

寸法が異なるポーラスコンクリート供試体の作製に関する基礎的研究

正会員 ○大谷 俊浩¹ 同 村上 聖² 同 佐藤 嘉昭³ 同 三井 宜之⁴
同 清原 千鶴⁵ 同 平居 孝之⁶ 同 荒川 堅太郎⁷

1. はじめに

ポーラスコンクリートは、調合上の空隙率の理論値と作製した供試体から実測した空隙率に差が生じることが数多く報告されている^{1,2,3}。ポーラスコンクリートの空隙率が強度特性および透水係数などに及ぼす影響は非常に大きく、製品の品質保証の面で空隙率の管理は非常に重要な課題である。このように空隙率に差が生じる原因として、セメントの水和や乾湿に伴う結合材の容積の変化、骨材接点間に結合材が入り込むことでの実積率の低下、骨材周りに付着した結合材による骨材の移動の妨害などが挙げられるが、最も大きな影響を及ぼすものとして、「せき板効果」⁴が考えられる。せき板効果とは、型枠接触面で骨材の配列が制限されることで、その部分の空隙率が増加する現象である。この効果が及ぼす影響量は、コンクリート容積に対する型枠接触面積の比が変化することで変化することが予想され、型枠寸法の変化によって空隙率が変化すると考えられる。また、この空隙率の変化は骨材の実積率の変化によって生じたともいえる。

ポーラスコンクリートは、使用する骨材の実積率から空隙部分の容積を求め、その空隙部分に充填する結合材の量を定めることで調合を決定するのが一般的である。骨材の実積率は、JIS A 1104 (骨材の単位容積質量及び実積率試験方法) によって求められ、測定用容器には、骨材の最大粒径が 10mm を超え 40mm 以下の場合、内径 24cm、内高 22cm の容積が 10ℓ の円筒形のものを使用される。したがって、骨材の実積率測定用の容器と供試体作製の型枠の寸法が異なっており、せき板効果によって骨材の実積率そのものが変化したことで、調合上の空隙率と実測した空隙率に差が生じているものと考えられる。

そのため、作製した供試体によって実施工したポーラスコンクリートの物性を代表するためには、型枠寸法がポーラスコンクリートの物性に及ぼす影響を定量的に評価する必要がある。

しかしながら、寸法が異なる型枠で供試体を作製す

る場合、ポーラスコンクリート十分締め固めるために必要な締め固め量が増えると考えられるため、それぞれの型枠における締め固め量の適正値を検討する必要がある。これに関する実験データはほとんどなく、JCI (ポーラスコンクリートの物性試験方法 (案)) の (ポーラスコンクリートの供試体の作り方 (案)) では基本的に JIS A 1132 (コンクリートの強度試験用供試体の作り方) に準拠しており、供試体寸法についてのみ具体的な数値が決められている。JIS A 1132 には、突き棒を用いる場合のコンクリートを一回に投入する層厚および各層ごとの突き回数の規定があるが、普通コンクリートを突き棒で締め固めるのと、ポーラスコンクリートを締め固めるのは目的が若干異なっていると考えられることから、ポーラスコンクリートを十分に締め固めるために必要な突き回数は異なっているものと考えられる。その目的の違いとは、普通コンクリートの場合にはコンクリートの投入の際に入り込んだ大きな気泡を追い出すのが主たる目的であるのに対し、ポーラスコンクリートの場合には骨材が最密充填になるように締め固めることである。

そこで、本研究では供試体寸法の影響を調べるための基礎的な実験と位置付けて、突き回数を段階的に変化させた供試体を作製し、それぞれの型枠寸法に適した締め固め量の検討を行った。以下はその報告である。

2. 試験方法

実験に使用した材料を表 1 に示す。セメントは緑化コンクリートを想定して、pH が低くアルカリ分の溶出が少ない高炉セメント B 種、骨材にも緑化コンクリートに適した空隙径を作製可能な砕石 5 号および 6 号をそれぞれ使用した。

調合は表 2 に示すように、セメントペーストは水セメント比を 25% で一定とし、フロー値を高性能 AE 減水剤によって約 200mm に調整した粘性の高いものとした。また、セメントペースト空隙充填率は代表的な値である 40% で一定とし、目標の空隙率を砕石 5 号で

