

論文 コンクリート円柱・角柱供試体の圧縮強度に及ぼす断面寸法の影響に関する一考察

山本 貴正*1・小池 狭千朗*2

要旨:本研究では、既往の研究、および本研究で実施された諸々の圧縮強度試験の実験結果を比較・分析し、コンクリート円柱・角柱供試体の圧縮強度に及ぼす断面寸法の影響について検討した。その結果、i) 断面寸法が小さいかつ強度レベルが低い供試体の圧縮強度比は、非均質度が大きい、および水セメント比が大きく水和反応の障害を受けやすいため、大きく変動する可能性がある、ii) 角柱供試体の圧縮強度の寸法効果は、円柱供試体のそれと同等である、iii) 角柱供試体の圧縮強度に、円柱供試体の圧縮強度を適用する場合は、寸法効果に加え、断面形状の影響による補正を行う必要がある、などの知見を得た。

キーワード: 寸法効果、標準供試体、標準強度、断面形状、単純累加耐力、既往の実験データ

1. はじめに

コンクリートの圧縮強度は、その強度特性を評価するための重要な指標である。我が国では、実構造物やモデル供試体のコンクリート部材の圧縮強度を確認するため、コンクリートが打設される際に、主として直径 100mm、高さ 200mm のコンクリート円柱供試体（以下、標準供試体）を作製し、その圧縮強度試験が行われる。なお、コンクリートは、強度特性が部材の断面寸法に依存するという寸法効果があるため、実構造物やモデル供試体に標準供試体の圧縮強度（以下、標準強度）を適用する場合は、なんらかの補正を行う必要がある。

例えば、コンクリート充填鋼管（以下、CFT）柱部材の累加耐力は、コンクリート単体の圧縮強度の関数で表される。よって、その計算において、コンクリート単体の圧縮強度として、一般に使用される標準強度を、断面寸法に応じて補正する必要がある。その一例として、CFT 短柱では、軸圧縮耐力を、次式に示す標準強度の補正を加味した単純累加耐力と比較し、CFT の特徴である鋼管とコンクリートの相互作用（以下、相乗効果）による耐力上昇を検討している¹⁾。

$$N_0 = A_s \cdot \sigma_y + A_c \cdot R \cdot \sigma_B \quad (1)$$

ここに、 A_s 、 A_c ：鋼管およびコンクリートの原断面積、 σ_y ：鋼材の降伏応力度、 R ：標準強度 σ_B の補正係数

コンクリートの圧縮強度の寸法効果に関しては、断面寸法が 200mm 程度以下の比較的小さい供試体を対象とした実験・理論的研究は、数多く行われており、その要因について明らかにされている（後述 2. 1 参照）。しかし、断面寸法が 400mm 程度以上の比較的大きい供試体を対象とした研究は、僅かしかないので^{例えば、2)}、大断面を含むコンクリートの圧縮強度の寸法効果については、

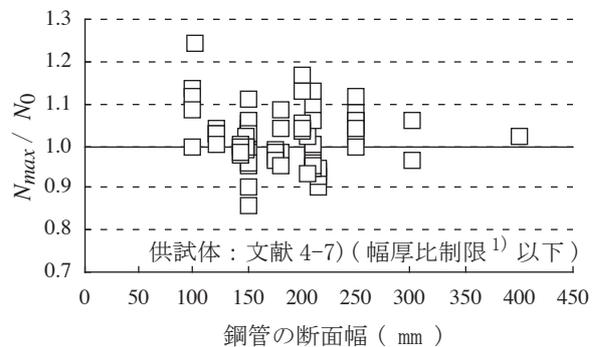


図-1 軸圧縮を受ける角形 CFT 短柱の単純累加耐力¹⁾

必ずしも統一的な見解が得られているわけではない（後述 2. 2 参照）。このような背景もあり、式（1）の標準強度の補正係数は、定式化されていない。なお、この補正係数は、一般に、従来慣用されている 0.85、もしくは Blanks らの円柱供試体の実験データ²⁾ をもとに算出した値が用いられている^{例えば、3)}。これらの場合の角形 CFT 短柱の単純累加耐力に対する実験値 N_{max} は、前者の補正では、その平均値が 1.0 より大きく、また標準偏差も高くなる¹⁾。一方、後者の補正では、図-1 に示すように、おおよそ 1.0 付近に存在する。従って、角形 CFT 短柱については、後者による補正の結果より、相乗効果による耐力上昇はほとんどないとされている¹⁾。一方、同図より、変動が認められるため、相乗効果による耐力上昇がある、また別途、標準強度の補正を考慮する必要があるとも考えられる。従って、標準強度の補正の方法次第で、対象とする項目の傾向が異なることから、コンクリートの圧縮強度の寸法効果を明確にしておく必要がある。

