

論文 高強度コンクリートの圧縮強度に及ぼす供試体寸法の影響に関する実験

渡邊 英樹^{*1}・玉井 孝幸^{*2}・増田 博文^{*3}・嵩 英雄^{*4}

要旨：高強度コンクリートの圧縮強度に及ぼす供試体寸法の影響を明らかにするために、普通ポルトランドセメントを用いた W/C50, 43, 38%のコンクリートについて、高さ直径比を 2.0, 1.75, 1.5, 1.25 の 4 水準、供試体直径を 5, 7.5, 10, 12.5, 15cm の 5 水準の供試体を作成して圧縮強度試験を行った。圧縮強度 50~80N/mm² の範囲では、供試体の寸法および高さ直径比が小さくなるほど圧縮強度の試験値が増加し、圧縮強度レベルが大きくなるほど試験値に及ぼす影響は増大した。圧縮強度 60N/mm² 以上において、JIS 値を用いた高さ直径比 2 に対する圧縮強度は、補正後の値が危険側に算出されることがわかった。

キーワード：高強度コンクリート，供試体寸法，高さ直径比，圧縮強度，円柱供試体

1. はじめに

コンクリートの圧縮強度試験結果に影響を及ぼす内的要因には供試体寸法、供試体形状、高さ直径比（以下 h/d と略記）、端面処理方法や供試体の乾湿などが挙げられる。その中でもコンクリート構造物のコア採取の際に、配筋間隔による鉄筋の切断、壁厚の関係、構造体への影響等ため、コア供試体寸法 10×20cm の確保が困難となり、コンクリートの品質管理にとって、供試体寸法と h/d による補正が重要とされる。

JIS A 1107-2002(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)では、高さ直径比に対する補正係数を定めており、その使用条件も補正後の圧縮強度の値が 40N/mm² 以下に限定される。しかし、近年コンクリートの高強度化が進み、適用できないケースが増えている。

既往の研究では、圧縮強度レベルが増加すると供試体の h/d による影響は減少するとされ¹⁾、高強度コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響として、圧縮強度別の補正係数の提案²⁾がなされている。一方で、普通ポルトランドセメントの供

試体の圧縮強度補正值は、40N/mm² 以上の圧縮強度においても補正值が JIS 値に近似するという報告³⁾もある。また、高強度コンクリートにおける供試体寸法の影響として、10×20cm と 15×30cm の比較²⁾、小口径コアの研究⁴⁾がなされているが、中間となる 7.5×15, 12.5×25cm

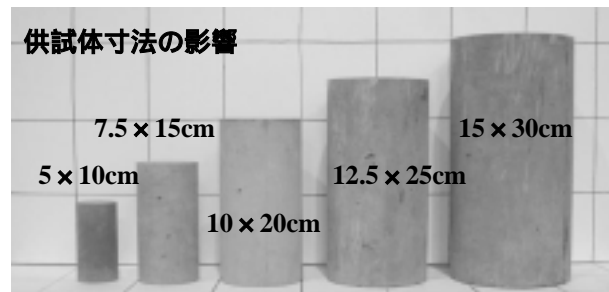


写真 - 1 シリーズ 1 供試体



写真 - 2 シリーズ 2 供試体

*1 工学院大学 大学院 工学研究科 建築学専攻 修士課程 (正会員)

*2 工学院大学 大学院 工学研究科 建築学専攻 博士後期課程 (正会員)

*3 工学院大学 工学部 建築学科

*4 工学院大学 工学部 都市デザイン学科 教授 工博 (正会員)

の供試体の報告が少ない。近年 100N/mm² 級の超高強度コンクリートにおける，供試体寸法や h/d の影響の研究^{3),5)}はされているが，50～80N/mm² の範囲の報告が少ない。

本論文では，圧縮強度 50～80N/mm² の範囲のコンクリートについて，供試体寸法と高さ直径比の影響を明らかにするため，供試体直径を 5～15cm，円柱供試体の h/d を 2.0～1.25 と変化させた場合の圧縮強度試験値が，JIS A1107 による補正係数が当てはまるかを実験的に検討した。

