7. フレッシュコンクリートの性質(2)

(4) 材料分離（segregation）とブリーディング（bleeding）

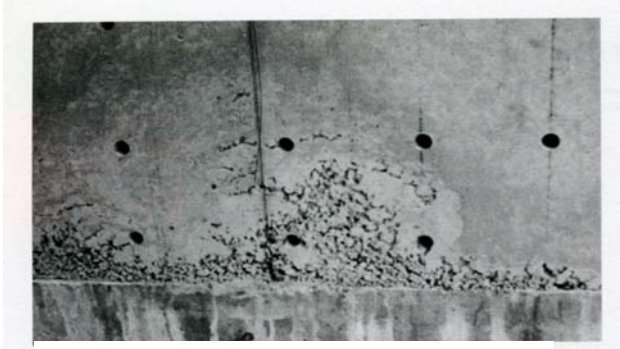
・コンクリートは、セメント、水、細骨材、粗骨材から成るが、その構成材料の大きさや密度が異なっている。したがって、フレッシュ時には密度の大きな骨材が沈降し、密度の小さい水がコンクリート中で上昇することは自然である。これを制御するため、コンクリートには適度な粘性が必要となる。

・コンクリート中で粗骨材が沈降し、コンクリート中に偏在して、モルタル分とバラバラになることを材料分離と称する。

・コンクリートに粘性を付与するには、細骨材、粉体、セメント等の量を増加させることが効果的。増粘剤の使用も有効。

・材料分離は、施工法にも依存する。打込み時にコンクリートを高いところから落下させたり、過度に振動締固めを行なう（長時間、振動締固めを行なう）と、材料分離が生じる。その結果、ジャンカや豆板が生じる場合がある。

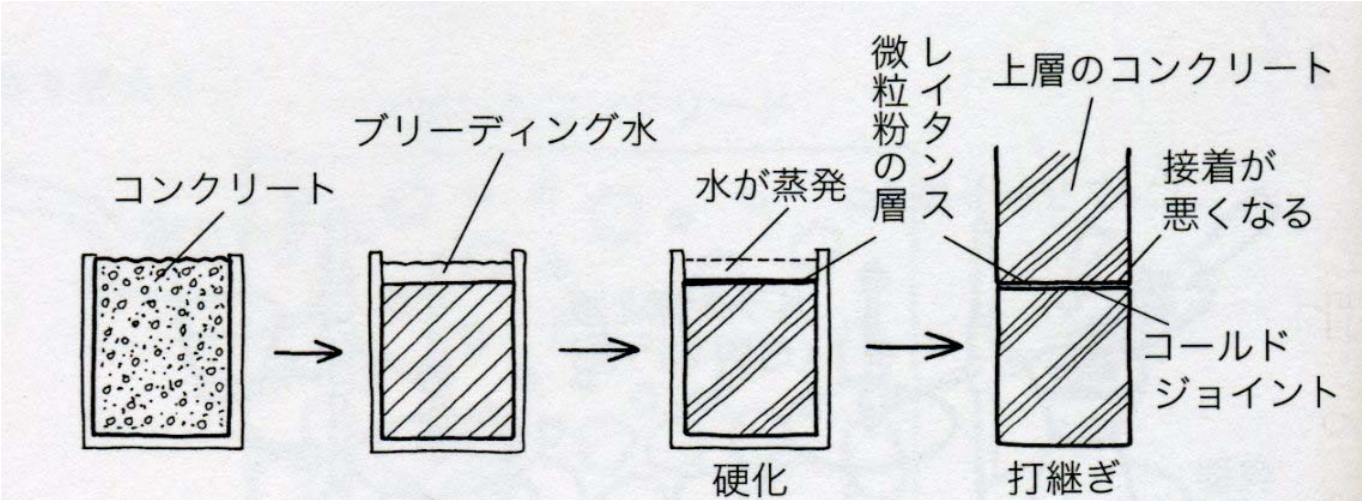
・水がコンクリート中を上昇し、コンクリート表面や、大きな骨材や鋼材の下に溜まる現象をブリーディングと称する。



