

論文 コアの寸法の違いによる試験値の差に対する各種要因の影響

清水 厚年^{*1}・寺西 浩司^{*2}・谷川 恭雄^{*3}・杉山 英祐^{*4}

要旨: 本研究では、まず、小径コアと標準サイズ (φ100mm) のコアの圧縮強度およびヤング係数の試験値の関係を明らかにするため、超高強度域を含めた広範囲の強度のコンクリートに対してコア試験を行った。次に、コア寸法の違いによる強度およびヤング係数の試験値の差に影響を及ぼす因子について詳細に検討した。以上の結果、圧縮強度の試験値はコア寸法が小さくなるほど低くなり、その差は水結合材比が低いほど大きくなることがわかった。また、ヤング係数の試験値はコア寸法によってほとんど変化せず、試験本数を増やすことで標準サイズのコアの場合と同程度の試験精度を確保できることが明らかになった。

キーワード: 小径コア, 超高強度コンクリート, 圧縮強度, ヤング係数, 分散分析, 耐震診断

1. はじめに

近年、φ25mm 程度の小径コアを用いて既存 RC 構造物の強度を調べるケースが増えている¹⁾。その際、小径コアと標準サイズ (φ100mm) のコアの強度試験値は必ずしも一致しないため、通常は、両者の差の分だけ小径コアの試験値を補正して強度推定値を求めている²⁾。しかし、この差はコア寸法以外の要因にも左右されるため³⁾、どの程度の補正値が適当かは研究者によって意見が分かっている。また、ヤング係数に関しては、小径コアの場合、試験値のばらつきが大きいいため、推定値を求めることが困難であるとされている。

そこで、本研究では、まず、超高強度域を含めた広範囲の強度のコンクリートに対してコア試験を行い、小径コアとφ100mm コアの強度およびヤング係数の試験値の関係を明らかにした。次に、「コア寸法の違いによる強度およびヤング係数の試験値の差」(以下、コア寸法による試験値の差という)に影響を及ぼす因子について詳細に検討するために、水結合材比および粗骨材種類を変化させたコンクリートブロックを作製し、そこから様々な寸法のコアを採取して、圧縮試験を行った。

2. 実験概要

本研究では、次の2つのシリーズの実験を行った。

2.1 超高強度コンクリートのコア試験 (実験 1)

これまでに、杉山らにより、コンクリート強度が60N/mm²を超える領域では、小径コアの強度試験値がφ100mm コアの試験値よりも低くなり、また、その差はコンクリート強度が高くなるにつれて大きくなることが報告されている⁴⁾。しかし、既往データでは、実強度が100N/mm²を超えるような超高強度コンクリートのデータが不足している。そこで、実験1では、超高強度域の

試験データの補充を目的として、S 値を求めるために作製した超高強度・高強度コンクリートのブロックから様々な寸法のコアを採取した。そして、その圧縮強度およびヤング係数を測定した。

(1) 要因とその水準

表-1 に要因とその水準を示す。コアの直径はφ26, 35, 50 および 100mm の4種類とした。また、コンクリートブロックは、セメント種類と水結合材比の組合せの異なる5種類である。なお、これらのブロックは、3工場から供給されたレディーミクストコンクリートを用いてそれぞれ作製したものである。

(2) コンクリートブロック

表-2 に調査条件を示す。コンクリートブロック (一

表-1 要因とその水準 (実験 1)

要因	水準
コアの直径(mm)	26, 35, 50, 100
セメント種類・水結合材比	シリカフェウム混入セメント・15% (S15), シリカフェウム混入セメント・20% (S20), シリカフェウム混入セメント・28% (S28), 中庸熱ポルトランドセメント・35% ^{*1} (M35), 低熱ポルトランドセメント・35% ^{*2} (L35)
工場	X 工場, Y 工場, Z 工場

*1 X 工場では 33%, *2 X 工場では 30%

表-2 調査条件 (実験 1)

記号	水結合材比 (%)	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	単位粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	単位水量 (kg/m ³)	
S15	15	65~70	2.0	0.525~0.54	150	
S20	20	65				
S28	28	60				
M35	33~35	50~60		0.56~0.57		170
L35	30~35	50~60		0.56~0.57		165

