

～ 講義を始める前に ～

これまでの出欠状況を下記HP上に
公開します。
各自で出席回数を確認してください。

「もっと知りたいコンクリート講座」
<http://c-pc8.civil.musashi-tech.ac.jp/RC/index.htm>

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

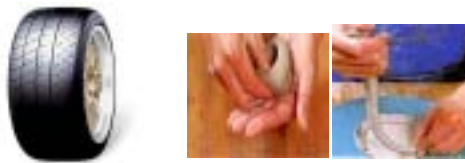


途中と最後に、小テスト有り！！

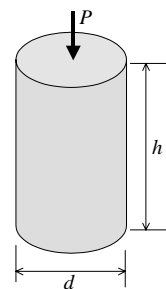
【弾性と塑性】

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もどる性質
完全弾性体、不完全弾性体

塑性: 固体(材料)に外力(荷重)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、もとの形状に戻らず、変形がそのまま残る現象



【応力 - ひずみ曲線】



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

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

Δh : 変形量(縮み量)

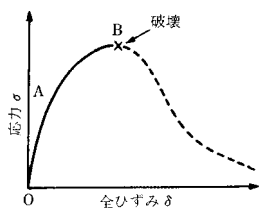


図 4-54 コンクリートの応力-ひずみ曲線

弾性域(静的強度の1/3以下)

$$\sigma = \epsilon \cdot E$$

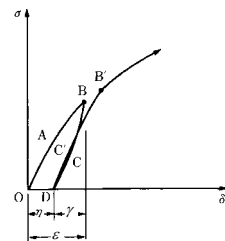


図 4-55 弾性ひずみと塑性ひずみ

ϵ : 全ひずみ

γ : 弾性ひずみ

η : 残留ひずみ

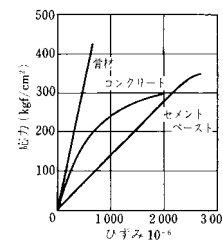


図 4-56 骨材、セメントおよびコンクリートの応力-ひずみ線図

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

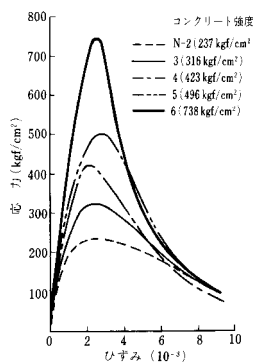


図 4-57 剛性試験によるコンクリートの応力-ひずみ曲線

.....(4・23)

【弾性係数】

静弾性係数(ヤング係数、ヤング率)

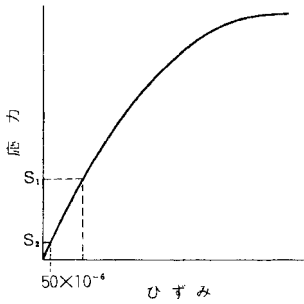
圧縮応力 - ひずみ曲線から求めたもの
コンクリート部材のたわみ等の変形を算定する場合や、測定したひずみから応力を推定する場合に用いられる。

動弾性係数

音響的試験から求めた弾性係数

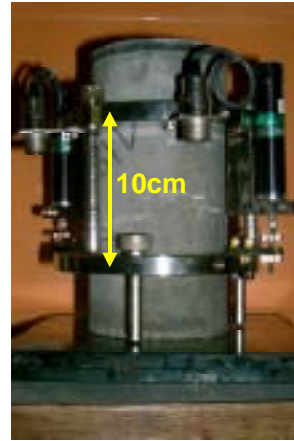
【ヤング係数】

通常、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

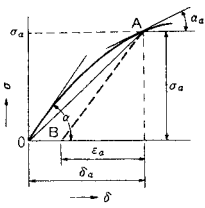


コンクリートの静弾性係数
(ヤング係数)

$$E_c = \frac{S_1 - S_2}{\epsilon_1 - 50 \times 10^{-6}}$$



- ・圧縮供試体 (10×20cm)
 - ・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10cm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： $E_i = (d\sigma/d\delta)_{\sigma=0} = \tan \alpha$

接線弾性係数： $E_t = (d\sigma/d\delta)_{\sigma=\sigma_a} = \tan \alpha_a$

強度が大になればEcは大となる。
骨材のヤング係数が大きいほどEcは大となる。
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Eより大きい。
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】

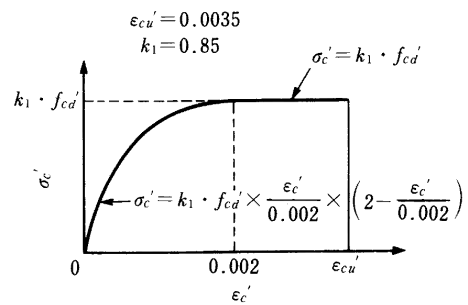


図 4・60 コンクリートのモデル化された
応力-ひずみ曲線(土木学会)

