

コンクリートの性質 第10回

コンクリートの配合設計



【配合】

コンクリートを作るとき各材料の割合または使用量

* 建築では、調合

配合設計：設定されたコンクリートの性能を満足するように材料とその配合を定める一連の作業

土木学会コンクリート標準示方書「施工編：本編」
(2012年制定)

「コンクリートの配合は、所要の性能を満足するように、製造プラントの制約条件および材料入手のし易さや輸送コストを含めた経済性を考慮して、これを定めなければならない。」

性能規定型

土木学会コンクリート標準示方書「施工編：施工標準」
(2012年制定)

4章 総則

(1) 配合設計においては、所要のワーカビリティ、設計基準強度および耐久性を満足するように、コンクリートのスランプ、配合強度、水セメント比等の配合条件を明確に設定した上で、使用材料の各単位量を定めなければならない。

(2) コンクリートの配合は、要求される性能を満足する範囲内で、単位水量をできるだけ少なくするように定めなければならない。

示方配合：コンクリートの練上がり1m³(=1000リットル)の材料使用量で表したもの

配合の表し方

表 5.9 示方配合の表し方

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 ¹⁾ W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
					水 W	セメント C	混和材 ²⁾ F	細骨材 S	粗骨材 G mm mm	混和剤 ³⁾	

注 1) ボロン反応性や潜在水硬性を有する混和材を使用するとき、水セメント比は水結合材比となる。
2) 同種類の材料を複数種類用いる場合は、それぞれの欄を分けて表す。
3) 混和剤の使用量は、cc/m³またはg/m³で表し、薄めたり溶かしたりしないものを示すものとする。

* 英字：

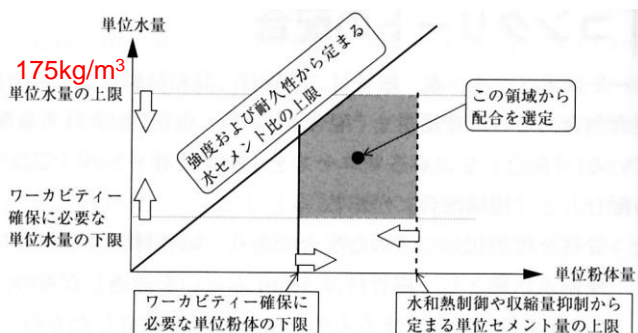
大文字 → 質量

小文字 → 容積

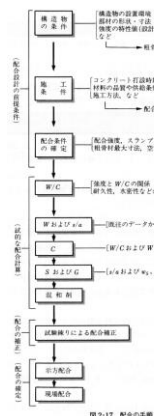
s/aは容積比である。

【配合設計の進め方】

配合選定の考え方



【配合設計の進め方】



【粗骨材最大寸法の選定】

表 5.2 粗骨材の最大寸法の標準^{3,4)}

構造物の種類	粗骨材の最大寸法	
鉄筋コンクリート	一般の場合	20 または 25 mm
	断面の大きい場合	40 mm
無筋コンクリート	40 mm 部材最小寸法の 1/4 を越えてはならない	
舗装コンクリート	40 mm 以下	
ダムコンクリート	150 mm 程度以下	

最大寸法が大きいほど、同一スランプを得るのに必要な単位水量が少なくなる。

【空気量の選定】

激しい気象作用を受ける場合は、AE剤、AE減水剤を用いたAEコンクリートとし、空気量は、コンクリートの容積の4~7%を標準とする。

空気量は、運搬、振動、締固めなどによって1/5前後減少するので、大きめの値とする。

舗装コンクリートでは、4%を標準

ダムコンクリート(40mmでウェットスクリーニングした試料)では、5.0±1.0%を標準

【スランプの選定】

表 5.3 フレッシュコンクリートのスランプの標準^{3,4)}

構造物の種類		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 cm	12~18 cm
	断面の大きい場合	3~10 cm	8~15 cm
無筋コンクリート	一般の場合	5~12 cm	—
	断面の大きい場合	3~8 cm	—
舗装コンクリート		2.5 cm (沈下度では 30 秒)	
ダムコンクリート		2~5 cm (40 mm 以上の粗骨材を取り除いたもの)	

