

論文 コア採取の前後の養生条件が異なるコア強度に関する一考察

宮田敦典^{*1}・中田善久^{*2}・大塚秀三^{*3}

要旨：本研究は、コア採取の前後の養生条件がコア強度に及ぼす影響を明らかにするために、コア採取の前後の養生方法およびコア供試体の採取方向を変化させてコア強度およびその変動について検討したものである。その結果、コア強度は、圧縮強度試験の2日前採取または直前採取で変化させても大きな影響は見られなかったものの、コア強度の変動係数は、2日前採取しコア供試体の含水状態を安定させると、直前採取したコア供試体に比べて小さくなる傾向を示した。また、この差は小試験体を気中養生した方が標準養生に比べて大きい傾向を示した。

キーワード：コア強度、採取方向、採取時期、養生方法、変動係数、見掛け密度

1. はじめに

構造体コンクリートの強度は、構造体コンクリートから採取したコアを用いる圧縮強度試験によって判断することが多く、この試験方法は直接的に試験することができるため、構造体コンクリートの強度を調べるための最も有効な方法であるといえる。コアを用いた圧縮強度試験は、JIS A 1107:2012「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」¹⁾に規定されており、同規格の本文には、「コア供試体は、試験のときまで20±2℃の水中に40時間以上漬けておくと、試験時の供試体の乾湿の条件をほぼ一定にすることができる」と、コア採取から圧縮強度試験までの養生方法について記述されている。もともと、この40時間の水中養生は、コア強度のばらつきをできるだけ小さくするための配慮であり、圧縮強度試験時の供試体の含水状態が圧縮強度に及ぼす影響については検討されている²⁾ものの、コア供試体において、コア採取から試験までの養生方法がコア強度に及ぼす影響について検討された例は見当たらず、不明な点がある。また、コア採取前の含水状態によってもコア採取から試験までの養生方法の影響が異なることが考えられる。

さらに、既存鉄筋コンクリート造構造物からコアを採取する場合、コアの採取方向がコンクリートの打込み方向に対して異なる場合がある。これを踏まえて、これまでに異方性の検討が複数報告^{3)~5)}されており、研究者によってその程度の差はあるものの、打込み方向に対して平行方向の圧縮強度が直交方向に比べて大きくなることが指摘されている。

そこで、本研究は、コア採取の前後の養生条件がコア強度に及ぼす影響を明らかにするために、コア採取の前後の養生方法およびコア供試体の採取方向を変化させて、複合的に検討したものである。ここでは、供試体の種類の影響、コア供試体を採取する試験体(以下、小試験体とする)の養生方法の影響および採取時期の影響について考察している。

2. 実験概要

(1) 実験の要因と水準

実験概要を表-1に示す。供試体の種類は、管理用供試体およびコア供試体とし、それぞれ水セメント比(以下、W/Cとする)を30%、40%、50%および63%の4水準で変化させた。コア供試体は、小試験体の養生方法(コ

表-1 実験概要

W/C (%)	供試体の種類	供試体および小試験体の養生方法	コア供試体の採取方法および採取後の養生方法	コア供試体の採取方向	圧縮強度試験の材齢(日)	
	管理用供試体 (φ100×200mm)	【標準養生】 打込みから2日後に脱型を行い、圧縮強度試験まで標準養生(20℃, 水中)	-	-	2, 7, 28, 91	
30	コア供試体 (小試験体から採取) 図-1参照	【標準養生】 打込みから2日後に脱型を行い、コア供試体の採取時期まで標準養生(20℃, 水中)	【2日前採取】 圧縮強度試験の2日前にコア供試体を採取し、試験まで標準養生(20℃, 水中)	打込み方向 に対して	7, 28, 91	
40			【直前採取】 圧縮強度試験の直前にコア供試体を採取		7, 28	
50			【気中養生】 打込みから2日後に脱型を行い、コア供試体の採取時期まで気中養生(20℃, RH60%)	【2日前採取】 圧縮強度試験の2日前にコア供試体を採取し、試験まで気中養生(20℃, RH60%)	【平行方向】 【直交方向】	7, 28, 91
63				【直前採取】 圧縮強度試験の直前にコア供試体を採取		2, 7, 28

