

# 論文 模擬床部材から採取したコア供試体の寸法および採取位置が圧縮強度とそのばらつきに及ぼす影響

宮田 敦典<sup>\*1</sup>・中田 善久<sup>\*2</sup>・大塚 秀三<sup>\*3</sup>・木村 友哉<sup>\*4</sup>

**要旨:**本研究は、コア供試体の寸法および表層からの採取位置がコア強度に及ぼす影響を明らかにするために、模擬床部材を作製し、コア供試体の寸法およびコア採取位置を変化させて検討したものである。その結果、コア強度は、コア供試体の寸法が小さいほど小さくなる傾向を示し、この傾向は、水セメント比が小さいほど顕著であった。また、コア強度は、高強度コンクリートのとき、乾燥などの影響を受ける打込み面側および底面側から採取した場合、中心部から採取した場合に比べて著しく小さくなる傾向を示した。さらに、コア供試体の直径が粗骨材の3倍以上の範囲でも小さくなると精度が確保できない可能性があることが示唆された。

**キーワード:** コア供試体, 寸法, 採取位置, ばらつき, 模擬床部材

## 1. はじめに

既存の鉄筋コンクリート造構造物における耐震補強工事では、構造体コンクリートの強度の把握が不可欠である。一般的に構造体コンクリートの強度は、構造体コンクリートから採取したコアを用いて圧縮強度試験を行い推定することが多く、この方法は、直接的に試験することができるため構造体コンクリートの強度を調べるために最も有効な方法であるといえる。

採取したコアによる強度試験は、直径が100mmのコアを採取して試験する一般的であるが、構造体コンクリートの損傷を軽微に抑えられるなどの利点から、コアの直径を極力小さくする需要が高まっている。また、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」<sup>1)</sup>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、この規定を満足した直径75mmのコア供試体の使用が普及している。しかし、直径が50mm以下の小径コアを対象とした研究は多く行なわれているものの<sup>2)</sup>、粗骨材の3倍以上の直径を有したコア供試体の圧縮強度のばらつきに関する研究は少なく不明な点が多い。また、直径が75mmのコアを壁や床から採取する際は、部材の厚さに余裕があり、さらに、コア供試体の採取の跡の補修を容易にするために、構造体コンクリートを貫通させずに採取することが多い。部材の表層部と中心部の強度分布が異なることは容易に推測でき、特に、乾燥の影響を受けやすい壁や床においては表層からの採取位置がコア強度に及ぼす影響が大きいことが考えられるものの、この傾向については不明な点が多い。

そこで、本研究は、コア供試体の寸法および打込み面か

らの採取位置がコア強度およびそのばらつきに及ぼす影響を明らかにするために、模擬床部材を作製し、コア供試体の寸法およびコア採取位置を変化させて検討を行った。ここでは、コア供試体の直径を100mm, 83mmおよび75mmとし、各25本の比較的多数のコア強度からばらつきを検討した。

## 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、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ ,  $\phi 83 \times 166\text{mm}$ および $\phi 75 \times 150\text{mm}$ の3水準(以降、それぞれ $\phi 100\text{mm}$ ,  $\phi 83\text{mm}$ および $\phi 75\text{mm}$ とする)とし、 $\phi 83\text{mm}$ および $\phi 75\text{mm}$ については、コア供試体の採取位置を上部(打込み面側)、中心部および下部(底面側)の3水準とした。また、コンクリートの水セメント比を58.4%, 42.5%および32.4%の3水準とした。これらの各水準において25本ずつ圧縮強度試験を行い、コア供試体の寸法、採取位置および水セメント比の組合せからなる21水準の計525本のコア供試体の圧縮強度試験結果からコア供試体の寸法および採取位置の影響を検討した。

### 2.2 コンクリートの使用材料および調査

コンクリートの使用材料を表-2に示し、コンクリート

表-1 実験概要

水セメント比 (%)	コア供試体		コア供試体の本数	試験材齢
	寸法(mm)	採取位置		
58.4 42.5 32.4	$\phi 100 \times 200$	—	525本 (25本/水準)	28日
	$\phi 83 \times 166$	上部		
	$\phi 75 \times 150$	中心部 下部		

\*1 日本大学 理工学部建築学科助手 修士(工学) (正会員)

