

# 論文 大きさが異なる高強度コンクリート部材から採取したコア強度とその変動に及ぼす影響

大木崇輔<sup>\*1</sup>・中田善久<sup>\*2</sup>・大塚秀三<sup>\*3</sup>・毛見虎雄<sup>\*4</sup>

**要旨：**大きさが異なる高強度コンクリート部材から採取したコア強度とその変動に及ぼす影響を明らかにするために、高強度コンクリート部材から採取したコア供試体について、材齢 3, 7, 14, 28, 56, 91 日に圧縮強度試験を行った。その結果、コア強度の変動係数は、部材の大きさが大きいものから採取したコア供試体の方が大きく、材齢の経過により小さくなる傾向を示した。また、同一材齢で比較すると水セメント比が小さい部材から採取したコア強度の変動係数の方が小さくなる傾向を示した。さらに、コア強度は、材齢 91 日の標準養生供試体の圧縮強度に対して 0.75 以上の強度が得られるとその変動が小さくなる傾向を示した。

**キーワード：**高強度コンクリート, コア強度, 部材の大きさ, JIS A 1107, 材齢, 変動

## 1. はじめに

近年、建築工事における高強度コンクリートの製造・出荷を行う場合、事前に建築基準法第 37 条 2 項により JIS または国土交通大臣の認定（以下、大臣認定と称する）を取得する必要がある。この高強度コンクリートの大臣認定の取得は、JASS 5T-605-2005「コア供試体による構造体コンクリート強度の推定方法」<sup>1)</sup>により、模擬柱部材からコア供試体を採取し、標準養生供試体とコア供試体の強度の差であるコンクリートの強度補正值  $mSn$  を求める必要があり、材齢 7, 28, 56, 91 日に圧縮強度試験を行うのが一般的である。コア供試体の採取は、通常 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」により行われている。JIS A 1107 中のコア供試体採取の材齢に関する記述は、普通強度のみを対象としたものと考えられ、「一般に材齢 14 日以降とするか、圧縮強度が  $15N/mm^2$  以上に達した後にするのがよい」と定められており、初期においてこの強度が得られる高強度コンクリートは、普通強度のコンクリートと同一の材齢におけるコア採取の影響が異なると考えられる。そのため、高強度コンクリート部材から採取したコア強度とその変動に及ぼす影響について調べる必要がある。

そこで、本研究は、大きさが異なる高強度コンクリート部材から採取したコア強度とその変動に及ぼす影響を明らかにするために、 $W/C=47.5, 38$  および 30% のコンクリートを用いた異なる大きさの部材から材齢 3, 7, 14, 28, 56, 91 日にコア供試体の採取を行った。ここでは、中央部と外周部におけるコア強度の関係、標準養生供試体の圧縮強度とコア強

度の関係、コア供試体の採取材齢がコア強度に及ぼす影響、材齢 91 日の標準養生供試体の圧縮強度に対する強度比、部材の大きさがコア強度の変動および強度レベルがコア強度とその変動に及ぼす影響について大きさが異なる部材について材齢ごとに検討した。

## 2. 実験の概要

### 2.1 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表-1 に示す。ここでは、大きさが異なる部材から採取したコア強度とその変動に及ぼす影響を明らかにするため、普通強度から高強度までのコンクリートを対象として水セメント比を 3 水準、部材の大きさを 3 水準、圧縮強度の試験材齢を 6 水準とし検討を行った。なお、コア供試体の採取は、圧縮強度の試験材齢の 48 時間（2 日）前一定に行い、圧縮強度試験材齢まで水中浸漬させた。

### 2.2 コンクリートの使用材料

コンクリートの使用材料を表-2 に示す。セメントは、普通ポルトランドセメント（N）を用い、粗骨材は、石灰石を用いた。

### 2.2 コンクリートの調合

コンクリートの調合を表-3 に示す。単位水量は、170

表-1 実験の要因と水準

要因	水準
水セメント比 (%)	47.5, 38, 30
部材の大きさ (mm)	模擬柱部材: $W1,000 \times H1,000 \times L1,000$ 中試験体: $W600 \times H600 \times L600$ 小試験体: $W200 \times H200 \times L500$
コア供試体の採取材齢 (日)	1d, 5d, 12d, 26d, 54d, 89d
圧縮強度の試験材齢 (日)	3d, 7d, 14d, 28d, 56d, 91d

