

## 論文 小径コアを用いたコンクリートの圧縮強度試験方法の検討

国本 正恵<sup>\*1</sup>・湯浅 昇<sup>\*2</sup>・笠井 芳夫<sup>\*3</sup>・松井 勇<sup>\*4</sup>

**要旨：**本研究は、 $\phi 50\text{mm}$ 以下のコアを用いたコンクリートの圧縮強度試験方法を検討し、提案したものである。まず、コアの採取と供試体の作製方法を検討し、これを確立した。次に、小径コアの圧縮試験でみられる円すい破壊以外の破壊は、偏心载荷等によるものではなく、測定される強度は円すい破壊とほぼ等しいことを示した。また、一試験に供する供試体数を統計的な検討から3個と定め、小径コアの強度と $\phi 100\text{mm}$ のコアの強度との関係から両者の関係式を導き、最後に、これらの成果に基づき「小径コアを用いたコンクリートの圧縮強度試験方法」として整理し、提案した。

**キーワード：**コンクリート、小径コア、微破壊試験、圧縮強度

## 1. はじめに

既存のコンクリート構造物の圧縮強度を確認する場合、JIS A 1107に従い、 $\phi 100\text{mm}$ のコンクリートコアを採取し、これを硫黄キャッピングまたは研磨した後、圧縮強度試験を行っている。しかしながら、この $\phi 100\text{mm}$ のコアを鉄筋を切断することなく採取しようとすると、柱、はりなどの部材からの採取は様々な制約を受け、また、壁、床スラブなどから採取すると、JIS A 1108に規定する直径の2倍である $200\text{mm}$ の高さのコアの採取はほとんど不可能となる。採取するコアの直径を小さくすれば、これらの問題が改善される他、供試体の質量が小さい、耐圧試験機の秤量は小さくすむ、供試体数を増やすことが比較的容易になる、補修が容易など利点は多く、小径コアを

用いた圧縮強度試験方法の必要性が認識されている<sup>1), 2), 3)</sup>。しかし、JIS A 1132は、圧縮供試体の直径は、粗骨材の最大寸法の3倍以上かつ $100\text{mm}$ 以上と規定しているため、 $\phi 100\text{mm}$ 以下のコアを供試体として採用するには、多くの検討を必要とする。これまでに、谷川らは小径コアを用いる場合の様々な問題点について、検討を行ってきた<sup>3), 4), 5)</sup>。

本研究は、 $\phi 50\text{mm}$ 以下のコアを小径コアと定義し、谷川らの研究成果に新たな検討を加え、①コアの採取と供試体の作製方法に関する

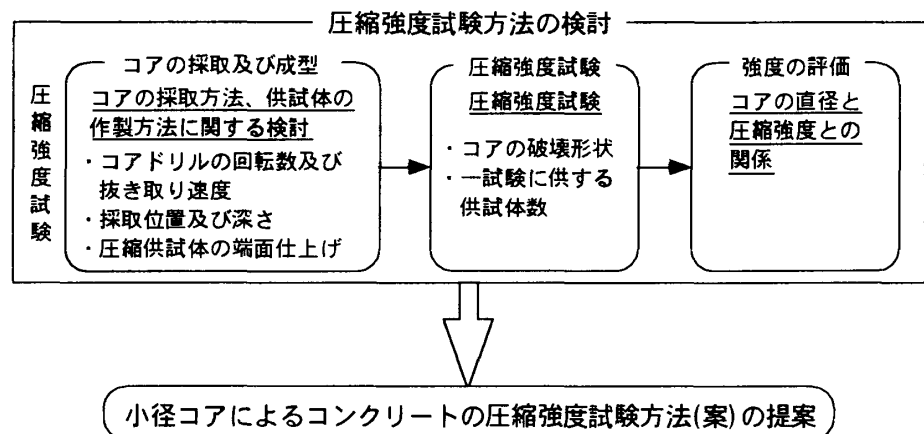


図-1 本研究の流れ

\*1 日本大学大学院生 生産工学研究科建築工学専攻 (正会員)