*1 日本大学理工学部建築学科助手 修士(工学)(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)

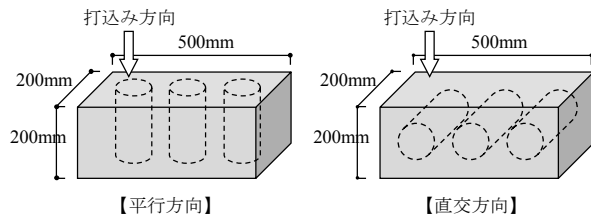


図-1 小試験体の概要

表-2 コンクリートの使用材料

種類	名称	概要
セメント(C)	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(W)	上水道水	埼玉県行田市
細骨材(S)	栃木県栃木市産陸砂	表乾密度:2.61g/cm ³ 吸水率:2.30%, 粗粒率:2.75
粗骨材(G)	栃木県栃木市産石灰岩碎石	表乾密度:2.70g/cm ³ 実積率:60.0%, 吸水率:0.65% 粗粒率:6.62
	栃木県栃木市産硬質砂岩碎石	表乾密度:2.64g/cm ³ 実積率:59.0%, 吸水率:1.24% 粗粒率:6.68
化学混和剤(Ad)	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系化合物
	AE減水剤	リグニンスルホン酸塩 オキシカルボン酸塩

ア採取前の養生方法), コア採取後の養生方法およびコア供試体の採取方向を変化させた計8水準で変化させて検討を行った。

(2) 供試体の種類および作製方法

供試体は、管理用供試体と小試験体から採取したコア供試体とした。小試験体は、図-1に示すように、コア供試体(φ100×200mm)が3本採取できる、W:200×D:500×H:200mmの大きさとした。なお、本研究において、管理用供試体を含むすべての供試体は、各3本ずつ圧縮強度試験を行い、3本の平均値で検討している。小試験体は2層で打ち込み、コンクリート棒形振動機によって各層5秒間締固めを行った。いずれの小試験体も打ち込み面をポリエチレンフィルムで覆い、2日後に脱型した。その後、管理用供試体は、圧縮強度試験まで標準養生(20℃, 水中)とし、小試験体はコア供試体の採取時期まで標準養生(20℃, 水中)および気中養生(20℃, RH60%)の2水準とした。コア供試体の採取時期は、圧縮強度試験の2日前および直前とし、2日前採取したコア供試体は、試験まで小試験体と同一の方法で養生した。そのため、2日前採取した供試体はコア採取後の48時間の養生あり(水中養生または気中養生)となり、直前採取した供試体はコア採取後に養生なしとなる。また、コア供試体の採取方向は、図-1に示すように、コンクリートの打ち込み方向に対して平行方向および直交方向の2水準とした。

(3) コンクリートの使用材料および調合

表-3 コンクリートの調合

W/C (%)	粗骨材の種類	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					目標SL, SF(cm)	目標空気量(%)
			W	C	S	G	Ad		
30	石灰石岩碎石	48.0	170	567	760	851	7.94 ^{※1}	60±10	4.5±1.5
40		48.5	175	438	812	891	3.94 ^{※1}	21±2.0	
50	硬質砂岩碎石	47.7	170	340	843	935	3.06 ^{※2}	18±2.5	
63		49.5	181	287	882	911	3.47 ^{※2}	18±2.5	

※1 高性能AE減水剤, ※2 AE減水剤

コンクリートの使用材料を表-2に示し、コンクリートの調合を表-3に示す。W/Cは30%, 40%, 50%および63%とし、W/C=30%および40%のとき粗骨材に石灰岩碎石を用い、W/C=50%および63%のとき粗骨材に硬質砂岩碎石を用いた。練上がり目標値として、W/C=30%のときスランプフロー60±10cm、W/C=40%のときスランプ21±2.0cm、W/C=50%および63%のときスランプ18±2.5cmとした。また、空気量の目標値は、いずれのコンクリートも4.5±1.5%とした。なお、いずれのコンクリートもレディーミクストコンクリート工場で製造されたものを使用した。

