

論文 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

大木崇輔^{*1}・中田善久^{*2}・大塚秀三^{*3}・毛見虎雄^{*4}

要旨: 本研究は、コア採取位置および採取方法の違いがコア強度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を用いた模擬柱部材から温度および採取高さの違いによるコア強度の検討を行い、さらに、採取方法の違いによるコア強度について検討を行った。その結果、コア強度は、中心線からの距離が同等であればほぼ同等になる傾向を示し、打込み面からの深さに比例して大きくなる傾向を示した。また、鉛直方向に採取したコア強度は、水平方向に比べ小さくなる傾向を示し、穿孔速度にあまり影響されない傾向を示した。しかし、穿孔角度が大きくなるとコア強度の標準偏差が大き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, 模擬柱試験体, JIS A 1107, コア採取方法

1. はじめに

近年、建築基準法第37条第二項に基づく建築材料の国土交通大臣の認定(以下、大臣認定と称する)を受けた高強度コンクリートの適用事例が増加¹⁾している。これに伴い、2005年に日本建築学会「高強度コンクリート施工指針(案)・同解説」²⁾が制定された。この、高強度コンクリートは、調合設計に用いる強度補正値を決定するために、JASS 5T-704-2005「コア供試体による構造体コンクリートの強度の推定方法(案)」(以下、JASS 5T-704法と称する)を行い、この結果を施工中の強度補正値として構造体コンクリート強度の推定に適用している。JASS 5T-704法は、比較的大きな模擬柱部材から採取したコア供試体を基に行うものであり、部材寸法が1000mmある部材からのコア採取は、比較的難しい作業といえる。また、コア採取は、JIS A 1107-2002により行わ

れるが、比較的小さい部材である通常の壁および床を対象としたコア採取方法であり、比較的大きな部材を対象としているJASS 5T-704法に適用したときに、採取方法などの影響があるか不明確な部分がある。

そこで、本研究は、コア採取方法の各種要因が模擬柱部材のコア強度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を用いた模擬柱部材内における温度履歴および採取高さの違いによるコア強度の検討を行い、さらに、採取方法の違いによるコア強度の検討を行ったものである。

2. 実験概要

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、温度および採取高さの違いによるコア強度を調べるために、中

表-1 検討項目および検討内容

| 検討項目 | | 検討内容 | 検討対象 |
|-------------------------|--|--|---|
| (1) 温度および採取高さの違いによるコア強度 | a) 中心線から同一距離におけるコア強度の検討 | 模擬柱部材において同一の温度履歴を受けたと想定できる箇所のコア強度の比較 | ・水平方向は、6-8,3-7,2-4,12-16,11-19,14-18の各A~Eまでの比較 ・鉛直方向は、1~19のA-D,B-Cのコア強度の比較 |
| | b) 部材内の中心部と端部におけるコア強度の検討 | 模擬柱部材において異なる温度履歴を受けたと想定できる箇所のコア強度の比較 | ・水平方向は、9-1,13-17のコア供試体を各々A~Eまで比較 ・鉛直方向は、1B-3A,4B-6A,7B-9A,11B-13A,14B-16A,17B-19A,1C-3D,4C-6D,7C-9D,11C-13D,14C-16D,17C-19Dの比較 |
| | c) 模擬柱部材内の深さ方向の違いによる箇所の見掛け密度およびコア強度の検討 | 模擬柱部材の深さ方向の違いによる箇所の見掛け密度およびコア強度の比較 | 打込み面からの深さ ・水平方向は、150,350,550,750,950(mm)の各位置 ・鉛直方向は、150,300,450,650,800,959(mm)の各位置 |
| (2) コア採取方法の違いによるコア強度 | d) コア供試体の直径の標準偏差の検討 | 異なる採取方向・採取速度において採取したコア供試体の標準偏差の比較 | — |
| | e) 採取方向の違いによるコア強度の検討 | 採取方向の違いとして、打込み方向に水平および鉛直方向から採取したコアの直径の標準偏差および強度の比較 | 打込み方向から深さが同一な距離における水平および鉛直のコア強度の比較 (例:水平方向1C-鉛直方向3D,水平方向1B-鉛直方向6D 水平方向1C-鉛直方向9D,水平方向1C-鉛直方向13D 水平方向1D-鉛直方向15D,水平方向1E-鉛直方向19D) |
| | f) コアドリルの穿孔速度の検討 | コアドリルの穿孔速度の違いによるコア供試体の直径の標準偏差およびコア強度の比較 | ・水平方向は、1-17,2-18,3-19,4-14,5-15,6-16,7-11,8-12,9-1の各々A~Eを1本ずつ比較 ・鉛直方向は、1-2,2-3,4-5,5-6,7-8,8-9,11-12,12-13,14-15,15-16,17-18,18-19各々A~Eを1本ずつ比較 |