*1 名城大学 理工学研究科建築学専攻 大学院生 (正会員)

*2 名城大学 理工学部建築学科 教授 博士 (工学) (正会員)

*3 名城大学 理工学部建築学科 教授 工博 (正会員)

*4 前田建設工業 ものづくりセンター (正会員)

辺 1m の立方体) は、冬季に打設され、その後、屋外に
 存置されていたものである。

(3) コアの採取および成形方法

コアの採取は材齢約 22 ヶ月の時点でを行った。図-1 に
 コアの採取位置を示す。コアは、コンクリートブロック
 の隅角部付近と中心部付近の 2 ヶ所から採取した。また、
 そのそれぞれの位置では、φ100mm コアの周囲から φ26
 ~50mm コアを抜き取った。

採取したコアは、φ100mm では 1 本、φ26~50mm で
 は 2 本ずつに切り分けて、高さ と直径の比が 2.0 となる
 ように成形した。なお、端面処理はすべて研磨仕上げと
 した。

(4) 圧縮試験方法

コア抜きから約 10 週間後に、JIS A 1108 に準拠して圧
 縮試験を行い、圧縮強度およびヤング係数を測定した。
 その際、加圧板の球面座は、φ26 および 35mm コアでは
 直径 9mm、φ50mm コアでは直径 20mm、φ100mm コア
 では圧縮試験機の備え付けのものとした。また、載荷速
 度は 0.5N/mm²/s とした。

2. 2 コア寸法による試験値の差に対する影響因子を調
 べる実験 (実験 2)

実験 2 では、「コア寸法による試験値の差」に影響を及
 ぼす因子について詳細に検討するため、実験室でコンク
 リートブロックを作製した。そして、そこからコアを採
 取して圧縮試験を行い、強度試験値とそのばらつきを検
 討した。また、ヤング係数についても同様の検討を行っ
 た。

(1) 因子とその水準

表-3 に因子とその水準を示す。実験 2 では、コアの
 直径を実験 1 の場合と同様の 4 種類とした。また、マト
 リックスモルタルの強度特性を変化させるために、水結
 合材比を因子とし、粗骨材の強度特性を変化させるた
 めに粗骨材の種類を因子とした。

(2) 使用材料

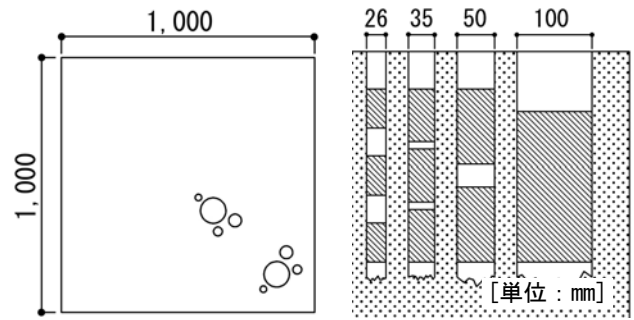
表-4 に、実験に使用したセメントおよび細骨材を示
 す。また、表-5 に粗骨材の物理的性質を示す。ここで、
 表-5 中に示した粗骨材の圧縮強度およびヤング係数は、
 砕石工場から入手した人頭大の原石からコア (φ35×
 70mm) を抜き、圧縮試験を行って測定したものである。
 同表からわかるように、SD は他に比べて圧縮強度が高
 く、SA は他に比べてヤング係数の小さい粗骨材である。

(3) 調合

表-6 に、コンクリートの調合を示す。本実験では、
 マトリックスモルタルおよび粗骨材の強度特性の影響を
 明確に把握するため、粗骨材容積が一定になるように調
 合を設定した。

(4) コアの採取、成形および試験方法

本実験では、まず、コンクリート種類 (9 種類) ごとに



(a) 平面図 (b) 断面図
 図-1 コア採取位置 (実験 1)

表-3 因子とその水準 (実験 2)

因子	水準
A : コアの直径 (mm)	26, 35, 50, 100
B : 水結合材比 (%)	17, 30, 50
C : 粗骨材種類	岩瀬産硬質砂岩 (SA), 春日井産硬質砂岩 (SD), 藤原産石灰岩 (SJ)

