

# 論文 $\phi 25\text{mm}$ および $\phi 33\text{mm}$ の小径コアを用いたコンクリートの圧縮強度の変動に関する一考察

山本 大介\*1・濱田 秀則\*2・佐川 康貴\*3

**要旨:** 本研究では、 $\phi 25\text{mm}$  および  $\phi 33\text{mm}$  のコンクリート小径コアの圧縮強度に着目し、コア供試体の寸法や載荷方法（減摩載荷の有無）の違いが圧縮強度の変動に及ぼす影響について、実験的検討を行った。その結果、 $\phi 33\text{mm}$  で減摩載荷を行った場合に圧縮強度の変動が小さくなることが明らかとなった。また、小径コアの圧縮強度の許容誤差範囲を  $5.0\text{N}/\text{mm}^2$  としたとき、これを満たすために必要となる供試体本数は4本～10本であり、その時に得られる試験値は、 $\phi 100\text{mm}$  のコアの強度に対し80～90%程度となることが分かった。

**キーワード:** 小径コア, 圧縮強度, 変動係数, 減摩載荷

## 1. はじめに

わが国の社会基盤構造物を取り巻く社会問題として、既存コンクリート構造物の老朽化が注目されて久しい。この問題に際し、現在では既存コンクリート構造物を長く安全に使いこなすことが重要視されている。そのためには既存コンクリート構造物を適切に補修・補強することが重要となる。しかし、多くの構造物では、コンクリートの配合条件などの基本情報を入手することが困難である場合が多く、そのため復元設計の際に必要なコンクリート強度の情報などを得ることが難しい場合がある。このような際には、既存コンクリートからコア試料を採取し、圧縮強度を確認する必要がある場合がある。既存鉄筋コンクリートの一般的な粗骨材最大寸法は20mmから25mmである。そのため、JIS A 1107に基づき、粗骨材の最大寸法の3倍以上となるようコアの直径は100mm（以下、 $\phi 100\text{mm}$ ）が選定される場合が多い。

しかし、 $\phi 100\text{mm}$  のコアは既存構造物に与える損傷が大きく、また埋設鉄筋位置によるコア採取箇所制約などのため、 $\phi 100\text{mm}$  のコアの採取が困難な場合も多い。そのため、直径の小さいコア（以下、小径コアと称す）による圧縮強度試験の実施が望まれる場合がある。現在、小径コアによる圧縮強度試験方法は、国土交通省よりコンクリートの強度を調べる微破壊試験方法として提案されている<sup>1)</sup>。しかし、一般的に粗骨材寸法に対するコア直径が小さくなれば、圧縮強度試験値のばらつきが大きくなる。そのため、小径コアの強度試験値の取扱いが難しい場合がある。

著者らは、これまで $\phi 25\text{mm}$  の小径コアに注目し、圧縮強度の試験値のばらつきの制御について検討を行ってきた。本研究では、小径コアの選択による、既存構造物へ与える損傷の減少、コア採取箇所の埋設鉄筋からの制

約の回避といったメリットを活かしつつ、より変動の少ない圧縮強度試験値を得ることを目的として、 $\phi 33\text{mm}$  の小径コアに着目した。本検討では、 $\phi 25\text{mm}$ 、 $\phi 33\text{mm}$  の小径コアの圧縮強度試験値の変動やその整理方法について、供試体端面の摩擦の影響などの観点から実験的検討を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 母材コンクリート及びコア試料採取方法

本研究では4種の異なる母材コンクリートおよびモルタル（シリーズA、シリーズB、シリーズC、シリーズD）よりコアの採取を行った。

シリーズAのコンクリート（粗骨材最大寸法20mm）は水セメント比50%であり、シリーズBはシリーズAのコンクリートの練混ぜ直後にウエットスクリーニングを施し、シリーズAのモルタル部のみを抽出し作製したものである。シリーズA、Bの使用材料は、普通ポルトランドセメント（密度  $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ ）、細骨材に海砂（表乾密度  $2.58\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率1.59%）、粗骨材に碎石2005（表乾密度  $2.91\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率0.81%）、AE減水剤にリグニンスルホン酸系化合物、AE剤にアルキルエーテル系陰イオン界面活性剤を用いた。シリーズAの寸法は  $500 \times 300 \times 300\text{mm}$  とし、シリーズBの寸法は  $300 \times 300 \times 100\text{mm}$  とした。またシリーズBでは $\phi 100 \times 200\text{mm}$  円柱供試体も同時に作製した。打設後28日間水中養生を行い、その後20°Cの気中養生に切替え、材齢12ヶ月で所定のコア寸法で、コアドリルにて供試体を採取し成形した。