\*2 日本大学専任講師 生産工学部建築工学科 工博 (正会員)

\*3 日本大学名誉教授 生産工学部建築工学科 工博 (正会員)

\*4 日本大学教授 生産工学部建築工学科 工博 (正会員)

## 検討, ②圧縮試

表-1 調合表(1)及びフレッシュコンクリートの性状

| W/C<br>(%) | 粗骨材<br>最大寸法<br>(mm) | 単位水量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 質量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     | 混和剤(cc/m <sup>3</sup> ) |       |          | 練り温<br>(℃) | スランブ<br>(cm) | 空気量<br>(%) | 材齢28日<br>圧縮強度<br>(MPa) |
|------------|---------------------|------------------------------|------------------------|-----|-----|-------------------------|-------|----------|------------|--------------|------------|------------------------|
|            |                     |                              | セメント                   | 細骨材 | 粗骨材 | No.70                   | SP-8N | No.303A* |            |              |            |                        |
| 30         | 25                  | 185                          | 616                    | 545 | 969 | -                       | 6160  | 336      | 21.0       | 24.7         | 4.9        | 67.0                   |
| 40         |                     |                              | 463                    | 671 | 969 | 2315                    | -     | 2114     | 21.0       | 16.6         | 4.5        | 45.3                   |
| 60         |                     |                              | 308                    | 838 | 932 | 770                     | -     | 1729     | 20.0       | 21.7         | 4.8        | 29.9                   |
| 80         |                     |                              | 231                    | 865 | 969 | 578                     | -     | 2436     | 20.0       | 22.6         | 4.4        | 17.6                   |

係を明らかにし, \*空気量調整剤は1%希釈溶液として使用

最後に, ④「小径コアを用いたコンクリートの圧縮強度試験方法」として整理し, 提案するものである(図-1参照)。

## 2. 実験概要

本研究では, M社製普通ポルトランドセメント, 大井川水系川砂利及び川砂, 習志野市水道水, N社製AE減水剤, 高性能AE減水剤及び空気量調整剤を使用し, 表-1に示す調合により250×490×790mmの試験体を作製した。試験体は打設後直ちにビニールシートで覆い, 脱型することなく温度20℃の恒温室にて28日間封かん養生を行った。ただし, 本文3.3及び4.1では, C社製普通ポルトランドセメント, 富津産陸砂及び西茨城産砕石を使用し, 表-2に示す調合表により作製した180×490×790mmの試験体を打設後脱型することなく屋外で20週間養生したものを用いた。

試験に供した供試体数はそれぞれの水セメント比, コアの直径ごとに5個である。ただし本文3.3及び4.1では, 研磨の場合φ25mmで47個, φ33mmで52個, 硫黄キャッピングの場合φ25mmで54個, φ33mmで59個であった。

## 3. コアの採取方法, 供試体の作製方法に関する検討

コアの採取方法及び供試体の作製方法は, 基本的にJIS A 1107並びにJIS A 1132の4.4に従って行うこととする。

## 3.1 コアドリルの回転数及び抜き取り速度

小径コアを採取する際のコアドリルの回転数及び抜き取り速度については, 谷川らの研究<sup>3</sup>がある。これによると, コアドリルの回転数に

表-2 調合表(2)

| W/C<br>(%) | 粗骨材<br>最大寸法<br>(mm) | 単位水量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 質量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |     | 圧縮強度<br>(MPa) |      |
|------------|---------------------|------------------------------|------------------------|-----|-----|---------------|------|
|            |                     |                              | セメント                   | 細骨材 | 粗骨材 | 28日           | 1年   |
| 60         | 20                  | 193                          | 320                    | 833 | 943 | 26.2          | 37.4 |

