

## コンクリート工学 第7回

### 硬化コンクリート

- ・ヤング係数
- ・クリープ
- ・体積変化



## 【弾性と塑性】

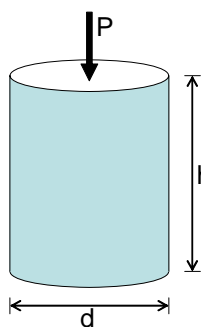
**弾性:** 固体(材料)が外力の作用を受けて変形したものが元に戻る性質

完全弾性体、不完全弾性体

**塑性:** 固体(材料)に外力を加えて弾性限界を超えた変形を与えた後、外力を取り去っても、元の形状に戻らず、変形がそのまま残る現象



## 【応力-ひずみ曲線】



供試体寸法:  $\phi 100 \times 200\text{mm}$

$$\text{圧縮応力: } \sigma_c = \frac{P}{A} = \frac{4P}{\pi d^2}$$

$$\text{圧縮ひずみ: } \varepsilon = \frac{\Delta h}{h}$$

$\Delta h$ : 変形量(縮み量)

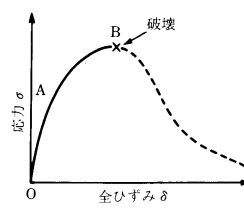


図 4-54 コンクリートの応力-ひずみ曲線

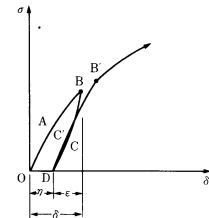


図 4-55 弾性ひずみと塑性ひずみ

$\varepsilon$ : 全ひずみ

$\gamma$ : 弾性ひずみ

$\eta$ : 残留ひずみ

弾性域(静的強度の1/3以下)

$$\sigma = \varepsilon \cdot E$$

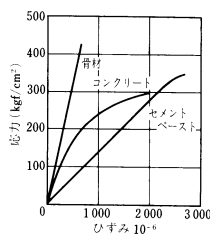


図 4-56 骨材、セメントおよびコンクリートの応力-ひずみ線図

応力-ひずみ曲線が曲線的となる理由

- ・骨材粒子とセメントペーストとの界面に存在する潜在的な欠陥
- ・荷重上昇に伴う界面のひび割れの発達
- ・モルタルひび割れへの発達

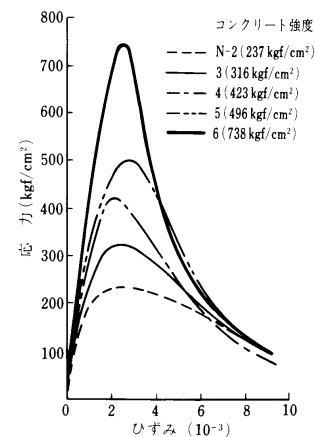


図 4-57 剛性試験によるコンクリートの応力-ひずみ曲線

## 【弾性係数】

静弾性係数(ヤング係数、ヤング率)

圧縮応力-ひずみ曲線から求めたもの。

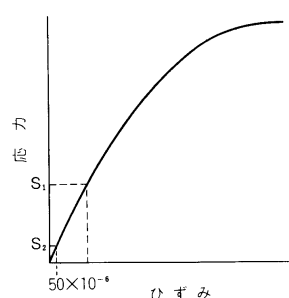
コンクリート部材のたわみ等の変形を算定する場合や、測定したひずみから応力を推定する場合に用いられる。

動弾性係数

音響的試験から求めた弾性係数

## 【ヤング係数】

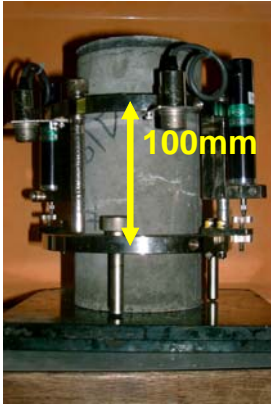
通常は、割線係数をヤング係数とする。  
セメント硬化体と骨材の比率により変化



コンクリートの静弾性係数(ヤング係数)

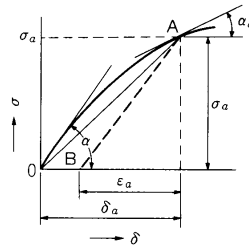
$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - 50 \times 10^{-6}}$$

図 7.4 応力-ひずみ曲線



- ・圧縮供試体 (φ100×200mm)
- ・荷重を断面積で除し、応力に変換
- ・コンプレッソメーターで縮み量を計測
- ・コンプレッソメーターの初期リング間距離100mmで縮み量を除しひずみに変換

