

# 論文 異形鉄筋を含んだコア供試体の直径の違いがコア強度に及ぼす影響に関する研究

高瀬 貢平\*1・中田 善久\*2・大塚 秀三\*3

**要旨:**本研究は、直径の違いが異形鉄筋を含んだコア強度に及ぼす影響について検討し、配筋方法に応じた異形鉄筋を含まない通常のコア強度への補正係数の導出を試みた。その結果、異形鉄筋を含んだコア供試体のコア強度は、異形鉄筋の容積比に比例して小さくなる傾向を示し、直径が小さくなるほどその傾向が顕著となった。また、補正係数は、配筋方法に応じてφ100、φ83およびφ75mmのコア強度を統一して算定できる可能性を示す一方で、φ50mmでは異なる補正係数が必要であることを示した。

**キーワード:** 異形鉄筋, コンクリートコア, 圧縮強度, 補正係数, 配筋方法, コア供試体の直径

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート造建築物の構造体コンクリート強度を確認するために部材からコア供試体の採取を行う場合は、事前に鉄筋探査機により非破壊的に配筋位置の確認を行うことが一般的であるため、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が限定的<sup>1)</sup>であることや結束線などの金属の影響<sup>2)</sup>による誤差、さらには近年の高耐震化に伴う過密配筋化により、やむを得ず鉄筋を含んだコア供試体(以下、有筋コア供試体)が採取されることが少なからず起こり得る。これに対応して、JIS A 1107:2012「コンクリートからのコアの採取方法および圧縮強度試験方法」では、参考として平賀・毛見らの研究<sup>3),4)</sup>が例示されており、有筋コア供試体の特性について示している。さらに、東京都都市計画局のマニュアル<sup>5)</sup>は、有筋コア供試体の圧縮強度(以下、有筋コア強度)の補正係数を示している。これに対して、大塚ら<sup>6)</sup>は高強度コンクリートまで対応した、有筋コア強度を鉄筋を含まない通常のコア供試体(以下、無筋コア供試体)の圧縮強度(以下、無筋コア強度)へ補正する補正係数の算定式(以下、大塚式)を直径がφ100mmに限定して示している。一方で、近年、構造体コンクリートの損傷を軽微に抑えられ、コア供試体の採取跡の補修が容易などの利点から、直径をφ75mmとするケースが増加しつつある。

そこで、本研究は、直径がφ100、φ83、φ75およびφ50mmのコア供試体を用いて有筋コア強度を無筋コア強度へ補正する補正係数の検討を行った。ここでは、D13の異形鉄筋を含んだ有筋コア供試体を対象とし、配筋の種類および直径ごとに補正係数の検討を行い、大塚式<sup>6)</sup>

との比較を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 要因と水準

実験の要因と水準を表-1に示す。配筋の種類は、シングル配筋およびシングル交差配筋の2水準とし、比較用として無筋コア供試体を加えた。また、異形鉄筋はD13(JIS G 3112規格品, SD295A)とした。

### 2.2 コンクリートの使用材料および調査

コンクリートの使用材料を表-2、コンクリートの調査を表-3に示す。粗骨材の粒度分布は、粗骨材の粒度による影響を極力除外するため、あらかじめ混合された碎

表-1 実験の要因と水準

要因	水準
コアの直径(mm)	φ100, φ83, φ75, φ50
配筋の種類	シングル配筋, シングル交差配筋
W/C(%)	30, 40
材齢(日)	28, 91

表-2 コンクリートの使用材料

種類	概要
セメント	普通ポルトランドセメント (比表面積: 3,290cm <sup>2</sup> /g, 密度: 3.16g/cm <sup>3</sup> )
水	埼玉行田市上水道
細骨材	陸砂 (表乾密度: 2.61g/cm <sup>3</sup> , 吸水率: 2.30%, 粗粒率: 2.75)
粗骨材	砂岩碎石 (表乾密度: 2.58g/cm <sup>3</sup> , 吸水率: 2.79%, 粗粒率: 6.60)
化学混和剤	高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸系化合物)

\*1 日本大学大学院 理工学研究科建築学専攻 (正会員)

\*2 日本大学 理工学部建築学科 教授 博士(工学) (正会員)

\*3 ものつくり大学 技能工芸学部建設学科 准教授 博士(工学) (正会員)



