

コア採取がコンクリート強度試験結果に与える影響

Influence of Core-sampling on Results of Compressive Strength Tests

蓮尾 孝一 KOICHI HASUO

松田 拓 TAKU MASTUDA

建築技術部 加納 嘉 YOSHIMI KANO

建築技術部 河上 浩司 HIROSHI KAWAKAMI

コア供試体の状態が圧縮強度試験結果に与える影響を把握するため、温度履歴など養生の差異による影響をできるだけ排除した方法によって供試体を作製し、コア採取、端面処理、供試体サイズ等が圧縮強度に与える影響について実験により確認した。その結果、コア供試体強度は鋼製型枠供試体強度より低く、コンクリート強度が小さいものほどその傾向が大きいこと、供試体の縦横比の影響については、JISの補正よりやや大きいこと、供試体側面凹凸差が0.6~0.8mm以上になるとコア強度がやや小さくなる傾向にあることが分かった。

キーワード：高強度コンクリート、構造体強度、品質管理、コア強度

We studied the influence of core specimen condition on results of compressive strengths by compressive tests. The followings was a result. The compressive strength of core specimen is lower than that of standard water curing specimen. The core specimen having irregularities of side surface of more than 0.6-0.8mm has lower compressive strength than core specimen having lower irregularities of side surface.

Key Words: High-strength Concrete, Strength of Concrete in Structure, Quality Control, Strength of Core Specimen

1. はじめに

コンクリートの圧縮強度の管理手法として、あらかじめ構造体コンクリートと管理用供試体の差を確認し、コンクリートの調合や強度の可否を判定する方法が用いられている。特に高強度コンクリート分野では、「建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事」1997年版より、調合計画において管理用供試体強度と構造体コンクリート強度の差 (mS_n) を設定することとされた。 mS_n を設定するには、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」により実際の部材を模擬した試験体によりコアボーリングにて圧縮強度試験用の供試体を採取して、構造体コンクリート強度を確認するのが一般的である。これは部材中のコンクリートは、通常の圧縮強度試験の供試体作製で使用する鋼製型枠で養生したコンクリートとは、水和発熱による温度履歴や内部への水分供給状況、骨材分布状況などの違いが生じ、圧縮強度に影響するためである。しかしコアボーリングによる供試体作製は、それ以外にも試験

結果に影響する可能性がある。コア供試体は、コンクリートを切削して作製するため骨材も同時に切削し、供試体表面に骨材の切削面が露出するなど型枠による成型と異なる状態となる。また供試体の側面も切削時のコアビットの揺動により凹凸が生じる。この側面凹凸は、コア供試体の両端面を研磨する際にその面平行度の精度にも影響するなど、型枠で作製した供試体と異なる特性がある。

実際の建物の部材中のコンクリートの圧縮強度を求める目的でコアボーリングによる供試体採取をする場合、部材の大きさや部材の鉄筋を切断しない等の制限により、採取できるコア供試体が JIS A 1132 に定められた最小直径（粗骨材の最大寸法の3倍）より小さくなる場合もあり、圧縮強度試験結果への影響が考えられる¹⁾²⁾。また供試体の縦横比が圧縮強度に与える影響についても、高強度域のコンクリートは普通強度域とは異なる傾向にあるとの指摘もある³⁾。

これらコア供試体の特性が圧縮強度試験結果に与える影響を把握するため、今回の実験では、温度履歴など養生

表-1 要因と水準

| 要因 | 水準 |
|------------------------------|---|
| 想定設計基準強度(N/mm ²) | 30, 60, 100, 150 |
| 成型方法 | 鋼製型枠, コア採取 |
| コアボーリング機 | ・コンクリート用 ・岩石用(63mmφの一部) |
| 供試体直径 | 50, 100mm(鋼製型枠) 43, 63, 100mm(コア採取) |
| 供試体縦横比(H/D) | 2.0(鋼製型枠) 1.5, 1.75, 2.0(コア採取) |
| 端面処理 | 通常研磨 通常研磨+キャッピング 精密研磨(63mmφの一部) |
| 傾斜 | 水平:0, 0.25, 0.5° 垂直:0, 0.25, -0.25, 0.5° |