そこで、本研究では、コンクリートの圧縮強度に及ぼす寸法効果を把握することを目的として、まず圧縮強度

*1 豊田工業高等専門学校 建築学科准教授 博士（工学）（正会員）

*2 愛知工業大学 名誉教授 博士（工学）（正会員）

に及ぼす供試体の断面寸法に関連する既往の研究を取りまとめた。次に、既往の研究、および本研究で実施された諸々の圧縮強度試験の実験結果を比較・分析し、コンクリート円柱・角柱供試体の圧縮強度に及ぼす断面寸法の影響について検討した。

ここでは、コンクリートの圧縮強度として、供試体全体の平均圧縮強度だけでなく、供試体内部の部分圧縮強度にも着目して考察する。また、i) 断面寸法に対する高さの比が2.0以上の供試体、ii) コンクリートに空洞、鋼材および繊維が含まれていない供試体、を対象とする。i) の条件を設定した理由は、高さ直径(幅)比が2.0より小さい場合は、圧縮試験機の載荷板と供試体端面の間の摩擦を受けて、圧縮強度が上昇するためである。

2. 寸法効果に関する既往の研究成果

2.1 寸法効果の要因

寸法効果の要因として、主に破壊の領域の局所化、骨材寸法、養生温度および水和熱の影響が挙げられる。なお、これらの研究成果は、水和熱の影響を除き、断面寸法50-200mm程度の比較的小さい断面を有する供試体を対象とした圧縮試験より得られている。

(1) 破壊領域の局所化

畑中ら⁸⁾は、圧縮試験により破壊されたコンクリートについて、大径の破砕片の大きさが、供試体の断面寸法にほぼ比例することを実験で明らかにした。図-2に示すように、破壊領域が三次元であればひび割れは二次元であり、供試体寸法が大きいほど、ひび割れ面で消費されるエネルギーと比較して、全体に蓄えられるエネルギーの増加が顕著となって、圧縮強度の低下が生じる⁹⁾。

(2) 骨材寸法の影響

Sanghaら¹⁰⁾は、骨材寸法に対する供試体の断面寸法の比が小さい範囲では、断面寸法が大きいほど、圧縮強度が高くなるとの実験結果を報告している。これは、谷川ら¹¹⁾により、この領域では、断面寸法が大きいほど、供試体内部のセメントペースト(以下、母材)と骨材の非均質度が增大し、局所的なマイクロクラック発生からシステム全体の破壊に至までの過程が長くなり、エネルギー吸収能力が優るためと推察されている。また筆者の一人¹²⁾は、この非均質度が增大するほど、圧縮強度の変動係数が高くなるとの実験結果を得ている。

一方、母材強度が高くなると、これと骨材の強度の差が小さくなり、供試体内部の非均質度が減少し、マイクロクラック発生からシステム全体の破壊に至までの過程が短くなるため、断面寸法が大きいほど、圧縮強度が低くなると説明されている^{11,13)}。

以上の傾向を概念的にまとめると図-3(a)(b)のようになり、非均質度が大きいほど、断面寸法が小さい場合、

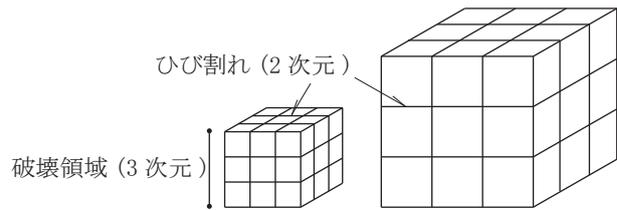
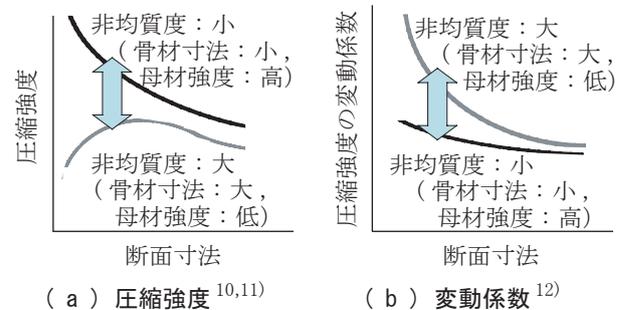


