

既存構造物の構造体コンクリート強度調査法 「ソフトコアリング」の適用範囲の拡大 －軽量コンクリートおよび高強度コンクリートへの適用－

杉 山 英 祐 江 口 清
中 込 昭

要 旨

これまでに筆者らが開発し、報告してきた直径20mm程度の小径コアによる構造体コンクリート強度推定法「ソフトコアリング」の適用範囲は「実強度60N/mm²以下の普通コンクリート」である。そこで、今後調査等の需要が高まると思われる軽量コンクリートおよび実強度60N/mm²を超える高強度コンクリートへの適用範囲拡大を目的とする検討を行った。構造体を模擬したブロック試験体から小径コアおよびφ100mmコアを採取し圧縮強度試験を行い、それぞれのコンクリートにおけるφ100mmコア強度（構造体コンクリート強度）と小径コア強度の関係を調べ、軽量コンクリートの場合、強度推定式は従来の供試体直径d、供試体高さhと供試体直径dの比h/dの2要因で設定でき、高強度コンクリートの場合、前記2要因以外にコア強度レベルによる影響を受けることがわかった。

キーワード 小径コア／φ100mmコア／軽量コンクリート／高強度コンクリート／圧縮強度／推定式
構造体コンクリート

目 次

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| 1. はじめに | 5. 実験結果および考察（高強度コンクリート） |
| 2. 実験概要（軽量コンクリート） | 6. まとめ |
| 3. 実験結果および考察（軽量コンクリート） | 7. おわりに |
| 4. 実験概要（高強度コンクリート） | |

THE APPLICATION OF SOFTCORING TO LIGHT-WEIGHT CONCRETE AND HIGH-STRENGTH CONCRETE

Eisuke SUGIYAMA Kiyoshi EGUCHI
Akira NAKAGOME

Synopsis:

Soft Coring: the method, that the authors have developed and reported, to estimate strength of concrete in existing structures by small size cores can be applied to estimate strength of only normal concrete of which strength are lower than 60N/mm².

Then application of Soft Coring to light-weight concrete and high-strength concrete was investigated. In order to check the relations, in each concrete, between the strength of 100mm cores and of small size cores, each cores were drilled from concrete blocks imitated structures and compression tests were done.

Results of the tests, it became clear that, in the case of light-weight concrete, the equations to estimate are composed by 2 factors as before: diameter and height-diameter ratio, and, in the case of high-strength concrete, the equations to estimate are influenced by the strength level in addition to the above-mentioned 2 factors.

1. はじめに

これまでに著者らは、直径 20mm 程度の小径コアによる構造体コンクリート強度推定法（以下「小径コア法」と略称する）「ソフトコアリング」を開発し、報告してきた¹⁾が、現状の小径コア法の適用範囲は「実強度 60N/mm² 以下の普通コンクリート」であり、今後調査等の需要が高まると思われる軽量コンクリートおよび実強度 60N/mm² を超える高強度コンクリートについては適用範囲外となっている。

本報では、小径コア法の適用範囲を軽量コンクリートおよび実強度 60N/mm² を超える高強度コンクリートへ拡大するため、構造体を模擬したブロック試験体から小径コアおよびφ100mm コアを採取し圧縮強度試験を行い、それぞれのコンクリートにおけるφ100mm コア強度（構造体コンクリート強度）と小径コア強度の関係を検討した結果を述べる。

2. 実験概要（軽量コンクリート）

2.1 因子と水準

表-1 に因子と水準を示す。実験は参考値とした水準 B3 を除いて、繰返し数 2 の要因実験であり、得られた圧縮強度の試験値について分散分析を行い、要因効果について検討した。

2.2 使用材料および調査

表-2 に使用材料を、表-3 に調査をそれぞれ示す。細骨材には、砕砂と山砂の混合砂と人工軽量骨材 2 銘柄の計 3 種類を用いた。粗骨材には、人工軽量骨材 2 銘柄を用いたが、造粒型と非造粒型の混合品である T 社製品を古い構造物に使用されている人工軽量粗骨材とみなし、造粒型の M 社製品の試験結果は参考値とした。

