

論文 模擬床部材から採取した寸法の異なるコア供試体の圧縮強度のばらつきと設計基準強度に関する一考察

木村 友哉^{*1}・中田 善久^{*2}・大塚 秀三^{*3}・宮田 敦典^{*4}

要旨:本研究は、模擬床部材において材齢28日におけるコア供試体の圧縮強度より、コア強度のばらつきおよび設計基準強度との関係について検討したものである。その結果、コア径が小さくなるほど強度の平均値の偏差および平均値を標本標準偏差で除した比の最小値が低下する傾向を示し、同強度のコンクリートではコア供試体の寸法が小さくなるにつれ強度の平均値が低下し、ばらつきが大きくなることが明らかとなった。また、コア供試体の直径が小さくなるほど強度が低下するため、φ100のコア供試体では概ね設計基準強度を満足したが、φ50のコア供試体ではほぼ満足しない結果となった。

キーワード: 構造体コンクリート, コア供試体, ばらつき, 累積頻度, 設計基準強度

1. はじめに

構造体コンクリートの強度とは、構造体中で発現しているコンクリートの強度であり、構造体に打ち込まれたコンクリートから採取された代表的な試料(供試体)の圧縮強度で表される¹⁾。コア強度は、所定の材齢において設計基準強度または耐久設計基準強度を満足する必要があるが、構造体コンクリートの強度分布は一様ではなく、どの位置から採取したものが構造体コンクリートの代表値を示すものか関連する指針や仕様書等²⁾にも明確な記述はされておらず、また、不明な点である。

一方、近年、構造体コンクリートの診断において採取されるコア供試体は、構造体の損傷を軽微に抑えられるなどの利点から、直径を極力小さくする需要が高まっており、小径コア(φ50mm以下)の研究報告が数多く発表されている³⁾。しかし、清水らの研究⁴⁾ではコア径が小さくなるほど供試体内の欠陥の影響を大きく受け、小径コアであるほど圧縮強度のばらつきが大きくなることを示唆しており、鈴木らの研究⁵⁾では、コア供試体を模擬床部材より採取して検討し、骨材の不均一性によって小径のコア供試体における圧縮強度が大きくばらつくことを指摘している。

また、小径コアを使用する際の関係式および補正係数といった、コア供試体の寸法およびコア強度の関係性について多くの検討が行われているが、画一的に定まっていないのが現状である。よって、コア供試体の寸法と強度レベルの関係性について検討する必要があると考えられる。しかし、若林らの研究³⁾で行われているように模擬床部材を使用した検討は少なく、JASS 5T-603に示されている模擬床部材を使用した検討は更に少ない。また、小径コア供試体

の試験方法が多く提案され⁶⁾、小径コアの評価方法が確立されつつあるが、JIS A 1107「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」において、コア供試体の直径は、粗骨材の最大寸法の3倍以上と規定されているため、この両方の規定を満たしたφ75mm程度のコア供試体の使用もまた普及している⁷⁾。さらに、小型のコンクリートブロックおよび、既存建築物の様々な部材からコア供試体を採取する検討は行われているが⁸⁾、統一された試験体より採取したばらつきによる影響はあまり検討が行われておらず、構造体コンクリートから採取されたコア供試体の圧縮強度の試験値が構造体全体のどの程度の結果であるのか不明であり、コア供試体の寸法によるばらつきについても検討する必要があると考えられる。

そこで、本研究は、粗骨材の最大寸法の3倍程度の直径を有したコア供試体のコア強度のばらつきを明らかにするために、採取位置による影響を考慮して模擬床部材の高さの中心から直径の異なるコア供試体を採取し検討を行った。本実験に使用するコア供試体の直径は、コア供試体として一般的に使用されるφ100mmと粗骨材の最大寸法の3倍程度のφ83mm、φ75mmおよびφ50mmとし、各25本の比較的多いコア強度試験結果からばらつきを検討した。ここでは、コア強度の平均値からの偏差の分布、平均値からの偏差を標本標準偏差で除した比の分布および材齢

表-1 実験概要

コア供試体寸法 (mm)	設計基準強度 (N/mm ²)	構造体強度補正值 (N/mm ²)	呼び強度	W/C (%)	コア供試体本数
φ100×200	21	3	24	58.4	300本 (25本/水準)
φ83×166	36	3	39	42.5	
φ75×150	48	9	57	32.4	
φ50×100					

