

## 論文 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

大木崇輔<sup>\*1</sup>・中田善久<sup>\*2</sup>・大塚秀三<sup>\*3</sup>・毛見虎雄<sup>\*4</sup>

**要旨:**本研究は、セメントの種類の違いが鉄筋を含んだコアの圧縮強度に及ぼす影響を明らかにするために、セメントの種類および配筋方法が異なるコア供試体を用い圧縮強度について調べたものである。その結果、鉄筋を含んだコア供試体の強度比は、鉄筋の位置にも影響されるものの鉄筋の容積比の増加により小さくなる傾向を示した。また、無筋コア供試体に対する強度比は、 $40\text{N/mm}^2$ を境にして比例関係にあり、セメントの種類の違いによる鉄筋を含んだコアの圧縮強度は、同一材齢で見ると差があるものの強度発現速度の差を考慮するとセメントの種類の違いによる影響が小さい傾向を示した。

**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, コア強度

### 1. はじめに

一般的に構造体コンクリートの強度確認を行う場合、各種養生方法を用いた管理用供試体による方法が用いられ、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 5<sup>1)</sup>において、「構造体コンクリートが保有する圧縮強度をコア強度試験で確認することが一般的である。」と解説されている。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RC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<sup>2)</sup>では、普通強度のコンクリートにおける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)が述べられている。また、この東京都補正係数は、普通コンクリートおよび標準養生供試体に対するものであり、最近の高強度コンクリートに適用できるか不明確である。

そこで、本研究は、セメントの種類の違いが鉄

筋を含んだコア供試体の圧縮強度に及ぼす影響を明らかにするために、セメントの種類および配筋方法が異なるコア供試体を用い圧縮強度を明らかにするために行ったものである。ここでは、普通ポルトランドセメントおよび低熱ポルトランドセメント(以下、NおよびLと称する)を用いた普通強度から高強度領域のコンクリートを対象としてセメントの種類の違いが鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度に及ぼす影響について検討した。

### 2. 既往の研究と本研究の関係

鉄筋を含んだコンクリートコアの圧縮強度に関して平賀・毛見<sup>3)</sup>、田村<sup>4)</sup>および森永<sup>5)</sup>の研究が代表的である。いずれの研究も、実際の構造体コンクリートの強度を確認するために行われており、現在のJIS A 1107「コンクリートからのコア採取方法及び圧縮強度試験方法」に大きな役割を果たした。当時、検討されたコンクリートは、 $W/C=40\sim 70\%$ であり、普通コンクリートと軽量コンクリートである。しかし、この頃の壁厚は、 $100\sim 150\text{mm}$ が多かったために、平賀・毛

\*1 ものつくり大学大学院ものつくり学研究科ものつくり学専攻 (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 ものつくり大学技能工芸学部建設技能工芸学科 助教 (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)

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
セメントの種類	普通ポルトランドセメント(N) 低熱ポルトランドセメント(L)					
水セメント(%)	55, 45, 35, 25					

見および田村らは、試験体から採取したコア供試体の高さとの比を1.50~1.00としている。また、森永らは、供試体の高さとの比が、2.00であるもののコア供試体ではなく、テストピースを対象としている。これまでに筆者らは、普通セメントの高強度コンクリートを対象として力学的特性の検討を行い、その基礎的な傾向を確認した<sup>6)</sup>。

そこで、本論文は、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、セメントの種類の違いが鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度に及ぼす影響を明らかにするために、セメントの種類の違いによる影響、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、強度レベルの違いによる強度比およびセメントの強度発現性を考慮したコア供試体の圧縮強度について検討した。

### 3. 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、セメントをNおよびLと変えて、水セメント比を55,45,35および25%(以下、N-55, N-45, N-35, N-25, L-55, L-45, L-35およびL-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3本採取した。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とした。

#### (2) 使用材料およびコンクリートの調合

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 <sup>3</sup> 比表面積:3,290cm <sup>2</sup> /g
	低熱ポルトランドセメント	密度:3.22g/cm <sup>3</sup> 比表面積:3,400cm <sup>2</sup> /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 <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				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
L-55	55.0	52.5	0.545	170	309	945	883	0.75
L-45	45.0	51.0	0.545	170	378	890	883	0.85
L-35	35.0	50.3	0.525	170	486	833	851	0.95
L-25	25.0	45.1	0.525	170	680	676	851	1.05

