

論文 高強度コンクリートのコア供試体における高さ直径比が圧縮強度の試験結果に及ぼす影響

鈴木 澄江^{*1}・伊藤 康司^{*2}・鹿毛 忠継^{*3}・瀬古 繁喜^{*4}

要旨：本研究は、模擬部材から採取したコンクリートコア供試体の高さ直径比（ h/d ）を変化させて、普通強度から高強度の領域において圧縮強度試験を行い、圧縮強度と h/d による強度の補正係数の関係を実験的に検証したものである。実験は、圧縮強度 5 水準について壁（一部の強度においてはスラブ）の模擬部材を作製してコアを採取し、高さ直径比 1.00～2.00 の 5 水準、直径 2 水準において圧縮強度試験を行った。圧縮強度試験用のコア供試体は、その寸法・精度に至るまで全て測定を行った。実験の結果、現行の JIS A 1107（2003）に規定されている補正係数が、補正後の圧縮強度 100N/mm^2 レベルまで適用可能であることを確認した。

キーワード：高強度コンクリート、コンクリートコア、圧縮強度、高さ直径比、補正係数

1. はじめに

コンクリートコア供試体の圧縮強度試験方法は、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）-2003 に定められている。供試体の高さ直径比と圧縮強度の関係については、古くから実験が行われ報告^{1), 2)}がされているものの、現行の試験方法では、補正後の圧縮強度が 40N/mm^2 を超えるコンクリートについては補正係数が適用できないと規定されている。近年、コンクリートの強度は著しく高強度化しているが、コア供試体を用いて高強度の領域まで高さ直径比（以下、 h/d と称す）と圧縮強度の関係を求めた報告例^{3), 4)}は殆どない。このような背景から、本報では、高強度コンクリートの領域までコンクリートコアの圧縮強度試験を行い、 h/d と圧縮強度の関係を検証したものである。

実験は、目標圧縮強度 $30\text{N/mm}^2 \sim 100\text{N/mm}^2$ のコンクリートを対象として模擬部材を作製してコアを採取し、 h/d の水準ごとに圧縮強度試験を実施した。その結果に基づき、コンクリートの圧縮強度 100N/mm^2 までの補正係数について検討・提案を行った。

2. 実験計画

2.1 計画概要

実験の要因と水準を表 - 1 に示す。コンクリートの調査は 5 水準とし、試験実施時の目標圧縮強度を $30\text{N/mm}^2 \sim 100\text{N/mm}^2$ とした。 h/d は、1.00～2.00 の間で 0.25 ずつ変化させ 5 水準設定した。また、採取する部材の種類の影響を考慮して、模擬部材の種類を壁部材とスラブ部材の 2 水準とした。壁部材は全ての目標強度について作製し、スラブ部材については、目標強度 30N/mm^2 及び

60N/mm^2 の 2 水準のみとした。模擬部材の寸法は、各部材とも 幅 $1800\text{mm} \times$ 高さ $1200\text{mm} \times$ 厚さ 325mm とした。試験に供するコア供試体は、粗骨材最大寸法（ 20mm ）の 3 倍以上となる直径 100mm 及び 75mm の 2 水準とした。これは、建築構造物の場合には配筋ピッチや部材厚の影響から、必ずしも直径 100mm のコア供試体を採取で

表 - 1 実験の要因と水準

要 因	水 準
目標圧縮強度 (N/mm^2)	30, 45, 60, 80, 100
h/d	1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00
コアの直径 (mm)	$\phi 100$, $\phi 75$
模擬部材の種類	壁, スラブ
試験材齢 (日)	28, 56

表—2 使用材料一覧

種類	記号	名称	製造者 / 産地	物性値
セメント	C1	普通ポルトランドセメント	T 社製	密度 3.16g/cm^3
	C2	中熱ポルトランドセメント	T 社製	密度 3.21g/cm^3
細骨材	S	砂	栃木市 尻内町産	表乾密度 2.61g/cm^3 , 吸水率 1.16%, 粗粒率 2.80
粗骨材	G	碎石	佐野市 会沢町産	表乾密度 2.70g/cm^3 , 吸水率 0.75%, 実積率 60.0%, 粗粒率 6.64
化学混和剤	AD1	AE 減水剤	B 社製	変性リグニンスルホン酸化合物, 密度 1.07g/cm^3
	AD2	高性能 AE 減水剤	F 社製	ポリカルボン酸系化合物, 密度 1.07g/cm^3

