

論文 遠心成形した高強度コンクリートの物性に及ぼす試験体形状の影響

菅 一雅^{*1}・榊田 佳寛^{*2}・鈴木 潔^{*3}

要旨：本研究は、遠心成形した高強度コンクリートの物性に及ぼす試験体形状の影響について各種物性実験により検討したものである。実験は、J I S で定められた遠心成形の試験体形状と J I S 試験体形状をより小型化した場合の比較および遠心成形、振動成形した円筒形状と振動成形した円柱標準試験体形状との比較を行った。その結果、J I S 遠心成形試験体形状を小型化しても各種物性に及ぼす影響は少ないことを確認した。また、成形条件に関係なく、円筒形状と円柱標準試験体形状での強度物性は同様な傾向を示すことを確認した。

キーワード：遠心成形、振動成形、試験体形状、高強度コンクリート

1. はじめに

遠心成形に関する研究³⁾⁵⁾は、昭和 20 年代から昭和 40 年代にかけて多く行われ、遠心成形におけるコンクリートの品質管理の試験方法も昭和 45 年に J I S 制定された。

しかし、J I S 遠心成形試験体の質量は約 15kg 以上と一般の円柱標準試験体の約 4 倍の質量で扱いづらく、受圧面積も約 2.5 倍大きい。そのため、150N/mm² 以上の高強度コンクリートになると、3000kN 圧縮試験機では測定できず、5000kN の大型な圧縮試験機が必要となる。

このことから、今後の高強度化や品質管理の作業性を考えると、より小型化することは望ましいと考える。ところが、現在の J I S 形状をより小型化した場合の研究はされていない。

また、高強度コンクリート調合における遠心成形による影響や円筒試験体形状が及ぼす影響に関する研究も少ない。

そこで、本研究では、100N/mm² 前後の高強度コンクリートにおいて、遠心成形試験体形状を小型化することが各種物性に与える影響について検討を行うとともに、遠心成形が及ぼす影響を確認するため同一円筒形状で振動成形した試験体と各種物性における比較検討を行った。

2. 実験概要

2.1 実験条件

表-1 に実験の要因と水準、表-2 に使用材料を示す。使用材料としては、常圧蒸気養生、遠心成形での高強度コンクリートを検討するため、セメントは早強ポルトランドセメントとし、粗骨材は 6 号砕石を用いた。

調合条件としては、表-3 に示すような 7 種類の調合とし、フレッシュ性状もほぼ 0cm スランプのコンクリートを用いた。

試験項目としては、表-4 に示すように、圧縮強度、単位容積質量、ヤング係数、乾燥収縮

表-1 要因と水準

要因	水準
水結合材比 (%)	20, 23, 25, 28, 33
試験体形状 (mm)	円筒形 φ200×300, 肉厚 40 円筒形 φ160×240, 肉厚 40 円筒形 φ160×240, 肉厚 30 円柱形 φ100×200 (比較用)
成形方法	遠心成形, 振動成形

表-2 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント
細骨材	大月産安山岩砕砂 表乾密度 2.64 (g/cm ³), 粗粒率 2.74
粗骨材	大月産安山岩 6 号砕石 表乾密度 2.61 (g/cm ³), 粗粒率 6.19
混和材 1	エトリンガ® 1 系高強度用混和材
混和材 2	エトリンガ® 1 系高強度用混和材+シリカフェーム
混和剤	ナフタリン系高性能減水剤

*1 (株) ジオトップ 技術本部 (正会員)

*2 宇都宮大学教授 工学部建設学科 工博 (正会員)

*3 (株) ジオトップ 製造本部

表－３ 調査条件

No.	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)						混和剤 B×%	実測値	
			W	C	混和材 1	混和材 2	S	G		スランプ (cm)	空気量 (%)
1	33	44	140	390	34	—	841	1062	2.0	0.0	2.7
2	28	42	130	427	37.1	—	800	1096	2.0	0.0	3.0
3	25	44	130	478	41.6	—	780	1069	2.0	0.2	2.7
4	23	44	130	519	45.2	—	800	1011	2.1	0.0	3.4
5	25	42	115	322	—	138	810	1110	2.0	0.0	2.7
6	23	44	115	350	—	150	833	1052	2.0	0.0	3.0
7	20	44	120	420	—	180	788	995	2.0	0.0	3.0