\*1 株式会社 大林組（正会員）

\*2 日本大学理工学部建築学科 准教授 博士（工学）（正会員）

\*3 ものつくり大学技能工芸学部建設技能工芸学科 助教（正会員）

\*4（前）足利工業大学工学部建築学科 教授 工博（名誉会員）

表-2 コンクリートの使用材料

材料	種類	品質・主成分
セメント	普通ポルトランドセメント (N)	密度:3.16g/cm <sup>3</sup> 比表面積:3,290cm <sup>2</sup> /g
水	上水道水	—
粗骨材	栃木県安蘇郡葛生町産 石灰石砕石 2005	表乾密度:2.70g/cm <sup>3</sup> 実積率:60.0% 吸水率:0.59%
細骨材	栃木県栃木市尻内産 陸砂	表乾密度:2.61g/cm <sup>3</sup> 粗粒率:2.75 吸水率:2.3%
化学混和剤	高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸系化合物

表-3 コンクリートの調合

呼び 強度	W/C (%)	目標 スランプ (フロー) (cm)	目標 空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				Ad (C×%)
					W	C	S	G	
33	47.5	21±2.0	4.5±1.5	49.3	175	369	853	887	0.90
48	38.0	50±7.5		51.0	170	448	856	851	1.30
63	30.0	60±10		48.0	170	567	760	851	1.40

表-4 コアドリルの仕様

電源 (V)	定格電流 (A)	最大出力 (V)	ビット周速 (m/sec)	ビット形状
単相 120	15	2,400	470	3 点式

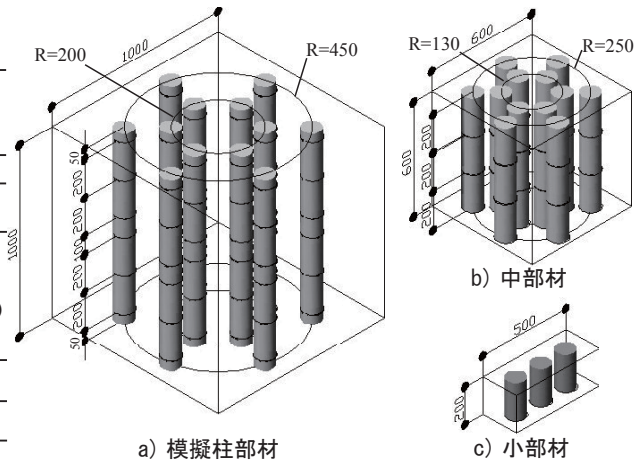


図-1 大きさが異なる部材の概要

および 175kg/m<sup>3</sup> とした。また、単位粗骨材かさ容積は、W/C=47.5% で 0.545m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>、W/C=38 および 30% において 0.525m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> とし、化学混和剤は、すべての調合において高性能 AE 減水剤を使用した。

## 2.4 コアドリルの仕様

コアドリルの仕様を表-4 に示す。コア供試体の採取には、単相 120V、定格電流 15A、最大出力 2,400V、主軸速度 470m/min の一般的に構造体コンクリートからコア供試体の採取に用いるポータブル型のコアドリルを用いた。先端ビットは、外径 φ110×内径 φ100(mm) の湿式用人工ダイヤモンドビットを使用した。なお、穿孔速度は、2.5cm/min に一定とするため、ドリルモータ電流一定制御方式の全自動送り装置を取り付けた。また、コア供試体を採取する際の冷却水の流量により削孔時間およびコア強度に及ぼす影響が考えられるため、流量を 5.0 リットル/min と一定にした。