*1（財）建材試験センター 中央試験所 材料グループ 専門職・博士（工学）（正会員）

*2 全国生コンクリート工業組合連合会 技術部 部長代理（正会員）

*3（独）建築研究所 建築生産研究グループ 上席研究員 Ph.D（正会員）

*4（株）竹中工務店 技術研究所 建設技術研究部 主任研究員・修士（工学）（正会員）

きない可能性を考慮したものである。各直径の水準におけるコア供試体の数量は7個とした。なお、比較用として鋼製型枠を用いて採取したコンクリート供試体（以下、型枠成型供試体と称す）についても、 h/d を変化させ、圧縮強度試験を行った。 h/d と圧縮強度の関係については、コア供試体と型枠成型供試体で大きな差がないとの見方もあるが、同一試料で検証した報告はないため、本報において実験的に確認したものである。型枠成型供試体については、供試体数量を3体とした。いずれの供試体も圧縮強度試験は、材齢28日を目標として実施したが、一部、圧縮強度レベル30N/mm²及び60N/mm²のφ75mmの供試体については、材齢56日で圧縮強度試験を行った。

2.2 使用材料と調合

実験に使用した材料を表-2に、コンクリートの調合を表-3に示す。目標強度100N/mm²のみ中熱ポルトランドセメントを使用した。化学混和剤は、目標圧縮強度30N/mm²のみAE減水剤とした。コンクリートは、レディーミクストコンクリートとし、1工場（JIS製品認証・高強度大臣認定取得）から納入した。コンクリートの打設は、2008年7月上旬～8月上旬とした。フレッシュコンクリートの試験結果は、全て目標スランプ±2.5cm（目標スランプフロー±7.5cm）以内、目標空気量±1.5%以内であった。コンクリート温度は、最高33℃であった。

2.3 供試体作製と精度確認

コアは、壁部材及びスラブ部材から規則的に採取し、試験に供するコア供試体がランダムサンプリングとなるように所定の寸法に整形した。図-1に壁部材から採取したコアの位置を示す。採取したコアは、図-2に示すように複数の寸法を組合せて切り出し、各水準ごとに7個のコア供試体を作製した。壁部材からのコアの採取状況を写真-1に示す。コアの採取は、コンクリート打設後、材齢3週（材齢56日で圧縮強度試験を行ったものは材齢7週）で行った。採取したコアはコンクリー

