報告　コア採取がコンクリート強度試験結果に与える影響

蓮尾　孝一[*1]・松田　拓[*2]

要旨：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，供試体寸法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

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合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(mSn)を設定することとされた。mSn 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。この側面の凹凸は，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，供試体寸法等が圧縮強度に与える影響について確認した。

2. 実験

2.1 実験要因・水準

今回の実験ではできるだけコア採取、および成型作業に伴う影響のみを再現した供試体を作製した。したがってコア供試体は、水和発熱によるコンクリート温度上昇

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
ｺｱﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ機	・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+ｷｬｯﾋﾟﾝｸﾞ 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

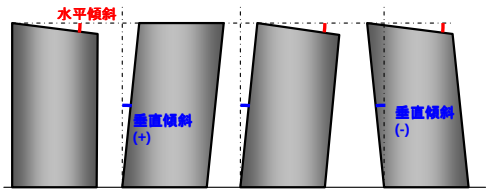
採取方法	寸法(mm)	端面処理
鋼製型枠	50φ×100(H/D=2.0) 100φ×200(H/D=2.0)	通常研磨
コア	43φ×86(H/D=2.0) 63φ×126(H/D=2.0) 63φ×110.25(H/D=1.75) 63φ×94.5(H/D=1.5) 100φ×200(H/D=2.0)	通常研磨 ｷｬｯﾋﾟﾝｸﾞ 精密研磨

*1 三井住友建設(株)　技術研究開発本部　(正会員)
*2 三井住友建設(株)　技術研究開発本部　博士(工学)　(正会員)

が顕著になる大きな部材からではなく、後述するように直径 150mm、高さ 30mm のコンクリートから採取している。また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，コンクリートの設計基準強度(Fc)30,60,100,150N/mm^2 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 の供試体では H/D が 1.75(H=110.25mm)，および 1.5(H=194.5mm)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，より平滑な切削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。コア供試体を作製する際には、供試体を固定し課題な振動などが無いようにした。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：毎分 300 回転**)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：毎分 120 回転**)である。また岩石用ボーリング機で作製した供試体は，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/mm^2 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/mm^2 に適合するよう，コンクリートの圧縮強度の範囲が 40～180N/mm^2 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



図－１　供試体傾斜

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

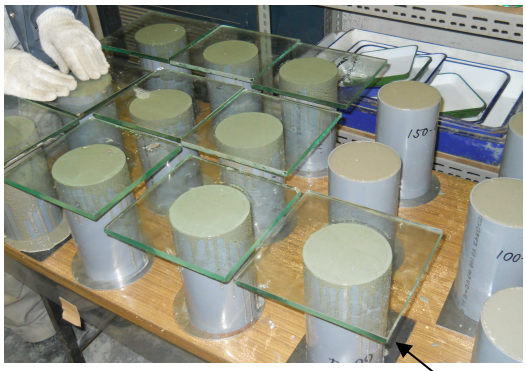
表－４　使用材料

材料	調合No	
	No.1～3	No.4
結合材	普通ﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞ	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ｸﾞ砕砂
細骨材2	砕砂(栃木県産)	－
粗骨材1	砕石2005(栃木県産)	硬質砂岩砕石6号(茨城県産)
粗骨材2	砕石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)	

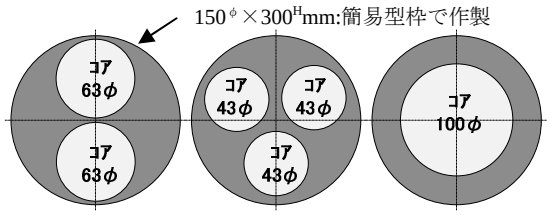
表－５　フレッシュコンクリート試験結果

No	ｽﾗﾝﾌﾟ (cm)	ｽﾗﾝﾌﾟﾌﾛｰ (cm)	空気量 (%)	ﾌﾛｰ時間(sec)		ｺﾝｸﾘｰﾄ温度	気温 (℃)
				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

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－２　コアボーリング位置

さ 200mm の鋼製型枠，直径 150×高さ 300mm の簡易型枠に採取し，打込み後翌日まで約 20℃の室内封かん養生，その後 20℃の水中で養生した。コア供試体は，簡易型枠で作製した供試体より，**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℃の水中で養生した。養生の際，それぞれの供試体のコンクリート温度を測定した。その結果，供試体中心部温度は 100φ×200H 供試体で最高 23.9℃、150φ×300H で最高 26.8℃でした。また，20℃室内封かん養生中の平均温度は，それぞれ 21.4℃、22.6℃であった。24 時間後からは，20℃の水中養生であり供試体中心部温度は，19～20℃であった。温度履歴の差が圧縮強度に与える影響は非常に小さいと考えられる。