ついては, 600, 1100, 1300 r.p.m. でコア採取を行った結果, 回転数が小径コアの強度に及ぼす影響は小さいことが示されている。そこで, 一般に市販されているコアドリルのほとんどが, 回転数600~1300 r.p.m. の範囲にあり, 回転数については, 試験方法の中で特に規定しなくても良いと判断した。また, 抜き取り速度について, 3, 1.5, 1cm/minとした場合, 3cm/minとすると負荷電力が大きい, 1.5cm/minと1cm/minの場合, 負荷電力は小さく, 両者の有意差は認められないとしている。そこで, 小径コアの抜き取り速度を1.5cm/minとする。

## 3.2 採取位置及び深さ

文献6)によると, コンクリートの柱, 壁の強度は, 打込み上端面から約1m以内は小さく, 高さ約1mまでは, 若干大きい。そこで, 作業のしやすさも考慮し, 小径コアの採取は, コンクリートの打込み高さが2m以上であることを前提に, 1mの位置で行うこととする。

コアの採取深さは, 必ず供試体の高さと同直径の比が2となるよう考慮し, 採取するものとする。ただし, 文献7), 8)により, コンクリートの表層(概ね50mm以内)は内部よりも若材齢時に受けた乾燥等の影響で水和が進まず, 材齢が経過しても細孔構造が粗く, 強度が低いことが分かっている。そこで, コンクリートカッターを用いて, コンクリート表面から50mm程度の部分は切断し, 破棄することとする。更に,

研磨により加圧面を平滑にする場合は研磨により減じる長さを考慮する必要がある。

### 3.3 圧縮供試体の端面仕上げ

ここでは、供試体の両端面を端面整形機にて研磨した場合と硫黄キャッピングをした場合について、実験を行い検討した。図-2に端面処理方法と圧縮強度及び標準偏差との関係を示す。 $\phi 33\text{mm}$ を硫黄キャッピングしたものは、圧縮強度が小さく、標準偏差も大きい結果となった。これは、試験者が小径コアの硫黄キャッピングを初めて行った時の結果であり、端面を供試体の軸に対して直角に保つための治具も用いていなかった。その後、治具を考案し、試験者がキャッピング作業に慣れた後は、圧縮強度、標準偏差ともに端面仕上げ方法による差は見られないことが確認された。

これらの結果からは、研磨による端面仕上げは初めから熟練を必要とせず、方法としてより相応しいように思えるが、研磨による端面仕上げは $\phi 25\text{mm}$ で11.3%， $\phi 33\text{mm}$ で11.9%の割合で、研磨作業中に粗骨材がはじき出され、供試体とすることができなかった。これは、熟練によっては解決できる問題ではなく、研磨による場合は常に予めコアの抜き取り数を多くする必要がある。

よって、これらの傾向を考慮し、端面仕上げ方法を選択する必要がある。なお、谷川らの研究<sup>4)</sup>では、硫黄キャッピングによる端面仕上げを推奨している。

JIS A 1108付属書(規定)及び2KT-205により、アンボンドキャッピングが圧縮強度試験に適用させることができるようになった。アンボンドキャッピングの

小径コアへの適用については、今後の検討としたい。

## 4. 圧縮強度試験

コアの圧縮試験方法は、基本的にJIS A 1108に従って行うこととする。

### 4.1 コアの破壊形状

破壊形状は図-3に示すように①円すい状の破壊、②モルタルと粗骨材との界面での破壊、③粗骨材の破壊を含むせん断破壊、④大きな粗骨材が中心付近にありモルタル部で圧壊の4タイプと⑤その他に分けられる。

図-4は、それらの発生率を示したものである。圧縮試験後の理想的な破壊形状とされる①円すい状の破壊は12~13%程度であり、③粗骨材の破壊を含むせん断破壊、②モルタルと粗骨材との界面での破壊は、あわせて約75%を占めている。しかしながら、図-5に示すように、①円すい状の破壊の場合に比し、②モルタ