2.3 試験体

図-1 に試験体の概要を示す。試験体はコンクリートの打込み終了後 11 週間湿潤養生を行った後に型枠を脱型し、その後は気中養生した。材齢 13 週以降に、φ100mm コアと小径コアを採取した。

2.4 コア採取および成形

コア採取には 3 種類の呼び径の湿式ダイヤモンドコアビットを用いた。採取後の小径コアの直径は 17.7mm、23.7mm および 25.7mm の 3 種類である。採取時のドリル回転数は 3900rpm とした。φ100mm コアは h/d が 2.0 となるよう両端面を機械式研磨によって仕上げた。小径コアは h/d が 1.5 および 2.0 の 2 種類となるよう成形した。小径コアの成形は、ダイヤモンドカッタを用いて所定の長さに切断し、硫黄キャッピングにて端面処理を行った。

2.5 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、材齢 13 週から 15 週の間にかけて行った。試験は 0.25N/mm² /s の荷重制御とし、最大容量 2000kN の万能型試験機を用いた。なお、小径コアの圧縮試験には、JIS R 5201 の強さ試験で用いる 40×40mm の載荷用球座を用い、荷重を容量 50kN のロードセルで測定した。

表-1 因子と水準

因子	水準
A:水セメント比	A ₁ :40%, A ₂ :50%, A ₃ :65%, A ₄ :85%, A ₅ :120%
B:骨材種類(表 2 参照)	B ₁ :S1+S2+G1, B ₂ :S3+G1,(B ₃ :S4+G2)
C:供試体の直径	C ₁ :17.7mm, C ₂ :23.7mm, C ₃ :φ25.7mm
D:供試体の直径と高さの比 h/d	D ₁ :h/d=1.5 (1.5), D ₂ :h/d=2.0 (2.1) *
E:小径コア採取高さ	E ₁ :上部, E ₂ :下部

* () 内は実測値

表-2 使用材料

区分	記号	種類・銘柄	品質・特徴
セメント	C	N 社製普通ポルトランドセメント	密度 3.16g/cm ³ , 比表面積 3,250cm ² /g
細骨材	S1	青梅産砕砂	表乾密度 2.65g/cm ³ , 吸水率 1.99%
	S2	香取郡産山砂	表乾密度 2.59g/cm ³ , 吸水率 1.89%
	S3	T 社製人工軽量細骨材	絶乾密度 1.66g/cm ³ , 吸水率 13.1%
	S4	M 社製人工軽量細骨材	絶乾密度 1.64g/cm ³ , 吸水率 14.5%
粗骨材	G1	T 社製人工軽量粗骨材	絶乾密度 1.26g/cm ³ , 吸水率 28.0%
	G2	M 社製人工軽量粗骨材	絶乾密度 1.31g/cm ³ , 吸水率 26.5%
混和剤	AE	N 社製 AE 減水剤	リグニンスルホン酸化合物

表-3 調査

No.	W/C (%)	単位量(kg/m ³)								AE (C×%)	試験結果	
		C	W	S1	S2	S3	S4	G1	G2		スランプ (cm)	空気量 (%)
1	40	463	185	471	197	-	-	460	-	1.00	16.5	4.5
2		463	185	-	-	421	-	460	-	1.00	19.5	5.7
3		370	185	537	225	-	-	452	-	1.00	17.5	5.3
4		360	180	-	-	494	-	452	-	1.00	19.5	6.2
5	50	350	175	-	-	-	502	-	470	1.00	20.5	4.1
6		277	180	601	252	-	-	452	-	1.00	12.5	3.8
7		269	175	-	-	529	-	468	-	1.00	9.0	5.9
8		212	180	592	248	-	-	484	-	1.00	9.5	3.2
9	85	212	180	-	-	508	-	500	-	1.00	8.5	5.6
10		194	165	-	-	-	557	-	503	1.00	7.5	5.5
11		154	185	664	278	-	-	452	-	1.00	4.0	2.3
12		154	185	-	-	573	-	468	-	1.00	2.5	5.4