以上より、  
応力、ひずみが計測できる。



減力曲線からの純弾性変形をとった弾性係数：

$$E_e = \sigma_a / \epsilon_a$$

割線弾性係数：

$$E_s = \sigma_a / \delta_a$$

初期接線弾性係数： $E_t = (d\sigma/d\delta)_{\sigma=0} = \tan \alpha$

接線弾性係数： $E_{t'} = (d\sigma/d\delta)_{\sigma=\sigma_a} = \tan \alpha_a$

図 7.6 コンクリートの静弾性係数

- ①強度が大になればEcは大となる。
- ②骨材のヤング係数が大きいほどEcは大となる。
- ③コンクリートが水で飽和しているときのEcは、乾燥しているときのEcより大きい。
- ④応力大きいほどEcは小となる。

### 【応力-ひずみ曲線のモデル化】

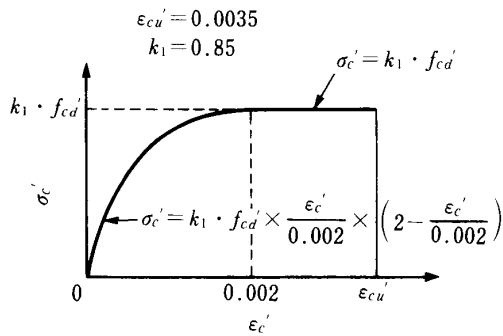


図 4.60 コンクリートのモデル化された  
応力-ひずみ曲線(土木学会)

### 【コンクリートのヤング係数】

表 4.33 コンクリートのヤング係数 GPa=kN/mm<sup>2</sup>{×10<sup>5</sup> kgf/cm<sup>2</sup>}

設計基準強度 N/mm <sup>2</sup> {kgf/cm <sup>2</sup> }	18	24	30	40	50	60	70	80
コンクリートの種類	{180}	{240}	{300}	{400}	{500}	{600}	{700}	{800}
普通コンクリート	{2.2}	{2.5}	{2.8}	{3.1}	{3.3}	{3.5}	{3.7}	{3.8}
軽量骨材コンクリート*	13	15	16	19	—	—	—	—

\*骨材の全部を軽量骨材とした場合

およそ

圧縮強度：引張強度：ヤング係数

= 30 : 3 : 30000

(N/mm<sup>2</sup>)

### 【動弾性係数】

動弾性係数 $E_D$ は、コンクリートの共鳴振動数またはコンクリート中を伝播する超音波の速度を測定することにより求められる。

物体がHookeの法則に従う場合には静弾性係数も動弾性係数も同一であると考えられるが、コンクリートは不完全弾性体であり、共鳴のような応力ゼロ付近の測定で、しかも短時間で変化する応力であるため、動弾性係数は初期接線係数よりも幾分か大きな値となる。

方法1: たて振動あるいはたわみ振動を与えた場合の共  
振振動数から算出

方法2: 弾性波速度から算出

たて振動の場合

$$E_D = 4.00 \times 10^{-3} \cdot \frac{L}{A} \cdot m \cdot f_1^2$$

ここに、 $E_D$ : 動弾性係数(N/mm<sup>2</sup>)、 $m$ : 供試体の質量(kg)、 $f_1$ : たて振動の1次共鳴振動数(Hz)、 $L$ : 供試体の断面積(mm<sup>2</sup>)

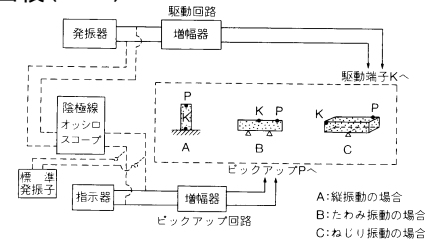


図 7.19 試験用器具の配置の一例

弾性波速度を用いる場合

$$v = 2fl = \sqrt{\frac{E_D}{\rho}}$$

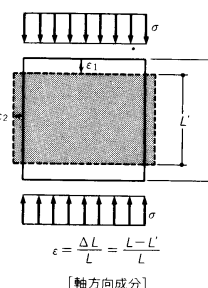
ここに、 $v$ : 弾性波速度、 $E_D$ : 動弾性係数(N/mm<sup>2</sup>)、 $f$ : 共鳴周波数(Hz)、 $l$ : 供試体の断面積(mm<sup>2</sup>)