図-2 供試体の破壊パターン(理想的な相似型の場合の概念図)⁸⁾



(a) 圧縮強度^{10,11)} (b) 変動係数¹²⁾

図-3 寸法効果に及ぼす骨材寸法の影響(概念図)

断面寸法が大きいほど、圧縮強度が高くなる寸法効果が表れやすくなる。なお、この傾向は、単一粒径の骨材を使用している場合は顕著に表れるが、標準粒度かつ骨材最大寸法が25mm程度以下の場合には、あまり顕著に表れないと指摘されている¹⁴⁾。

(3) 養生湿度の影響(水和反応の阻害)

筆者の一人¹⁵⁾は、養生湿度が低い場合、供試体の断面寸法が小さいほど、圧縮強度が低くなるという実験結果を得ている。これについては、乾燥した大気中で養生された場合、湿潤のそれと比較し、断面寸法が小さいほど水分の散逸が顕著となり、水和反応が阻害されるためと考えて良いであろう。

(4) 水和熱の影響

コンクリート部材の断面寸法が大きいほど部材内部で発生したセメント水和熱は、一般に放出されず蓄積されやすくなるため、その水和反応による最高温度が、i) 部材中心部と比較し表面部は低くなる。ii) 部材の断面寸法が大きいほど高くなる。

杉山ら¹⁶⁾は、i) 部材中心部のコア供試体の圧縮強度(以下、コア強度)は、表面部のそれと比較して低い、ii) コア強度は標準強度と比較して、短期材齢では高く、長期材齢では低い、iii) 部材の断面幅が大きいほど部材中心部および表面部のコア強度が低くなる、との実験結果を報告している。これら部材中心部の圧縮強度については、上述のように部材内部の水和反応による最高温度が高いほど、長期的な強度発現が停滞するため、と考えられている。

大木ら¹⁷⁾は、コア強度の変動係数は、i) 部材の断面幅が大きいほど高くなる、ii) 水セメント比が大きいほど高くなる、iii) 材齢が長いほど、部材寸法の影響が小さくなり標準強度のそれと同程度になる、との実験結果

を得ている。これらの理由は、i) については部材寸法が大きいほど部材内部で発生したセメント水和熱が放出されずに蓄積するため、ii) については、水セメント比が大きいほど、水和反応の進行が遅いため、iii) については、材齢が長いほど、強度発現が安定するため、と考えられている。

2. 2 現状の不明点

昨今、断面寸法 400mm 以上を有する供試体を対象とした圧縮試験が実施されている。これらの研究成果を踏まえ、寸法効果に関する現状の不明点を取り上げる。

(1) 円柱供試体

中村ら¹⁸⁾の報告した圧縮強度と断面直径の関係に及ぼすコンクリートの強度レベル f の影響を図-4に示す。図の縦軸は、各圧縮強度を断面直径 100mm の標準強度で除した圧縮強度比を表している。図中の曲線は従来慣用されている次式に示す Blanks らの提案式²⁾である。

$$R = (D / D_0)^{-0.1} \quad (2)$$

ここに、 R : D_0 の圧縮強度に対する断面直径 D の圧縮強度の比、 D_0 : 標準とする供試体の断面直径

同図より、強度レベル 33MPa かつ断面直径 600mm の圧縮強度比が、式(2)と比較して高いことが認められる。これは、前述 2. 1 (4) の水和熱の影響であると考えられているが¹⁸⁾、断面直径 900mm の圧縮強度比とは傾向が異なるため、断定されていない。なお、ここでは断面直径 100mm の標準供試体を標準としていることに注意しなければならない(後述 4. 3 参照)。