ど、すなわちコア強度が小さいほど顕著となる。これにより、コア強度が大きくなるほど、異物である異形鉄筋の存在がコア強度に与える影響は小さいことが示唆された。

### 3.3 有筋コア強度に対する無筋コア強度の強度比

有筋コア強度とコア強度比(無筋/有筋)の関係を図-3に示す。図中のプロットは、水セメント比、材齢28日および91日の結果を区別なく表記したものである。

表-4 コア供試体のコア強度

W/C (%)	コアの直径 (mm)	配筋の種類	供試体の本数 (本)	材齢 (日)											
				28					91						
				コア強度 (N/mm <sup>2</sup> )			標準偏差	変動係数 (%)	棄却本数 (本)	コア強度 (N/mm <sup>2</sup> )			標準偏差	変動係数 (%)	棄却本数 (本)
平均値	最小値	最大値				平均値	最小値	最大値							
30	φ 100	無筋	3	76.3	75.1	77.4	1.15	1.51	—	89.7	88.7	90.2	0.80	0.89	—
		シングル配筋		72.9	70.6	73.2	1.41	2.24	—	90.5	88.2	92.2	2.01	2.22	—
		シングル交差配筋		68.3	67.2	70.5	1.68	2.46	—	90.1	87.6	91.2	1.86	2.07	—
	φ 83	無筋	6	74.6	72.9	75.9	1.50	2.02	—	87.5	85.6	88.5	1.47	1.68	—
		シングル配筋		71.2	68.9	72.3	1.73	2.43	—	85.9	83.1	87.1	2.05	2.39	—
		シングル交差配筋		67.8	64.5	69.3	2.45	3.62	—	84.7	81.2	86.2	2.56	3.02	—
	φ 75	無筋	7	74.1	72.2	75.8	1.80	2.43	—	84.4	83.2	86.1	1.46	1.73	—
		シングル配筋		67.7	64.3	69.2	2.34	3.46	1	85.4	82.3	87.1	2.43	2.85	—
		シングル交差配筋		66.6	62.2	68.2	2.77	4.16	—	87.6	84.3	89.5	2.63	3.00	—
	φ 50	無筋	24	70.9	62.5	74.2	4.01	5.65	1	85.0	78.5	88.3	3.45	4.06	1
		シングル配筋		63.8	56.3	68.3	5.72	8.97	2	81.8	73.2	86.9	5.10	6.24	1
		シングル交差配筋		61.9	53.2	65.5	5.26	8.51	1	81.0	75.4	83.3	4.45	5.50	1
40	φ 100	無筋	3	55.9	53.8	56.5	1.39	2.49	—	64.8	63.8	66.3	1.26	1.94	—
		シングル配筋		52.3	50.1	54.3	2.10	4.02	—	59.3	57.9	62.0	2.08	3.51	—
		シングル交差配筋		50.5	48.6	51.9	1.65	3.28	—	60.7	57.7	62.3	2.33	3.84	—
	φ 83	無筋	6	55.1	53.2	56.7	1.75	3.18	1	62.4	59.1	63.4	1.77	2.84	—
		シングル配筋		48.6	44.1	49.2	2.78	5.72	—	57.3	54.2	59.1	2.48	4.33	—
		シングル交差配筋		48.3	45.5	50.3	2.41	4.99	—	57.0	53.7	58.6	2.49	4.38	—
	φ 75	無筋	7	55.4	53.4	56.8	1.71	3.08	—	63.1	61.5	65.3	1.91	3.03	—
		シングル配筋		49.5	46.3	52.3	2.89	5.84	—	58.1	55.5	60.2	2.35	4.05	—
		シングル交差配筋		46.1	42.1	48.2	3.09	6.72	—	52.9	49.8	54.3	2.54	4.81	—
	φ 50	無筋	24	54.0	46.9	55.7	4.66	8.63	—	58.9	50.9	64.7	4.21	7.15	1
		シングル配筋		41.2	30.1	47.3	5.98	14.53	1	49.7	39.2	56.6	6.54	13.17	1
		シングル交差配筋		43.9	33.1	49.5	7.13	16.25	2	47.7	35.5	57.6	5.87	12.32	1