25.5%, 砕石6号で25.9%とした。

混練方法はセメントペーストプレミックス法とし、まず、セメント、水および混和剤を容量 50ℓのモルタルミキサに投入して 30 秒間練り混ぜ、セメントの掻き落とし作業を行った後、さらに 90 秒間練り混ぜた。次に作製したセメントペーストと骨材を容量 100ℓの 2 軸ミキサに投入して 60 秒間練り混ぜてポーラスコンクリートを作製した。

型枠はφ100×200mm (プラスチック製)、φ150×300mm (鋼製) およびφ200×400mm (紙製) の 3 種類の円柱型枠を使用した。コンクリートの投入方法は表 3 に示すように、1 回に投入するコンクリートの層の厚さを JIS に準拠して 10cm となるように、φ100cm, φ150cm およびφ200cm の型枠に対し、それぞれ 2, 3 および 4 層詰めとした。また、突き回数は JIS 規定である 7cm² あたりに 1 回を基準として、その値に対して 0.75, 1, 1.5 および 2 倍の 4 水準とした。

作製した供試体は、材齢 2 日で脱型を行い、20℃水中養生材齢 14 日で容積法による連続空隙率および全空隙率の測定⁶⁾を行った後、再び 20℃水中養生を継続して材齢 28 日で圧縮強度試験を行った。

圧縮強度試験は、容量 2000kN 万能試験機を用いて、φ100×200mm およびφ150×300mm の供試体は硫黄による両面キャッピング、φ200×400mm の供試体は石膏による両面キャッピングを施して行った。なお、供試体は表乾状態とした。図 1 に供試体写真の一例を示すが、粒径が大きい砕石 5 号で各層の突き回数が少ない供試体には、打ち継ぎ面でくびれが生じていた。

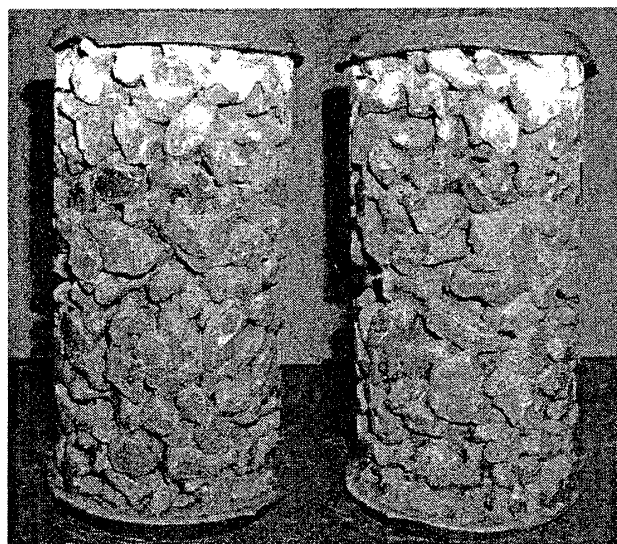


図1 くびれの様子(砕石5号 2層詰め各層8回突き)

表1 使用材料

| | | |
|------|-----------------------------|-----------------------------|
| セメント | 高炉セメントB種 | |
| | 密度 3.04 g/cm ³ | |
| 粗骨材 | 砕石5号 | 砕石6号 |
| | 表乾密度 2.61 g/cm ³ | 表乾密度 2.62 g/cm ³ |
| | 吸水率 1.78 % | 吸水率 1.64 % |
| | 粒径 13~20 mm | 粒径 5~13 mm |
| | 実積率 57.5 % | 実積率 56.8 % |
| 混和剤 | 高性能AE減水剤 ポリカルボン酸系 | |

表2 調合

| 調合 | 粗骨材種類 | W/C (%) | CP/V (%) | 単位質量 (kg/m ³) | | | 単位質量 (g/m ³) |
|----|-------|---------|----------|---------------------------|------|--------|--------------------------|
| | | | | C | W | G | Sp |
| 1 | 5号 | 25 | 40 | 293.6 | 73.4 | 1500.8 | 1526.9 |
| 2 | 6号 | | | 298.5 | 74.6 | 1488.2 | 1552.1 |

注)W/C:水セメント比, CP/V:セメントペースト空隙率, C:セメント, W:水, G:粗骨材, Sp:高性能AE減水剤(フロー値200mmを目指して対セメント質量比0.52%添加)

表3 コンクリートの投入方法

| 型枠寸法 (mm) | 投入層数 | 各層突き回数 (対JIS基準) | | | |
|-----------|------|-----------------|----|------|----|
| | | 0.75倍 | 1倍 | 1.5倍 | 2倍 |
| φ100×200 | 2 | 8 | 11 | 17 | 22 |
| φ150×300 | 3 | 19 | 25 | 38 | 50 |
| φ200×400 | 4 | 33 | 44 | 66 | 88 |