(2) 角柱供試体

疋田ら¹⁹⁾の報告した圧縮強度と断面幅の関係に及ぼすコンクリートの強度レベル f の影響を図-5に示す。図の縦軸は、各圧縮強度を断面直径 100mm の標準強度で除した圧縮強度比を表している。図中の曲線は式(2)の補正の対象となる円柱供試体を角柱供試体に置き換えた次式である。

$$R = (B / D_0)^{-0.1} \quad (3)$$

ここに、 R : D_0 の圧縮強度に対する断面幅 B の圧縮強度の比

同図より、各圧縮強度比ともに、式(3)と比較して低いことがわかる。また、前述 2. 2 (1) に反して、強度レベルが低いほど、圧縮強度比の低下が顕著であることが認められる。これらの傾向より、角柱供試体の寸法効果は、円柱供試体のそれより著しいと考えられるが、断定されていない。なお、圧縮強度比が著しく低い強度レベル 33MPa は、その破壊形状より、コンクリートの縦方向打設による骨材の沈下の影響で圧縮強度が低下したためと考えられている¹⁹⁾。

中谷ら²⁰⁾の報告した断面幅 800mm を有する供試体の圧縮強度試験結果を表-1に示す。同表より、石炭灰混

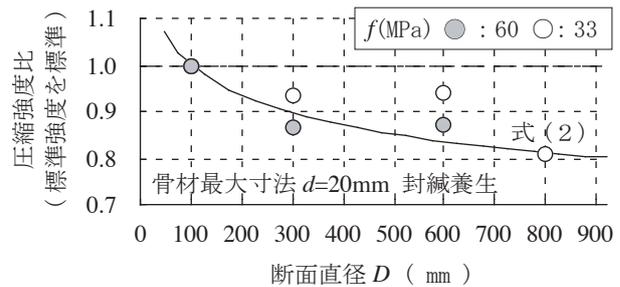


図-4 中村らの実験データ¹⁸⁾ (標準供試体を標準)

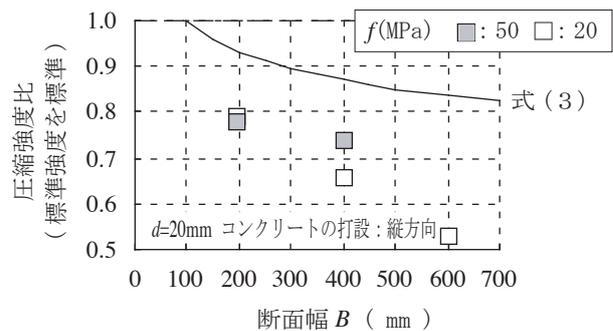


図-5 疋田らの実験データ¹⁹⁾ (標準供試体を標準)

表-1 中谷らの実験データ²⁰⁾ (角柱供試体)

B (mm)	f (MPa)	石炭灰	圧縮強度/標準強度	式(3)
800	36	なし	0.79	0.81
		あり	0.84	
	27	なし	0.78	
		あり	0.86	

[註] コンクリートの打設: 横方向

入りの圧縮強度比は、石炭灰混入なしと比較して高いことがわかる。よって、石炭灰を混入することで、寸法効果を低減する可能性があると考えられているが、この理由については不明である。なお、ここでは、前掲図-5も同様に、断面直径 100mm の標準供試体を標準としていることに注意しなければならない(後述 4. 3 参照)。

3. 本実験概要

本研究では、前述 2. 2 の傾向を踏まえ、コンクリート角柱供試体の圧縮強度と断面幅の関係を再検討するため、断面幅の異なる角柱供試体の圧縮強度試験を実施した。なお、既報²¹⁾の供試体を併せて記述する。

3. 1 実験要因・水準

表-2に、実験要因および水準を示す。同表に示すように、実験要因として、角柱供試体の断面幅および前述 2. 1 (2) より骨材最大寸法を取り上げた。断面幅は 100, 200, 300 および 600mm の 4 種類である。骨材最大寸法は 25mm および 15mm²¹⁾ の 2 種類である。

3. 2 調査表・使用材料

表-3に、コンクリートの調査表を示す。水は水道水、セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材および粗

表-2 実験要因・水準

実験要因	実験水準
供試体断面幅 (mm)	100, 200, 300, 600
骨材最大寸法 (mm)	25, 15

表-3 調合表一覧

W/C (%)	d (mm)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)	混和剤/C (%)
61	25	178	292	839	923	1.00
61	15	167	274	836	970	1.00

