

ポーラスコンクリートの結合材の分布状態が強度特性に及ぼす影響に関する研究 (その1 5号砕石強度試験結果)

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 永松 静也*3 同 平居 孝之*5 同 清原 千鶴*1

1. はじめに

現在、ポーラスコンクリートは、エココンクリートのなかで最も注目されているものの一つであり、多くの研究が行われている。ポーラスコンクリートは、内部に連続または独立した空隙を多量に含むコンクリートであるため、通気性、透水性、水質浄化性、ガス吸着性、吸音性および保水性などが期待できる。

そのような機能特性を有しているポーラスコンクリートの強度や透水係数などの物性は、空隙率、結合材強度および空隙径に依存しており、結合材強度が同じ場合、強度と空隙率には負の相関関係があり、強度と空隙径にも負の相関関係があるとされている¹⁾。しかしながら、その関係は結合材の分布状態が一様であることが前提とされている。その他の報告でも、そのことが前提条件として研究が行われている。そのため、実際の現場で打設を行う場合、結合材が一様に分布すれば問題ないのだが、未だポーラスコンクリートの打設方法は確立されているとはいえず、不均一に分布する可能性も十分に考えられる。

そこで、本研究では、型枠打設時のパイプレータによる加振時間を変化させて、意図的に結合材の分布状態を不均一にしたポーラスコンクリートの物性について検討を行った。また、結合材であるセメントペーストのフロー値を変化させて、結合材の流動性の違いが分布状態へ及ぼす影響の検討を行った。

2. 実験方法

実験に使用した材料を表1に示す。セメントは、筆者らはポーラスコンクリートを緑化コンクリートとして想定しているため、pHが低く、緑化に適している高炉セメントB種、骨材には5号砕石、混和剤にはポリカルボン酸エーテル系の高性能AE減水剤をそれぞれ使用した。

調合を表2に示す。調合条件は、水セメント比を25%で一定、かつ、セメントペースト空隙充填率を40%で一定とし、高性能AE減水剤の添加量をセメント質量比に対して0.39%、0.43%および0.50%として、セメントペーストのフロー値を150mm、175mmおよび200mmの3段階とした。

混練方法は、セメントペーストプレミックス法とした。まず、セメントを容量50ℓモルタルミキサーで10秒間空練りを行い、水と減水剤を投入し、30秒間練り混ぜ、セメントの掻き落とし作業をした後、さらに90秒間練り混ぜた。次に、容量100ℓ二軸ミキサーに骨材および作製したセメントペーストを投入して、60秒間練り混ぜた。出来上がったコンクリートはφ10×20cmの円柱供試体用型枠に、JIS A 1132に準拠して2層詰めとし、各層を突き棒で11回突いた。突き固め条件をできる限り同一とするため、かつ、この段階でのセメントペーストの垂れを生じさせないため、木槌等は用いず、突き棒だけによる突き固めとした。2層まで詰

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 表乾密度 2.60 g/cm ³ 吸水率 2.00 % 粒径 13~20 mm 実績率 57.5 %
混和剤	高性能AE減水剤 ポリカルボン酸エーテル系

表2 調合およびフロー値

調合番号	W/C (%)	セメントペースト空隙充填率 (%)	粗骨材種類	混和剤添加量 (%)	目標フロー (mm)	計測フロー (mm)	単位質量 (kg/m ³)			単位質量 (g/m ³)
							C	W	G	Sp
1	25	40	5号	0.39	150	158	293.6	73.4	1495.0	1145.2
2				0.43	175	173	293.6	73.4	1495.0	1262.6
3				0.50	200	201	293.6	73.4	1495.0	1468.2

W/C: 水セメント比, C: 高炉セメントB種, W: 水, G: 粗骨材, SP: 高性能AE減水剤

*1 大分大学 助手・工修 *2 熊本大学 助教授・工博 *3 大分大学 教授・工博 *4 熊本大学 教授・工博 *5 日本文理大学 教授・工博

めた供試体は、卓上バイブレータ（振動数 3000rpm, 振幅 1.5mm）で加振してセメントペーストの分布状態を変化させた。加振時間は 0, 2, 4, 6, 10 および 20 秒の 6 段階とした。加振後、表面をコテでならして成型した。供試体数は、1 調合につき圧縮強度試験用 18 体、空隙率およびセメントペースト分布状態測定用 18 体の計 36 体である。

