

# コンクリート実験

## I. コンクリートの水セメント比と強度

表1 コンクリートの強度諸説

強度説の名称	提案者	説明
最大密度説	Talor, Thompson (1917)	強度は密度の関数であるとする説。ある範囲を区切ったコンクリートに適用できるが、汎用的でない。
骨材表面積説	Edwards (1918)	強度は骨材の表面積に対するセメントの量によって決まり、水量は骨材表面積とセメント量によって決まるとする説。骨材の表面積を求めるのが困難である。
水セメント比説	Abrams (1918)	強度は水とセメントとの比率により決定されるとする説、非常に取り扱いやすい説で今日でも広く認められている。なお、骨材表面積を粗粒率の考えを用いて表し、水量を決定する方法も併せて示されている。
セメント空隙比説	Talbot (1921)	強度は空隙(げき)量の割合に反比例するとする説。基本的には広範囲のコンクリートに適用できる説ではあるが、一般的な強度式の確定が難しい。
セメント水比説	Lyse (1932)	水セメント比説での強度と水セメント比の関係は指数関数で表示され不便であるが、その逆数のセメント水比で強度を示すと直線関数で表示される。これをセメント水比説という。
ゲル空隙比説	Powers (1946)	水和セメントの容積と毛管空隙の容積との和に対する水和セメントの容積の比をゲル空隙比と定義する。強度はゲル空隙比の3乗にほぼ比例する。