シリーズCは水セメント比42%とし、粗骨材最大寸法20mmのコンクリートとした。使用材料は、普通ポルトランドセメント（密度  $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ ）、細骨材に海砂（表乾密度  $2.58\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率1.44%）、粗骨材に碎石2005（表

\*1 九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻 技術職員（正会員）

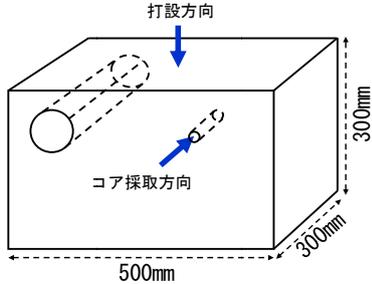
\*2 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 教授（正会員）

\*3 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 准教授（正会員）

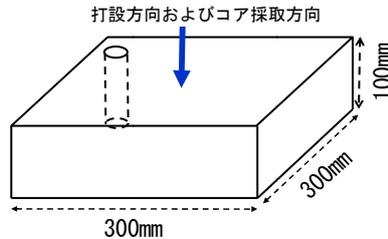
表-1 コンクリートの配合

シリーズ名	W/C (%)	粗骨材最大寸法(mm)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				AE減水剤 (g/m <sup>3</sup> )	AE剤 (ml/m <sup>3</sup> )
				W	C	S	G		
A	50.0	20	43.3	165	330	749	1150	1031	12
B*	50.0	-	-	273	546	1239	-	1705	20
C	42.0	20	44.0	166	395	753	1023	3560	-

※シリーズBはシリーズAのコンクリートをウエットスクリーニングして得られたモルタル。



シリーズ A, シリーズ C 試験体



シリーズ B 試験体



シリーズ D 試験体 (PC 橋 T 桁切出し部材)

図-1 試験体 A, B, C, D の形状寸法, 打設方向およびコア採取方向



写真-1 φ33mm 小径コア圧縮強度試験状況

乾密度 2.73g/cm<sup>3</sup>, 吸水率 0.47%), AE 減水剤にリグニンスルホン酸系化合物である。シリーズ C の寸法は 500×300×30mm とした。コンクリートは打設後 1 日で脱型し, 材齢 56 日まで 20℃の温度環境にて湿布養生を行った。材齢 56 日以降は 20℃の気中養生とし, 材齢 3 ヶ月にてコアドリルにより所定サイズのコア試料を採取した。

シリーズ D は, 1974 年より 32 年間北部九州地域にて供用され, その後解体された PC 橋の T 桁から切り出した部材を用いた。粗骨材最大寸法は 20mm である。切断面からは, コンクリートそのものには際立った劣化は確認されなかった。

シリーズ A, B, C の配合表を表-1 に, またそれぞれの試験体形状と打設方向, コア採取方向を図-1 に示す。それぞれの試験体より, 直径 φ100mm, φ50mm, φ33mm, φ25mm のコア試料を採取し, 直径と高さの比が 2.0 の円柱供試体となるように, また両端面の平面度が 0.1mm 以内となるようにコンクリート端面研磨機にて成形を行い, それぞれ圧縮強度試験に供した。なお, コア採取速度は供試体の側面形状が変化しないよう約 35mm/min. の

