

コンクリートの強度

コンクリートの最も重要な特性は強度です。ここでは、まず、コンクリート強度の基本的特性について解説し、次に、呼び強度および配合強度がどのように設定されるか、について説明します。

- ・強度のメカニズム
- ・強度の影響要因
- ・強度性状
- ・構造物の強度と供試体強度
- ・配合(調合)強度と呼び強度の算定
- ・材料強度のばらつき
- ・配合強度の設定
- ・呼び強度の割増し
- ・構造体強度補正值
- ・舞鶴市および周辺部における構造体強度補正值
- ・コンクリート強度の確認方法



白鳥生コン株式会社

強度のメカニズム

コンクリートは、骨材同士をセメントペーストで結合したものです。したがって、コンクリート強度は、セメントペーストの接着力に支配されます。セメントペーストの接着力は、水セメント比(W/C、質量比)によって決められます。水セメント比が小さいほど、高濃度のセメントペーストとなり、接着力が大きくなります。よって、水セメント比が小さいほど、コンクリート強度は大きくなります。

コンクリート強度を水セメント比の逆数、セメント水比(C/W)で表すと、下図のような直線関係となることが知られています。

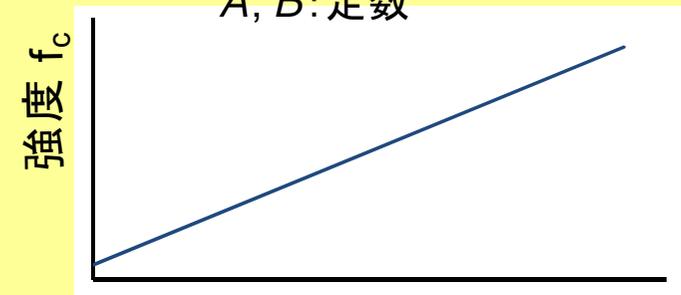
ただし、これには前提条件があります。セメントペースト強度よりも骨材自体の強度が大きい、という条件です。すなわち、

セメントペースト強度 < 骨材強度
が成立する必要があります。

破壊論から見ると、コンクリートに載荷していくとき、最初に骨材とセメントペーストの境界面にひび割れが生じ、これが引き金となってひび割れが全体に進展し、破壊に至ります。

$$f_c = A + B \cdot \frac{C}{W}$$

A, B: 定数



セメント水比 C/W

強度の影響要因

1. 材齢

コンクリート強度は、水とセメントの水和反応によって時間をかけて発現します。水が供給され続けば水和反応は進行し、時間経過とともに強度は増大していきます。しかし、コンクリート中の水が乾燥などによってなくなれば水和反応は停止します。設計や管理においては、強度は一般に材齢28日を基準にします。

2. 温度

セメントの水和反応は温度が高いほど活発となります。したがって、養生温度が高いほどコンクリート強度は大きくなります。コンクリートは-10℃で水和反応が停止します。85℃以上となると結晶が粗くなるため強度が著しく低下します。

3. 湿度

湿潤状態にあるコンクリートは水和反応が進行します。コンクリート打込み後、水和反応が十分に進行するまでの間、湿潤状態を保つことが極めて重要です。

4. 空気量

コンクリート中の空気量が多くなるほど強度は低下します。施工においてコンクリート中の空気量をできるだけ少なくなるようバイブレータで入念に締固めを行うことが重要です。AE剤を添加したコンクリートは、微小な空気が導入されることによって、施工性や凍結融解に対する抵抗性が改善しますが、強度については若干低下することを知っておくべきです。

5. セメントの種別

セメントの粒径が小さいほど、つまり、粉末度が大きいほど、水和反応は促進されます。硬化の速さはおおむね、次の順番であります。

超早強セメント > 早強セメント > 普通セメント > 高炉セメント > 中庸熱セメント

強度性状

コンクリートの強度性状は一般に次のとおりです。

- ・圧縮強度・・・18～150 N/mm²
- ・引張り強度・・・圧縮強度の1/10～1/13
- ・曲げ強度・・・圧縮強度の1/5～1/7
- ・せん断強度・・・圧縮強度の1/4～1/6