## 2.5 部材の概要

大きさが異なる部材の概要を図-1 に示す。コア供試体を採取した対象部材は、柱を想定した模擬柱部材 (W:1,000×H:1,000×L:1,000mm) を基準として、それよりも小さくした中部材 (W:600×H:600×L:600mm) および小部材 (W:200×H:200×L:500mm) とした。模擬柱部材は、上下に断熱材を挟んで上下方向の熱の伝達を遮断することにより、柱の中央部を模擬した形状とした。型枠は、入隅部分の全周に変成シリコン系シーリング材を充填した。コンクリートの打込み・締固めは、実施工を想定し

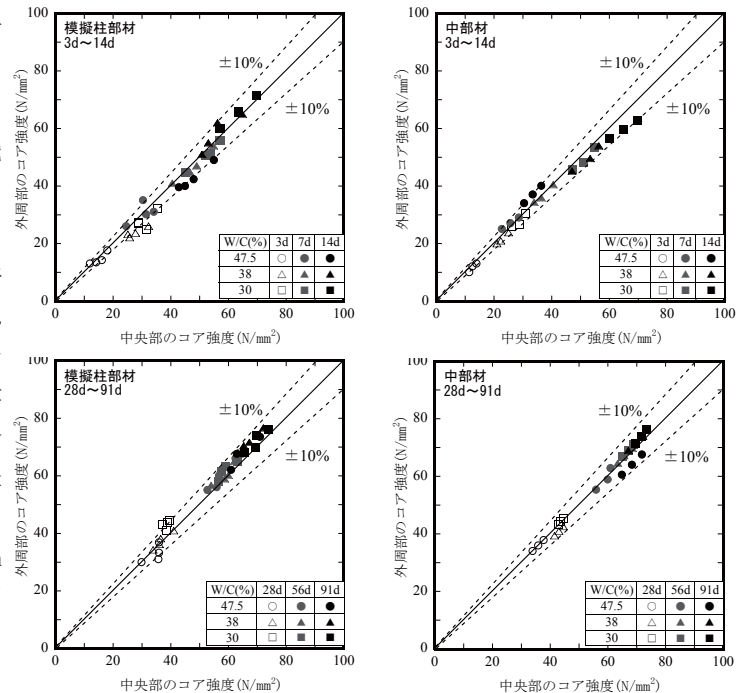


図-2 中央部のコア強度と外周部のコア強度の関係

て行い、3層に分けて打込み、各層を高周波バイブレータ (振動数: 12,000 ~ 15,500Hz) により 9 箇所、5 秒間挿入するものとした。型枠の脱型は、打込みから 24 時間後に行った。成型前のコア供試体は、小部材において、各材齢ごとに 3 本、中部材および模擬柱部材において、各材齢ごとに外周部と中央部から 1 本ずつ採取を行った。さらに、模擬柱部材は上下端部を 50(mm) ずつと中心部分の 100(mm) を排除し、均等に 4 本に切断し、中部材は 3 本に切断し φ100×200(mm) のコア供試体を作製した。