3. 実験結果および考察

圧縮強度試験結果および見掛け密度の一覧を表-4に示す。

(1) 供試体の種類の影響

管理用供試体とコア供試体におけるコア強度、変動係数および見掛け密度の関係を図-2に示す。

コア強度は、管理用供試体の圧縮強度に比べて僅かに小さくなる傾向を示した。これは、コア採取時に生じる振動およびぶれなどによってコア供試体側面を傷めている可能性^{6), 7)}が要因の一つと考えられる。

コア強度の変動係数は、管理用供試体の圧縮強度の変動係数が0~3.5%程度であったのに対して、1~5.5%程度と大きくなる傾向を示し、材齢が長いほど変動係数が小さくなる傾向を示した。これは、前述したように、コア採取時に生じる振動およびぶれなど影響^{6), 7)}に加え、小試験体から採取した位置によりコア供試体の条件が必ずしも一定ではないことなどが影響しているものと考えられる。また、材齢の経過に伴い強度が大きくなるため、材齢が長いほど相対的に変動係数が小さくなったものと考えられる。

コア供試体の見掛け密度は、管理用供試体の見掛け密度との関係に明確な傾向は見られず、さらに、表面からの乾燥の影響を受ける気中養生したコア供試体についても、標準養生した管理用供試体との関係に明確な差は見られなかった。湯浅ら⁸⁾は、コンクリートの乾燥による含水率の低下は乾燥面から概ね5cm程度までにみられると報告している。これを踏まえると、本実験のコア供試

表-4 コア供試体の圧縮強度、圧縮強度の変動係数および見掛け密度の試験結果

小試験体の養生方法	コアの採取時期	コアの採取方向	W/C (%)	圧縮強度(N/mm ²)				圧縮強度の変動係数(%)				見掛け密度 (g/cm ³)			
				2日	7日	28日	91日	2日	7日	28日	91日	2日	7日	28日	91日
標準養生	2日前採取	平行方向	30	-	57.6	71.7	83.8	-	4.17	3.14	0.82	-	2.40	2.42	2.47
			40	-	42.5	50.5	67.4	-	4.37	3.76	1.04	-	2.34	2.33	2.35
			50	-	29.9	40.9	52.0	-	5.40	4.28	2.69	-	2.29	2.33	2.22
		63	-	17.8	26.2	32.4	-	5.28	4.58	3.92	-	2.24	2.30	2.25	
		30	-	55.9	68.3	84.2	-	3.15	3.13	0.36	-	2.43	2.40	2.27	
		40	-	41.7	51.2	67.2	-	3.96	2.44	1.24	-	2.34	2.34	2.32	
	直前採取	平行方向	50	-	26.7	37.0	52.4	-	4.59	3.11	2.20	-	2.27	2.37	2.30
			63	-	16.9	25.8	32.1	-	4.45	5.24	3.12	-	2.28	2.31	2.27
			30	-	56.3	71.6	-	-	3.55	2.60	-	-	2.38	2.39	-
		40	-	41.7	50.1	-	-	4.78	2.54	-	-	2.34	2.32	-	
		50	-	29.2	39.5	-	-	4.91	4.62	-	-	2.33	2.35	-	
		63	-	17.3	26.9	-	-	5.04	4.47	-	-	2.30	2.26	-	
気中養生	2日前採取	平行方向	30	-	54.9	69.2	83.7	-	4.01	4.08	1.13	-	2.42	2.38	2.40
			40	-	40.5	48.1	64.3	-	4.44	4.32	1.17	-	2.34	2.33	2.31
			50	-	28.8	36.2	51.1	-	4.98	3.59	5.00	-	2.32	2.34	2.33
		63	-	17.3	23.8	30.8	-	6.98	2.94	2.27	-	2.26	2.27	2.15	
		30	-	56.0	69.9	81.0	-	0.17	0.72	1.31	-	2.38	2.42	2.33	
		40	-	39.8	49.3	64.7	-	4.33	3.45	5.17	-	2.33	2.32	2.30	
	直前採取	平行方向	50	-	25.4	33.8	48.5	-	4.92	0.89	2.37	-	2.33	2.31	2.16
			63	-	17.1	23.1	30.1	-	5.51	0.22	3.05	-	2.29	2.31	2.25
			30	46.9	54.6	69.8	-	4.18	4.49	5.10	-	2.37	2.31	2.41	-
		40	30.2	37.6	45.7	-	5.63	5.59	6.46	-	2.34	2.33	2.32	-	
		50	22.0	27.3	36.3	-	6.33	5.69	4.96	-	2.34	2.29	2.31	-	
		63	10.1	16.4	23.5	-	6.26	6.04	4.90	-	2.31	2.23	2.26	-	
直前採取	直交方向	30	46.8	54.2	68.4	-	5.46	2.09	3.88	-	2.46	2.44	2.37	-	
		40	29.4	38.0	48.4	-	5.93	4.61	3.41	-	2.35	2.48	2.33	-	
		50	19.1	24.5	33.2	-	2.36	5.84	2.71	-	2.34	2.35	2.34	-	
	63	10.5	16.6	22.2	-	6.72	6.63	5.64	-	2.27	2.27	2.27	-		