2. 実験方法

2.1 実験概要

供試体寸法の影響の検討をシリーズ 1，高さ直径比の影響の検討をシリーズ 2 として，W/C50，43，38% のコンクリートについて実験を行った。シリーズ 1 は h/d=2.0 を基準とし，5×10，7.5×15，10×20，12.5×25，15×30cm の 5 水準，シリーズ 2 は 10×20cm を基準とし，h/d=2.0，1.75，1.5，1.25 の 4 水準とした。

2.2 使用材料と調合

使用材料と品質を表 - 1 に示す。粗骨材は最大寸法 20mm のものを使用した。混和剤は，AE 減水剤はリゲニルスルホン酸化合物，高性能 AE 減水剤はポリカルボン酸系の NonAE タイプ，AE 助剤は陰イオン界面活性剤のものを使用した。

W/C50，43% の 2 水準(N50，N43)を AE 減水剤による AE コンクリートとして，目標スランブ 18±1cm，空気量 4.5±0.5% とし，W/C43，38% の 2 水準(N43H，N38H)を高性能 AE 減水剤による NonAE コンクリートとして，目標スランブ

10-55±7.5cm，空気量 1.5±0.5% とした。コンクリートの計画調合とフレッシュコンクリート試験結果を表 - 2 に示す。

2.3 練り混ぜおよび供試体作製方法

55L 強制パン型ミキサを使用してコンクリートを練り混ぜ，直径毎の h/d=2.0 の鋼製型枠を用い，シリーズ 2 を含め，すべての供試体は 2 層に分けて詰め，上面積 10cm² あたり一回の割合 (5×10cm のものは，直径 11mm の突き棒で 2 回) で突き，各 h/d に対応する高さまで打ち込み，各水準 3 本の供試体を作製した。打ち込み後 24 時間で脱型し，20 標準水中養生を行い，供試体の両面を試験当日に機械研磨で端面処理し，材齢 28 日で圧縮強度試験を行った。

2.4 圧縮強度試験

供試体は端面処理および寸法質量の測定の後，試験直前まで水槽に入れ湿潤状態を保った。

試験機は最大秤量 2000kN の油圧式万能型試験機を使用し，加圧版は直径 10cm の同心円グリッドの入った平滑なものを使用し，載荷速度は圧縮応力度の増加を毎秒 0.6±0.4N/mm² とした。

また，両シリーズは同一バッチで供試体を作製し，かつ，10×20cm の試験値は共有した。

表 - 1 使用材料と品質

材料	種類・銘柄	品質・主成分
セメント	普通ポルトランドセメント	密度 3.16g/cm ³
細骨材	大井川産陸砂	表乾密度 2.60g/cm ³ ， 吸水率 1.32%，粗粒率 2.90
粗骨材	両神産硬質砂岩碎石(2005)	表乾密度 2.72g/cm ³ ， 吸水率 0.77%，実積率 60.5%

表 - 2 コンクリートの計画調合とフレッシュコンクリート試験結果

調合番号	計画調合								フレッシュコンクリート試験結果			
	W/C (%)	S/a (%)	粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	空気量 (%)	質量(kg/m ³)				スランブ (cm)	スランブ加 (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)
					W	C	S	G				
N50	50.0	44.4	0.61	4.5	178	356	768	1004	17.5	-	4.4	2321
N43	42.9	43.0	0.60	4.5	182	427	712	987	17.5	-	4.9	2321
N43H	42.9	48.2	0.59	1.5	170	396	865	971	21.5	53.5	1.0	2444
N38H	37.6	48.7	0.57	1.5	170	452	850	938	-	58.5	1.1	2447