速度で採取した。

## 2.2 圧縮強度試験方法

すべてのコア供試体の圧縮強度試験において, 側面軸方向に 2 枚のワイヤストレインゲージを貼付し, 載荷時の縦ひずみの計測を行った。ここで, φ100mm コア供試体には検長 60mm の, また φ50mm, φ33mm, φ25mm のコア供試体には検長 30mm のワイヤストレインゲージを用いた。また, φ33mm, φ25mm のコア供試体では, φ100mm コアに比べ長さが短いため, 端面摩擦の影響を大きく受けることが予想される。そこで, 圧縮強度試験における端面摩擦の影響を確認するため, 供試体端面に減摩材 (厚さ 0.1mm のテフロンシートを二枚重ねたもの) を挿入した状態での圧縮強度試験 (以後, “摩擦なし” と称す) と挿入しない通常の圧縮強度試験 (以後, “摩擦あり” と称す) をそれぞれ行った。ここで, φ100mm コア供試体の摩擦ありでの圧縮強度試験値を基準強度として取り扱った。また小径コア圧縮試験においては, 小型の球面座を使用し載荷試験を行った (写真-1)。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 圧縮強度試験結果

図-2 に摩擦なしの場合の φ25mm コア供試体の圧縮強度試験値のヒストグラムと正規分布の図を, 図-3 に摩擦ありの場合のものを示す。これらの図より, φ25mm の小径コアで, 摩擦なしの場合でも摩擦ありの場合でも, 圧縮強度試験値の分布は正規分布に近い形となっていることが分かる。そこで, 本研究では小径コアで, 摩擦なしの場合もありの場合も, 圧縮強度の分布は正規分布に従うと仮定した。その上で, 圧縮強度の異常値を, (圧縮強度の平均値) ±3×(標準偏差) から外れるものとし

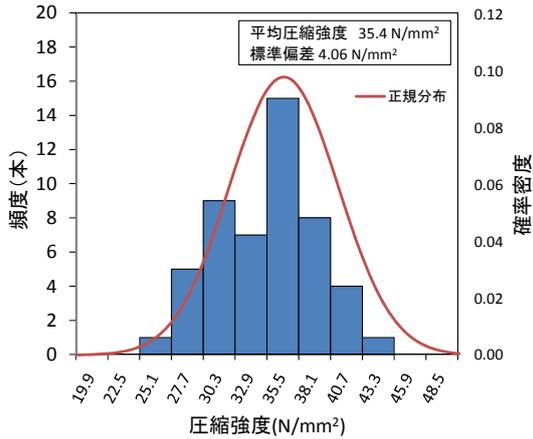


図-2 φ25mm コア 圧縮強度試験値  
ヒストグラムと正規分布（摩擦なし）

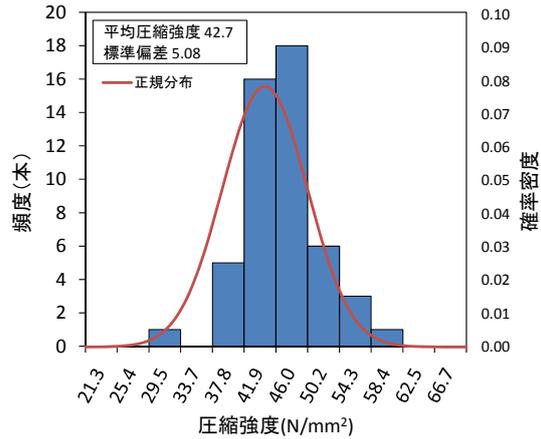


図-3 φ25mm コア 圧縮強度試験値  
ヒストグラムと正規分布（摩擦あり）

た。このようにして棄却を行った後の各シリーズの供試体の本数を表-2 に示す。以下、棄却後の本数で求めた平均値について取り扱うものとする。

各シリーズの圧縮強度の平均値を図-4 に、その時の圧縮強度変動係数を図-5 に示す。図-4 より、摩擦ありの場合、シリーズ A およびシリーズ B ではφ33mm、φ25mm とともに基準圧縮強度φ100mm より小さいが、シリーズ C およびシリーズ D では基準強度φ100mm より大きくなっている。このように、摩擦ありの場合に小径コア圧縮強度がφ100mm 基準強度よりも大きくなる場合と小さくなる場合が見られた。これまでの研究の結果では、小径コアによる圧縮強度試験値は φ100mm 基準強度と比べ、大きくなるとするものもあれば<sup>2)</sup>、小さくなるとするものもあり、これらの相違は試験方法に影響要因があると報告がある<sup>3)</sup>。これに対し、著者らの既往の研究結果では、φ25mm の小径コアの場合において、供試体内の粗骨材体積含有率が大きい場合、摩擦ありの小径コアの場合に、φ100mm 基準コアよりも圧縮強度が大きくなる場合があることを報告している<sup>4)</sup>。このように、