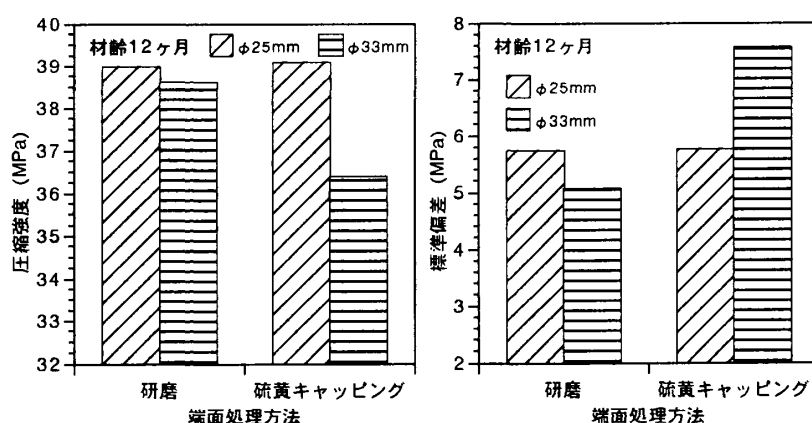


図-2 端面処理方法と圧縮強度及び標準偏差との関係



図-3 圧縮強度試験後の供試体の破壊形状

ルと粗骨材との界面での破壊、③粗骨材の破壊を含むせん断破壊、④大きな粗骨材が中心付近にありモルタル部で圧壊とも圧縮強度の差が認められず、標準偏差についても小さかった。破壊した供試体を詳しく観察すると、本来、円すい形となる破壊面の部分を粗骨材が占めていた。②モルタルと粗骨材との界面での破壊、③粗骨材の破壊を含むせん断破壊、④大きな粗骨材が中心付近にありモルタル部で圧壊は、供試体寸法に比し、粗骨材の寸法が大きいため、粗骨材に力が加わっても粗骨材で破壊せず、粗骨材にかかった力がモルタル部分に、それらの位置関係に応じて分散されたためと考えらる。このことは、若干ながらも②、③、④の破壊の方が、圧縮強度が大きかった理由としても考えられる。よって、試験は複数の供試体で行い、測定値が平均値 $\pm 2\sigma$ を超える場合のみを棄却することとした。

#### 4.2 一試験に供する供試体数

測定値の信頼度を求め、評価に必要な供試体数の検討を行った。信頼度は、次式によって算出される確率変数 $u$ により、正規分布表から求めた。

$$u \leq \frac{|\bar{x} - m|}{\sigma} \sqrt{n} \quad (1)$$

ここに、 $u$ ：確率変数、 $\bar{x}$ ：標本平均(MPa)、 $m$ ：母平均(MPa)、 $(\bar{x} - m)$ ：母平均に対する誤差(MPa)、 $\sigma$ ：母集団の標準偏差(≡標本標準偏