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位水量を170kg/m<sup>3</sup>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、強制二軸ミキサを用い1バッチ45リットルとした。

#### (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

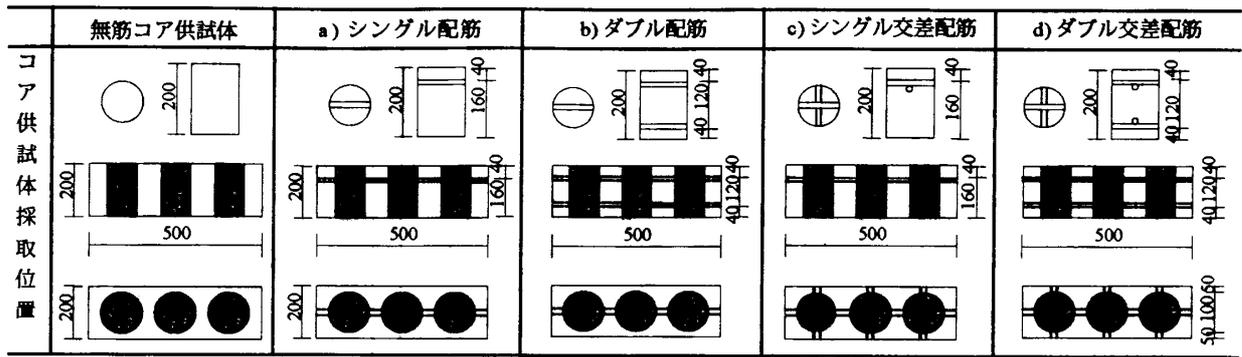


図-1 小試験体およびコア供試体の概要

ちとして、いずれの試験体とも3箇所同一位置にφ40の100V棒形振動機(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を行った。

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

コアドリルは、単相100V、定格電流15A、最大主力2400V、主軸速度470rpmのものを用い送り速さの設定は、2.5cm/minと定めた。ビットは、外径φ110×内径φ100(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