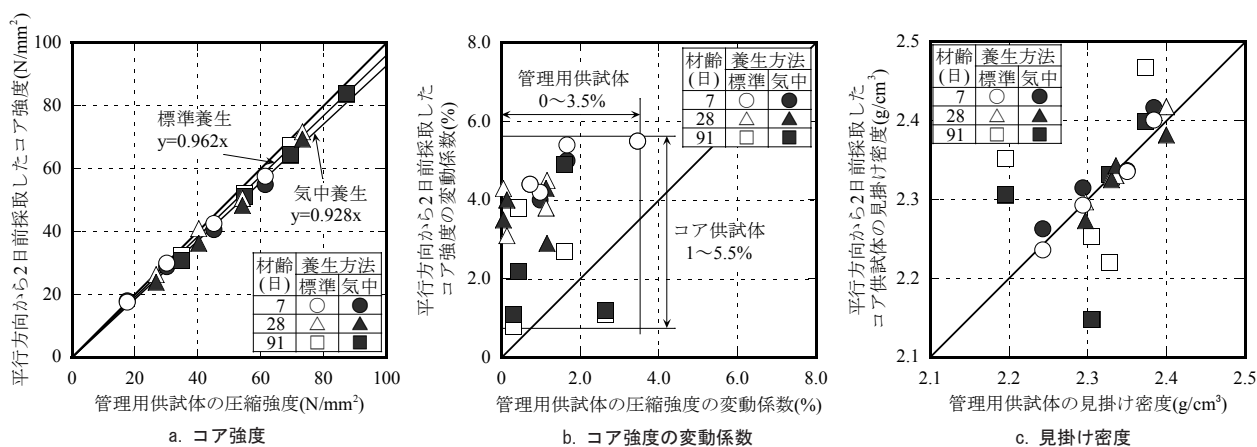


図-2 管理用供試体とコア供試体におけるコア強度、変動係数および見掛け密度の関係

体は小試験体から採取しているため乾燥の影響は上下端面近傍のみに留まり、気中養生したコア供試体と標準養生した管理用供試体の見掛け密度との関係に明確な差が見られなかったものと考えられる。

(2) 小試験体の養生方法の影響

小試験体を標準養生と気中養生したコア強度の関係を図-3に示す。標準養生したコア強度は、気中養生したものに比べて大きくなる傾向を示した。これは、標準養生によって水和が進行したためである。また、標準養生と気中養生のコア強度の差は4%程度と僅かであった。これは、本実験の気中養生が湿度60%と強度発現のた

めに十分な環境であることや、前述したように、気中養生したコア供試体が小試験体から採取しているため乾燥の影響を受けにくいことが影響しているものと考えられる。

平行方向と直交方向のコア強度の関係を図-4に示す。水平方向から採取したコア強度は、直交方向に比べて僅かに大きくなる傾向を示した。コンクリートの異方性に関する研究として、松井ら³⁾は、水平方向に採取したコア供試体の方が鉛直方向に比べて約4%程度大きくなることを報告している。また、十代田⁴⁾は、水平方向と鉛直方向の圧縮強度に差が生じる理由として、材料分離、