表-4 使用したセメントおよび細骨材 (実験 2)

材料	銘柄	仕様
セメント	普通ポルトランドセメント (OPC)	密度 : 3.16 g/cm ³
	シリカフェューム混入セメント (SFC)	密度 : 3.08 g/cm ³
細骨材	長良川産川砂	表乾密度 : 2.64 g/cm ³ 吸水率 : 2.15 % 粗粒率 : 2.61

表-5 粗骨材の物理的性質 (実験 2)

項目	SA	SD	SJ
最大寸法 (mm)	20	20	20
粗粒率	5.97	6.31	6.86
表乾密度 (g/cm ³)	2.63	2.63	2.70
吸水率 (%)	1.27	0.59	0.43
実積率 (%)	61.1	62.5	58.1
圧縮強度 (N/mm ²)	148	203	126
ヤング係数 (kN/mm ²)	43.2	80.5	85.6

表-6 コンクリートの調合 (実験 2)

水結合材比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	絶対容積 (l/m ³)			
				セメント		粗骨材	
				OPC	SFC		
50	4.5	47.3	185	117	-	309	344
30	4.5	43.2	170	179	-	262	344
17	2.0	36.8	150	-	286	200	344

*SD では細骨材率が若干異なる。

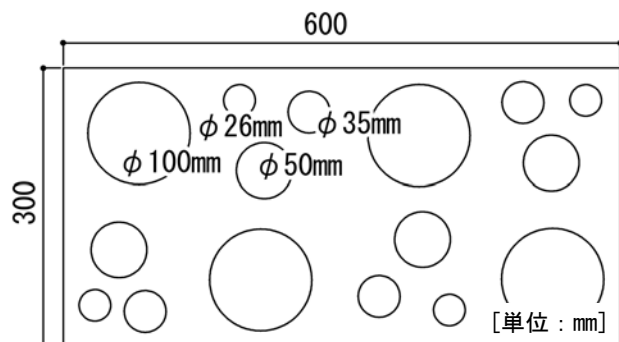


図-2 コア採取位置 (実験 2)

コンクリートブロック（600×300×250mm）を作製した。そして、材齢 14 日まで湿潤養生した後にこのブロックからコアを抜き取った。図-2 にコアの採取位置を示す。コア採取は打設面より垂直に行い、各直径につき 4 本ずつのコアを採取した。なお、φ26mm の場合には回転数 3900rpm のコアドリルを使用し、φ35~100mm の場合には回転数 700rpm のコアドリルを使用した。

採取したコアは、高さと同径の比が 2.0 になるようにコンクリートカッターで切断し、その両端面を研磨処理した。その後は標準水中養生し、材齢 56 日で圧縮試験を行った。なお、試験項目および試験方法は実験 1 の場合と同様とした。

3. コア寸法による試験値の差

3.1 圧縮強度

図-3 は、実験 1 および 2 によって得られたコアの圧縮強度の試験値（平均値）を、φ100mm コアの試験値との関係において示したものである。ここで、図(c)には、既往の試験データ^{4)~6)}（ただし、φ24~25mm のデータを含む）も併せて示してある。図中の回帰直線によると、超高強度・高強度域では、強度試験値は、寸法の小さいコアの方がφ100mm コアよりも低くなり、両者の差は強

度が高くなるほど大きくなっている。また、この傾向はコアの直径が小さいほど顕著となっている。

3.2 ヤング係数

図-4 に、コアのヤング係数の試験値（平均値）をφ100mm コアの試験値との関係において示す。図中の回帰直線によると、寸法の小さいコアとφ100mm コアの試験値の差は小さい。この点に関しては、ヤング係数に関する複合理論が古くから提案されており⁷⁾、その理論において、コンクリートのヤング係数が骨材およびマトリックスのヤング係数と骨材量によって決定されると考えることからすれば、当然の結果であるといえる。また、図-4 によると、コアの直径が小さいほど、図中の回帰直線の寄与率が小さくなっている。すなわち、ヤング係数の試験値のばらつきが大きくなっている。これは、コアの寸法が小さいほど、その内部にある骨材の寸法が相対的に大きくなり、コアに含まれる骨材の比率のばらつきが大きくなるためであると考えられる。