表4 実験結果

| 使用骨材 | 型枠寸法 (mm) | 各層の突き回数 (回) | 連続空隙率 (%) | 全空隙率 (%) | 圧縮強度 (N/mm ²) |
|------|-----------|-------------|-----------|----------|---------------------------|
| 砕石5号 | φ100×200 | 8 | 33.09 | 33.83 | 4.65 |
| | | 11 | 31.36 | 32.44 | 8.03 |
| | | 17 | 30.47 | 31.56 | 6.38 |
| | | 22 | 30.37 | 31.39 | 8.32 |
| | φ150×300 | 19 | 29.15 | 30.12 | 7.05 |
| | | 25 | 27.95 | 29.10 | 9.28 |
| | | 38 | 26.72 | 27.87 | 9.54 |
| | | 50 | 26.52 | 27.71 | 10.67 |
| | φ200×400 | 33 | 27.61 | 28.02 | 9.78 |
| | | 44 | 27.60 | 28.05 | 9.71 |
| | | 66 | 26.00 | 26.64 | 10.82 |
| | | 88 | 25.13 | 25.94 | 11.06 |
| 砕石6号 | φ100×200 | 8 | 26.82 | 27.15 | 11.43 |
| | | 11 | 26.83 | 27.21 | 12.16 |
| | | 17 | 25.48 | 26.14 | 12.81 |
| | | 22 | 25.07 | 25.98 | 12.99 |
| | φ150×300 | 19 | 25.23 | 25.91 | - |
| | | 25 | 23.72 | 24.97 | 14.94 |
| | | 38 | 22.82 | 24.56 | 13.11 |
| | | 50 | 20.32 | 22.44 | 14.43 |
| | φ200×400 | 33 | 23.29 | 24.29 | 14.89 |
| | | 44 | 23.42 | 24.13 | 15.04 |
| | | 66 | 21.07 | 22.05 | 16.73 |
| | | 88 | 20.32 | 21.68 | 16.72 |

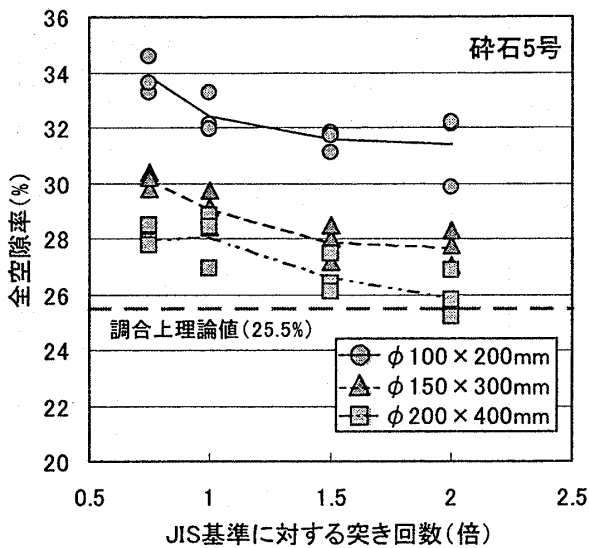


図1 全空隙率と突き回数の関係(砕石5号)

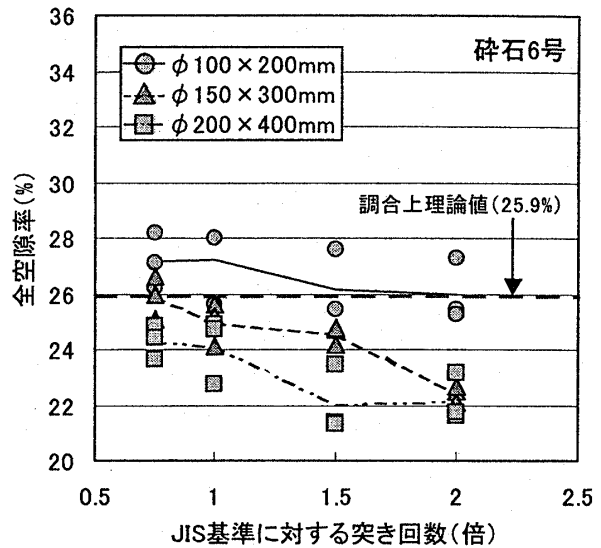


図2 全空隙率と突き回数の関係(砕石6号)