表-2 各シリーズによる試験要因

シリーズ名	コア直径	载荷方法	供試体本数	棄却後供試体本数
シリーズA	φ100mm	摩擦あり	3	3
	φ50mm	摩擦あり	3	3
	φ33mm	摩擦あり	25	25
		摩擦なし	25	25
	φ25mm	摩擦あり	50	49
摩擦なし		50	50	
シリーズB	φ100mm	摩擦あり	3	3
	φ50mm	摩擦あり	5	4
	φ33mm	摩擦あり	25	25
		摩擦なし	25	25
	φ25mm	摩擦あり	20	20
摩擦なし		20	20	
シリーズC	φ100mm	摩擦あり	3	3
	φ50mm	摩擦あり	5	5
	φ33mm	摩擦あり	25	25
		摩擦なし	25	25
	φ25mm	摩擦あり	25	25
摩擦なし		25	25	
シリーズD	φ100mm	摩擦あり	3	2
	φ50mm	摩擦あり	5	5
	φ33mm	摩擦あり	25	25
		摩擦なし	25	25
	φ25mm	摩擦あり	25	25
摩擦なし		25	25	

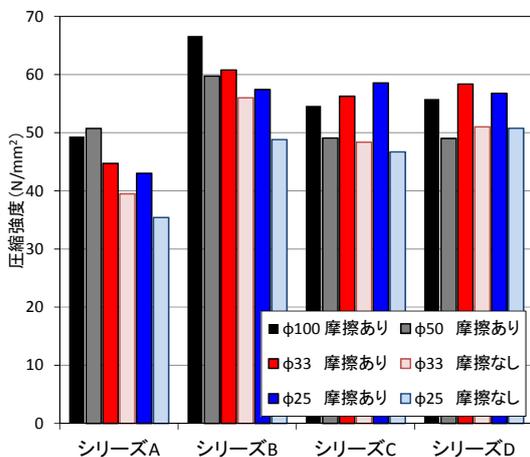


図-4 圧縮強度平均値

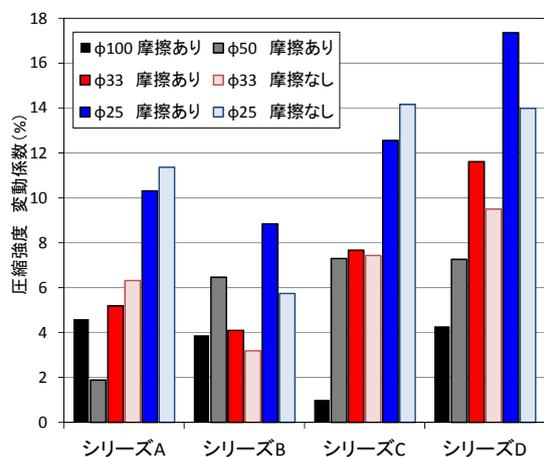


図-5 圧縮強度の変動係数

摩擦ありでの小径コアの圧縮強度がφ100mm 基準コアよりも大きくなることについては、粗骨材の影響が大きいものと考えられるが、詳細についてはさらなる検討が必要と考えられる。

ここで、圧縮試験時に減摩材を供試体端面と載荷板の間に挿入すると、載荷面の摩擦の低減により、摩擦ありの場合に比べ圧縮強度試験値が小さくなる<sup>5)</sup>ことが報告されている。本実験結果においても、減摩載荷を行ったφ33mm とφ25mm の小径コアで、減摩載荷を行わない場合と比べ強度の低下が見られた。またその結果、減摩載荷を行ったφ33mm とφ25mm の小径コアの圧縮強度平均値は、減摩載荷を行わないφ100mm 基準強度よりも小さな値となった。

図-5 に示した圧縮強度の変動係数は、すべてのシリーズでφ100mm の変動係数が最も小さな値を示した。φ33mm, φ25mm の小径コアに着目した場合、摩擦の有無による変動係数の有意な差は見られなかった。しかし、φ33mm とφ25mm の間で変動係数を比べた場合、φ33mm の方が小さい変動係数を示す結果となった。これより、圧縮強度変動係数の観点から、φ25mm 小径コアに比べφ33mm 小径コアの方が安定した試験値を得るこ