表 - 3 シリーズ 1 みかけ密度および圧縮強度試験結果

直径 (cm)	みかけ密度(kg/m ³)								標準養生 28 日圧縮強度(N/mm ²)							
	N50		N43		N43H		N38H		N50		N43		N43H		N38H	
	密度	分析	密度	分析	密度	分析	密度	分析	強度	分析	強度	分析	強度	分析	強度	分析
5	2419	2423	2400	2405	2504	2516	2555	2553	54.6	54.6	61.6	64.5	60.2	64.3	90.4	89.9
	2426	(2.8)	2397	(9.8)	2510	(13.1)	2571	(16.5)	57.8	(2.7)	66.6	(2.1)	64.6	(3.3)	87.5	(1.8)
	2424	[0.12]	2419	[0.41]	2535	[0.52]	2531	[0.65]	51.3	[4.88]	65.2	[3.22]	68.3	[5.14]	91.8	[1.98]
7.5	2406	2410	2401	2403	2511	2521	2531	2523	53.5	53.1	64.9	62.2	75.2	72.6	84.4	83.1
	2411	(2.3)	2418	(11.2)	2517	(9.4)	2512	(8.4)	52.7	(0.3)	60.6	(1.9)	68.2	(3.1)	80.6	(1.7)
	2411	[0.09]	2391	[0.47]	2533	[0.37]	2527	[0.33]	53.0	[0.58]	61.1	[3.09]	74.3	[4.27]	84.2	[2.09]
10	2388	2384	2383	2391	2487	2478	2471	2469	53.0	53.2	59.5	59.1	70.7	70.9	80.4	79.8
	2386	(5.0)	2393	(5.3)	2485	(11.0)	2463	(4.6)	52.9	(0.4)	58.7	(0.3)	70.9	(0.2)	79.2	(0.5)
	2377	[0.21]	2396	[0.22]	2463	[0.45]	2474	[0.19]	53.7	[0.68]	59.0	[0.50]	71.2	[0.25]	79.7	[0.61]
12.5	2395	2399	2382	2385	2474	2475	2476	2472	53.2	52.4	58.4	58.6	70.5	70.6	77.6	75.4
	2398	(3.8)	2385	(2.5)	2473	(1.2)	2469	(3.2)	50.5	(1.4)	59.8	(0.9)	71.7	(0.8)	74.9	(1.7)
	2404	[0.16]	2388	[0.10]	2476	[0.05]	2470	[0.13]	53.6	[2.60]	57.7	[1.48]	69.8	[1.11]	73.7	[2.20]
15	2382	2382	2381	2377	2469	2468	2459	2455	48.7	49.6	54.0	54.8	60.3	60.8	74.5	75.2
	2382	(0.1)	2373	(3.6)	2472	(3.4)	2449	(4.8)	49.7	(0.7)	56.3	(1.1)	60.8	(0.4)	74.0	(1.3)
	2382	[0.01]	2376	[0.15]	2464	[0.14]	2459	[0.19]	50.5	[1.47]	54.1	[1.92]	61.3	[0.64]	77.1	[1.75]

* : 分析の上段は平均値, ()内は標準偏差, []内は変動係数%

3. シリーズ 1

3.1 圧縮強度試験結果

シリーズ 1 のみかけ密度および圧縮強度試験結果を表 - 3 に示す。N43 と N43H は同じ W/C であるが、空気量に約 4% の差があるため、圧縮強度で約 10N/mm² の差を示した。直径が粗骨材の最大寸法の 3 倍に満たない 5 × 10cm を含め各寸法とも、

圧縮強度の変動係数は概ね 5% を下回り、単位容積質量の変動係数でも 1% を下回った。10 × 20cm の供試体の圧縮強度試験値より、N50、N43、N43H、N38H の圧縮強度のレベルを、50、60、70、80N/mm² とした。

3.2 供試体寸法の影響

供試体直径と 10 × 20cm の供試体に対する圧縮強度比の関係を図 - 1 に示す。点線は Gonnerman の実験⁶⁾による寸法の異なる円柱供

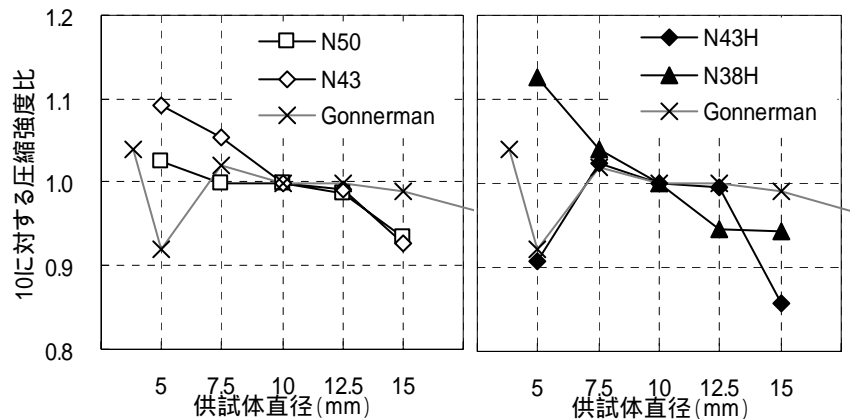


図 - 1 供試体直径と 10 × 20cm に対する圧縮強度比の関係

試体強度比であるが、15 × 30cm の基準から 10 × 20cm を 1 に換算し直したものを示す。各寸法において供試体直径が増大するほど、圧縮強度試験値は減少する傾向を示し、これは Gonnerman の結果と整合している。