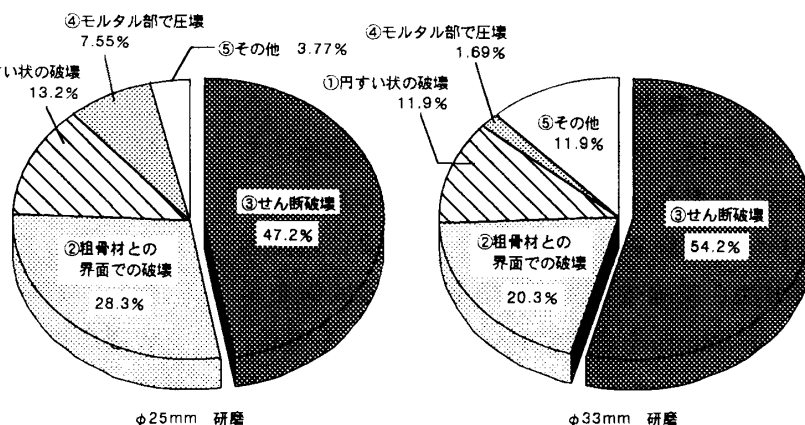


図-4 破壊形状と発生率

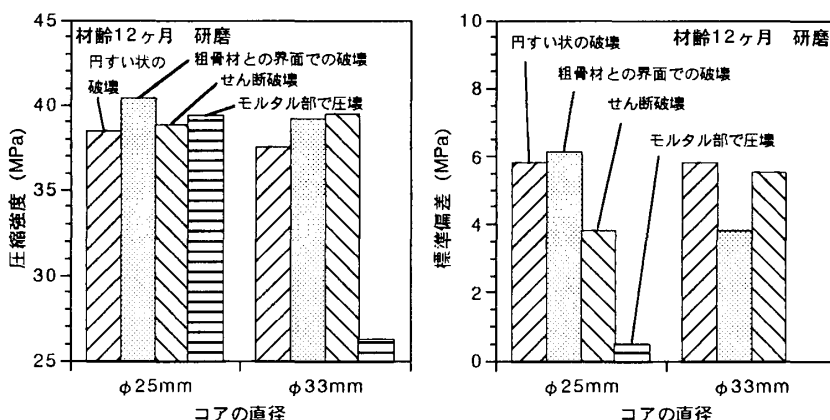


図-5 破壊形状別にみた圧縮強度及び標準偏差

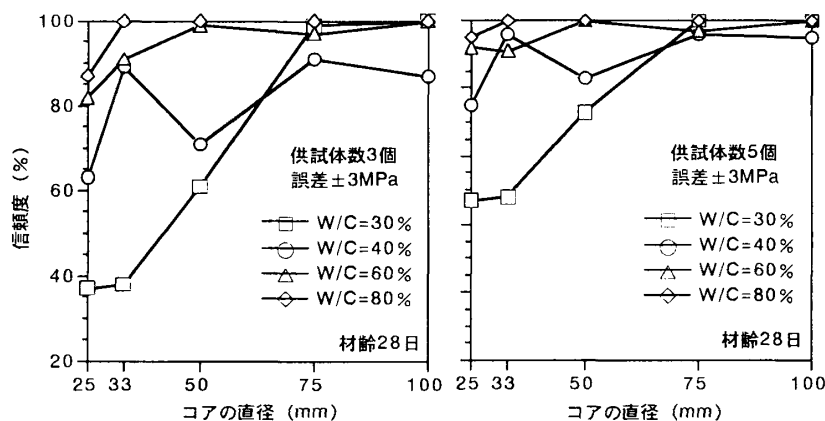


図-6 コアの直径と信頼度との関係

差)(MPa),  $n$ ：供試体数(個)

図-6に供試体数を3個、許容する誤差を $\pm 3\text{MPa}$ としたときのコアの直径と信頼度との関係を示す。水セメント比が高くなるにつれて信頼度は高くなり、水セメント比60%以上では、測定値の平均が母平均と $\pm 3\text{MPa}$ 以内にある信頼度は80%以上であった。また、供試体数を5個としたときの信頼度についても検討したが、信頼度に大幅な改善はみられなかった。よっ

て、一試験に供する供試体数は一般に3個とするが、高強度の場合には供試体数を増やすことが望ましい。

### 5. コアの直径と圧縮強度との関係

図-7に材齢28日におけるコアの直径と圧縮強度との関係を示す。コアの直径が小さいほど圧縮強度は低く水セメント比が低いほどこの傾向は顕著であったが、図-8に示すようにφ100mmのコアと小径コアの圧縮強度の関係で示すと、コアの直径別に直線関係が認め

られた。表-3は供試体の種類別にφ100mmのコアと小径コアの圧縮強度の関係式及びその相関係数を示したものである。これをもとに、小径コアの強度からφ100mmのコア強度に換算する場合に小径コアの圧縮強度に乘じる補正係数を求めると表-4の通りとなる。

しかしながら、図-2の結果及び谷川らの結果<sup>3,5</sup>では、コア直径が小さいほど、圧縮強度は大きく、本結果とは逆の傾向となっている。これらの試験体は全て材齢3ヶ月以上の試験体であることから材齢による影響とも考えられるが、詳細は今後検討が必要である。