*1 ものつくり大学大学院ものつくり学研究所ものつくり学専攻 大学院生 (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)

心線から同一距離におけるコア強度の検討、部材内の中心部と端部におけるコア強度の検討、模擬柱部材内の高さ方向の違いによるコア強度の検討を行い、コア採取方法の違いによるコア強度として、コア供試体の直径の標準偏差の検討、採取方向の違いによるコア強度の検討およびコアドリルの穿孔速度の検討を行った。

2.2 コア採取方法および試験方法

対象とした模擬柱部材について、採取方向ごとの高さ方向における各コア供試体の見掛け密度およびコア強度について調べた。見掛け密度は、質量を最小目盛

量0.1g台秤を用いて測定し、JIS A 1107により寸法を測定して体積を求め、これらの値から求めた。打込み面からの深さは、模擬柱試験体の上面よりコア供試体の中心深さの距離とした。また、鉛直方向の深さの検討は、1, 4, 7, 11, 14, 17におけるAとCのコア供試体を鉛直方向-中心とし、2, 5, 8, 12, 15, 18におけるBとCのコア供試体を鉛直方向-中間とし、さらに、3, 6, 9, 13, 16, 19におけるAとDのコア供試体を鉛直方向-端部としてコア強度の比較を行った。なお、模擬柱部材からのコア採取は、打込み方向に対し水平方向および鉛直方向とも、コアドリルが及ぼす影響を除外するために、鉛直方向からのコア採取をコアドリルの穿孔方向に対して下方になるように模擬柱部材を垂直に90°回転移動させて、供試体の採取を行った。穿孔角度は、採取開始面(上端部)と採取終了面(下端部)の採取位置を模擬柱試験体の芯から距離を測定し、その差からずれ穿孔角度(以下、穿孔角度と称する)を求めた。

2.3 模擬柱部材の概要

模擬柱部材の概要を図-1に示す。模擬柱部材は、実構造体の寸法形状を想定し、JASS 5T-704-2005に準じて、W:1000,D:1000,H:1100mmを各材齢ごとに1体作製した。ただし、コア採取を考慮して高さを1100mmとしている。また、模擬柱部材の上下に断熱材(スタイルフォーム)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、打込み時の余剰水の流失を防ぐために、入隅部分の全周に変成シリコン系シーリング剤を充填した。部材内の温度測定点として、a~i点は、試験体の中心線に配置し、j~o点は、中心の高さとし端部までの測定を行った。コンクリートの打込み・締固めは、実施工を想定して行い、3層に分けて打込み、各層を高周波バイブレータ(振動数:1,200~15,500Hz)を先端の挿入深さ300mmの位置に9箇所、10秒間挿入するものとした。型枠の脱型は、打込みから

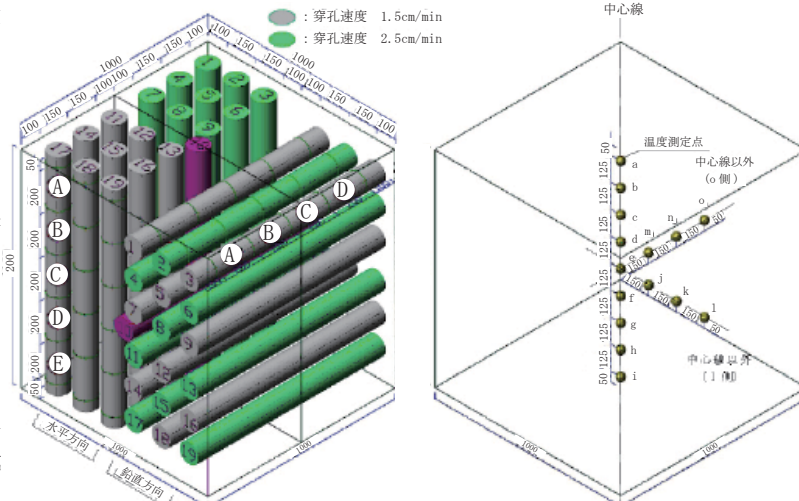


図-1 試験体の概要

表-2 コンクリートの調合

| セメントの種類による記号 | W/C (%) | s/a (%) | 目標スランプ(フロー)(cm) | 目標空気量 (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | Ad (c%) |
|--------------|---------|---------|-----------------|-----------|--------------------------|-----|-----|-----|---------|
| | | | | | W | C | S | G | |
| N | 45.0 | 49.0 | 21 | 4.5 | 175 | 389 | 838 | 887 | 0.90 |
| N | 31.0 | 48.0 | 60 | 4.5 | 170 | 549 | 773 | 851 | 1.40 |

