

# 供試体の大きさとコンクリートの圧縮強度

加賀美一二三\*・長谷川 博\*・兼行 啓治\*\*

Effect of Cylindrical Specimen Size on Compressive Strength of Concrete

Hifumi KAGAMI, Hiroshi HASEGAWA and Keiji KANEYUKI

## Abstract

Some studies with relationships between size of specimen and compressive strength have been made in previous reports but the authors executed the experiments for practical use as to small specimen compared with standard one in order to admistrated efficiency of field concrete.

It is a paper that the useful posibility of small specimen proved in results of their research.

## 1. 緒 言

プレストレストコンクリート, 人工軽量骨材コンクリートなどでは圧縮強度試験を  $\phi 10 \times 20$ cm 供試体で実施している例もあるが, 一般現場の品質管理は標準供試体によって行なわれていることが多い。

小型供試体を採用できれば製作, 養生, 試験にいたるすべての作業がきわめて能率的であるので, この実際化の根拠を立証するために, 配合, 養生方法, 材令の関係から標準供試体と比較して, 小型供試体使用の可否を検討したものである。

## 2. 使用材料

### 2.1 セメント

宇部興産 普通ポルトランドセメント比重, 3.15

### 2.2 骨 材

細骨材は北九州市若松産, 粗骨材は山口県山陽町産の碎石で, おらかじめ 5~15, 15~25, 25~40の各群

にふるい分け, それぞれ等量あて混合して用いた。細粗骨材の性質は Table 1 に示すとおりである。

Table 1 Properties of aggregate

Each term of experiment Kinds of aggregate	Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	% of absolute volume	Fineness modulus	Organic impurities
Fine aggregate	2.58	1.01	1650	64.0	2.14	Good
Coarse aggregate	2.66	0.90	1640	61.5	7.54	—

## 3. 実験内容

### 3.1 コンクリートの配合

一般コンクリート強度の範囲で配合強度を4種定めセメント量を変化させた。コンシステンシーは供試体製作作業に対して直接影響することが考えられるので

Table 2 Design of concrete proportion

Kinds of concrete	Max. size of coarse aggregate	Slump (cm)	w/c (%)	s/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )			
					W	C	S	G
A	40	3.1, 4.1	78	39	170	219	747	1219
B	40	6.1, 3.8	68	37	170	248	700	1244
C	40	3.6, 3.8	61	37	166	271	697	1237
D	40	6.0, 6.4	50	33	170	338	600	1271

\* 工業短期大学部土木工学科 \*\* 工学部土木工学科

スランプ 5 cm を目標とした。

その結果を示すと、Table 2 のとおりである。

3.2 供試体の製作

コンクリートは手練りで十分に練り、出来上がったコンクリートをウェットスクリーニングして、粗骨材の最大寸法が40mm, 25mm, 10mmとなるように分け、コンクリートの打込みは Table 3 に示す基準によっ

て行ない。粗骨材の最大寸法、締固め程度の影響が入らないように、各供試体の相似率をほぼ等しくなるようにした。

打込後24時間を経て脱型し、温度 25°C、湿度75%の恒温恒湿室で、水中養生と空中養生（室内静置）の2種に分け、おのおの所定の材令まで養生した。

Table 3 Main factors of specimen works

Size of specimen (cm)	Max. size of coarse aggregate (mm)	Diameter of tamping rod (mm)	Tamping number	No. of compaction layers
φ15×30	40	16	25	3
φ10×20	25	13	20	3
φ 5×10	10	9	15	3

供試体の種別は、配合 (A, B, C, D)、養生方法 (水中、空中) および材令 (3, 7, 28) をかえることにより24種類とした。

3.3 圧縮強度試験

圧縮強度試験用供試体は3本とし、試験要項は、

JIS A 1108 によって実施したもので、φ15 および φ10 供試体は、そのうち2本をダイヤルゲージ (1/100) で圧縮ひずみを測定しヤング係数を算定した。