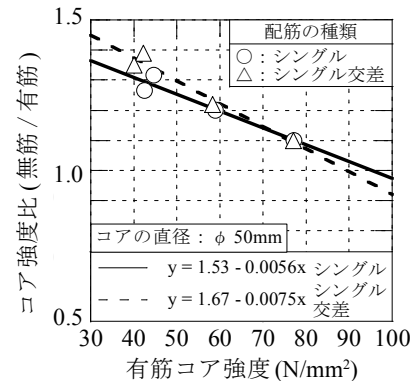
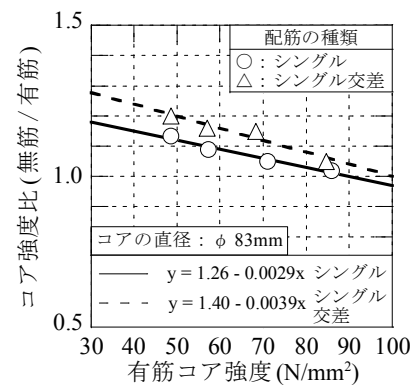
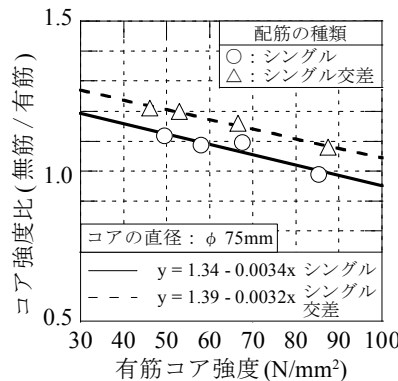
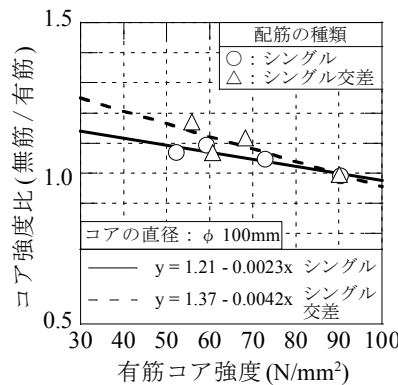
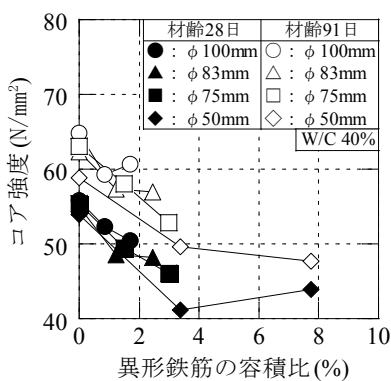
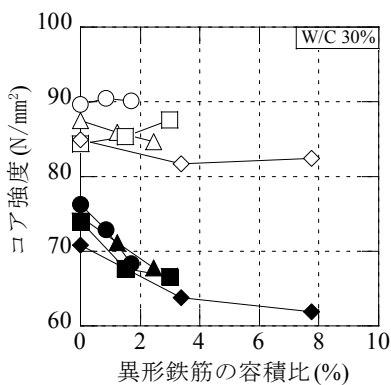


図-2 異形鉄筋の容積比とコア強度の関係

図-3 有筋コア強度とコア強度比(有筋/無筋)の関係

コア強度比は、全体的に有筋コア強度の増加に伴った負の相関を示す結果となった。コア供試体の直径がφ100～φ75mmまでは、概ね同様の傾向を示し、コア強度比が1.0～1.2程度に分布する傾向となった。一方で、φ50mmでは、コア強度比が1.1～1.4程度に分布する傾向となった。また、配筋の種類で比較すると、前述したように異形鉄筋の容積比が大きいシングル交差配筋の方がシングル配筋に比べ大きくなる傾向にあるが、有筋コア強度が80N/mm<sup>2</sup>を超えるとその差異は小さくなる傾向となった。

このことから、有筋コア強度は、強度レベルに応じてコア供試体に含まれる異形鉄筋の容積および異形鉄筋の配筋位置の相違が複合的に作用するものと考えられる。

### 3.4 補正係数の検討における無筋コア強度に対する有筋コア強度の強度比

本研究は、コア強度比のばらつきを考慮して、補正された有筋コア強度における安全側の評価を可能とするために、有筋コア強度とコア強度比(無筋/有筋)の関係を回帰させた一次式の95%信頼区間の下限値によって、有筋コア強度の補正係数を算定することとした。すなわち、以降ではコア強度比(無筋/有筋)を有筋コア強度を無筋コア強度に換算する補正係数として取り扱う。補正係数の検討における有筋コア強度とコア強度比(無筋/有筋)の関係を図-4に示す。同図は材齢およびW/Cによる区別をせずに、同一のコアの直径および配筋の種類で全体を統合して示した。また、比較としてφ100mmのコア供試体のみを対象とした大塚式<sup>6)</sup>による算定結果も併せてプロットした。