るため流量を一定とした。

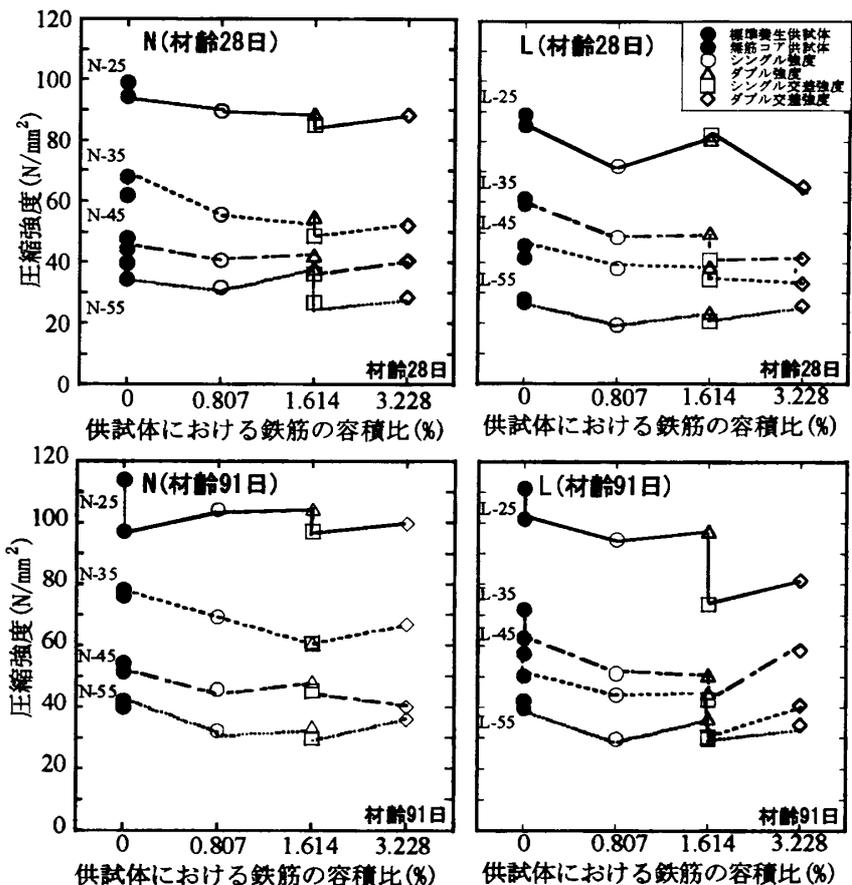


図-2 供試体における鉄筋の容積比と圧縮強度の関係

4. 結果および考察

(1) セメントの種類の違いによる影響

供試体における鉄筋の容積比と圧縮強度の関係を図-2に示す。いずれのセメントも無筋コア供試体は、標準養生供試体に比べて若干ばらつきがあるものの小さくなる傾向を示した。この影響は小さいものの、従来から言われているコア採取による影響と考えられる。セメントの異なる鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度は、標

標準養生供試体および無筋コア供試体に比べ圧縮強度が若干小さくなる傾向を示した。この理由として、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る付着力の低下などが考えられる。

いずれのセメントの種類も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は、低下する傾向が見られ、水セメント比が小さく、材齢が経過するほど、圧縮強度の低下する傾向が小さくなった。しかし、N

に比べLの方が材齢の経過に伴う強度低下は小さいものになった。これは、強度発現性状の違いによりNよりLの方が圧縮強度が小さいためと考えられる。さらに、シングル交差配筋よりダブル交差配筋の方が供試体における鉄筋の容積比が大きいかかわらず圧縮強度が小さくなる結果となった。これは、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おり、不均一な鉄筋の拘束力を与えたものと考えられ、鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度は、鉄筋の包含する位置にも大きく影響すると思われる。また、鉄筋を含んだコア供試体の破壊状況は、载荷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、水セメント比が大きくなるのに伴い顕著になる傾向が観察された。

**(2) 標準養生供試体に対する強度比**

供試体における鉄筋の容積比と標準養生供試体に対する強度比の関係を図-3に示す。図中の強度比は、標準養生供試体に対する鉄筋を含んだコア供試体の強度比を示している。強度比は、水セメント比に関わらず供試体における鉄筋の