*B=(C+混和材)：結合材

の各物性値により比較検討を行った。

試験体の成形条件は、表－５に示すように、遠心成形の最大遠心力を 30G とした。また、形状での影響を把握するため、同一円筒形状での振動成形した試験体を作成した。振動成形試験体は、内部に鋼管を埋め込み、コンクリートが自立できる状態になった時点で引き抜いて成形した。なお、比較のために従来の円柱標準試験体（φ100×200）も振動成形で作成した。

養生条件は表－５に示す常圧蒸気養生とし、自然徐冷後は 20℃、60% RH の条件下で所定材齢まで養生を行った。

2.2 小型試験体の検討

遠心成形では、固練りコンクリートを採用する場合が多い。そのため、小型化した場合、遠心成形前にコンクリートがその型枠内にすべて投入できるかどうかについて検討を行った。

そのため、骨材の実績率を測定する容器 (10L) を使用して、表－６に示す単位容積質量を測定した。調合 4 は、コンクリートの粘性が大きく、突き棒でも詰めにくなり、その単位容積質量も 1.92 t/m³ と小さくなった。そこで、この調合 4 を投入することが可能な範囲でどこまで小型化できるかどうかについて検討を行った。

小型化した場合のコンクリートの投入量から、そのときの型枠内の単位容積質量を求めた計算結果を表－７に示す。このように、調合 4 のコンクリートは、φ160×240 までは遠心成形前の型枠内に投入可能であるが、φ150×225 ではすべての量を投入できない結果となった。そのため、検討小型化形状を φ160×240 とした。

表－４ 試験項目

項目	試験方法
圧縮強度	JIS A 1108, JIS A 113, 常圧蒸気養生 材齢 1 日, 7 日, 14 日
単位容積質量	JIS A 1104 材齢 7 日
ヤング係数	JIS A 1149 材齢 7 日, 14 日
乾燥収縮	JIS A 1129-2, 養生条件: 20℃, 60% RH 材齢 7 日, 28 日, 56 日, 91 日

表－５ 成形条件および養生条件

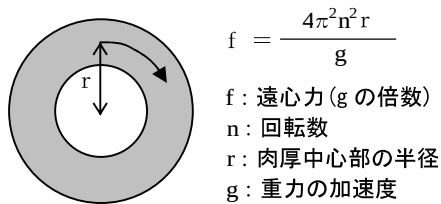
項目	条件
遠心成形	0.9G 420s⇒6G 120s⇒10G 120⇒30g 120s
振動条件	4G 振動台 φ200, φ160 3 層 各 300s φ100 2 層 各 300s
養生条件	前置き 上昇 高温 自然徐冷後 30℃ 3h⇒10℃/h 4h⇒70℃ 7h⇒20℃60%RH

表－６ 遠心成形前の単位容積質量

		遠心成形前のコンクリート 単位容積質量 (t/m³)
W/B	調合 1 : 33%	2.34
	調合 2 : 28%	2.22
	調合 4 : 23%	1.92

表－７ 遠心型枠内への投入量

	遠心成形型枠検討種類			
	φ200 ×300	φ180 ×270	φ160 ×240	φ150 ×225
型枠内容積 (cm³)	6032	4750	3619	3110
厚み 40mm での 投入量 (kg)	15.32	12.07	9.19	7.90
投入量から求め た単位容積質量 (t/m³)	1.63	1.756	1.905	1.99
型枠内への投入 の可能性	OK	OK	OK	NG



図－１ 遠心成形での遠心力の算定方法

3. 従来試験体と小型試験体との比較

3.1 小型試験体の遠心成形条件および形状

遠心成形でコンクリートに作用する遠心力の算定方法を図－１に示す。小型試験体は、肉厚の中心部分に作用する遠心力を同一条件とするため、従来試験体の遠心成形条件より、回転数を多くして同一遠心力になるように成形した。

小型試験体の形状は、前述したようにφ160×200とし、写真－１に示すように肉厚を40mmと30mmの２種類として、従来試験体形状(φ200×300 t=40)と比較実験を行った。

