

論文 小型モルタル供試体の圧縮強度に及ぼす供試体寸法および端面仕上げ方法の影響

若林信太郎^{*1}・谷川恭雄^{*2}・中込昭^{*3}・佐原晴也^{*4}

要旨：本研究では、モルタル供試体より採取した $\phi 20\text{mm}$ 程度の小径コアの圧縮強度について検討した。その結果、小径コア供試体の直径と高さの比 h/d のが $1.2\sim 1.8$ 程度であれば、小径コアの圧縮強度によって、 $40\times 40\times 40\text{mm}$ の供試体の圧縮強度の推定が可能なことを明らかにした。また、小径コアの端部の仕上がり状況が小径コアの圧縮強度に及ぼす影響についても検討した。その結果、イオウキャッピングを施すものが、最も精度よく強度を測定できることが確認された。

キーワード：小径コア，モルタル，寸法効果，イオウキャッピング

1. はじめに

構造体コンクリート強度の推定方法として、筆者らは、 $\phi 18\sim 25\text{mm}$ 程度の小径コアを用いる方法を考案した¹⁾。これは、小径コアと $\phi 100\text{mm}\times 200\text{mm}$ の円柱供試体の強度の差がほぼ一定となることから、小径コアの圧縮強度から構造体コンクリートの強度を推定するものである。既往の研究において明らかとなった課題としては、小径コアによる強度の推定を精度よく行い、小径コア法の適用範囲を明確にするためには、小径コアの圧縮強度に及ぼす供試体の寸法効果、供試体端面の平行度および平滑度、圧縮試験時の載荷方法等の影響をより詳細に把握する必要があることが挙げられる。そこで、本研究では、小径コア供試体の端面の平行度および供試体の高さ h と直径 d の比 h/d が圧縮強度に及ぼす影響を検討した。

2. 実験の概要

本研究では、以下に示す3つの方法でモルタル小径コアを作製し、それらを用いて圧縮強度試験を行った。作成方法は、(1)塩化ビニル管中にモルタルを充填して供試体を作成する方法（実験1）、(2) $40\times 40\times 160\text{mm}$ の角柱供試体か

らコアドリルによって抜き取る方法（実験2）、(3) $\phi 50\times 100\text{mm}$ の円柱供試体からコアドリルによって抜き取る方法（実験3）である。各実験とも、繰り返しのない要因実験として行い、各要因の効果について分散分析を行った。小径供試体ならびに小径コアの圧縮試験は、 $40\times 40\text{mm}$ のモルタル供試体用の載荷用球座を用いて、容量 10tf の圧縮試験器にて行った。載荷は、変位速度 1.71mm/min の変位制御で行った。他の供試体は、容量 100tf の圧縮試験器を用いて、JIS R 5201およびJIS A 1108に準拠して行った。

2.1 調合

表-1に、モルタルの調合およびモルタルフロー値を示す。モルタルの作製には、普通ポル

表-1 モルタル調合およびモルタルフロー値

調合	セメント 砂比 (容積比) C/S	水セメント 比 W/C (%)	水 W (kg/m^3)	セメント C (kg/m^3)	砂 S (kg/m^3)	モルタル フロー値 平均値 (mm)
A ₁	1 : 2.0	35.4	273	768	1,273	200
A ₂	1 : 2.5	37.2	254	683	1,415	192
A ₃	1 : 3.0	40.1	239	597	1,486	184
A ₄	1 : 3.5	43.6	223	512	1,485	182
A ₅	1 : 4.0	47.8	225	469	1,556	176

*1 (株) 銭高組技術研究所 工修 (正会員)

*2 名古屋大学教授 工学研究科建築学専攻 工博 (正会員)

*3 前田建設工業 (株) 技術研究所 課長 工修 (正会員)

*4 日本国土開発 (株) 技術開発研究所 主任研究員 工博 (正会員)