作製した供試体は、室内で湿布養生を行い、2 日後に脱型を行った。脱型した供試体は、20°C 水中養生を行い、材齢 28 日で圧縮強度試験に供した。強度試験は、容量 2000kN 万能試験機を用い、ひずみの測定は、アルミ板を介して装着したコンプレッソメータを用いて行った。連続空隙率および全空隙率の測定は、材齢 14 日後、日本コンクリート工学協会ポーラスコンクリートの物性試験方法（案）に準拠して、空隙率およびセメントペースト分布状態測定用供試体を用いて容積法で行った。

3. 実験結果および考察

表 3 に実験結果を平均値で示す。表より、すべての供試体作製条件で、全空隙率は連続空隙率の約 1% 高い値を示していることがわかる。全空隙率と連続空隙率の差は独立空隙率の量を示すことから、加振時間およびフロー値の違いによる独立空隙率の変化はほとんどないと考えられる。あるいは、20°C・60%RH の条件に 24 時間静置したのでは、独立空隙内の水分が除去されていないことが考えられる。

加振時間の変化が全空隙率、圧縮強度およびヤング係数に及ぼす影響をそれぞれ図 1、図 2 および図 3 に示す。これらの図は、加振時間 0 秒の値を 100 として各加振時間の値を相対比で表したものである。図 1 より、全空隙率は加振 6 秒から 8 秒まで、時間の増加とともに低下していくが、フロー 158mm と 173mm は、その後増加している。フロー 201mm で増加傾向がみられないため、はっきりと結論付けることはできないが、原因として、加振初期は時間の増加とともに、突き棒による突き固めだけでは締め固めが不十分であったコンクリートが密実になることで空隙率が増加し、その後、セメントペーストが垂れて下部に溜ま

表 3 強度試験結果

フロー (mm)	加振時間 (秒)	連続空隙率 (%)	全空隙率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	強度時ひずみ (μ)
158	0	30.6	31.2	9.39	1.22	1310
	2	29.1	29.8	9.76	1.27	1093
	4	28.7	29.7	10.83	1.38	1275
	6	27.8	29.1	10.39	1.27	1348
	10	27.6	29.0	10.46	1.45	983
	20	29.1	30.4	8.34	1.37	976
173	0	29.2	29.8	8.18	0.98	1366
	2	28.2	28.9	11.70	1.45	1310
	4	27.0	28.1	11.01	1.35	1175
	6	26.8	27.9	10.38	1.41	1146
	10	28.0	28.9	8.93	1.34	1000
	20	27.7	28.8	7.74	1.29	1231
201	0	34.2	35.0	7.98	1.05	1139
	2	31.3	32.0	10.22	1.30	1068
	4	31.2	32.0	9.27	1.28	1048
	6	30.1	31.3	9.93	1.30	1176
	10	28.6	30.0	9.12	1.52	857
	20	28.5	29.9	7.89	1.41	790

