

論文 異形鉄筋を含んだ高強度コンクリートコアの圧縮強度性状に関する検討

中田善久^{*1}・大塚秀三^{*2}・毛見虎雄^{*3}

要旨：本研究は、普通強度から高強度までの鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度性状を明らかにするために、配筋方法が異なる D13 異形鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度性状について調べたものである。その結果、異形鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度および静弾性係数は、供試体における鉄筋の容積比が大きくなるにつれて低下する傾向を示したが、その関係は供試体における鉄筋の位置により異なる場合がある。また、この関係のポアソン比は、明確な傾向が見られなかった。さらに、鉄筋を含んだコア供試体の補正係数は、高強度域になるに伴い収束する傾向にあることを明らかとした。

キーワード：高強度コンクリート，コア供試体，異形鉄筋，圧縮強度，補正係数

1. はじめに

一般的に、鉄筋コンクリート構造物の強度確認などのために構造物からのコア供試体の採取を行なう場合、事前に鉄筋探査機により、鉄筋位置の確認を行うので、従来に比べて鉄筋を切り取ることは少なくなっている。しかし、鉄筋探査機の深さ方向への探査範囲は限定されていること、結束線などの金属の影響などによる誤差¹⁾が考えられることなどから、切断した鉄筋を含んだコア供試体が採取される事例も生じることがある。そのため、東京都都市計画局では、普通強度のコンクリートを対象として鉄筋を含んだコア供試体強度の補正係数²⁾(以下、東京都補正係数と称する)を示している。また、平賀・毛見³⁾および田村ら⁴⁾は、水セメント比 40 ~ 70% 程度の普通強度における鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度性状について検討を行なっているが、近年の高強度コンクリートに対応した更なる研究は行われていない。

そこで、本研究は、水セメント比 25 ~ 55% の範囲の普通強度から高強度までのコンクリートを対象として、異形鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度性状を明らかにするために、鉄筋を含

んでいない通常のコア供試体(以下、無筋コア供試体と称す)との比較を行い、その結果について検討したものである。

ここでは、配筋方法が異なる 4 種類の D13 異形鉄筋を含んだコア供試体、無筋コア供試体および標準養生供試体について材齢 28 日における圧縮強度、静弾性係数およびポアソン比を調べ、異形鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度性状および補正係数(無筋コア供試体に対する異形鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度比)について検討した。

2. 実験の概要

(1) 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表-1に示す。対象とした供試体は、水セメント比を 55,45,35 および 25%

表-1 実験の要因と水準

要因	水準					
	標準養生	無筋コア	異形鉄筋を含んだコア			
配筋方法	-	-	シングル	ダブル	シングル交差	ダブル交差
供試体における鉄筋の容積比(%)	0	0	0.807	1.614	1.614	3.228
水セメント比(%)	55, 45, 35, 25					

*1 ものつくり大学技能工芸学部建設技能工芸学科 助教授 博士(工学) (正会員)

*2 日本大学大学院理工学研究科博士前期課程建築学専攻 大学院生 (正会員)

*3 (前)足利工業大学工学部建築学科 教授 工博 (名誉会員)