圧縮ひずみの標点距離は、φ15 および φ10 供試体とも両端から 5cm あてのぞいた中央部の長さとした。

Table 4 Test results of compressive strength

Ages	Kinds of concrete	Water curing			Air curing		
		φ 15	φ 10	φ 5	φ 15	φ 10	φ 5
3	A	58.9	69.6	67.9	61.1	70.0	73.0
	B	79.2	76.8	91.7	81.5	87.0	90.0
	C	84.5	89.5	84.9	119	114	107
	D	137	139	151	131	130	150
7	A	94.7	112	112	96.7	98.0	86.6
	B	127	135	148	117	128	119
	C	152	153	148	165	138	129
	D	240	234	297	207	161	209
28	A	168	179	178	127	117	107
	B	207	225	222	161	150	132
	C	222	257	239	205	176	145
	D	350	326	380	252	241	221

Temperature ~ 24°C Humidity ~ 75%

4. 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験の結果を示すと Table 4 のとおりである。この結果から φ15×30cm 供試体に対する φ10

および φ5 供試体の圧縮強度比を求めると、Table 5 のとおりである。また、Fig. 1~6 に φ15 と φ10、φ15 と φ5、φ10 と φ5 供試体の圧縮強度の関係を示した。

Table 5 Compressive strength ratio of  $\phi 5$  and  $\phi 10$  specimen/standard specimen

Ages	Kinds of concrete	Water curing				Air curing			
		$\phi 10$ specimen	Mean values	$\phi 5$ specimen	Mean values	$\phi 10$ specimen	Mean values	$\phi 5$ specimen	Mean values
3	A	1.16		1.14		1.15		1.19	
	B	0.97	1.05	1.16	1.10	1.07	1.04	1.10	1.08
	C	1.06		1.00		0.96		0.90	
	D	1.01		1.10		0.99		1.14	
7	A	1.18		1.18		1.01		0.90	
	B	1.06	1.05	1.17	1.14	1.09	0.97	1.02	0.93
	C	1.01		0.92		0.84		0.78	
	D	0.98		1.24		0.92		1.01	
28	A	1.07		1.07		0.92		0.84	
	B	1.09	1.05	1.07	1.03	0.93	0.92	0.82	0.81
	C	1.16		1.08		0.86		0.71	
	D	0.89		1.09		0.96		0.88	

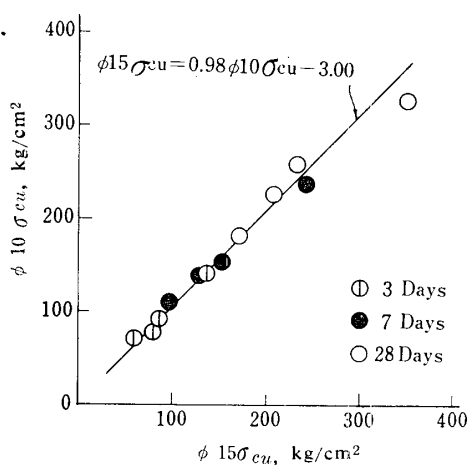


Fig. 1 Relation between  $\phi 15\sigma_{cu}$  and  $\phi 10\sigma_{cu}$   
—water curing—

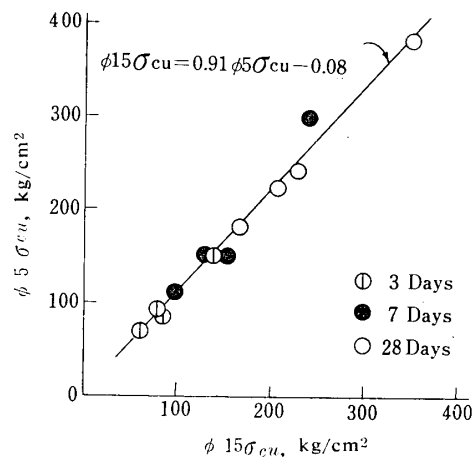


Fig. 3 Relation between  $\phi 15\sigma_{cu}$  and  $\phi 5\sigma_{cu}$   
—water curing—