\*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 日本大学大学院 理工学研究科建築学専攻大学院生 (学生会員)

の調査を表-3に示す。ここでは、水セメント比58.4%、42.5%および32.4%の3水準とした。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

模擬床部材の概要を図-1に示す。模擬床部材の寸法は、W:1000×D:1000×H:205mmとし、コアの抜き位置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コアの採取時まで厚さ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。その後、直射日光および雨水の影響を受けない状態で気中養生し、打込みから7日後に型枠を脱型した。そのため、模擬床部材は、材齢7日まで打込み面から、材齢7日以降は打込み面および底面から乾燥を受ける状態であった。なお、コンクリートは、外気温17.0～22.0℃の時期において打ち込み、打込み時のコンクリート温度は22.1～23.0℃であった。また、打込みからコア採取までの外気温の平均は、いずれの試験体においても16.0℃であった。

表-2 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 <sup>3</sup> 比表面積：3,300cm <sup>2</sup> /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 <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> 実積率：60.0% 最大寸法：20mm
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

表-3 コンクリートの調査

W/C (%)	スランブ スランブフロー (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				Ad (kg/m <sup>3</sup> )
				W	C	S	G	
58.4	SL=18	4.5	49.4	181	310	872	923	3.720*1
42.5	SL=21	4.5	47.4	175	412	804	923	3.708*2
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

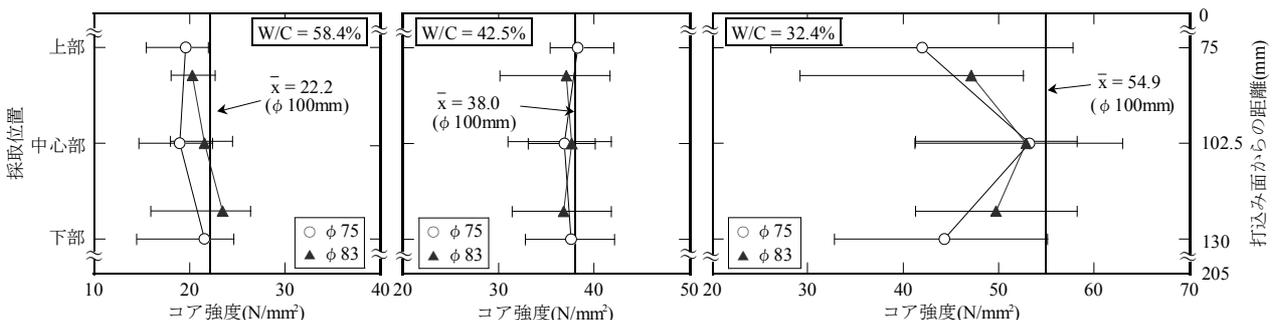


図-3 コア強度と採取位置の関係

### 2.4 コア供試体の概要

コア供試体は、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、φ83mmおよびφ75mmのとき、図-2に示すように採取位置を打込み面に対して上部、中心部および下部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。