表-2 試験体種類

| 採取方法 | 寸法(mm) | 端面処理 |
|------|------------------------|------------------------|
| 鋼製型枠 | 50φ × 100(H/D=2.0) | 通常研磨 |
| | 100φ × 200(H/D=2.0) | |
| コア | 43φ × 86(H/D=2.0) | 通常研磨 キャッピング 精密研磨 |
| | 63φ × 126(H/D=2.0) | |
| | 63φ × 110.25(H/D=1.75) | |
| | 63φ × 94.5(H/D=1.5) | |
| | 100φ × 200(H/D=2.0) | |

表-3 調合

| No | W/B (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | | |
|----|---------|-------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | セメント | 水 | 細骨材 1 | 細骨材 2 | 粗骨材 1 | 粗骨材 2 | 混和剤 |
| 1 | 59.4 | 309 | 183 | 580 | 249 | 567 | 378 | 3.09 |
| 2 | 37.6 | 466 | 175 | 619 | 155 | 947 | - | 5.36 |
| 3 | 24.3 | 700 | 170 | 508 | 127 | 914 | - | 13.65 |
| 4 | 18.0 | 834 | 150 | 679 | - | 842 | - | 15.01 |

生の差異による影響をできるだけ排除した方法によって供試体を作製し、コア採取、端面処理、供試体サイズ等が圧縮強度に与える影響について確認した。

2. 実験

(1) 実験要因・水準

今回の実験では、普通強度から超高強度領域までのコンクリートを検討の対象として、コンクリートの設計基準強度 (Fc)30,60,100,150N/mm² を想定した4種類のコンクリートについて確認した。表-1に供試体の要因と水準、表-2に試験体の種類を示す。コア供試体は直径43, 63, 100mmで縦横比 (H/D) は 2.0 とし、また縦横比の影響を確認する目的で、直径 63mm では H/D が 1.75(H=110.25mm)、および1.5(H=94.5mm)の供試体も作製した。コア供試体を作製するコアボーリング機は、一般的なコンクリート用ボーリング機を使用した。また直径 63mm のコア供試体では、より平滑な切断面が可能な岩石用ボーリング機を用いたものも作製した。なお切削はいずれも鉛直方向である。

各供試体の両端面処理として、一般的なコンクリート用端面研磨機 (写真-1) による研磨をしたもの (通常研磨)、通常研磨後に高強度モルタルでキャッピングしたもの (写真-2) である。また岩石用ボーリング機で作製

表-4 使用材料

| 材料 | 調合No | |
|------|--------------------|----------------|
| | No.1~3 | No.4 |
| 結合材 | 普通ポルトランド | 低熱+早強+シリカフューム |
| 細骨材1 | 陸砂(茨城県産) | フェロニッケルスラグ砕砂 |
| 細骨材2 | 砕砂(栃木県産) | - |
| 粗骨材1 | 碎石2005(栃木県産) | 硬質砂岩碎石6号(茨城県産) |
| 粗骨材2 | 碎石2005(茨城県産) | - |
| 混和剤 | AE減水剤(調合No.1) | 高性能減水剤 |
| | 高性能AE減水剤(調合No.2,3) | |



写真-1 コンクリート用端面研磨機

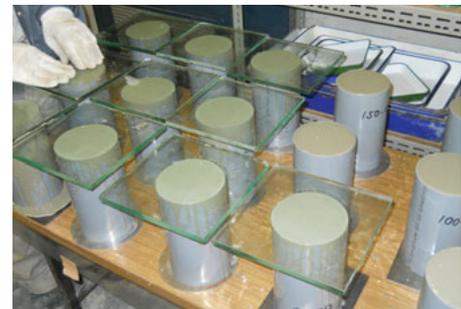


写真-2 キャッピング状況

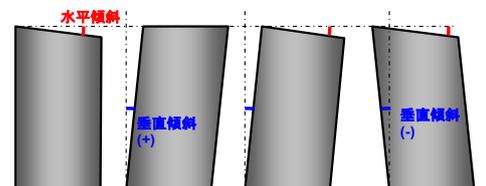


図-1 供試体傾斜

した供試体は、鏡面に近い仕上がりとなる研磨機 (精密研磨) を使用した。キャッピングモルタルの圧縮試験時の強度は、143N/mm² であった。想定 Fc60,100 のコア供試体では、供試体の傾きが圧縮試験に与える影響を確認する目的で、図-1に示す様に水平方向、および垂直方向に任意に傾斜をつけたものも作製した。