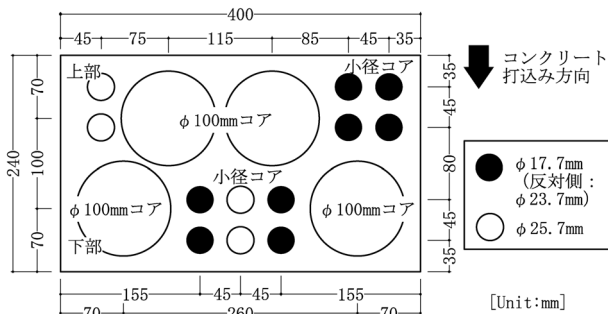


図-1 試験体の概要

3. 実験結果および考察（軽量コンクリート）

3.1 φ100mm コアの圧縮強度

図-2 にφ100mm コア強度とセメント水比 C/W の関係を示す。φ100mm コア強度は、7.18N/mm² から 57.7N/mm² の範囲にあり、圧縮強度の全平均は 33.3N/mm² であった。

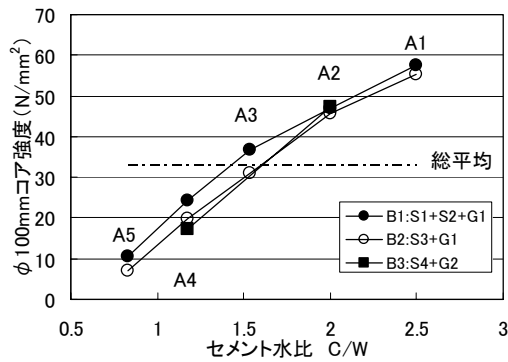


図-2 $\phi 100\text{mm}$ コア強度とセメント水比 C/W の関係

3.2 小径コア強度と $\phi 100\text{mm}$ コア強度の関係

図-3 に小径コア強度と $\phi 100\text{mm}$ コア強度の関係を小径コアの直径ごとに示す。 $\phi 100\text{mm}$ コアの強度レベルや骨材の種類にかかわらず、両者の強度差はほぼ一定である。よって、 $10\sim 60\text{N/mm}^2$ の範囲において、両者の強度差から $\phi 100\text{mm}$ コア強度が推定可能と考えられる。

表-4 に小径コアと $\phi 100\text{mm}$ コアの圧縮強度差についての分散分析結果を示す。因子 D: h/d が高度に有意であり、小径コアの直径や粗骨材種類などのその他の因子に関しては有意でなかった。