トした。

有筋コア強度とコア強度比(無筋/有筋)の関係が示す一次回帰式の傾きは、φ100、φ83およびφ75mmのコア供試体において、シングル配筋およびシングル交差配筋のいずれも概ね大塚式<sup>6)</sup>と同様の傾向を示した。しかし、φ50mmのコア供試体において、シングルおよびシングル交差配筋いずれも大塚式<sup>6)</sup>に比べて、より負の方向に傾く傾向を示した。

### 3.5 有筋コア強度の補正係数の検討

ここでは、有筋コア強度とコア強度比の関係を回帰させた一時式の95%信頼区間の下限値によって導出された図-4に示す一次回帰式によって有筋コア強度の補正係数を算定することとした。これによると有筋コア強度の発現が一定値を超えると補正係数1.00を下回る、すなわち無筋コア強度を上回る補正強度が算定される場合があるため、95%信頼区間の下限値が1.00を超える有筋コア強度域については一律に補正係数を1.00と定め、そのしきい値を示した。有筋コア強度の補正係数の算定式と有筋コア強度のしきい値を表-5に示す。

以下、同表の算定式に基づいて、その有効性を検討した。無筋コア強度と補正後の有筋コア強度の関係を図-5に示す。なお、図-5は表-5の式を用いて求めた値をプロットしたものである。無筋コア強度と補正後の有筋コア強度の関係は、コア供試体の直径がφ100～φ75mmまでは概ね等値線に平行して若干下回って分布しており、安全側の評価が可能であることが示唆された。