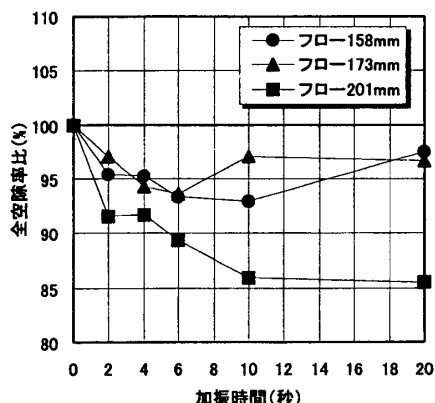


図 1 全空隙率と加振時間の関係

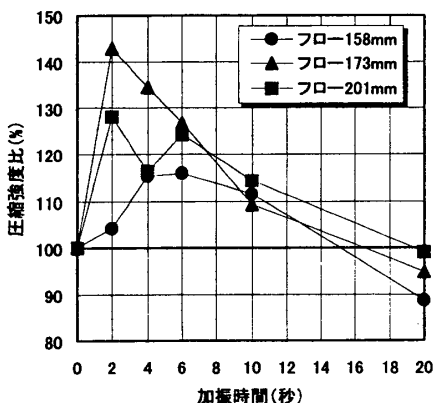


図 2 圧縮強度と加振時間の関係

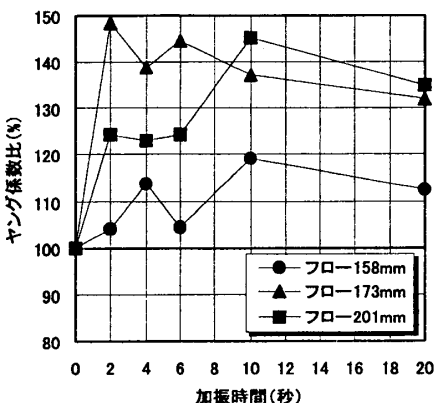


図 3 ヤング係数と加振時間の関係

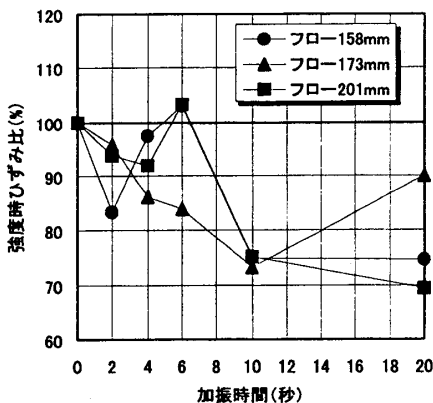


図 4 強度時ひずみと加振時間の関係

りだすと、そのセメントペーストが骨材を押し上げるようなかたちとなり、逆にポーラスになってしまい空隙率が増加することが考えられる。

図2より、圧縮強度は加振時間の増加に伴い、初期は強度の急激な増加がみられるが、その後大きく低下している。また、その変化の割合は、フロー158mmが小さいものの、フロー173mmおよび201mmにはあまり明確な差はみられなかった。ポーラスコンクリートの空隙率と圧縮強度には負の相関関係があることから、初期の変化は空隙率の変化によって説明することが可能であるが、その後（特に10秒から20秒にかけて）の強度低下は空隙率の変化だけでは説明がつかない。そのため、加振10秒付近からセメントペーストの垂れによる強度低下が顕著に表れているものと考えられる。図3より、ヤング係数は加振時間の増加に伴い、4秒までは圧縮強度と同じ変化を示しているが、その後の低下は、ばらつきはあるもののあまりみられない。これは、セメントペーストの垂れの影響は上部ほど大きく、圧縮強度はほとんどその部分の強度で決まってしまうと考えられることから、その部分のひずみが大きく、コンプレッソメータの標点部分（中央部100mm）のひずみが小さく出たためと考えられる。図4より、強度時ひずみはばらつきがあるが大まかにみて、加振時間の増加に伴い低下傾向にある。この原因は、ヤング係数の考察で触れたこと、セメントペーストの垂れによってポーラスコンクリートが全体的に脆弱になっていることなどによるものと考えられる。

セメントペーストの垂れによる影響については、空隙率と圧縮強度を同時に比較する必要がある。そこで、図5に圧縮強度と全空隙率の関係をフロー値ごとに示す。図中の曲線は5号砕石、普通ポルトランドセメントおよび水セメント比25%といった条件の圧縮強度と全空隙率の関係を表している¹⁾。曲線に近いほど圧縮強度が空隙率に支配されていることを示し、離れるほど他の要因によって強度が変化していることになる。これらの図より、加振時間の増加に伴い、初期は曲線に近づいていくが、その後、次第に離れている。フロー158mmは20秒で、フロー173mmおよび201mmは10秒から曲線から大きく離れ、それらの時間よりペーストの垂れの影響が顕著に表れると考えられる。