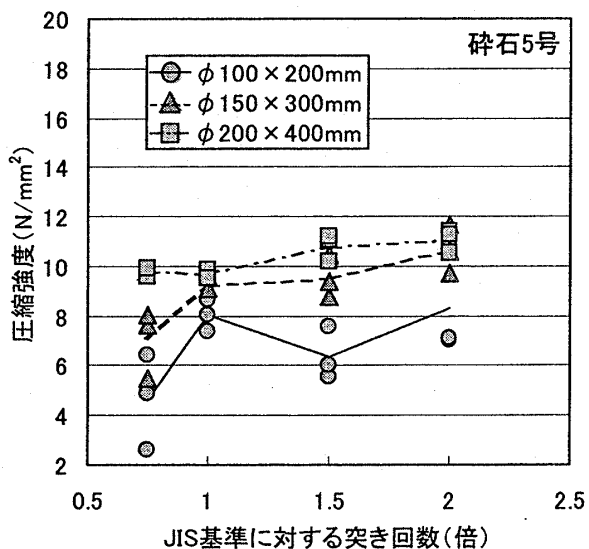


図3 圧縮強度と突き回数の関係(砕石5号)

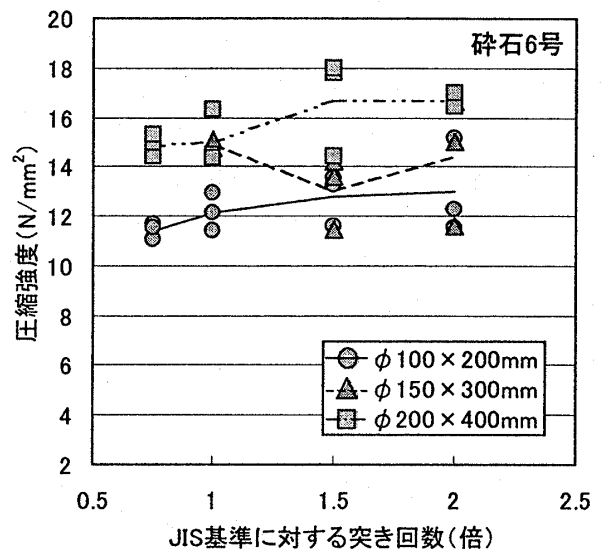


図4 圧縮強度と突き回数の関係(砕石6号)

3. 試験結果および考察

表4に実験結果一覧を平均値で示す。連続していない独立した気泡を示す連続空隙率と全空隙率の差は1%前後と小さな値を示し、調合条件の違いによる影響はみられなかった。また、表中の砕石6号・φ150mm・突き回数19回の圧縮強度は、強度試験測定ミスにより、そのデータを削除している。

図1および図2に全空隙率と各層の突き回数の関係を示す。図中の破線は調合より算出した目標空隙率である。図より、ばらつきはみられるが、骨材粒径およびセメントペースト空隙充填率の違いに関わらず、突

き回数の増加とともに全空隙率は低下し、JIS基準の1.5倍以上ではほぼ横ばいの値を示す傾向にある。したがって、空隙率の測定結果からはJIS基準の1.5倍の突き回数でポーラスコンクリートが十分に締め固められたものと考えられる。また、ほぼ同じ空隙率を目指して調合を決定したにも関わらず、砕石5号を使用した場合の方が全体的に大きな値を示している。これは、骨材の粒径が大きいほど単位容積に占める骨材の表面積は小さくなることから、骨材表面に付着する結合材の厚さが厚くなり、骨材接点間に入り込む結合材量が増加することで骨材の実積率が低下したために空隙率が

大きくなったものと考えられる。また、十分に締め固めを行った場合、碎石5号ではφ200mm、碎石6号ではφ100mmの型枠、すなわち骨材最大粒径の10倍程度の直径を有する型枠を使用することで、目標とする空隙率を満足する供試体を作製することが可能であることがわかった。

図3および図4に圧縮強度と各層の突き回数の関係を示す。図より、骨材粒径およびセメントペースト空隙充填率の違いに関わらず、突き回数の増加とともに圧縮強度は増加し、JIS基準の1倍または1.5倍以上ではほぼ横ばいの値を示す傾向にある。したがって、圧縮強度の測定結果もJIS基準の1.5倍の突き回数でポーラスコンクリートが十分に締め固められていると考えられ、空隙率と圧縮強度の両結果からJIS基準の1.5倍の突き回数が妥当であると考えられる。