*1 日本大学大学院 理工学研究科建築学専攻 (学生会員)

*2 日本大学 理工学部建築学科 教授 博士(工学) (正会員)

*3 ものつくり大学 技能工芸学部建設学科 准教授 博士(工学) (正会員)

*4 日本大学 理工学部建築学科 助手 修士(工学) (正会員)

表-2 コンクリートの調査

設計基準強度 (N/mm ²)	呼び強度	W/C (%)	スランプスランプフロー (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				
						W	C	S	G	Ad
21	24	58.4	SL=18	4.5	49.4	181	310	872	923	3.720 ^{*1}
36	39	42.5	SL=21	4.5	47.4	175	412	804	923	3.708 ^{*2}
48	57	32.4	SF=60	4.5	49.1	170	524	793	851	7.336 ^{*2}

*1 AE減水剤を使用, *2 高性能AE減水剤を使用

表-3 コンクリートの使用材料

材料	種類	品質・性状・主成分
セメント	普通ポルトランドセメント	密度: 3.16g/cm ³ 比表面積: 3,300cm ² /g
水	地下水	埼玉県行田市
細骨材	栃木県栃木市 尻内町産陸砂	表乾密度: 2.61g/cm ³ 粗粒率: 2.75
粗骨材	栃木県佐野市 会沢町産石灰岩砕石	表乾密度: 2.70g/cm ³ 実積率: 60.0%
化学混和剤	AE減水剤	リグニンスルホン酸塩 オキシカルボン酸塩
	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系化合物

28日におけるコア強度について明らかにしている。

2. 実験概要

2.1 実験の要因と水準

実験概要を表-1に示す。コア供試体の寸法は、φ100×200mm、φ83×166mm、φ75×150mmおよびφ50×100mm（以降、それぞれφ100mm、φ83mm、φ75mmおよびφ50mmとする）の4水準とした。コンクリートの設計基準強度を21、36および48N/mm²の3水準に設定し、構造体強度補正值（それぞれ、3、3および9N/mm²）を加えた呼び強度24、39および57とした。各水準において25本ずつ圧縮強度試験を行い、コア供試体の寸法および呼び強度の組合せからなる12水準の計300本の圧縮強度試験結果からばらつきを検討した。

2.2 コンクリートの使用材料および調査

コンクリートの調査を表-2に示し、コンクリートの使用材料を表-3に示す。ここでは、呼び強度24、39および57の水セメント比をそれぞれ58.4、42.5および32.4%とした。いずれのコンクリートも、工場において製造されたレディーミクストコンクリートを使用した。

2.3 模擬床部材の概要およびコア採取方法

模擬床部材の概要を表-1に示す。模擬床部材の寸法は、W:1000×D:1000×H:205mmとし、コアの抜き取り位置の違いによる水和熱の影響を排除するために模擬床部材の四方を厚さ200mmの断熱材で覆うこととした。打込み方法は、1層で打ち込み、中央部および四隅を棒形振動機によって5秒ずつ締め固めたのち、上面を金ごてによって均した。いずれの試験体も打ち込みから脱型までの平均外気温は16℃であった。気中養生の際には、屋外で直射日光および雨水の影響を受けない状態で行い、試験体

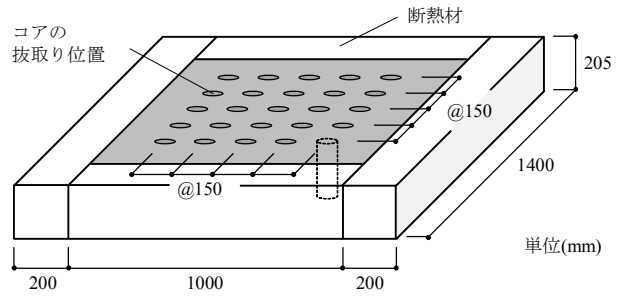


図-1 模擬床部材の概要

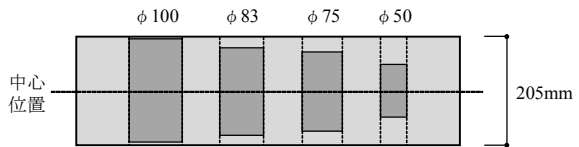


図-2 コア供試体の採取位置

の表面のみ外気の影響を受ける形とし、打込みから7日後に型枠を脱型した。なお、断熱材は、コアの採取時である材齢28日に取り外した。

2.4 コア供試体の概要

コアは、材齢26日において図-1に示す位置より模擬床部材1体から25本を採取することとした。コア供試体の採取位置を図-2に示す。採取したコアは、図-2に示すように各寸法のコア供試体の中心が同一となる位置においてコンクリートカッタにより切断し成形した。その後、材齢28日まで標準養生（水中、20℃±2℃）し、JIS A 1107に準拠して試験した。