ジャンカの事例

・ブリーディングは打込み後、数10分から数時間で発生する。これは程度の差はあるが、ほとんどのコンクリートで生じる現象である。

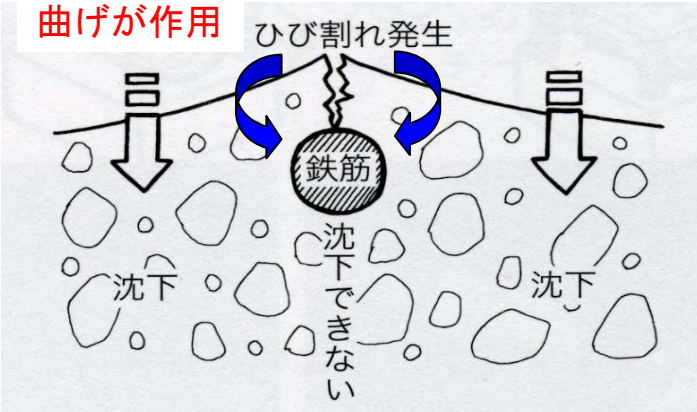
・ブリーディング水はコンクリート中の微粒分を含んでおり、蒸発すると、キラキラ光るレイタンスを残す。このレイタンスを取り除かないで次のコンクリートを打込むと接着が悪くなって、コールドジョイントを生じる。



レイタンスによる接着不良の模式図

・レイタンスを取り除かないで、コンクリートを打継ぐとコンクリートジョイントが生じる。

・ブリーディング後、コンクリート表面はブリーディング水が抜けた分だけ沈下する。この沈下が自由であれば、コンクリートにはひび割れは生じない。しかし、沈下が鉄筋などによって拘束されると、コンクリートにはひび割れが生じる。このひび割れを「沈下ひび割れ」というが、沈下ひび割れは、表面ならしをして、1~2時間後に表面を軽く叩いて、再仕上げすることにより（tamping）、完全に修復できる。



8. コンクリートの配合設計

(1) 配合設計とは：

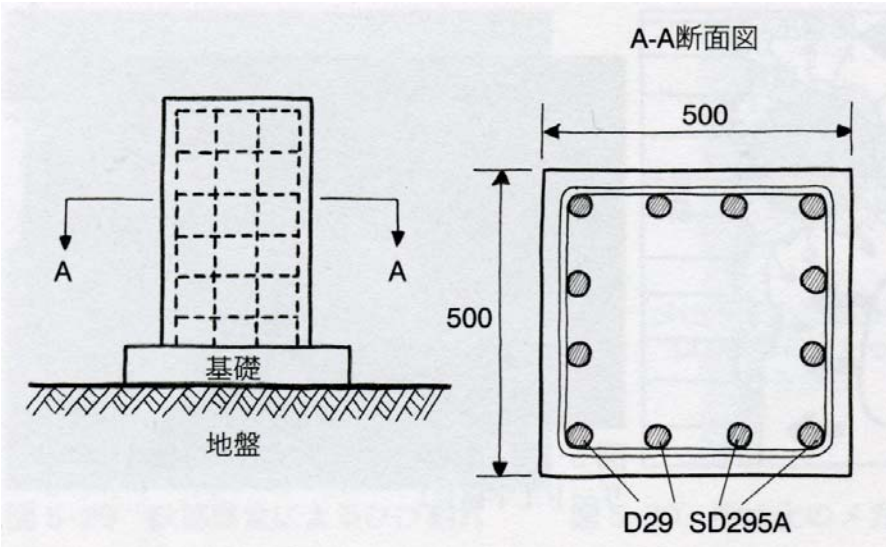
・コンクリートを構成する水、セメント、細骨材、粗骨材、混和材料の比率を決定すること。

・通常は、コンクリート 1m^3 を構成する材料の質量（kg）で表す。これらを「単位〇〇量」と言う。

例）単位水量、単位セメント量など（〇〇kg/m^3）

(2) 例題

・図のような柱状のコンクリート構造物を施工することを考える。ただし、条件は表の通り。



施工する鉄筋コンクリート柱

配合設計の条件

対象構造物	鉄筋コンクリート角柱（部材最小寸法500mm、鉄筋の最小あき50mm、かぶり50mm）
設計基準強度	f_{ck} ＝ 24N/mm^2
環境条件	暖地の内陸部にあり、気温が氷点下になることはほとんどない
使用材料の性質	
セメント	普通ポルトランドセメント（密度：3.15g/cm^3）
細骨材	陸砂（F.M.：2.70、密度：2.62g/cm^3）
粗骨材	砕石（密度：2.67g/cm^3、G_{max} ＝ 20mm）
混和剤	AE 減水剤
強度とセメント水比との関係式	f_c ＝ － 12.21 ＋ 21.42 × C/W
変動係数	V ＝ 10%