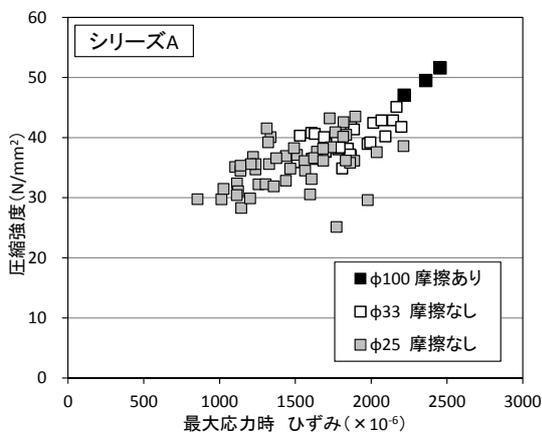


図-6 圧縮強度と最大応力時ひずみの関係 (シリーズ A)

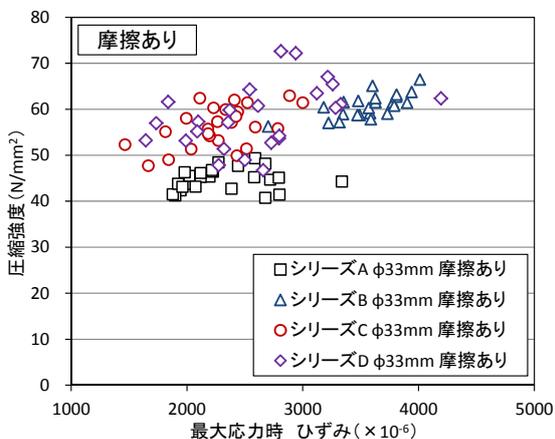


図-7 圧縮強度と最大応力時ひずみの関係 (摩擦あり)

とができると分かる。

なお、ここではデータの詳細は割愛するが、静弾性係数も併せて計測を行った。静弾性係数も、φ25mm に比べφ33mm の方が変動係数が小さい結果となった。また、静弾性係数は摩擦のあり/なしの影響は小さく、φ33mm で得られた結果はφ100mm と比べ、同等 $\sim 5\text{kN/mm}^2$  小さい値であった。

### 3.2 小径コアの寸法が圧縮破壊状況に及ぼす影響

図-6 に、シリーズ A のφ100mm 基準コア、φ33mm の摩擦なし、φ25mm 摩擦なしについて、圧縮強度と最大応力時のひずみの関係を示す。この図より、各々の要因で圧縮強度と最大応力時のひずみには正の相関が確認されるが、φ25mm よりもφ33mm の方が、高い相関があることが明らかとなった。なお、この傾向は摩擦ありの場合よりも摩擦なしの方がより明確であった。さらに、その他のシリーズでも同様の傾向が確認されている。

コアの直径が小さくなるほど、粗骨材寸法やコンクリート内部の空隙や欠陥の寸法が相対的に大きくなり、それが小径コアの圧縮強度試験値の変動に大きく影響する<sup>6)</sup>とされる。本研究においても、φ25mm とφ33mm を比較すると、φ33mm の方の変動係数が小さく、これは上述の影響が小さくなったことが原因と推察される。

### 3.3 端面摩擦が圧縮破壊状況に及ぼす影響

図-7 および図-8 に、圧縮強度と最大応力時ひずみの関係 (φ33mm) を、摩擦なしと摩擦ありのそれぞれの場合について示す。2つの図を比べると、摩擦ありに比べ減摩なしの方が、圧縮強度と最大応力時ひずみの相関関係が高いことが分かる。小径コアによるコンクリートの圧縮強度試験の場合、通常のφ100mm コア供試体に比べ、粗骨材寸法が供試体寸法に対して大きいので、供試体内での応力分布が不均一になりやすいことが予想される。コア端面と載荷板との摩擦を低減することでコンクリート内の圧縮応力分布が均一化されることは既往の