3. 実験結果および考察

3.1 コア強度

コア供試体の圧縮強度試験結果を表-4に示し、コア供試体の直径と圧縮強度の関係を図-3に示す。いずれの水準も、25本のコア供試体の圧縮強度試験結果から得られた値である。表-4より、水セメント比32.4および58.4%の時、コア径が小さくなるにつれ標準偏差が大きくなる傾向となった。また、水セメント比に関らず、強度の平均値は低下する傾向が見られた。図-3には平均値に加え、最小値および最大値も合わせて図示している。コア強度は、いずれの呼び強度においても、コア供試体の直径が小さくなると小さくなる傾向を示し、水セメント比32.4%のときコア供試体の直径による差は、最大で14.4N/mm²であった。これは、コア供試体の寸法が小さいほど、載荷時の偏心およびコア供試体内部の欠陥の影響が相対的に大きくなり、コア強度が小さくなったものと考えられる⁸⁾。また、コア強度の最大値と最小値の差は水セメント比32.4%の時最大となった。また、いずれの水セメント比におい

でもφ50mmで最大値と最小値の差が最大となり、φ50mm以外のコア径では、呼び強度が24および39のとき、概ね同程度であり、呼び強度57のとき最大値の最小値の差が大きくなる結果となった。

3.2 コア強度の平均値からの偏差の分布

コア強度の平均値からの偏差の分布を図-4に示す。ここでは、(1)式より求めた各コア供試体の平均値からの偏差の分布によってばらつき傾向を確認することとした。

$$\Delta x_1 = \bar{x} - x_1, \Delta x_2 = \bar{x} - x_2 \cdots \Delta x_{25} = \bar{x} - x_{25} \quad (1)$$

$\Delta x_1, \Delta x_2 \cdots \Delta x_{25}$: 各供試体の平均値からの偏差 (N/mm²)

\bar{x} : 25本のコア強度の平均値 (N/mm²)

$x_1, x_2 \cdots x_{25}$: 各供試体のコア強度 (N/mm²)

φ100mmおよびφ83mmのコア強度の平均値からの偏差は、水セメント比58.4%のとき、概ね正規分布する傾向を示したものの、水セメント比45.5%および32.4%のとき、最頻値が中心値を示さず、中心値よりも大きい方へ偏る傾向を示した。この傾向は、強度レベルは異なるものの、コア強度が大きくなると正規分布を示さず、最頻値が平均値より大きい方へ偏るといふ鈴木らの傾向⁷⁾(鈴木らは構造体コンクリートから採取したコア供試体の強度レベルが80N/mm²以上)と同様であった。これは、前述した圧縮強度に及ぼす要因のうち、コア供試体および載荷時における影響が、呼び強度が大きい程支配的となり、コア強度の平均値が最小値側のデータに影響を受けたためと考えられる。一方、φ75mmおよびφ50mmのコア強度の平均値からの偏差は、φ100mmおよびφ83mmと異なり、強度レベルが低い水セメント比58.4%においても正規分布を示さなかった。これは前述したように、コア供試体の寸法が小さいほど、載荷時の偏心およびコア供試体内部の欠陥の影響が相対的に大きくなり、コア強度が小さくなったものと考えられる。

3.3 平均値からの差を標本標準偏差で除した比

平均値からの差を標本標準偏差で除した比の分布を図-5に示す。ここでは、平均値からの偏差を標本標準偏差で除することで、コア供試体を標準化して検討を行った。水セメント比58.4%のとき、φ83mmのみ概ね正規分布する傾向を示した。また、水セメント比45.5%および32.4%のとき、φ100mmおよびφ83mmにおいて、最頻値が中心値を示さず、中心値よりも大きい方へ偏る傾向を示した。水セメント比およびコア供試体の直径によって、コア強度が平均値に比べて著しく小さくなる可能性があることが示唆される分布形状であった。また、コア供試体の直径が小さくなるほど、最頻値が複数現れる傾向が見られた。