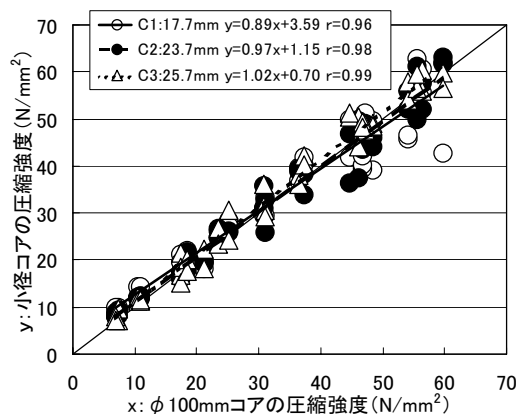


図-3 小径コア強度と $\phi 100\text{mm}$ コア強度の関係

3.3 小径コアによる構造体コンクリート強度推定

図-4 に小径コアと $\phi 100\text{mm}$ コアの強度差の母平均の推定値と小径コアの直径の関係を示す。図-5 に強度差の母標準偏差の推定値と小径コアの直径の関係を示す。両図から、強度差の母平均の推定値は小径コアの直径にかかわらずほぼ一定であるが、強度差の母標準偏差の推定値（強度差の母標準偏差の推定値 $\hat{\sigma}_h$ および試験誤差の母標準偏差の推定値 $\hat{\sigma}_m$ ）は、直径が小さくなるとともに大きくなるのがわかる。すなわち、本実験の範囲では、小径コアの直径が小さくなるにつれて試験値のばらつきが大きくなるといえる。現状の普通コンクリートのばらつきと比較すると $\phi 25.7\text{mm}$ で同程度、 $\phi 17.7\text{mm}$ 、 $\phi 23.7\text{mm}$ ではやや大きいため、小径コアの直径に応じて推定式や

採取本数を設定することで、精度を確保する必要がある。

表-4 圧縮強度差についての分散分析結果

	平方和 S	自由度 f	Ve	F0	検定 結果	寄与率
CF	104.63					
ST	4797.35					
A	135.41	4	33.853	1.873		1.3
B	64.32	1	64.322	3.558		1.0
C	72.32	2	36.161	2		0.8
D	263.17	1	263.169	14.559	**	5.1
E	57.52	1	57.517	3.182		0.8
A×B	35.16	4	8.789	0.486		-0.8
A×C	242.75	8	30.344	1.679		2.0
A×D	45.03	4	11.259	0.623		-0.6
A×E	127.28	4	31.82	1.76		1.1
B×C	31.35	2	15.675	0.867		-0.1
B×D	15.05	1	15.047	0.832		-0.1
B×E	14.15	1	14.147	0.783		-0.1
C×D	5.14	2	2.572	0.142		-0.6
C×E	54.79	2	27.397	1.516		0.4
D×E	0.6	1	0.603	0.033		-0.4
e	3633.3	201	18.076			90.1
e'	522	29	18			
計	4797.35	239				100.0

因子

A: W/C

D: h/d

B: 骨材種類

E: 採取位置

C: コア径

*: 5%有意

**: 1%有意

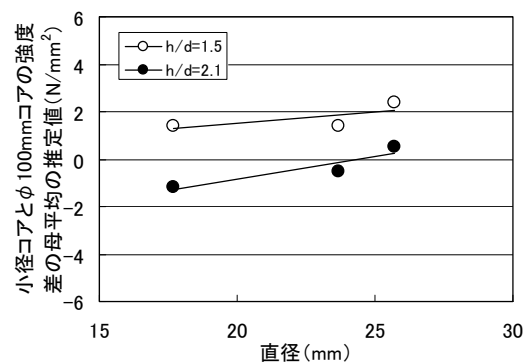


図-4 強度差の母平均の推定値と直径の関係

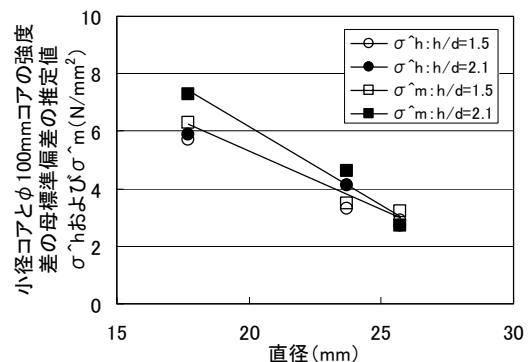


図-5 強度差の母標準偏差の推定値と直径の関係

図-6 に小径コアとφ100mm コアの強度差の母平均の推定値と h/d の関係を示す。h/d が大きくなるとともに小径コアとφ100mm コアの強度差が小さくなる。前述した分散分析の結果もふまえて、図中の回帰式である小径コアの h/d の関数によって、構造体コンクリート強度が推定可能といえる。