図6にヤング係数と圧縮強度の関係を示す。図中の曲線は日本建築学会RC規準式を示しており、ポーラスコ

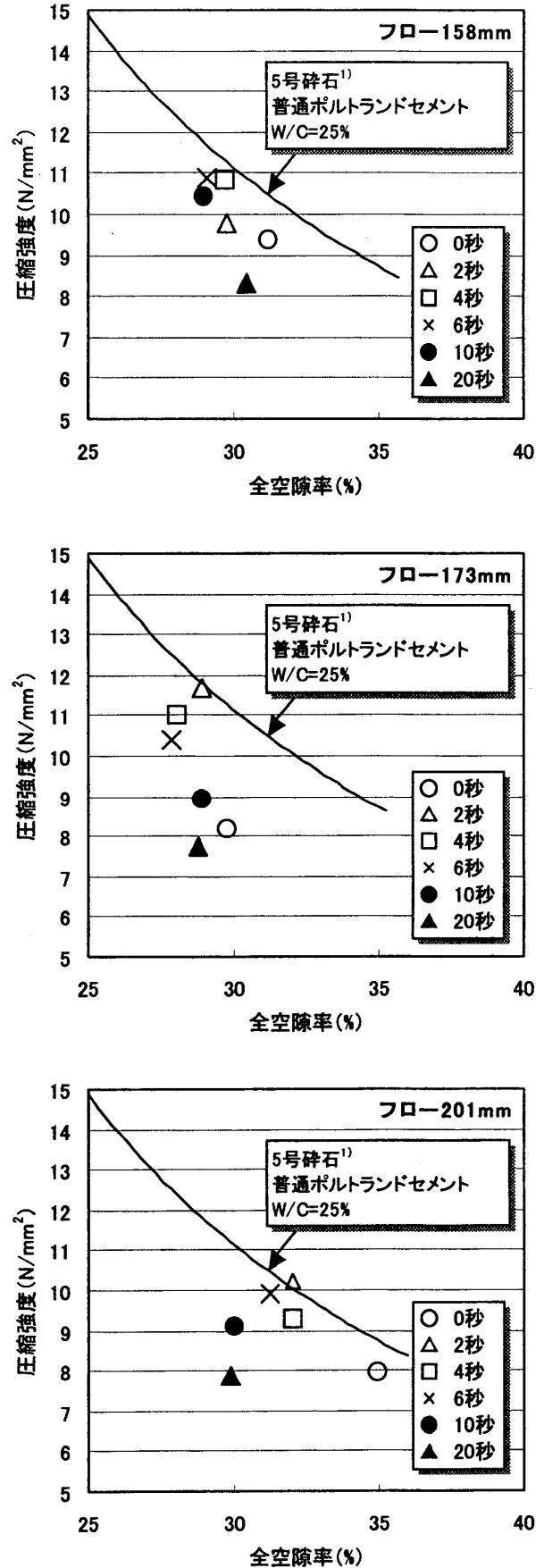


図5 加振時間の変化が圧縮強度に及ぼす影響

ンクリートの内部空隙を容積として含んで γ を計算したものをかさ容積, 含まないものを実容積と示している。図より, フロー値および加振時間による影響はみられず, 両曲線の間に位置しており, ポーラスコンクリートのヤング係数は, かさ容積で計算した場合, 一般のコンクリートよりも高い値を示している。

4. まとめ

結合材であるセメントペーストのフロー値およびバイブレータによる加振時間を変化させて, セメントペーストの流動性がその分布状態に及ぼす影響およびセメントペーストの分布状態がポーラスコンクリートの物性に及ぼす影響について検討を行った。その結果を以下にまとめる。

- (1) ポーラスコンクリートの圧縮強度は, 加振時間の増加とともに, 初期に急激な増加を示し, その後, 大きな低下を示した。初期の急激な強度増加は, 空隙率の変化に起因しており, その後の強度低下は結合材の”垂れ”に起因していることがわかった。
- (2) ヤング係数は, 加振時間の増加とともに, 初期は圧縮強度と同様な変化を示したが, その後は, 圧縮強度のように大きな低下を示さなかった。それは, 結合材の垂れによる影響は, 供試体上部の部分的な範囲に大きく作用し, コンプレッソメーターによるひずみ測定に反映されなかったことによると考えられる。
- (3) 結合材の流動性が物性に及ぼす影響については, フロー158mm の圧縮強度およびヤング係数の変化割合が小さな値を示したものの, フロー173mm および 201mm では明確な差がみられなかった。