コンクリートの調合および使用した材料を表-3および表-4に示す。材料・調合は、想定 Fc 30 ~ 150N/mm² に適合するよう、コンクリートの圧縮強度の範囲が40~180N/mm² になるように計画した。表-3中の調合No.1~3のコンクリートは生コンプラントによるレディミクストコンクリート、調合No.4のコンクリートは容量100ℓの強制二軸ミキサーで製造した。なお調合No.4の結合材は、低熱ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、およびシリカフュームを質量比 (7:1:2) で混合した

表-5 フレッシュコンクリート試験結果

| No | スラフ (cm) | スラフフロー (cm) | 空気量 (%) | フロー時間(sec) | | コンクリート 温度 | 気温 (°C) |
|----|-------------|----------------|------------|------------|------|--------------|------------|
| | | | | 50cm | 停止 | | |
| 1 | 19 | - | 5.7 | - | - | 14.0 | 10.0 |
| 2 | 22 | - | 1.9 | - | - | 16.5 | 14.0 |
| 3 | - | 52.5×51.5 | 1.4 | - | 26.2 | 18.0 | 14.0 |
| 4 | - | 63.0×65.0 | 1.8 | 6.2 | 64.2 | 19.0 | 16.0 |

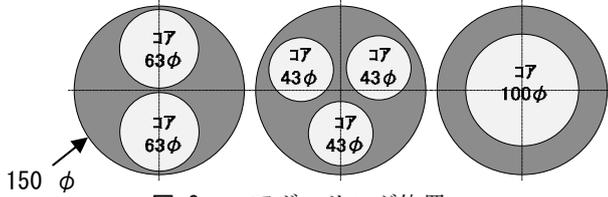


図-2 コアボーリング位置

表-6 水平傾斜測定結果 (°)

| | | 設定 | | |
|----|------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 0.25 | 0.5 |
| 測定 | 平均 | 0.10 | 0.33 | 0.60 |
| | 最小 | 0.01 | 0.22 | 0.45 |
| | 最大 | 0.25 | 0.45 | 0.80 |
| | 標準偏差 | 0.053 | 0.057 | 0.087 |

表-7 垂直傾斜測定結果 (°)

| | | 設定 | | | |
|----|------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0 | 0.25 | 0.5 | -0.25 |
| 測定 | 平均 | 0.09 | 0.35 | 0.65 | -0.32 |
| | 最小 | 0.02 | 0.29 | 0.53 | -0.39 |
| | 最大 | 0.20 | 0.44 | 0.81 | -0.25 |
| | 標準偏差 | 0.044 | 0.053 | 0.084 | 0.053 |

もの、粗骨材(硬質砂岩砕石6号)は砕石1305相当品である。

表-5にフレッシュコンクリート試験結果を示す。コンクリートは直径50×高さ100mmおよび直径100×高さ200mmの鋼製型枠、直径150×高さ300mmの簡易型枠に採取し、打設後翌日まで約20°Cの室内封かん養生、その後20°Cの水中で養生した。コア供試体は、簡易型枠で採取した供試体より、図-2に示す位置でコアボーリング機により採取した。採取時期は材齢22~32日である。コア採取後は、速やかに再度20°Cの水中で養生した。これにより鋼製型枠で作製した供試体とコア供試体の養生条件はほぼ同一になる。

圧縮強度試験は、同一調合のコンクリートはすべて同一材齢で実施した(調合No.1,3:材齢63日, 調合No.2,4:材齢57日)。試験体数は、鋼製型枠のものは3体/水準, コア採取のものは5体/水準である。