表-3 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 100 | 15 | 2,400 | 470 | 3点式 |

48時間静置した後に行った。

2.4 コンクリートの使用材料と調合

コンクリートの調合を表-2に示す。使用材料としてセメントには、普通ポルトランドセメント(以下、Nと称する)を用い、全ての調合において高性能AE減水剤を用いた。また、水セメント比は、45%および31%(以下、N-45およびN-31と称する)の2水準とした。

2.5 コアドリルの仕様

コアドリルの仕様を表-3に示す。コア供試体の採取に使用したコアドリルは、単相100V、定格電流15A、最大主力2400V、主軸速度470rpmと一般的に構造体コンクリートからコア採取に用いるポータブル型を用いた。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、採取開始から終了までの穿孔速度を2.5cm/minおよび1.5cm/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、定格容量3kVAのハードトランスを併用し、コアドリルに安定した電流を供給できるように設定した。また、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。なお、本研究は、φ100×200(mm)の供試体(以下、コア供試体)を作製するために、切断前のコア供試体(以下、切断前コア供試体)を水平方向

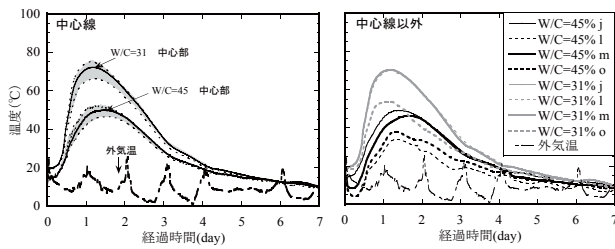


図-2 水セメント比ごとの模擬柱部材の温度履歴

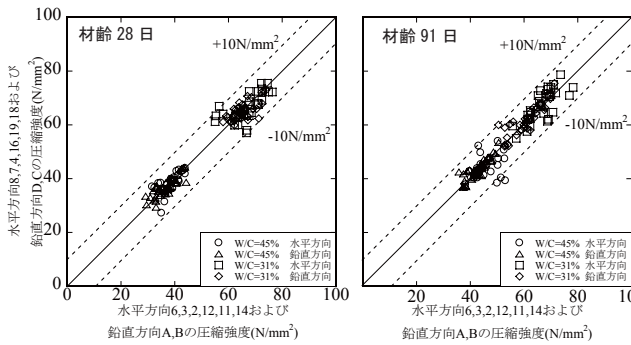


図-3 中心線から同一距離におけるコア強度の関係

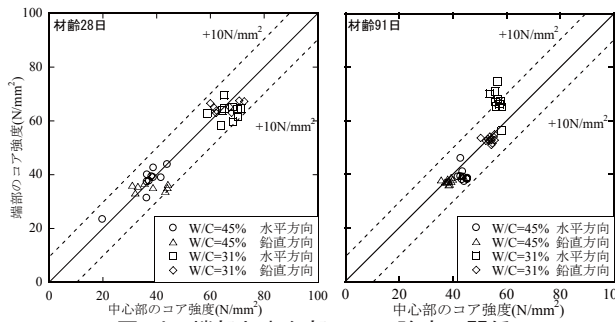


図-4 端部と中心部のコア強度の関係

は、端部を50(mm)ずつ排除し、均等に5本に切断した。鉛直方向は、両端部の50(mm)を排除し、4本に切断した。

3. 結果および考察

3.1 温度および採取高さの違いによるコア強度

(1) 中心線から同一距離におけるコア強度の検討

水セメント比ごとの模擬柱部材の温度履歴を図-2に示す。部材内における最高温度は、いずれの水セメント比とも中心部(e点)ではなくa点であり、W/C=31%で75.3℃、W/C=45%で64.2℃となり、部材の最上部の位置であった。これは、部材内の水和熱の上昇によるものと考えられる。また、若干の差は見られるものの端部(l,o点)で最も小さくなる傾向を示した。