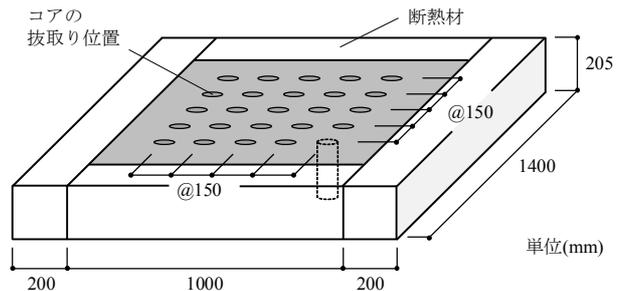


図-1 模擬床部材の概要

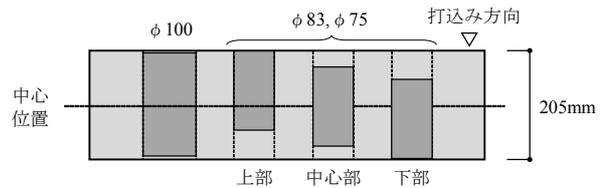


図-2 コア供試体の採取位置

表-4 コア供試体の圧縮強度試験結果

W/C (%)	項目	φ100	φ83			φ75		
			上部	中心部	下部	上部	中心部	下部
58.4	n	25	25	25	25	25	25	
	$\bar{x}$	22.2	20.3	21.6	23.5	19.6	19.5	21.6
	$\sigma$	1.0	1.1	1.6	2.3	1.4	2.1	2.9
	C.V.	4.5	5.4	7.5	9.8	7.1	10.8	13.4
42.5	n	25	25	25	25	25	25	
	$\bar{x}$	38.0	37.7	37.7	36.8	38.3	36.9	37.6
	$\sigma$	2.7	2.7	2.7	2.9	1.7	1.8	2.5
	C.V.	7.1	7.2	7.2	7.9	4.4	4.9	6.6
32.4	n	25	25	25	25	25	25	
	$\bar{x}$	54.9	47.1	52.9	49.7	42.0	53.2	44.3
	$\sigma$	2.9	4.7	4.5	3.9	7.2	5.4	6.0
	C.V.	5.3	10.0	8.5	7.8	17.0	10.2	13.6

n：データ数、 $\bar{x}$ ：平均値(N/mm<sup>2</sup>)、 $\sigma$ ：標準偏差(N/mm<sup>2</sup>)  
C.V.：変動係数(%)

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 コア供試体の寸法の影響

コア供試体の圧縮強度試験結果を表-4に示す。中心部のコア強度は、同一の採取位置から採取したコア強度は、一部の水準で傾向は異なるものの、概ねコア供試体の寸法が小さいほど小さくなる傾向を示し、この傾向は、水セメント比が小さいほど顕著であった。また、変動係数は、φ75mmのW/C=42.5%を除いて、コア供試体の寸法が小さいほど大きくなる傾向を示した。これらは、コア供試体の寸法が小さいほど、荷重時の偏心<sup>3)</sup>や端面の凹凸、コア供試体内部での欠陥などの影響が相対的に大きくなり<sup>4)</sup>、水セメント比が小さいほどこの影響が支配的となったためと考えられる。

#### 3.2 コア供試体の採取位置の影響

コア強度とコア採取位置の関係を図-3に示す。なお、図中の採取位置は、各コア供試体の中心の位置にプロットしている。コア強度は、W/C=58.4%のとき、採取位置が下部>中心部>上部の順で大きい傾向を示した。これは、部材寸法(高さ)が比較的小さいものの、圧密およびブリーディングによる模擬床部材内部の水分の移動の影響<sup>5)</sup>と考えられる。この傾向は、W/C=42.5%のとき確認できなかった。これは、W/C=42.5%の単位セメント量がW/C=58.4%に比べて多いことで材料分離抵抗性が高くなり、前述のような圧密およびブリーディングによる模擬床部材内部の水分の移動の影響が小さくなったためと考えられる。一方、W/C=32.4%のとき、上部および下部が中心部に比べて小さくなる傾向を示した。これは、上部および下部は、表層

部(打込み面および底面)から水分が逸散し水和水和が十分に進行しなかったことや、温度分布の違いなどの影響が考えられ、特に、水セメント比が小さいW/C=32.4%のときに顕著に現れたものと考えられる。

コア採取位置とφ100mmに対するコア強度比(以降、コア強度比とする)の関係を図-4に示す。コア強度比は、W/C=58.4%および42.5%のとき、採取位置およびコア供試体の寸法にかかわらず概ね0.9~1.1の範囲に分布する傾向を示した。これより、普通強度レベルのコンクリートであれば、コア供試体の寸法や採取位置の影響を含めても概ねφ100mmと同等のコア強度が得られると考えられる。しかし、W/C=32.4%のとき、中心部は概ねφ100mmと同等のコア強度を示すものの、表層部からの乾燥などの影響を受ける上部および下部は、0.9を下回る傾向を示した。これより、高強度コンクリートは、表層部からの乾燥などによる影響が大きいため、コア供試体の寸法を変化させた場合は採取位置を考慮する必要があると考えられる。

#### 3.3 コア強度の平均値からの偏差の分布

##### (1) φ100mmのばらつき

コア強度(φ100mm)の平均値からの偏差の分布を図-5に示す。ここでは、(1)式より求めた各供試体の平均値からの偏差の分布によってばらつきの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/mm<sup>2</sup>)

$\bar{x}$ : 25本のコア強度の平均値 (N/mm<sup>2</sup>)

$x_1, x_2 \cdots x_{25}$ : 各供試体のコア強度 (N/mm<sup>2</sup>)