(2) 供試体形状精度

表-6に水平傾斜測定結果, および表-7に垂直傾斜測定結果を示す。傾斜はデジタルプロトラクタ(分解能±0.05°)により測定した。図-3に水平傾斜と相対度数の関係を示す。これらにより傾斜の測定値は設定値より若干大きいものの, それぞれはほぼ正規分布状態にある。

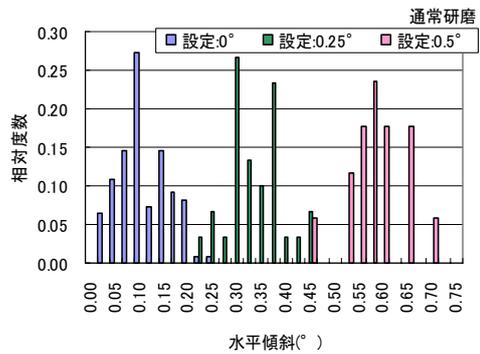


図-3 水平傾斜と頻度比率

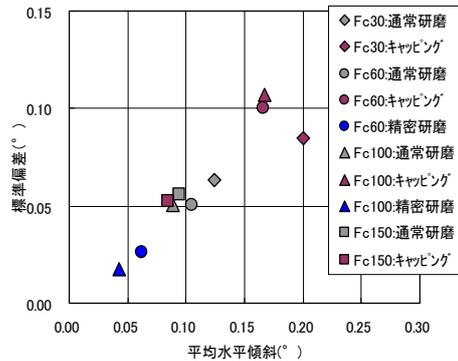


図-4 水平傾斜

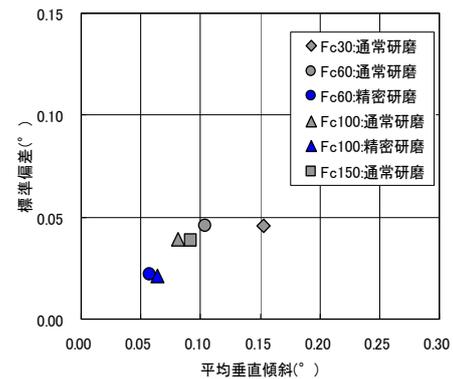


図-5 垂直傾斜

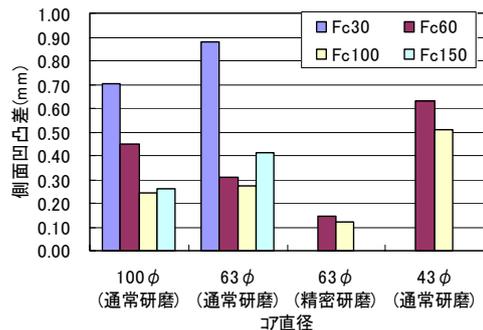


図-6 側面凹凸

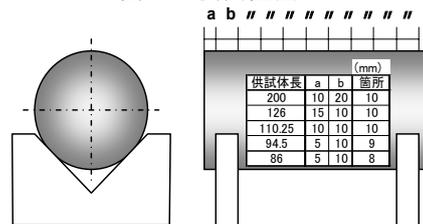


図-7 供試体傾斜の測定方法

表-8 圧縮強度試験結果(100φ)

| No | 想定Fc (N/mm ²) | 圧縮強度(N/mm ²) | | | |
|----|------------------------------|--------------------------|------|------|------|
| | | 鋼製型枠 | | コア | |
| | | 平均 | 平均 | 平均 | 平均 |
| 1 | 30 | 36.7 | 37.3 | 33.7 | 32.1 |
| | | 31.7 | | | |
| | | 36.8 | | | |
| | | 31.9 | | | |
| | | 32.4 | | | |
| 2 | 60 | 78.6 | 83.4 | 78.5 | 77.7 |
| | | 78.5 | | | |
| | | 81.9 | | | |
| | | 78.1 | | | |
| | | 78.3 | | | |
| 3 | 100 | 116 | 121 | 116 | 120 |
| | | 124 | | | |
| | | 120 | | | |
| | | 121 | | | |
| | | 123 | | | |
| 4 | 150 | 186 | 186 | 186 | 185 |
| | | 185 | | | |
| | | 183 | | | |
| | | 186 | | | |
| | | 185 | | | |