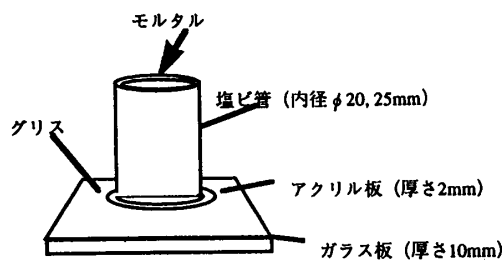


図-1 モルタル供試体の成形方法 (実験1)

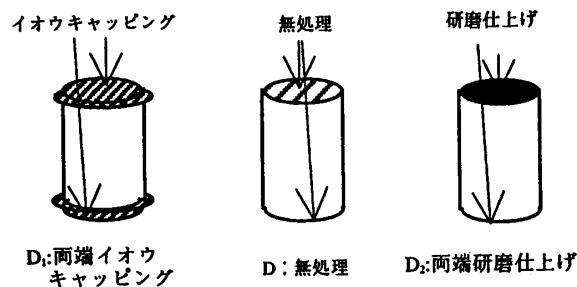


図-2 D:端面の仕上げ方法 (実験1)

トランドセメントと川砂を用いた。使用するモルタルは、砂セメント比を、2.0, 2.5, 3.0, 3.5および4.0の5水準に設定し、左官用モルタルの軟度となるように水分を調整してモルタルを練り混ぜ、練上り後にフロー試験により軟度を確認した。モルタルフロー値は、176～200mmの範囲にあり、平均値は187mmであった。

2.2 塩化ビニル管中にモルタルを充填して作製した供試体を用いた実験 (実験1)

実験1では、試験体として、塩化ビニル管 (以下、塩ビ管と略記) 中にモルタルを充填して成形した60体の小径供試体を用いた。

図-1にモルタル供試体の成形方法を示す。本実験では、抜き取り時に生じる軸方向の曲がりや切断時に生じる平行度の違いによる影響を除去するために、内径20mmならびに25mmの塩ビ管にモルタルを充填して、供試体を成形した。モルタル充填時には、供試体の底面の平滑さを確保するために、塩ビ管の底面を厚さ10mmのガラス板を下においた厚さ2mmのアクリル板の上に設置した。モルタルは、2層に分けて充填し、各層5回突き棒による締固めを行った。モルタル充填後には、供試体の上端に下端と同じアクリル板を置いた。モルタル充填翌日に型枠の脱型を行った。供試体は、2日間水中養生し

表-1 因子と水準 (実験1)

因子	水準1	水準2	水準3	水準4	水準5
A:モルタル調合 セメント砂比 (容積比) C/S 水セメント比 W/C (%) セメント水比 C/W	A ₁ : 1:2 35.4 2.82	A ₂ : 1:2.5 37.2 2.69	A ₃ : 1:3 40.1 2.49	A ₄ : 1:3.5 43.6 2.29	A ₅ : 1:4 47.9 2.09
因子	水準1		水準2		
B:塩ビ管内径	B ₁ :φ20mm		B ₂ :φ25mm		
C:供試体の直径 と高さの比 h/d	C ₁ :h/d=1.2		C ₂ :h/d=1.8		
因子	水準1		水準2	水準3	
D:端面の仕上げ方法	D ₁ : 両端イオウ キャッピング		D ₂ : 切断後無処理	D ₃ : 切断後両 端研磨	

た後に、材齢4日で圧縮強度試験を行った。

表-2に、実験1の因子と水準を示す。実験1では、モルタル調合、塩ビ管内径、供試体の直径と高さの比h/d (以下、h/d略記) および端面の仕上げ方法の4因子を取りあげた。