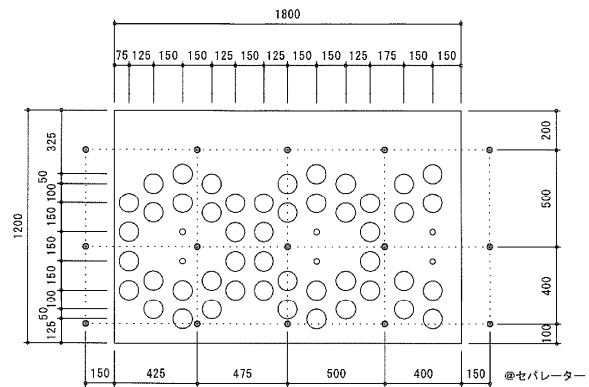


図-1 壁部材からのコア採取位置

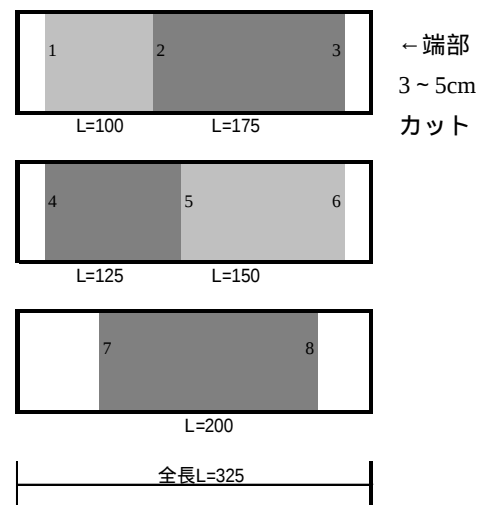


図-2 採取したコアからの供試体の切出し例



写真-1 壁部材からのコア採取状況

表-3 コンクリートの調合

目標圧縮強度 (N/mm ²)	スランプ (スランプフロー) (cm)	粗骨材 最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AD
30	18	20	61.0	4.5	49.2	178	292	880	940	2.92
45	18		45.0	4.5	48.0	170	378	833	934	3.78
60	18		37.5	4.5	46.5	170	453	780	926	4.67
80	(45)		28.0	4.5	45.9	170	607	710	867	8.19
100	(55)		27.0	4.5	46.5	170	630	715	851	9.77

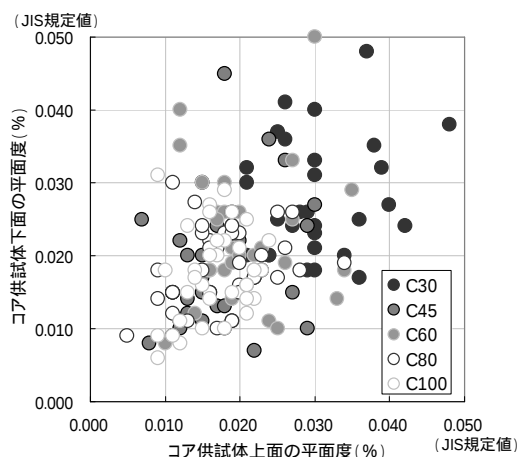


図 - 3 コア供試体の平面度測定結果

トカッターで所定の寸法に切断した後、コア供試体の両端面を研磨処理した。コア採取後から整形中ならびに整形後のコア供試体は、圧縮強度試験まで温度 20 の水中にて養生した。型枠成型供試体は、JIS A 1132 に従い作製し、型枠脱型後、圧縮強度試験まで 20 の標準水中養生とし両端部を切断して、所定の h/d に整形した後、両端面を研磨処理した。整形したコア供試体及び型枠成型供試体は、全て、供試体の精度（平面度、直角度、直線度）及び寸法（直径、長さ）を測定し、JIS A 1107(2003)に適合していることを確認した。なお、供試体の長さは円周を 8 等分した箇所を全て測定し、その平均値を用いた。φ 100mm のコア供試体の平面度測定結果の一例を図 - 3 に示す。試験に供したコア供試体の上下の平面度は概ね 0.01～0.04% の範囲(JIS A 1107 の規定値は直径の 0.05% 以内)に収まっているといえる。また、8 箇所測定した供試体の長さから、平行度⁵⁾を求め、ISO1920-6 (Testing of concrete - Sampling, preparing and testing of concrete cores)-2004 の 7.3 c) に規定されているコンクリートコア供試体の平行度(±1.0mm)を満足するように供試体を整形した。

2.4 圧縮強度試験方法

全てのコア供試体及び型枠成型供試体は、JIS A 1108 に従い荷重速度 0.6N/mm² で圧縮強度試験を行った。圧縮強度試験は、JIS Q 17025 取得の 1 試験機関の圧縮試験機（最大秤量 3000kN）を用いて実施した。圧縮強度試験時の使用レンジは、目標圧縮強度 30N/mm² は 500kN、45N/mm² 及び 60N/mm² は 1000kN、目標圧縮強度 80 N/mm² 及び 100N/mm² では 2000kN とした。

3. 実験結果

3.1 圧縮強度

表 - 4 コア供試体の圧縮強度試験結果 (φ 100mm)

h/d	コア供試体の圧縮強度 (N/mm ²)				
	30	45	60	80	100
2.00	27.3 (30.6)	40.9	55.8 (54.5)	67.8	84.9
1.75	28.0	41.7	57.9	68.8	86.8
1.50	27.7 (30.8)	40.2	57.4 (54.2)	69.1	88.7
1.25	29.1	44.9	60.4	71.9	91.4
1.00	32.5 (33.9)	47.3	64.5 (59.8)	75.5	94.9