表-4 コア供試体の圧縮強度試験結果

コア径 (mm)	水セメント比								
	58.4%			42.5%			32.4%		
	\bar{x}	σ	C.V.	\bar{x}	σ	C.V.	\bar{x}	σ	C.V.
φ100	22.2	1.0	4.5	38.0	2.7	7.1	54.9	2.9	5.3
φ83	21.6	1.6	7.4	37.7	2.7	7.2	52.9	4.5	8.5
φ75	19.5	2.1	10.8	36.9	1.8	4.9	53.2	5.4	10.2
φ50	16.3	4.2	25.8	23.3	2.1	9.0	40.5	8.4	20.7

\bar{x} : 平均値(N/mm²), σ : 標準偏差(N/mm²), C.V.: 変動係数(%)

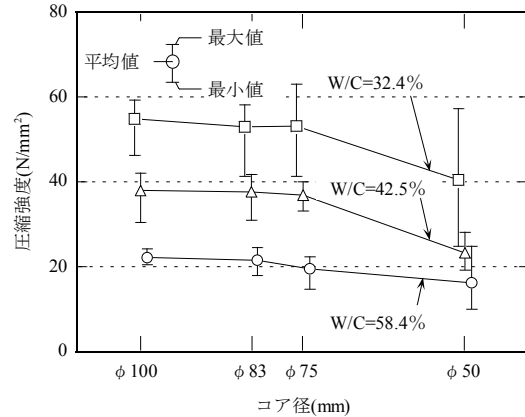


図-3 コア供試体の直径と圧縮強度の関係

これは、コア供試体の寸法が小さくなるほど、試験体の局所的な強度を評価することになるためであると考えられる³⁾。

3.4 標準養生供試体との比較

コア供試体3本のコア強度の平均値と累積頻度の関係を図-6に示す。いずれの水セメント比においても、標準養生した供試体よりもコア供試体の圧縮強度が低く、コア供試体の直径が小さくなるにつれ、概ね強度差が大きくなる傾向を示した。この原因として、端面の凹凸および載荷時の偏心といった、コア供試体内での欠陥の影響がφ100mmの供試体に比べて寸法が小さくなるにつれ相対的に大きくなることが考えられる⁸⁾。また、φ50mmのコア供試体のように直径が骨材の最大寸法の3倍以下となる場合、圧縮試験の際にコア供試体内の粗骨材およびモルタルの付着の低下が原因となり、小径のコア強度が低下することが考えられる⁵⁾。また、水セメント比58.4%および32.4%では、累計頻度の分布がコア供試体の直径が小さくなるほど、緩やかになる傾向が見られた。コア供試体の寸法によって、最小値側の分布が多くなったため、圧縮強度が低下したことが考えられる。

3.5 材齢28日におけるコア供試体3本の平均値が設計基準強度を満足しない確率

材齢28日におけるコア供試体3本の平均値が設計基準強度を満足しない確率を表-4に示す。一般的にコア強度は3本の試験値の平均値で表されるため、ここでは25本から任意の3本(2300通り)を用いて検討を行った。