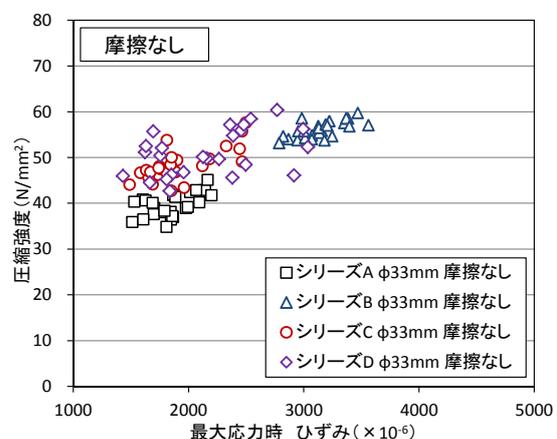


図-8 圧縮強度と最大応力時ひずみの関係 (摩擦あり)

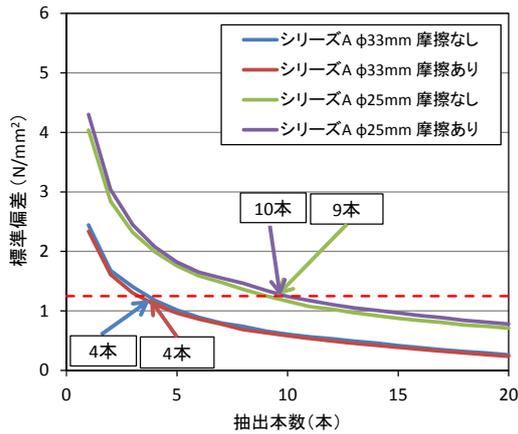


図-9 標準偏差と抽出供試体本数の関係 (シリーズ A)

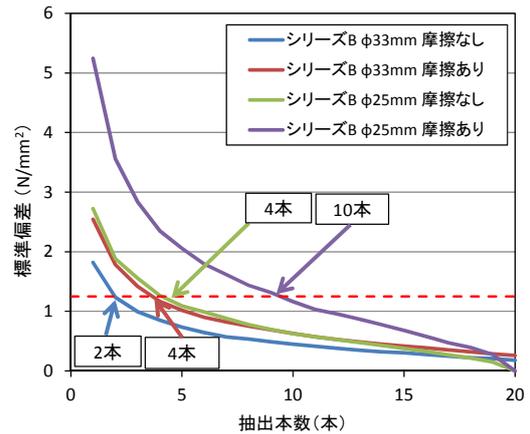


図-10 標準偏差と抽出供試体本数の関係 (シリーズ B)

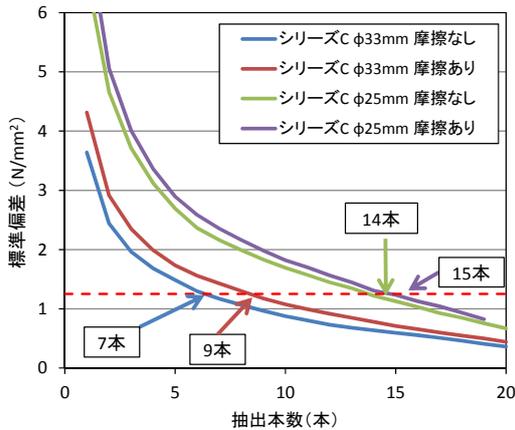


図-11 標準偏差と抽出供試体本数の関係 (シリーズ C)

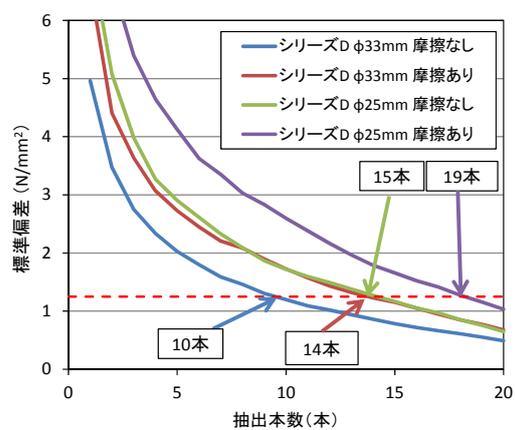


図-12 標準偏差と抽出供試体本数の関係 (シリーズ D)