4. コア寸法による試験値の差に対する各種因子の影響

前章では、「コア寸法による強度およびヤング係数の試験値の差」を明らかにした。そこで、本章では、この差に対する各種因子の影響を詳細に検討するため、実験 2

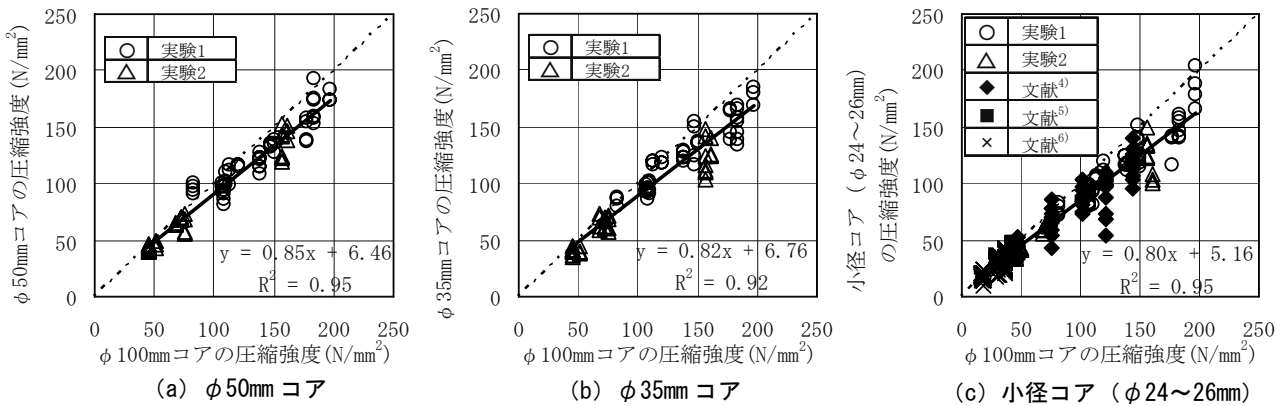


図-3 各種寸法のコアとφ100mm コアの圧縮強度（平均値）の関係

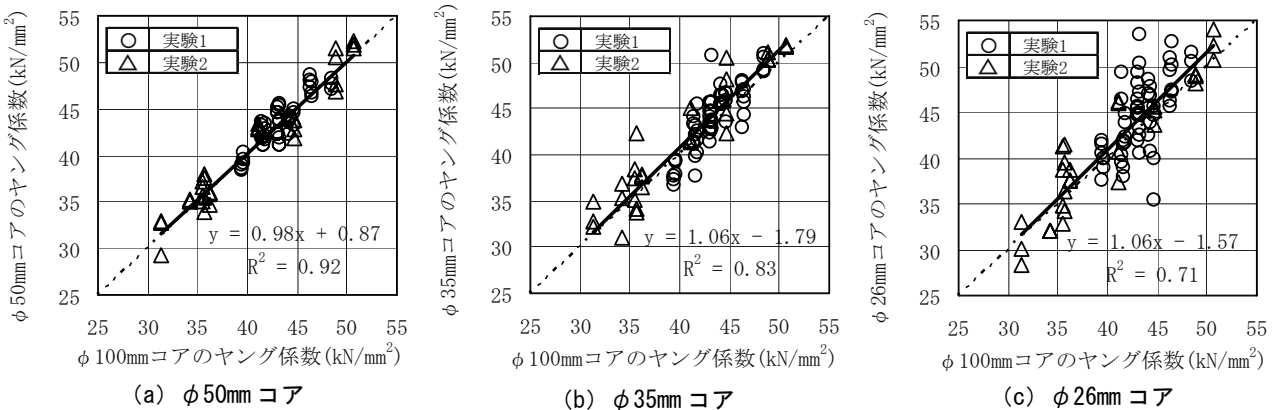


図-4 各種寸法のコアとφ100mm コアのヤング係数（平均値）の関係

によって得られた強度およびヤング係数の試験値とその変動係数に対して3元配置、繰返し数4の分散分析を行った。なお、分析にあたっては、グラブズ検定により異常値を棄却し、それによって生じた欠測値は繰返しデータの平均値で代替した。