既往の研究¹⁾では、供試体寸法が 10 × 20cm から 15 × 30cm に増大すると、高強度・超高強度コンクリートにおいても圧縮強度の試験値は若干低下(91 ~ 98%)するとされるが、本実験では、

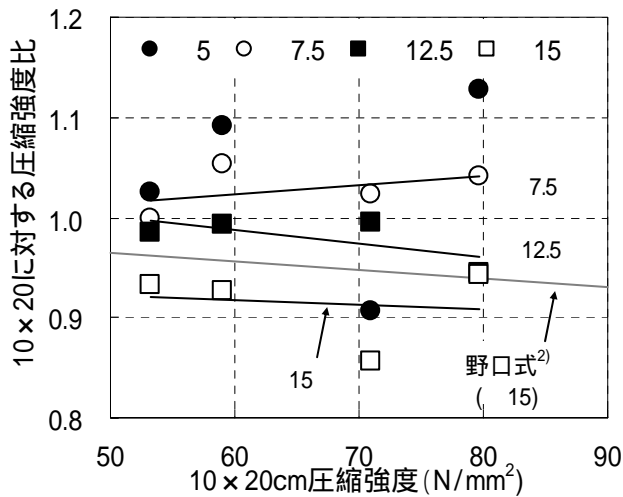


図 - 2 10×20cm の圧縮強度と各寸法の圧縮強度比の関係

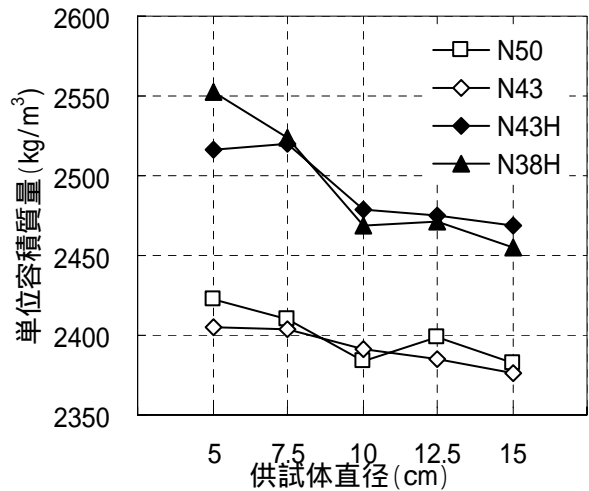


図 - 3 供試体直径と単位容積質量の関係

N43H(86%に低下)を除き, 93~94%に低下とほぼ同じ傾向を示した。また, 10×20cmの圧縮強度に対し, 7.5×15cmで100~105%に増加し, 12.5×25cmは95~100%に低下した。

3.3 圧縮強度レベルによる影響

強度レベルによる各寸法の圧縮強度比を図-2に示す。各寸法とも圧縮強度レベルが増加すると供試体寸法による影響が増加し, 10×20cmの圧縮強度試験値に対する圧縮強度比は5×10, 7.5×15cmでは増加し, 12.5×25, 15×30cmでは減少する傾向を示した。

供試体直径と単位容積質量の関係を図-3に示す。供試体直径が減少すると, 単位容積質量は増大する傾向を示し, 特にN43HとN38Hは, 5×10cmと7.5×15cmにおいて大きく増加している。これは, 供試体の寸法が減少すると, せき板効果によりモルタルリッチになることと, 水中養生中に水分を吸収する割合が増大したことによる水和の促進が考えられる。また, W/Cの同じN43とN43Hの差が顕著なことは空気量による影響と察せられる。また, 供試体寸法が減少すると, 変動係数は増大する傾向があるが, 圧縮強度レベルによる影響は認められなかった。