中心線から同一距離のコア強度の関係を図-3に示す。中心線から同一距離のコア強度の関係は、水セメント比および材齢に関らず同等となる傾向を示した。

(2) 部材内の中心部と端部におけるコア強度の検討

部材内の中心部と端部のコア強度を図-4に示す。材齢28日の中心部と端部のコア強度は、いずれの水セメント比ともほぼ同等となる傾向を示した。また、材齢91日の中心部と端部のコア強度の関係は、中心部より端部

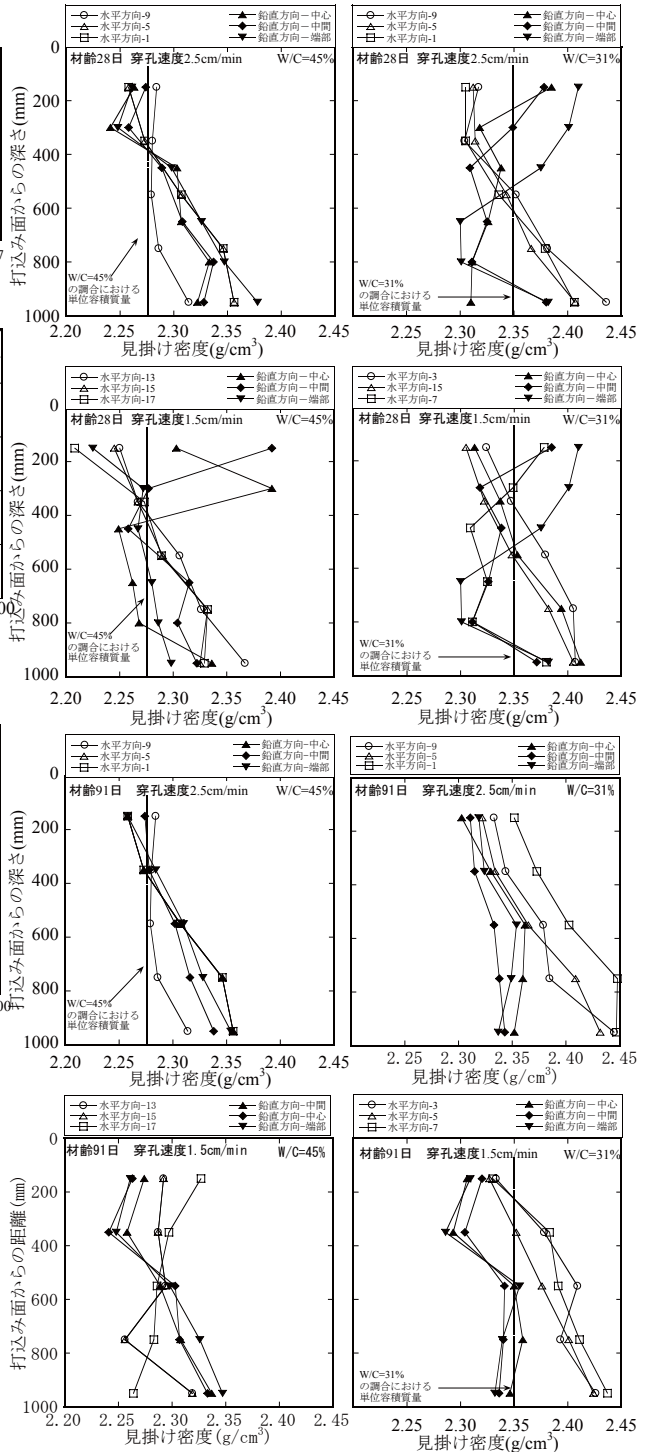


図-5 見掛け密度と打込み面からの深さの関係

の方が大きくなる傾向を示した。しかし、試験体の最高温度は、水セメント比に関らず、中心部において60℃以上であったことから、初期高温履歴を受けた部材と考えられる。一般的に、このような初期高温履歴の影響³⁾を受けた部材は、中心部より端部の方が、コア強度が大きくなるものもあり、今回の結果は、ばらつきの方が大きくなった。