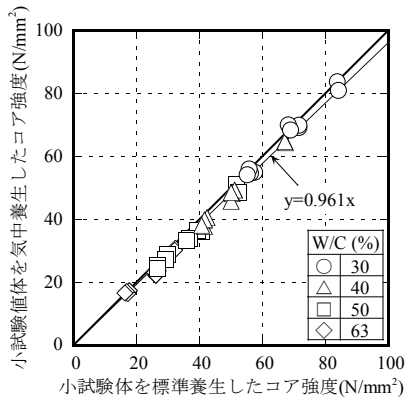
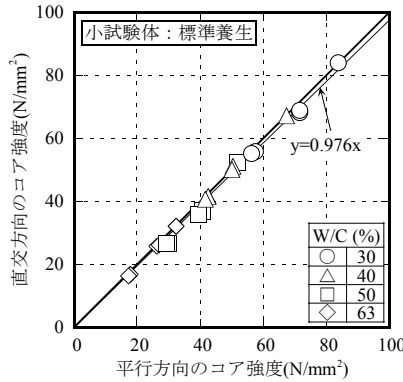
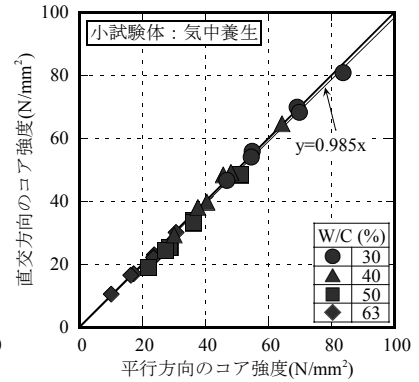


図-3 小試験体を標準養生と気中養生したコア強度の関係

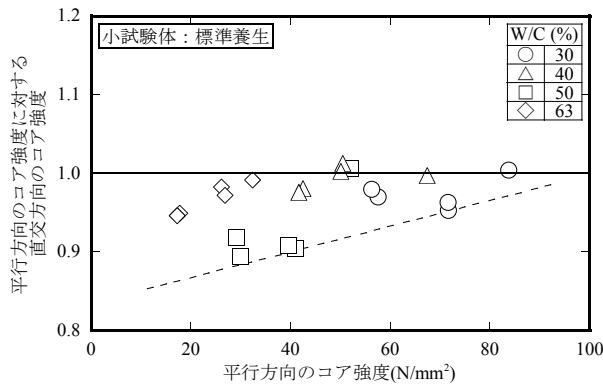


a. 小試験体：標準養生

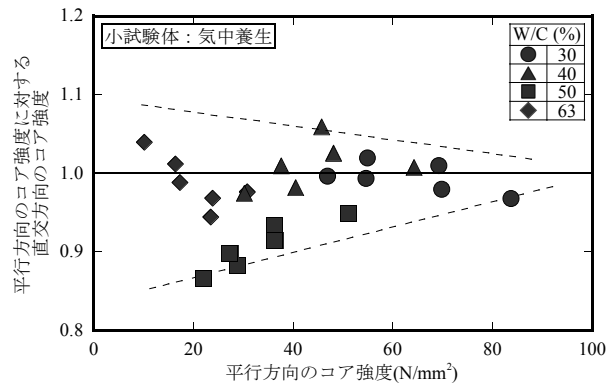


b. 小試験体：気中養生

図-4 平行方向と直交方向のコア強度の関係



a. 小試験体：標準養生



b. 小試験体：気中養生

図-5 平行方向のコア強度と平行方向のコア強度に対する直交方向のコア強度の関係

沈降およびブリーディングなどによって生じる骨材下面欠陥部に対して、圧縮強度試験時に生じる応力の方向が採取方向によって異なるためと説明している。一方、高強度コンクリートを対象とした梶田ら⁵⁾の研究によると、採取方向の違いがコア強度に及ぼす影響は小さく、大きく異なる明確な理由もないことを報告している。これらの研究報告と本実験結果を踏まえて考察すると、コンクリートの強度レベルによって程度の差こそあるものの、水平方向と鉛直方向の圧縮強度に差が生じ、この差は高強度になると小さくなるといえる。また、採取方向がコア強度に及ぼす影響について、養生方法の違いによる明確な傾向は見られなかった。