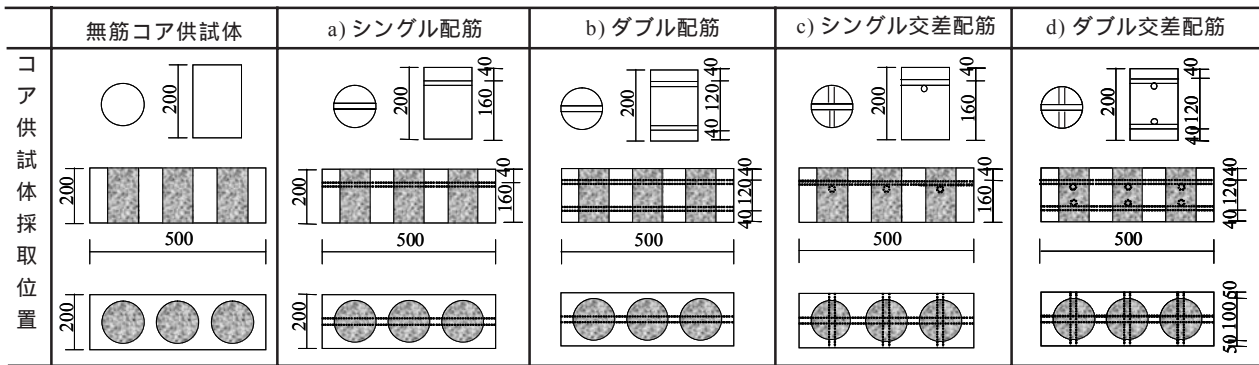


図 - 1 小試験体の概要

表 - 2 コンクリートの使用材料

材料	種類	品質・性状・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 比表面積:3.290cm ² /g
水	上水道水	-
粗骨材	栃木県安蘇郡 葛生町産 砕石2005	表乾密度:2.70g/cm ³ 実積率:60.0% 吸水率:0.59%
細骨材	栃木県栃木市 尻内町産 陸砂	表乾密度:2.61g/cm ³ 粗粒率:2.75 吸水率:2.3%
化学混和剤	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系化合物

表 - 3 コンクリートの調合

記号	W/C (%)	s/a (%)	粗骨材かさ容積(m ³ /m ³)	単体量(kg/m ³)				Ad (C×%)
				W	C	S	G	
N-55	55.0	52.4	0.545	170	309	940	883	0.85
N-45	45.0	50.8	0.545	170	378	882	883	0.95
N-35	35.0	50.1	0.525	170	486	825	851	1.05
N-25	25.0	44.7	0.525	170	680	666	851	1.15

(以下 N-55, N-45, N-35 および N-25 と称する) の 4 水準で練り混ぜたコンクリートを用いて作成された小試験体から異形鉄筋を含んだコア供試体および無筋コア供試体を 4 本採取した。標準養生供試体は、小試験体を作成するときに併せて採取した。また、圧縮強度試験方法は JIS A 1108, 小試験体からのコアの採取方法および圧縮強度試験方法は JIS A 1107, 静弾性係数試験方法は JIS A 1149 とした。

(2) 使用材料およびコンクリートの調合

コンクリートの使用材料を表 - 2 に、調合を表 - 3 に示す。すべての調合において単体水量を 170kg/m³一定とし、化学混和剤には高性能 AE 減水剤を使用した。コンクリートの練混ぜは、容量 60l の強制二軸ミキサを使用し、各調合とも 1 バッチ 35l とした。

(3) 小試験体の概要

小試験体の概要を図 - 1 に示す。小試験体は、

100 × 200(mm) のコア供試体が 3 本採取できる W200 × H200 × L500(mm) の大きさとし、無筋コア供試体および異形鉄筋を含んだコア供試体を採用した。異形鉄筋を含んだ小試験体の配筋は、床および非耐力壁を想定した配筋方法とし、図中に示す a), b), c), d) (それぞれシングル配筋, ダブル配筋, シングル交差配筋, ダブル交差配筋とする) の配筋とした。使用した異形鉄筋は、JIS G 3112 に定められる D13(SD295A) とした。また、使用型枠は、塗装合板のみとし、打込み時の余剰水の流失を防ぐために、型枠の入隅部および鉄筋の差込み穴には全周に変性シリコン系シーリングを充填した。

小試験体へのコンクリートの打込みは、2 層打ちとして、いずれの試験体とも 3 箇所同一位置に 40 の 100V 棒状パイプレータ(振動数: 12,000 ~ 15,500Hz) を各 5 秒挿入し、ゴムハンマで側面の型板を 10 回叩くことにより締固めた。

標準養生供試体および小試験体は、打込み直後に上端をポリエチレンフィルムで覆うことにより水分の蒸発を防止し、型枠の脱型を 48 時間後とした。また、養生方法は、標準養生供試体および小試験体とも養生条件を同一とするため、20 ± 2 水中養生槽へ所定の材齢まで浸漬させた。なお、コアの採取は、圧縮強度試験の 2 日前に行い試験前まで同様の養生とした。