注) 表中()内はスラブ部材から採取したコアの結果

表 - 5 型枠成型供試体の圧縮強度試験結果 (φ 100mm)

h/d	型枠成型供試体の圧縮強度 (N/mm ²)				
	30	45	60	80	100
2.00	33.1	51.5	61.2	82.6	94.4
1.75	-	50.9	-	82.6	97.6
1.50	31.9	51.6	68.0	84.3	99.6
1.25	-	54.2	-	87.6	103
1.00	35.2	57.2	73.3	90.6	100

表 - 6 コア供試体の圧縮強度試験結果 (φ 75mm)

h/d	コア供試体の圧縮強度 (N/mm ²)				
	30	45	60	80	100
2.00	28.9	45.3	59.9	69.2	86.0
1.75	-	-	-	-	-
1.50	30.8	42.5	61.0	71.4	90.9
1.25	-	-	-	-	-
1.00	33.5	50.2	68.4	78.3	96.8

注) 30N/mm² 及び 60N/mm² は材齢 56 日で試験を行った。

表 - 7 型枠成型供試体の圧縮強度試験結果 (φ 75mm)

h/d	型枠成型供試体の圧縮強度 (N/mm ²)				
	30	45	60	80	100
2.00	36.9	53.6	70.8	86.7	99.5
1.75	-	-	-	-	-
1.50	37.0	50.0	71.9	87.8	103
1.25	-	-	-	-	-
1.00	40.4	59.4	80.4	94.4	111

注) 30N/mm² 及び 60N/mm² は材齢 56 日で試験を行った。

コア供試体及び型枠成型供試体の圧縮強度試験結果を表 - 4 ~ 表 - 7 に示す。標準養生した型枠成型供試体の h/d が 2.00 の圧縮強度試験結果をみると、概ね目標とした圧縮強度が得られている（表 - 5 参照）。これに対して $\phi 100\text{mm}$ のコア供試体の圧縮強度の平均値は、85 ~ 90 % 程度の値を示している。また、目標圧縮強度 30N/mm^2 及び 60N/mm^2 の h/d が 2.00, 1.50, 1.00 の 3 水準においてスラブ部材から採取したコア供試体の圧縮強度試験結果を壁部材から採取したコア供試体と比較すると、 30N/mm^2 では壁部材よりも若干大きい圧縮強度を示したが、 60N/mm^2 では逆に若干小さい結果となった。同様に $\phi 75\text{mm}$ のコア供試体についてみると、型枠成型供試体に対するコア供試体の圧縮強度の平均値は、約 80 ~ 85 % であり、 $\phi 100\text{mm}$ の供試体の強度比に比べ小さくなっている。型枠成型供試体のみを比較すると、供試体寸法が小さくなることにより結果として、強度が高く観察されるものの、模擬部材から採取したコア供試体では著しい差は認められない。

3.2 変動係数

実施したコンクリートコアの圧縮強度試験の精度を検証するために、各強度レベルごとに $\phi 100\text{mm}$ の型枠成型供試体及びコア供試体における圧縮強度試験結果の変動係数を求めた。図 - 4 に各強度レベルごとの h/d と圧縮強度の変動係数の関係を示す。型枠成型供試体の変動係数は、いずれの圧縮強度レベル、 h/d にかかわらず、ほぼ 5 % 以下であり、十分な精度で試験が行えたといえる。100 N/mm^2 の h/d が 1.00 の水準で変動係数が 10 % を超えているが、これは 1 個の試験結果が著しく低かったためである（平均値 100N/mm^2 、最低値 84.8N/mm^2 ）。

