

論文 鉄筋径の違いが異形鉄筋を含んだ高強度コンクリートコアの圧縮強度に及ぼす影響

大塚秀三^{*1}・中田善久^{*2}・大木崇輔^{*3}・毛見虎雄^{*4}

要旨:本研究は、鉄筋径の違いが異形鉄筋を含んだ高強度コンクリートコアの圧縮強度に及ぼす影響を明らかにするために、配筋方法および鉄筋径が異なるコア供試体を用い実験的に検討したものである。その結果、60N/mm²前後までの強度レベルでは、D13に比べてD19の方が標準養生供試体または無筋コア供試体に対するシングル配筋の強度低下が著しく、D13およびD19とも異形鉄筋の容積比が3%台程度までであれば、異形鉄筋の容積比の増大に伴い圧縮強度が概ね比例して低下していき、これ以上の容積比では強度低下が抑制され、さらに100N/mm²前後の強度レベルでは異形鉄筋の影響が全体に少なくな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

1. はじめに

一般的に構造体コンクリートの圧縮強度の確認を行う際には、各種養生を行った管理用供試体によるが、この管理用供試体の圧縮強度が品質基準強度を下回った場合、JASS 5¹⁾において構造体コンクリートより採取したコア供試体の圧縮強度で確認することが示されている。このコア強度試験は、一般的に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」により行われている。しかし、近年の鉄筋コンクリート構造物が耐震性能の向上による過密な配筋になり、採取したコア供試体に鉄筋が含まれることがある。このことが、コア強度の試験結果に影響を及ぼすため、東京都都市計画局のマニュアル²⁾では、鉄筋を含んだコア供試体強度の補正係数(以下、東京都補正係数と称する)を示しているが、普通強度のコンクリートおよび標準養生供試体に対する補正係数であり、最近の高強度コンクリートへも適用できるか不明である。

鉄筋を含んだコンクリートコアの圧縮強度に関する既往研究として、平賀・毛見³⁾、田村⁴⁾および森永⁵⁾の研究が代表的であるが、いずれの研究ともW/C=40~70%の範囲における普通コンクリートおよび軽量コンクリートに関する検討に留まっており、高強度コンクリートを対象とした更なる検討は行われていない。これまでに筆者らは、既報^{6)~8)}において普通ポルトランドセメント(以下、Nと称する)および低熱ポルトランドセメントを用いた高強度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に関する検討を行った。その結果、異形鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度は、コア供試体の容積に対してこれに含まれる異形鉄筋の容積の割合(以下、容積比とする)が増大するにつれて低下する傾向にあ

り、さらに異形鉄筋の位置による影響も大きいことを明らかとした。

これに引き続き本研究では、鉄筋径の違いが異形鉄筋を含んだ高強度コンクリートコアの圧縮強度に及ぼす影響を明らかにするために、包含する異形鉄筋の配筋方法および鉄筋径の異なるコア供試体を用い実験的に検討したものである。

ここでは、普通ポルトランドセメントを用いた水セメント比が25~55%の普通強度から高強度領域のコンクリートを対象として、包含される異形鉄筋の径をD13およびD19の2水準とした場合を検討した。なお、実験に際し異形鉄筋の径の違いごとにコンクリートを練り混ぜたことにより、圧縮強度に若干の差異が生じているため、それぞれの鉄筋径ごとに、標準養生に対する強度比、無筋コア供試体に対する強度比および強度レベルの違いによる無筋コア供試体に対する強度比の観点から検討した結果を報告する。

2. 実験の概要

2.1 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表-1に示す。対象としたコア供試体は、水セメント比を55,45,35および25%の4水準で練り混ぜたコンクリートを用いて作製された小試験体よりコアドリルを用いて採取した。小試験体からは、異形鉄筋を含んだコア供試体および無筋コア供試体を3本採取したほか、比較用としてφ100×200(mm)の標準養生供試体も同様に3本作製した。小試験体からのコアの採取方法はJIS A 1107、圧縮強度試験方法はJIS A 1108とし、3本の供試体の平均を試験値とした。圧縮強度試験の材齢は、いずれ