(3) 模擬柱部材の深さ方向の違いによる見掛け密度の検討

見掛け密度と打込み面からの深さの関係を図-5に示

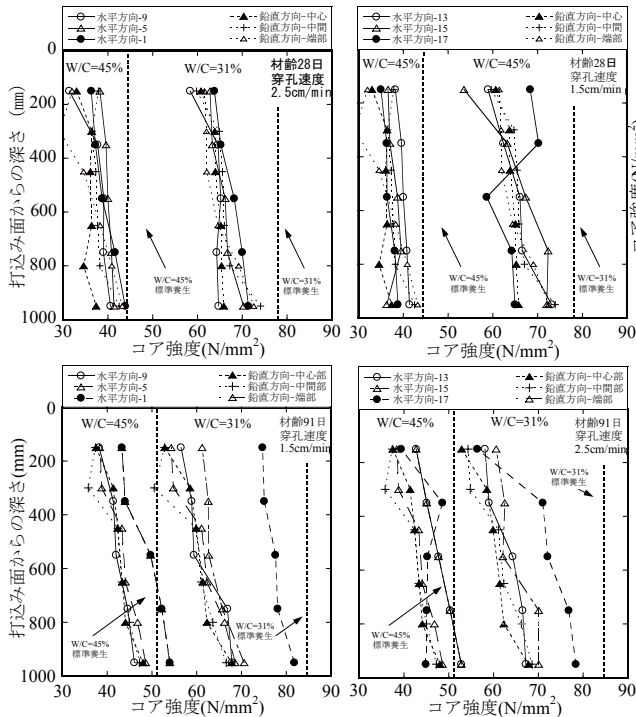


図-6 コア強度と打込み面からの深さの関係

す。図中には、各水セメント比ごとの調査における単位容積質量を示した。各水セメント比における見掛け密度は、材齢に関わらずばらつきはあるものの打ち込み面からの深さに比例して大きくなる傾向を示した。また、ばらつきはあるものの W/C=45% の部材は、上部において、調査における単位容積質量より小さくなり、部材の下部において大きくなる傾向を示し、W/C=31% では、調査における単位容積質量とほぼ同等となる傾向を示した。これは、部材の上部において、打込みおよび締固めによる影響により、部材の下部において実大に近い寸法効果を伴う圧密の影響^{4), 5)}が生じたと考えられる。また、打込み面からの深さによる見掛け密度の増加傾向は、コア採取方向の違いとして水平方向と鉛直方向に大きな差が見られず、その関係は、採取方向に関わらず最上部と最下部の見掛け密度の分布範囲が概ね W/C=45% で 0.1 ~ 0.12g/cm³ で W/C=31% でも 0.1 ~ 0.12g/cm³ となり、水セメント比の違いによる見掛け密度の増加傾向に差異はなかった。また、材齢の経過により見掛け密度の増加傾向は同様であった。

(4) 模擬柱部材の深さ方向の違いによるコア強度の検討

コア強度と打込み面からの深さの関係を図-6 に示す。図中に各水セメント比および材齢ごとの標準養生した供試体の圧縮強度を示し、各穿孔速度ごとのコア強度を比較した。コア強度と打込み面からの深さの関係は、打込み面からの深さが深くなるのに伴い、大きくなる傾向を示した。また、各水セメント比ごとの最上部と最下部のコア強度の差は、材齢 28 日の W/C=45% で 7N/mm² 程度、W/C=31% で 8N/mm² 程度、材齢 91 日の W/C=45% で

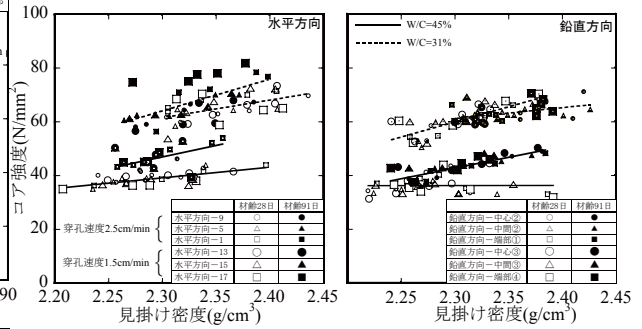


図-7 見掛け密度とコア強度の関係

13N/mm² 程度、W/C=31% で 15N/mm² 程度という結果となり、材齢の経過により大きくなる傾向を示した。さらに、各水セメント比ごとのコア強度の増加する傾向は、W/C=45% と W/C=31% でほぼ同等となった。また、穿孔速度の違いによるばらつきは、水セメント比および材齢に関わらず 1.5cm/min より 2.5cm/min の方が小さくなる傾向を示した。しかし、W/C=31% 程度の高強度コンクリートでは、圧密による影響は、見られないという報告⁶⁾もあるが、今回の実験結果は、最下部の方が大きくなる傾向を示した。

以上のことから、各水セメント比に関わらず高強度コンクリートの S 値などの強度補正値を求める場合、コア強度は、供試体の穿孔速度や圧密による影響などを考慮しなければならない可能性がある。今後、打込みの方法による影響も考えられるため、打込み間隔およびパイプレータの挿入時間などの打込みの影響について、検討する予定である。