コア供試体の圧縮強度試験結果の変動係数を見ると圧縮強度が高強度の水準（80 N/mm^2 及び 100 N/mm^2 ）では、変動係数はいずれの h/d においても 5 % 以内に収まっているが、目標圧縮強度が 60 N/mm^2 までの水準では、変動係数が 5 ~ 10 % 程度となっている。これらの変動係数には、試験方法によるばらつきのみならず模擬部材作製時の施工性やコア採取位置等の影響因子も含んだものである。本実験結果はこれらの因子を全て包含して変動係数が 10 % 程度以内に収まるものであり、一般的な生産の統計的工程管理に用いられる変動係数（9.8 %）を満足しているため、十分な精度を有していると考ええる。なお、 $\phi 75\text{mm}$ においても同様の傾向であった。

3.3 h/d と圧縮強度比

$\phi 100\text{mm}$ 及び $\phi 75\text{mm}$ コア供試体の h/d と圧縮強度比の関係を図 - 5 及び図 - 6 に示す。いずれの強度レベルにおいても圧縮強度比に著しい差は認められなかった。

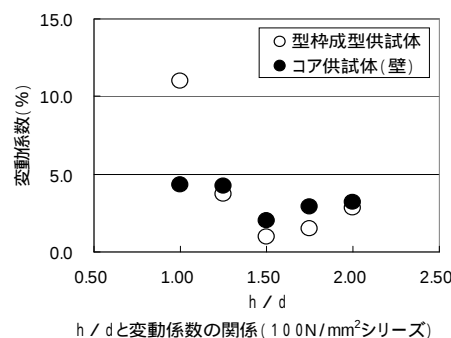
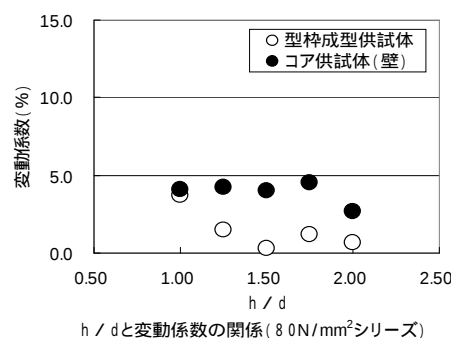
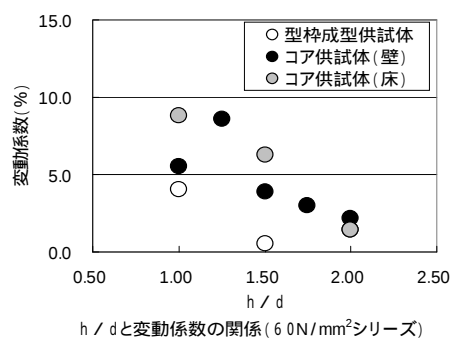
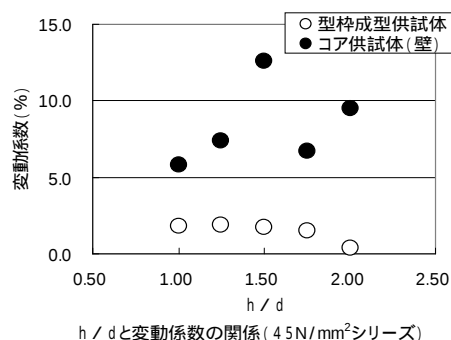
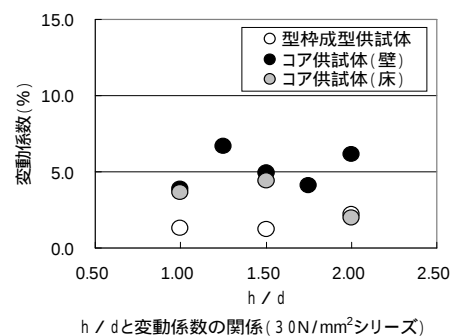


図 - 4 h/d と圧縮強度の変動係数の関係

表 - 8 h / d と補正係数の関係

h/d	JIS A 1107 に 規定されて いる補正係数	平均値の近似式から求めた補正係数							
		φ 100mm				φ 75mm		コア 全平均	全平均
		コア壁 平均値	コア壁 高強度 平均値*	コア スラブ 平均値	型枠成型 供試体 平均値	コア壁 平均値	型枠成型 供試体 平均値		
2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.75	0.98	0.98	0.98	0.98	1.00	0.98	0.98	0.98	0.98
1.50	0.96	0.95	0.96	0.95	0.98	0.95	0.95	0.95	0.96
1.25	0.93	0.91	0.93	0.93	0.95	0.92	0.93	0.92	0.93
1.00	0.87	0.88	0.90	0.90	0.92	0.88	0.90	0.89	0.90