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

*2 日本大学 理工学部建築学科准教授 博士(工学) (正会員)

*3 ものつくり大学大学院 ものつくり研究科ものつくり学専攻 (正会員)

*4 (前)足利工業大学 工学部建築学科教授 工博 (名誉会員)

の供試体とも材齢28および91日とした。

2.2 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、調合を表-3に示す。すべての調合において単位水量を170kg/m³一定とし、高性能AE減水剤を使用した。なお、コンクリートの練混ぜは、1バッチあたり45リットルとして強制二軸ミキサを用いた。

2.3 小試験体およびコア供試体の概要

小試験体およびコア供試体の概要を図-1に示す。小試験体は、φ100×200(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取した。異形鉄

表-1 実験の要因と水準

要因	水準					
供試体の種類	標準養生	無筋コア	異形鉄筋を含んだコア			
異形鉄筋の径	—	—	D13, D19			
配筋方法	—	—	シングル	ダブル	シングル交差	ダブル交差
水セメント比 (%)	55, 45, 35, 25					

表-2 コンクリートの使用材料

材料	種類	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 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 碎石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

筋を含んだ小試験体の配筋は、床版を想定した配筋方法とし、図-1のa),b),c)およびd)(それぞれ、シングル配筋、ダブル配筋、シングル交差配筋およびダブル交差配筋とする)に示すものとした。コア供試体の容積に占める異形鉄筋の容積比は、表-4に示すとおりである。また、使用した異形鉄筋は、JIS G 3112に定められるD13(SD295A)およびD19(SD295A)とした。

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、いずれの試験体とも2層打ちとして、それぞれの層ごとに3箇所の同一位置に棒径40(mm)の棒形振動機(単相100V、振動数:12,000~15,000Hz)を各5秒間挿入し、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

表-3 コンクリートの調合

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	単位量 (kg/m ³)				Ad (C×%)	スランプ (70r) (cm)
				W	C	S	G		
N-55	55.0	52.4	0.545	170	309	940	883	0.85	19.0
N-45	45.0	50.8	0.545		378	882	883	0.95	19.5
N-35	35.0	50.1	0.525		486	825	851	1.05	52.5
N-25	25.0	44.7	0.525		680	666	851	1.15	64.5

表-4 コア供試体の容積に占める異形鉄筋の容積比

(単位: %)

配筋方法	シングル	ダブル	シングル交差	ダブル交差
D13	0.807	1.614	1.614	3.228
D19	1.825	3.650	3.650	7.299

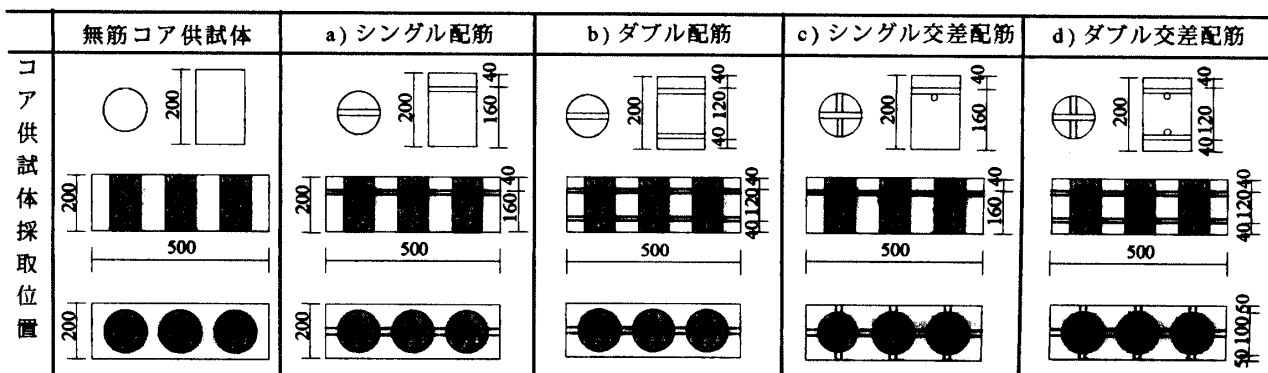


図-1 小試験体およびコア供試体の概要

とするため、型枠の脱型直後より $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ の標準養生槽へ所定の材齢まで浸漬させた。なお、コア供試体の採取は、圧縮強度試験の2日前に行い、採取後には圧縮強度試験に供するまで同様に $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ の標準養生に供した。