コア強度の中心値からの偏差は、W/C=58.4%のとき、最頻値が中心値を示す結果となり、概ね正規分布で評価できる傾向を示した。一方、W/C=42.5%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<sup>6), 7)</sup>の傾向(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/mm<sup>2</sup>以上)と同様の傾向であった。

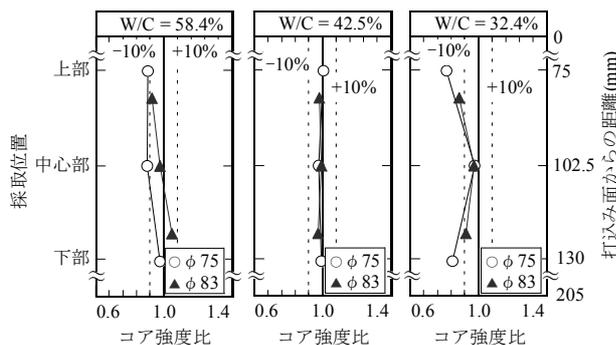


図-4 採取位置とφ100mmに対するコア強度比の関係

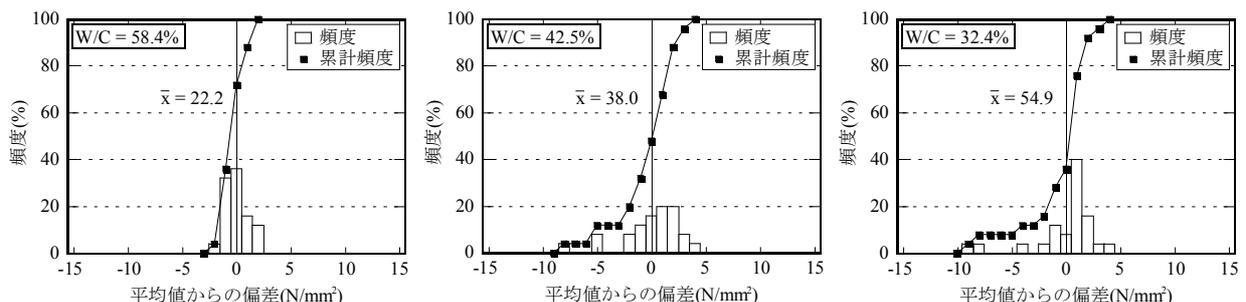


図-5 コア強度(φ100mm)の平均値からの偏差の分布

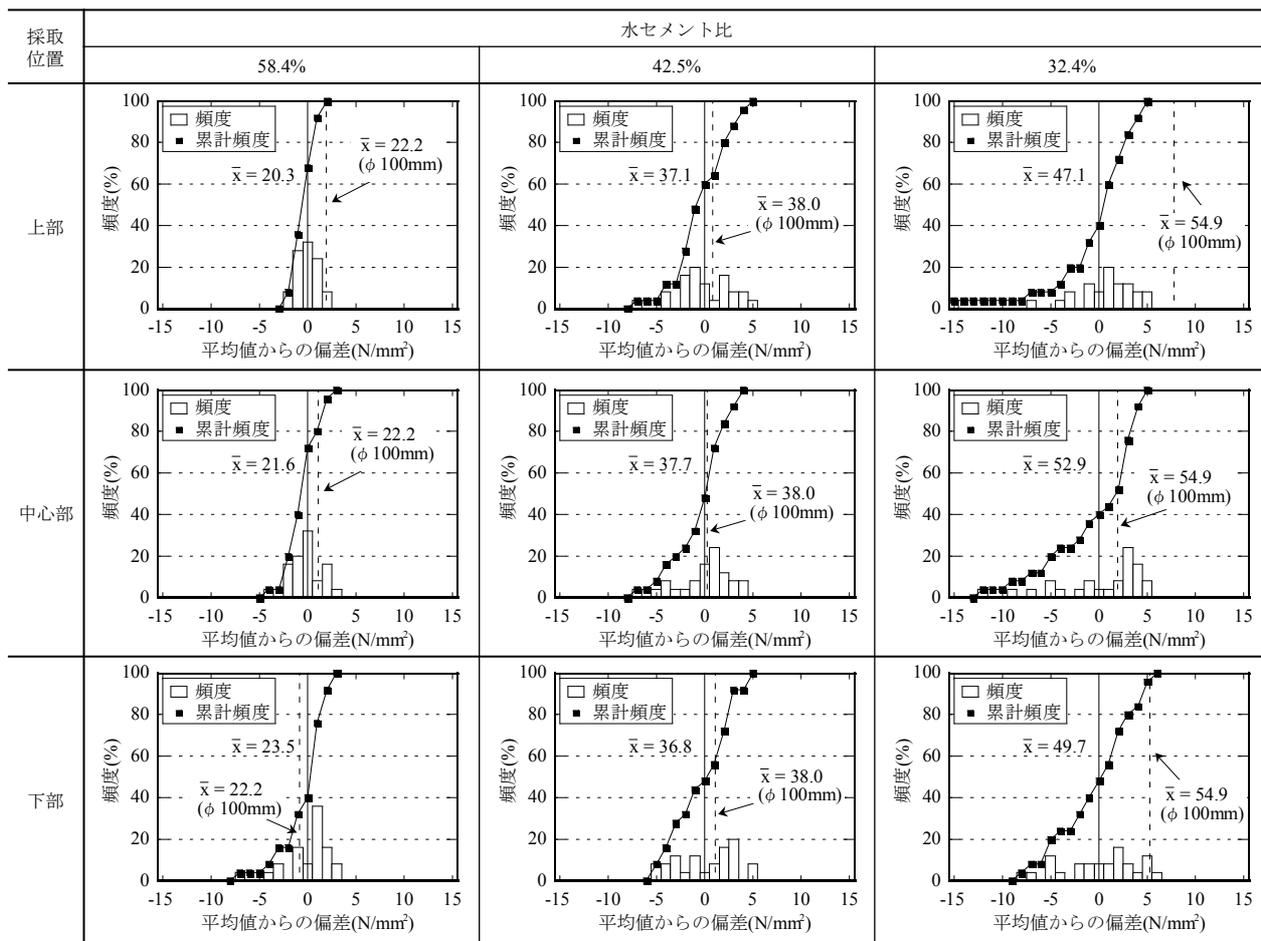


図-6 コア強度( $\phi 83\text{mm}$ )の平均値からの偏差の分布

(2)  $\phi 83\text{mm}$ のばらつき

コア強度( $\phi 83\text{mm}$ )の平均値からの偏差の分布を図-6に示す。図中には、比較として $\phi 100\text{mm}$ の平均値も示している。 $\phi 83\text{mm}$ のコア強度の平均値からの偏差は、 $\phi 100\text{mm}$ と同様に、W/C=58.4%で上部および中心部のとき、最頻値が中心値を示す結果となり、概ね正規分布で評価できる傾向を示したものの、W/C=58.4%の下部、W/C=42.5%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。