

コンクリートの性質 第8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】

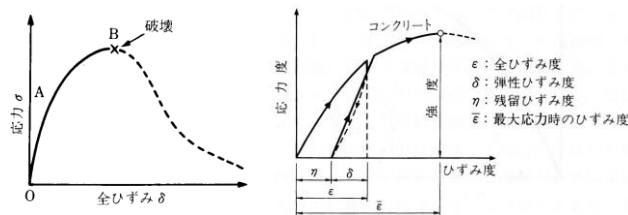
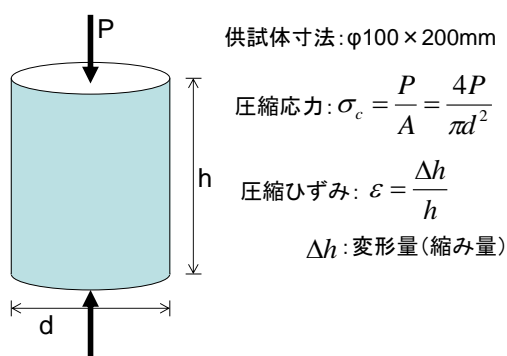


図 4-54 コンクリートの応力-ひずみ曲線

図 3.3.21 応力-ひずみ曲線

コンクリートは完全な弾性体でないので、応力とひずみとの関係は応力の小さい段階から曲線となる。

弾性域(静的強度の1/3以下)

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

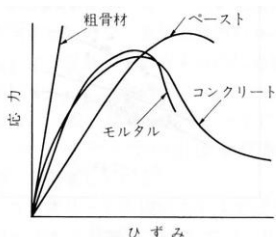


図 3.3.22 コンクリートおよび構成材料の σ - ε 曲線⁽¹³⁾

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

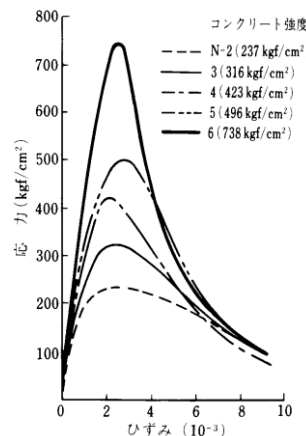


図 4-57 剛性試験によるコンクリートの応力-ひずみ曲線

【弾性係数】

静弾性係数(ヤング係数、ヤング率)

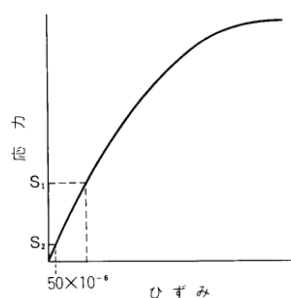
圧縮応力-ひずみ曲線から求めたもの。
コンクリート部材のたわみ等の変形を算定する場合や、測定したひずみから応力を推定する場合に用いられる。

動弾性係数

音響的試験から求めた弾性係数

【ヤング係数】

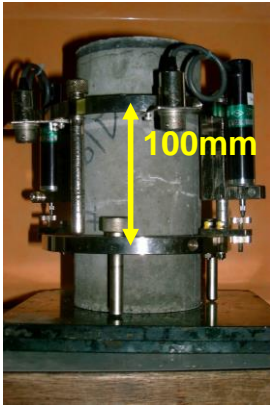
通常は、割線係数をヤング係数とする。
セメント硬化体と骨材の比率により変化



コンクリートの静弾性係数(ヤング係数)

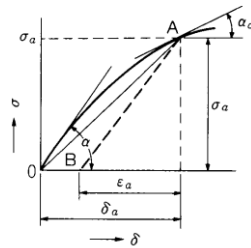
$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\varepsilon_1 - 50 \times 10^{-6}}$$

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：

$$E_e = \sigma_a / \varepsilon_a$$

割線弾性係数：

$$E_c = \sigma_a / \delta_a$$

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

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、その地点におけるEcは小となる。

【ヤング係数と圧縮強度との関係】

$$E_{1/3} = 1430 \cdot \rho^{1.5} \cdot \sqrt{F_c}$$

$E_{1/3}$: 弾性係数 (N/mm²)

ρ : コンクリートの気乾単位容積質量 (kg/m³)

F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

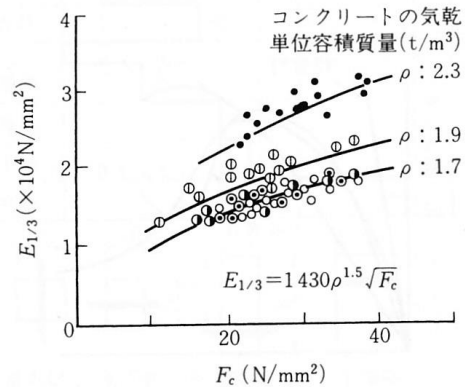


図 3.3.24 割線弾性係数 $E_{1/3}$ と圧縮強度 F_c との関係¹⁴⁾

【応力-ひずみ曲線のモデル化】

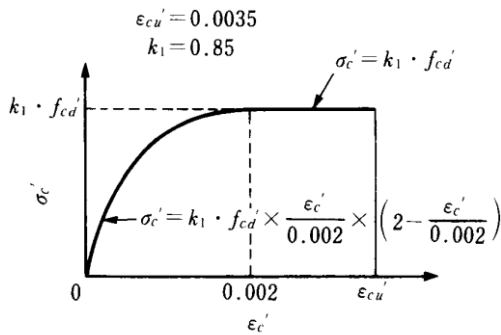


図 4.60 コンクリートのモデル化された応力-ひずみ曲線(土木学会)