今後, 結合材分布測定用供試体を用いた実験によって, 結合材の分布状態を把握し, 今回の結果を確かめたい。

[謝辞]

実験を行うにあたり, 大分大学工学部建設工学科材料研究室 遠矢義秋技官ならびに同研究室の田口宏道, 荒川堅太郎, 大鍛治洋介をはじめとする全学生に多大なる御助力を賜りました。ここに記して, 深謝いたします。

[参考文献]

- 1) 松川徹他: 緑化コンクリートの空隙性状, コンクリート工学年次論文報告集, vol.18, No.1, pp.999-1004, 1996

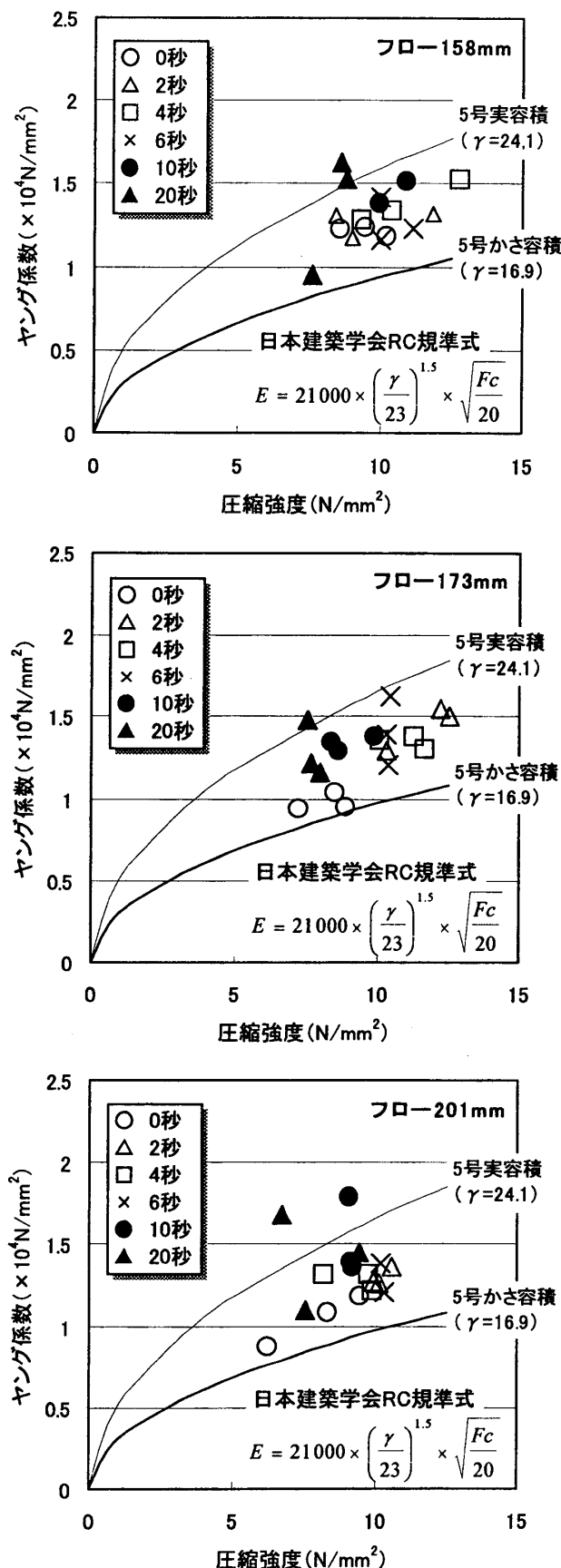


図6 加振時間の変化がヤング係数に及ぼす影響