注) * 印のコア壁高強度平均値は、80N/mm²及び100N/mm²の結果の平均値である。

現行の補正係数から導いた圧縮強度比を図中に示したが、h/d が 1.00 の水準のみ若干下回る程度である。h/d が 1.50 の水準において圧縮強度比が 1.0 を下回る結果を示している強度水準があるが、φ 100mm 及び φ 75mm ともに同様の傾向を示している。既報の論文においても h/d が 1.50 の水準で圧縮強度比が 1.0 を下回る報告^{2),3),6)}があるが、その原因は明確になってはいない。本報においてもこのような結果になった原因については特定できず、今後の課題といえる。また、現行の補正係数から算出した圧縮強度比の直線に対して 95%信頼区間を図中に示したが、本実験の結果はほぼ全てこの信頼区間の範囲内であった。

各水準の供試体の圧縮強度試験結果の平均値から近似式を導き、補正係数を求めた。なお、現行 JIS では各 h/d 間の数値の補間は直線補間することになっている。h/d と各水準の供試体における補正係数の関係を表 - 8 に示す。φ 100mm のコア供試体においては、圧縮強度が 80N/mm² 以上の高強度になると h/d が 1.00 の水準において補正係数が若干大きくなる結果となった。

つぎに、コア供試体直径が φ 75mm の h/d と補正係数の関係をみると、ほぼ、現行の補正係数と同程度となっており、コア直径が小さくなることにより、h/d が影響する結果となった。φ 75mm のコア供試体では、圧縮強度レベルの水準により補正係数の違いはほとんど認められず、高強度コンクリートになっても φ 100mm のコア供試体のような傾向は認められなかった。また、型枠成型供試体の h/d と補正係数の関係においては、すべての h/d の水準においてその直径にかかわらず、コア供試体よりも補正係数が大きくなる結果を示した。この試験結果の差異は、型枠によるせき板効果が影響しているものと推察されるが定量的な検討までには至っていない。これらの結果を鑑み、現行の JIS A 1107(2003)に規定されて

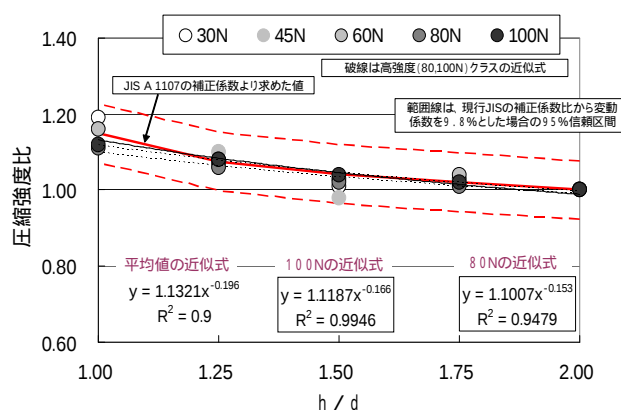


図 - 5 h / d と圧縮強度比の関係 (φ 100mm コア供試体)

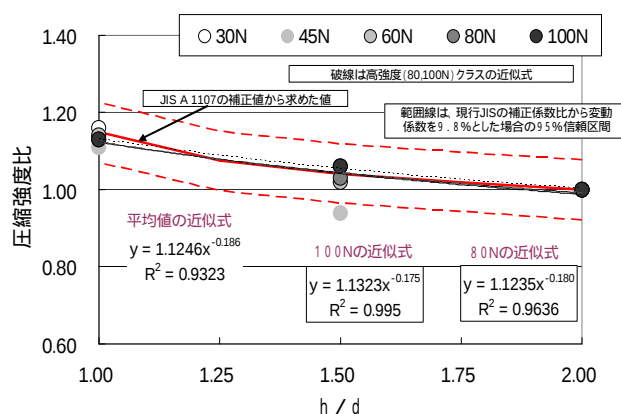


図 - 6 h / d と圧縮強度比の関係 (φ 75mm コア供試体)