【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/mm² (×10⁵ kgf/cm²)

設計基準強度 N/mm ² (kgf/cm ²) コンクリートの種類	18 {180}	24 {240}	30 {300}	40 {400}	50 {500}	60 {600}	70 {700}	80 {800}
普通コンクリート	22 {2.2}	25 {2.5}	28 {2.8}	31 {3.1}	33 {3.3}	35 {3.5}	37 {3.7}	38 {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/mm²)

【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/mm²)、 m : 供試体の質量 (kg)、 f_1 : たて振動の1次共鳴振動数 (Hz)、 L : 供試体の長さ (mm)、 A : 供試体の断面積 (mm²)

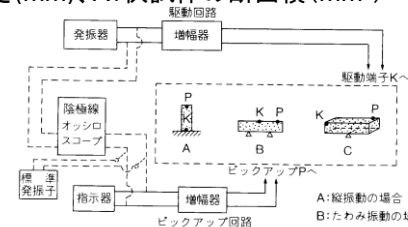


図 7.19 試験用器具の配置の一例

弾性波速度を用いる場合

$$v = 2f\lambda = \sqrt{\frac{E_D}{\rho}}$$

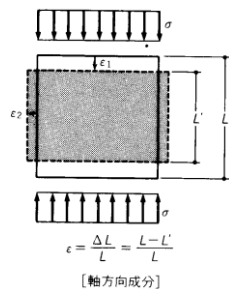
ここに、 v :弾性波速度、 E_D :動弾性係数(N/mm²)、 f :共鳴周波数(Hz)、 λ :供試体の長さ(mm)

動弾性係数は、静弾性係数よりも
10~40%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、 ϵ_1 と ϵ_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

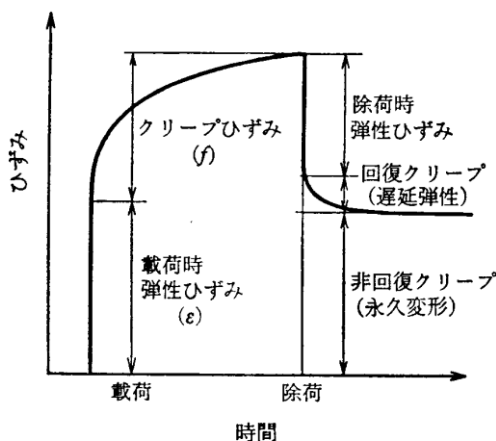


図 4.21 コンクリートのクリープ-時間曲線

クリープに影響する要因

- ① 載荷時の材齢
- ② 部材寸法
- ③ 載荷応力
- 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

- ・載荷期間中の大気湿度が低いほどクリープひずみは大きい。これは、コンクリートが乾燥するとクリープが助長されることを意味する。
- ・部材寸法が小さいほどコンクリートが乾燥しやすいため、クリープひずみが大きくなる。
- ・セメントペースト量が多いほどクリープひずみは大きい。
- ・水セメント比が大きいほどクリープひずみは大きい。
- ・組織が密実でない骨材を用いたり、粒度が不適當で空隙が多いコンクリートはクリープひずみが大きい。
- ・載荷応力が大きいほどクリープひずみは大きい。
- ・載荷時材齢が若いほどクリープひずみは大きい。