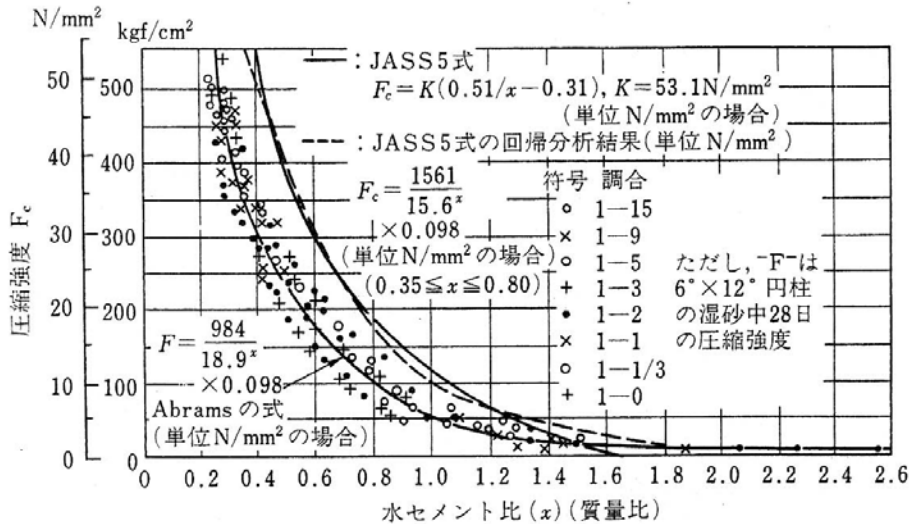


図1 水セメント比と圧縮強度

## II. コンクリートの単位水量とスランプ

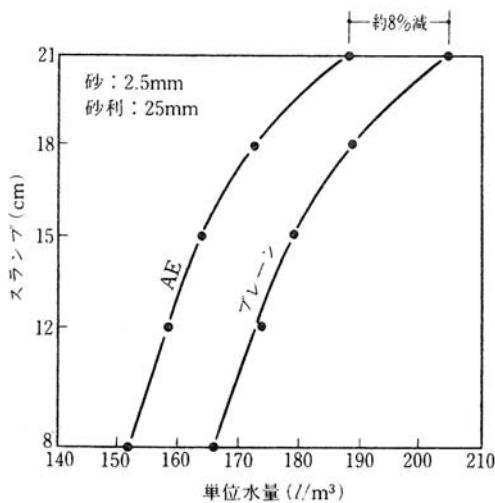


図1 単位水量とスランプの関係

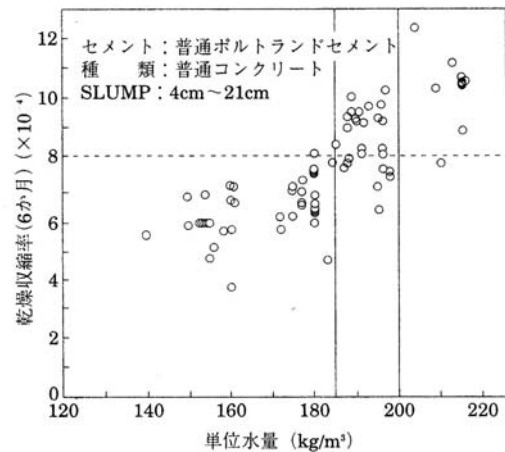


図2 単位水量と乾燥収縮率(6ヶ月)の関係

### Ⅲ. 試験室におけるコンクリートの作り方 (JIS A 1138)

#### 1. 材料の準備

材料は、練り混ぜる前に  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  の温度に保つのが望ましい。

セメントの品質が変化しないように保管しておく。

骨材は、粒度がバッチごとに変化しないように準備する。骨材が分離するおそれのある場合は、2種又はそれ以上の粒群にふるい分けて準備する。

粗細骨材又はふるい分けた粒群は、それぞれ一様な含水状態<sup>(1)</sup>に調整して準備する。(図1)

注<sup>(1)</sup> 表面乾燥飽水状態又はこれに近い状態とする。(図2)

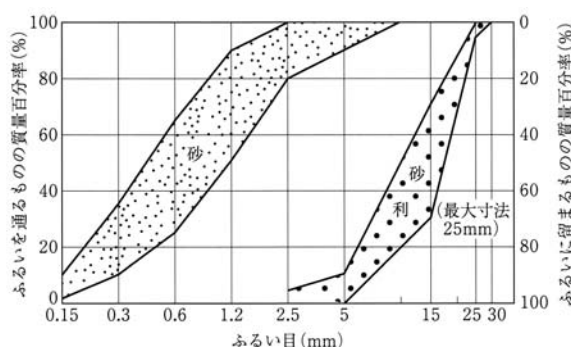


図1 砂利および砂の粒度範囲 (JASS5-03)

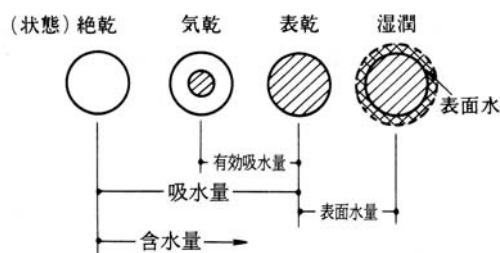


図2 骨材の含水状態

#### 2. 材料の計量

各材料は、質量で別々に計量する。ただし、水及び液状の混和剤又は水溶液とした混和剤は、容積で計量してもよい。

計量は、1回の計量分の0.5%まで読み取れる計量器を用い、正確に行わなければならない。

計量した骨材は、練り混ぜるまでに含水状態が変化しないようにする。

#### 3. コンクリートの練混ぜ

a) コンクリートの練混ぜは、温度  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  で、湿度 60%以上に保たれた試験室で行うのが望ましい。

b) コンクリートは、ミキサを用いて練り混ぜる。

c) コンクリートの1回の練混ぜ量は、試験に必要な量より50以上多くし、ミキサの公称容量の1/2以上で、かつ、公称容量を超えない量とする。

d) 練り混ぜるコンクリートと等しい配合の少量のコンクリートをあらかじめ練り混ぜミキサ内部にモルタル分が付着した状態としておく。各材料はなるべくコンクリートがミキサに付着しないような、また、速やかに均一となるような投入順序で投入し、均一となるまで練り混ぜる。練り混ぜたコンクリートは、練り板に受け、コンクリート用ショベルで均一となるまで練り直すものとする。

e) d)に用いる練り板は、水密性のものとし、あらかじめ、練り混ぜるコンクリートと等しい配合のコンクリートのモルタル分が付いた状態としておく。

#### IV. コンクリートのスランプ試験方法 (JIS A 1101)

##### 1. 試験用器具

1.1 スランプコーン スランプコーンは、図1のように上端内径 100mm、下端内径 200mm、高さ 300mm 及び厚さ 5mm 以上の金属製とし適切な位置に押さえと取っ手を付ける。