また、累積頻度は、同一の水セメント比のとき、 $\phi 100\text{mm}$ に比べてやや緩やかになる傾向を示し、表-4の標準偏差から見ても $\phi 100\text{mm}$ よりもばらつきが大きいことがわかる。これは、前述したように、コア供試体の寸法が小さいため、荷重時の偏心<sup>3)</sup>や端面の凹凸、コア内部での欠陥などの影響が相対的に大きくなり<sup>4)</sup>、コア供試体各々のばらつきが大きくなったためと考えられる。採取位置による累積頻度は、W/C=42.5%および32.4%のとき、概ね上部>中心部>下部の順で緩やかな傾向を示し、表-4の標準偏差から見ても上部に近いほどばらつきが大きい傾向を示した。

(3)  $\phi 75\text{mm}$ のばらつき

コア強度( $\phi 75\text{mm}$ )の平均値からの偏差の分布を図-7に示す。 $\phi 75\text{mm}$ のコア強度の平均値からの偏差は、 $\phi$

100mm および $\phi 83\text{mm}$ の場合と異なり、強度が低いW/C=58.4%のときも正規分布を示さず最頻値が中心値より大きい方へ偏る傾向を示した。これは、前述したように、コア供試体の寸法が小さいため、荷重時の偏心<sup>3)</sup>や端面の凹凸、コア内部での欠陥などの影響が相対的に大きくなり<sup>4)</sup>、コア供試体各々のばらつきが大きくなったためと考えられる。累積頻度は、W/C=42.5%を除いて $\phi 100\text{mm}$ および $\phi 83\text{mm}$ に比べてやや緩やかになる傾向を示し、表-4の標準偏差から見てもコア供試体の寸法が小さいほどばらつきが大きいことがわかる。また、採取位置による累積頻度は、W/C=58.4%および42.5%のとき、概ね下部>中心部>上部の順で緩やかな傾向を示し、W/C=32.4%のとき、概ね上部>中心部>下部の順で緩やかな傾向を示した。