### 6. 圧縮強度試験方法の提案

これまでの検討結果から、「小径コアによるコンクリートの圧縮強度試験方法」を下記の通り提案する。この結果に従ってデータを蓄積すれば、試験結果に及ぼす試験者による影響が小さく抑えられ、更に適正な試験方法が得られるものと考えられる。

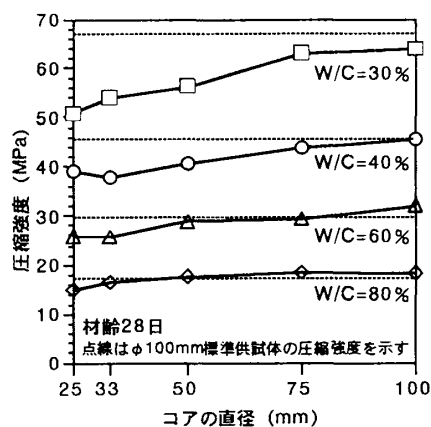


図-7 コアの直径と圧縮強度との関係

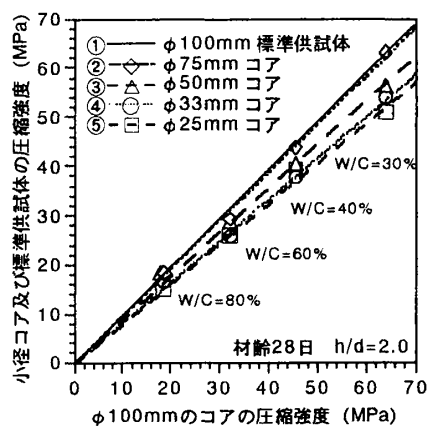


図-8 φ100mmのコアと小径コア及び標準供試体の圧縮強度の関係

表-3 図-8における関係式及び相関係数 表-4 小径コアの強度に乘じる補正係数(材齢28日)

| 供試体の種類        | 関係式         | 相関係数  |
|---------------|-------------|-------|
| ①φ100mm 標準供試体 | $y = 0.99x$ | 0.999 |
| ②φ75mm コア     | $y = 0.97x$ | 0.998 |
| ③φ50mm コア     | $y = 0.89x$ | 1.000 |
| ④φ33mm コア     | $y = 0.84x$ | 0.998 |
| ⑤φ25mm コア     | $y = 0.82x$ | 0.996 |

x: φ100mmのコアの圧縮強度(MPa)

y: 小径コア及びφ100mm標準供試体の圧縮強度(MPa)

| 供試体の種類   | 補正值  |
|----------|------|
| ②φ75mmコア | 1.03 |
| ③φ50mmコア | 1.12 |
| ④φ30mmコア | 1.19 |
| ⑤φ25mmコア | 1.22 |

#### 1. 試験用装置・器具

コンクリートコアドリル：コンクリート専用で携帯型のもの(回転数600～1300 r.p.m.)

ダイヤモンドビット：呼び外径56mm(呼び内径50mm)以下のもの

コンクリートカッター：コンクリートの端面を切断できるもの

研磨機：コンクリートの端面の仕上げに用いる専用の整形機

硫黄と珪物質粉末の混合物：コンクリートの端面仕上げに用いるもの

圧縮試験機：JIS B 7733の7.(試験機の等級)に規定する1等級以上のもの

#### 2. 試験の準備

①コンクリートコアドリルを用いて、コンクリートスラブ面より1mの位置で、所要の径の小径コアを湿式にて抜き取る。ただし、その長さは、コンクリート表面より50mmを除いても径の2倍の供試体が作製できること(研磨により加圧面を平滑にする場合は、研磨により減じる

長さも見込む必要がある)。なお、この時の採取速度は1.5cm/min程度とする。

②まず、コアの先をコンクリートカッターを用いて切断し、続いて径の2倍の長さを残して(研磨により加圧面を平滑にする場合は、研磨により減じる長さを見込む必要がある)コンクリート表面側50mm程度をコンクリートカッターを用いて切断する。