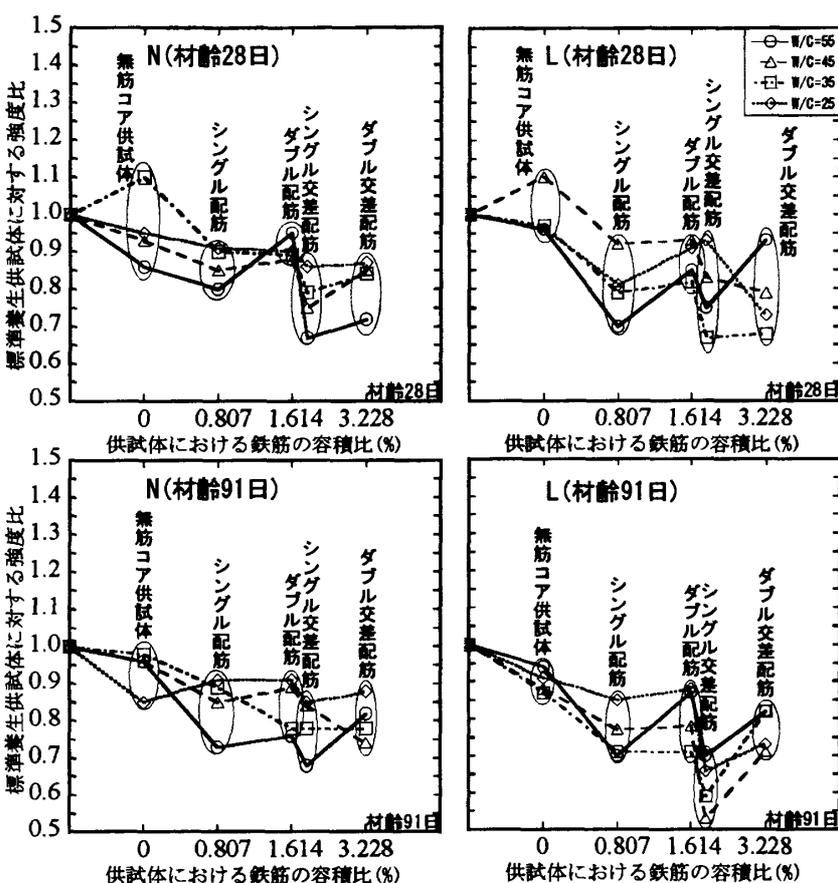


図-3 供試体における鉄筋の容積比と標準養生供試体に対する強度比の関係

容積比が大きくなるのに伴い小さくなる傾向を示した。また、材齢28日のNを除き、各W/Cごとの鉄筋を含んだコア供試体の強度比の分布範囲は、無筋コア供試体に比べ大きくなる傾向を示し、平賀・毛見らの示した値<sup>3)</sup>と異なる傾向を示した。これは、供試体における高さとの比が1.50であることが考えられる。また、セメントの種類にかかわらず各配筋方法ごとにおける強度比の分布範囲は、材齢28日より材齢91日の方が小さくなり、構造体コンクリートの強度確認を行う際は、材齢の経過した方がコア採取による影響が小さくなり、高い精度の判定につながると思われる。

**(3) 無筋コア供試体に対する強度比**

配筋方法ごと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-4に示す。図中に、東京都補正係数<sup>2)</sup>の逆数を示して比較検討した。配筋方法の違いによる圧縮強度と強度比の関係は、供試体における鉄筋の容積比が大きくなると、強度比のばらつきが大きくなる傾向を示し、特

にダブル交差配筋では、ばらつきが大きい結果となった。また、ダブル交差配筋を除き、圧縮強度が大きくなるのに伴い強度比の分布範囲は小さくなる傾向を示した。また、この強度比は、材齢91日のN-25では1.00より大きくなる傾向を示した。この理由は、高強度コンクリートの場合、コンクリートの強度・静弾性係数と鉄筋のそれらとの差が小さくなるため供試体の均質度が高くなったため強度の低下が、小さくなることと考えられる。これにより東京都補正係数を高強度コンクリートに用いた場合、過大評価してしまう可能性もあると思われる。