研究<sup>5)</sup>より明らかとなっているが、とりわけ小径コアによるコンクリートの圧縮強度試験での減摩載荷で、圧縮強度と最大応力時ひずみの相関関係が高くなる傾向が見られたのは、このような応力分布の不均一さの改善が寄与したものであると考察される。

### 3.4 無作為抽出による圧縮強度の標準偏差の変化と小径コア必要採取本数に関する検討

小径コアを用いた圧縮強度試験では、図-5に示した供試体コア寸法別の変動係数の値からも分かるように、圧縮強度試験値の変動が大きくなることは明らかである。φ100mm コア供試体では、圧縮強度試験値が正規分布に従うことを前提として、95%の信頼水準を満たすために通常は3本の圧縮強度の平均値を取る。ここで小径コアの場合は圧縮強度試験値の変動が大きいため、95%の信頼水準を満たすための必要供試体本数を検討する必要があると考える。

著者らの既往の研究では、小径コア圧縮強度試験データの無作為抽出による標準偏差の変化に関する検討により、φ25mm 小径コアの場合では、必要供試体本数の試算結果は12本であることを示した<sup>4)</sup>。本論文ではφ33mmの小径コアについても新たに検討を行なっていることもあり、この必要供試体本数について、シリーズA、

シリーズB、シリーズC、シリーズDそれぞれの場合で、改めて検討を行った。

無作為抽出による標準偏差の変化に基づく必要供試体本数の算出を以下の通り行った。コンクリート小径コアにより得られた各要因の全試験データ(母数)から、1本から20本までの圧縮強度試験値を、乱数を用いて無作為に抽出する作業を各1000回試行し、抽出されたデータの圧縮強度の平均値とその標準偏差を、抽出本数ごとに求めた。ここで、本実験でのφ100mm コアによる信頼水準95%での許容誤差を求めたところ5.0N/mm<sup>2</sup>であった。そこで、小径コアにもφ100mm コアと同水準の信頼性を得るために、小径コアの圧縮強度の許容誤差範囲を5.0N/mm<sup>2</sup>、つまり圧縮強度の平均値から±2.5N/mm<sup>2</sup>と設定した。小径コアによる圧縮強度の試験値が正規分布に従うと仮定し、平均値 $\mu$ 、標準偏差を $\sigma$ としたとき、有意水準を5%とした時の信頼区間は $\mu \pm 2\sigma$ となる。すなわち、 $\sigma = 1.25 \text{ N/mm}^2$ のとき、95%の確率で平均値から±2.5N/mm<sup>2</sup>以内の圧縮強度の平均値が得られることになる。その標準偏差 $\sigma = 1.25 \text{ N/mm}^2$ を満たす時の供試体抽出本数を、抽出本数と標準偏差の計算結果から求めた。

上述の計算方法によって算出された抽出本数と標準偏差の関係は、シリーズAについて図-9に、シリーズB

表-3 φ100mm 基準強度と小径コア圧縮強度

	基準強度 φ100mm 摩擦あり (N/mm <sup>2</sup> )	φ33mm 摩擦なし 圧縮強度±2.5 (N/mm <sup>2</sup> )	基準強度に 対する小径コア 圧縮強度の 強度比(%)
シリーズA	49.3	39.5±2.5	80.1
シリーズB	66.7	56.0±2.5	84.0
シリーズC	54.6	48.4±2.5	88.6
シリーズD	55.8	51.0±2.5	91.4

について図-10 に、シリーズ C について図-11 に、またシリーズ D について図-12 に示す。ここで、4 つのシリーズ全てに共通していえるが、摩擦なしの方が摩擦ありよりも必要供試体本数が少なく、またφ25mm よりもφ33mm の方が、必要供試体本数が少ない結果となっている。すなわち、本実験結果では、φ33mm 摩擦なしの場合に必要な供試体本数が最も少ない結果となった。これは、図-6、図-7、図-8 で示されたように、供試体寸法が大きい方が、また摩擦が小さい方が、圧縮強度と最大応力時ひずみの相関関係が高くなったことと一致する。なお、φ33mm で摩擦なしの場合でも、シリーズ A では 4 本、シリーズ D では 10 本というように必要供試体本数の算出結果が異なるが、これは図-5 で示された圧縮強度変動係数の傾向と一致し、変動係数が大きいシリーズほど、必要供試体本数が多くなる傾向が見られた。