【コンクリートのヤング係数】

表 4.5 コンクリートのヤング係数¹⁴⁾

f_{ck} (N/mm ²)	18	24	30	40	50	60	70	80
E_c (kN/mm ²)	22	25	28	31	33	35	37	38
	普通コンクリート							
	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

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、コンクリートの共振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。

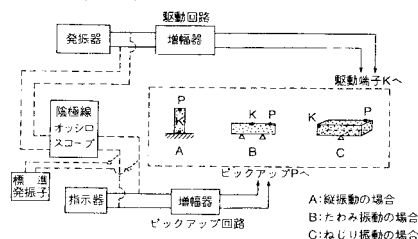
物体がHookeの法則に従う場合には静弾性係数も動弾性係数も同一であると考えられるが、コンクリートは不完全弾性体であり、共鳴のような応力0付近の測定で、しかも短時間で変化する応力であるため、動弾性係数は初期接線係数よりも幾分か大きな値となる。

- 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:

$$E_D = 4.00 \times 10^{-3} \frac{L}{A} m f_1^2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

ここに E_D : 動弾性係数 (N/mm²)、 m : 供試体の質量 (kg)、 f_1 : 縦振動の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)



弾性波速度を用いる場合:

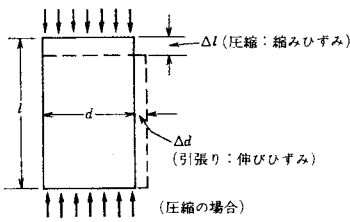
$$v = 2fl = \sqrt{\frac{E_D}{\rho}}$$

ここに E_D : 動弾性係数 (N/mm²)、 f : 共振周波数 (Hz)、 L : 供試体の長さ (mm)、 ρ : 密度

動弾性係数は、静弾性係数よりも
15%程度大きい

【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。



$$\text{ポアソン比 } \nu = \left| \frac{\Delta d / d}{\Delta l / l} \right| = \left| \frac{\epsilon_d}{\epsilon_l} \right|$$

$$\text{ポアソン数 } m = \frac{1}{\nu}$$

【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(漬け物石)の下にある漬け物が、だんだん沈んでいくようなもの。

クリープが生じる原因

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

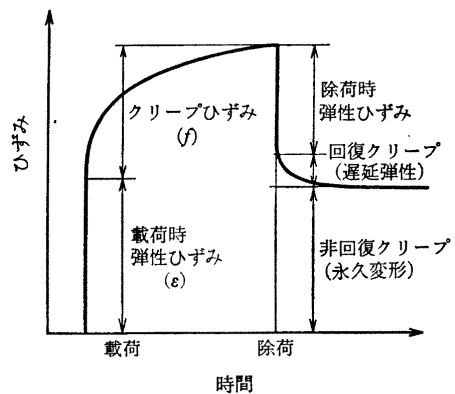


図 4.21 コンクリートのクリープ-時間曲線

クリープに影響する要因

- 載荷時の材齢
- 部材寸法
- 載荷応力
- 水セメント比
- 温度・湿度
- 骨材
- セメントの種類
- セメント中のアルカリ不純物

材齢が若いほど、部材寸法が小さいほど、載荷応力が大きいほど、温度が高いほど、湿度が低いほど、骨材量が少ないほど、C₃Sが多くC₃A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。

Davis-Glanvilleの法則:

クリープは載荷応力(静的強度の1/3以下)に比例する

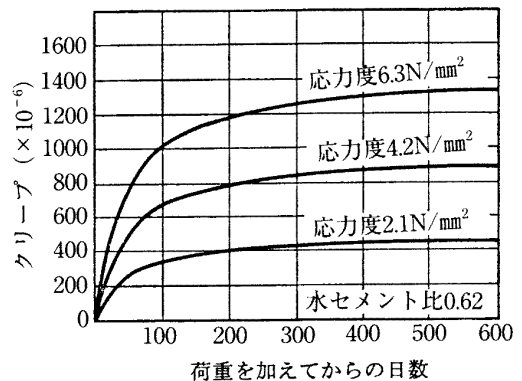


図 4.22 持続応力がクリープに及ぼす影響³⁾

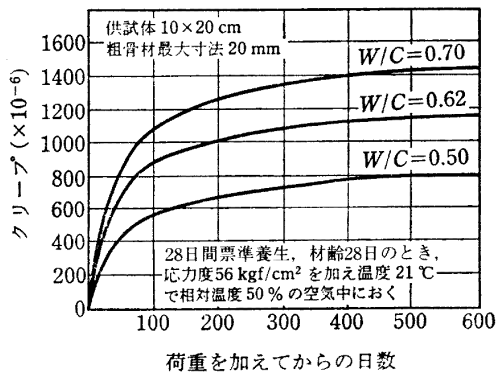


図 4.23 水セメント比とクリープとの関係³⁾

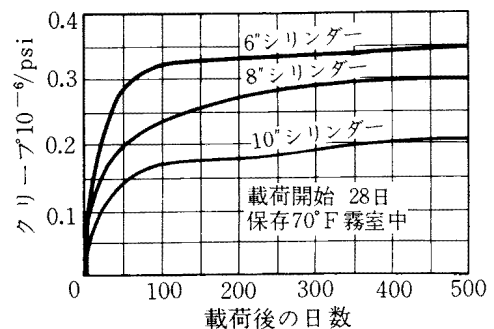


図 4.68 供試体の寸法とクリープ

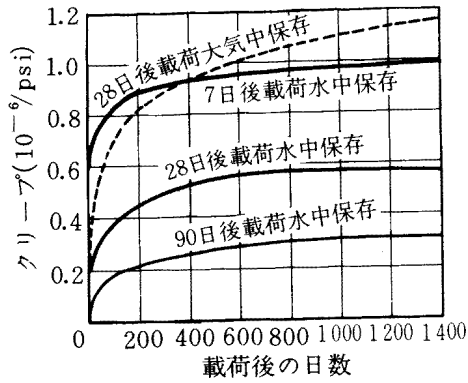


図4.69 供試体保存条件とクリープ

【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
 - 配合 (単位水量、単位セメント量、水セメント比)
 - 相対湿度と乾燥期間
 - 骨材の品質
 - 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
 - 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4.5 コンクリートの収縮ひずみ (×10⁻⁶)

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	400	350	230	200	120
屋内	730	620	380	260	130

* 設計で収縮を考慮するときの乾燥開始材齢

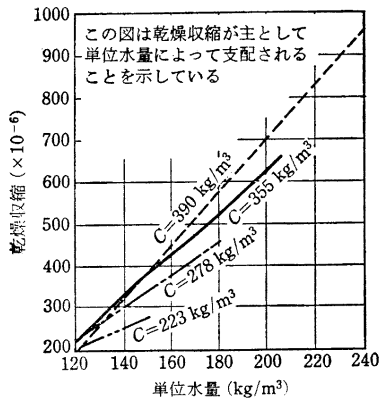


図4.25 単位水量と乾燥収縮との関係³⁾

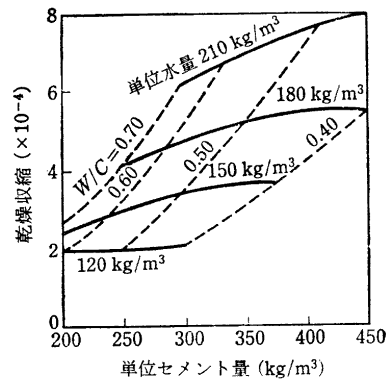


図4.26 単位セメント量の乾燥収縮への影響¹⁵⁾

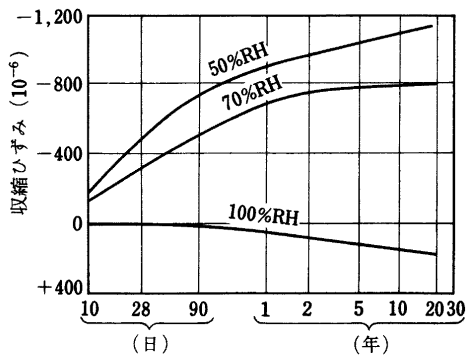


図4.38 異なる相対湿度におかれたコンクリートの収縮ひずみ

- 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潤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/ (設計では、10×10⁻⁶/)
 - 長さ10mのコンクリート版が10 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
- セメントの水和熱により40 以上も上昇することがある。

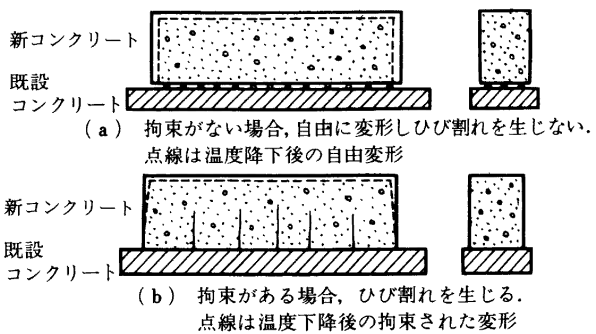


図4・41 温度ひび割れの発生機構

次回、コンクリートの配合計算法

電卓持参のこと