コンクリートのスランプは、作業に適する範囲内で行うことができるだけ小さくする。

【配合強度の計算】

設計基準強度 f'_{ck} : 構造計算において基準とするコンクリートの強度

配合強度 f'_{cr} : コンクリートの配合を決める場合に目標とする強度

割増し係数: 配合強度を定める際に、品質のばらつきを考慮し、設計基準強度に乗じる係数

$$f'_{cr} = \text{割増し係数} \times f'_{ck}$$

割増し係数の求め方

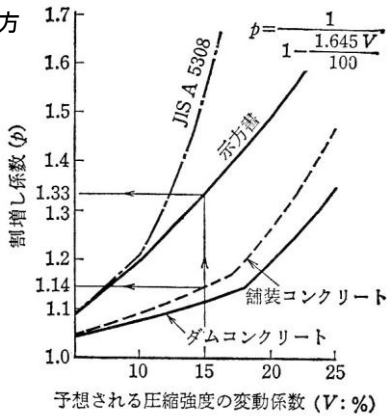


図 5.2 コンクリートの配合設計における強度の変動係数と割増し係数

表 5.4 舗装版の種類と割増し係数⁴⁾

変動係数 (%)		10	12.5	15
道路舗装	割増し係数 (α)	1.09	1.12	1.14
空港舗装	割増し係数 (α)	1.21	1.36	1.55

【水セメント比の選定】

(1) 配合強度とセメント水比から求める場合

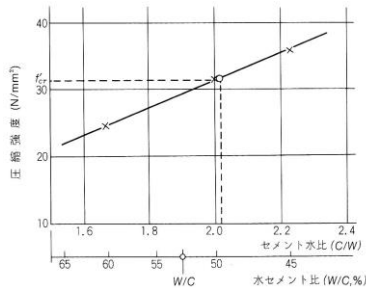


図 5.2 圧縮強度とセメント水比 (水セメント比) との関係の例

上図のような、水セメント比と圧縮強度との関係式を用いる (セメント水比説)

$$f'_{cr} = A \left(\frac{C}{W} \right) + B \quad A, B: \text{定数}$$

使用するセメントに対して、上式を予め求めておく。

(2) 耐久性を基にして水セメント比を定める場合
原則 65% 以下とする。

a) 耐凍害性を基にして水セメント比を定める場合
i) 一般のコンクリート

表 5.5 コンクリートの耐凍害性をもとにして水セメント比を定める場合における AE コンクリートの最大の水セメント比 (%)³⁾

構造物の露出状態	断面	気象条件		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	
		薄いつり ¹⁾	一般の場合	薄いつり ¹⁾	一般の場合
(1) 連続してあるいはしばしば水で飽和される部分 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、トンネル覆工など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、床版などで水面から離れてはいるが融雪、流水、水しぶきなどのため、水で飽和される部分。

²⁾ 断面の厚さが 20 cm 程度以下の構造物の部分。

ii) 海洋コンクリート

表 5.6 海洋コンクリートにおける耐久性から定まる AE コンクリートの最大の水セメント比 (%)³⁾

施工条件	工場製品または材料の選定および施工において、工場製品と同等以上の品質が保証される場合	
環境区分	一般の現場施工の場合	
(a) 海上大気中	45	50
(b) 飛沫帯	45	45
(c) 海中	50	50

・実績、研究成果などにより確かめられたものについては、耐久性から定まる最大の水セメント比を、表 5.6 の値に 5~10 程度を加えた値としてよい。

iii) 舗装コンクリート

表 5.7 舗装コンクリートで耐久性をもとにして水セメント比を定める場合の最大水セメント比 (%)⁴⁾

(1) 特に厳しい気候で凍結融解がしばしば繰り返される場合	45
(2) 凍結融解がときどき起こる場合	50

iv) ダムコンクリート

表 5.8 ダムコンクリートで耐久性をもとにして水セメント比を定める場合の AE コンクリートの最大水セメント比 (%)³⁾

気象作用が激しい場合、凍結融解がしばしば繰り返される場合	60
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	65

b)化学作用に対する耐久性を基にして水セメント比を定める場合

&

硫酸根として0.2%以上の硫酸塩を含む水や土壌に接する場合

表 5.6 海洋コンクリートにおける耐久性から定まる AE コンクリートの最大の水セメント比 (%)³⁾

環境区分	施工条件 一般の現場施工の場合	工場製品または材料の選定および施工において、工場製品と同等以上の品質が保証される場合	
		水セメント比 (%)	水セメント比 (%)
(a) 海上大気中	45	50	50
(b) 飛沫帯	45	45	45
(c) 海中	50	50	50