コア強度の3本の平均値が設計基準強度を満足しない確

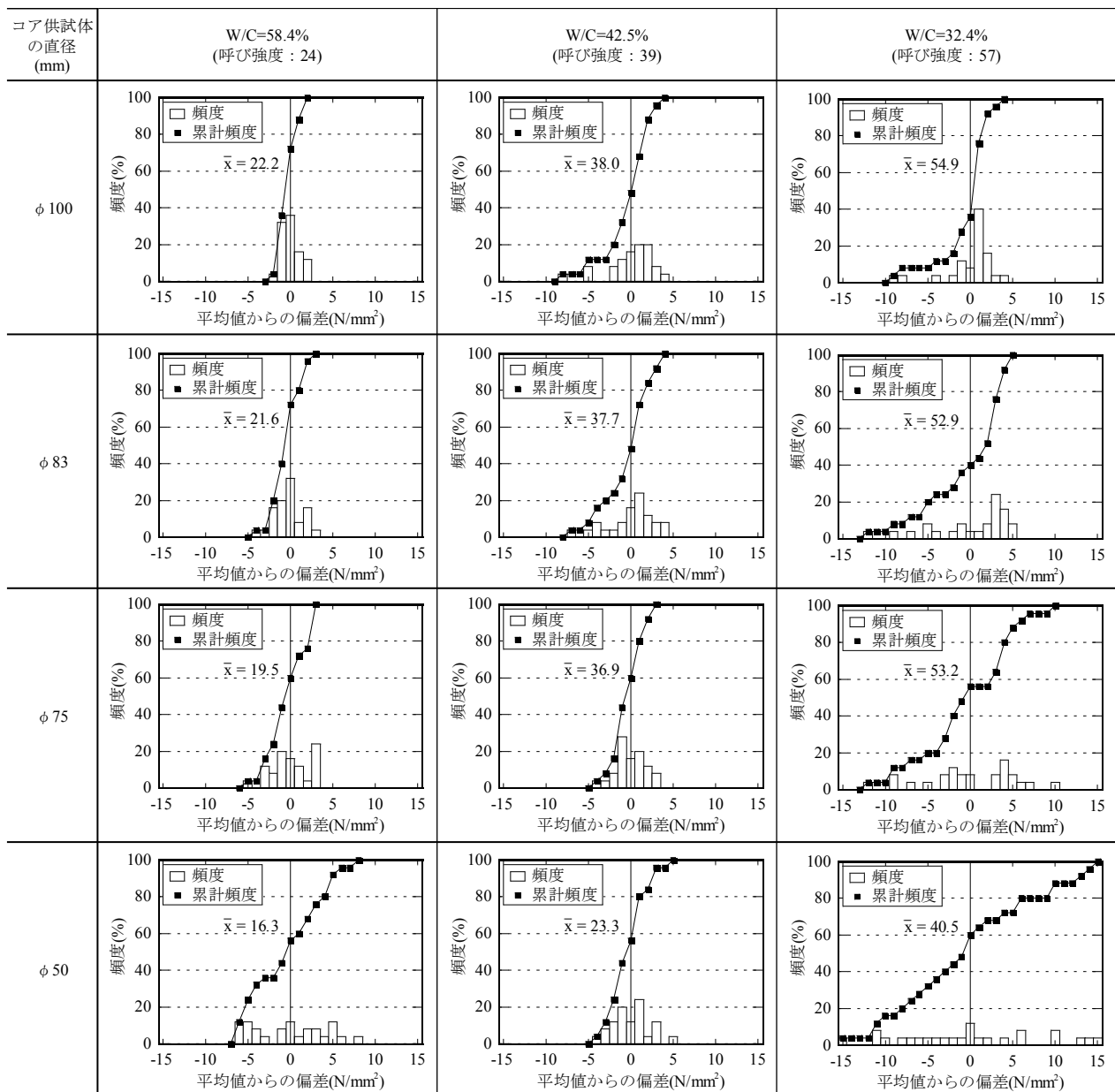


図-4 コア強度の平均値からの偏差の分布

率は、φ 100mmにおいて10%以内であり、概ねコア強度が設計基準強度を満足する結果となった。一方、コア供試体の直径が小さくなると、設計基準強度を満足しない確率が高くなる傾向を示した。模擬床部材は表層部において、水和熱の逸散および水分の乾燥といった影響を受け、強度が低下することが考えられるため、φ 83mm、φ 75mmおよびφ 50mmの供試体はφ 100mmの供試体よりも強度が高くなることが考えられるが⁹⁾、本実験結果ではこれに反する傾向が見られた。このことから、粗骨材の最大寸法の3倍程度またはそれ以下の直径を有するコア供試体については、表層部の影響よりも、コア供試体の直径による強度低下が大きいことが考えられる。一方、水セメント比58.4%におけるφ 75mmにおいて、他の水セメント比におけるφ 75mmよりも設計基準強度が満足しない確率が比較的高い値を示した。コア供試体の直径が粗骨材の最大寸

法の3倍以上であっても、コア供試体の強度レベルが低いとコア強度の平均値が著しく低下し、設計基準強度を満足しない確率が高いことが示された。

また、いずれの呼び強度においてもφ 50mmでは設計基準強度を満足しない確率は90%以上となったが、φ 83mmおよびφ 75mmは、呼び強度が高くなるにつれ、設計基準強度を満足しない確率が大幅に低下する傾向が見られた。

4. まとめ

本研究は、模擬床部材におけるコア供試体の寸法の違いが圧縮強度に及ぼす影響について検討したものである。その結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) 偏差の分布は、水セメント比58.4%では概ね正規分布を示したが、水セメント比45.5%および32.4%のとき、最頻値が中心値を示さず、平均値よりも大きい側へ偏る傾向を示した。