(3) 粗骨材最大寸法、空気量、スランプの決定

・粗骨材の最大寸法G_{max}を大きくすることは、コンクリート中のセメントペースト量を減少させるので、単位水量の増加に伴うコンクリートの品質低下を抑制でき、一般には良い傾向となる。しかし、鉄筋の「あき」やかぶりを骨材が通過できず、詰まるようでは問題となる。Gmaxは一般の部材で 20mm あるいは 25mm、断面が大きい場合で 40mm くらいが普通である。ただし、ダムなどではもっと大きな骨材を使用することが普通である。今回は一般の場合と考えて、G_{max}=20mmとする。

粗骨材の最大寸法

構造物種類	粗骨材の最大寸法（mm）
一般の場合	20 または 25
断面が大きい場合	40
無筋コンクリート	40 部材最小寸法の 1/4 を超えてはならない

（出典：『コンクリート標準示方書』土木学会）

・空気量は、凍結融解 が問題となる場合は、凍結時の水の膨張圧の緩和のため、十分に確保しておくことが基本である。しかし、空気量が多いとその分、強度が低下することになるので注意を要する。通常は 4～7% 程度であり、寒冷地ではやや大きめとする。今回は、「暖地の内陸部で、気温が氷点下となることがほとんどない」ことから、空気量を5%とする。

・スランプは、軟らかいほど打込みや締固め作業はしやすいが、反面、粘性を失って分離しやすくなる。スランプは、対象とする部材の特徴を考え、分離しない範囲でできるだけ軟らかくなるように設定するのがよい。8cmに固定する必要はない。

・スランプの標準値が示方書に与えられている。一般の鉄筋コンクリートで通常のコンクリートとする場合は、標準値は 5~12cm となっている。そこで今回はやや軟らかめの10cmとすることとする。

スランプの標準値

種類		スランプ（cm）	
		通常のコンクリート	高性能 AE 減水剤を用いたコンクリート
鉄筋コンクリート	一般の場合	5 ～ 12	12 ～ 18
	断面の大きい場合	3 ～ 10	8 ～ 15
無筋コンクリート	一般の場合	5 ～ 12	—
	断面の大きい場合	3 ～ 8	—

（出典：『コンクリート標準示方書』土木学会）

(4) 水セメント比W/Cの決定

・水セメント比（W/C、水とセメントの質量比）はコンクリートの強度に直接関係する。C/Wはセメント水比。このことは水セメント比説、水セメント比法則などと呼ばれる。