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。

2.2 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目標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。

各コンクリートのコア供試体で，水平傾斜を 0° と設定した場合の，水平傾斜の平均値(n=5)と標準偏差の関係を**図－４**に示す。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－７**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－６**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

表－６　水平傾斜測定結果

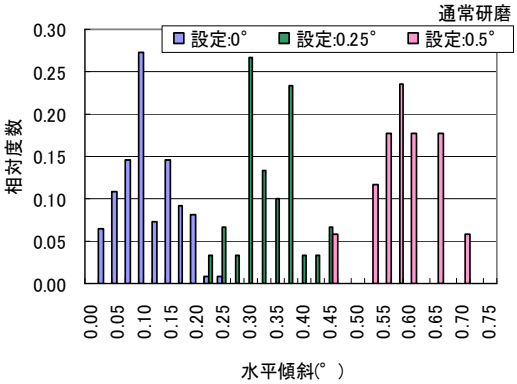
(°)

		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

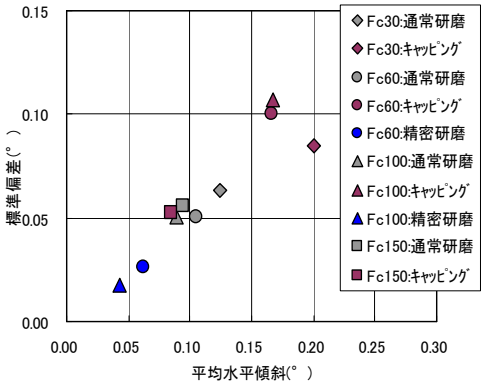
表－７　垂直傾斜測定結果

(°)

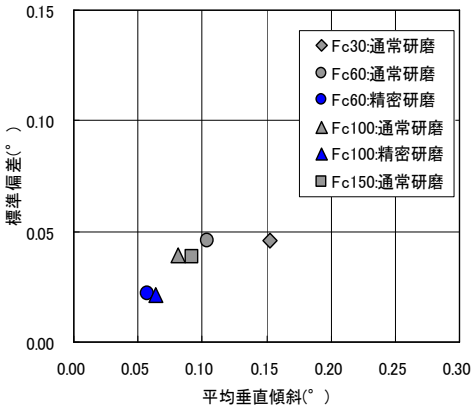
		設定			
		0	0.25	0.5	−0.25
測定	平均	0.09	0.35	0.65	−0.32
	最小	0.02	0.29	0.53	−0.39
	最大	0.20	0.44	0.81	−0.25
	標準偏差	0.044	0.053	0.084	0.053



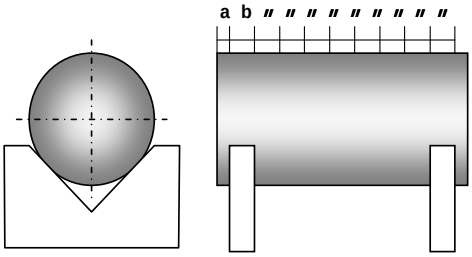
図－３　水平傾斜と頻度比率



図－４　水平傾斜



図－５　垂直傾斜



(mm)

供試体長	a	b	箇所
200	10	20	10
126	15	10	10
110.25	10	10	10
94.5	5	10	9
86	5	10	8

図－６　供試体傾斜の測定方法

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。

2.3 圧縮強度

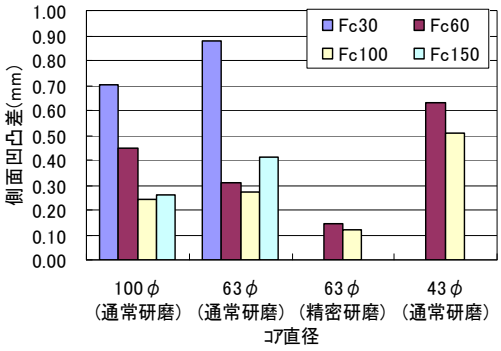
表－８に，供試体直径 100mm の圧縮強度試験結果を示す。鋼製型枠で作製した供試体の圧縮強度は，想定 Fc30 で 37.3N/mm^2，想定 Fc60 で 83.4N/mm^2，想定 Fc100 で 121N/mm^2，想定 Fc150 で 186N/mm^2 であった。また，**図－８**にコア供試体(H/D=2,通常研磨,設定傾斜 0°)の平均圧縮強度と，鋼製型枠供試体(100φ，H/D=2)の平均圧縮強度との比を示す。いずれの場合でも平均強度比は 1 未満であり，同じコンクリートの鋼製型枠供試体強度より低い値である。またコンクリートの圧縮強度が低いほど，その傾向が大きくなった。**図－９**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