2.4 コアドリルの機種および仕様

コアドリルは、単相100V、定格電流15A、最大主力2,400W、主軸速度470rpmのものを用了。コアドリルの送り速さの設定は、2.5cm/minとした。ビットは、外径 $\phi 110 \times$ 内径 $\phi 100(\text{mm})$ の湿式用人工ダイヤモンドビットを使用した。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、定格容量3kVAのハードトランスを併用し、コアドリルに安定した電流を供給できるように設定した。また、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。

3. 結果および考察

3.1 異形鉄筋の容積比と圧縮強度の関係

異形鉄筋の容積比と圧縮強度の関係をD13とD19に分けて、

図-2⁹⁾および図-3にそれぞれ示す。無筋コア供試体の圧縮強度は、いずれの供試体とも標準養生供試体に比べばらつきが見られるものの、全体にほぼ同等か若干小さくなる傾向を示した。これは、一般的なコア採取による影響と考えられ、標準養生供試体と無筋コア供試体では、同一の養生条件にも関わらずコアドリルによる穿孔を行うことにより圧縮強度の差異が生じた可能性がある。

D13を含んだコア供試体の圧縮強度は、既報⁹⁾で述べたように、コア供試体に含まれる異形鉄筋の容積比が大きくなるにつれて、概ね低下する傾向にあるが、水セメント比が小さく、長期材齢になるほど異形鉄筋を含むことによる圧縮強度の低下は小さくなる傾向を示した。これは、初期硬化に伴うブリーディングによる鉄筋下端のコンクリートの沈降により鉄筋との付着強度が小さくなったこと、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って微細構造が乱されたことなどが考え