・C/Wとコンクリートの圧縮強度 f_c' が線形の関係にあることが知られている。この場合は、

$$f_c' = -12.21 + 21.42\ (C/W) \qquad \text{式(8.1)}$$

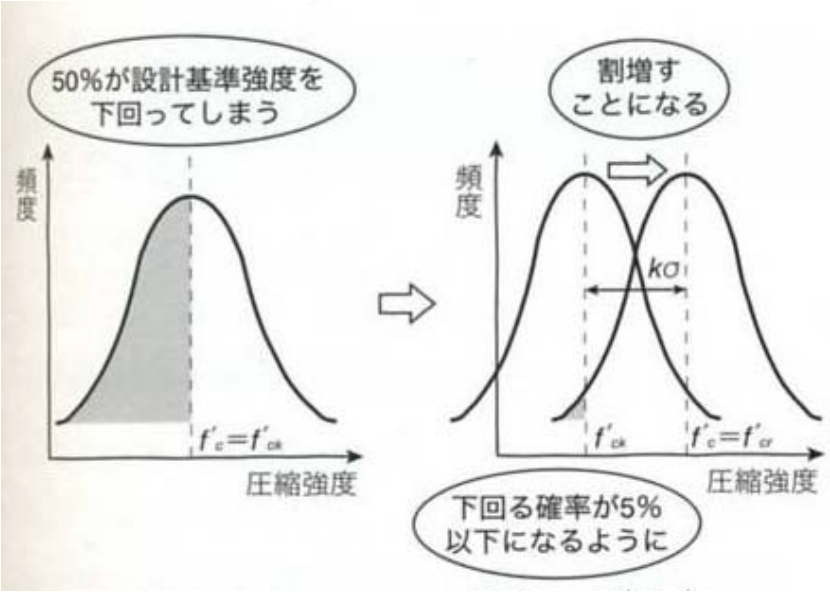
が与えられている。

・今回の設計基準強度は $f_{ck}' = 24\ N/mm^2$ である。

・式(8.1)のf_c'は平均値（平均強度）、f_{ck}'は設計基準強度（強度の特性値）。

・特性値を下回る強度が発生する確率（危険確率）を5%以下にすることが求められている。したがって、平均値（平均強度）はf_{ck}'=24N/mm^{2}を上回るようにする。

・配合設計で目標とする強度（配合強度）をf_{cr}'とすると、$f_{cr}' = \alpha f_{ck}'$ とする（α は割増係数）。



・目標強度（配合強度）を設計基準強度とすると得られた強度の50%は設計基準強度を下回る。したがって、ほとんどの強度が設計基準強度を上回るように、目標強度（配合強度）を設計基準強度よりも大きく設定する。

・一般に危険確率は5%とする。

・割増係数αは以下のように求められる。ただし、圧縮強度試験値の分布が平均 f_{cr}' で、標準偏差σ、変動係数Vの正規分布にしたがうとする。

$$f_{ck}' = f_{cr}' - k\sigma = f_{cr}'(1 - k\sigma / f_{cr}') = f_{cr}'(1 - kV/100)$$

$$\alpha = 1/(1 - kV/100)$$

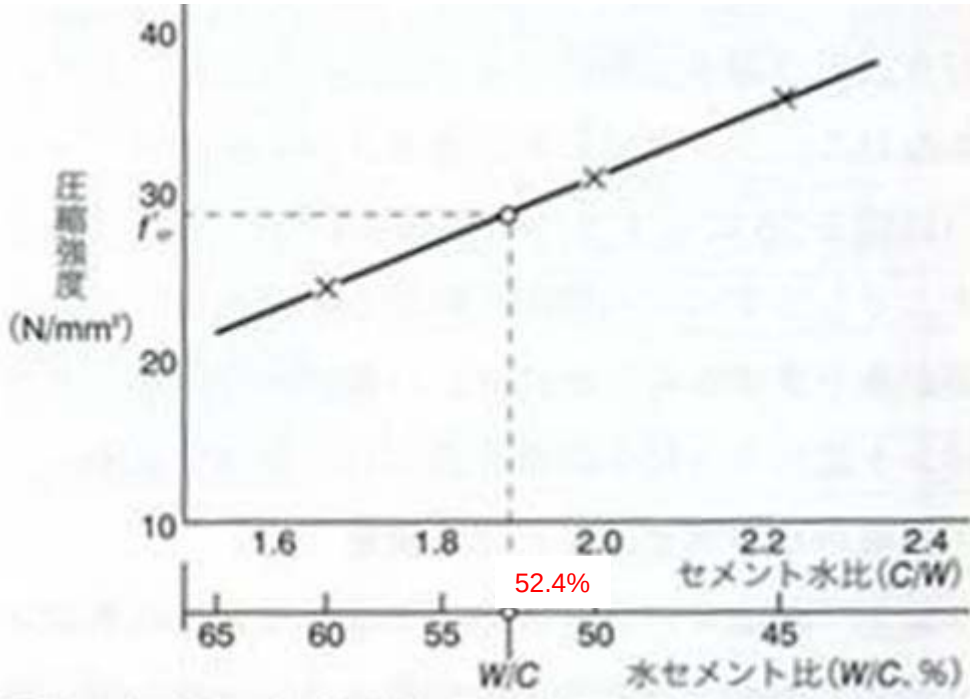
・正規分布における危険確率5%に対応するk値は1.64、コンクリートの圧縮強度の変動係数が10%であると与えられているので、αは1.196となる。したがって、配合強度は、

$$f_{cr}' = \alpha f_{ck}' = 1.196 \times 24 = 28.7\text{N/mm}^2$$。

・したがって、対応する水セメント比W/Cは、

$$28.7 = -12.21 + 21.42\,(C/W)$$

$$\therefore W/C = 52.4\%$$



水セメント比、セメント水比と圧縮強度の関係

・設計基準強度から、必要とされる水セメント比W/Cが決定できた。

・ただし、コンクリートの水セメント比は硬化したコンクリートの耐久性や水密性にも関係する重要な要因である。強度から得られた水セメント比が、これらの硬化後のコンクリート特性を発揮するのに十分か否かを検討しておくことが必要である。