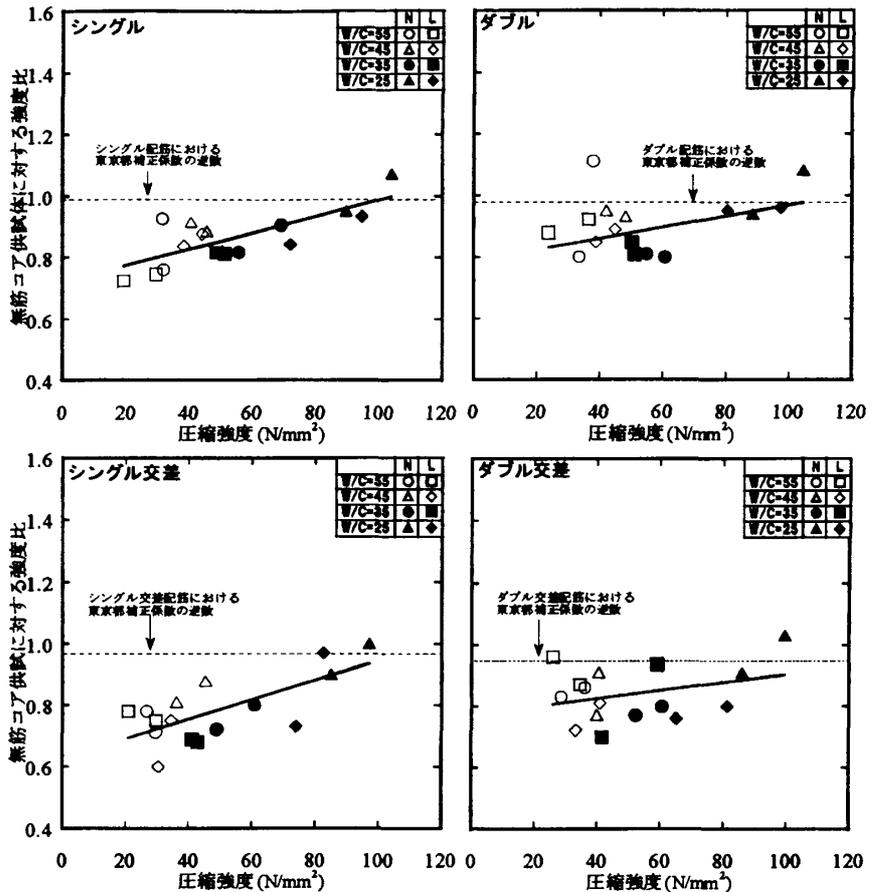


図-4 配筋方法ごとの圧縮強度と無筋コア供試体に対する強度比の関係

無筋コア供試体に対する強度比の材齢28日と91日の関係を図-5に示す。材齢28日と91日の強度比の関係は、W/C=55および45%において、ほぼ同等となった。しかし、強度発現性の高いW/C=35および25%においては、材齢の経過により強度比は、大きくなる傾向を示した。これは、前述した供試体の均質度が高くなることによるものと考えられる。

(4) 強度レベルの違いによる強度比

強度レベルごと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。区分は、JIS A 1107中の高さ直径の比と同等であ

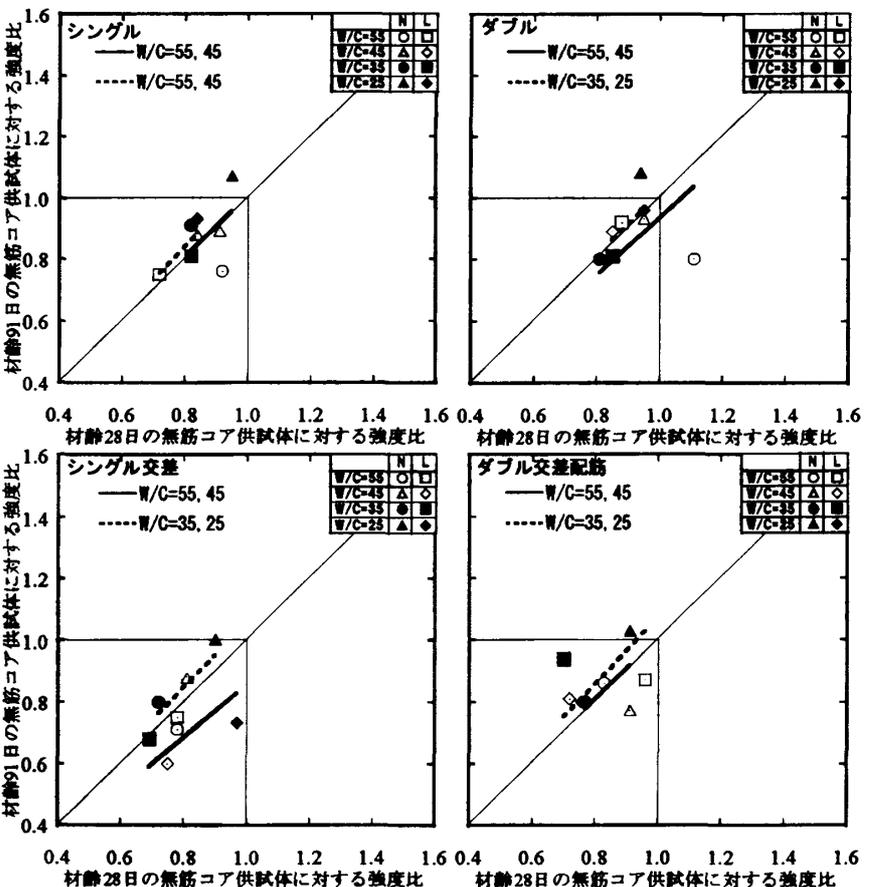


図-5 無筋コア供試体に対する強度比の材齢28と91日の関係

る無筋コアの圧縮強度 40N/mm<sup>2</sup>を境にして1区分と2区分に振り分けた。無筋コアの圧縮強度が40N/mm<sup>2</sup>を境にして鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度と無筋コアに対する強度比は、ばらつきはあるものの比例する関係が見られた。これは、材齢が経過してコンクリート自体が保有している強度にな