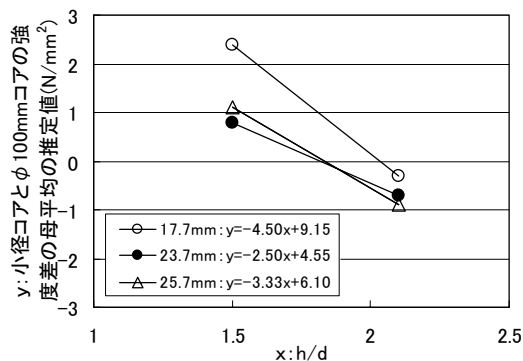


図-6 強度差の母平均の推定値と h/d の関係

以上のことから、小径コア強度によるφ100mm コア強度の推定式を求めると以下の通りとなる。

[φ17.7mm コア] $X = x - (9.15 - 4.50h/d)$ [1]

[φ23.7mm コア] $X = x - (4.55 - 2.50h/d)$ [2]

[φ25.7mm コア] $X = x - (6.10 - 3.33h/d)$ [3]

ここに、

X: φ100 コア強度の推定値(N/mm²)

x: 小径コアの強度(N/mm²)

h/d: 小径コア供試体の高さ h と直径 d の比

また、小径コアの h/d が 2.0 であれば、小径コア強度はφ100mm コア強度よりもやや低いことから、h/d=2.0 の小径コアの実強度を用いればφ100mm コアの強度を安全側に推定できるといえる。

4. 実験概要（高強度コンクリート）

4.1 因子と水準

表-5 に因子と水準を示す。水結合材比は、実強度が 60～120N/mm² 程度の高強度コンクリートを想定し、20～40%とした。50%は比較用である。

4.2 使用材料および調合

表-6 に使用材料を、表-7 に調合をそれぞれ示す。セメントは、W/B=20～30%では高強度コンクリートで一般に使用されている低熱ポルトランドセメントを使用し、W/B=40,50%には普通ポルトランドセメントを使用した。

4.3 試験体

図-7 に試験体の概要を示す。コアを採取するブロック試験体として、350mm×400mm×250mm の試験体を各水

結合材比ごとに 1 体ずつ作成した。コンクリート打込み終了後 10 週間湿潤養生を行った後に型枠を脱型し、その後は気中養生した。

表-5 因子と水準

因子	水準
A:水結合材比	A1:20,A2:25,A3:30,A4:40,A5:50(%)
B:供試体の直径	B1:20.6,B2:23.8,B3:27.6,B4:100(mm)
C:供試体の高さと直径の比 h/d	C1:h/d=1.5 (1.6) (小径のみ), C2:h/d=2.0 (2.1) *

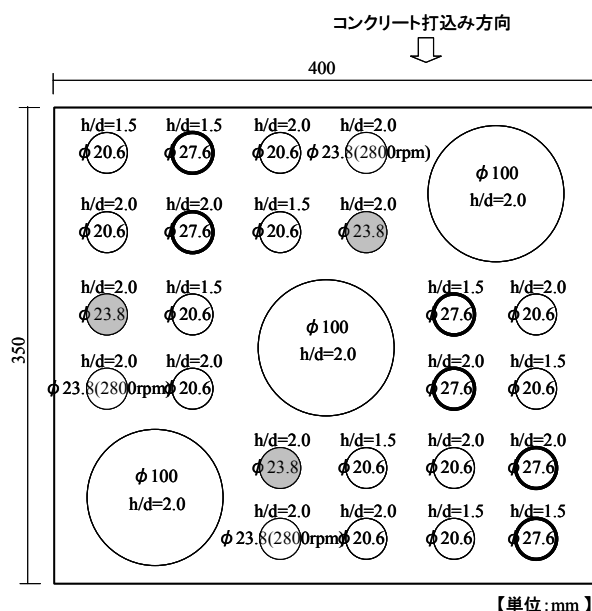
* () 内は実測値

表-6 使用材料

区分	記号	種類・銘柄	品質・特徴
セメント	NC	T 社製普通ポルトランドセメント	密度 3.16g/cm ³
	LC	T 社製低熱ポルトランドセメント	密度 3.22g/cm ³
混和材	CSF	E 社製シリカヒューム	密度 2.20g/cm ³ 比表面積 200000cm ² /g
細骨材	S1	千葉県佐原産陸砂	表乾密度 2.57g/cm ³
	S2	栃木県田沼産砕砂	表乾密度 2.62g/cm ³
粗骨材	G	埼玉県両神産砕石	表乾密度 2.72g/cm ³
混和剤	AE	N 社製 AE 減水剤	リグニンスルホン酸化合物
	HAE	N 社製高性能 AE 減水剤	ポリカルボン酸化合物