(4) コアドリルの機種および仕様

コア供試体の採取状況を写真 - 1 に示す。コアドリルは、ドリルモータ電流一定制御方式の全自動送り装置を取り付けた機種とし、定格容量 3kVA のハードトランスを併用し、コアドリルに

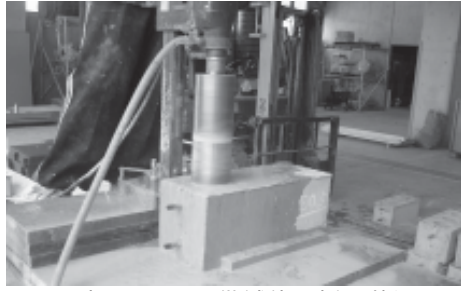


写真-1 コア供試体の採取状況

表-4 コアドリルの仕様

電源 (V)	定格電流 (A)	最大出力 (V)	周速 (m/min)
単相100	15	2400	470

表-5 フレッシュコンクリートの性状

記号	スランプ(cm)		スランブフロー(cm)		空気量(%)	
	目標値	試験値	目標値	試験値	目標値	試験値
N-55	18 ± 2.0	17.0	-	28.0 × 27.5	4.5	3.6
N-45	21 ± 2.0	22.0	-	37.0 × 36.0		4.8
N-35	-	-	50 ± 7.5	51.0 × 50.5	± 1.5	3.8
N-25	-	-	60 ± 10.0	61.0 × 61.5		5.4

安定した電流を供給できるように設定した。コアドリルの仕様を表-4に示す。送速さの設定は、2.5cm/minを超える場合、コンクリート中の鉄筋にビットの先端が触れると、削孔トルクがコンクリートだけを削孔した場合に比べ著しくトルクおよび摩擦熱が増大し、コアドリルの回転が停止してしまうため2.5cm/minと定めた。ビットは、外径 110 × 内径 100(mm)の湿式用人工ダイヤモンドビットを使用した。また、採取時に用いるブレード用冷却水の流量の違いが圧縮強度へ及ぼす影響は、比較的小さく無視できる程度⁵⁾であるが、冷却水の流量により削孔時間が変化するため流量を一定とした。

(5)フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの性状を表-5に示す。全ての調合において、スランプ、スランブフローおよび空気量は、高性能AE減水剤の使用量を調整することにより目標値を満足した。