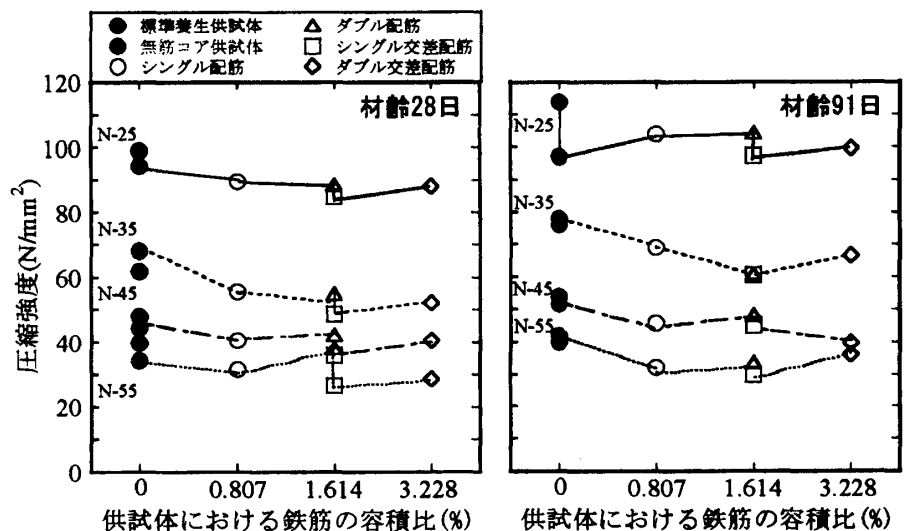


図-2 異形鉄筋(D13)の容積比と圧縮強度の関係⁹⁾

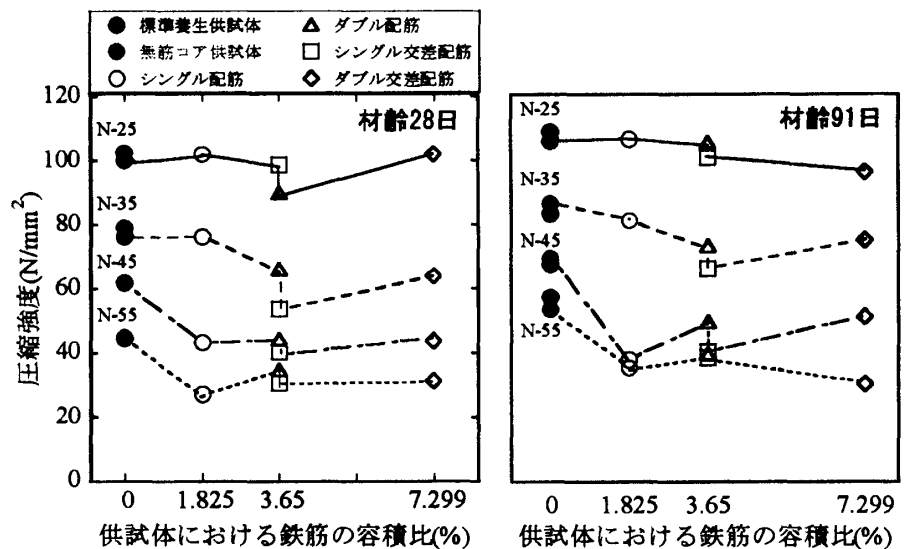


図-3 異形鉄筋(D19)の容積比と圧縮強度の関係

られる。また、異形鉄筋を含んだコア供試体の破壊状況は、載荷に伴って最初に異形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、水セメント比が大きくなるのに伴い顕著になる傾向であった。しかし、シングル交差配筋に比べダブル交差配筋の方が、コア供試体に含まれる異形鉄筋の容積比は2倍大きくなるものの、圧縮強度がほぼ同等か若干大きくなる傾向にあった。これは、コア供試体に異形鉄筋が含まれる場合に、異形鉄筋の容積比より鉄筋の位置が影響する可能性を示唆しており、不均一な鉄筋の拘束力を与えたものと考えられ、異形鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度は、鉄筋の含まれる位置も影響するものと考えられる。一方、D19を含んだコア供試体の破壊状況は、異形鉄筋の周囲の破壊が先行して崩壊に至るものであり、異形鉄筋の容積比と圧縮強度の関係においてもD13を含んだ場合と全体に同様の傾向にあった。しかし、水セメント比が55%および45%

では、異形鉄筋の容積比がD13の場合と同程度の範囲内にあるにも関わらず、標準養生供試体または無筋コア供試体に比べてシングル配筋の圧縮強度の低下が著しい傾向となった。さらに、無筋コア供試体に比べて異形鉄筋の容積比の増大に伴う低下傾向がD13に比べて大きい傾向となった。これは、強度レベルの低い領域ではD19の方がD13に比べ、コアビットが異形鉄筋を切断する過程において鉄筋量が多いため摩擦熱や穿孔トルクが増大することによる影響が一因として考えられる。

これにより、本実験の範囲内では、異形鉄筋の径による若干の相違はあるものの、いずれの径とも異形鉄筋の容積比が3%台程度までであれば、水セメント比が大きい場合にはコア供試体に含まれる異形鉄筋の容積比の増大に伴って圧縮強度が概ね比例して低下していき、これ以上で今回の実験の範囲内程度までの容積比では圧縮強度の低下が抑制されるものと考えられる。

3.2 標準養生供試体に対する強度比

配筋方法ごとの標準養生供試体に対するD13とD19を含んだコア供試体の強度比の関係を図-4に示す。標準養生供試体に対する異形鉄筋を含んだコア供試体の強度比は、シングル配筋では、水セメント比が55%および45%においてD19の方がD13を含んだコア供試体よりも低下する傾向にあったが、これより水セメント比が小さい領域ではほぼ同等に近づく傾向であり、含まれる異形鉄筋の径の違いによる影響は少ないものと考えられる。一方、ダブル配筋、シングル交差配筋およびダブル交差