表-7 調合

No.	W/B (%)	単位量(kg/m ³)							HAE (AE) (C×%)	試験結果	
		W	NC	LC	CSF	S1	S2	G		スラングフロー (スラング) (cm)	空気量 (%)
1	50	180	360	—	—	227	541	996	(1.00)	(17.5)	5.6
2	40	165	413	—	—	237	565	996	1.60	41.0x40.5	2.4
3	30	165	—	550	—	230	547	913	1.55	66.0x65.5	1.4
4	25	160	—	576	64	217	515	913	1.45	53.0x51.0	1.7
5	20	160	—	720	80	177	420	913	1.55	63.5x62.5	1.0



* 反対側の側面のφ20.6mm供試体採取位置でφ23.8mmのコアを採取する。φ23.8mm、φ27.6mmは同じ位置で採取する。

図-7 試験体の概要

4.4 コア採取および成形

図-7 に示す位置で、コンクリートの打込み方向に直交する方向にコアを採取した。小径コアの抜き取り長さは10cmとし、奥側の部分を供試体として使用した。なお、コアの採取は材齢15週に行った。採取後の小径コアの直径は20.6mm, 23.8mm, 27.6mmであった。

φ100mm コアは h/d が2.0となるよう両端面を機械式研磨によって仕上げた。小径コアは h/d が1.5および2.0となるように切断し、硫黄キャッピングにて端面処理を行った。

4.5 圧縮強度試験

小径コアの圧縮強度試験は、 $0.25\text{N/mm}^2/\text{s}$ の荷重制御とし、最大容量500kNの万能型試験機を用いて行った。φ100mm コアの圧縮強度試験はJIS A 1108に準拠した。

5. 実験結果および考察（高強度コンクリート）

5.1 φ100mm コアの圧縮強度

図-8 にφ100mm コア強度と結合材水比 B/W の関係を示す。φ100mm コア強度は3本の平均値とし、 $46.3 \sim 144\text{N/mm}^2$ の範囲であり、標準偏差は $0.76 \sim 5.54\text{N/mm}^2$ の範囲であった。

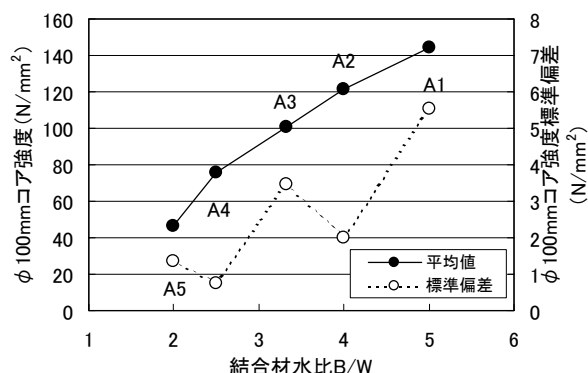


図-8 φ100mm コア強度と結合材水比 B/W の関係

5.2 小径コア強度とφ100mm コア強度の関係

図-9 に小径コア強度とφ100mm コア強度の関係を示す。φ100mm コア強度が 60N/mm^2 を超える領域では、小径コア強度はφ100mm コア強度より低く、その差はφ100mm コア強度が高くなるにつれて、大きくなる傾向にあった。また、小径コア強度のばらつきに関しては、φ100mm コア強度が高くなるにつれて、小径コアの直径が小さくなるにつれて大きくなる傾向がみられた。