見掛け密度とコア強度の関係を図-7 に示す。コア強度は、水セメント比、採取方向に関わらず見掛け密度の増加に伴い比例して大きくなる傾向が見られた。また、この見掛け密度とコア強度の関係は、鉛直方向の方が水平方向に比べばらつきが小さい傾向を示した。この原因として、採取方向の異方性として骨材下面におけるセメントペーストとの脆弱な部分が鉛直方向で試験載荷時に受けにくくなったため、ばらつきが小さくなったものと考えられる。さらに、材齢 28 日に比べ、材齢 91 日の方が、この関係の傾きは、大きくなる傾向を示した。これは、材齢の経過によりコア強度が増進したためと考えられる。

3.2 コア採取方法の違いによるコア強度

(1) コア供試体の直径の標準偏差の検討

成形後のコア供試体の直径の標準偏差の分布範囲を図-8 に示す。コア供試体の直径の標準偏差は、水セメント比、採取方向および材齢に関わらず 0.05 ~ 0.40(mm) の範囲に分布する傾向を示し、JIS A 1107 2002 における平均直径の 3% 以内を満足していた。また、直径の標準

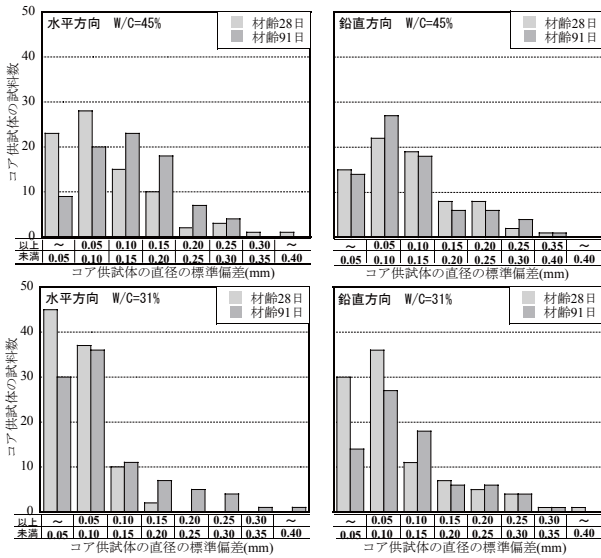


図-8 成型後のコア供試体の直径の標準偏差の分布

偏差が大きくなるほど、コア供試体の試料数は少なくなる傾向を示した。今回の実験においてコア供試体の採取方向が、コア供試体の直径に及ぼす影響が小さい結果であった。

(2) 採取方向の違いによるコア強度の検討

水平方向と鉛直方向の圧縮強度の関係を図-9に示す。材齢28日のコア強度は概ね $\pm 10\text{N/mm}^2$ の範囲に分布しており、いずれの水セメント比とも材齢28日の水平方向のコア強度は鉛直方向に比べ若干大きくなる傾向を示した。これは、従来から言われている普通コンクリートの粗骨材下地のブリーディングによる影響と考えられるが、今回のような高強度コンクリートの調合では、ブリーディングが少ないことから骨材下面におけるセメントペーストとの付着など脆弱な部分が影響しているものと考えられる。材齢91日における水平方向と鉛直方向によるコア強度は、ばらつきがあるものの材齢28日の結果と同様に鉛直方向のコア強度の方が小さくなる傾向を示した。しかし、梶田ら^{6),7)}は、高強度コンクリートを用いた場合、水平方向と鉛直方向に採取したコア強度の差が小さいとしている。この結果は、 $470 \times 470 \times 1300\text{mm}$ の試験体から鉛直方向に $\phi 100 \times 235\text{mm}$ のコア供試体を採取し水平方向に $\phi 100 \times 260\text{mm}$ のコア供試体を採取したもので、今回の実験より部材の断面寸法が小さいことやコア供試体の寸法の相違によるものと考えられる。

(3) コアドリルの穿孔速度の検討

コアドリルの穿孔速度 2.5cm/min のコア強度と 1.5cm/min のコア強度の関係を図-10に示す。材齢28日および91日ともに穿孔速度 2.5cm/min と 1.5cm/min のコア強度の関係は、いずれの水セメント比とも概ね $\pm 10\%$ 程度の範囲に分布し、ほぼ同等となる傾向を示した。さらに、この関係は、材齢28日に比べ材齢91日の方がばらつきが小さくなる傾向を示した。これは、材齢が経過してポ