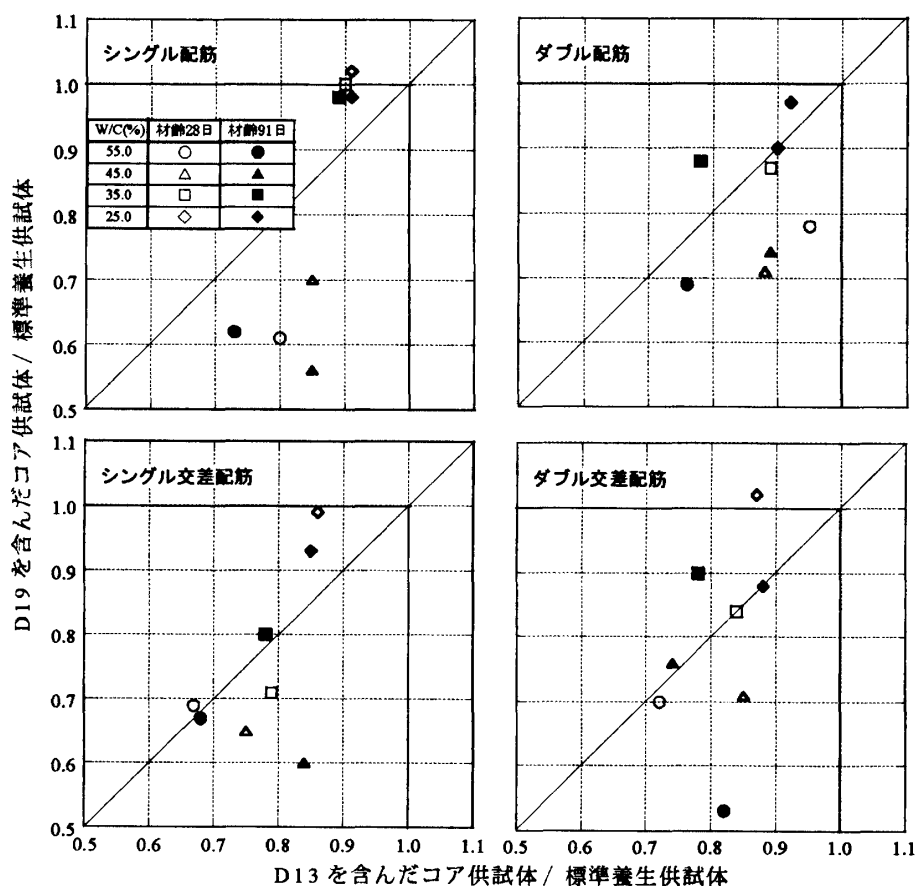


図-4 標準養生供試体に対するD13とD19を含んだコア供試体の強度比の関係

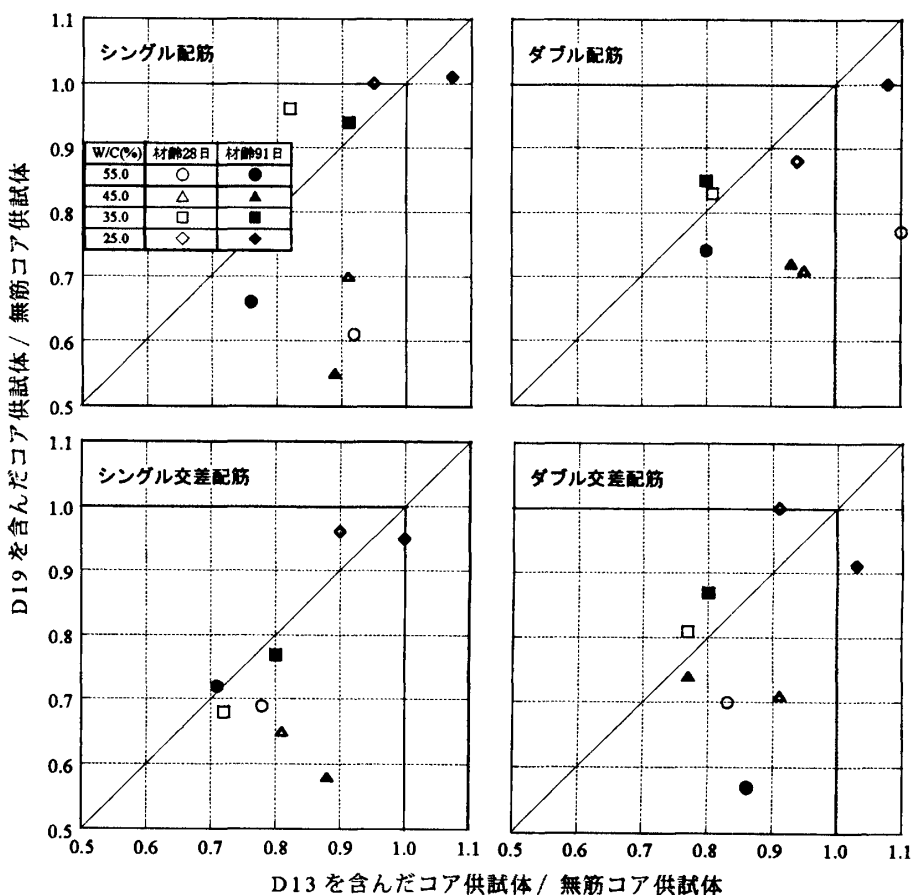


図-5 無筋コア供試体に対するD13とD19を含んだコア供試体の強度比の関係

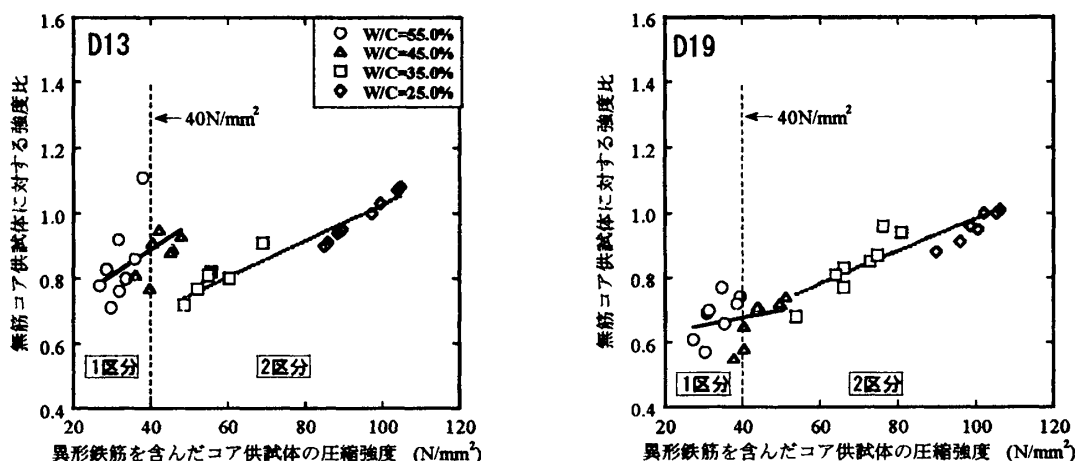


図-6 異形鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度と無筋コア供試体に対する強度比の関係

配筋については、強度比のばらつきはあるものの、概ね水セメント比が小さくなるにつれてD13とD19ではほぼ同等的か、若干D19の方が強度比の低下が少ない傾向となった。また、いずれの配筋方法においても、材齢の違いによる明確な傾向は見られなかった。

以上より、標準養生供試体に対する強度比の結果からも、前述したように水セメント比が大きい領域ではコア供試体に含まれる異形鉄筋の容積比の大小が顕著に圧縮強度へ影響すると考えられ、一定の範囲を超える容積比の場合には、含まれる異形鉄筋の径の違いによる影響が少なくなる可能性があるものと思われる。

3.3 無筋コア供試体に対する強度比

無筋コア供試体に対するD13とD19を含んだコア供試体の強度比の関係を図-5に示す。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強度比は、いずれの配筋方法においてもばらつきはあるものの、水セメント比が35%および25%では、異形鉄筋の径の違いによる差異は少なくほぼ同等の強度比である反面、水セメント比が55%および45%では、全体にD19の方がD13に比べ低下する傾向となった。これは、前節の標準養生供試体に対する強度比の結果と比べ、さらに水セメント比が大きい領域と小さい領域の違いを明確に示すものとなった。また、いずれの配筋方法においても、水セメント比が25%における材齢91日の強度比が1.0を超える場合、すなわち無筋コア供試体の圧縮強度より大きくなる場合があった。これは、水セメント比が小さくなるほどブリーディングが抑制され異形鉄筋とコンクリートの付着強度が保持されることにより、供試体全体としての均質度が高くなり、異形鉄筋を含むことの圧縮強度への影響が低減したと考えられる。