コンクリート分野において単に“強度”は圧縮強度を指します。

高強度コンクリートの定義

土木学会コンクリート標準示方書

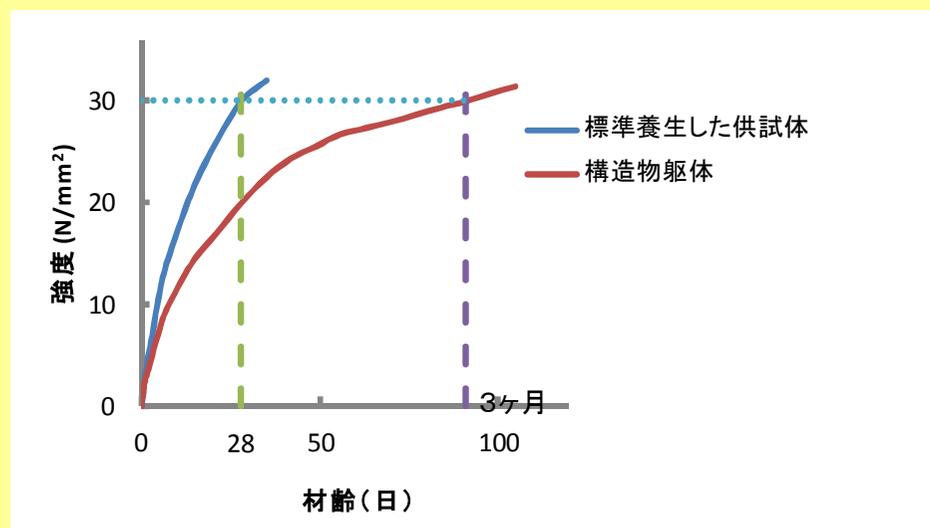
・・・設計基準強度が60 N/mm²を超えるコンクリート

日本建築学会 JASS 5

・・・設計基準強度が36 N/mm²を超えるコンクリート

構造物の強度と供試体強度

材齢3か月の構造物躯体のコンクリート強度は、標準養生した材齢28日における供試体(テストピース)の強度とほぼ等価であります。構造物は気温や乾湿などの養生条件の影響を受け、標準養生した供試体に比べ、強度発現が遅くなります。通常、構造物はコンクリート打設後約3か月で供用されます。したがって、標準養生した材齢28日における供試体強度によって構造物躯体の強度を判定することが可能であります。



コンクリート強度の推移

配合(調合)^{注)}強度と呼び強度の算定

$$\begin{array}{c} \text{配合(調合)強度} \\ \text{生コン工場が目標とする強度} \end{array} = \begin{array}{c} \text{呼び強度} \end{array} + \begin{array}{c} \text{割増し強度} \\ \text{生コン工場において設定するば} \\ \text{らつきを考慮した強度の割増し} \end{array}$$

土木学会コンクリート標準示方書では

$$\begin{array}{c} \text{呼び強度} \end{array} = \begin{array}{c} \text{設計基準強度} \end{array}$$

日本建築学会 JASS 5では

$$\begin{array}{c} \text{呼び強度} \end{array} = \begin{array}{c} \text{設計基準強度} \\ \text{(耐久設計基準強度)} \end{array} + \begin{array}{c} \text{構造体強度補正值} \\ \text{供試体と構造物の強度差を} \\ \text{考慮した割増し} \end{array}$$

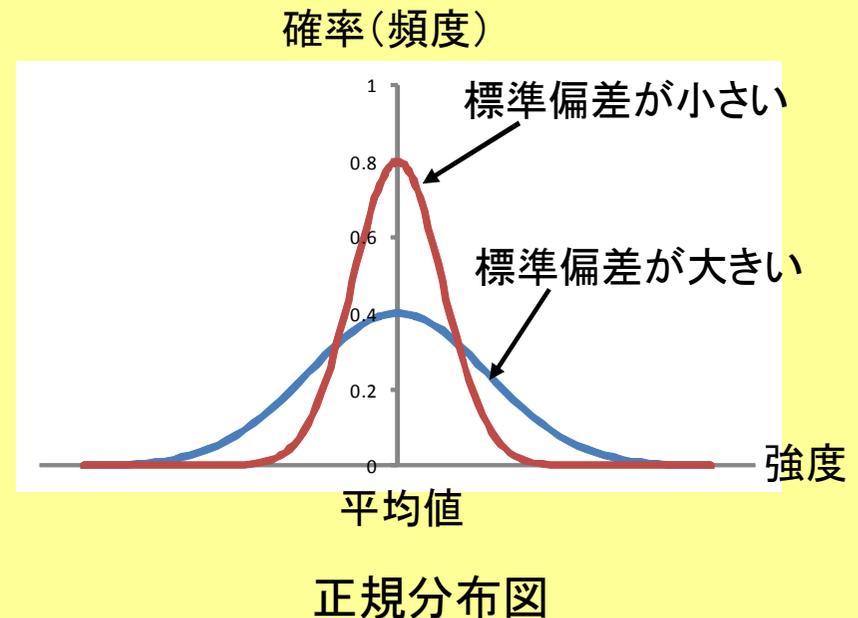
注) JISおよび土木分野では配合、建築分野では調合と呼ぶ。

材料強度のばらつき

材料強度は、同一条件下においてもバラツキが生じます。一般に、そのバラツキの分布は下図に示す正規分布で表されます。平均値が同じである二つの強度分布図を示します。山が高いほどバラツキが小さく(標準偏差が小さい)、山が低いほどバラツキが大きいく(標準偏差が大きい)ことを示しています。材料の品質変動や試験誤差などが生じるためであります。