[註] W: 水, C: セメント, S: 細骨材, G: 粗骨材

骨材はそれぞれ川砂および川砂利, 混和剤は AE 減水剤を使用した。

3.3 供試体作製

コンクリートの打設は, 各シリーズともに, 縦方向による2層詰めとし, 突き棒および振動機による締固めを施した。なお, 型枠は鋼製型枠を使用した。供試体の高さに対する断面寸法の比は2である。打設後の材齢4日まで実験室内にて封緘養生とし, その後, 脱型し, ビニールシートで被覆し同様に実験室内にて養生した。供試体の上面には, 平滑性を確保するためセメントペーストキャッピングを施した。供試体の標本数は2である。

3.4 実験方法

圧縮強度試験における荷重の載荷条件は単調載荷とし, 各供試体の断面寸法に応じて2, 6および32MN級の圧縮試験機を使用した。また, 圧縮強度試験は, 材齢5週後に実施した。なお, 圧縮試験機の載荷板と供試体端面の間の摩擦を取り除く処理は施していない。

4. 既往の研究および本研究の実験結果・考察

本章では, 前述2章でまとめた寸法効果の原因・不明点を踏まえ, 既往の研究および本研究で実施された圧縮強度試験の結果と表示式による値を比較・検討した。なお, コンクリートの打設を縦方向としている供試体および前掲図-5より, 縦方向打設による骨材の沈下が生じていないと考えられる供試体を対象とする。

4.1 角柱供試体の寸法効果

図-6に, 本実験の圧縮強度と断面幅の関係に及ぼす骨材最大寸法の影響を示す。図の縦軸は, 各圧縮強度を断面幅100mmのそれで除した圧縮強度比を表している。図中の実曲線は式(2)のBlanksらの提案式を角柱供試体に置き換えた次式である。

$$R = (B/B_0)^{0.1} \quad (4)$$

ここに, R : B_0 の圧縮強度に対する断面幅 B の圧縮強度の比, B_0 : 標準とする供試体の断面幅

同図より, 骨材最大寸法15mmの圧縮強度比が, 式(4)より高いことがわかる。なお, これらは, 断面幅100mmを標準として検討していることが影響していると考えら

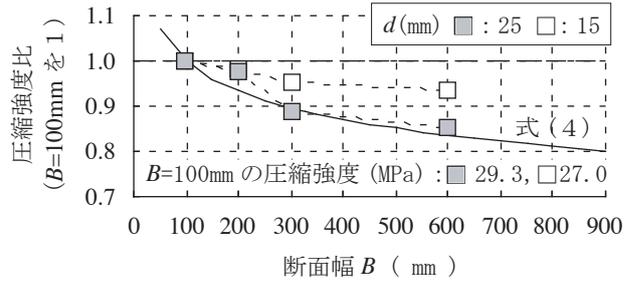


図-6 本研究の実験データ (断面幅 100mm を標準)

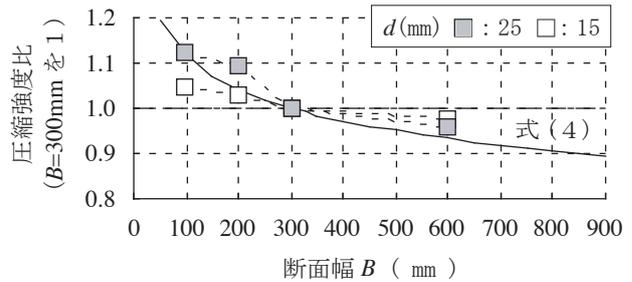


図-7 本研究の実験データ (断面幅 300mm を標準)

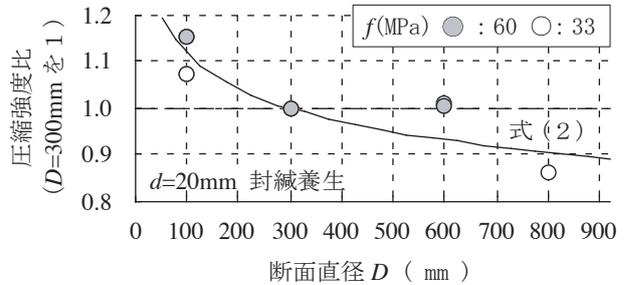


図-8 中村らの実験データ¹⁸⁾ (断面直径 300mm を標準)