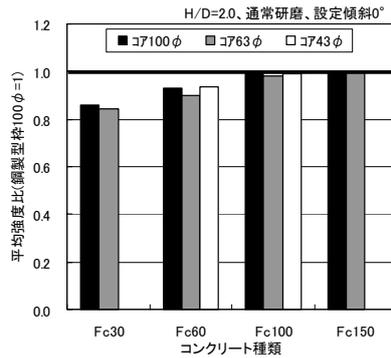


図-8 コア強度

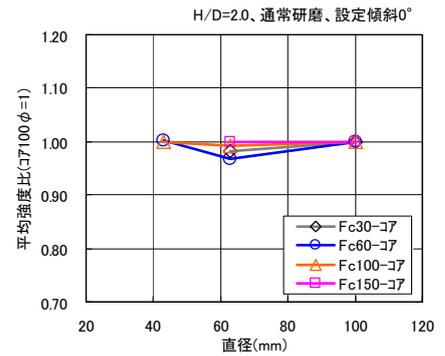


図-9 コア強度と直径の関係

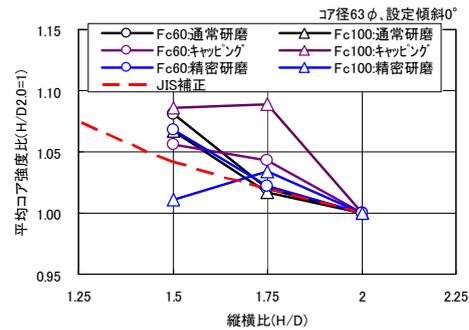


図-10 コア強度と縦横比の関係

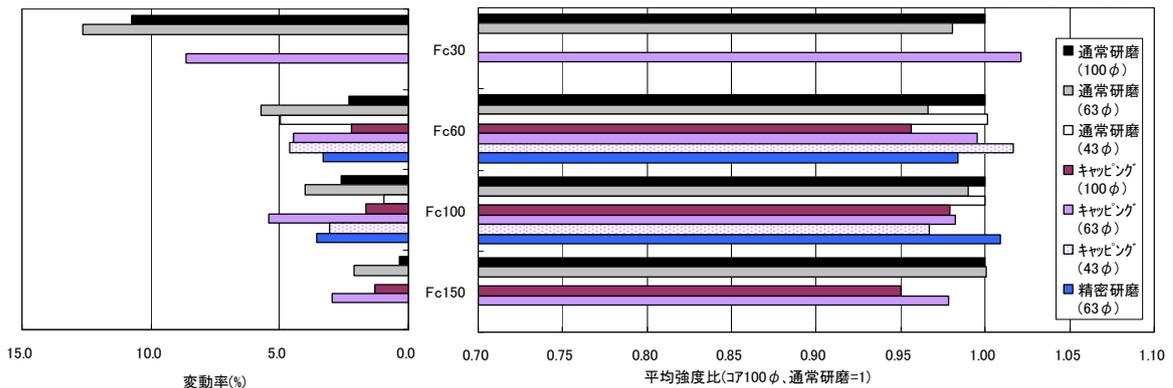


図-11 コア強度と端面処理の関係

各コンクリートのコア供試体で、水平傾斜を0°と設定したものの、水平傾斜の平均値(n=5)と標準偏差の関係を図-4示す。図中のキャッピング供試体はキャッピング後の測定値である。平均水平傾斜は、精密研磨<通常研磨<キャッピングで、標準偏差も同様である。コンクリートの比較では、想定Fc30のものが他よりやや平均水平傾斜が大きい。図-5に垂直傾斜を0°と設定したものの、垂直傾斜の平均値(n=5)と標準偏差の関係を示す。平均垂直傾斜は、精密研磨<通常研磨で大きくなり、標準偏差も同様である。コンクリートの比較では、想定Fc30のものが他よりやや平均垂直傾斜が大きい。図-6にコア供試体の側面凹凸状況を示す。図中の縦軸は、各供試体の側面を図-7に示す方法で測定し、その測定値の最大と最小の差(側面凹凸差)の平均値(n=5)である。想定Fc30のものが他より凹凸が大きい傾向にあ