1.2 突き棒 突き棒は、直径 16mm、長さ 500~600mm の鋼又は金属製丸棒で、その先端を半球状とする。

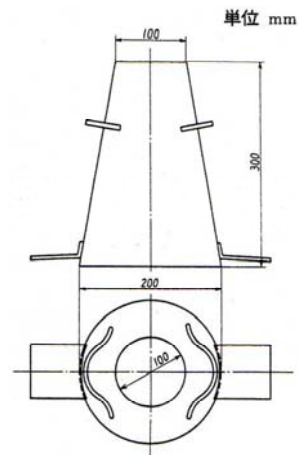


図1 スランプコーン

##### 2. 試験

a) スランプコーンは、水平に設置した剛で水密性のある平板 (1) 上に置いて押さえ、試料をほぼ等しい量の 3 層に分けて詰める。その各層は、突き棒でならした後、25 回一様に突く。この割合で突いて材料の分離を生じるおそれのあるときは、分離を生じない程度に突き数を減らす。各層を突く際の突き棒の突き入れ深さは、その前層にほぼ達する程度とする。

注 (1) スランプコーンの内面と平板の上面は、あらかじめ湿布などでふいておく。

b) スランプコーンに詰めたコンクリートの上面をスランプコーンの上端に合わせてならした後、直ちにスランプコーンを静かに鉛直に引き上げ (2)、コンクリートの中央部において下がり量を 0.5cm 単位で測定し、これをスランプとする。

なお、コンクリートがスランプコーンの中心軸に対して偏ったり、くずれたりして、形が不均衡になった場合は、別の試料によって再試験をする。

注 (2) スランプコーンを引き上げる時間は、高さ 30cm で 2~3 秒とする。

c) スランプコーンにコンクリートを詰め始めてからスランプコーンの引上げを終了するまでの時間は、3 分以内とする。

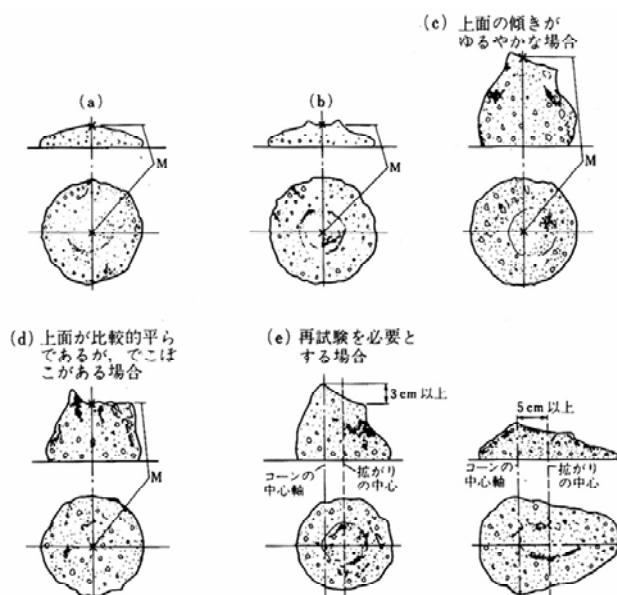


図2 スランプの計り方 (全国生コン工業組合連合会編)