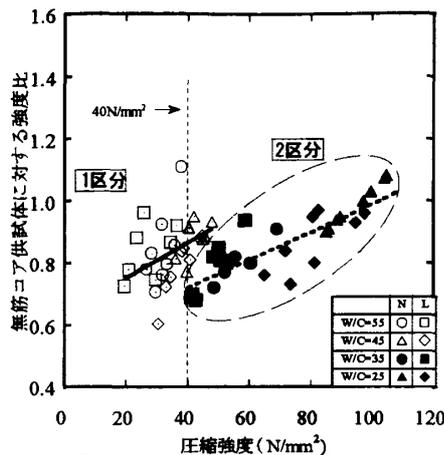


図-6 強度レベルごとの圧縮強度と無筋コア供試体に対する強度比の関係

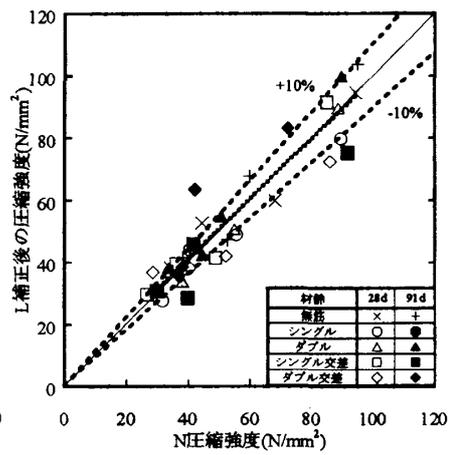


図-7 N圧縮強度とL補正後の圧縮強度の関係

ると供試体内の均質度が高くなるためと考えられる。

(5)セメントの強度発現性を考慮した鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度

N圧縮強度とL補正後の圧縮強度の関係を図-7に示す。図中のL補正後の圧縮強度は、(1)式により算定した。

$$F_c' = \frac{\sigma_N}{\sigma_L} \sigma_{br} \quad (1)式$$

ここに、 $F_c'$ :L補正後の圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_N$ :各材齢Nの標準養生強度(N/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_L$ :各材齢Lの標準養生強度(N/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_{br}$ :無筋および各配筋方法の供試体の圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

N圧縮強度とL補正後の圧縮強度の関係は、ほぼ同等となる傾向を示した。これにより鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度は、同一材齢で見るとセメントの種類強度発現速度の違いにより異なるが、強度発現速度の差を考慮するとセメントの種類の違いによる影響が小さい結果となった。また、圧縮強度が大きくなるとそのばらつきは、大きくなる傾向を示した。

5. まとめ

本実験で得られた知見を以下に示す。

- (1)鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度は、包含する鉄筋の量の増大により低下するが、位置にも大きく影響する。
- (2)標準養生供試体に対する強度比は、鉄筋の容積比が大きくなるのにもとめない小さくなる傾向

を示し、材齢の経過による強度比の分布範囲は、小さいものとなった。

(3)無筋コア供試体に対する強度比は、材齢の経過により大きくなる傾向を示した。また、鉄筋の容積比が大きくなるとばらつきは大きくなる傾向を示した。

(4)無筋コアの圧縮強度が、40N/mm<sup>2</sup>を境にして鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度と無筋コアに対する強度比は、ばらつきはあるものの比例する関係が見られた。

(5)鉄筋を含んだコア供試体の圧縮強度は、強度発現速度の差を考慮するとセメントの種類の違いによる影響が小さい傾向を示した。

今後は、供試体に含まれる鉄筋の径および位置の違いが圧縮強度に及ぼす影響について各種セメントを用い検討を行う予定である。

【謝辞】

太平洋セメント(株)・我妻佳幸氏、山宗化学(株)・高野肇博士ならびにもつくり大学建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)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 2003,2003.3
- 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,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集,pp.93-94,1977.10
- 6)中田善久,大木崇輔ら: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集,pp.391-396,2006.9
- 7)野口ら: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