いる h/d と補正係数の関係と比較してみると、いくつかの h/d においては現行の補正係数を若干下回るもの (h/d が 1.50 又は 1.25) があるものの、ほぼ現行の補正係数を適用できるものと考えられる。また、高強度コンクリートになると供試体の細長比が圧縮強度試験結果に及ぼす影響が減少するとの報告⁷⁾や本実験結果で得られた φ

100mm のコア供試体のように、 h/d が 1.00 で補正係数を 0.90 程度（コア強度としては大きく評価）にすることが可能との見方もできる。しかし、建築構造物の場合には配筋や部材厚の関係から $\phi 75\text{mm}$ のコアを採用することが少なくないことや、コアを採取する部材の種類を特定できないこともあり安全側の評価となりうる現行の補正係数を用いることが適切であると考ええる。

なお、同一部材から採取したコア供試体を用いて端部の拘束効果などについても別途検討（高さ直径比が異なるコンクリートコア供試体の圧縮破壊挙動に関する実験的研究 - 2009 年度 JCI 年次大会論文に投稿中）を行っている。

4. まとめ

- (1) コア供試体の圧縮強度試験結果の変動係数はほぼ 10% 以下であった。
- (2) コア供試体の直径が $\phi 100\text{mm}$ では、圧縮強度が 80N/mm^2 以上の高強度になると、 h/d が 1.00 の補正係数は現行 JIS の補正係数よりも若干大きくなった。
- (3) $\phi 75\text{mm}$ のコア供試体の補正係数は、圧縮強度にかかわらず現行の JIS A 1107(2003)に規定する補正係数と同程度であった。
- (4) 型枠成型供試体の補正係数は、コア供試体の補正係数に比べ大きくなる。
- (5) 圧縮強度 100N/mm^2 までのコンクリートであれば現行の JIS A 1107(2003)に規定されている補正係数を用いることができる。

謝辞

本実験研究は、JCI に設置されたコンクリート試験方法 JIS 改正原案作成委員会 WG1（委員長 阿部道彦工学

院大学教授、主査 鹿毛忠継）において実施したものであり、実験に協力いただいた工学院大学阿部研究室の学生諸氏にここに感謝を表する。

参考文献

- 1) N. Pertersons : Recommendations for Estimation of Quality of Concrete in Finished Structures, Materials and Structures Vol.4, No.24, 1971
- 2) 小阪義夫, 谷川恭雄: 各種骨材コンクリートの圧縮強度におよぼす試験体寸法と載荷面の摩擦の影響について, セメントコンクリート, No.265, pp. 2-11, 1969.3
- 3) 赤荻 満, 阿部道彦, 嵩 英雄, 玉井孝幸: コンクリートコアの圧縮硬度に及ぼす供試体の高さ直径比の影響, 日本建築学会大会梗概集, A-1 分冊, pp.769-770, 2008 年
- 4) 中田善久, 大木宗輔, 大塚秀三ほか: 高強度コンクリートにおけるコア供試体寸法が圧縮強度に及ぼす影響について—普通ポルトランドセメントを用いた場合の検討—, 第 50 回日本大学理工学部学術講演会講演概要, pp.56-57, 2006.11
- 5) 鈴木澄江, 鹿毛忠継: コンクリート供試体の平行度が圧縮強度試験結果に及ぼす影響, 日本建築学会大会梗概集, A-1 分冊, pp.1103-1104, 2008 年
- 6) C.E.Kesler : Effect of Length to Diameter Ratio on Compressive Strength, ASTM Proc. Vol.59, 1959.
- 7) 友澤史紀, 榊田佳寛, 棚野博之, 上西 隆, 野口貴文, 小野山貫造: 高強度コンクリートの圧縮強度試験方法の標準化に関する研究(その 3 供試体の細長比の影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集 A, pp.509-510, 1989.10