## 3. 結果および考察

### 3.1 中央部と外周部のコア強度の関係

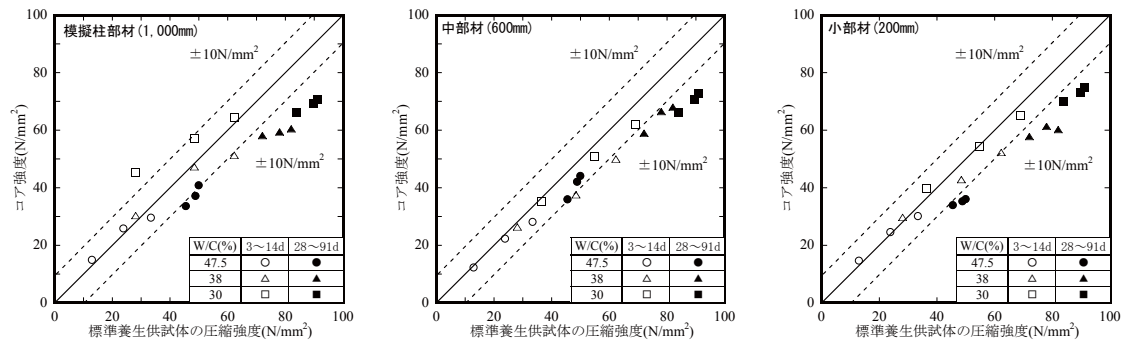


図-3 標準養生供試体の圧縮強度とコア強度の関係

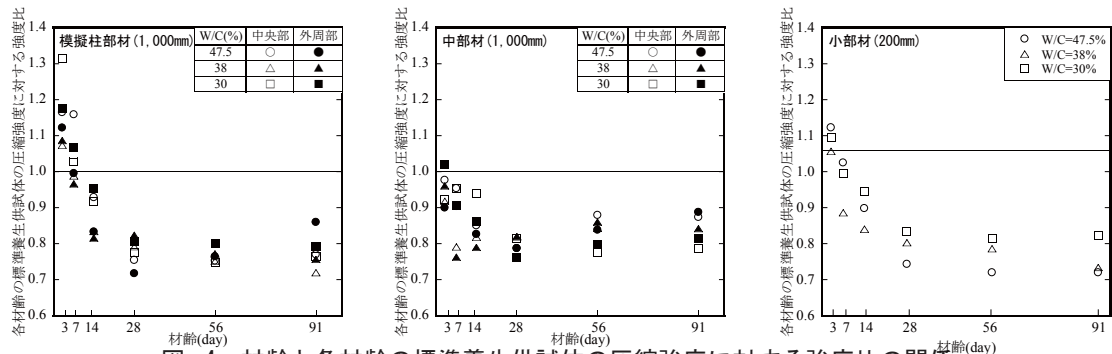


図-4 材齢と各材齢の標準養生供試体の圧縮強度に対する強度比の関係

中央部と外周部のコア強度の関係を図-2に示す。なお、模擬柱部材および中部材は、打込み面からの深さが深くなるとコア強度が大きくなる圧密の影響<sup>2)</sup>を除外するために中央部と外周部で打込み面からの深さが同一となるコア供試体を比較対象とした。中央部のコア強度と外周部のコア強度は、材齢に関わらず $\pm 10\%$ の範囲に分布する傾向を示したが、材齢により若干異なる傾向を示した。材齢3日のコア強度は、部材の大きさに関わらずすべての調合において外周部に比べ中央部の方が大きくなる傾向を示した。これは、外周部より中央部の方が材齢初期における温度履歴が高くなるため<sup>2)</sup>コア強度が大きくなったと考えられる。また、材齢7から28日までのすべての調合におけるコア強度は、採取位置に関わらず中央部と外周部でほぼ同等となる傾向を示した。さらに、部材の大きさに関わらずW/C=38および30%の材齢56と91日のコア強度は、外周部の方が大きくなる傾向を示した。これは、従来から言われているように材齢初期に高い温度履歴を受けると材齢長期におけるコンクリートの強度発現が遅くなる初期高温履歴の影響<sup>3)</sup>と考えられる。

### 3.2 標準養生供試体の圧縮強度とコア強度の関係

標準養生供試体の圧縮強度とコア強度の関係を図-3に示す。模擬柱部材の一部のデータを除き、材齢3～14日のコア強度は、標準養生供試体とほぼ同等となる傾向を示した。これは、一般的に養生条件の良好な標準養生供試体の方がコア供試体より圧縮強度が大きくなるとされているが<sup>4)</sup>、部材の大きさの違いにより、初期に受け

る温度履歴が模擬柱部材>中部材>小部材となり、この温度の影響によりコア強度の方が大きくなったと考えられる。また、模擬柱部材における材齢3～14日のW/C=30%のコア強度は、標準養生供試体の圧縮強度に比べ大きくなる傾向を示した。この理由として、コア供試体は、標準養生供試体に比べ前述したように材齢初期に高い温度履歴を受けることによる強度の増加が考えられること、材齢3日のコア供試体の採取は、材齢1日に行ったことにより標準養生供試体とコア供試体の標準養生(水中養生)期間が材齢3日までの2日間(48時間)と同一であったことから標準養生供試体の圧縮強度よりコア強度の方が大きくなったと考えられる。さらに、すべての調合において材齢28～91日のコア強度は、標準養生供試体に比べ小さくなる傾向を示した。これは、前述した養生方法<sup>4)</sup>および初期高温履歴<sup>3)</sup>によるものと考えられる。