塩ビ管内径は、20および25mmの2水準とした。端面の仕上げ方法は、3水準とした。図-2に、端面の仕上げ方法を示す。端面の仕上げ方法は、以下の3方法を適用した。水準D₁は、両端にイオウキャッピング仕上げ、水準D₂は、両端をダイヤモンドカッターにより切断したままの状態のもの (以下、無処理)、水準D₃は、両端をダイヤモンドカッターで切断後に研磨材を用いて手作業により研磨仕上げを施したものである。水準D₂およびD₃は、現場での試験の簡便さを考慮したものである。いずれの仕上げ作業においても、供試体の高さの差は、0.5mm以下となるよう供試体を成形し、平滑度の管理は、定規を用いて目視により行った。イオウキャッピングの厚さは、0.5mm程度である。載荷面にイオウキャッピングを施したφ20×40mmの円柱型の鉄製の供試体を用いた圧縮試験によりイオウキャッピングの圧縮強度を確認した。厚さ3mmのイオウキャッピングは、平均77.6N/mm²の圧縮力下でイオウが圧壊したものの、本実験で用いる厚さ0.5mmのイオウキャッピングは、圧縮力が160N/mm²を超えても破損しなかった。

2.3 40×40×160mm角柱供試体から採取した小径コアを用いた実験 (実験2)

実験2では、小径コアを採取する供試体として、1調合につき6体計30体の40×40×160mmの

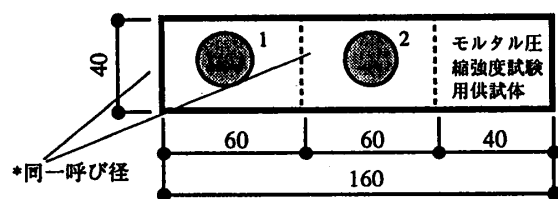


図-3 小径コアの抜き取り位置 (実験2)

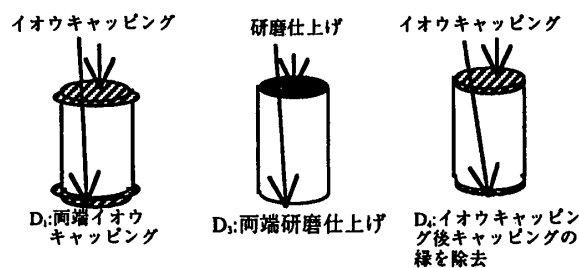


図-4 D:端面の仕上がり状況 (実験2)

表-3 因子と水準 (実験2)

因子	水準1	水準2	水準3	水準4	水準5
A:モルタル調合 セメント砂比 (容積比C/S 水セメント比W/C(%)) セメント水比C/W	A ₁ : 1:2 35.4 2.82	A ₂ : 1:2.5 37.2 2.69	A ₃ : 1:3 40.1 2.49	A ₄ : 1:3.5 43.6 2.29	A ₅ : 1:4 47.9 2.09
因子	水準1		水準2		
B:コアビット呼び径	B ₁ : φ 25mm		B ₂ : φ 29mm		
C:コアの直径 と高さの比 h/d	C ₁ :h/d=1.2		C ₂ :h/d=1.8		
因子	水準1		水準2	水準3	
D:端面の仕上げ方法	D ₁ : 両端イオウ キャッピング		D ₂ : 両端研磨	D ₃ :イオウ キャッピングの縁 を除去	

角柱供試体を用いた。モルタルの打設は、JIS R 5201に準拠して行った。また、モルタル打設後直ちに濡れむしろおよびビニルシートで供試体を覆い、脱型することなく4日間湿潤養生を行った。小径コアは、材齢5日で角柱供試体の側面から採取した。図-3に小径コアの抜き取り位置を示す。実験2では、1体の角柱体より、因子B:コアビット呼び径の同一水準における小径コアを2体採取し、残りの部分をJIS R 5201によるモルタルの圧縮強度試験用供試体とした。小径コアは、計60体採取した。

表-3に、実験2における因子と水準を示す。実験2の因子と水準は、端面の仕上げ方法以外は、すべて実験1と同じである。図-4に小径コアの端面の仕上げ方法を示す。端面の仕上げ方法は、両端にイオウキャッピング仕上げ、両端を実験1と同様の研磨仕上げ、両端にイオウキ

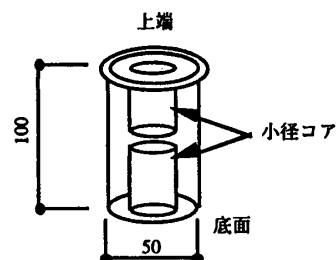


図-5 小径コアの抜き取り位置 (実験3)