回帰式の寄与率は最小値0.66から最大値0.94の範囲にあり、小径コア強度とφ100mm コア強度の相関は高い。

表-8 に小径コアとφ100mm コアの圧縮強度差についての分散分析結果を示す。A: W/B , B: コアの直径, $A \times C: W/B \times h/d$ の3因子が高度に有意であった。

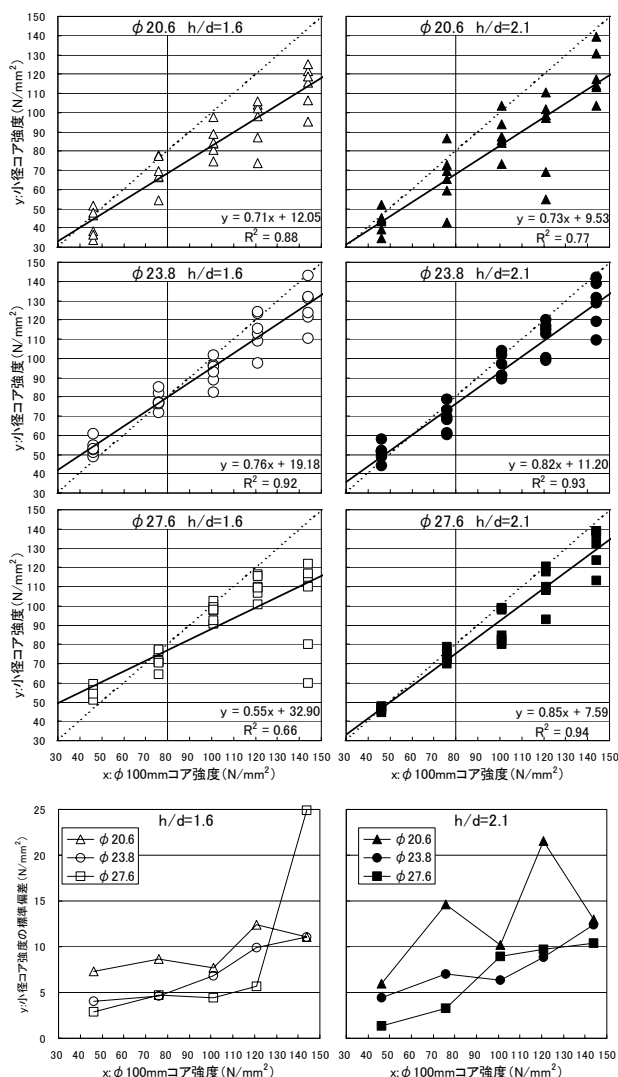


図-9 小径コア強度とφ100mm コア強度の関係

表-8 圧縮強度差についての分散分析結果

	平方和 S	自由度 f	Ve	F0	検定 結果	寄与率
CF	19885.57	1				
ST	39512.92	179				
A	15006.58	4	3751.644	34.426	**	36.9
B	3744.04	2	1872.020	17.178	**	8.9
C	10.65	1	10.655	0.098		-0.2
A×B	1596.48	8	199.560	1.831		1.8
A×C	1676.36	4	419.090	3.846	**	3.1
B×C	260.63	2	130.313	1.196		0.1
e	17218.18	158	108.976			49.4
計	39512.92	179				100.0

因子

A: W/B B: コアの直径 C: h/d

*: 5%有意

**: 1%有意

5.3 小径コアによる構造体コンクリート強度推定

実強度 60N/mm^2 以下における小径コア強度とφ100mm コア強度の関係は線形で、回帰直線の勾配はほぼ1であり、両者の強度差はコア強度レベルによらずほぼ一定であった¹⁾。そのため、強度推定式は供試体直径 d と、供試体の高さ h と直径 d の比 h/d の2要因で構成された。