(4)  $\phi 100\text{mm}$ の平均値との関係

$\phi 100\text{mm}$ の平均値の $\pm 10\%$ を超えるデータ数を表-5に示す。コア強度は、前述したように、コア供試体の寸法が小さいほど概ねばらつきが大きい傾向を示したため、ここでは、 $\phi 100\text{mm}$ のコア強度の平均値が構造体コンクリートの強度として扱い、その値の $\pm 10\%$ を超えるデータ数についてまとめている。 $\phi 100\text{mm}$ の平均値の $\pm 10\%$ を超えるデータ数は、 $\phi 75\text{mm}$ のW/C=42.5%を除いてコア供試体の寸法が小さいほど多くなった。また、 $\phi 83\text{mm}$ のと

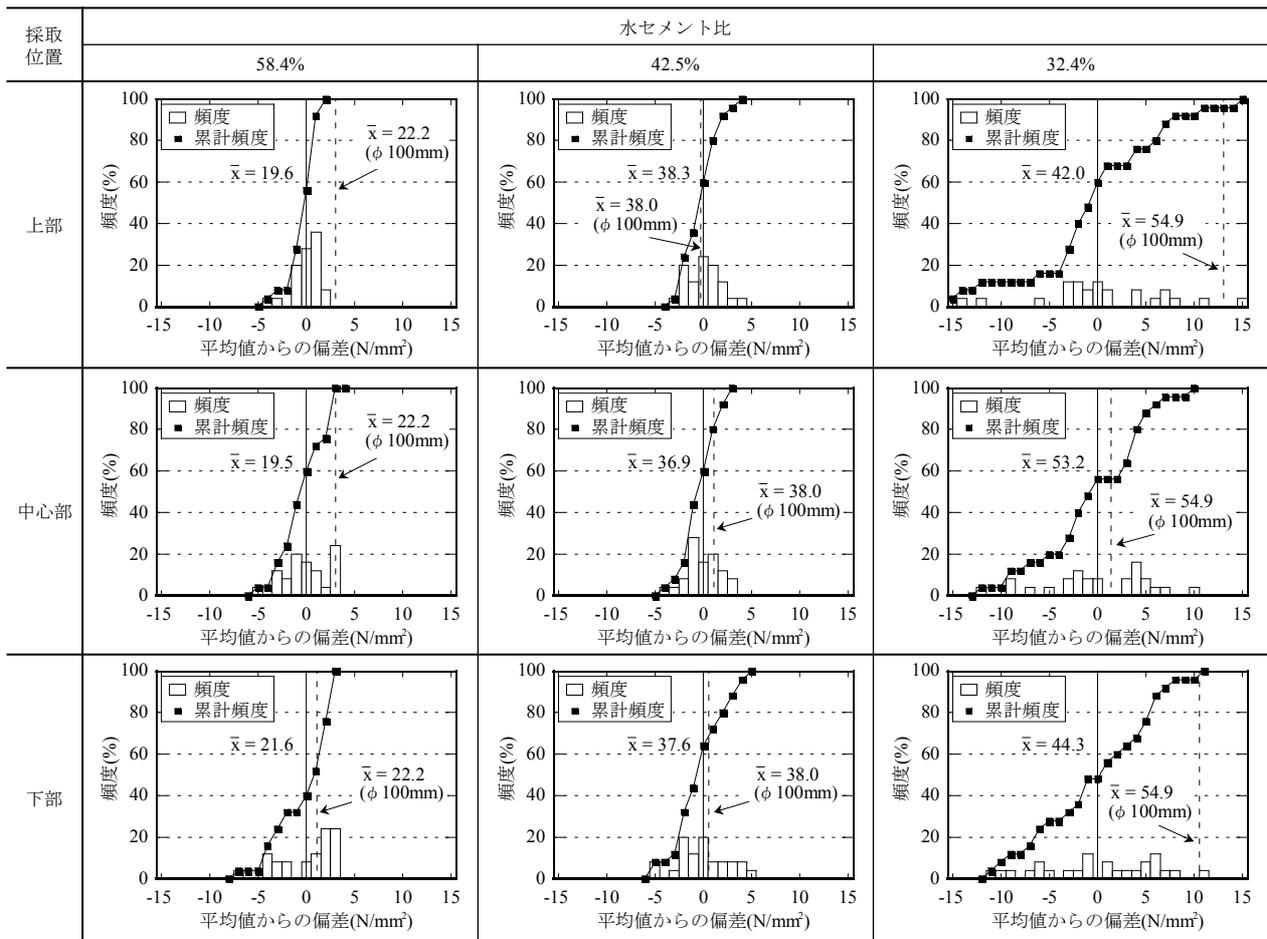


図-7 コア強度(φ75mm)の平均値からの偏差の分布

き、採取位置が中心部のときは比較的φ100mmの平均値の±10%を超えるデータ数が少なく、概ねφ100mmと同等のコア強度を得ることができる。一方、φ75mmのW/C=58.4%および32.4%のとき、採取位置にかかわらず、φ100mmの平均値の±10%を超えるデータ数が著しく多くなった。このことから、コア供試体の直径がJIS A 1107<sup>1)</sup>に規定されている粗骨材の3倍以上の範囲でも小さくなると精度が確保できない可能性があることが示唆された。

#### 4. まとめ

本研究は、コア供試体の寸法および打込み面からの採取位置がコア強度に及ぼす影響を明らかにするために、模擬床部材を作製し、コア供試体の寸法およびコア採取位置を変化させ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) コア強度は、コア供試体の寸法が小さいほど概ね小さくなる傾向を示し、この傾向は、水セメント比が小さいほど顕著であった。
- (2) コア強度は、高強度コンクリートとき、表層から採取した場合、中心部から採取した場合に比べて著しく小さくなる傾向を示した。
- (3) コア強度の平均値からの偏差は、φ100mmおよびφ

表-5 φ100mmの平均値の±10%を超えるデータ数

W/C (%)	φ100	φ83			φ75		
		上部	中心部	下部	上部	中心部	下部
58.4	0	11	4	13	13	15	11
	0%	44%	16%	52%	52%	60%	44%
42.5	4	3	4	6	1	2	4
	16%	12%	16%	24%	4%	8%	16%
32.4	2	17	6	11	22	7	19