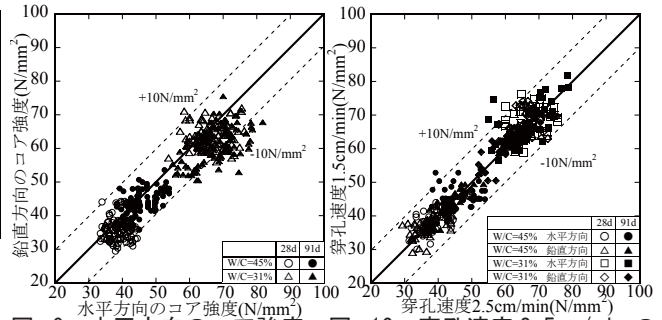


図-9 水平方向のコア強度と鉛直方向のコア強度の関係

図-10 穿孔速度 2.5cm/min の 1.5cm/min のコア強度の関係

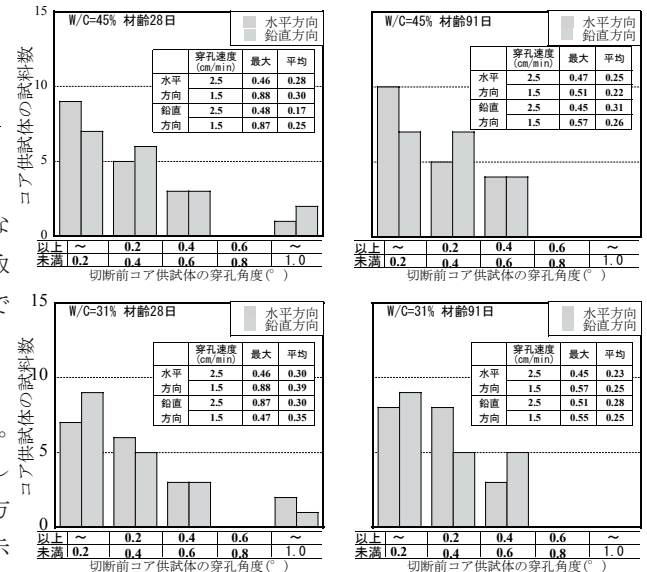


図-11 切断前のコア供試体の穿孔角度の分布

テンシャル強度に近くなると供試体内の均質度が高くなり、強度への影響が小さくなったためと考えられる。また、既往⁵⁾の研究では、穿孔速度が速くなると削孔トルクは増大し、コア供試体内の組織が破壊され、コア強度が低下するとされているが、これは、定置式のコアドリルを用いて、穿孔速度 $3 \sim 15\text{cm/min}$ までの検討を行ったものである。現在、市販されているポータブルタイプのコアドリルは、最速穿孔速度が 3cm/min であり、この穿孔速度程度であれば高強度コンクリートのコア強度低下に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

(4) コアドリルの採取方向が穿孔角度に及ぼす影響

各水セメント比ごとの切断前コア供試体の穿孔角度の分布を図-11に示す。各水セメント比ごとの穿孔角度の分布範囲は、水セメント比の違いにより大きな差は見られなかった。しかし、穿孔速度の違いにより、穿孔角度に差が見られ、穿孔速度が遅い方が穿孔角度のばらつきが大きくなる傾向を示した。これにより、穿孔速度の違いがコア強度の低下に及ぼす影響は小さいものの、穿孔速度が速い場合よりも遅い場合の方がこのばらつきに及ぼす影響が見られた。さらに、材齢の経過により、穿孔角度の分布範囲は、 0.6 未満と小さくなる傾向を示し、このばらつきも小さくなる傾向を示した。これは、前述

したポテンシャル強度に近似したためと考えられる。

穿孔角度とコア強度の標準偏差の関係を図-12に示す。なお、図中のコア強度の標準偏差は模擬柱部材内の温度の影響を除外せず求めたものであり、穿孔角度0.8°以上は試料数が少ないことから除外した。水平方向におけるコア強度の標準偏差は、W/C=45%よりW/C=31%の方が大きくなる傾向を示し、コア強度の標準偏差は、穿孔角度が大きくなると増加する傾向を示した。さらに、水平方向の概ねD～Eの位置すなわち打込み面からの深さが深くなるとコア強度の標準偏差は、大きくなる傾向を示した。これは、前述した圧密による影響も考えられるが、コアドリルにより穿孔する際に、採取開始側よりも採取終了側の方が、穿孔のときにビットが弱い部分に逃げていくため強度のばらつきに影響を及ぼしたためと考えられる。