動弾性係数は、静弾性係数よりも15%程度大きい

$$E_D > E_c$$

### 【ポアソン比】

応力を受けて縦ひずみが生じると同時に横方向にもひずみが生じる。この両者のひずみの比をポアソン比という。普通コンクリートは、1/5~1/7。ただし、設計時では0.2としてよい。



$$\nu = - \frac{\text{横ひずみ } \epsilon_2}{\text{軸方向ひずみ } \epsilon_1}$$

$$0 < \nu < 0.5$$

一般に、 $\epsilon_1$ と $\epsilon_2$ は異符号であり、上式で計算されるポアソン比は常に正となる。

## 【クリープ】

**クリープ**: 持続荷重のもとに起こる時間依存性の塑性ひずみ。言い換えると、一定荷重を持続荷重した場合に、時間の経過とともにひずみが増大する現象。

Ex. 重し(漬物石)の下にある漬物が、だんだん沈んでいくようなもの

### クリープが生じる原因

- ①セメントゲル内の水の圧水による浸出説
- ②セメントペーストの粘性流動説
- ③結晶内部のすべり説
- ④引張と圧縮では機構が異なるとする説

## ⑤微細ひび割れ説

注 **リラクゼーション**: 一定ひずみ下において、時間の経過とともに応力が減少する現象。



クリープ試験機

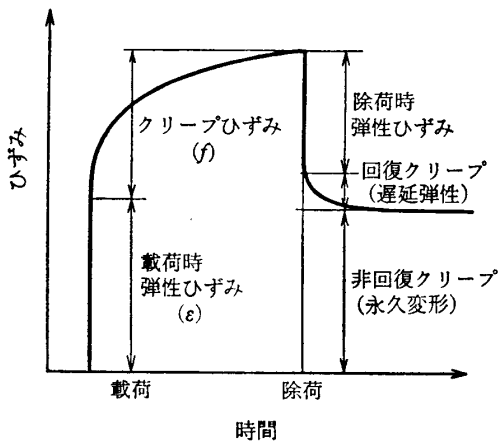


図 4.21 コンクリートのクリープ-時間曲線

### クリープに影響する要因

- ① 荷重時の材齢
- ② 部材寸法
- ③ 荷重応力
- ④ 水セメント比
- ⑤ 温度・湿度
- ⑥ 骨材
- ⑦ セメントの種類
- ⑧ セメント中のアルカリ不純物

Davis-Glanvilleの法則

クリープは荷重応力(静的強度の1/3以下)に比例する

材齢が若いほど、部材寸法が小さいほど、荷重応力が大きいほど、温度が高いほど、湿度が低いほど、骨材量が少ないほど、 $C_3S$ が多く $C_2A$ が少ないセメント(不純物が少ない)ほど、クリープひずみは大となる。