表-4 因子と水準 (実験3)

因子	水準1	水準2	水準3	水準4	水準5
A:モルタル調合 セメント砂比 (容積比) C/S 水セメント比 W/C(%) セメント水比 C/W	A ₁ : 1:2 35.4 2.82	A ₂ : 1:2.5 37.2 2.69	A ₃ : 1:3 40.1 2.49	A ₄ : 1:3.5 43.6 2.29	A ₅ : 1:4 47.9 2.09
因子	水準1		水準2		
B:コアビット呼び径	-		B ₂ : φ 29mm		
C:コアの直径 と高さの比 h/d	C ₁ : h/d=1.2		C ₂ : h/d=1.8		
E:抜き取り位置	E ₁ :上端		E ₂ :底面		

ャッピングを施した後にキャッピングの縁を除去したものの3水準とした。水準D₄は、キャッピングの縁の拘束効果を検討するためにとりあげた。圧縮強度試験は、材齢8日で行った。

2.4 φ50×100mmの円柱試験体から採取した小径コアを用いた実験 (実験3)

実験3では、直径50×高さ100mmの円柱供試体から小径コアを採取した。円柱供試体は、同一調合につき5体作成し、3体を圧縮強度試験に用い、残りの2体から小径コアを採取した。モルタルは、2層に分けて充填し、1層ごとに8回ずつ突き棒により突き、締固めを行った。モルタル充填後は、実験2と同様に、直ちに濡れむしろおよびビニルシートで供試体を覆い、脱型することなく4日間湿潤養生を行い、材齢5日で小径コアの採取を行った。図-5に、小径コアの抜き取り位置を示す。小径コアは、円柱供試体の上部ならびに下部から1体ずつの計2体を採取した。本実験で採取した小径コアの個数は、20体である。圧縮強度試験は、材齢8日で行った。

表-3に、実験3の因子と水準を示す。実験3における因子は、モルタル調合、コアビットの呼び径、コアの高さと直径の比 h/d および小径コアの抜き取り位置の4因子とした。小径コアの採取位置は、上端と底面の2水準とした。端面の仕上げ方法は、両端ともイオウキャッピン

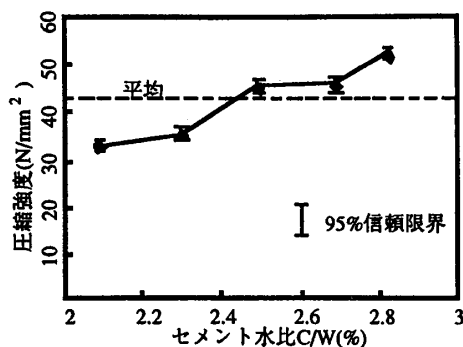


図-6 小径供試体の圧縮強度とセメント水比C/Wの関係(実験1)

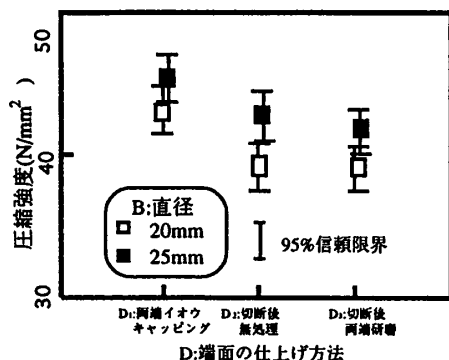


図-8 小径供試体の圧縮強度に及ぼす端面の仕上げ方法の要因効果(実験1)

グ仕上げとした。

3. 実験結果および考察

3.1 塩化ビニル管中にモルタルを充填して作製した供試体を用いた実験(実験1)