## V. フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法—空気室圧力方法 (JIS A 1128)

### 1. 空気量測定器

1.1 空気量測定器は、図1に示すようにコンクリートとふたとの間の空間に注水して試験するように造られたものとする。

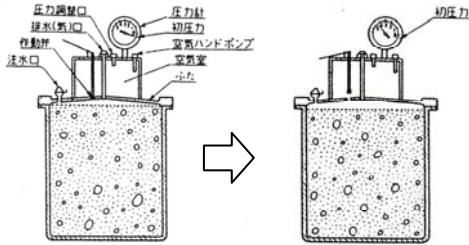


図1 空気量測定器

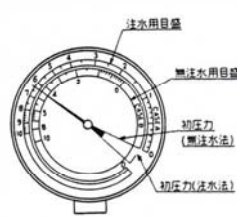


図2 圧力計目盛り板



写真1 空気量測定器

### 2. コンクリートの空気量の測定

- 試料を容器の約 1/3 まで入れ、ならした後、容器の底を突かないように各層を突き棒で 25 回均等に突く。突き穴がなくなり、コンクリートの表面に大きな泡が見えなくなるように、容器の側面を 10~15 回木づちなどでたたく。次に容器の約 2/3 まで入れ、前回と同様な操作を繰り返す。最後に容器から少しあふれる程度に試料を入れ、同様な操作を繰り返した後、定規で余分の試料をかきとって平たんにならす。突き棒の突き入れ深さは、ほぼ各層の厚さとする。
- 容器のフランジの上面と、ふたのフランジの下面を完全にぬぐった後、ふたの表裏を通気できるようにして静かにふたを容器に取り付け、空気が漏れないように締め付ける。次にすべての弁を閉じ、空気ハンドポンプで空気室の圧力を初圧力よりわずかに大きくする。約 5 秒後に調節弁を徐々に開いて、圧力計の針を安定させるために圧力計を軽くたたき、圧力計の指針を初圧力の目盛に正しく一致させる。約 5 秒たった後、作動弁を十分に開く。さらに、容器の側面を木づちでたたく。  
再び、作動弁を十分に開き、指針が安定してから圧力計の目盛を小数点以下 1 けたで読む。その読みを、コンクリートの見掛けの空気量とする。測定終了後は、ふたを外す前に注水口と排水（気）口を両方開いて圧力を緩める。

## VI. コンクリートの強度試験用試験体の作り方 (JIS A 1132)

### 1. 圧縮強度試験のための供試体

1.1 供試体の寸法 供試体は、直径の 2 倍の高さをもつ円柱形とする。その直径は、粗骨材の最大寸法の 3 倍以上、かつ、10cm 以上とする。

## 1.2 器具

- a) 型枠は、非吸水性でセメントに侵されない材料で造られたものとする(写真1)。
- b) 型枠は、供試体を作るときに漏水のないものとする。



写真1 供試体成形型枠

- c) 突き棒を用いて締め固める場合、突き棒は、先端を半球状とした直径 16mm、長さ約 500~600mm の丸鋼とする。

## 2. コンクリートの打込み

2.1 コンクリートの詰め方 コンクリートは、2層以上のほぼ等しい層に分けて詰める。各層の厚さは 160mm を超えてはならない。

2.2 突き棒を用いる場合 各層は少なくとも 10cm<sup>2</sup>に1回の割合で突くものとし、すぐ下の層まで突き棒が届くようにする。この割合で突いて材料の分離を生じるおそれのあるときは、分離を生じない程度に突き数を減らす。

2.3 上面のならし 型枠の上端より上方のコンクリートは取り除き、表面を注意深くならす。キャッピングを行う場合は、コンクリート上面が、型枠面からわずかに下になるようにする。

## 2.4 型枠の取外し及び養生

- a) コンクリートをつめ終わった後、その硬化を待って型枠を取り外す。型枠の取り外し時期は、詰め終わってから 16 時間以上 3 日以内とする。この間、衝撃、振動及び水分の蒸発を防がなければならない。
- b) 供試体の養生温度は、20±2℃とする。供試体は、型枠を取り外した後、強度試験を行うまで湿潤状態で養生を行わなければならない。供試体を湿潤状態に保つには、水中又は湿潤な雰囲気中（相対湿度 95%以上）に置くとよい。