る。また岩石用ボーリング機を用いた精密研磨コア供試体は、凹凸が小さく成型精度が高い。

(3) 圧縮強度

表-8に、供試体直径100mmの圧縮強度試験結果を示す。鋼製型枠で作製した供試体の圧縮強度は、想定Fc30で37.3N/mm²、想定Fc60で83.4N/mm²、想定Fc100で121N/mm²、想定Fc150で186N/mm²であった。また、図-8にコア供試体(H/D=2, 通常研磨, 設定傾斜0°)の平均圧縮強度と、鋼製型枠供試体(100φ, H/D=2)の平均圧縮強度との比を示す。いずれの場合でも平均強度比は1未満であり、同じコンクリートの鋼製型枠供試体強度より低い値である。またコンクリートの圧縮強度が低いほど、その傾向が大きくなった。図-9にコア供試体での平均強度比と直径の関係を示す。図中の縦軸は、直径

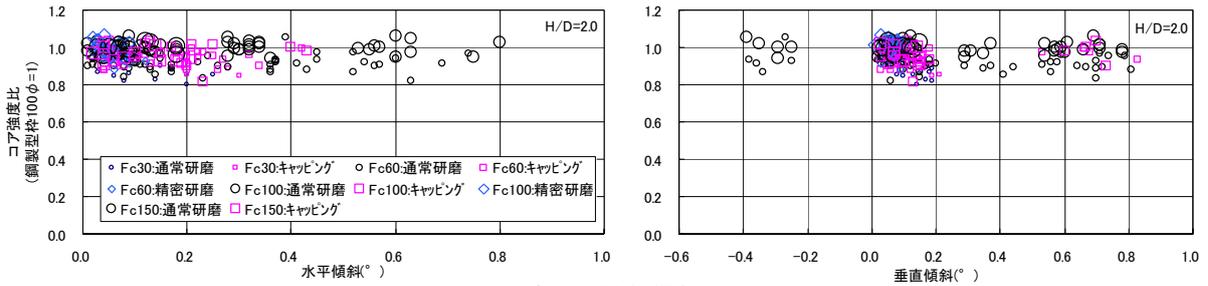


図-12 コア強度と供試体傾斜の関係

100mmのコア強度を1とした比である。若干のばらつきはあるが、コア直径によるコア強度に顕著な差異はなかった。

図-10に想定Fc60, 100のコンクリートのコア強度とコア縦横比の関係を示す。図中の縦軸は、縦横比(H/D)が2.0のコア強度を1とした比である。また図中の赤破線は、JIS A 1107に規定された補正係数により算定したものである。JISの補正係数は40N/mm²以下のコンクリートを適用範囲としている。今回の実験のコンクリートはそれ以上の高強度域であり、縦横比の影響はJISの補正よりやや大きいものとなっている。

図-11に各端面処理による平均コア強度比(右側)とその変動率(左側)を示す。ここでのコア強度比は、直径100mm、通常研磨のコア強度を1とした比で表している。また変動率は、コア強度の標準偏差を平均値で除した値である。全体的には、コンクリート強度が高くなるにしたがい、変動率は小さくなった。想定Fc30では通常研磨よりキャッピングのほうがやや強度も高く、変動率も小さい。想定Fc60ではほぼ同等であるが、それ以上の高強度では通常研磨よりキャッピングのほうがやや強度が低く、変動率も大きくなる。一方精密研磨は想定Fc100で強度比が他より大きく、同じ直径(63mm)での比較では、変動率が小さい傾向にある。