従来試験体と小型試験体の各質量と受圧面積の比較を表－８に示す。小型試験体の質量は従来試験体質量の49%～60%となり、より扱いやすい形状・質量となっている。また、圧縮試験時の小型試験体受圧面積は従来試験体受圧面積の61%～75%となり、今後のコンクリートの高強度化でも既存の圧縮試験機での対応能力範囲を広げることができる。

3.2 単位容積質量試験結果

W/B=23, 28, 33%の割合での各成形条件、試験体形状における材齢7日の単位容積質量測定結果を表－９に示す。

振動成形した試験体の単位容積質量は2.50～2.54t/m³に対し、遠心成形した試験体の単位容積質量は2.55～2.62t/m³であり、遠心成形した試験体の方が大きくなる傾向を示した。これは、遠心成形の効果で内部空隙の減少¹⁾による緻密化やスラッジ（余剰セメントペースト）の排出により骨材密度が高まったためと考えられる。

また、今回測定した単位容積質量では、遠心成形での小型試験体による影響についての顕著な差は認められなかった。



写真－１ 小型試験体と従来試験体

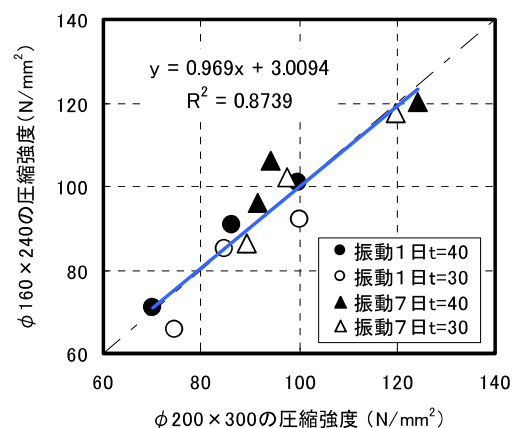
表－８ 各試験体形状の質量、受圧面積

試験体形状(mm)	質量(kg)／個	受圧面積(mm²)
φ200×300 t=40	15.3 (1.00)	20106(1.00)
φ160×240 t=40	9.2 (0.60)	15080(0.75)
φ160×240 t=30	7.5 (0.49)	12252(0.61)
φ100×200	4.0 (0.26)	7854(0.39)

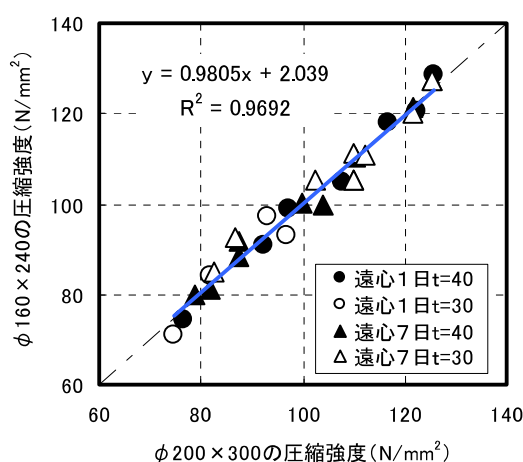
*コンクリートの単位容積質量は2.54t/m³とした。

表－９ 各成形、形状条件の単位容積質量

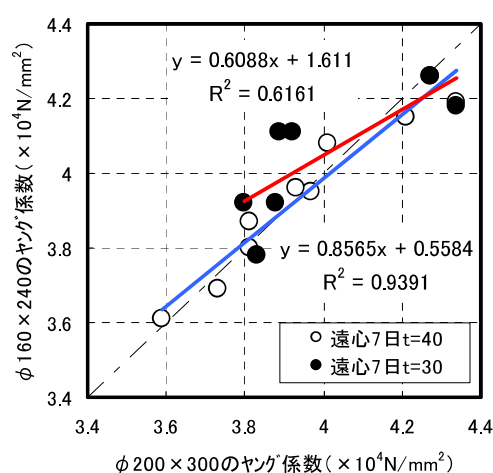
W/B	成形	単位容積質量 (t/m³)		
		φ200×300t=40	φ160×240t=40	φ160×240t=30
割合1 33%	遠心	2.56 (1.000)	2.58 (1.008)	2.57 (1.004)
	振動	2.51 (0.980)	2.51 (0.98)	2.50 (0.977)
割合2 28%	遠心	2.55 (1.000)	2.57 (1.008)	2.59 (1.016)
	振動	2.52 (0.988)	2.54 (0.996)	2.52 (0.988)
割合4 23%	遠心	2.58 (1.000)	2.56 (0.992)	2.62 (1.016)
	振動	2.52 (0.977)	2.54 (0.984)	2.54 (0.984)