### 3. キャッピング

3.1 器具 キャッピングに用いる押し板は、厚さ 6mm 以上の磨き板ガラスとし、大きさは型枠の直径より 25mm 以上とする。

3.2 型枠を取り外す前にキャッピングを行なう場合 コンクリートを詰め終わってから適当な期間<sup>(1)</sup>に上面を水で洗ってレイトランスを取り去り、キャッピングを行なうまで十分に吸水させて水をふき取った後、セメントペースト<sup>(2)</sup>を置き押し板で型枠の頂面まで一様に押し付ける。キャッピングの厚さはできるだけ薄くし、押し板とセメントペーストとが固着するのを防ぐため押し板のしたに丈夫な薄紙などを挟む。

注<sup>(1)</sup> 硬練りコンクリートでは、2～6 時間以後、軟練りコンクリートでは 6～24 時間以後とする。

<sup>(2)</sup> 水セメント比を 27～30%とし、使用する約 2 時間前に練り混ぜて、水を加えずに練り返して用いる。

## VII. コンクリートの圧縮強度試験方法 (JIS A 1108)

### 1. 供試体の検査

- a) 供試体は、JIS A 1132 によって作製する。
- b) 直径及び高さを、それぞれ 0.1mm 及び 1mm まで測定する。直径は、供試体高さの中央で、互いに直交する 2 方向について測定する。
- c) 損傷又は欠陥があり、試験結果に影響すると考えられるときは、試験を行わないか、又はその内容を記録する。
- d) 質量を、質量の 0.25%以下の目量をもつばかりで測定する。質量は、供試体の余剰水をすべてふき取った後に測定する。
- e) 供試体は、所定の養生が終わった直後の状態で試験が行えるようにする。

### 2. 圧縮試験機

- a) 圧縮試験機は、JIS B 7733 の 6.(試験機の等級)に規定する 1 等級以上のものとする。また、試験時の最大荷重がひょう量の 1/5 からひょう量までの範囲で使用する。同一試験機でひょう量をかえることができる場合は、それぞれのひょう量を別個のひょう量とみなす。

### 3. 試験方法

- a) 供試体の上下端面及び上下の加圧板の圧縮面を清掃する。
- b) 供試体を、供試体直径の 1%以内の誤差で、その中心軸が加圧板の中心と一致するように置く。
- c) 試験機の加圧板と供試体の端面とは、直接密着させ、その間にクッション材を入れてはならない。
- d) 供試体に衝撃を与えないように一様な速度で荷重を加える。荷重を加える速度は、圧縮

応力の増加が毎秒  $0.6 \pm 0.4 \text{N/mm}^2$  になるようにする。

- e) 供試体が急激な変形を始めた後は、荷重を加える速度の調節を中止して、荷重を加え続ける。
- f) 供試体が破壊するまでに試験機が示す最大荷重を有効数字 3 桁まで読む。

#### 4. 計算

- a) 供試体の直径は、 $0.1 \text{mm}$  まで測定し、次の式によって算出し、JIS Z 8401 によって小数点以下 1 けたに丸める。

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

ここに、 $d$  : 供試体の直径 (mm)

$d_1, d_2$  : 1. b) で求めた 2 方向の直径 (mm)

- b) 圧縮強度は、次の式によって算出し、JIS Z 8401 によって有効数字 3 桁に丸める。

$$f_c = \frac{P}{\pi (d/2)^2}$$

ここに、 $f_c$  : 圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )

$P$  : 3. f) で求めた最大荷重 (N)

- c) 見掛け密度は、次の式によって算出し、JIS Z 8401 によって有効数字 3 桁に丸める。

$$\rho = \frac{m}{h \times \pi (d/2)^2}$$

ここに、 $\rho$  : 見掛けの密度 ( $\text{kg/m}^3$ )

$m$  : 供試体の質量 (kg)

$h$  : 供試体の高さ (m)

$d$  : 供試体の直径 (m)

### VIII. コンクリートの静弾性係数試験方法 (JIS A 1149)

#### 1. 試験装置及び器具

- a) JIS A 1108 規定された、圧縮試験機を用いる。
- b) ひずみ測定器 ひずみ測定器は、供試体の縦ひずみ (ひずみ度) を  $10 \times 10^{-6}$  以下の精度で測定できるものとする。また、ひずみ測定器の検長は、コンクリートに用いた粗骨材の最大寸法の 3 倍以上、かつ、供試体の高さの  $1/2$  以下とする。