3. 結果および考察

3.1 異形鉄筋を含んだコア供試体の

圧縮強度性状

(1)圧縮強度

セメント水比と圧縮強度の関係を図-2に示

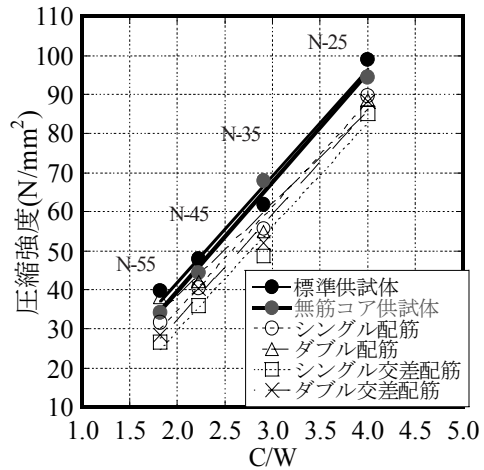


図-2 セメント水比と圧縮強度の関係

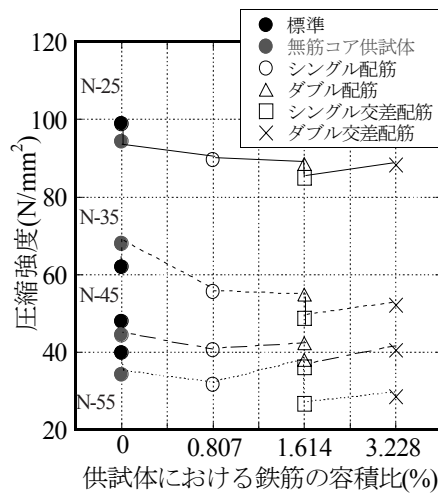


図-3 供試体における鉄筋の容積比と圧縮強度の関係

す。C/Wと圧縮強度の関係は、いずれの供試体も直線的な比例関係にあった。無筋コア供試体は、標準養生供試体に比べ、若干ばらつきがあるものの小さくなる傾向が見られた。この影響は小さいものの、従来のコア採取による影響である。また、標準養生供試体および無筋コア供試体に比べ、配筋方法が異なる異形鉄筋を含んだコア供試体は圧縮強度が下回る傾向となり、ダブル配筋、シングル配筋、ダブル交差配筋、シングル交差配筋の順でその傾向が顕著になった。

供試体における鉄筋の容積比と圧縮強度の関係を図-3に示す。圧縮強度は、概ね供試体における鉄筋の容積比が大きくなるにつれて低下する傾向が見られたが、N-45および55のシングル配筋、ダブル配筋において鉄筋の容積比0.807%および1.614%で逆転しており、供試体

表 - 6 各供試体における圧縮強度

	圧縮強度(N/mm ²)				標準偏差(参考値)			
	上段: 平均値				標準偏差(参考値)			
	下段: 無筋コア供試体に対する強度比							
水セメント比(%)	55	45	35	25	55	45	35	25
標準養生供試体	39.8	47.9	61.9	98.9	2.27	0.85	2.78	4.09
無筋コア供試体	34.3	44.4	68.0	94.3	1.80	2.76	2.47	3.88
シングル配筋	31.7	40.6	55.6	89.6	2.44	5.08	0.56	0.54
	0.95	0.82	0.91	0.92				
ダブル配筋	38.0	42.2	54.9	88.6	1.00	1.68	1.91	7.19
	1.11	0.81	0.95	0.93				
シングル交差配筋	26.7	36.1	48.7	85.0	1.76	3.85	4.84	6.56
	0.90	0.72	0.81	0.78				
ダブル交差配筋	28.5	40.5	52.1	86.0	0.51	1.47	2.65	0
	0.91	0.77	0.91	0.83				

における配筋方法により異なる場合があるといえる。さらに、シングル交差配筋においても、ダブル交差配筋に比して鉄筋の容積比が小さいにもかかわらず、圧縮強度が小さくなった。これは、不均一な鉄筋の拘束力によるものと考えられる。この他に、初期硬化に伴う鉄筋下端のコンクリートの沈降およびコアドリルの削孔に伴う鉄筋の切断時にビットから伝わる振動による付着力の低下などが考えられるが、この場合は供試体における鉄筋の容積比より鉄筋の位置が影響していると考えられる。また、コア供試体の破壊は、荷重に伴って最初に鉄筋の周囲にひび割れが発生し、円錐形に崩壊する傾向であり、この現象は、コンクリートの強度が増大するのに伴い顕著になる傾向が観察された。

各供試体における圧縮強度を表-6に示す。シングル配筋およびダブル配筋の圧縮強度は、ばらつきがあるものの無筋コア供試体に対する強度比は約90%程度の値を示し、平賀・毛見らの示した値³⁾に近い結果となったが、いずれの配筋方法ともN-45で最小となった。

(2) 応力 - ひずみ曲線

各供試体における応力 - ひずみ曲線を図-4に示す。応力とひずみの関係は、水セメント比ごとに、3本の供試体のうち代表的な1本の供試体を示した。無筋コア供試体のひずみは、標準養生供試体と同等の傾向を示した。これは、コア供試体の採取に伴う削孔の影響が小さかったと考えられる。また、すべての配筋方法において