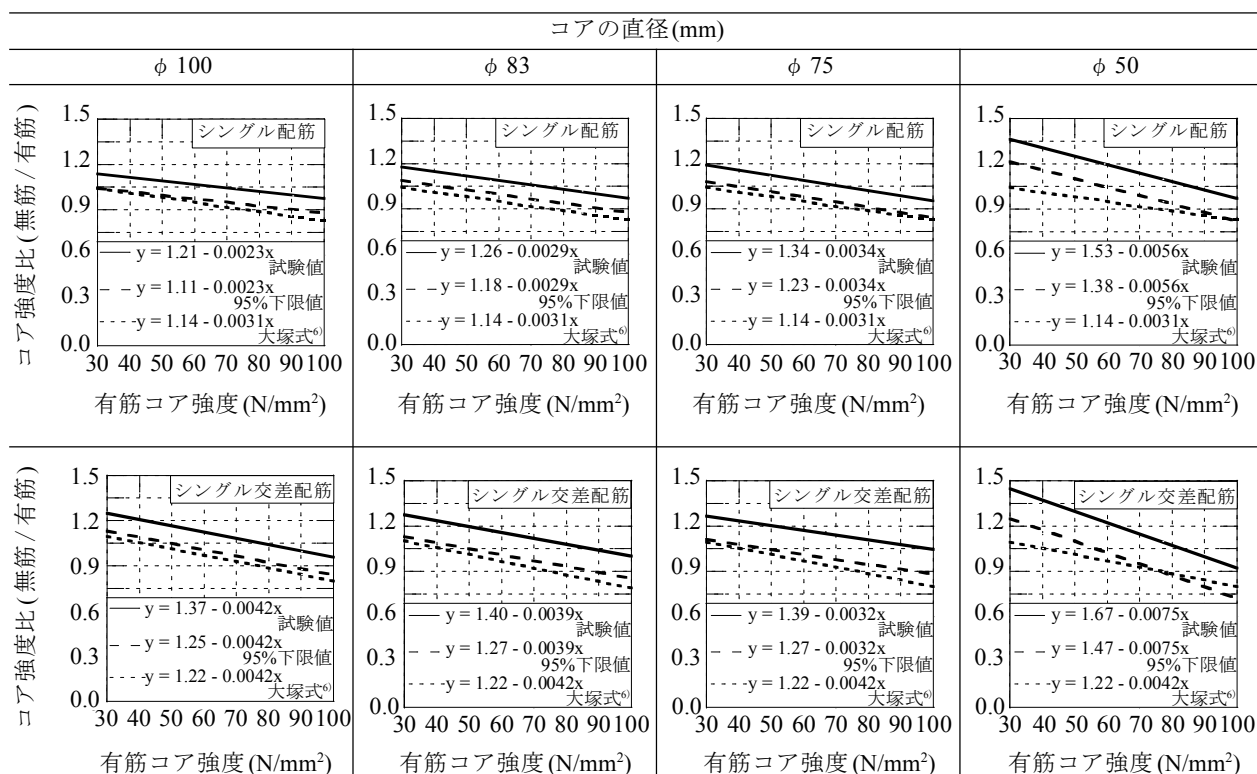


図-4 補正係数の検討における有筋コア強度とコア強度比(無筋/有筋)の関係

ここで、鈴木らの研究<sup>8)</sup>において、高さ直径比が2.0の場合においてφ75mmの無筋コア強度とφ100mmの無筋コア強度が同程度となることが明らかになっている。これが異形鉄筋を含んだ場合にも適用できる知見であることが分かる。また、本研究の補正式と大塚式<sup>9)</sup>との比較において、コアの直径がφ100～φ75mmまでは概ね合致する傾向を示した。一方で、50mmでは、乖離する傾向となった。これは、大塚式<sup>9)</sup>がφ100mmのみを対象としているためと考えられる。

以上からφ100, φ83およびφ75mm, すなわち粗骨材の最大寸法の3倍以上で高さ直径比(h/d)が2.0であるコア強度は、統一の補正係数により補正できる可能性があるものと考えられる。一方で、φ50mmは、φ100, φ83およびφ75mmとは異なる補正係数を用いて算定する必要があると考えら

れる。

#### 4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1)有筋コア強度は、概ね異形鉄筋の容積比に比例して小さくなる傾向を示した。特に、φ50mmはこの傾向が顕著に認められた。しかし、80～90N/mm<sup>2</sup>の強度域において無筋コア強度との差異は小さくなる傾向を示し、一部は無筋コア強度以上になる場合も認められた。
- (2)有筋コア強度に対する無筋コア強度の強度比は、強度レベルに応じて異形鉄筋の容積比および異形鉄筋の配筋位置の相違が複合的に影響を及ぼす可能性が示唆された。
- (3)本研究による有筋コア強度とコア強度比(無筋/有

表-5 有筋コア強度の補正係数の算定式と有筋コア強度のしきい値

配筋の種類	コアの直径 (mm)	補正係数 Cc		補正係数を1とする有筋コア強度のしきい値(N/mm <sup>2</sup> )	
		本実験	大塚式 <sup>9)</sup> (φ100)	本実験	大塚式 <sup>9)</sup> (φ100)
シングル配筋	φ100	$Cc = -0.0023 \times Ic + 1.11$	$Cc = -0.0031 \times Ic + 1.14$	47.8	45.2
	φ83	$Cc = -0.0029 \times Ic + 1.18$		62.1	
	φ75	$Cc = -0.0034 \times Ic + 1.23$		67.6	
	φ50	$Cc = -0.0056 \times Ic + 1.38$		67.8	
シングル交差配筋	φ100	$Cc = -0.0042 \times Ic + 1.25$	$Cc = -0.0042 \times Ic + 1.22$	59.5	52.4
	φ83	$Cc = -0.0039 \times Ic + 1.30$		64.1	
	φ75	$Cc = -0.0032 \times Ic + 1.29$		58.9	
	φ50	$Cc = -0.0075 \times Ic + 1.47$		62.7	