平行方向のコア強度と平行方向に対する直交方向のコア強度(以降、コア強度比とする)の関係を図-5に示す。コア強度比は、いずれの養生方法においても、平行方向のコア強度が大きくなるほど1.0に近くなり、採取方向の違いによる差が小さくなる傾向を示した。これは、コア強度が大きい、すなわち、水セメント比が小さいと、前述した材料分離、沈降およびブリーディングなどによって生じる骨材下面欠陥部³⁾の総量が少なく、平行方向と直交方向の差が小さくなったものと考えられる。さらに、材齢の経過によりポテンシャルのコア強度に近づ

くにつれて、コア強度が安定したことも、平行方向と直交方向の差が小さくなった要因の一つと考えられる。また、コア強度比は、気中養生の方が標準養生に比べて変動の幅が大きい傾向であったものの、コア強度が大きくなると採取方向の差が小さくなる傾向は同様であり、養生方法の違いが採取方向の影響に及ぼす明確な傾向は見られなかった。

(3) コア採取時期の影響

2日前採取と直前採取したコア供試体におけるコア強度、変動係数および見掛け密度の関係を図-6に示す。

2日前採取したコア強度は、小試験体の養生方法にかかわらず、直前採取したコア強度に比べて大きくなる傾向を示した。小試験体を気中養生したとき、直前に採取した供試体は、実験におけるコア採取が冷却水を用いる湿式方法であったため、採取時にコア供試体が冷却水を吸水し含水率が大きくなっているのに対して、2日前採取した供試体はコア採取から試験までの2日間の気中養生で含水率が安定し、直前採取したコア供試体よりも含水率が小さくなり、この含水率の違いがコア強度に影響している可能性⁹⁾があると考えられる。しかし、採取時期がコア強度に及ぼす影響は、標準養生のとき-1%程度であり、気中養生のとき-2%程度と、その差は僅かであつ