図－２ 振動成形での圧縮強度の比較



図－3 遠心成形での圧縮強度の比較



図－4 遠心成形でのヤング係数の比較

3.3 圧縮強度試験結果

調合 1 ～ 7 のコンクリートで振動成形した従来試験体と小型試験体の圧縮強度試験結果を図－2に示す。また、遠心成形した従来試験と小型試験体の圧縮強度試験結果を図－3に示す。

振動成形での比較は、バラツキはあるものの、従来試験体と小型試験体の圧縮強度はよい相関を示し、形状の違いによる顕著な差はなかった。

また、遠心成形では、振動成形に比べバラツキが少なく、従来試験体と小型試験体の圧縮強度は、高い相関関係を示した。

既往の研究²⁾では、試験体形状が小さいほど若干圧縮強度が大きくなる報告がされているが、今回は直径比で 0.8 の小型化であり、試験体形状による影響が少なかったものと考えられる。

3.4 ヤング係数試験結果

従来試験体と小型試験体の調合 1 ～ 7 における材齢 7 日のヤング係数の関係を図－4に示す。

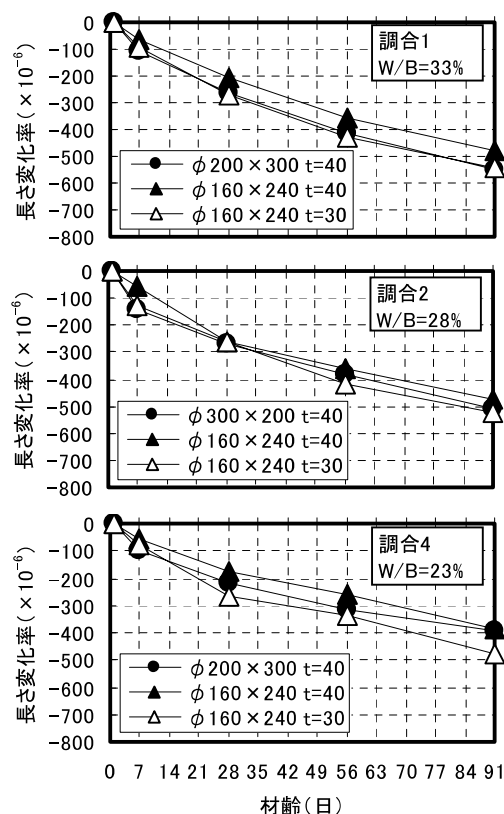
図からわかるように、小型試験体の肉厚 40mm のヤング係数は従来試験体と高い相関関係を示した。一方、肉厚 30mm のヤング係数はバラツキが大きい結果となった。これは、肉厚が薄いため、骨材等の影響を受けたものと考えられる。

3.5 乾燥収縮による長さ変化測定試験結果

写真－2に示す従来試験体と小型試験体で、材齢 1 日の蒸気養生後脱型時を基長として、コンタクトゲージ法により測定した乾燥収縮の長さ変化率の経時変化を図－5に示す。



写真－2 乾燥収縮試験体



図－5 乾燥収縮の経時変化

長さ変化率の履歴形状としては、小型試験体の肉厚 30mm が他の試験体よりも若干大きい値を示しているが、ほぼ、同様な傾向を示した。

また、調合別にみると、W/B が小さくなるほど、若干小さくなる傾向を示した。

3.6 質量変化測定試験結果

乾燥収縮による試験体の質量変化率の経時変化を図-6に示す。

いずれの形状においても、質量変化率の顕著な差は認められず、材齢 28 日までは減少する傾きが大きく、材齢 28 日以降はその傾きが緩やかになる傾向を示した。

調合の違いをみると、長さ変化率と同様に W/B が小さいほど変化率が小さく、履歴曲線の傾きも緩やかになる結果となった。

長さ変化率と質量変化率の関係は、図-7に示すように、W/B が小さくなるほど質量変化率が小さくても、長さ変化率が大きくなる傾向を示した。これは、自己収縮が要因と考えられるが、今後より詳細な検討が必要である。