### 3.3 コア供試体の採取材齢がコア強度に及ぼす影響

材齢と各材齢の標準養生供試体の圧縮強度に対する強度比の関係を図-4に示す。材齢3日の模擬柱部材のコア強度は、標準養生供試体の圧縮強度より大きくなる傾向を示した。これは、前述した温度の影響によるものと考えられる。また、標準養生供試体の圧縮強度に対する強度比は、材齢3～28日までは著しく低下する傾向を示した。さらに、各材齢における標準養生供試体の圧縮強度に対する強度比の分布は、模擬柱部材>中部材 $\approx$ 小部材となる傾向を示した。これは、部材の大きさの違いによる最高温度の差や前述した中央部と外周部の温度履

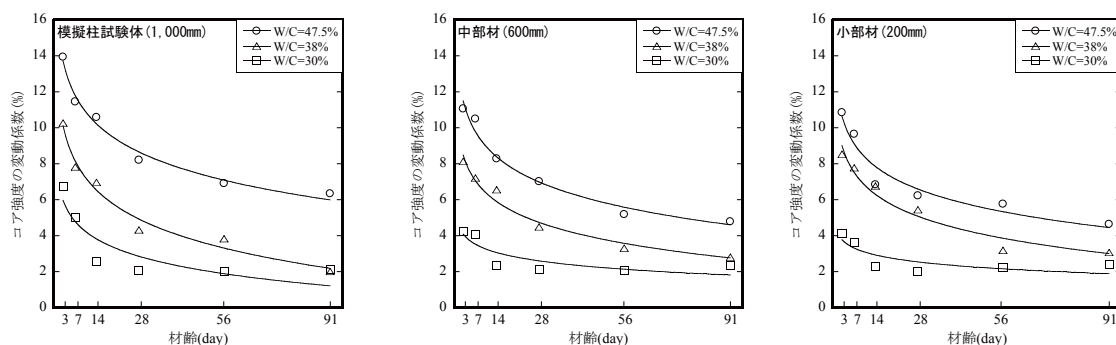


図-5 材齢とコア強度の変動係数の関係

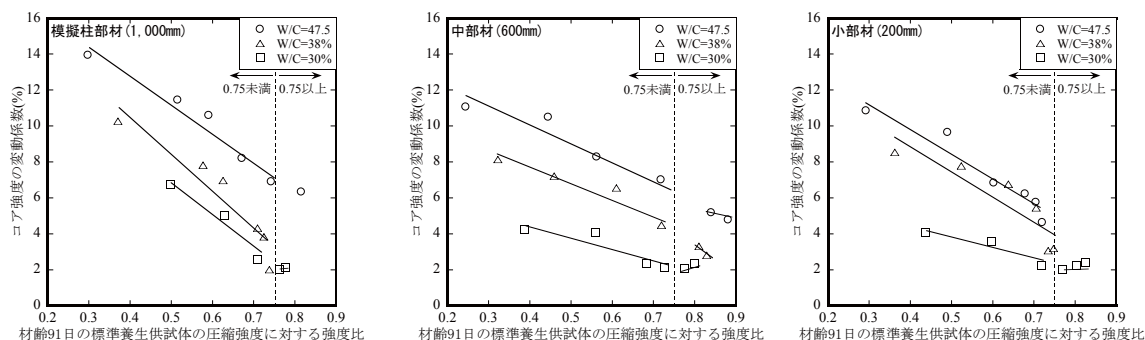


図-6 材齢91日の標準養生供試体の圧縮強度に対する強度比とコア強度の変動係数の関係

歴の差によるものと考えられる。しかし、小部材は、この温度の影響が小さいものの材齢3日の標準養生供試体の圧縮強度に対する強度比は1.0を超えるものも見られた。この理由として、コア供試体の採取長さが長いコア供試体の方がコアドリルの固定されている支持点より遠くなるほどビット先端の振動が大きくなり、コア供試体の採取の影響が大きくなることがあげられる。このため、小部材のようなコア供試体の採取長さが短いものは、コア供試体の採取による影響が小さく、標準養生供試体の圧縮強度に対する強度比が1.0を超えたと考えられる。しかし、この点は、今後検討する必要がある。