生コン工場では、一定の確率で呼び強度を満足するよう強度を割り増すことが行われます。どの程度割り増すかは、バラツキや安全性を考慮した確率論的な取り扱いによって決められます。

標準偏差は σ (シグマ)で表されます。



配合強度の設定

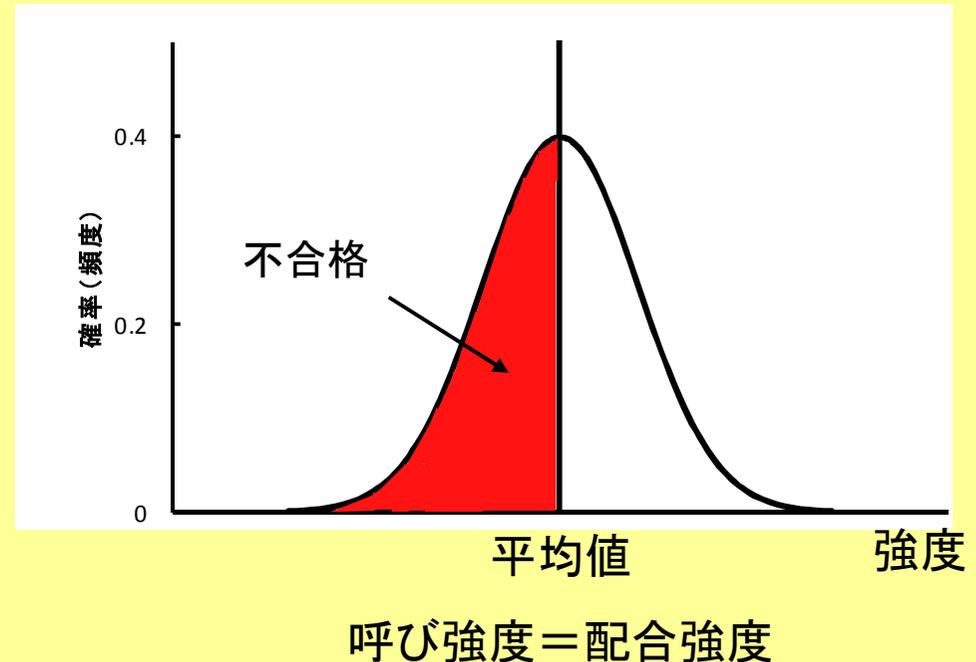
生コン工場ではコンクリートのばらつきを考慮し、呼び強度に対して練混ぜを行う際の目標強度を決める必要があります。これが配合強度です。もし、目標とする強度の平均値が呼び強度になるように設定する、すなわち、**呼び強度＝配合強度** に設定すると、下図の正規分布の平均値未満の半数は呼び強度に到達せず不合格になります(図中の赤色部)。

安全性を確保するため、呼び強度 < 配合強度となるように設定する必要があります。

$$f'_{cd} = \alpha \cdot f'_{ck}$$

ここに、 f'_{cd} : 配合強度、 f'_{ck} : 呼び強度、 α : 割増し係数 ($\alpha > 1.0$)