4. 円筒試験体と円柱試験体の比較

4.1 圧縮強度試験結果

写真-3に示す円筒形状 ($\phi 200 \times 300$ $t=40$) の遠心成形、振動成形した試験体と、円柱形状 ($\phi 100 \times 200$) の振動成形した試験体の材齢 14 日における圧縮強度試験結果を図-8に示す。

遠心成形試験方法の JIS 制定前に行われた実験報告³⁾ (W/C=35~50%)によると、同様な試験体形状での試験結果は、遠心成形した試験体の圧縮強度が若干大きくなる結果となっている。しかし、今回の圧縮強度試験結果では、W/B=23%の試験結果でバラツキが認められるが、振動成形、遠心成形あるいは、円筒形状、円柱形状での差は認められず、ほぼ同じ値を示した。

また、既往の研究⁴⁾では、同様な調合範囲での高強度コンクリートで、遠心成形で発生するスラッジの W/C は調合上の W/C と変わらない報告があり、今回のような W/B 範囲では、遠心成形での脱水作用の影響が小さいものと推測される。

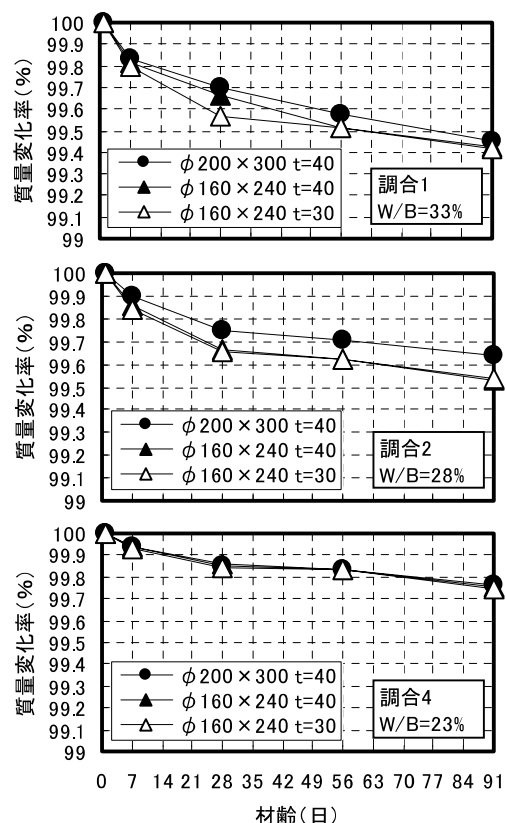


図-6 試験体質量の経時変化

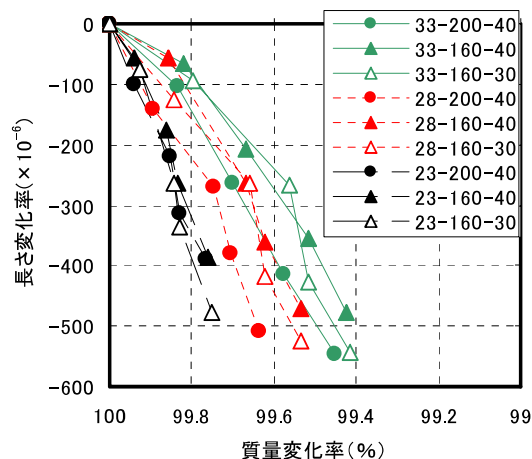


図-7 長さ変化率と質量変化率の関係



写真-3 円筒試験体と円柱試験体

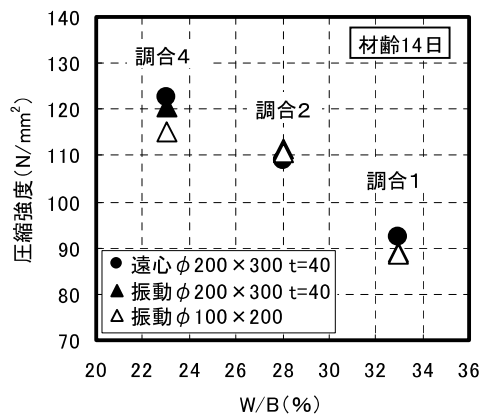


図-8 円筒形状と円柱形状の圧縮強度

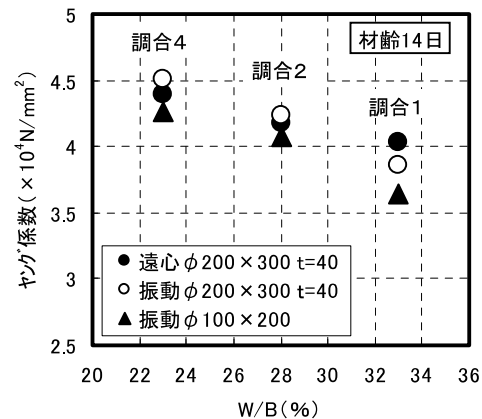


図-9 円筒形状と円柱形状のヤング係数

4.2 ヤング係数試験結果

ヤング係数試験結果を図-9に示す。既往の研究⁵⁾では、遠心成形試験体のヤング係数が大きくなる報告がある。今回の結果では、 $W/B=33\%$ が若干ばらつくものの圧縮強度と同様に遠心成形と振動成形での差はほとんど認められなかった。また、遠心成形試験体形状と円柱標準試験体のヤング係数もほぼ同様な値を示した。

圧縮強度とヤング係数の関係を図-10に示す。骨材等の影響でNewRC式より若干小さい傾向を示すが、圧縮強度の増加に伴い、ヤング係数も増加する傾向を示した。