一方、 60N/mm^2 を超える高強度コンクリートの領域で

は、小径コア強度と $\phi 100\text{mm}$ コア強度の関係は線形であるが、回帰直線の勾配は 0.55～0.85 程度であり、分散分析の結果からも、強度差はコア強度レベルの影響を受けることがわかった。

以上のことから実強度 60N/mm^2 を超える高強度コンクリートの強度推定式は、載荷方法を固定した場合、従来の供試体直径、供試体の高さ h と直径 d の比 h/d の 2 要因にコア強度レベルによる要因を加えればよいこととなる。また、実強度 80N/mm^2 程度までの範囲では、 h/d を 2.0 程度とすれば、従来の実強度 60N/mm^2 以下の強度推定式を用いても、ほぼ同程度の精度で安全側に推定できるといえる。但し、 $\phi 20.6\text{mm}$ 小径コアでは安全側ではあるが精度は低い。

6. まとめ

6.1 軽量コンクリート

本実験から得られた知見を以下に示す。

- 1) 小径コアと $\phi 100\text{mm}$ コアの強度差は、強度レベルや骨材の種類にかかわらずほぼ一定である。
- 2) 小径コアと $\phi 100\text{mm}$ コアの強度差は、小径コアの高さと直径の比 h/d が高度に有意であり、その他の因子については統計的に有意でない。
- 3) 小径コアの直径が小さいほど、圧縮強度の試験値のばらつきが大きい。
- 4) 強度推定式は普通コンクリートの場合と同様に供試体直径 d 、供試体高さ h と供試体直径 d の比 h/d の 2 要因で設定できる。
- 5) $h/d=2.0$ の小径コアの実強度によって、 $\phi 100\text{mm}$ コアの強度を安全側に推定できる。

6.2 高強度コンクリート

本実験から得られた知見を以下に示す。

- 1) 圧縮強度が $60\sim 140\text{N/mm}^2$ の高強度コンクリートから採取した小径コア強度は $\phi 100\text{mm}$ コア強度より低い。
- 2) 圧縮強度が高いほど、小径コア強度のばらつきが大きくなる。
- 3) 小径コア強度と $\phi 100\text{mm}$ コア強度の関係は線形で、回帰直線の勾配は 0.55～0.85 程度であるため、高強度コンクリートの強度推定式は、従来の供試体直径、 h/d の 2 要因にコア強度レベルによる要因を加えればよい。
- 4) 実強度 80N/mm^2 程度までの範囲では、 h/d を 2.0 程度とすれば、従来の実強度 60N/mm^2 以下の強度推定式を用いても、ほぼ同程度の精度で安全側に推定できるといえる。但し、 $\phi 20.6\text{mm}$ 小径コアでは安全側ではあるが精度は低い。

7. おわりに

構造体コンクリート強度が 60N/mm^2 を超えて高くなるにつれて、小径コア強度は $\phi 100\text{mm}$ コア強度より低くなり、ばらつきは大きくなる。また、これらの傾向は小径コアの直径が小さいほど顕著となる。今後の課題として、これらのメカニズムを検討し強度推定法に反映させること、また、実構造物による推定精度の検証を行うこと等があげられる。

本報は、(株)錢高組、日本国土開発(株)、当社が共同研究として実施した実験・検討結果をとりまとめたものである。

参考文献

- 1) 篠崎公彦，中込昭，江口清：既存構造物の構造体コンクリート強度調査法「ソフトコアリング」の開発，前田建設技術研究所報 Vol.41,pp.85-92,2000.9
- 2) 寺田謙一，谷川恭雄，江口清，中込昭，佐原晴也，若林信太郎：小径コアによる構造体コンクリート強度の推定法に関する研究(その1～その5),日本建築学会大会学術講演梗概集,A-1,pp.847-856,2000.9
- 3) 若林信太郎，谷川恭雄，中込昭，佐原晴也，寺田謙一：小径コアによる高強度コンクリートの圧縮強度の推定に関する実験的検討,日本建築学会学術講演梗概集,A-1,pp.795-796,1998