割増し係数 α は、確率統計論を用い、不合格となる確率(不良率)が設定できれば求められます。



呼び強度の割増し

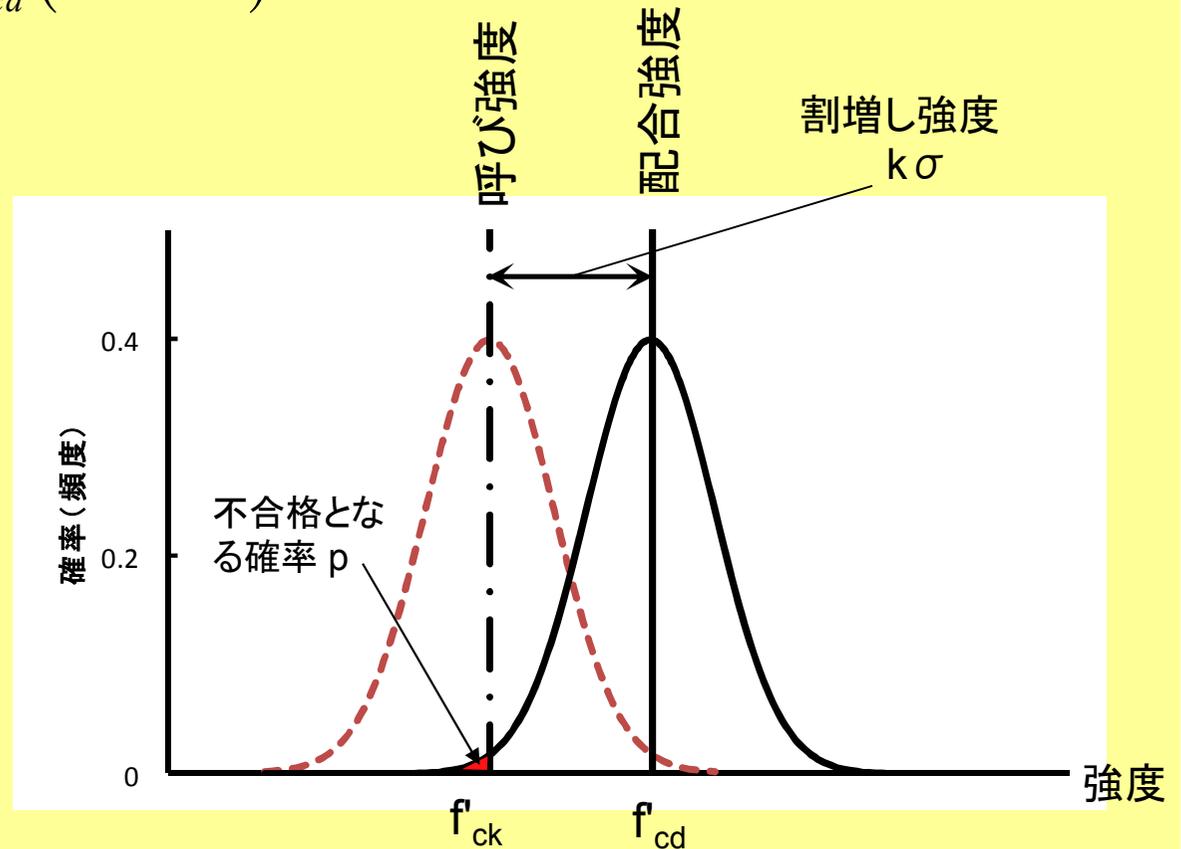
配合強度が呼び強度以下になる確率、すなわち、不合格となる確率を定めて割増強度を算定します。呼び強度、配合強度および割増し強度の関係を下図に示します。呼び強度と不合格となる確率(不良率) p を定めれば、配合強度は次のとおり求められます。

$$f'_{ck} = f'_{cd} - k \cdot \sigma = f'_{cd} (1 - k \cdot V)$$

$$\alpha = \frac{f'_{cd}}{f'_{ck}} = \frac{1}{1 - k \cdot V}$$

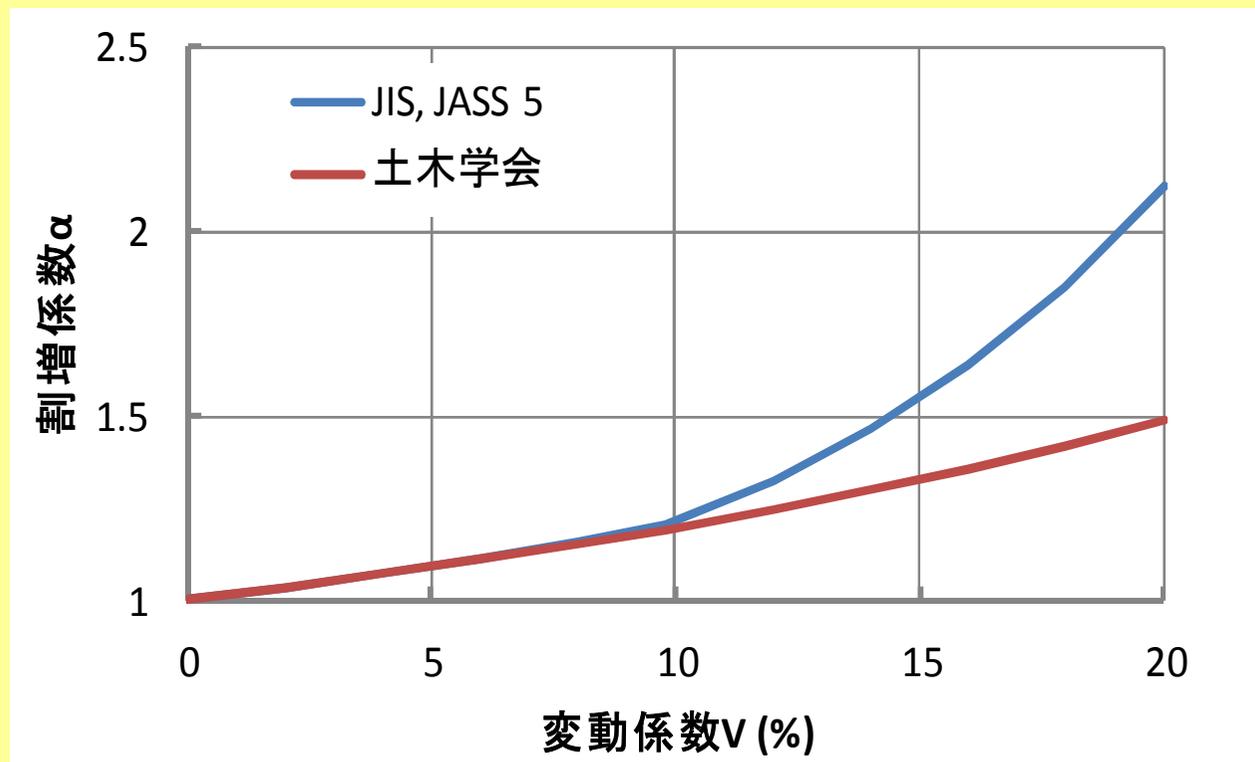
$$V = \frac{\sigma}{f'_{cd}} \times 100$$