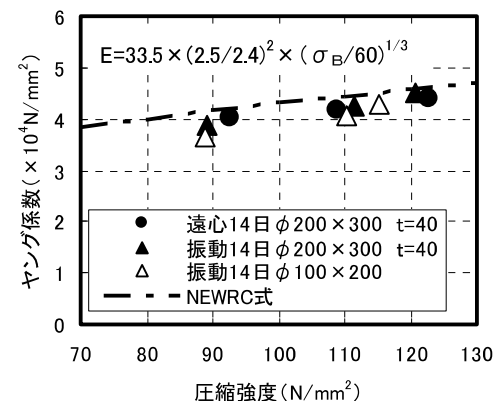


図-10 圧縮強度とヤング係数の関係

5. まとめ

- (1) 遠心成形における小型化した試験形状 (φ160×240) の肉厚 40mm の各種物性値は、JIS遠心成形試験体形状の物性値と高い相関関係を示し、小型化による影響は認められなかった。
- (2) 小型試験体形状の肉厚 30mm は骨材等の影響を受けて、ヤング係数値がバラツキを示した。
- (3) 乾燥収縮試験での長さ変化率、重量変化率の履歴は、いずれの試験体形状においても同様な傾向を示し、 W/B が小さいほど自己収縮の影響と思われる長さ変化率の増加が認められた。
- (4) 遠心成形した試験体は、同一円筒形状で振動成形した試験体に比べ、空隙部の減少や骨材密度増加の影響で単位容積質量が増加する傾向を示すが、圧縮強度やヤング係数などの強度物性値は顕著な差を示さなかった。

参考文献

- 1) 菅 一雅, 梶田佳寛, 小椋仁志: 高強度コンクリートの遠心成形に及ぼす単位水量低減の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集A, pp.481-482, 2004.8
- 2) 杉木六郎, 皆上裕之, 藤井敏郎: 供試体の大きさとコンクリートの圧縮強度-φ10×20cm 供試体とφ15×30cm 供試体との比較-, セメントコンクリート, No.194, pp.2~7, 1963
- 3) 古藪徳二: 遠心力締固めコンクリートの圧縮強度試験方法について, セメント・コンクリート, No.262, pp.12-21, 1968
- 4) 菅原高志, 梶田佳寛, 中村成春, 斉藤直: 遠心成形した高強度コンクリートの耐硫酸性に関する実験, コンクリート工学年次論文報告書, Vol.23, No.2, pp.463-468, 2001
- 5) 西林新蔵, 吉岡保彦, 千代憲司, 西川勝彦: 遠心締固め効果に関する研究, セメント技術年報, Vol.21, pp.415-419, 1971