図-6に、実験1で使用した小径供試体の圧縮強度とセメント水比C/Wの関係を示す。実験1での小径供試体の圧縮強度は、28.1～59.7N/mm²の範囲にあり、要因A:モルタル調合の各水準における平均値は、それぞれA₁:52.2, A₂:45.6, A₃:45.4, A₄:35.1およびA₅:32.8N/mm²であった。小径供試体の圧縮強度を分散分析した結果、要因A:モルタル調合および要因D:端面の仕上げ方法が有意であった。

図-7に、モルタル全調合における小径供試体の圧縮強度荷及ぼすh/dの要因効果を供試体の直径ごとに示す。供試体の直径にかかわらず、同様の勾配で、h/dの増加とともに圧縮強度が低下した。

図-8に、モルタル全調合における小径供試体の圧縮強度に及ぼす端面の仕上げ方法の要因

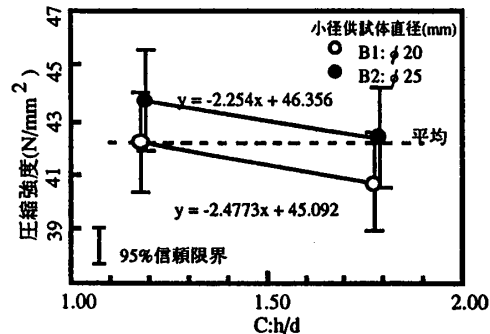


図-7 小径供試体の圧縮強度に及ぼすh/dの要因効果(実験1)

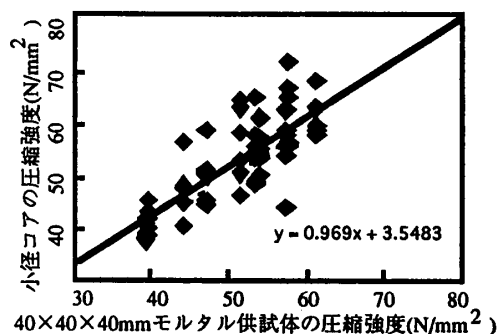


図-9 小径コアの圧縮強度と40×40×40mm供試体の圧縮強度の関係(実験2)

効果を示す。ここでは、イオウキャッピングで端面を仕上げた小径供試体の圧縮強度の平均値が46.0N/mm²で、他の2要因(両端を研磨仕上げ:40.3N/mm², 無処理:40.3N/mm²)と比較して約15%大きい。各水準の圧縮強度の標準偏差は、イオウキャッピング:7.89, 無処理:9.58および研磨仕上げ:7.12N/mm²であった。無処理の小径供試体は、標準偏差σが最も大きく、小径供試体の端部が無処理のままでは、所定の平行度ならびに平滑度が得られず、圧縮強度が低下し、ばらつきが大きくなることを示している。また、圧縮試験後の破壊状況が、無処理ならびに研磨仕上げの小径コアは、端面が割裂しているものが多く見られ、小径コアの端面に均等に荷重が加わっていないことが確認された。以上のことから、本実験で採用した研磨方法では、供試体端面の平滑度が確保できるイオウキャッピングと比較して、モルタル強度を精度よく評価できないことが明らかとなった。

3.2 40×40×160mmの角柱供試体から採取した小径コアを用いた実験(実験2)

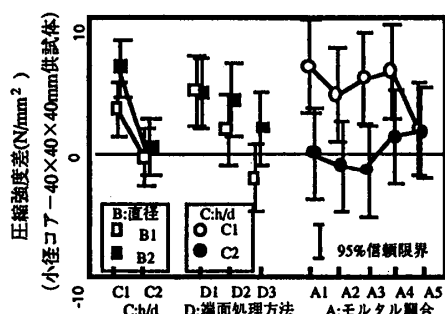


図-10 小径コアと40×40×40mm供試体の強度差に及ぼす要因効果 (実験2)

図-9に、40×40×40mmモルタル供試体の圧縮強度と小径コアの圧縮強度の関係を示す。図中の実線は、両者の関係を最小2乗法で回帰した直線である。40×40×40mm供試体の圧縮強度は、38.1～63.1N/mm²の範囲にあり、実験2で用いた小径コアの圧縮強度は、38.0～72.4N/mm²の範囲にあった。また、図-9中の回帰直線の傾きがほぼ1に等しいことから、モルタル調合に関わらず40×40×40mmモルタル供試体の圧縮強度と小径コアの圧縮強度の差が、ほぼ一定であるといえる。