4.1 圧縮強度

表-7に、圧縮強度の試験値の分散分析結果を示す。同表によると、因子Aは高度に有意となっている。すなわち、圧縮強度の試験値がコア寸法に左右されることが統計的に示されている。また、A×BおよびA×Cの交互作用が高度に有意となっており、このことから、「コア寸法による強度試験値の差」が水結合材比および粗骨材種類によって変化することがわかる。

図-5に、圧縮強度に対する要因効果を示す。ここで、図(a)には個々の試験値も併せてプロットしてある。同図から、圧縮強度の試験値はコアの直径が小さいほど低くなり、その傾向は、水結合材比が低いほど顕著になっていることがわかる。これは、図中に示した試験値のばらつき状況からわかるように、水結合材比が低い場合に、試験値の上限がコアの直径にかかわらずほぼ一定なのに対し、試験値の下限はコアの直径が小さいほど低くなるためである。このように、コア寸法が小さい場合に圧縮強度の低い試験値が発生する原因としては、載荷時の偏心⁸⁾や端面の凹凸、コア内部での欠陥などの影響がφ100mmコアに比べて相対的に大きくなることなどが考えられる。

また、上述のように、統計的には、「コア寸法による強度試験値の差」に対する粗骨材種類の影響が認められるが、図(b)から、その影響度合いは小さいことがわかる。

4.2 圧縮強度の変動係数

表-8に、圧縮強度の変動係数の分散分析結果を示す。同表によると、因子Aは高度に有意となっており、圧縮強度の試験値のばらつきがコア寸法に左右されるという結果になっている。また、因子Aに関わる交互作用に有意差が認められないことから、「コア寸法による強度試験

表-7 圧縮強度の分散分析結果

要因	平方和	自由度	分散	分散比	検定	寄与率
A	6015	3	2005	89	**	2.5
B	224471	2	112235	4979	**	92.5
C	46	2	23	1		0.0
A×B	4070	6	678	30	**	1.7
A×C	1152	6	192	9	**	0.5
B×C	313	4	78	3	*	0.1
A×B×C	4227	12	352	16	**	1.7
e	2434	108	23			1.0
計	242728	143				100.0

*: 5%有意, **: 1%有意

表-8 圧縮強度の変動係数の分散分析結果

要因	平方和	自由度	分散	分散比	検定	寄与率
A	126.1	3	42.03	7.47	**	41.7
B	2.7	2	1.37	0.24		0.9
C	15.8	2	7.91	1.41		5.2
e	157.5	28	5.62			52.1
計	302.1	35				100.0

*: 5%有意, **: 1%有意

表-9 ヤング係数の分散分析結果

要因	平方和	自由度	分散	分散比	検定	寄与率
A	56	3	19	5.4	**	0.8
B	5183	2	2591	750.1	**	74.0
C	1162	2	581	168.1	**	16.6
B×C	146	4	36	10.5	**	2.1
e	456	132	3			6.5
計	7003	143				100.0

*: 5%有意, **: 1%有意

表-10 ヤング係数の変動係数の分散分析結果

要因	平方和	自由度	分散	分散比	検定	寄与率
A	63.8	3	21.25	3.80	*	23.4
B	51.4	2	25.65	4.58	*	18.8
C	0.6	2	0.31	0.06		0.2
e	156.7	28	5.60			57.5
計	272.5	35				100.0