れる (後掲図-10 参照)。そこで, 図-7に, 標準としている供試体の断面幅を300mmに置き換えた場合の圧縮強度比と断面幅の関係を示す。同図より, 各骨材最大寸法ともに, 寸法効果の傾向を, Blanksらの提案式を角柱供試体に置き換えた式(4)でおおむね表せることがわかる。

以上より, 角柱供試体の圧縮強度の寸法効果は, 円柱供試体のそれとほぼ同等であると言える。

4.2 円柱供試体の寸法効果

前述4.1を踏まえ, 前掲図-4の中村ら¹⁸⁾の実験データの標準としている供試体の断面直径を300mmに置き換えた圧縮強度比と断面直径の関係を図-8に示す。同図より, 各強度レベルともに, 寸法効果の傾向を, 式(2)でおおむね表せることがわかる。

以上より, 相対的に圧縮強度の寸法効果を検討する場合は, 標準とする供試体次第で, その傾向が異なると言える。更に, これは前述2.2を踏まえ, 強度レベルの低い供試体が, 影響を受けやすい傾向にあることが認められる。なお, 谷川ら²²⁾は, 強度レベルが低い場合, 圧縮強度の変動係数が大きくなりやすい実験結果を得ている。従って, 断面寸法が小さいかつ強度レベルが低い

圧縮強度比は、前掲図-3(b)の非均質度が大きい、および水セメント比が大きく前述2.1(3)の水和反応の阻害を受けやすいため、大きく変動する可能性があると考えられる。

以上の結果を概念的にまとめると図-9のようになる。

4.3 標準供試体と角柱供試体の圧縮強度の関係

前述2.2(2)を踏まえ、本研究の実験データと表-4に示す既往の実験データ^{19,21,23)}を対象として、標準強度と角柱供試体の圧縮強度の関係について検討を行う。また、Gonnerman²⁴⁾が、角柱供試体の圧縮強度は、その断面幅と等しい断面直径を有する円柱供試体の圧縮強度と比較し、低い実験結果を得ている。さらに、横尾ら²⁵⁾、および杉田ら²⁶⁾は、角柱供試体のコンクリートの圧縮強度は、円柱供試体のそれと比較して、著しく低下する実験結果を報告している。そこで、ここでは、この断面形状の影響についても検討する。

図-10に、標準強度（直径100mm、高さ200mmの円柱供試体の圧縮強度）に対する角柱供試体の圧縮強度の圧縮強度比と断面幅の関係を示す。図中の実曲線は式(4)の標準となる角柱供試体を円柱供試体に置き換え、また、前述4.1より、角柱供試体の圧縮強度の寸法効果は、円柱供試体のそれとほぼ同等であるため (B/D_0) の指数を、式(2)と同様に-0.1とし、これに断面形状の影響による補正を加味した次式である。

$$R = \alpha (B/D_0)^{-0.1} \quad (5)$$

ここに、 $R : D_0$ の圧縮強度に対する断面幅 B の圧縮強度の比、 α ：断面形状の影響による補正係数

図中の実線、破線および点線は、それぞれ α を1.0、0.9、および0.8とした式(5)を表している。

同図より、各圧縮強度比のほとんどが、補正係数が1.0の実線付近に存在していないことが認められる。これは、標準強度を標準にしているため、前掲図-9に示す変動に加え、断面形状の影響があると考えられる。なお、図中の各曲線より、これら圧縮強度比と断面幅の関係は、補正係数 α を定めることにより式(5)で、おおむね表せると考えられる。

以上より、コンクリート角柱供試体の圧縮強度に、標準強度（直径100mm、高さ200mmの円柱供試体の圧縮強度）を適用する場合は、寸法効果に加え、断面形状の影響による補正を行う必要があると推察される。なお、これらコンクリートの円柱供試体の圧縮強度と角柱供試体の圧縮強度の関係は、確定されるに至っていない。