3.4 強度レベルの違いによる無筋コア供試体に対する強度比

異形鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度と無筋コア供

試体に対する強度比の関係を図-6に示す。ここでは、前節までで述べたように強度レベルにより傾向が異なることから、水セメント比が55%および45%を1区分とし、水セメント比が35%および25%を2区分として、強度レベルにより分割して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強度比について検討した。

異形鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度と無筋コア供試体に対する強度比の関係は、D13およびD19とも1区分ではばらつきが大きく、2区分では逆にばらつきが低減される傾向を示した。これは、前述したように強度レベルが高くなるにつれて、ブリーディングが抑制されることによる異形鉄筋とコンクリートとの付着強度に起因して異形鉄筋とコンクリートを合わせたコア供試体全体の均質度が高くなったためと考えられる。

D13では、1区分および2区分とも異形鉄筋を含んだコア供試体と無筋コア供試体に対する圧縮強度は、ばらつきが大きいものの概ね圧縮強度が大きくなるに従い無筋コア供試体に対する強度比は大きくなる傾向にあり、区分の違いによる傾きに差異は少ない傾向にあったが、D19ではD13に比べ1区分において緩やかな勾配となるとともに、区分の違いによって勾配が異なる傾向となった。さらに、2区分ではD13に比べD19の方が勾配が緩やかとなり、異形鉄筋を含むコア供試体の圧縮強度が無筋コア供試体の圧縮強度と変わらない強度発現をするために必要な強度レベルが若干大きくなる傾向となった。

4. まとめ

本研究では、鉄筋径の違いが異形鉄筋を含んだ高強度コンクリートコアの圧縮強度に及ぼす影響を明らかにするために、D13およびD19の異形鉄筋を用いた場合について、配筋方法の異なるコア供試体を用い実験的に検討した。その結果、本実験の範囲内で得られた知見を以下に示す。

- (1)D19において、水セメント比が55%および45%では、異形鉄筋の容積比がD13の場合と同程度の範囲内にあっても、標準養生供試体または無筋コア供試体に比べてシングル配筋の強度低下が著しい。
- (2)D13およびD19とも異形鉄筋の容積比が3%台程度までであれば、水セメント比が大きい場合にはコア供試体に含まれる異形鉄筋の容積比の増大に伴い圧縮強度が概ね比例して低下していき、これ以上の容積比では強度低下が抑制される。
- (3)D13およびD19とも、100N/mm²前後の強度レベルでは異形鉄筋を含むことによる圧縮強度への影響が少なくなる。

謝辞

本研究の実施に際して、山宗化学(株)・高野肇博士よりご助言を賜るとともに、ものつくり大学、日本大学の卒業研究生より協力頂いた。ここに付記して深謝する。

参考文献

- 1)日本建築学会:建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 2003
- 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),pp.88-89,1988.12
- 3)平賀友晃, 荒巻哲生, 倉林清, 毛見虎雄: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梗概集,pp.91-92,1977.10
- 4)田村博, 上田哲夫: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梗概集,pp.127-128,1980.9
- 5)森永ら:コンクリート試験体内の鉄筋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,pp.93-94, 1977.10
- 6)中田善久ら:異形鉄筋を含んだ高強度コンクリートコアの力学的特性に関する検討(その1～その3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.391-396,2006.9
- 7)中田善久, 大塚秀三, 毛見虎雄: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, コンクリート工学年次論文集, Vol.28,No.1,pp.479- 484, 2006
- 8)大木崇輔, 中田善久, 大塚秀三, 毛見虎雄:セメントの種類の違いが鉄筋を含んだ高強度コンクリートコアの圧縮強度に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.29,No.2,pp.127 -132,2007