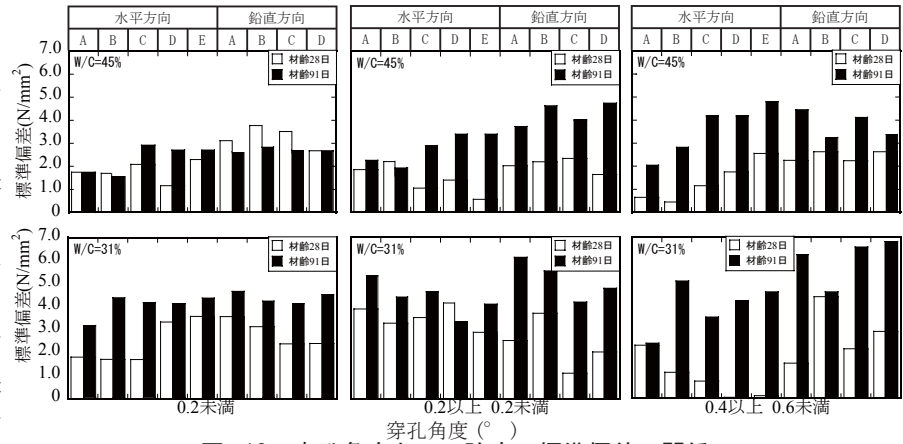


図-12 穿孔角度とコア強度の標準偏差の関係

表-4 各種要因がコア強度に及ぼす影響

| 採取深さ | 採取方向 | 穿孔速度 | 穿孔角度 |
|------|------|------|------|
| 大 | 中 | 小 | 中 |

て解析を行う予定である。さらに、打込み方法などの施工方法の違いがコア強度に及ぼす影響も検討する必要がある。

謝辞

本実験を行うにあたり、日本大学理工学部建築学科中田研究室の高橋和哉君をはじめ、ものづくり大学建設技能工芸学科澤本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) 中田善久・大塚秀三：高強度コンクリートの施工技術の現状－性能評価書に必要となる実験－，建築技術 No. 686 pp.106-111, 2007. 3
- 2) 日本建築学会：高強度コンクリート施工指針(案)・同解説, 2005.1
- 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, No.594, pp.1-8 2005.8,
- 4) 平賀友晃・毛見虎雄他：比較的マッシュなコンクリートの構造物の強度分布その1～その5, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.227-232 pp.161-165, 1978.9-1979.9
- 5) 平賀友晃：鉄筋コンクリート部材の切断加工技術と建築現場への適用に関する研究，戸田建設技術開発センター研究報告昭和 58 年増刊号, pp41-42, 1983. 7
- 6) 榊田佳寛・友澤史紀他：高強度コンクリートを用いた部材における構造体コンクリート強度の評価に関する実験，日本建築学会構造系論文集 No.473, pp.11-18 1995.7
- 7) 榊田佳寛・佐藤幸恵他：高強度コンクリートの構造体内での強度発現性と調合強度，日本建築学会構造系論文集 No.537, pp.13-20, 2000.11

4. まとめ

本実験結果からコア採取位置およびコア採取方法がコア強度に及ぼす影響をまとめると表-4のようになる。このことより以下の知見が得られた。

- (1) 中心線から同一の距離におけるコア強度は、距離が同等であれば小さいものと考えられ、材齢に関らずほぼ同等となる傾向を示した。
- (2) 部材内の中心部と端部におけるコア強度は、材齢28日において同等となる傾向を示し、材齢の経過により中心部の方が大きくなる傾向を示した。
- (3) 模擬柱部材内の深さ方向の違いによるコア強度は、打込み面からの深さに比例して大きくなる傾向を示した。
- (4) 採取方向の違いによるコア強度は、水平方向の方が鉛直方向より大きくなる傾向を示した。
- (5) コアドリルの穿孔速度は、2.5cm/min以下であれば、高強度コンクリートのコア強度および穿孔角度に及ぼす影響が小さいことを示した。
- (6) 各穿孔角度ごとのコア強度の標準偏差は、W/C=31%よりW/C=45%の方が増加する傾向を示し、穿孔角度が大きくなるとコア強度の標準偏差が増加する傾向を示した。

今後は、模擬柱部材内における温度履歴をさらに詳細に測定し、模擬柱部材の上部および下部など温度分布を明らかにする予定である。また、コア採取における水平方向と鉛直方向の採取高さを修正し、比較位置を合わせ