ここに、 f'_{ck} : 呼び強度 (N/mm²)、 f'_{cd} : 配合強度 (N/mm²)、 k : 正規分布の係数、 σ : 標準偏差、 V : 変動係数(%)、 α : 割増し係数



割増し係数

割増し係数 α は、変動係数との関係においてJIS、JASS 5および土木学会示方で下図のように規定されています。JISとJASS 5は同一となっています。



構造体強度補正值 ${}_m S_n$

日本建築学会 JASS 5

セメントの種類	コンクリートの打込みから28日までの期間の予想平均気温 θ の範囲 (°C)	
早強ポルトランドセメント	$5 \leq \theta$	$0 \leq \theta < 5$
普通ポルトランドセメント	$8 \leq \theta$	$0 \leq \theta < 8$
高炉セメントB	$13 \leq \theta$	$0 \leq \theta < 13$
構造体強度補正值 ${}_{28}S_{91}$ (N/mm ²)	3	6
暑中期間における構造体強度補正值 ${}_{28}S_{91}$ は 6N/mm ²		

注 ${}_m S_n$: 標準養生した供試体の材齢m日における圧縮強度と構造体コンクリートの材齢n日における圧縮強度の差による構造体強度補正值

舞鶴市および周辺部における構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ 適応期間

構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ (N/mm ²)	6 (暑中期間)	3	6
普通ポルトランドセメント	7月13日～9月2日 $25^{\circ}\text{C} < \theta$	3月9日～7月12日 9月3日～11月17日 $8^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 25^{\circ}\text{C}$	11月18日～3月8日 $0^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 8^{\circ}\text{C}$
早強ポルトランドセメント		2月15日～7月12日 9月3日～12月12日 $5^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 25^{\circ}\text{C}$	12月13日～2月14日 $0^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 5^{\circ}\text{C}$
高炉セメントB種		9月3日～10月21日 4月4日～7月12日 $13^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 25^{\circ}\text{C}$	10月22日～4月3日 $0^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 13^{\circ}\text{C}$

θ : コンクリートの打込みから28日までの期間の予想平均気温の範囲(°C)
 予想平均気温は気象庁発表舞鶴地区日別平均気温(1971～2009)の資料により算出

JASS 5に規定された耐久設計基準強度

耐久設計基準強度とは、構造物の使用期間に応じた耐久性を確保するために必要とする圧縮強度を指します。構造物の計画供用期間の級に応じて強度を高めています。

計画供用期間の級	耐久設計基準強度(N/mm ²)
短期	18
標準	24
長期	30
超長期	36 *

* かぶり厚さを10mm増やした場合は、30 N/mm² とすることができる。

コンクリート強度の確認方法

JIS A 5308 および JASS 5 の場合

- (1) 1回の試験結果は、呼び強度の85%以上でなければならない。
- (2) 3回の試験結果の平均値は、呼び強度以上でなければならない。

土木学会コンクリート標準示方書の場合

3回の試験結果の平均値は、呼び強度を下回る確率が5%以下であること。