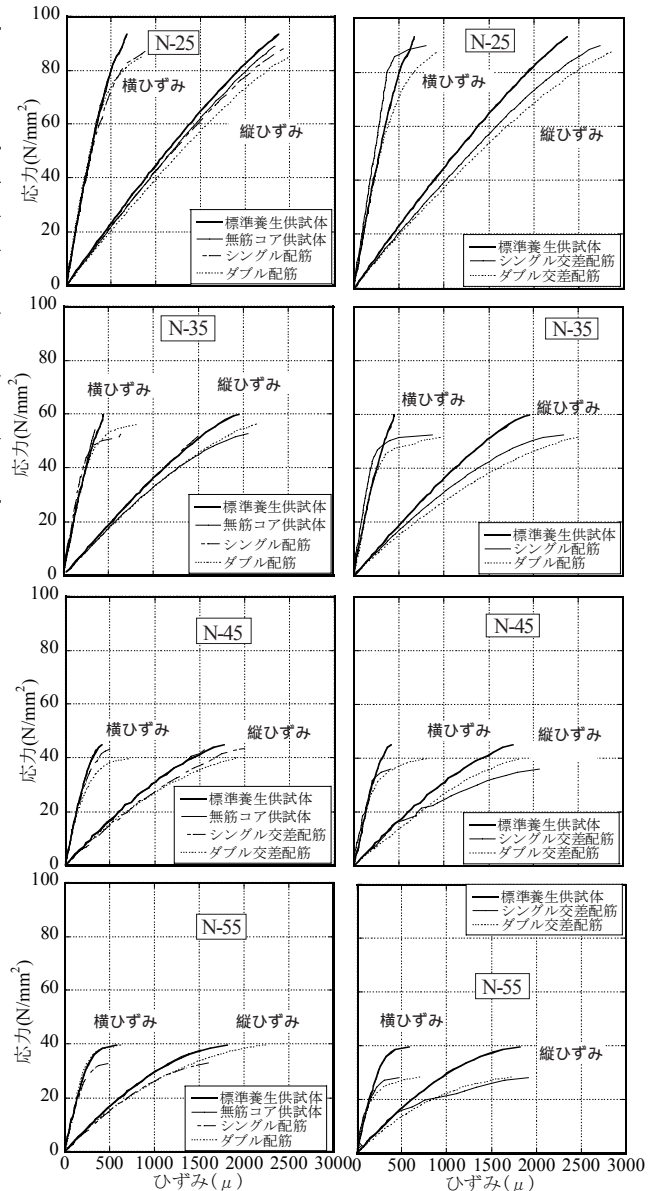


図 - 4 各供試体における応力 - ひずみ曲線

弾性域の範囲内での縦・横ひずみは、標準養生供試体に比し大きくなる傾向を示した。これにより、すべての配筋方法において、標準養生供試体に比べ、比較的小さい応力から供試体内部における組織の破壊が進行しているものと考えられる。

(3) 静弾性係数

供試体における鉄筋の容積比と静弾性係数の関係を図-5に示す。供試体における鉄筋の容積比が大きくなるにつれて、圧縮強度と同様に静弾性係数も、小さくなる傾向が見られた。しかし、N-35は、ダブル配筋とシングル交差配筋と配筋方法が異なる場合においても、静弾性係数がほぼ同等となった。これらの理由は、定かで

はないが、前述した鉄筋の位置と破壊性状に大きく関係していると思われ、コンクリートに含まれる鉄筋量に比較的割合していると考えられる。

(4) ポアソン比

ポアソン比は、供試体中心部の対面する2箇所の円周方向にひずみゲージを貼付け測定し、その平均値を用いて、(1)式により算出した。

$$\nu = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{-50 \times 10^{-6}} \quad (1) \text{式}$$

ここに ν :ポアソン比, ϵ_2 :1/3 最大荷重時点における横ひずみ, ϵ_1 :縦ひずみ 50×10^{-6} 時点における横ひずみ, ϵ_1 :1/3 最大荷重時点における縦ひずみ

供試体における鉄筋の容積比とポアソン比の関係を図-6に示す。 ϵ_1 から ϵ_2 に至る傾きが配筋方法によらず、ほぼ同等であったことから、鉄筋の容積比が大きい供試体は、縦ひずみが増大する傾向にありポアソン比は減少すると思われたが、ばらつきが大きく必ずしも鉄筋の容積比の大小との関係に明確な傾向を示さなかった。これは、前述したように载荷に伴い鉄筋の周囲から破壊が進行することにより、一部のひずみゲージをこの付近に貼付けたことも一因と考えられ、ひずみゲージの貼付け位置についても今後検討する必要がある。