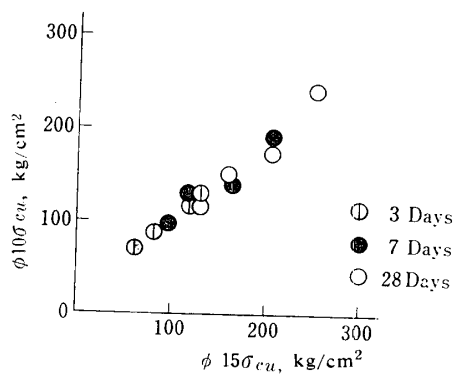


Fig. 2 Relation between  $\phi 15\sigma_{cu}$  and  $\phi 10\sigma_{cu}$   
—air curing—

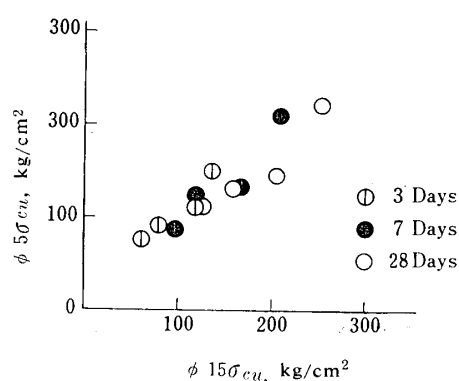


Fig. 4 Relation between  $\phi 15\sigma_{cu}$  and  $\phi 5\sigma_{cu}$   
—air curing—

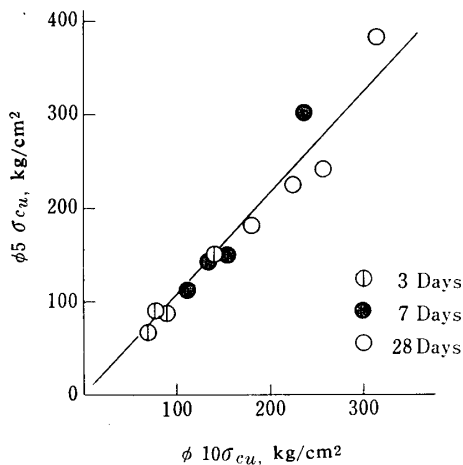


Fig. 5 Relation between  $\phi 10 \sigma_{cu}$  and  $\phi 5 \sigma_{cu}$   
—water curing—

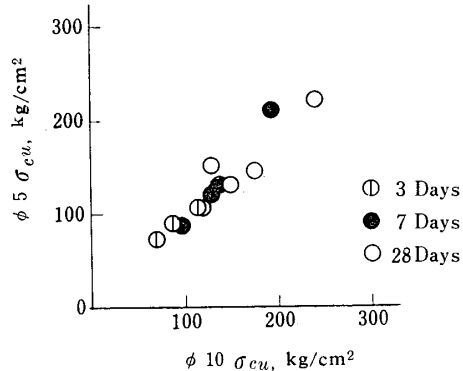


Fig. 6 Relation between  $\phi 10 \sigma_{cu}$  and  $\phi 5 \sigma_{cu}$   
—air curing—

5. 圧縮強度におよぼす諸要素の影響

本実験は各供試体寸法のコンクリートについて配合、養生方法および材令を変化して実施しているので、つぎにそれらの影響をのべる。

5.1 配合の影響

Table 5 によって配合別にみると、 $\phi 15$  供試体に対する  $\phi 10$  供試体の圧縮強度比は、単位セメント量の少ない A, B コンクリートが C, D コンクリートよりも大きくあらわれるようである。

本項に関しての既報<sup>1), 8)</sup>によれば、圧縮強度比は富配合コンクリートが大きいとされているが、それは供試体製作にあたり、ウェットスクリーニングしたこと、単位セメント量の範囲が  $220 \sim 340 \text{ kg/m}^3$  であったことなどにより異なるものと思われる。