3.4 シリーズ1まとめ

15×30cmの供試体の圧縮強度比は, 既往の研究と比較して若干低い値を示した。強度レベルによる10×20cmに対する圧縮強度比の変化

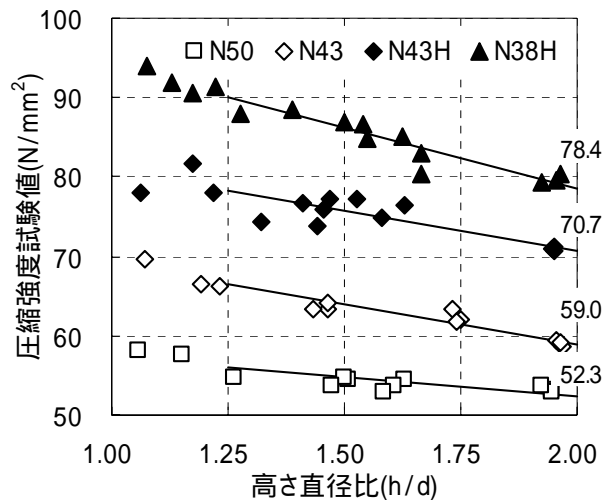


図 - 4 h/dと圧縮強度の関係

量は, 7.5×15, 12.5×25cmで3~4%であるのに対し, 15×30cmは2%と少ないといえる。

4. シリーズ2

4.1 圧縮強度試験結果

供試体作製時に型枠に詰めるコンクリートの量によって各水準の供試体の高さを調整し, 硬化後に研磨などで高さを合わせなかった。この高さのばらつきのため, シリーズ2におけるh/d=2.0の圧縮強度は, h/d=2.0~1.25の圧縮強度試験値の直線回帰により求めたものを用いる。h/dと圧縮強度試験値の関係を図-4に示す。直線は回帰線を, 右の数字はh/d=2.0の圧縮強度を示す。

4.2 高さ直径比の影響

h/d=2.0 に対する圧縮強度比の関係を図 - 5 に示す。全ての強度レベルの供試体において、h/d が 1.0 に近づくにつれて、圧縮強度の試験値が増加する傾向を示した。また、N50 を除き JIS の値を概ね上回った。

4.3 圧縮強度レベルによる影響

圧縮強度レベル毎の h/d=2.0 に対する圧縮強度比の関係を図 - 6 に示す。既往の研究¹⁾では、圧縮強度レベルが増加すると h/d の影響が減少するとされるが、本実験では、圧縮強度レベルが増加すると h/d の影響が増大する傾向を示した。また、N50 と N43 の傾きの差と比較し、N43H と N38H の差が減少していることから、圧縮強度レベルの増加による h/d の圧縮強度比の傾きの増加量は、減少していることがわかる。N43 と N43H での傾きの逆転は、N43H のばらつきが大きいこと、および W/C が同じため傾きが近いことが考えられる。

また、N50 と N43 は h/d=1.25 ~ 1.0 の範囲で、試験値の値が h/d=2.0 ~ 1.25 の範囲の傾きよりも増大しているが、N43H と N38H では 2.0 ~ 1.25 の範囲と同じ傾きで増大する傾向が見られる。

4.4 JIS 値との比較

h/d と h/d=2 の圧縮強度に対する JIS 値による補正後の圧縮強度比の関係を図 - 7 に示す。N50 は JIS 値による補正後の圧縮強度が、h/d=2 の圧縮強度試験値を下回り安全側にあるが、圧縮強

度レベルが増大すると JIS 値による補正を上回る傾向を示し、N38H では、圧縮強度比が 105% を超えた。また、全ての強度レベルにおいて、h/d が 1 に近づくにつれて JIS 値による補正後の圧縮強度と h/d=2 の圧縮強度試験値との差が増大する傾向を示した。

4.5 シリーズ 2 まとめ

図 - 8 に、h/d=2 の圧縮強度試験値と補正後の圧縮強度の関係を示す。JIS 値による補正は、圧縮強度レベルが増加すると、h/d=2 の圧縮強度試験値より大きくなる傾向がある。