圧縮強度とポアソン比の関係を図-7に示す。鉄筋の有無にかかわらずポアソン比は0.20を中心として、0.15～0.25の範囲に分布する傾向となったが、ばらつきが大きかった。

3.2 補正係数の検討

圧縮強度と補正係数(無筋コア供試体/鉄筋を含んだコア供試体)の関係を図-8に示す。図中の補正係数は、鉄筋を含んだコア供試体に対する無筋コア供試体の強度比を示しており、東京都補正係数²⁾との比較を行った。補正係数は、いずれの水セメント比においても配筋方法の相違によりばらつきが大きいが、シングル交差

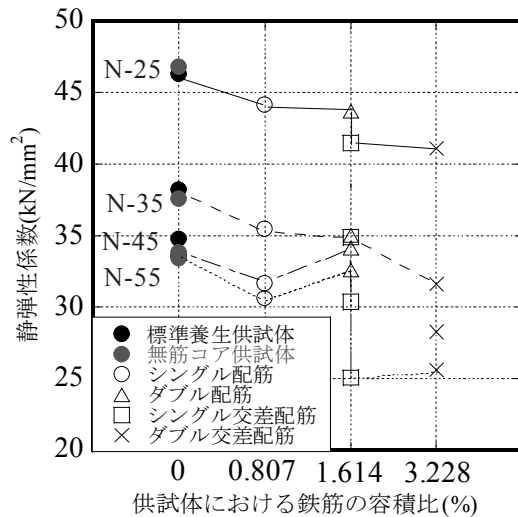


図-5 供試体における鉄筋の容積比と静弾性係数の関係

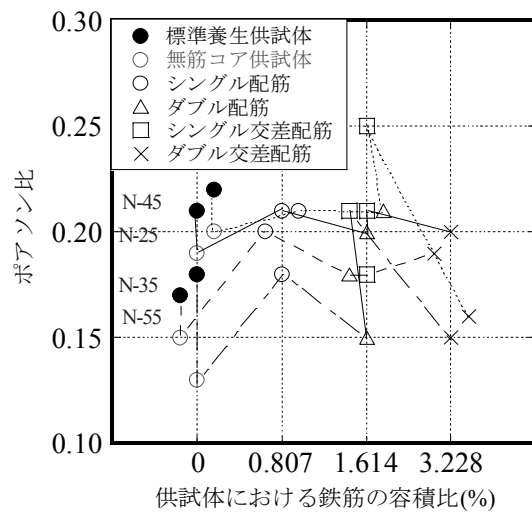


図-6 供試体における鉄筋の容積比とポアソン比の関係

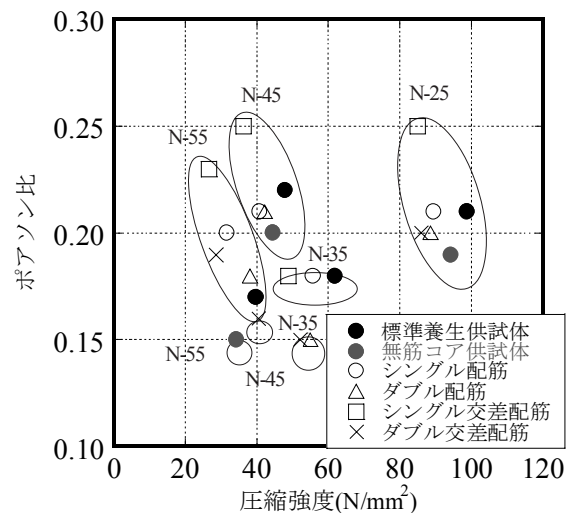


図-7 圧縮強度とポアソン比の関係

配筋が最も大きな補正係数を示した。さらに、圧縮強度の増大に伴い若干収束する傾向となり、N-25に至っては配筋方法の相違による補正係数の差異は小さいものとなった。ポテンシャル強度が、鉄筋の影響による強度低下より勝る