③コア供試体の両端面は、JIS A 1132 の4.4(供試体の上面仕上げ)によってキャッピングをするか、または磨いて所定の平滑度に仕上げる。

④コア供試体の上下両端面付近及び高さの中央で、互いに直行する2方向の直径を0.1mmまで測り、その平均値を供試体の平均直径とする。

⑤コア供試体は、圧縮強度試験の時まで48時間 $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 水中に浸漬する。

切断したコアの両端面を研磨または硫黄キャッピングを施す等して互いに平行な平滑面とし、供試体とする。

### 3. 圧縮試験

圧縮試験方法は、JIS A 1108による。なお、一試験に供する供試体数は一般的に3とし、その平均値をJIS Z 8401によって整数(SIの数値は小数点以下1桁)に丸める。

$\phi 100\text{mm}$ コアの圧縮強度に換算するときは予め求めておいた小径コアの強度と $\phi 100\text{mm}$ コアの強度の係数に結果を対応させる。材齢28日における場合は、表-4により補正係数を求め、次式により換算する。

$$\begin{aligned} & (\phi 100\text{mm} \text{コアの圧縮強度}) \\ & = (\text{補正係数}) \times (\text{小径コアの圧縮強度}) \end{aligned}$$

## 7. まとめ

本研究の結果をまとめると次の通りである。

(1)小径コアの硫黄キャッピングによる端面仕上げは熟練すると、研磨の場合に比し、コア抜き取り数が少なく済む。一方、研磨による端面仕上げは、研磨時の破損を考慮し、予め多くのコアを抜き取る必要があるが、端面仕上げに

熟練を要しない。

(2)小径コアの圧縮試験でみられる円すい破壊以外の破壊は、偏心载荷等によるものではなく、測定される強度は円すい破壊とほぼ等しい。圧縮強度の評価の際には、破壊形状にかかわらず、異常値のみを棄却することとする。

(3)一試験に供する供試体数は一般に3個とするが、高強度の場合には供試体数を増やすことが望ましい。

(4)材齢28日の試験では、コアの直径が小さいほど強度は小さい。その割合は、水セメント比によらず、コアの直径ごとに一定である。従って、小径コアによる強度を予め求めた補正係数を乗じることで、 $\phi 100\text{mm}$ のコアの圧縮強度を推定することが可能である。

(5)「小径コアによるコンクリートの圧縮強度試験方法」を提案した。

### 参考文献

- 笠井芳夫：供試体寸法とコンクリートの圧縮強度ならびに強度のバラツキとの関係(10 $\phi$  20cmと15 $\phi$  30cm供試体との関係及び5 $\phi$  10cmと15 $\phi$  30cm供試体の関係)、日本建築学会論文報告集、第100号、1964.7
- 笠井芳夫：続・供試体寸法とコンクリートの圧縮強度ならびに強度のバラツキとの関係(成型方法、粗骨材の最大寸法、軟度、養生方法、材齢などが供試体の強度に及ぼす影響)、日本建築学会論文報告集、第107号、1965.1
- 寺田謙一ほか：小径コアによる構造体コンクリート強度の推定に関する実験的研究(その1～3)、日本建築学会東海支部研究報告集、No.36、pp.93-104、1998.2
- 若林信太郎ほか：小型モルタル供試体の圧縮強度に及ぼす供試体寸法及び端面仕上げ方法の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.20、No.2、1998.6
- 若林信太郎ほか：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実験的研究(その1、2)、日本建築学会大会学術講演概要集、A-1、pp.705-708、1999.9
- 日本建築学会構造体コンクリート強度研究小委員会編：構造体コンクリート強度に関する研究の動向と問題点、日本建築学会、pp.82-91、1987
- 湯浅昇、笠井芳夫、松井勇：乾燥を受けたコンクリートの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、1998.7
- 湯浅昇、笠井芳夫、松井勇：構造体コンクリートの表面から内部にいたる圧縮強度分布、セメント協会セメント・コンクリート論文集、No.54、pp.8-10、8-15、1997.12