5. おわりに

本研究では、コンクリート円柱・角柱供試体の圧縮強度に及ぼす断面寸法の影響について検討した。本研究の範囲内で得た主な結果を次に示す。

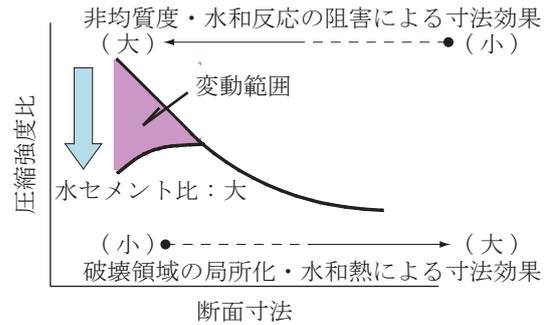


図-9 寸法効果に及ぼす各種要因の影響（概念図）

表-4 検討対象とした角柱供試体（縦方向打設）

著者	文献番号	f (MPa)	d (mm)	断面幅 (mm)	印 (図-10)
本研究		30	25	200, 300, 600	■
	21)	30	15		□
筆者ら	23)	60	25	400	■
		30			□
疋田ら	19)	50	25	194, 400	●

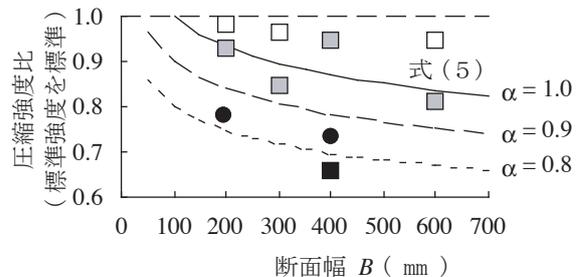


図-10 標準強度を標準とした圧縮強度比と断面幅の関係

- 1) 断面寸法が小さいかつ強度レベルが低い供試体の圧縮強度比は、非均質度が大きい、および水セメント比が大きく水和反応の阻害を受けやすいため、大きく変動する可能性がある。
- 2) 角柱供試体の圧縮強度に関する寸法効果は、円柱供試体のそれと同等である。
- 3) コンクリート角柱供試体の圧縮強度に、標準強度（直径100mm、高さ200mmの円柱供試体の圧縮強度）を適用する場合は、寸法効果に加え、断面形状の影響による補正を行う必要がある。

謝辞

研究の実施にあたり、貴重なご意見をくださいました三重大学大学院工学研究科畑中重光教授に深謝します。また、研究成果を引用させていただいた多くの文献著者に敬意と謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会：コンクリート充填鋼管構造設計施工指針，第2版，pp. 3-28，2008.10
- 2) Blanks, R. F. and McNamara, C. C. : Mass