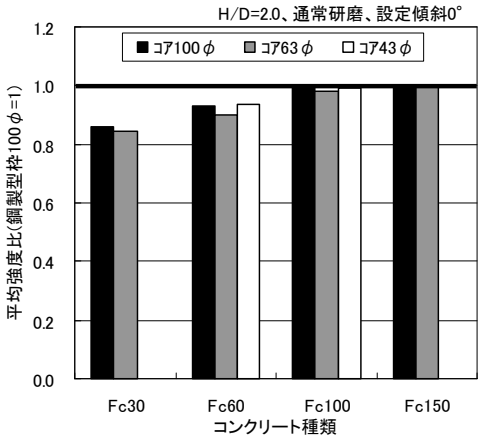


図－７　側面凹凸

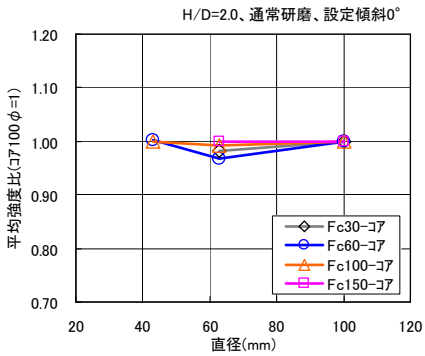
表－８　圧縮強度試験結果(100φ)

No	想定Fc (N/mm^2)	圧縮強度(N/mm^2) 鋼製型枠		コア	
			平均		平均
1	30	36.7 36.8 38.5	37.3	33.7 31.7 31.9 32.4 30.7	32.1
2	60	81.9 84.2 84.0	83.4	78.6 78.5 78.1 78.3 75.2	77.7
3	100	120 121 122	121	116 124 116 123 120	120
4	150	196 183 180	186	186 185 186 185 183	185

※コア強度は，直径 100mm，通常研磨，縦横比(H/D)=2，目標傾斜:水平 0°，垂直 0° の供試体



図－８　コア強度



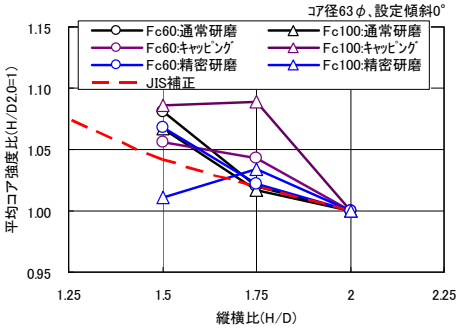
図－９　コア強度と直径の関係

図中の橙色の線、および数値は、側面凹凸区間ごとのコア強度比の平均を示している。供試体側面精度の凹凸差が 0.6 を超えると，0.6 以下と比較して，コア強度比の平均が小さくなる傾向にあった。

3. 考察

3.1 供試体形状精度

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。



図－１０　コア強度と縦横比の関係

3.2 圧縮強度

以下に供試体寸法・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。

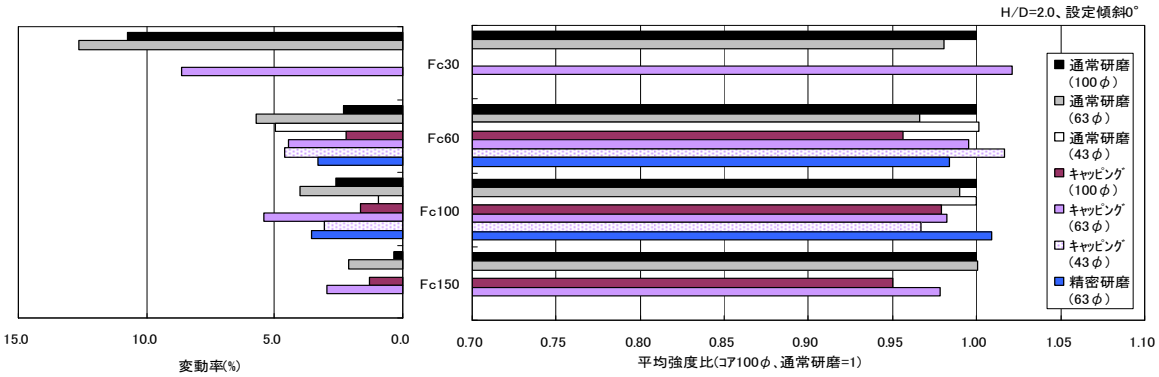
a. 縦横比が 2.0 のコア供試体の平均圧縮強度は，同じコンクリートの直径 100mm 鋼製型枠の供試体と比較して低くなった。また，コンクリート強度が小さいものがその傾向が大きい。(図－８)

b. 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。(図－１０)