*: 5%有意, **: 1%有意

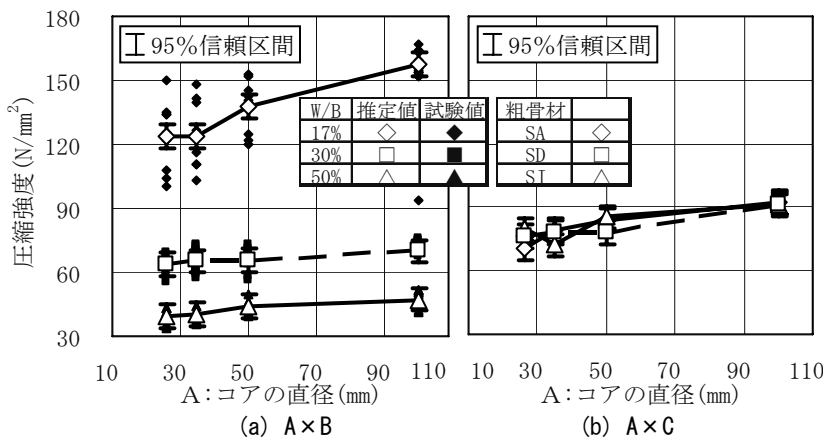


図-5 圧縮強度に対する要因効果

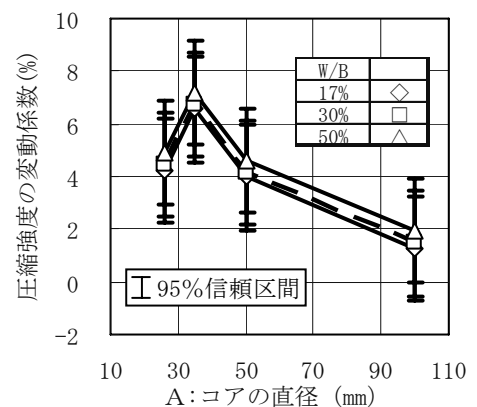


図-6 圧縮強度の変動係数に対する要因効果

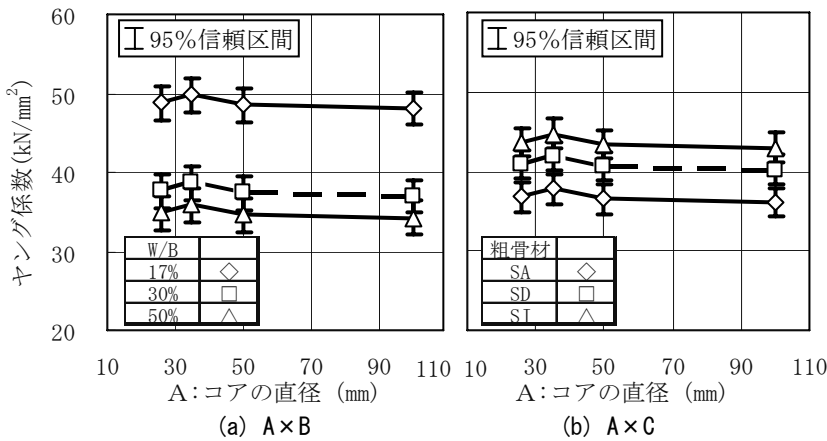


図-7 ヤング係数に対する要因効果

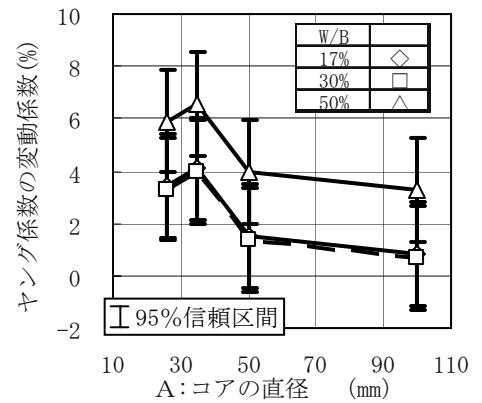


図-8 ヤング係数の変動係数に対する要因効果

値のばらつき」に対して他の因子は影響を与えないものと判断される。

図-6 に、圧縮強度の変動係数に対する要因効果を示す。同図によると、全体としては、コアの直径が小さいほど変動係数が高くなっている。ただし、 $\phi 26\text{mm}$ コアの場合には変動係数は逆に小さくなっている。これは、この直径の場合に、他とは異なる機種の回転数の高いコアドリルを用いたことが原因であると推察される。今後、小径コアの試験精度を高めるためには、コアドリルの回転数などと圧縮強度の試験値のばらつきの関係についても検討していく必要があるものと考えられる。