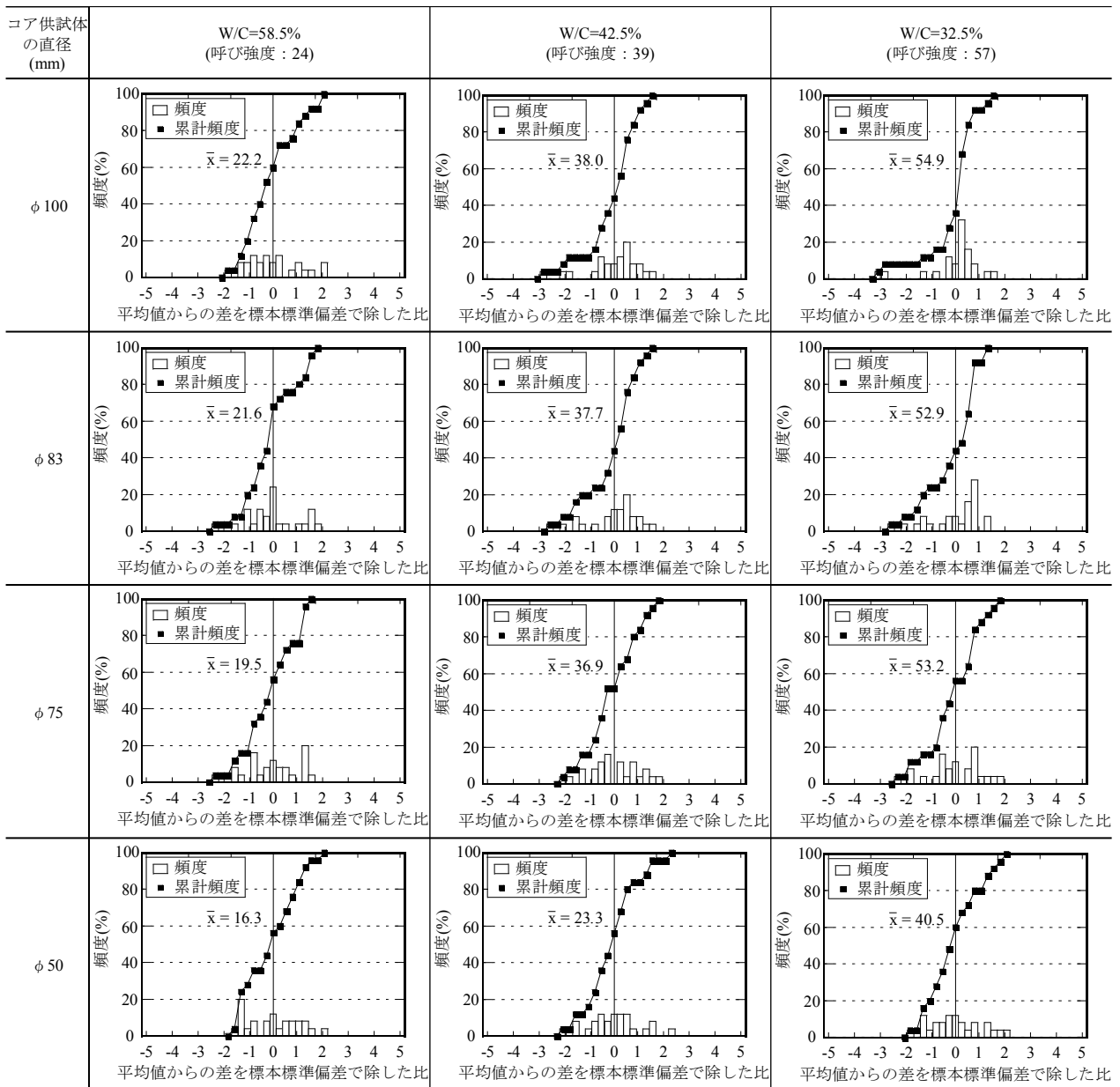


図-5 平均値からの差を標本標準偏差で除した比の分布

(2) コア供試体の圧縮強度は概ね水セメント比が小さく、コア径が小さいほどばらつく傾向が見られた。また、コンクリートの強度が大きくなるほど、正規分布の形状ではなく、最頻値が最大値側へ移動した形状となった。