#### 2. 試験方法

- 2.1 供試体の準備 供試体は、所定の養生を終わった直後の含水状態で試験ができるようにしなければならない。

- 2.2 载荷の準備 载荷の準備は、次による。

- a) 試験は、温度及び湿度の変化の少ない室内で行う。
- b) 供試体は、供試体直径の1%以内の誤差で、その中心軸が加圧板の中心と一致するように置く。

### 2.3 載荷方法

載荷は、供試体に衝撃を与えないように一様な速度で行う。荷重を加える速度は、圧縮応力度の増加が毎秒  $0.6 \pm 0.4 \text{ N/mm}^2$  になるようにする。

- a) 供試体の縦ひずみは、最大荷重の1/2程度まで測定し、その測定間隔は等間隔として少なくとも10点以上記録する。
- b) 供試体が急激な変化を始めた後は、荷重を加える速度の調整を中止して、荷重を加え続ける。
- c) 供試体が破壊するまでに試験機が示す最大荷重を有効数字3桁まで読む。

### 3. 結果の計算

- a) 2.3 載荷方法の結果から、各供試体ごとに応力-ひずみ曲線を作成する。
- b) 各供試体の静弾性係数は、次式によって算出し、四捨五入して有効数字3桁に丸める。

静弾性係数

$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \times 10^3$$

New RC 式

$$E = 33.5 \times \kappa_1 \times \kappa_2 \times (\gamma/2.4)^2 \times (\delta_b/60)^{1/3}$$

ここに、 $E_c$ : 各供試体の静弾性係数 ( $\text{kN/mm}^2$ )

$S_1$ : 最大荷重の1/3に相当する応力 ( $\text{N/mm}^2$ )

$S_2$ : 供試体の縦ひずみ  $50 \times 10^{-6}$  のときの  
応力 ( $\text{N/mm}^2$ )

$\varepsilon_1$ : 応力  $S_1$  によって生じる供試体の縦ひずみ

$\varepsilon_2$ :  $50 \times 10^{-6}$

$E$ : コンクリートのヤング係数 ( $\text{N/mm}^2$ )

$\gamma$ : コンクリートの単位容積質量 ( $\text{t/m}^3$ )

$\kappa_1$ : 粗骨材の種類により定まる修正係数

$\kappa_2$ : 混和材の種類により定まる修正係数

$\delta_b$ : 重量を測定したコンクリートの圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )

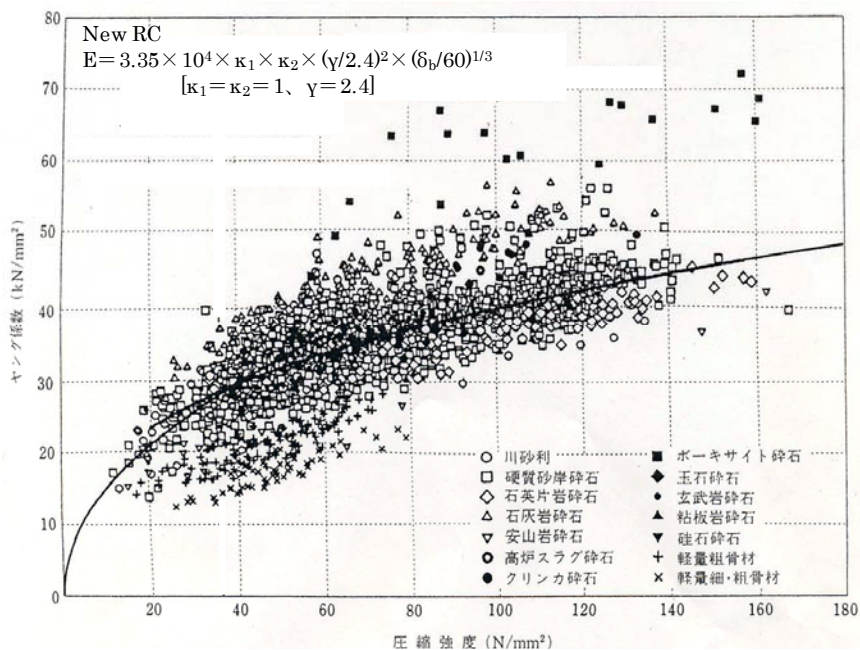


図1 圧縮強度と静弾性係数の関係



## Ⅹ. コンクリートの引張強度試験方法

### Ⅹ-1 純引張試験方法

純引張りにより引張強度を試験する試みが古くから行われており、加力方法にも多くの提案がある。これらを分類すれば、図4(a)に示すような、端部に拡大部を設けて応力を伝達するものと、(b)、(c)、(d)に示すような平行部のみのものがある。(a)は拡大部と平行部との境で応力集中が生じ、(b)は埋込みボルト端部で応力集中を生じやすい。その他、(c)のような供試体側面の摩擦力により応力を伝達させるものや(d)のような接着剤を用いて加力板を接着させる方法が採用されている。

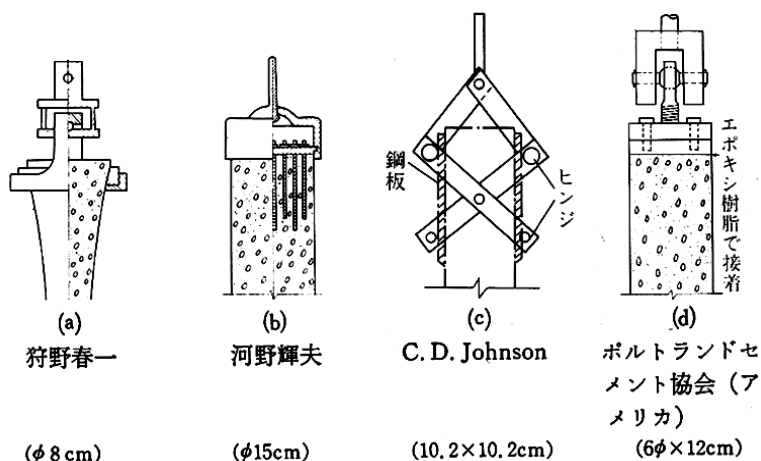


図4 引張強度試験における加力部

### Ⅹ-2 コンクリートの割裂引張強度試験方法 (JIS A 1113)

1. 圧縮試験機 試験機は JIS A 1108 に規定された圧縮試験機と同様のものを用いる。
2. 供試体 供試体は、JIS A 1132 (コンクリートの圧縮強度用試験体の作り方) によって作製する。また、供試体は所定の養生が終わった直後の状態で試験が行えるようにする。
3. 試験方法
  - a) 供試体の荷重を加える方向における直径を2か所以上で0.1mmまで測定し、その平値を供試体の直径とし、JIS Z 8401 によって小数点以下1桁に丸める。
  - b) 試験機は、試験時の最大荷重がひょう量の1/5からひょう量までの範囲で使用する。供試体の側面及び上下の加圧板の圧縮面を清掃する。
  - d) 供試体を試験機の加圧板の上に偏心しないように図1のように据える。この場合、加圧板と供試体との接触線のどこにもすき間が認められないようにする。上下の加圧板は、荷重を加えている間、平行を保てるようにする。
  - e) 供試体に衝撃を与えないように一様な速度で荷重を加える。荷重を加える速度は、引張応力度の増加率が毎秒  $0.06 \pm 0.04 \text{N/mm}^2$  となるように調整し、最大荷重に至るまでその増加率を保つようにする。
  - f) 供試体が破壊するまでに試験機が示す最大荷重を、有効数字3桁まで読む。