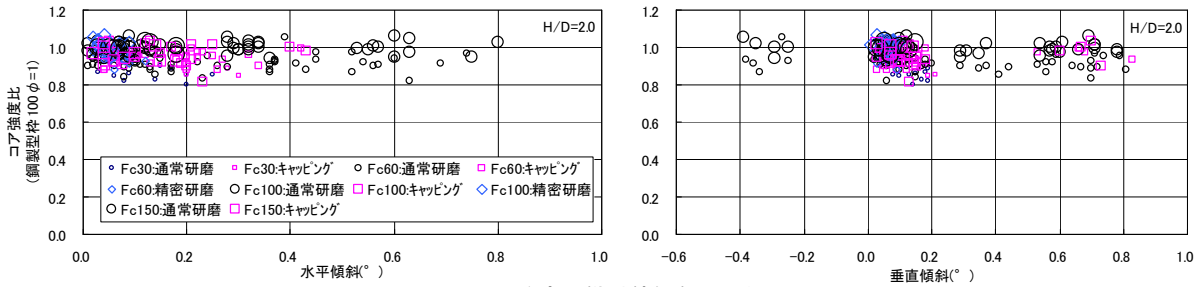
c. コア採取した直径 43, および 63mm 供試体の圧縮強度について，今回の実験範囲では，直径 100mm の供試体とほとんど差はみられなかった。(図－９)

d. 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。(図－１１)

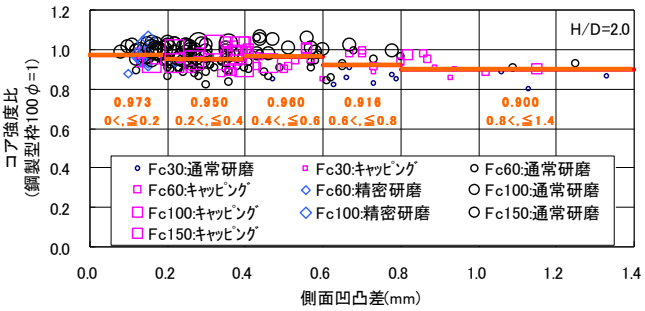
e. 供試体傾斜では，水平および垂直傾斜の影響は無かった。(図－１２)



図－１１　コア強度と端面処理の関係



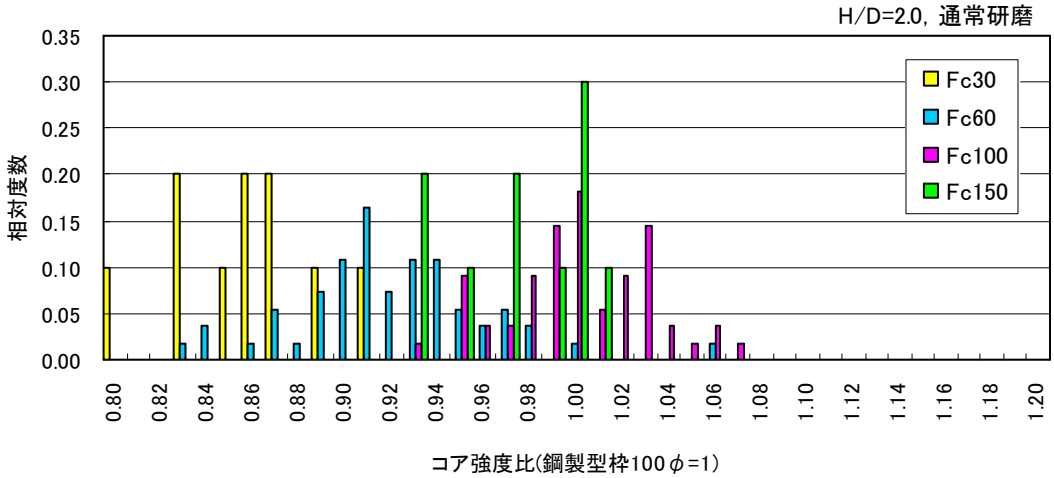
図－１２　コア強度と供試体傾斜の関係



図－１３　コア強度と供試体側面凹凸差の関係

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



図－１４　コア強度比の頻度

f.　供試体側面の凹凸差が 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。(図－１３)

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/mm^2，想定 Fc60 で約 7.5N/mm^2 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，供試体寸法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，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　雅之ほか：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