(3) いずれの水セメント比においても、標準養生よりもコア強度の方が低い値となり、コア供試体の直径が小さくなるにつれて強度差が大きくなる傾向を示した。

(4) コア供試体3本の平均値は、φ 100mmの供試体では概ね設計基準強度を満足したが、φ 50mmの供試体では、ほとんど満足しない結果となった。また、φ 75mmおよびφ 83mmでは、水セメント比によって確率が変化し、水セメント比が高いほど、設計基準強度を満足しない確率が上昇する傾向を示した。

今回の検討では、強度レベルが24～58N/mm²の範囲であり、平均外気温が16℃の環境下で気中養生を行った試

験体を用いた。また、骨材の最大寸法の3倍程度の直径を有するコアを試験体から採取し、圧縮強度のばらつきについて検討を行ったものである。

これは本実験結果から得られた考察であり、さらに部材の寸法を変化させた検討や、φ 20mm程度の小径コア供試体を使用したばらつき等の検討が必要であると考えられる。

謝辞

本実験を行うにあたり日本大学およびものづくり大学の学生に多大なご協力を頂きました。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会:構造体コンクリートの品質に関する研究の動向と問題点, 2008. 2
- 2) 例えば, 日本建築学会:建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5, 2015

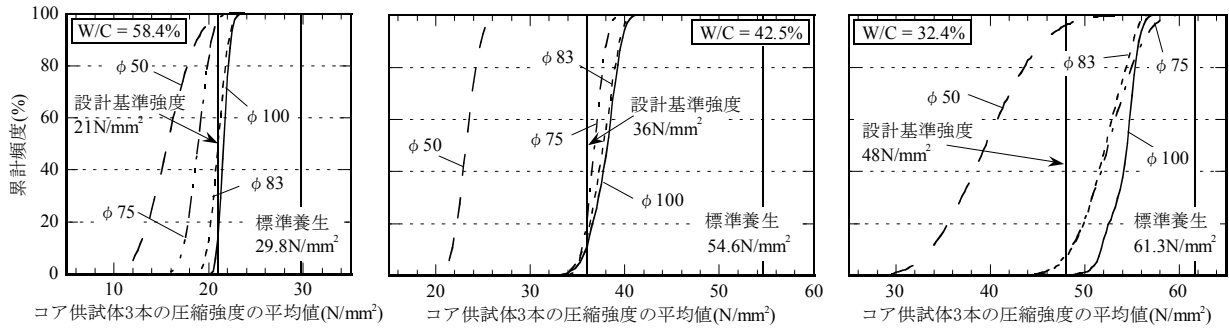


図-6 コア供試体3本の圧縮強度の平均値と累計頻度の関係

表-5 材齢28日におけるコア供試体3本の平均値が設計基準強度を満足しない確率

コア供試体の直径 (mm)	W/C=58.4% (呼び強度: 24)	W/C=42.5% (呼び強度: 39)	W/C=32.4% (呼び強度: 57)
φ 100	0%	10%	0%
φ 83	24%	13%	4%
φ 75	90%	18%	5%
φ 50	98%	100%	94%

- 3) 例えば, 若林信太郎, 谷川恭雄, 中込昭, 佐原晴也, 寺田謙一:小径コアによる構造体コンクリート強度の推定方法に関する研究(その1 小径コア供試体の圧縮強度試験結果), 日本建築学会構造系論文集, 第555号, pp1-8, 2002. 5
- 4) 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, pp805-810, No. 2, 2008
- 5) 鈴木駿, 中田善久, 大塚秀三, 高瀬貢平: 平板試験体

におけるコア供試体の直径および採取深さが圧縮強度とそのばらつきに影響する基礎的検討, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp93-96, 2014. 2

- 6) 例えば, 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, pp411-415, 2007
- 7) 例えば, 大池武, 川口徹:直径の異なるコア供試体の強度試験結果の信頼性に関する検討, 日本建築学会技術報告集第15号, pp43-46, 2002. 6
- 8) 鈴木澄江, 榎田佳寛, 佐藤幸恵:構造体コンクリートから採取したコア供試体の圧縮強度レベルと確率分布形状, 日本建築学会構造系論文集, 第592号, pp13-18, 2005. 1
- 9) 国本正恵, 湯浅昇, 笠井芳夫, 松井勇:小径コアを用いたコンクリートの圧縮試験方法の検討, コンクリート工学年次論文, Vol. 22, No. 1, 2000
- 10) 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, No46, pp81-84, 2008. 2