・実績、研究成果などにより確かめられたものについては、耐久性から定まる最大の水セメント比を、表 5.6 の値に 5~10 程度を加えた値としてよい。

(3)水密性を基にして水セメント比を定める場合

55%以下を基本とする

ただし、海洋構造物に用いる鉄筋コンクリートでは、下表に従う。

表 5.7 舗装コンクリートで耐久性をもとにして水セメント比を定める場合の最大水セメント比 (%)⁴⁾

(1) 特に厳しい気候で凍結融解がしばしば繰り返される場合	45
(2) 凍結融解がときどき起こる場合	50

以上より、水セメント比は、

①配合強度、②耐久性、③水密性の3通りから算出される。

水セメント比は、**最小のもの**を採用する

【単位水量Wおよび細骨材率s/aの選定】

表 5.9 コンクリートの単位粗骨材容積、細骨材率、単位水量の概略値

粗骨材最大寸の法 (mm)	単粗骨材容積 (%)	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

・この表に示す値は、全国の生コンクリート工業組合の標準配合などを参考にして決定した平均的な値で、骨材として普通の粒度の砂(粗粒率 2.80 程度)および砕石を用い、水セメント比 0.55 程度、スランブ約 8 cm のコンクリートに対するものである。使用材料またはコンクリートの品質がこの条件と相違する場合には、上記の表の値を下記により補正する。

区分	s/aの補正 (%)	Wの補正
砂の粗粒率が0.1だけ大きい(小さい)ごとに	0.5だけ大きく(小さく)する	補正しない
スランブが1cmだけ大きい(小さい)ごとに	補正しない	1.2%だけ大きく(小さく)する
空気量が1%だけ大きい(小さい)ごとに	0.5~1だけ小さく(大きく)する	3%だけ小さく(大きく)する
水セメント比が0.05大きい(小さい)ごとに	1だけ大きく(小さく)する	補正しない
s/aが1%大きい(小さい)ごとに		1.5 kgだけ大きく(小さく)する
川砂利を用いる場合	3~5だけ小さくする	9~15 kgだけ小さくする

・なお、単位粗骨材容積による場合は、砂の粗粒率が0.1だけ大きい(小さい)ごとに単位粗骨材容積を1%だけ小さく(大きく)する。

配合設計例

《問題》

下記の条件でコンクリートの配合設計を行い、示方配合を示せ。

配合条件(フレッシュ性状、使用材料ならびに強度とC/Wとの関係)

- ・気象条件 : 気象条件の激しい場所、普通の露出状態
- ・対象構造物 : 鉄筋コンクリート擁壁 (最小寸法 25 cm、鉄筋の最小あき 7 cm)
- ・設計基準強度 : 21 N/mm²
- ・強度の変動係数 : 15 %
- ・セメント : 普通ポルトランドセメント(密度 3.15 g/cm³)
- ・細骨材 : 川砂(密度 2.61 g/cm³、粗粒率 2.70)
- ・粗骨材 : 砕石(密度 2.60 g/cm³)
- ・AE剤 : セメント 1kgあたり 0.1% 使用する。(密度 1.0 g/cm³)

・強度 f'_{ck} と C/W との関係 : $f'_{ck} = -18 + 25 \left(\frac{C}{W} \right)$

- 粗骨材最大寸法 : 鉄筋コンクリートの一般の場合に準じ、25mmとする。
- スランブ : 5~12cmの範囲で10cmとする
- 空気量 : 5%とする

表 5.9 コンクリートの単位粗骨材容積、細骨材率、単位水量の概略値

粗骨材最大寸の法 (mm)	単粗骨材容積 (%)	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

・この表に示す値は、全国の生コンクリート工業組合の標準配合などを参考にして決定した平均的な値で、骨材として普通の粒度の砂(粗粒率 2.80 程度)および砕石を用い、水セメント比 0.55 程度、スランブ約 8 cm のコンクリートに対するものである。使用材料またはコンクリートの品質がこの条件と相違する場合には、上記の表の値を下記により補正する。

4.水セメント比の決定

(1)配合強度をもとにする場合
変動係数15%より、割増し係数は1.33

$$f'_{cr} = 21 \times 1.33 = 27.9$$

$$27.9 = -18 + 25 \left(\frac{C}{W} \right) \rightarrow \frac{W}{C} = \frac{25}{(27.9 + 18)} = 0.54$$