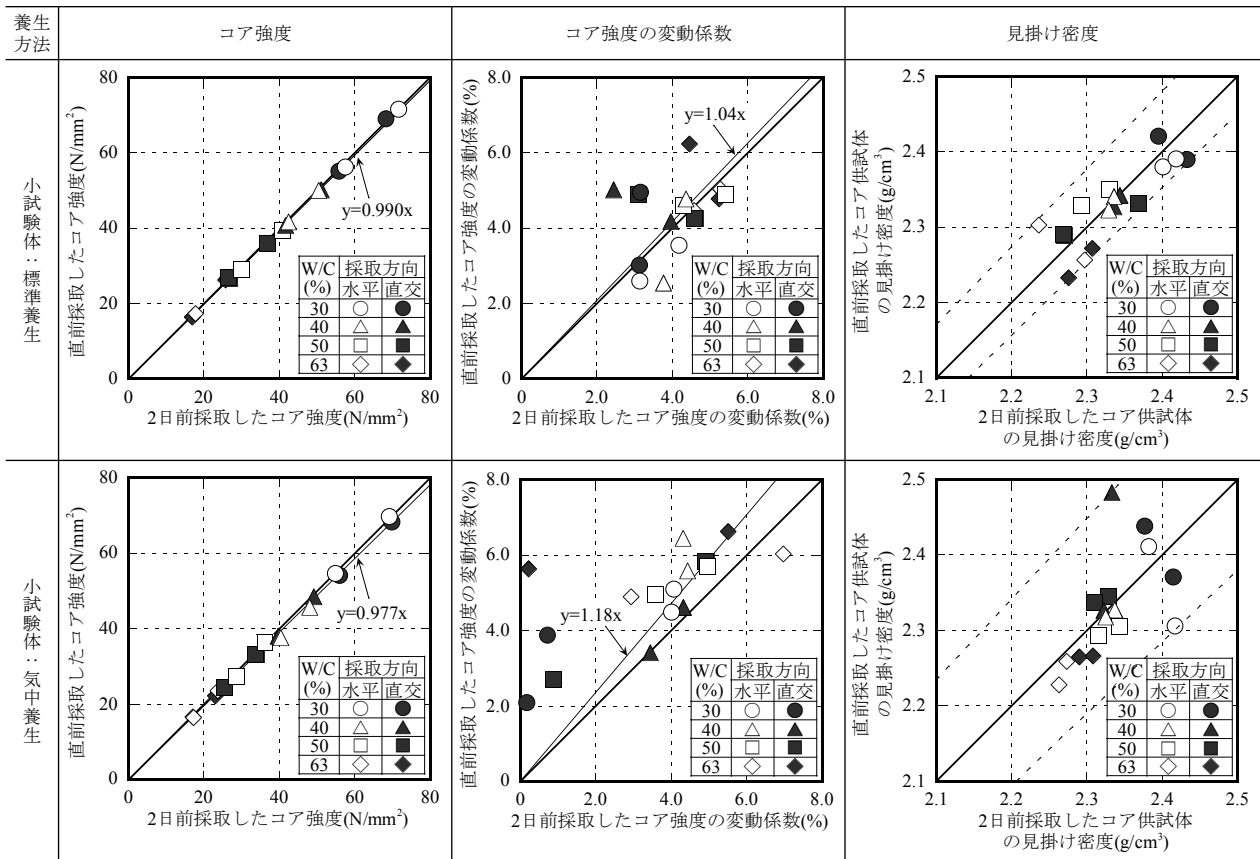


図-6 2日前採取と直前採取したコア供試体におけるコア強度、変動係数および見掛け密度の関係

た。これより、2日程度の違いであれば、採取時期がコア強度に及ぼす影響は小さいものといえる。

2日前採取したコア強度の変動係数は、いずれの養生方法においても直前採取したものに比べて小さくなる傾向を示した。これは、試験までの2日間の各種養生において含水状態が安定したためと考えられる。また、コアの採取時期がコア強度の変動係数に及ぼす影響は、標準養生に比べて気中養生の方が大きくなる傾向を示した。これは、前述したように、本実験におけるコア採取が冷却水を用いる湿式方法であったため、気中養生とした小試験体から採取したコア供試体の方が吸水による乾湿のばらつきが大きいと考えられる。

2日前採取したコア供試体の見掛け密度は、直前採取したものとほぼ同等の値を示し、前述した、コア供試体の含水率の違いによる影響は見られなかった。また、コアの採取時期がコア供試体の見掛け密度に及ぼす影響は、標準養生に比べて気中養生の方が大きくなる傾向を示した。

コア強度とコア強度の変動係数の関係を図-7に示す。コア強度の変動係数は、材齢および水セメント比にかかわらず、コア強度が大きいほど小さくなる傾向を示した。これは、ポテンシャルのコア強度に近づくにつれて、コア強度が安定したためと考えられる。また、コア強度の変動係数は、2日前採取より直前採取の方が大きくなり、