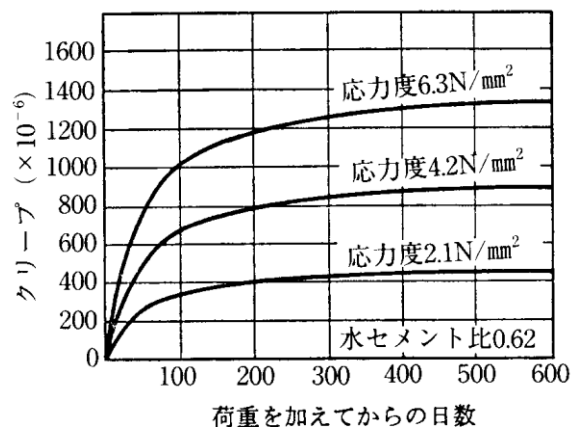


図 4.22 持続応力がクリープに及ぼす影響³⁾

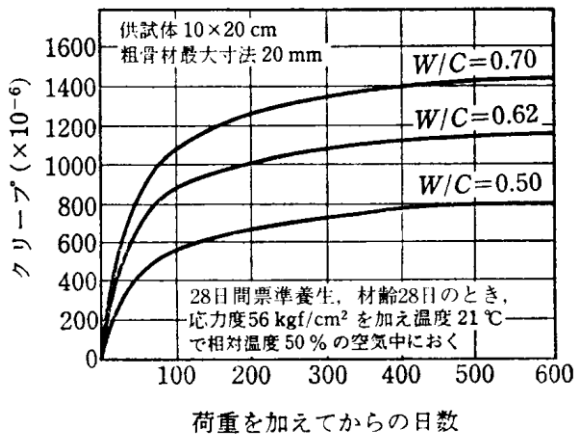


図 4.23 水セメント比とクリープとの関係³⁾

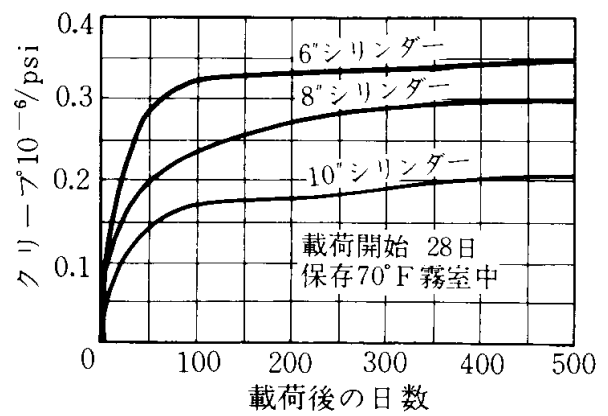


図 4.68 供試体の寸法とクリープ

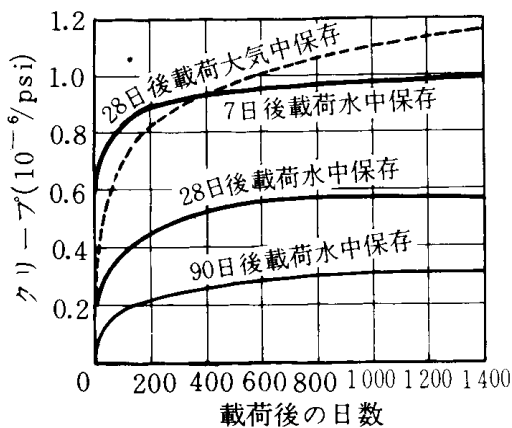


図 4.69 供試体保存条件とクリープ

クリープに関する法則

①Davis-Glanvilleの法則

持続応力がコンクリート強度の1/3程度以下であれば、クリープひずみは応力に比例し、圧縮に対しても引張に対しても、その比例定数は等しい。

②Whitneyの法則

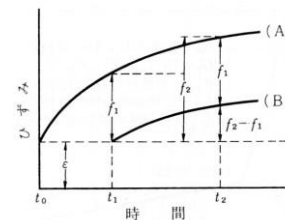


図 3.3.26 Whitney の法則

クリープ破壊

クリープは載荷応力にほぼ比例するが、ある程度以上載荷応力が大きくなれば、破壊に至る。この破壊を**クリープ破壊**と呼ぶ。

クリープ破壊の起こる下限の応力を**クリープ限度**と呼ぶ。

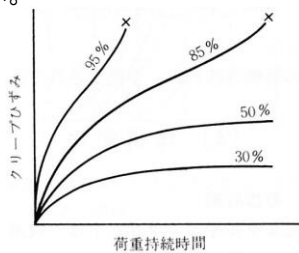


図 3.3.27 クリープ破壊

クリープ限度：
コンクリート強度の
75~85%程度である。

【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(×10⁻⁶) (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

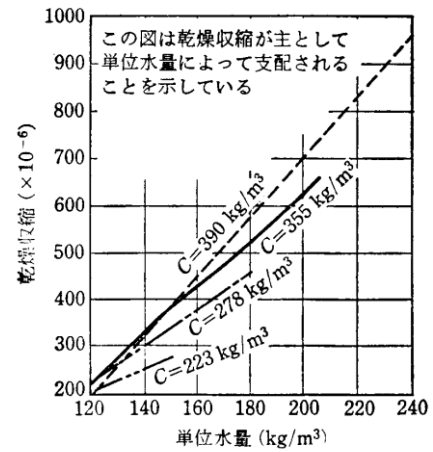


図 4.25 単位水量と乾燥収縮との関係³⁾

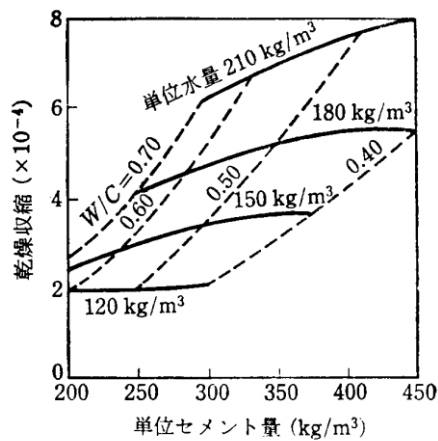


図 4.26 単位セメント量の乾燥収縮への影響¹⁵⁾

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50~200×10⁻⁶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)

7~13×10⁻⁶/°C (設計では、10×10⁻⁶/°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