図-12にコア強度比と供試体傾斜の関係を示す。左図が水平傾斜、右図が垂直傾斜との関係である。図中の縦軸は、直径100mmの鋼製型枠供試体平均強度を1とし、各コア供試体1体ずつの結果をプロットしている。各強度および端面処理に関わらず、今回の実験範囲では傾斜角度と圧縮強度に顕著な関係は見られない。

図-13にコア強度と供試体側面凹凸差の関係を示す。縦軸およびプロットは図-12と同様である。コア供試体の側面凹凸差が0.6~0.8mm以上になると、コア強度がやや小さくなる傾向にある。

3. 考察

(1) 供試体形状精度

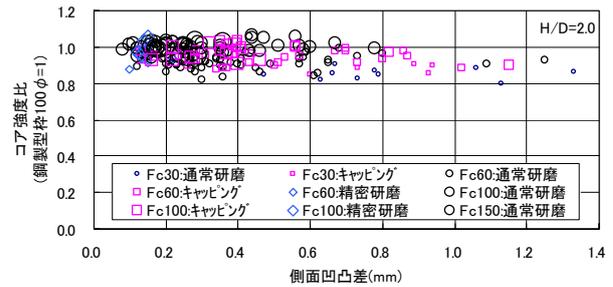


図-13 コア強度と供試体側面凹凸差の関係

実験結果よりコア供試体の成型精度をまとめると、圧縮強度が低い供試体が水平・垂直、および側面ともに精度が低い傾向にある。この理由としては、低強度のコンクリートはモルタル強度が低く、粗骨材強度とモルタル強度の強度差が大きいことが考えられる。すなわちコンクリート構成材料の強度不均一性が大きいので、ボーリング機でコンクリートを切削する際にビットが揺動し、側面の凹凸が大きくなったものと考えられる。またその結果、供試体側面を基準として端面の角度精度を確保する方式による端面研磨では、供試体の両端面の平行性のばらつきも大きくなり、水平精度や垂直精度にも影響していると考えられる。岩石用ボーリングと精密研磨機を用いたコア供試体は、通常の機器を用いたものより水平・垂直傾斜、側面凹凸が小さく成型精度が高い。

(2) 圧縮強度

以下に供試体サイズ・精度と圧縮強度の関係をまとめる。いずれも本実験の条件範囲での結果である。

- ① 縦横比が2.0のコア供試体の平均圧縮強度は、同じコンクリートの直径100mm鋼製型枠の供試体と比較して低くなった。また、コンクリート強度が小さいものがその傾向が大きい。
- ② 供試体の縦横比の影響については、縦横比が小さくなるにつれて、圧縮強度が大きくなった。またその傾向は、JIS A 1107に規定された補正よりもやや大きい。
- ③ 供試体直径の影響はほとんどない。