	8%	68%	24%	44%	88%	28%	76%

上段：データ数，下段：割合

■は、25%以上

83mmのとき、水セメント比が大きいと概ね正規分布を示し、水セメント比が小さくなると最頻値が中心値よりも大きい方へ偏る傾向を示した。しかし、ばらつきの大きいφ75mmの場合は水セメント比が小さいときも正規分布を示さなかった。

- (4) コア強度の平均値からの偏差は、コア供試体の寸法の影響を大きく受け、さらに、水セメント比が小さいとき、採取位置が打込み面に近いほどばらつきが大きくなった。
- (5) コア供試体の直径が粗骨材の3倍以上の範囲でも小さくなると精度が確保できない可能性があることが示唆された。

本研究は、模擬床部材から採取したコア供試体の寸法お

よび部材表層からの採取位置がコア強度に及ぼす影響を検討したものである。近年、既存の鉄筋コンクリート造の耐震診断において、コアは壁部材から採取することが一般的である。そのため、今後は、模擬壁部材を対象としてコア供試体の寸法および打込み面からの採取位置がコア強度に及ぼす影響を検討していく予定である。

#### 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) 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, 2012
- 2) 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, pp.1-8, 2002.5
- 3) 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
- 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, No.2, pp.805-810, 2008.6
- 5) 毛見虎雄, 平賀友晃, 倉林清, 荒巻哲生: 比較的マッシブなコンクリート構造物の強度分布 その2 コアによる強度推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.229-230, 1978.9
- 6) 鈴木澄江, 榊田佳寛: コンクリートの圧縮強度レベルと確立分布形状, 日本建築学会構造系論文集, 第578号, pp.1-6, 2004.4
- 7) 鈴木澄江, 榊田佳寛, 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立分布形状, 日本建築学会構造系論文集, 第592号, pp.13-18, 2005.6