図-10に、モルタル全調合における小径コアと40×40×40mm供試体の圧縮強度差に及ぼす要因効果を示す。要因C:h/d、要因D:端面の仕上げ方法および因子A:モルタル調合と因子D:端面の仕上げ方法の交互作用A×Dが有意であった。要因D₁:イオウキャッピングでは、ほとんど小径コアと40×40×40mm供試体の圧縮強度差は見られなかったが、要因D₂:研磨仕上げおよび要因D₃:両端にイオウキャッピングを施した後にキャッピングの縁を除去したものでは、小径コアの直径による違いが顕著になった。

要因D₁, D₂, D₃の圧縮強度の平均値は、54.9, 51.8, 51.1N/mm²で、標準偏差は、8.11, 9.66, 8.82N/mm²であった。小径コアの破壊性状は、イオウキャッピング仕上げの供試体は、モルタル面において対角状の斜めの線で破壊しているのに対し、他の2つの処理方法を施した供試体には、上端ならびに下端が割裂しているものが多く見られた。これは、載荷面に凹凸があるため、載荷時に圧縮荷重を均等に受けないことが

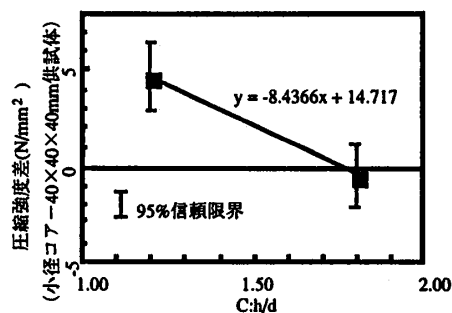


図-11 小径コアと40×40×40mm供試体の強度差の推定値に及ぼすh/dの要因効果 (実験2)

考えられる。以上のことから、イオウキャッピング仕上げと比較すると、現場採用を意図した今回の手作業での研磨仕上げの方法では、供試体端面に凹凸があり、圧縮強度が小さく、ばらつきも大きいことから、小径コアの圧縮強度を精密に測定できていないといえる。また、縁を除去した小径コアがイオウキャッピングを施した小径コアよりも強度が小さくなることに関しては、圧縮強度試験時にイオウキャッピングの縁の部分が、小径コアに、何らかの形で拘束効果を与えていることが考えられる。しかし、イオウキャッピングの縁の部分は、圧縮強度試験時には、比較的低い荷重で破壊することから、今後は、低荷重時における小径コアの応力分布も検討する必要がある。また、モルタル強度が大きくなると、h/dが1.5の小径コア強度は、40×40×40mm供試体強度よりも大きくなる傾向があるものの、h/dが2.0の水準では、それとは逆の傾向が見られた。また、40×40×40mm供試体に対する小径コアの圧縮強度の比率である圧縮強度比は、h/dの減少とともに増大する傾向が見られたが、モルタル強度による違いは見られなかった。

図-11に、モルタル全調合において、要因としてh/dのみを考慮した小径コアと40×40×40mm供試体の強度差の推定値を示す。全体的には、h/dが大きくなると強度差が小さくなり、前回¹⁾の実験と同様の結果が得られた。

3.3 φ50×100mmの円柱試験体から採取した小径コアを用いた実験 (実験3)

図-12に、実験3で用いた小径コアとφ50×

100mm供試体の圧縮強度の関係を示す。図中の直線は、両者の回帰直線である。 $\phi 50 \times 100$ mm供試体の圧縮強度は、 $34.4 \sim 66.3 \text{ N/mm}^2$ の範囲で平均 47.7 N/mm^2 となった。また、小径コアの圧縮強度は、 $38.2 \sim 70.1 \text{ N/mm}^2$ の範囲であった。図-12から、モルタル強度が大きくなるに従って、小径コアと $\phi 50 \times 100$ mm供試体の強度差が大きくなっていく傾向がみられた。