高強度コンクリートにおいて、JIS 値または、野口式による補正をおこなった場合、圧縮強度が危険側に評価される。

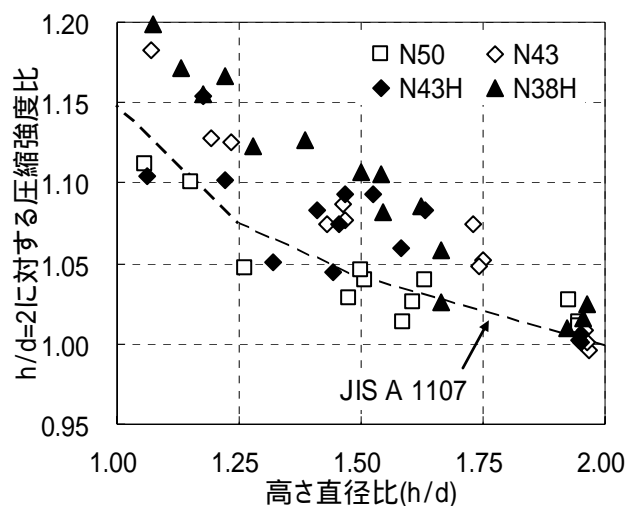


図 - 5 h/d=2.0 に対する圧縮強度比

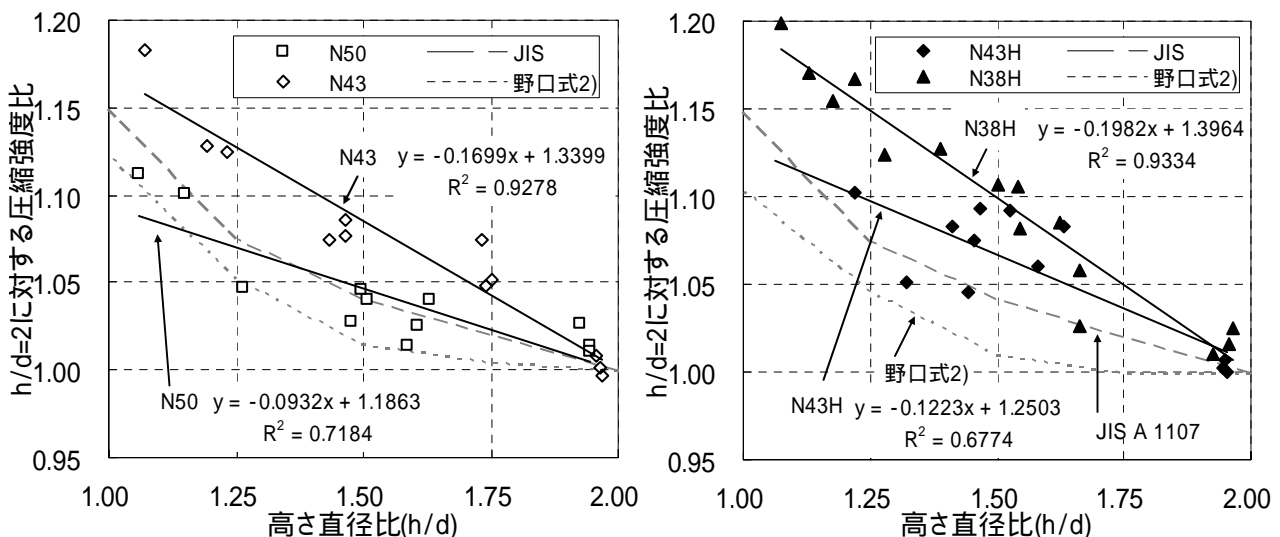


図 - 6 h/d と h/d=2 に対する圧縮強度比の関係

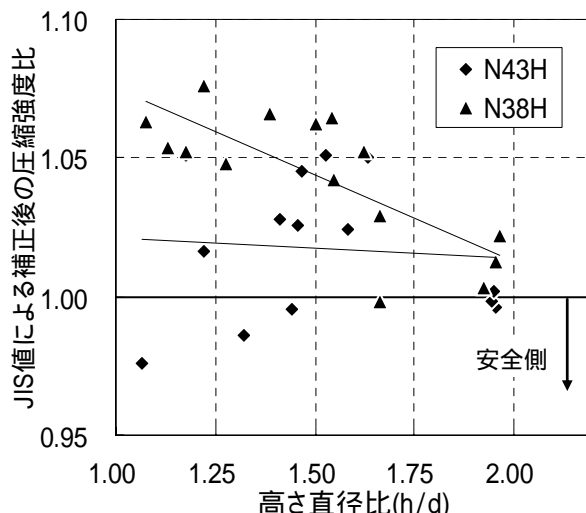
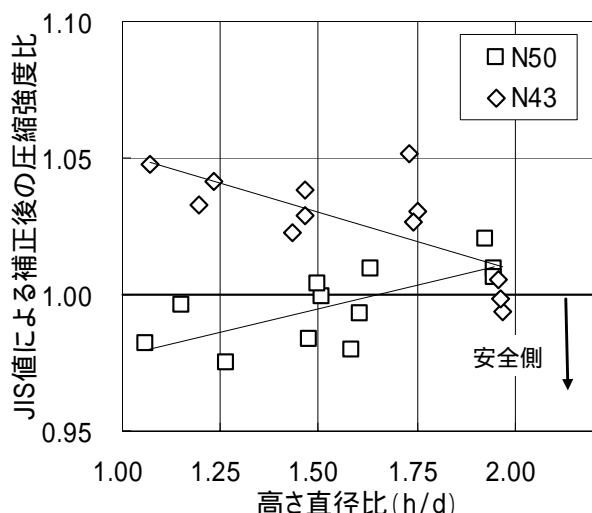


図 - 7 h/d と h/d=2 の圧縮強度に対する JIS 値による補正後の圧縮強度比の関係

5.まとめ

本実験では、普通ポルトランドセメントによる強度レベル 50 ~ 80N/mm² の範囲のコンクリートにおいて以下の知見が得られた。

- 1) 圧縮強度レベルが増加すると、供試体寸法による圧縮強度試験値への影響が増加した。
- 2) 圧縮強度レベルによる 10×20cm に対する圧縮強度比の変化量は、7.5、12.5cm は 3~4%、15cm は 2% となった。
- 3) 圧縮強度レベルが増加すると、高さ直径比の影響が増大する傾向を示した。
- 4) 圧縮強度レベル 60N/mm² 以上において、高さ直径比 2.0 ~ 1.25 の範囲と同じ傾きで、1.25 ~ 1.0 における圧縮強度比が増大した。
- 5) 圧縮強度レベルが増加すると、JIS 値による補正をした場合、h/d=2 の圧縮強度試験値より危険側の評価になる。

参考文献