図5に圧縮強度と全空隙率の関係を示す。若干のばらつきがみられるが、骨材粒径および型枠寸法の違いに関わらず、ほぼ図中の直線上に分布していることから、圧縮強度の変化は全空隙率の変化に起因しているものと考えられる。そのため、締め固め量および型枠寸法によるせき板効果の影響量の程度が異なる場合でも、全空隙率の測定を行うことで圧縮強度の推定が可能であると考えられる。

4. まとめ

本実験では型枠寸法がポーラスコンクリートの物性に及ぼす影響を求めるための基礎的実験として、3種類の型枠寸法に適したポーラスコンクリートの締め固め量の検討を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) 粒径が大きな骨材を使用し、型枠寸法が小さい場合、打ち継ぎ面できびれが発生しやすく、強度に対する影響が大きいと考えられることから、成型時に特に注意が必要である。
- 2) 型枠へのコンクリートの投入方法として、型枠へ1回に投入するコンクリートの層の厚さを約10cmとし、突き棒による各層の突き回数をJIS基準の1.5倍である約4.6cm²に1回の割合で突き固める

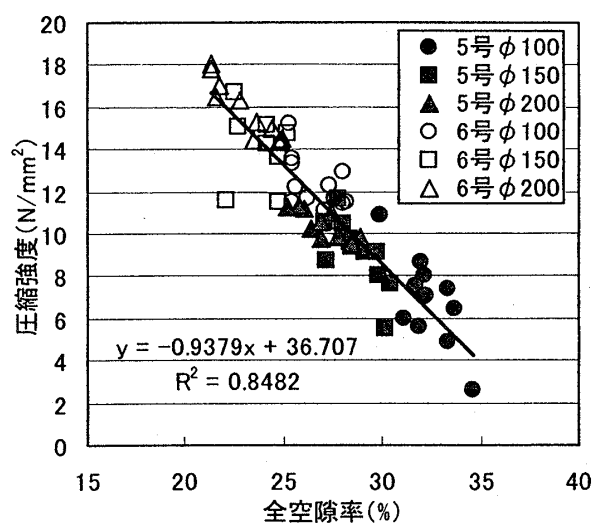


図5 圧縮強度と全空隙率の関係

のが適していることがわかった。

- 3) 骨材最大粒径の10倍程度の直径を有した型枠を使用することで、目標とする空隙率を満足する供試体を作製することが可能であることがわかった。
- 4) 締め固め量およびせき板効果の影響量が異なる場合でも、空隙率を測定することでその供試体の圧縮強度の予測が可能であると考えられる。

【謝辞】

本実験を行うにあたり、大分大学遠矢義秋技官、同卒研究生桑原真一郎、風戸康秀ならびに三島剛君らに御助力賜りました。ここに記して、深謝いたします。

【参考文献】

- 1) 大谷俊浩他：木炭混入ポーラスコンクリートの物性と緑化コンクリートへの利用，セメント・コンクリート論文集，No.53，pp.934-939，1999
- 2) 平岩陸他：ポーラスコンクリートの調査設計法に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，vol.23，No.1，pp.121-126，2001
- 3) 越健他：ポーラスコンクリートの空隙率と空隙分布の評価，コンクリート工学年次論文集，vol.21，No.1，pp.259-264，1999
- 4) 越健他：せき板効果を取り除くことによるポーラスコンクリートの透水試験方法の改善
- 5) エココンクリート研究委員会：ポーラスコンクリートの物性試験方法(案)，日本コンクリート工学協会，1995

*1 大分大学工学部福祉環境工学科 助手・工修
 *2 熊本大学大学院自然科学研究科 助教授・工博
 *3 大分大学工学部建設工学科 教授・工博
 *4 熊本大学工学部環境システム工学科 教授・工博
 *5 大分大学工学部建設工学科 助手・工修
 *6 日本文理大学工学部建築学科 教授・工博
 *7 熊本大学大学院自然科学研究科博士前期課程

Research Associate, Dept. of Human Welfare Eng., Faculty of Eng., Oita University, Mr. Eng.
 Associate Prof., Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ., Dr. Eng.
 Prof., Dept. of Architectural Eng., Faculty of Eng., Oita University, Dr. Eng.
 Prof., Dept. of Architecture and Civil Eng., Faculty of Eng., Kumamoto University, Dr. Eng.
 Research Associate, Dept. of Human Welfare Eng., Faculty of Eng., Oita University, Mr. Eng.
 Prof., Nippon Bunri University, Dr. Eng.
 Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.