$\phi 5$  供試体の場合は、はっきりした傾向は認められない。

5.2 養生方法および材令の影響

水中、空中養生の影響は、供試体寸法と圧縮強度の

関係にかなり異なる様相を与えるものであり、水中養生供試体の圧縮強度比は、材令とは無関係で小型供試体になるほど大きい比率を示す。実験においては、 $\phi 10$  供試体で約5%、 $\phi 5$  供試体で約10%と、はっきりした差があらわれた。空中養生供試体の圧縮強度比は、材令によって大きく支配され、また、その傾向も供試体寸法によって異なり複雑な様相を示す。Fig. 7-a によれば材令3日で  $\phi 10$ 、 $\phi 5$  両供試体とも  $\phi 15$  供試体より大きい比率を示すが、材令の進行につれて次第に減少し、その結果、材令28日においては  $\phi 10$  供試体で約8%、 $\phi 5$  供試体では約20%程度減少した。材令に伴う圧縮強度比の減少のしかたはとくに材令初期において著しく、供試体が小型になるほど大きい。

つぎに、材令28日の圧縮強度を1として、供試体の寸法が異なる場合の圧縮強度の増進率を比較してみると Fig. 7-c となり、空中養生供試体の増進率は、供試体が小型であるほど大きいこと、また材令7日になればその差が縮小されることなど前述した圧縮強度比の関係を立証しているといえる。

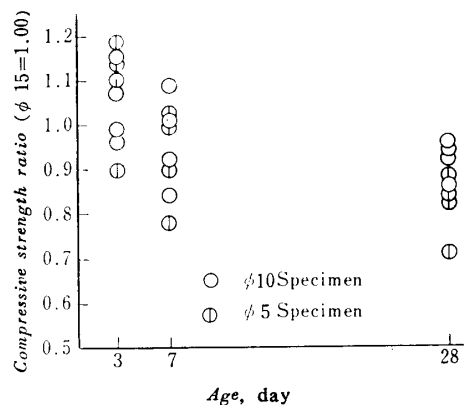


Fig. 7-a Relation between compressive strength ratio and age —air curing—

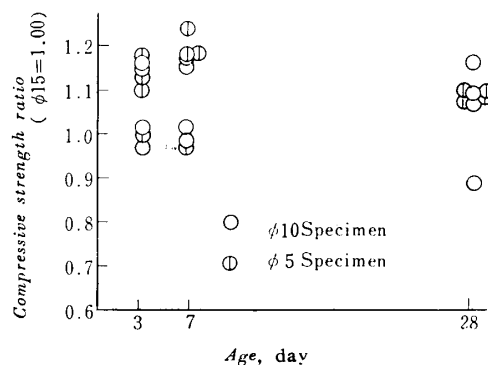


Fig. 7-b Relation between compressive strength ratio and age —water curing—

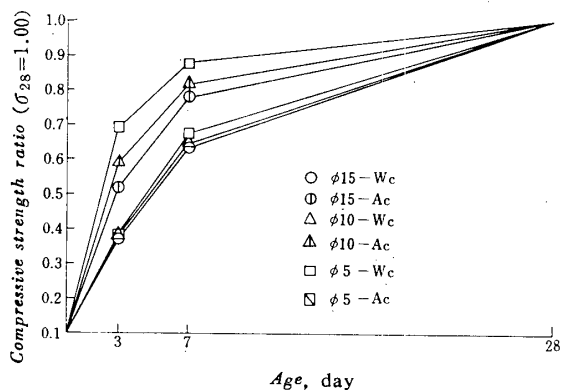


Fig. 7-c Relation between compressive strength ratio and age

(Wc : water curing Ac : air curing)

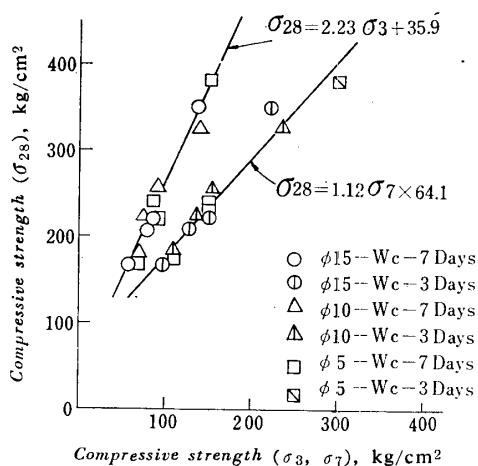


Fig. 8 Relation between compressive strength and age

(Wc : water curing Ac : air curing)

