいものの、N-2-5、N-2-10およびN-2-15から、ランマーの総打撃回数が増えるに従って圧縮強度は大きくなっている。セメントペーストでキャッピングした供試体と研磨した供試体で計測した圧縮強度は、配合要因の違いに対して同様の傾向を示している。S-2-15およびT-2-15では、N-2-15より大きくなっている。P-2-15は、N-2-15とほぼ変わらない。

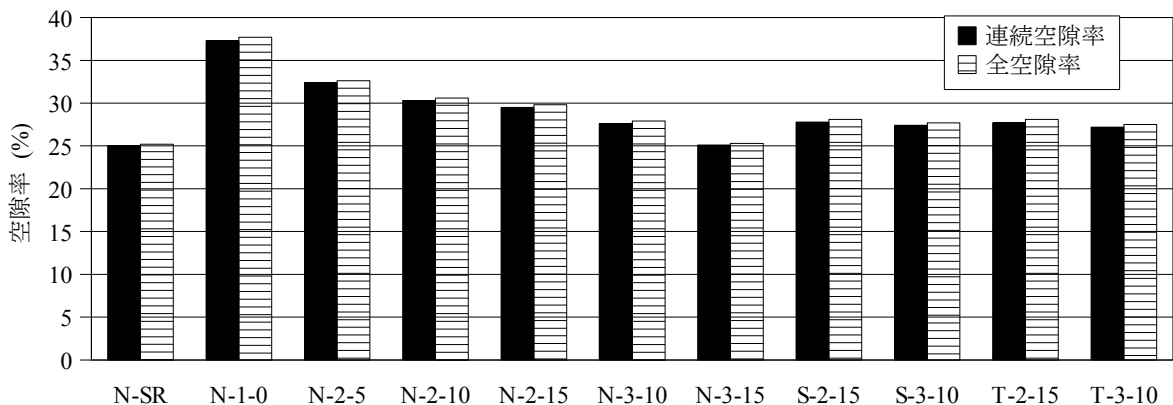


図-4 硬化コンクリート時の空隙率

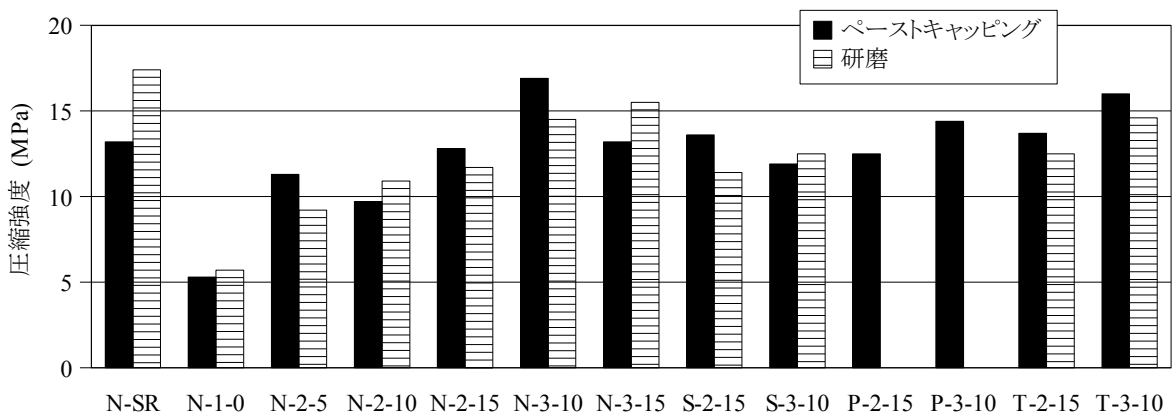


図-5 圧縮強度

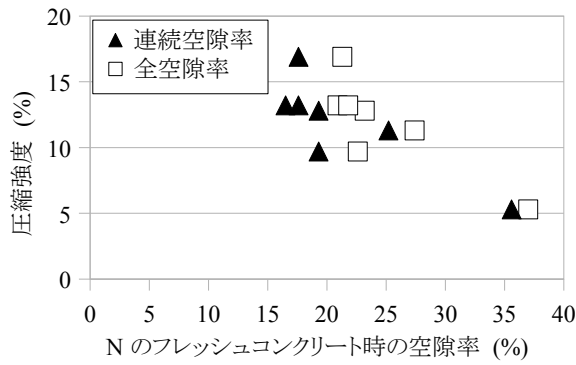


図-6 配合Nのフレッシュコンクリート時の空隙率と圧縮強度

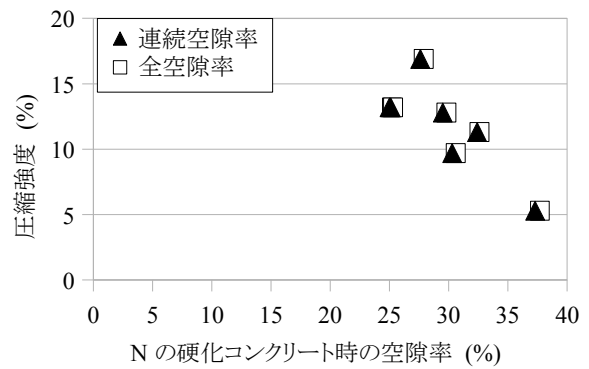


図-7 配合Nの硬化コンクリート時の空隙率と圧縮強度

S-3-10, P-3-10 および T-3-10 は N-3-10 よりも小さい結果となっている。シリカフュームセメントを用いた供試体は、シリカフュームは非常に細かい球状の微粒子で、バインダーに添加することで、バインダーの粒子間への充填による緻密な構造となる。またポズラン反応によるセメントの凝結および硬化作用などの効果があるが、圧縮強度の向上に及ぼす影響は小さい結果となっている。ポリマーを用いた供試体は、ポリマーによって強度向上を期待したが、今回の結果では、圧縮強度は向上しない結果となっている。ポリマーの置換率を小さくして、セメントペーストフロー値を目標の  $200 \pm 10 \text{mm}$  にしたり、置換率を大幅に上げて調査する必要がある。増粘剤を用いた供試体は、増粘剤を混入したことによりセメントペーストの粘度は大きくなったことで、セメントペーストの層が厚くなって圧縮強度は向上したと考えられる。