図-13に、小径コアと $\phi 50 \times 100$ mm供試体の圧縮強度差に及ぼすセメント水比の要因効果を示す。全体的に、下部から採取した小径コアの圧縮強度差が、上部より採取した小径コアの圧縮強度よりも大きい値となった。これは、抜き取り位置ごとの圧縮強度の平均値は、上部: 53.2 N/mm^2 ならびに下部: 55.5 N/mm^2 であることから、供試体上部にブリーディングの影響が現れていることが考えられる。また、セメント水比が2.49の調査では、下部から採取した小径コアと $\phi 50 \times 100$ mm供試体の圧縮強度差が大きくなったものの、全体的には、モルタルのセメント水比C/Wの増加（水セメント比W/Cの低下）に従って、圧縮強度差が若干増加する傾向が見られた。

図-14に、実験-2および実験-3で用いた小径コアの圧縮強度とセメント水比C/Wの関係を示す。実験-2および実験-3は、同一調合・同一材齢にて圧縮強度試験を行ったものの、圧縮強度は若干異なった。この原因としては、小径コアが、部材の局所的な強度を評価するため、供試体形状および小径コアの抜き取り位置の異なる実験2ならびに3での圧縮強度に差が生じたものと考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 圧縮強度 $40 \sim 70 \text{ N/mm}^2$ のモルタル小径コアは、イオウキャッピングを施すことによって、比較的ばらつきの小さい圧縮強度を測定することができる。
- 2) モルタルの圧縮強度の大きさによって、小

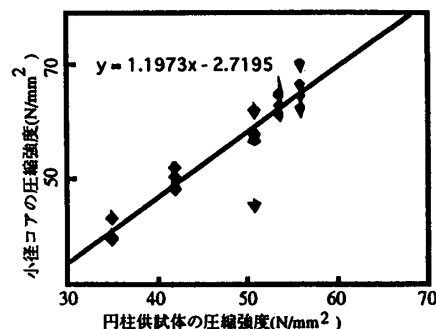


図-12 小径コアと $\phi 50 \times 100$ mm供試体の圧縮強度の関係（実験3）

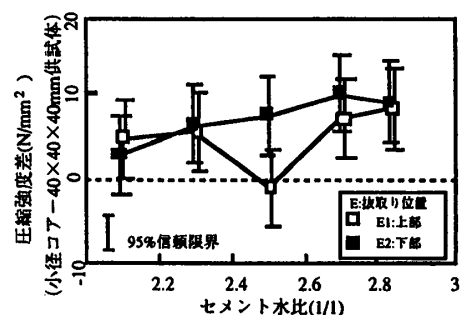


図-13 小径コアと $\phi 50 \times 100$ mm供試体の圧縮強度差に及ぼすセメント水比の要因効果（実験3）

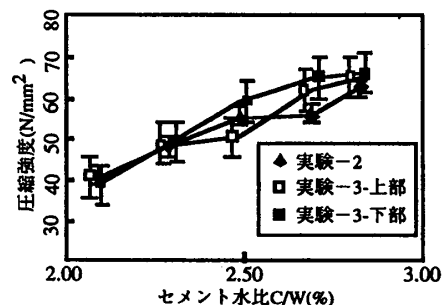


図-14 実験2および実験3で用いた小径コアの圧縮強度に及ぼすセメント水比C/Wの要因効果

径コアの h/d が圧縮強度に及ぼす影響が異なった。今後、小径コアの圧縮強度に及ぼす寸法効果および載荷方法等の影響を検討していく必要がある。

[謝辞] 本研究の計画および実施には、寺田謙一氏（銭高組技術研究所）のご協力を頂きました。付記して謝意を表します。

[引用文献]

- 1) 寺田，谷川，中込，佐原，若林：小径コアによる構造体コンクリート強度の推定に関する実験的研究（その1～3），日本建築学会東海支部研究報告集，NO. 36，PP. 93 - 104，1998.2