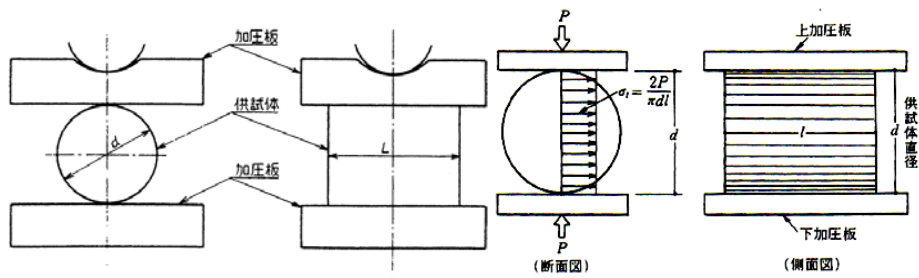
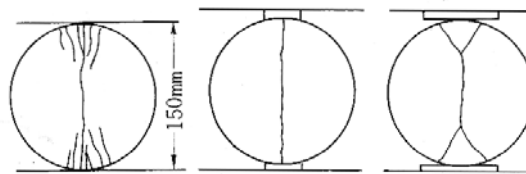


図1 供試体の据え方

g) 供試体の割れた面における長さを2か所以上で0.1mmまで測定し、その平均値を供試体の長さとし、JIS Z 8401によって有効数字4桁に丸める。

なお、図2のような方法により立方体について割裂試験を行ったS.Nilssonの実験では、立方体割裂強度と円柱割裂強度との比は99±3.3%で両者大差ない結果を得ている。



(a) 分布板なし (b) 最適幅 (40mm) (c) 幅過大

図2 供試体への载荷の方法と破壊状況

4. 計算 引張り強度は、次の式によって計算し、JIS A 8401によって有効数字3桁に丸める。また、圧縮強度と割裂引張強度の関係を図3に示す。

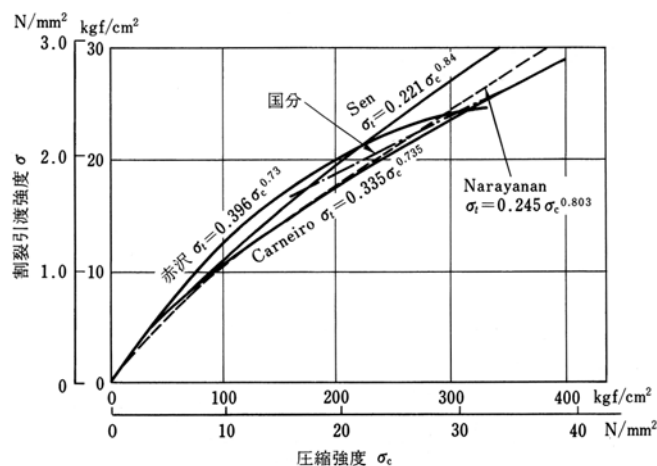
$$ft = \frac{2p}{\pi dl}$$

ここに、 $ft$  : 引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$p$  : 最大荷重 (N)

$d$  : 試験体の直径 (mm)

$l$  : 供試体の長さ (mm)



[赤沢] 15×30cm 円柱. W/C=0.39~1.15, 砕石, 材齢 28 日.

[Carneiro] W/C=0.45~0.85, 骨材最大寸法 4.5~38mm, 材齢 28 日まで.

[国分] 15×15cm 円柱. W/C=0.53~0.67, スランプ 5~20cm, 砂利最大寸法 25mm, 材齢 28 日

[Sen] 15×30cm 円柱. W/C=0.4~0.7, 砂利, 材齢 91 日まで.

[Narayanan] 10×20cm 円柱. W/C=0.35~0.80, 砂利, 材齢 7 日および 28 日

図3 圧縮強度と割裂引張強度の関係

## 中性化測定方法

JIS K 8001 試薬試験方法通則に規定される、フェノールフタレイン溶液を用いて行う。これは、95%エタノール 90ml にフェノールフタレインの粉末 1 g を溶かし、水を加えて 100ml としたものである。

測定面を切断した後、直ちに測定面に試薬を噴霧器で液が滴らない程度に噴霧する。測定箇所については、コンクリート表面から赤紫色に呈色した部分までの距離を 0.1mm の単位で測定する。測定箇所は、中性化の状況に応じて 10～15mm 間隔毎に 1 箇所とし、5 箇所以上とするのがよい。