表-3 に、φ100mm 基準強度と、φ33mm 摩擦なしの場合における、必要採取本数時に算出された小径コア圧縮強度の平均値と許容誤差、およびφ100mm 基準強度に対する小径コア圧縮強度の強度比を示す。本研究の範囲の中では小径コアの圧縮強度は、φ100mm 基準強度に比べ、約 80%~90%の値となった。また、シリーズ B のモルタル供試体では、圧縮強度変動係数はその他のシリーズに比べ小さく、安定した圧縮強度値を得られたが、φ100mm 基準強度に対する圧縮強度の強度比はコンクリートのシリーズと同様に 80%~90%の範囲であった。この基準強度に対する小径コアの圧縮強度比の影響要因については、今後詳細に検討する必要がある。

以上の結果より、小径コア圧縮強度試験では、φ33mm 摩擦なしの場合に得られる圧縮強度試験値が最も安定した。また小径コア圧縮強度の許容誤差範囲を 5.0N/mm<sup>2</sup>とした場合、必要供試体本数は小径コアの圧縮強度の変動係数によって変化するが、コンクリートの場合で 4 本~10 本であることが分かった。しかし、上述の条件の場合でも、φ100mm コアによる圧縮破壊と、小径コアの摩擦なしでの圧縮破壊のメカニズムは同じではないため、得られる圧縮強度は同じではない。しかし、対象構造物の状況によりφ100mm コアの採取が難しく、小径コアを圧縮強度試験に適用する場合、本研究の範囲内では、粗骨材最大寸法 20mm 以内でφ33mm、摩擦なしの場合に

は、φ100mm 基準強度に対し 80~90%程度の圧縮強度試験値を得ることができることが分かった。

#### 4. 結論

本研究では直径がφ25mm、φ33mm の小径コアに着目し、小径コア圧縮強度の変動について検討を行った。また、φ100mm、φ50mm との比較を行った。本研究の範囲内で得られた結論を以下に示す。

- (1) コア供試体の寸法が小さくなるにつれ圧縮強度の変動係数は大きくなる。
- (2) 小径コアの試験では、φ33mm で摩擦なしの場合に、最も圧縮強度と最大応力時ひずみの相関関係が高くなった。また、圧縮強度の許容誤差範囲 5.0N/mm<sup>2</sup>の条件を満たすために必要となる供試体本数が、φ33mm 摩擦なしの場合に最も小さくなった。
- (3) φ33mm で、摩擦なしの場合に圧縮強度が許容誤差範囲 5.0N/mm<sup>2</sup>の条件を満たすための供試体本数は、4 本~10 本であった。
- (4) 本研究の範囲内では、φ33mm で摩擦なしの場合、φ100mm 基準強度に対する小径コア圧縮強度は 80~90%程度であった。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課：微破壊・非破壊試験によるコンクリート構造物の強度測定要領（案）（解説），2009
- 2) 若林信太郎，谷川恭雄，篠崎公彦，磯健一，寺田謙一：小径コアによる構造体コンクリートの強度の推定方法に関する研究（その 2 構造体コンクリート強度推定式の設定），日本建築学会構造系論文集，第 561 号，pp.9-16，2002
- 3) 佐原晴也，森濱和正，野永健二，若林信太郎，佐藤文則：試験方法の違いが小径コアの圧縮強度に及ぼす影響，土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集，pp.1105-1106，2006
- 4) 山本大介，成田一晃，濱田秀則，佐川康貴：小径コアの圧縮強度試験値およびその変動に関する研究，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第 14 巻，pp.81-86，2014
- 5) 小坂義夫，谷川恭雄，太田福男：各種の減摩材を用いた場合の圧縮供試体端面の応力分布について，コンクリート工学年次論文集，Vol.2，No.1，pp.121-124，2001
- 6) 清水厚年，寺西浩司，谷川恭雄，杉山英祐：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，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.2，pp.805-810，2008