水中養生供試体は、空中養生の場合ほど明確ではないが、圧縮強度の発現性は小型供試体が大きい。水中養生の場合の各材令ごとの総平均した値を示すと、φ15、φ10およびφ5供試体の増進率は、材令3日ですべて0.378、0.382、および0.386、また材令7日では0.638、0.643、および0.674であった。

### 6. 変動係数

各種供試体の変動係数を示すと Table 6 のとおりである。本実験に用いた供試体全種別の変動係数はほぼ5%以下とみられる。

供試体寸法別に総平均した値はφ15=3.1、φ10=2.9、φ5=3.1となり、これは同程度とみることができる。つぎにグループ別平均値のなかから大きい数値を示したものを取出すと、材令3日の値が材令7日および28日の値より1%程度大きかったことと貧配合コンクリートの場合があげられ、この二つの場合とも小差であ

る。

Table 6 Coefficient of variation

Ages	Kinds of concrete	Water curing			Air curing		
		φ 15	φ 10	φ 5	φ 15	φ 10	φ 5
3	A	1.6	9.6	3.6	3.0	1.5	6.6
	B	3.0	4.9	0.0	3.6	2.5	0.0
	C	3.5	3.0	5.6	3.2	1.5	7.7
	D	2.3	0.9	4.1	3.3	4.4	4.2
7	A	1.6	3.1	0.0	6.9	1.8	4.8
	B	4.1	7.2	4.8	1.7	2.3	2.0
	C	4.3	1.1	0.0	3.2	1.0	1.9
	D	2.7	0.7	1.6	5.5	1.7	0.0
28	A	3.9	3.3	2.8	2.6	2.8	3.8
	B	3.8	2.7	4.6	1.2	3.7	3.1
	C	6.3	0.5	2.1	0.8	1.4	1.6
	D	2.7	1.0	3.4	0.7	1.3	5.9

Note : φ15 specimen=3.1

φ10 specimen=2.9

φ5 specimen=4.1

### 7. 実験結果の考察

#### 7.1 圧縮強度比について

標準供試体とφ10供試体を比較した既報の結果は、

- a) φ10供試体が0~6% (平均3%) 大きい<sup>1)</sup>
  - b) 実用上からは修正係数を考えなくてもよい<sup>4)</sup>
  - c) φ10供試体が2.5%程度小さい<sup>5)</sup>
- などとなっている。

本実験の結果では、前述のごとくφ10供試体で約5%、φ10供試体で約10%大きく、a) 項に近似した値であるといえるが、一方、相関性については Fig. 9 から本実験の場合のみ直線関係にあり、異なる傾向を示した。これは供試体直径をさらに大きくして広範囲

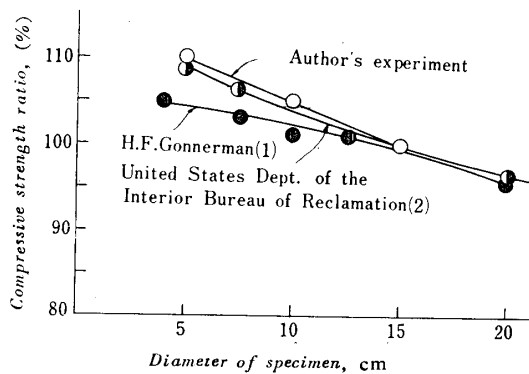


Fig. 9 Relation between compressive strength and size of specimen

の実験結果によって検討しないとはっきりしないが、一応本実験の範囲では供試体の小型化に伴ない相似性を付加したことにより直線関係があらわれたものと考えられる。

供試体が小型化するにつれて圧縮強度が大きくなる理由としては、既報<sup>2),4)</sup>のなかに周辺の影響、外皮の影響説などが提唱されており、このことは本実験においても確かめられているとおりであるが、水中養生供試体断面に対する飽和湿度の面積比は、その直径が小となるほど大きく、これが水硬効果を高める原因と思われる。飽和湿度面積比は養生条件が一定であれば、材令による変化はきわめて微弱であり、無視してもさしつかえないものようである。例えば  $\phi 10$  供試体の圧縮強度比が材令に関係なく、常に 5% 大であったこと、また Fig. 1~6 にみられるごとく寸法の異なる両供試体の関係が直線関係にあることはこの理由によるものと考えられる。