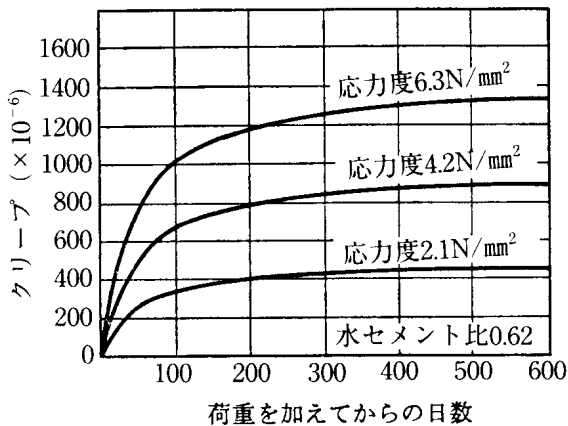


図 4.22 持続応力がクリープに及ぼす影響<sup>3)</sup>

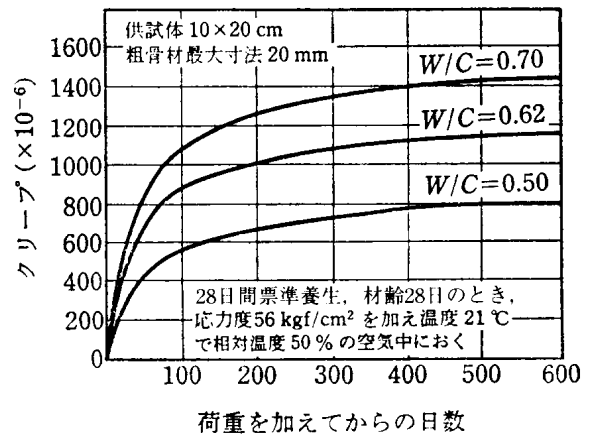


図 4.23 水セメント比とクリープとの関係<sup>3)</sup>

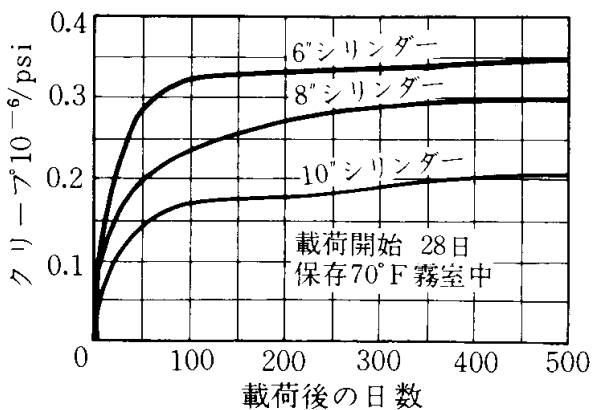


図 4.68 供試体の寸法とクリープ

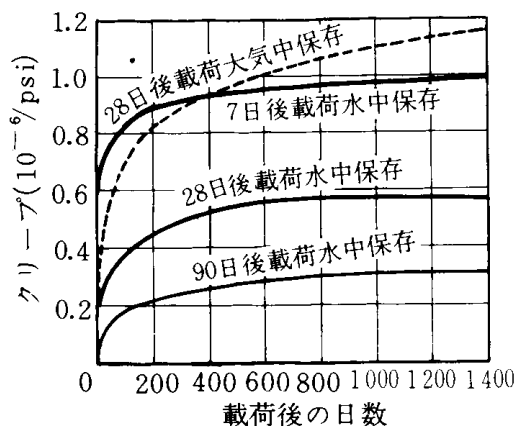


図 4.69 供試体保存条件とクリープ

## 【体積変化】

### a. 収縮

・**乾燥収縮**: コンクリート中の水分が蒸発することにより変形する現象

乾燥収縮に影響する要因

- ① 配合(単位水量、単位セメント量、水セメント比)
- ② 相対湿度と乾燥期間
- ③ 骨材の品質
- ④ 部材寸法

・**自己収縮**: セメントの水和反応により水が消費されるために収縮する現象

自己収縮に影響する要因

#### ① 水セメント比

(普通コンクリートでは無視できるほど小さい。高強度コンクリート(W/C<40%)ほど、大きい)

## 【乾燥収縮試験の一例】



表 4-35 コンクリートの収縮ひずみ(×10<sup>-6</sup>) (土木学会)

環境条件	コンクリートの材齢*				
	3日以内	4~7日	28日	3ヵ月	1年
屋外の場合	400	350	180	160	120
屋内の場合	730	620	270	210	120

\* 設計で収縮を考慮するときの開始材齢

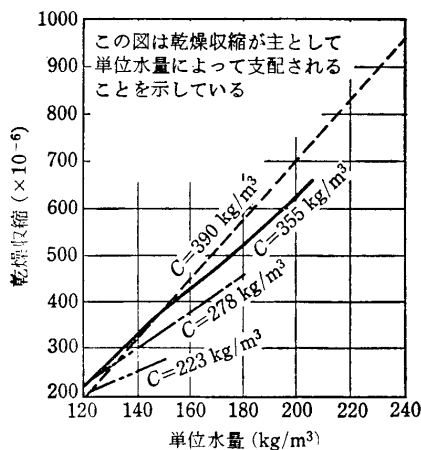


図 4.25 単位水量と乾燥収縮との関係<sup>3)</sup>

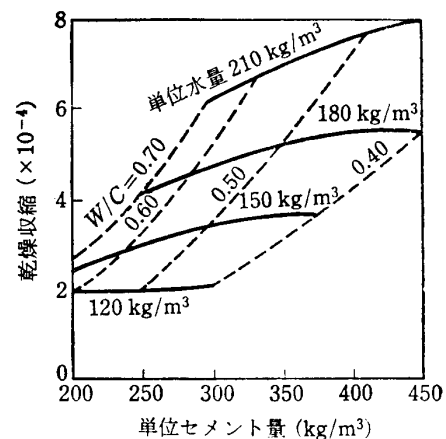


図 4.26 単位セメント量の乾燥収縮への影響<sup>15)</sup>

### b. 湿潤膨張

・通常のコンクリートを水中あるいは湿潤状態に保存すると50~200×10<sup>-6</sup>程度膨張する。これはセメント水和物の膨張によるものと考えられる。コンクリートを緻密な組織にすると、この種の変形はほとんど起きない。

### c. 温度による膨張・収縮

・コンクリートの熱膨張係数(線膨張係数)

7~13×10<sup>-6</sup>/°C (設計では、10×10<sup>-6</sup>/°C)

長さ10mのコンクリート版が10°C変動すると、1mm膨張あるいは収縮する。

・マスコンクリート

スラブ: 厚さ80~100cm以上

壁: 厚さ50cm以上

水和熱により40°C以上も上昇することも