Cc: 補正係数, Ic: 有筋コア強度とする

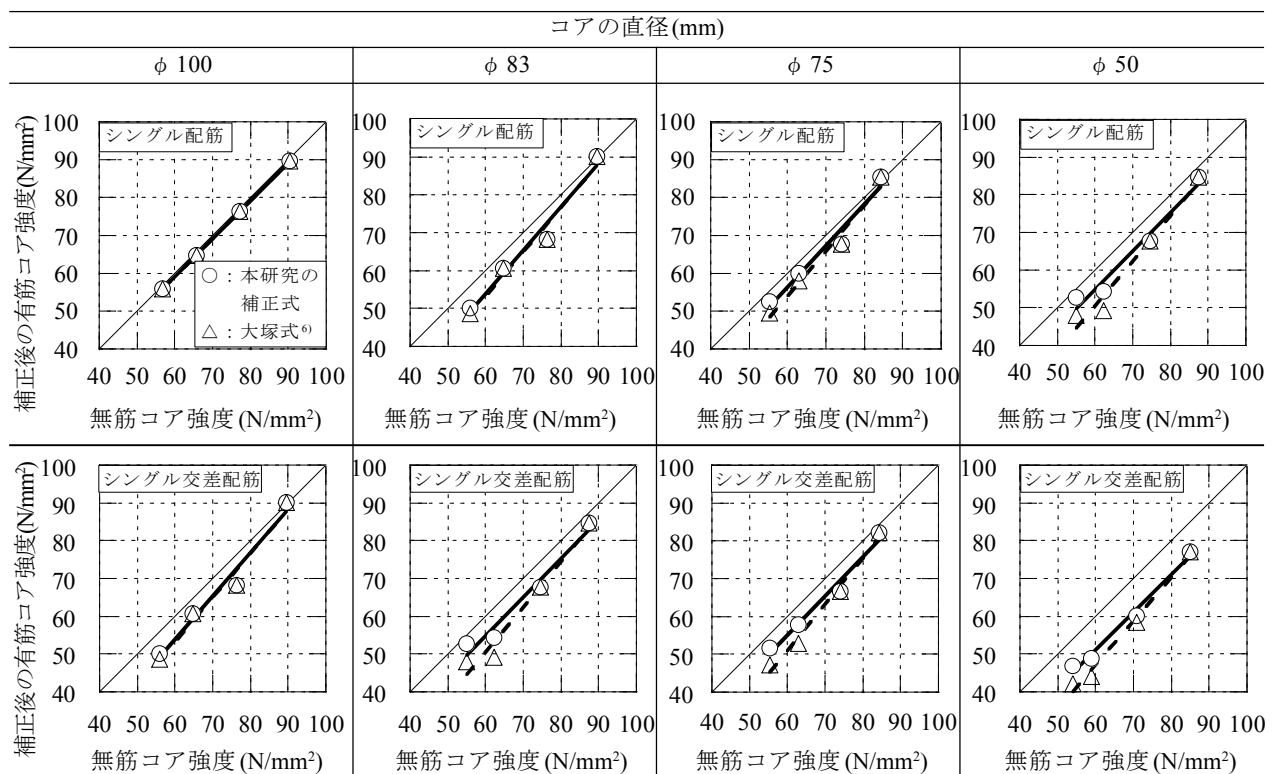


図-5 無筋コア強度と補正後の有筋コア強度の関係

筋)の関係が示す一次回帰式の傾きは $\phi 100$ 、 $\phi 83$ および $\phi 75\text{mm}$ は概ね同一の傾きとなったが、 $\phi 50\text{mm}$ のみ、より負の方向に傾く傾向を示した。

(4)  $\phi 100$ 、 $\phi 83$ および $\phi 75\text{mm}$ のコア供試体において、本研究の補正係数の算定式と大塚式<sup>9)</sup>は概ね一致した傾向を示し、 $\phi 100$ 、 $\phi 83$ および $\phi 75\text{mm}$ のコア供試体は統一して補正できる可能性を示した。一方で、 $\phi 50\text{mm}$ は、 $\phi 100$ 、 $\phi 83$ および $\phi 75\text{mm}$ のコア供試体と異なる補正を用いて算定する必要がある。

今後は、有筋コア供試体において、高さ直径比(h/d)の影響や異形鉄筋の位置の影響について検討を試みる必要がある。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり、日本大学理工学部建築学科中田研究室およびものづくり大学技能工芸学部建設学科大塚研究室の学生より多大な協力を頂きました。ここに記して深謝いたします。

#### 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，pp. 709-715，2009
- 2) 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
- 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およぼす影響，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) 平賀友晃：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，日本大学学位請求論文，1982. 10
- 5) 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
- 6) 大塚秀三，中田善久，大木崇輔：異形鉄筋を切り取ったコア供試体の圧縮強度の補正係数に関する一考察，ものづくり大学紀要 第4号，pp. 53-60，2013
- 7) 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，pp. 206-214，2009
- 8) 鈴木澄江，伊藤康司，鹿毛忠継，瀬古繁喜：高強度コンクリートのコア供試体における高さ直径比が圧縮強度の試験結果に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol. 31，No. 1，2009