空中養生供試体は、その直径が小さくなるほど乾燥面積比が大きくなり、よって 5.5 項でのべたごとく材令の進行に伴ない圧縮強度比は低下してゆくものと考えられる。

### 7.2 小型供試体使用の可否

標準供試体から小型供試体に移行し、これを現場試験に適用する段階では、前項までにのべた圧縮強度比、圧縮強度の発現性および試験結果のばらつきに関する対比関係と同時に造形作業のしやすさなども重要なことである。

標準供試体に比較して、 $\phi 10$  供試体は型わく組立て、水洩れ防止、キャッピング作業、脱型などあらゆる面で取扱いが便利である。 $\phi 5$  供試体は  $\phi 10$  以上に軽便であるが、打込作業中の安定度がわるくキャッピングにあたっては、型わくを固定しないと移動するなど同一の試験精度を維持するためには、一段の考慮が必要である。3.2 項に供試体製作要項を示したが、試的段階であって、とくに  $\phi 5$  供試体の場合は、突き数 10、締固め層 2 程度で十分であることを確かめられた。

標準供試体と小型供試体との対比については、本実験の結果次式の関係が成立する。

$$\phi 15 \sigma_{cu} = 0.98 \phi 10 \sigma_{cu} - 3.00$$

$$\phi 15 \sigma_{cu} = 0.91 \phi 5 \sigma_{cu} - 0.08$$

小型供試体は圧縮強度が幾分大きくあらわれる結果をえたが、実験結果を総合的に検討して、小型供試体の実用性は認めることができると思われる。

### 7.3 小型供試体の早期試験について

Vol. 21 No. 1 (1970)

現場配合の決定と品質管理上からできれば早期に判断することが望ましいと思われるので、 $\phi 10$  と  $\phi 5$  供試体を含めた場合の材令の強度の関係を示すと Fig. 9 となり次の推定式となる。

$$\sigma_{28} = 1.27\sigma_7 + 64.1$$

$$\sigma_{28} = 2.23\sigma_3 + 35.9$$

上式は変動係数が同程度の水中養生供試体に基づいた結果である。

## 8. 結 言

1) 現場コンクリートの圧縮強度用供試体として、 $\phi 10$  および  $\phi 5$  供試体はともに実用的価値が認められる。実験結果の信頼度は両供試体とも標準供試体とかわらないが、現場の実状とそれに対応する安全性を付加して、現段階では  $\phi 10$  供試体によることが望ましい。

2) 小型供試体によって実験した結果は 7.2 項の実験式によって標準供試体強度に換算すればよい。空中養生においては、外的条件の影響が大きく強度の発現性が一律的でないので、本実験結果は一応の参考になるが実験式はつくらなかった。

3) 小型供試体で試験材令の短縮化をすすめるために、材令と圧縮強度の関係式に供試体寸法の影響を加えたものとした。早期試験であっても試験結果のばらつきが一概に大きいと断定できないことなどが判明した。

以上により、今後、小型供試体の利用ならびに早期試験の実施が望まれる。

終りに本研究にご協力いただいた院生、有富範伊、卒論生、篠田重信、末延 敏、原 邦彦、堀田正武、三島利男の諸君に感謝の意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) H. F. Gonnerman : Proc. of ASTM (1925)
- 2) 近藤泰夫 : マスコンクリート, 丸善 (1952) p. 32, 36, 37
- 3) 小坂義雄 : 日本建築学会研究報告, No. 35 (1955)
- 4) 杉木六郎, 柴上裕之, 藤井敏郎 : セメントコンクリート, No. 194 (1963)
- 5) 笠井 : 日本建築学会研究報告集, No. 100 (1964)
- 6) 土木学会 : コンクリート標準示方書 (1967)
- 7) 土木学会 : コンクリート標準示方書解説 (1967)
- 8) 近藤泰夫, 坂 静夫 : コンクリート工学ハンドブック, 朝倉, (1968) p276
- 9) 日本セメントコンクリート研究室 : セメント工業, No. 99 (1969)

(昭和45年4月15日受理)