- Concrete Tests in Large Cylinders, Journal of
ACI, Vol. 31, No. 3, pp. 280-303, 1935. 1-2
- 3) 中原浩之, 稲井栄一, 崎野健治: コンクリート充填
角形鋼管短柱の中心圧縮耐力, 構造工学論文集, Vol.
44B, pp. 167-174, 1998. 3
 - 4) 山口育雄, 菅野俊介, 長嶋俊雄, 平出亨, 沢田博:
充てん型コンクリート短柱の中心圧縮性状(その1,
2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 構造
II, pp. 1353-1356, 1988. 10
 - 5) 渡辺英義, 竹崎真一, 成原弘之, 小林淳, 渡辺征
晃, 中村敏治: コンクリート充填鋼管柱の構造性能
に関する研究(その4), 日本建築学会大会学術講演
梗概集(北海道), 構造III, pp. 773-774, 1995. 8
 - 6) 藤本利昭, 崎野健治, 森野捷輔, 他10名: 高強
度材料を用いたコンクリート充てん鋼管短柱の軸圧縮
特性, 日本建築学会構造系論文集, 第498号, pp.
161-168, 1997. 8
 - 7) Yamamoto, T., Kawaguchi, J. and Morino, S.:
Size Effect on Ultimate Compressive Strength of
Concret-Filled Steel Tube Short Columns, Proc.
of the Structural Engineers World Congress,
Yokohama, CD-Rom, 2002.10
 - 8) Hatanaka, S., Mizuno, E., Koike, S. and Tan-
igawa, Y.: Experimental Study of the Effect of
Size on the Physical Properties of Concrete un-
der Compression, Concrete Library of JSCE, Vol.
24, No. 3, pp. 151-161, 1994. 12
 - 9) 土木学会コンクリート委員会・寸法効果小委員会:
コンクリートの寸法効果と引張軟化曲線, コンクリー
ト技術シリーズ, Vol. 18, pp. 2-5, 1997. 5
 - 10) Sangha, C.M. and Dhir, R.K.: Strength and Com-
plete Stress-Strain Relationships for Concrete
Tested in Uniaxial Compression under Different
Test Conditions, Materiaux et Constructions,
Vol. 5, No. 30, pp. 361-370, 1972
 - 11) 谷川恭雄, 山田和夫: コンクリートの圧縮強度の
寸法効果について, 日本建築学会報告集, 第262号,
pp.13-20, 1977. 12
 - 12) 小池狭千朗: コンクリートの各種強度の確率分布に
及ぼす供試体寸法の影響, セメント技術年報, Vol.
35, pp. 120-124, 1981. 5
 - 13) 野口貴文, 友澤史紀: 高強度コンクリートの圧縮力
学特性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, 第473号, pp. 19-28, 1995. 7
 - 14) 畑中重光, 岸圭介, 山田和夫, 谷川恭雄: 骨材の
粒度分布を考慮したコンクリート強度の寸法効果予測
式, コンクリート工学年次報告集, Vol. 17, No. 1,
pp. 481-484, 1995
 - 15) 小池狭千朗, 畑中重光: 横拘束コンクリートの圧
縮強度特性に及ぼす供試体の形状・寸法の影響, コン
クリート工学年次論文報告集, Vol. 12, No. 2, pp.
707-712, 1990
 - 16) 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,
第594号, pp. 1-8, 2005. 8
 - 17) 大木崇輔, 中田善久, 大塚秀三, 毛見虎雄: 大き
さが異なる高強度コンクリート部材から採取したコア
強度とその変動に及ぼす影響, コンクリート工学年
次論文集, Vol. 31, No. 1, pp. 1579-1584, 2009
 - 18) 勝倉靖, 中村敏治, 田口典生, 小林淳: 大口径CFT
柱の構造性能確認実験, コンクリート工学年次論文報
告集, Vol. 20, No. 3, pp. 919-921, 1998
 - 19) 疋田次峰, 倉本洋, 田中仁史, 中治弘行: コン
クリートの一軸圧縮応力-ひずみ関係に及ぼす寸法効果
の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No.
2, pp. 193-198, 2002
 - 20) 中谷誠, 椛山健二, 荒木秀夫, 菅野俊介: 石炭
灰を多量に用いたコンクリートの素材特性, コン
クリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 2, pp.
1609-1614, 2002
 - 21) 小池狭千朗, 畑中重光, 吉田幸夫, 水野英二: 内
部に欠陥を有するプレーンコンクリートの圧縮特性に
おける寸法効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集,
A-1, pp. 17-18, 2002. 8
 - 22) 谷川恭雄, 山田和夫, 畑中重光, 柴田辰正: 高強
度・超高強度コンクリートの圧縮強度の試験方法並び
に変動に関する研究, コンクリート工学年次論文報
告集, Vol. 12, No. 1, pp. 231-236, 1990
 - 23) 山本貴正, 川口 淳, 森野捷輔, 小池狭千朗: コ
ンクリート充てん鋼管短柱の応力-ひずみ関係に及
ぼす寸法効果に関する実験的研究(その13), 日本
建築学会大会学術講演梗概集, B-3, pp.1085-1086,
2004. 8
 - 24) Gonnerman, R. F.: Effect of Size and Shape
of Test Specimen of Compressive Strength of
Concrete, Proc. ASTM, Vol. 25, No. 2, pp.
237-250, 1925. 10
 - 25) 横尾義貫, 若林実, 末永保美, 宮村篤典: H形鋼を
用いた鉄骨コンクリートに関する研究(No.3), 日本建
築学会論文報告集, No. 134, pp. 20-23, 1967. 4
 - 26) 杉田和直, 大野生二, 阿部正慶: コンクリートの
断面形状が圧縮強度に及ぼす影響, 日本建築学会大会
学術講演梗概集, A-1, pp. 309-310, 2007. 8