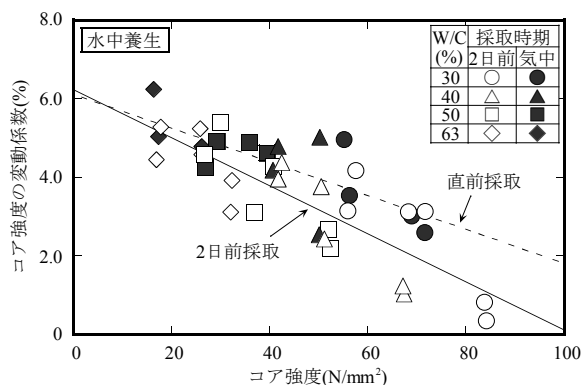
その差は、気中養生の方が標準養生よりも大きくなる傾向を示した。

4. まとめ

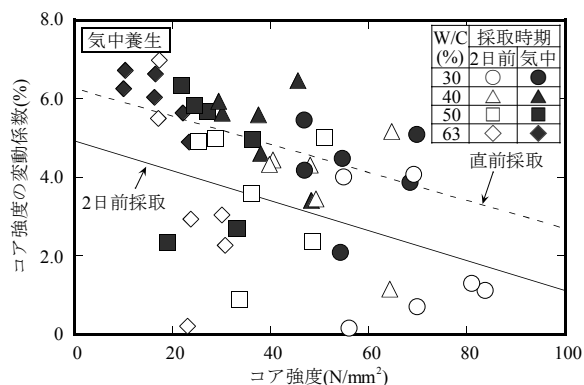
本研究は、コア採取の前後の養生条件がコア強度に及ぼす影響を明らかにするために、コア採取の前後の養生方法およびコア供試体の採取方向を変化させて検討したものである。その結果をまとめると表-5のようになり、得られた知見を以下に示す。

- (1) コア強度は、小試験体を標準養生した方が気中養生よりも大きくなる傾向を示すものの、その差は僅かであった。
- (2) 採取方向は、コア強度に少なからず影響を及ぼすもののその差は僅かであり、小試験体の養生方法による明確な傾向は見られなかった。
- (3) コア強度は、圧縮強度試験の2日前採取または直前採取で変化させても大きな影響は見られなかった。
- (4) コア強度の変動係数は、2日前採取しコア供試体の含水状態を安定させると、直前採取したコア供試体に比べて小さくなる傾向を示した。また、この差は小試験体を気中養生した方が標準養生に比べて大きかった。

本研究は、小試験体においてコア採取の前後の養生条件の影響を検討した。今後は、小試験体よりも強度のば



a. 小試験体：標準養生



b. 小試験体：気中養生

図ー7 コア強度とコア強度の変動係数の関係

表ー5 本実験におけるコア採取の前後の養生条件がコア強度、変動係数および見掛け密度に及ぼす傾向

検討項目	小試験体の養生方法	
	標準養生	気中養生
コア強度	・2日前採取の方が直前採取に比べて1%程度大きくなる傾向	・2日前採取の方が直前採取に比べて2%程度大きくなる傾向
コア強度の変動係数	・直前採取の方が2日前採取に比べて4%程度大きくなる傾向	・直前採取の方が2日前採取に比べて18%程度大きくなる傾向 ・標準養生の場合より、コア採取後の養生方法の影響が大きくなる傾向
見掛け密度	・直前採取と2日前採取がほぼ同等の傾向	・直前採取と2日前採取がほぼ同等の傾向

らつきが大きくなることが考えられる実大部材での検討や養生方法の要因を増やして検討していく予定である。

謝辞

本実験を行うにあたり日本大学およびものつくり大学の学生に多大なご協力を頂きました。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) JIS A 1107 : 2012 「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」
- 2) 尾上幸造, 松下博通, 鶴田浩章, 若林幹夫 : セメント硬化体の圧縮強度に及ぼす内部液体の表面張力の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1,

pp.355-360, 2005

- 3) 松井嘉孝, 笠井芳夫, 横山清 : コンクリートの打込み方向と強度との関係について, 日本建築学会論文報告集, 第 103 号, p.16, 1964.10
- 4) 十代田知三 : 力学的性質にみられるコンクリートの異方性, コンクリートジャーナル . Vol. 10 , No. 10 pp. 1-12, 1972.10
- 5) 榊田佳寛, 須藤栄治, 阿部道彦, 友澤史紀 : 高強度コンクリートを用いた部材における構造体コンクリート強度の評価に関する実験, 日本建築学会構造系論文集, 第 473 号, pp.11-18, 1995.7
- 6) 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, 戸田建設技術開発センター研究報告昭和 58 年増刊号, 1983.7
- 7) 大木崇輔, 中田善久, 大塚秀三, 毛見虎雄 : コア採取位置および採取方法の違いが高強度コンクリートのコア強度に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, 2008.6
- 8) 湯浅昇, 笠井芳夫, 松井勇 : 乾燥を受けたコンクリート表層から内部にわたる含水率, 細孔構造の不均質性, 日本建築学会構造系論文集, 第 509 号, pp.9-16, 1998.7
- 9) N. Petersons : Recommendations for estimation of quality of concrete in finished structures, Materiaux et Construction, Volume 4, Issue 6, pp 379-397, 1971