4.3 ヤング係数

表-9 に、ヤング係数の試験値の分散分析結果を示す。同表によると、因子 A は高度に有意となっており、ヤング係数の試験値がコア寸法に左右されるという結果になっている。ただし、図-7 によるとその差は小さい。このことと、図-4 においても、「コア寸法によるヤング係数の試験値の差」がほとんど認められなかったことを考え合わせると、小径コアからヤング係数の推定値を求める際に、試験値の補正は不要であると考えられる。

なお、図(b)からわかるように、ヤング係数の試験値は、粗骨材のヤング係数の小さいケース (SA) において最も小さくなっている。

4.4 ヤング係数の変動係数

表-10 に、ヤング係数の変動係数の分散分析結果を示す。同表によると、因子 A は有意となっており、ヤング係数の試験値のばらつきがコア寸法に左右されるという結果になっている。また、因子 A に関わる交互作用には有意差が認められず、この点に関しては、圧縮強度の変動係数の場合と同様なことがいえる。

図-8 に、ヤング係数の変動係数に対する要因効果を示す。同図によると、変動係数はコアの直径が小さいほど大きくなっている。また、その値は、図-6 に示した圧縮強度の変動係数に比較的近い。これらのことから、本実験の範囲では、小径コアを用いてヤング係数を推定する場合、

圧縮強度試験の場合と同程度に試験本数を増やすことで、 $\phi 100\text{mm}$ コアの場合と同程度の試験精度を確保できるものと考えられる (文献⁶⁾では、小径コアの圧縮強度試験の試験本数を5本と定めている)。

5. まとめ

本研究では、小径コアと標準サイズ ($\phi 100\text{mm}$) のコアの圧縮強度およびヤング係数の試験値の関係を明らかにするとともに、それらの差に影響を及ぼす要因について検討した。その結果から得られた知見は以下の通りである。

- (1) コア寸法が小さいほど圧縮強度の試験値のばらつきは大きくなり、その下限は低くなる。このことに起因して、圧縮強度の試験値はコア寸法が小さいほど低くなる。また、このコア寸法の違いによる強度試験値の差は、水結合材比が低いほど大きくなり、粗骨材種類によってはほとんど変化しない。
- (2) 小径コアを用いてヤング係数試験を行う場合、その試験値はコア寸法によってほとんど変化しないため、補正は不要である。また、圧縮強度試験の場合と同程度に試験本数を増やすことにより、標準サイズのコアの場合と同程度の試験精度を確保できる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の品質管理および維持管理のための試験方法，pp.411-415，2007.3
- 2) 篠崎公彦，谷川恭雄，寺田謙一，佐原晴也，中込昭：小径コアによる構造体コンクリート強度の推定法に関する研究（その3：構造体コンクリート強度推定式の設定），日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1，pp.389-390，2006.9
- 3) 若林信太郎，中込昭，佐原晴也：小径コアによる構造体コンクリート強度の推定法に関する研究（その8 試験方法が強度に及ぼす影響），日本建築学会大

- 会学術講演梗概集, A-1, pp.173-174, 2006.9
- 4) 杉山英祐, 寺田謙一, 山崎裕一, 佐原晴也: 小径コアによる構造体コンクリート強度の推定法に関する研究 (その7: 高強度コンクリートへの適用), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp.797-798, 2003.9
 - 5) 杉山英祐, 寺西浩司, 谷川恭雄: コアの圧縮強度およびヤング係数に対するコア寸法および骨材寸法の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp.389-390, 2006.9
 - 6) 土木研究センター: 建設技術審査証明報告書 小径コアによるコンクリート構造物の調査技術「ソフトコアリング C+」, pp.27-28, 2003.12
 - 7) 趙力采, 小林一輔: コンクリートの弾性係数における複合特性, コンクリートジャーナル, Vol.12, No.7, pp.27-34, 1974.7
 - 8) 平岩陸, 谷川恭雄: 偏心荷重を受けるコンクリートの破壊挙動に関する解析的研究, 日本建築学会東海支部研究報告集, No.46, pp.81-84, 2008.2