材齢とコア強度の変動係数の関係を図-5に示す。なお、模擬柱部材におけるコア強度の変動係数は、コンクリートの強度補正值  $mSn$  を求めるためのコア供試体の本数の標準値として記述されている「各位置において3本以上」<sup>1)</sup>を考慮して8本の結果から求め、中部材におけるコア強度の変動係数は、6本の結果から求めた。さらに、小部材におけるコア強度の変動係数は、3本の結果から求めた。コア強度の変動係数は、模擬柱部材>中部材>小部材の順および材齢の経過により小さくなる傾向を示し、材齢3日～28日でその傾向が最も顕著になる傾向を示した。これは、材齢の経過により水和反応が進行したこと<sup>4)</sup>でコア強度が大きくなり、コア供試体の採取による影響が小さくなったと考えられる。また、水セメント比の違いにより変動係数は異なり、47.5% > 38% > 30%の順で小さくなる傾向を示した。これは、前述した水和反応が水セメント比が小さいものほど早く進行するためと考

えられる。さらに、材齢56日から材齢91日にかけてコア強度の変動係数は、概ね部材の大きさに関わらず低下する傾向が小さくなった。

### 3.4 材齢91日の標準養生供試体の圧縮強度に対する強度比

材齢91日の標準養生供試体の圧縮強度に対する強度比と変動係数の関係を図-6に示す。ここでは、水セメント比により、強度発現性が異なることから材齢91日の標準養生供試体の圧縮強度をポテンシャル強度と考えて検討した。コア強度の変動係数は、材齢91日の標準養生供試体に対する強度比が大きくなると低下する傾向を示した。これは、前述した供試体中の水和反応が進行したことにより、材齢が経過して材齢91日の標準養生供試体の圧縮強度に近くなるとコア供試体内のセメントペーストと骨材の強度と静弾性係数が近くなり、コア供試体内の均質度が高くなり<sup>5)</sup>、コア供試体の採取による影響が小さくなったものと考えられる。また、材齢91日の標準養生供試体に対する強度比が0.75以上になるとコア強度の変動係数が安定する結果となった。これは、材齢が経過するほど水和反応の進行が小さくなるためと考えられる。これにより、前述した材齢より高強度コンクリート部材からコア供試体の採取を行う場合、材齢91日の標準養生供試体の圧縮強度に対する強度比が0.75以上に達した後にコア供試体を採取した方がコア強度の変動係数が小さいと考えられる。さらに、コア強度の変動係数は、水セメント比が小さくなるのに伴い小さくなる傾向を示した。これは、水セメント比が小さいものほど