- 1) A.M. Neville, 三浦尚訳：ネビルのコンクリートバイブル, 技報堂出版, pp.732-735, 2004
- 2) 野口貴文, 友澤史記：高強度コンクリートの圧縮強度試験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)
- 3) 片寄哲務, 西田浩和：高強度コンクリート供試体の高さ直径比が圧縮強度に及ぼす影響,

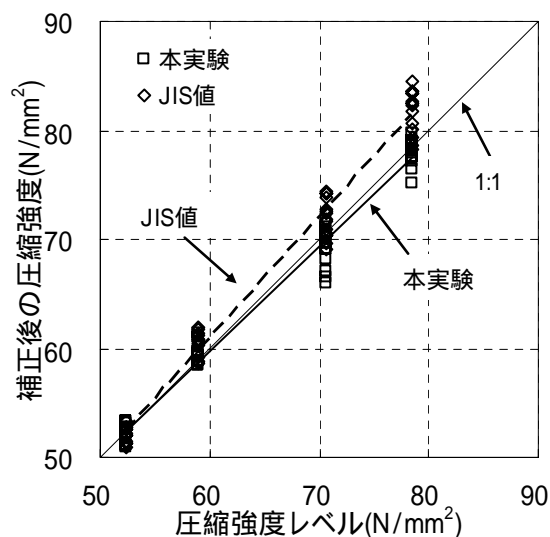


図 - 8 h/d=2 の圧縮強度試験値と補正後の圧縮強度の関係

日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, pp479-480, 2004.8

- 4) 片平博, 森濱和正, 池永博威：コア供試体の小口径化が圧縮強度に与える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.26, No.1, pp.399-404, 2004.8
- 5) 友澤史記, 野口貴文, 小野山貫造, 栢田佳寛, 安田正雪：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2 加圧版, 供試体寸法, 載荷速度の影響), 日本建築学会大会学術梗概集, A-1, pp507-508, 1989.10
- 6) H.F. Gonnerman: Effect of Size and Shape of Test Specimen on Compressive Strength of Concrete, Proc. Of ASTM(1925)