・耐久性から決まる水セメント比の上限値は表に示される通り。耐久性の面から求められる水セメント比の上限値はこの場合65%であり、強度から決まる52.4%はこれより小さい。したがって、水セメント比は52.4%とする。

凍結融解抵抗性に基づいてW/Cを決める場合のAEコンクリートのW/Cの最大値

	気象条件	気象作用が激しい場合、または凍結融解がしばしば繰り返される場合		気象作用が激しくない場合、氷点下の気温となることがまれな場合	
	断面	薄い場合*2	一般の場合	薄い場合*2	一般の場合
構造物の露出状態	(1) 連続してあるいはしばしば水で飽和される場合*1	55	60	55	65
	(2) 普通の露出状態にあり、(1)に属さない場合	60	65	60	65

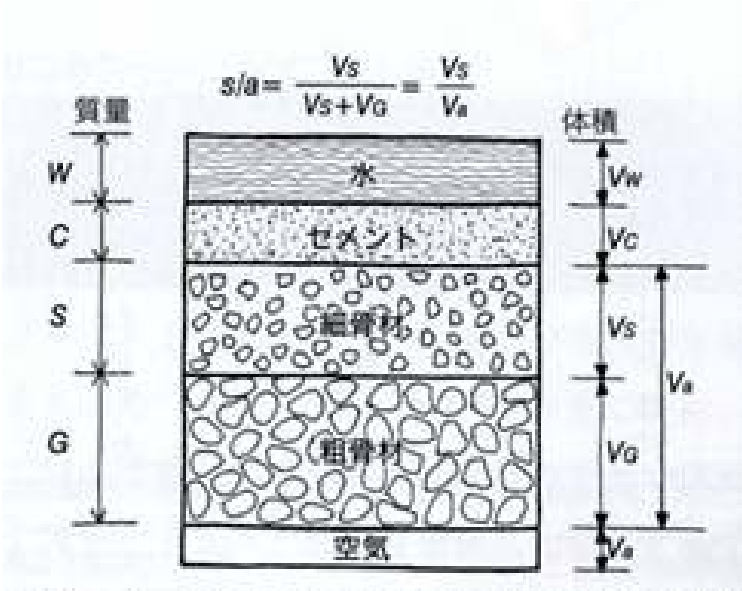
*1: 水路、水槽、橋台、橋脚、擁壁、トンネル覆工等で水面に近く水で飽和される部分および、これらの構造物のほか、桁、床版等で水面から離れてはいるが融雪、流水、水しぶき等のため、水で飽和される部分など

*2: 断面厚さが20cm程度以下の構造物の場合など

(出典:『コンクリート標準示方書』土木学会)

(5) 単位水量Wおよび細骨材率s/aの決定

- 単位水量Wはコンクリート1m^{3}中の水の質量。単位セメント量Cは同じく、セメントの質量。
- 細骨材率s/aは骨材中で細骨材が占める体積の割合。
- 単位水量は強度、耐久性の面からできるだけ小さくするのが原則。W/Cが一定であれば強度は同じであるが、Wを増加させるとCも増加する。これは水和熱の増加となり、ひび割れ発生の要因となる。
- ただし、コンクリートの軟らかさと単位水量は密接に関係する。ワーカビリティーを確保した上で、単位水量をできるだけ小さくする。



細骨材率の概念図

- 細骨材の量はコンクリートの粘性に関係する。分離抵抗性がアップする。したがって、この値を極端に低下させないことが肝要。土木学会ではG_{max}に応じて、s/aとWの推奨値を示している。

粗骨材の最大寸法 (mm)	単位粗骨材容積 (%)	AEコンクリート				
		空気量 (%)	AE剤を用いる場合		AE減水剤を用いる場合	
			細骨材率 s/a (%)	単位水量 W (kg)	細骨材率 s/a (%)	単位水量 W (kg)
15	58	7.0	47	180	48	170
20	62	6.0	44	175	45	165
25	67	5.0	42	170	43	160
40	72	4.5	39	165	40	155