### 3.4 空隙率と圧縮強度

図-6に配合Nのフレッシュコンクリート時の空隙率と圧縮強度、図-7に配合Nの硬化コンクリート時の空隙率と圧縮強度を示す。フレッシュコンクリート時および硬化コンクリート時ともに連続空隙率および全空隙率が大きくなるに従って圧縮強度が小さくなっている。これは既存の傾向と同じである。

### 3.5 供試体の質量と圧縮強度

図-8に配合Nの供試体の質量と圧縮強度を示す。供試体の質量が大きくなるに従って圧縮強度が大きくなっている。この結果より供試体の質量によって、圧縮強度の大小が大体判別できることがわかる。

## 4. まとめ

本研究では、ポーラスコンクリートの圧縮強度を向上させるために、シリカフュームセメント、ポリマーおよび増粘剤を用い、締固め方法も変化させて調査、検討し以下の結論を得た。

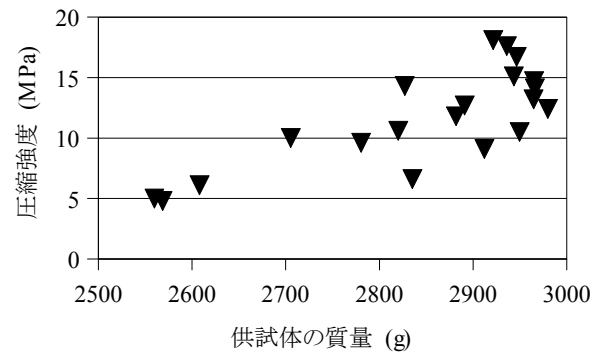


図-8 配合Nの供試体の質量と圧縮強度

- (1) フレッシュコンクリート時の空隙率は硬化コンクリート時の空隙率に比べて低い値となった。
- (2) フレッシュコンクリート時と硬化コンクリート時の空隙率の差は、配合の種類別の大小関係が同様の傾向となっている。
- (3) ランマーの総打撃回数が多くなるに従って圧縮強度は大きくなっている。
- (4) セメントペーストでキャッピングした供試体と研磨した供試体で計測した圧縮強度は、配合要因の違いに対して同様の傾向を示している。
- (5) シリカフュームセメントと増粘剤は圧縮強度を向上させるのに有効である。

## 参考文献

- 1) JCI 社団法人 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, 2003.5
- 2) 岡田正美ほか: ポーラスコンクリートの振動締固め方法に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.1, pp.241-246, 1999
- 3) 本田陵二ほか: ポーラスコンクリートの乾湿繰り返し抵抗性に関する一検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.28, No.1, pp.1421-1426, 2006