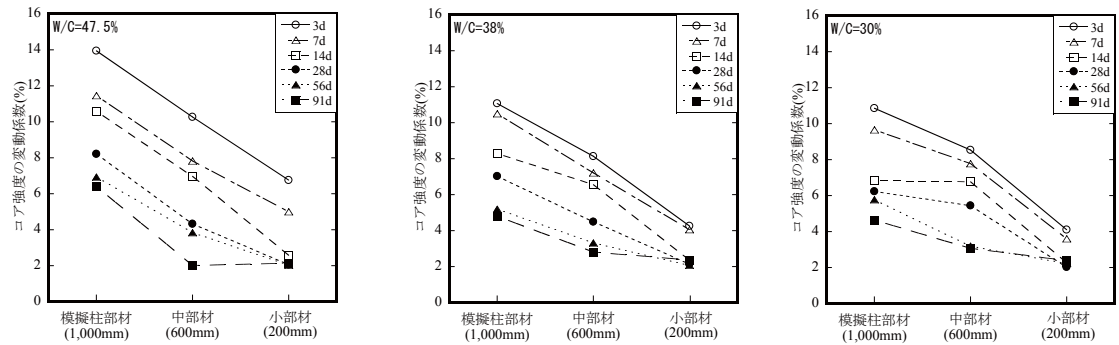


図-7 部材の大きさとコア強度の変動係数の関係

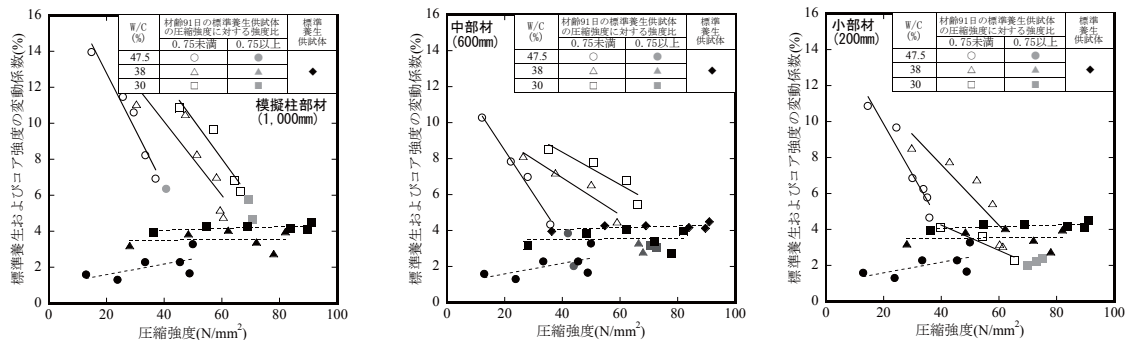


図-8 圧縮強度と標準養生供試体およびコア強度の変動係数の関係

表-5 大きさが異なる高強度コンクリート部材から採取したコア強度とその変動に及ぼす影響

部材の 大きさ	W/C (%)	採取位置ごとのばらつき <sup>※1</sup>												標準養生とコア強度のばらつきの関係 <sup>※2</sup>											
		中央部						外周部						中央部						外周部					
		3d	7d	14d	28d	56d	91d	3d	7d	14d	28d	56d	91d	3d	7d	14d	28d	56d	91d	3d	7d	14d	28d	56d	91d
模擬柱 部材	47.5	大	大	中	中	中	小	大	中	中	中	中	小	大	大	大	中	中	中	大	大	大	中	中	小
	38	大	大	中	中	小	小	大	中	中	中	小	小	大	大	大	中	中	中	大	大	大	中	中	小
	30	中	中	中	小	小	小	大	中	中	中	小	小	大	大	中	中	中	小	大	大	中	中	中	小
中部材	47.5	中	中	中	小	小	小	大	中	中	小	小	小	大	大	中	中	小	小	大	大	中	中	中	小
	38	中	中	中	小	小	小	中	中	中	小	小	小	大	中	中	中	小	小	中	中	中	中	中	小
	30	中	中	中	小	小	小	中	中	小	小	小	小	中	中	中	中	小	小	中	中	中	中	小	小
小部材	47.5	中	小	小	小	小	小	-	-	-	-	-	-	中	中	中	小	小	小	-	-	-	-	-	-
	38	小	小	小	小	小	小	-	-	-	-	-	-	中	中	中	小	小	小	-	-	-	-	-	-
	30	小	小	小	小	小	小	-	-	-	-	-	-	中	小	小	小	小	小	-	-	-	-	-	-

※1 コア強度の変動係数(%)が「10 ≤ 大」,「5 ≤ 中 < 10」,「小 < 5」

※2 標準養生供試体の圧縮強度の変動係数(%)とコア強度の変動係数(%)の差が「10 ≤ 大」,「5 ≤ 中 < 10」,「小 < 5」

材齢初期に材齢91日の標準養生供試体の圧縮強度に近づくためと考えられる。

### 3.5 部材の大きさがコア強度の変動に及ぼす影響

部材の大きさとコア強度の変動係数の関係を図-7に示す。コア強度の変動係数は、模擬柱部材>中部材>小部材となり、部材の大きさが小さくなるのに伴い低下する傾向を示した。これは、部材の大きさが小さい小部材の方が前述した温度<sup>3)</sup>、圧密<sup>2)</sup>および採取長さの影響が小さいためと考えられる。また、材齢の経過により、中部材と小部材のコア強度の変動係数の差が小さくなる傾向を示し、水セメント比に関わらず材齢91日のコア強度の変動係数は、ほぼ同等となった。これは、前述した材齢91日の標準養生供試体の圧縮強度に対する強度比が0.75以上となり、安定したことにより差が小さくなったと考えられる。これによりJASS 5T-605法に示されるような採取長さが1,000mm程度ある大きな部材からコア