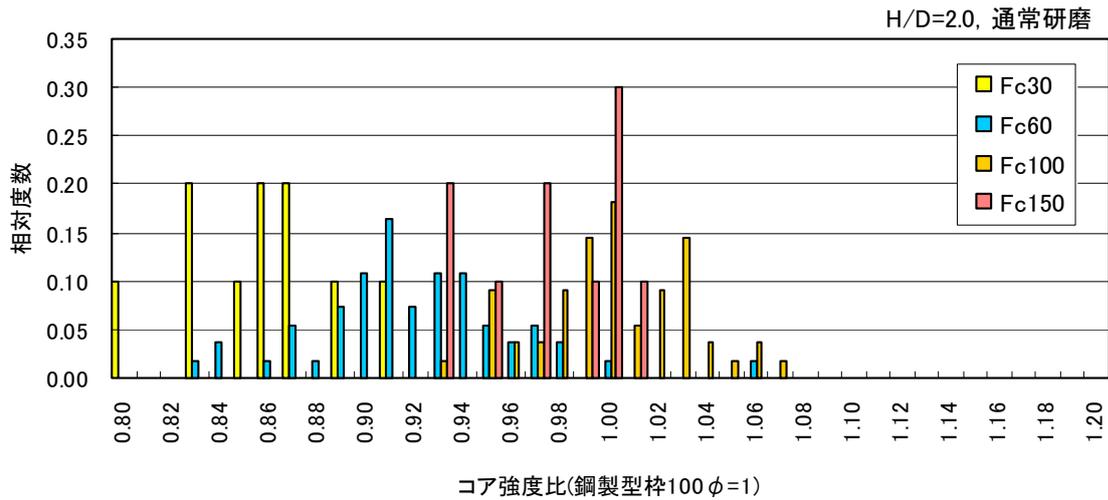


図-14 コア強度比の頻度

- ④ 端面処理の影響は、想定Fc30では通常研磨よりキャッピングのほうがやや強度も高く、変動率も小さい。想定Fc60ではほぼ同等であるが、それ以上の高強度では通常研磨よりキャッピングのほうがやや強度が低く、変動率も大きくなる。一方精密研磨は想定Fc100で強度比が他より大きく、同じ直径(63mm)での比較では、変動率が小さい傾向にある。
- ⑤ 供試体傾斜では、水平および垂直傾斜の影響はなかった。
- ⑥ 供試体側面精度の、凹凸差が0.6～0.8mm以上になると、コア強度がやや小さくなる傾向にある。

以上の検討により、本実験範囲において供試体の直径や水平・垂直傾斜は、コア強度に対してあまり影響しないと考えられる。そこで、コア採取が圧縮強度試験結果に及ぼす影響について考察する。図-14は、縦横比

2.0, 通常研磨のコア供試体のコア強度と直径100mm鋼製型枠供試体圧縮強度の相対度数を示す。また表-9はその平均、標準偏差などを示している。図-14では頻度は左側に分布しており、コアの圧縮強度が直径100mm鋼製型枠供試体圧縮強度より小さい傾向がある。この傾向は圧縮強度が小さいほど顕著になり、想定Fc30ではコア強度が鋼製型枠供試体強度より平均で約15%小さく、想定Fc60では約9%小さい。これを表-8の圧縮強度結果より強度差を算定すると、想定Fc30で約5.6N/mm², 想定Fc60で約7.5N/mm²となる。

4. まとめ

今回、温度履歴など養生の差異による影響をできるだけ排除した方法によってコア採取、端面処理、供試体サイズ等が圧縮強度に与える影響について実験により確認

表-9 コア強度比

| 想定Fc (N/mm ²) | 個数 | コア強度比 | | | | |
|------------------------------|----|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | 平均 | 最小 | 最大 | 標準偏差 | 変動率(%) |
| 30 | 10 | 0.851 | 0.797 | 0.903 | 0.031 | 3.64 |
| 60 | 55 | 0.915 | 0.822 | 1.054 | 0.041 | 4.44 |
| 100 | 55 | 0.996 | 0.924 | 1.062 | 0.031 | 3.10 |
| 150 | 10 | 0.969 | 0.924 | 1.000 | 0.030 | 3.10 |

した。その結果、構造体コンクリート強度を求める際に、一般的に行われているコア供試体による試験は、コア採取作業そのものが圧縮強度試験結果に影響を与えている可能性を把握した。またこれはコンクリートの強度、およびそれによりコア供試体の側面精度などが関連していることも確認した。

ただし今回の実験では各水準の供試体個数が少ないので、ばらつきなどをより確実に把握するには供試体個数を増やす必要がある。またコア供試体の側面凹凸についても、使用材料(特に粗骨材)、ボーリング機器の種類や作業条件との比較も必要と考えられる。

参考文献

- 1) 大池 武, 川口 徹: 直径の異なるコア供試体の圧縮強度試験の信頼性に関する検討, 日本建築学会学術講演概要集, pp353-354, 2001.9
- 2) 鈴木 英之ほか: 寸法の異なるコアの強度およびヤング係数(その1.超高強度コンクリートのコア試験結果), 日本建築学会学術講演概要集, pp1255-1256, 2007.8
- 3) 金久保ほか: 高強度コンクリートの強度に及ぼす供試体寸法の影響に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, vol.25, No.1, pp395-400, 2003