(2)耐久性をもとにする場合

気象条件が激しい場合、普通の露出状態で断面が一般の場合

$$\frac{W}{C_{max}} = 0.65$$

(3)水密性をもとにする場合

$$\frac{W}{C_{max}} = 0.55$$

最小のW/C
0.54

表5.9から

初期値は、

W/C=0.55
粗粒率2.80
スランプ8.0cm
s/a=42
W=170
空気量5.0



以下の配合条件に修正

W/C=0.54
粗粒率2.70
スランプ10.0cm
s/a=?
W=?
空気量5.0

次に、Wとs/aを補正していく。

区分	差	s/aの補正	Wの補正
粗粒率 (2.80→2.70)	-0.1	$\frac{-0.1}{0.1} \times 0.5 = -0.5$	-
スランプ (8→10)	+2	-	$+\frac{2}{1} \times 1.2 = +2.4$
空気量 (5→5)	0	-	-
W/C (0.55→0.54)	-0.01	$\frac{-0.01}{0.05} \times 1 = -0.2$	-
増減量		$\Delta s/a = -0.5 - 0.2 = -0.7\%$	$\Delta W = 2.4\%$
補正後の値		$s/a = 42 - 0.7 = 41.3 = 41\%$	$W = 170 \times (1 + 0.024) = 174$

セメント量 $\frac{W}{C} = 0.54$ より、 $C = \frac{174}{0.54} = 322$

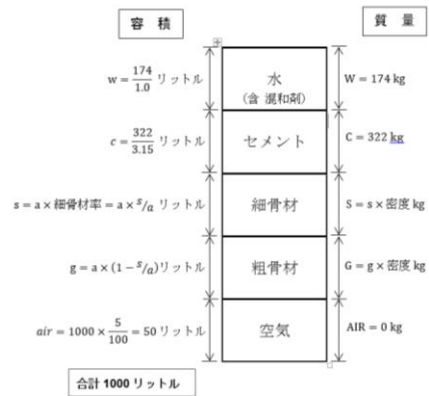
骨材の容積

$a = 1000$ リットル - 水の容積 - セメントの容積 - 空気の容積
 $= 1000 - \frac{174}{1.0} - \frac{322}{3.15} - 50 = 674$

細骨材量 $S = 674 \times 0.41 \times 2.61 = 721$

粗骨材量 $G = 674 \times (1 - 0.41) \times 2.60 = 1034$

AE剤量 $Ad. = 322 \times \frac{0.1}{100} = 0.322$



骨材の容積 (絶対容積) $a = 1000 - \text{水の容積} - \text{セメントの容積} - \text{空気の容積}$ リットル

計算結果をまとめると、以下になる。

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメン ト比 ¹⁾ W/C (%)	空気量 (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)							
					水		セメント		混和材 ²⁾		粗骨材 G mm	混和剤 ³⁾
					W	C	F	S	mm	mm		
25	10	54	5	41	174	322	/	721	1034	0.322		

【単位水量および細骨材率の選定】

表 5.9 コンクリートの単位粗骨材容積，細骨材率，単位水量の概略値

粗骨材寸法の法 (mm)	単粗骨材容積 (%)	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

- ・この表に示す値は，全国の生コンクリート工業組合の標準配合などを参考にして決定した平均的な値で，骨材として普通の粒度の砂（粗粒率 2.80 程度）および碎石を用い，水セメント比 0.55 程度，スランプ約 8 cm のコンクリートに対するものである．使用材料またはコンクリートの品質がこの条件と相違する場合には，上記の表の値を下記により補正する．

区 分	s/a の補正 (%)	W の補正
砂の粗粒率が 0.1 だけ大きい (小さい) ごとに	0.5 だけ大きく (小さく) する	補正しない
スランプが 1 cm だけ大きい (小さい) ごとに	補正しない	1.2% だけ大きく (小さく) する
空気量が 1% だけ大きい (小さい) ごとに	0.5~1 だけ小さく (大きく) する	3% だけ小さく (大きく) する
水セメント比が 0.05 大きい (小さい) ごとに	1 だけ大きく (小さく) する	補正しない
s/a が 1% 大きい (小さい) ごとに		1.5 kg だけ大きく (小さく) する
川砂利を用いる場合	3~5 だけ小さく する	9~15 kg だけ 小さくする

- ・なお，単位粗骨材容積による場合は，砂の粗粒率が 0.1 だけ大きい (小さい) ごとに単位粗骨材容積を 1% だけ小さく (大きく) する．