供試体の採取を行う場合、ある程度材齢が経過してから行った方が標準養生供試体の圧縮強度と同様な変動係数となる傾向を示した。

### 3.6 強度レベルがコア強度に及ぼす影響

圧縮強度と標準養生供試体およびコア強度の変動係数の関係を図-8に示す。ばらつきはあるもののコア強度が大きくなるとコア強度の変動係数は、低下する傾向を示した。また、コア強度の変動係数は、水セメント比が小さい部材から採取した方が小さくなる傾向を示した。これは、前述した水和反応の影響と考えられる。さらに、小部材は、コア強度が大きいもので材齢91日の標準養生供試体の圧縮強度の0.75以上に達していないものであってもコア強度の変動係数は小さくなる傾向を示した。これにより、高強度コンクリートからコア供試体を採取する際は、前述した0.75以上に達した後の方が標準養生供試体と同程度の変動係数となる傾向を示した。

#### 4. まとめ

本実験結果から得られたコア強度に及ぼす影響として、採取の影響、水和熱、圧密および部材の部材大きさの影響などを含んだものであり、コア強度に及ぼす影響をまとめると表-5 のようになる。知見を以下に示す。

- (1) 模擬柱部材を除き、材齢 3 ～ 14 日のコア強度は、標準養生供試体の圧縮強度とほぼ同等となる傾向を示し、模擬柱部材における材齢 3 ～ 14 日の W/C=30% のコア強度は、標準養生供試体の圧縮強度に比べ大きくなる傾向を示した。
  - (2) 各材齢の標準養生供試体の圧縮強度に対する強度比は、材齢 3 ～ 28 日までは著しく低下する傾向を示した。
  - (3) コア強度の変動係数は、材齢の経過に伴い小さくなる傾向を示し、材齢 3 日～ 28 日でその低下する割合が最も顕著になる傾向を示した。
  - (4) コア強度の変動係数は、部材の大きさが大きいものから採取したコア供試体の方が大きく、材齢の経過により小さくなる傾向を示した。また、水セメント比が小さい部材から採取したコア強度の変動係数の方が小さくなる傾向を示した。
  - (5) コア強度の変動係数は、材齢 91 日の標準養生供試体の圧縮強度に対する強度比が 0.75 以上であれば部材大きさが比較的大きな模擬柱部材であってもコア強度の変動係数が 6% 以下となる傾向を示した。
- 今後は、コア供試体の水和反応の進行がコア強度のば

らつきに及ぼす影響についても検討を行う予定である。

#### 謝辞

本実験を行うにあたり、ものづくり大学 技能工芸学部建設技能工芸学科 森本和雅君をはじめ日本大学工学部建築学科中田研究室の学生より多大な協力を頂きました。ここに記して、深謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 鉄筋コンクリート工事 JASS 5, 2009.2
- 2) 大木崇輔・中田善久ほか：コア採取位置および採取方法の違いが高強度コンクリートのコア強度に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集 Vol.30 No.1, pp. 423-428, 2008.7
- 3) 杉山央・安田正雪：各種形状・断面厚を有する高強度コンクリート部材の温度履歴特性および強度特性に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集, pp.1-8, 2005.8
- 4) 戸祭邦之ほか：水和発熱による高温履歴を初期に受けた高強度コンクリートの強度発現とその管理についての一考察、日本建築学会構造系論文集, pp.1-10, 1993.3
- 5) 野口貴文・友澤史紀：高強度コンクリートの圧縮力学特性に及ぼす供試体寸法・形状の影響、日本建築学会構造系論文集 No.473, pp.19-28, 1995.7