ためと考えられる。また、N-55 ダブル配筋の補正係数が、参考として示した東京都補正係数を大きく下回っていることは、ばらつきによるものと思われるが、今後の検討が必要であると思われる。参考として示した東京都補正係数は、鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度の最も低下率が小さいものから推定し安全側の値として示されたもの⁶⁾であるが、普通強度域の実験結果は全体にばらつきが大きく、東京都補正係数により強度を求めると実際より小さく推定する場合もある。この原因として東京都補正係数は、コアに含まれた鉄筋の径、量およびその位置によって異なった値が示されていないことも影響していると考えられ、今後検討する必要があると思われる。

4. まとめ

本実験を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 異形鉄筋を含んだ供試体の圧縮強度は、供試体における鉄筋の容積比が大きくなるにつれて低下する傾向が見らるが、配筋方法により異なる場合がある。
- (2) 異形鉄筋を含んだ供試体の静弾性係数は、コンクリートに包含される鉄筋量の増大に伴い小さくなる傾向を示した。
- (3) 異形鉄筋を含んだ供試体のポアソン比は、ばらつきが大きく、必ずしも鉄筋の容積比の大小との関係に明確な傾向が見られなかった。
- (4) 補正係数は、普通強度ではコアに含んだ異形鉄筋の配筋方法の相違により大きくばらつく傾向を示すが、圧縮強度の増加に伴い、配筋方法によらず収束する傾向を示した。

今後、鉄筋の径および配筋方法の影響についての検討を進めていきたい。

謝辞

本研究の実施にあたり、太平洋セメン(株)・我妻佳幸氏、山宗化学(株)・高野肇博士ならびに大木崇輔君をはじめとしたものづくり大学建

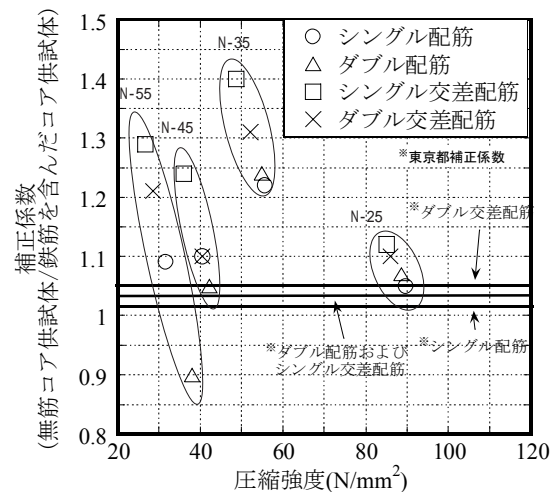


図-8 圧縮強度と補正係数(無筋コア供試体 / 鉄筋を含んだコア供試体)の関係

設技能工芸学科中田研究室の学生より多大なご協力を頂きました。ここに記して深謝致します。

参考文献

- 1) 李迅, 毛見虎雄, 藤井和俊: 鉄筋コンクリート構造物の健全性評価技術に関する研究, 電磁波誘導法によるかぶり厚さの施工精度の調査, 日本建築学会技術報告集, pp.29-32, 2001.7
- 2) 東京都都市計画局建築指導部: 建築物の耐震診断システムマニュアル(鉄筋コンクリート造), 東京都都市計画局建築指導部, pp.88-89, 1988, 12
- 3) 平賀友晃ほか: コンクリートコアの切断方法がコンクリート強度に及ぼす影響, その2 鉄筋を含むコンクリートコアの場合, 日本建築学会大会学術講演集, pp.91-92, 1977.10
- 4) 田村博ほか: 鉄筋を含んだコンクリートコアの圧縮強度に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演集, pp.127-128, 1980.9
- 5) 高橋ほか: 構造体コンクリートの強度管理に関する研究 その10 コア抜き取りによる影響の実験的検討, 日本建築学会大会梗概集, pp.123-124, 1978
- 6) 平賀ほか: 鉄筋コンクリート部材の切断加工技術と建築現場への適用に関する研究, 戸田建設技術研究開発センター研究報告, pp.46-47, 1983.7