

コンクリート施工のポイント⑤ [最終回]

コンクリート構造物の要求性能と配合設計

広島工業大学 教授
工学博士 十河茂幸

前号では初期ひび割れについて解説した。今号はコンクリート構造物に求められる性能とそのため
の配合設計について概説する。

1 はじめに

道路、鉄道、水処理施設、エネルギー施設などの社会資本整備に使用されるコンクリート構造物は、それぞれの要求性能をもつ。たとえば、大地震に耐える構造安全性、安心して供用できる使用性、長期間の供用ができる耐久性、そのほか、環境への影響や美観・景観に優れるなどが、構造物の性能として求められる。

とりわけコンクリートを材料として使用する場合は、耐久性は重視される。それは、コンクリートは重量を活かした使い方ができ、圧縮強度が大きく、また自由な形状にしやすいなど利点をもつが、反面、壊すには手間がかかり、再利用は可能であるが、手間がかかるためである。それゆえ、できるだけ長期間の供用が期待される。

コンクリート構造物の要求性能が明確になると、それを実現するために、コンクリートの製造・施工をすることになるが、そのために、まず経済性を考慮して、入手しやすい使用材料を選定し、それらを組み合わせる配合計算を行う。実務では、レディーミクストコンクリートを使用するケースが多いので、施工を主務とする建設会社が材料選定から始めて配合設計を行う事例は少ないが、本来配合設計とは、構造物の要求性能を考慮し、使用材料の配分を定める重要な技術の一つであり、建設会社は人任せにしてはならない。

なお、配合設計は、設計の名が付くように、構

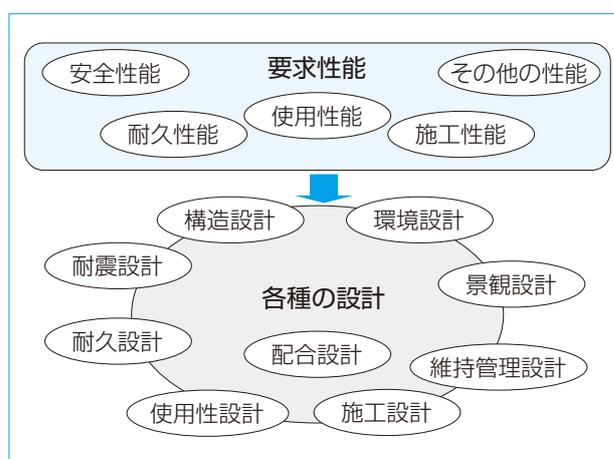


図1 コンクリート構造物の設計概念

造設計、耐震設計、耐久的設計、景観設計、環境設計などの行為と合わせて考えなければならない。

図1に設計の概念を示す。

2 コンクリート構造物に求められる性能

土木学会コンクリート標準示方書では、コンクリートに求められる性能を図2のように例示している。

安全性とは、構造体として使用される場合は、荷重や振動に耐える性能を意味し、繰り返し作用を受ける場合は疲労に対する安全性などを意味する。使用性とは、変形が大きく使用に支障をきたすことのない性能を意味する。第三者への影響については、構造体であろうと二次部材であろうとも、剥落や欠損した部材の一部が、通行人や車両に影響を与えることのないように期待される性能

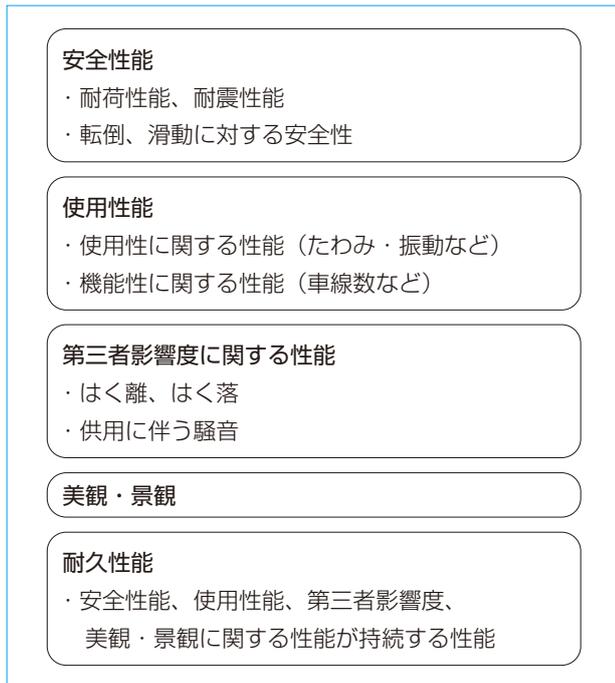


図2 コンクリート構造物に求められる性能

である。美観・景観については、社会資本が居住者に快適な生活に支障を与えないように配慮する性能である。自然に溶け込む構造物の存在を期待するものである。さらに、これらの安全性、使用性、第三者への影響、美観・景観は時間とともに性能が衰える可能性があるが、これらの性能が計画された供用期間中に確保されることを耐久性として求められる。なお、耐久性については、維持管理により性能を回復することも可能である。

3 コンクリート材料の選定方法

コンクリートは、1 m³の質量が2.3トン近くある重量物で、かつ安価であることが特徴であるため、その使用材料はできるだけ現地で調達することが望ましい。つまり、運搬費をかけないで地産地消を原則とする。とくに骨材については、容積で7割を占めるため、長距離運搬は二酸化炭素の排出量削減の観点からも望ましくない。しかし、使用材料の性質がコンクリートの性質を左右し、よりよい材料の選定がコンクリート構造物の耐久性を左右することも事実である。

セメントの選定においては、強度発現性が施工

時に求められるが、早急な強度の発現は収縮が大きくなる傾向がある。そのため、一般的には普通ポルトランドセメントが使用されるが、工期、施工時の条件によって、緩やかな強度発現をする低熱ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメントなどの使用が望ましい。また、高炉セメントは、耐海水性、アルカリシリカ反応抵抗性、凍結融解抵抗性などに優れるとされているが、反面、自己収縮が他のセメントより大きいとされ、ひび割れ抵抗性の面からは検討を要する。

骨材については、粒度が広く分布し、粒形が丸みを帯びていると実積率が大きく、コンクリートの単位容積あたりの骨材量が増加し、それに伴いセメントペースト量が少なくできるため、収縮が小さくなり、ひび割れが生じにくくなる。骨材の材質については、岩種に着目するより密度と吸水率に着目し、密度が大きく、吸水率が小さい方が望ましい。

混和剤については、一般的に AE 減水剤が使用されるが、これは同一の施工性能をもつ条件下で、単位水量を減じることができ、これに伴い収縮が小さく、水和発熱も少なくでき、ひび割れ抵抗性が向上するためである。近年は、AE 減水剤よりさらに改善された高機能 AE 減水剤や高性能 AE 減水剤が使用される事例が増加している。

なお、材料の性質も重要であるが、コンクリートの製造においては、品質変動が少ないことがより重要視される。生産過程や運搬、貯蔵の過程で材料分離を生じることのないような配慮も必要である。

4 目標を明確にした配合設計

配合設計の目的は、要求された構造物をできるだけ合理的に造ることにある。そのために、使用材料の特性とそれを組み合わせた場合のコンクリートの性質を理解し、外的要因による材料劣化やひび割れの発生メカニズムなどを知識として保有しておかなければならない。

図3は配合設計のフローを示している。構造物に要求される性能を確保するために、まず、配合

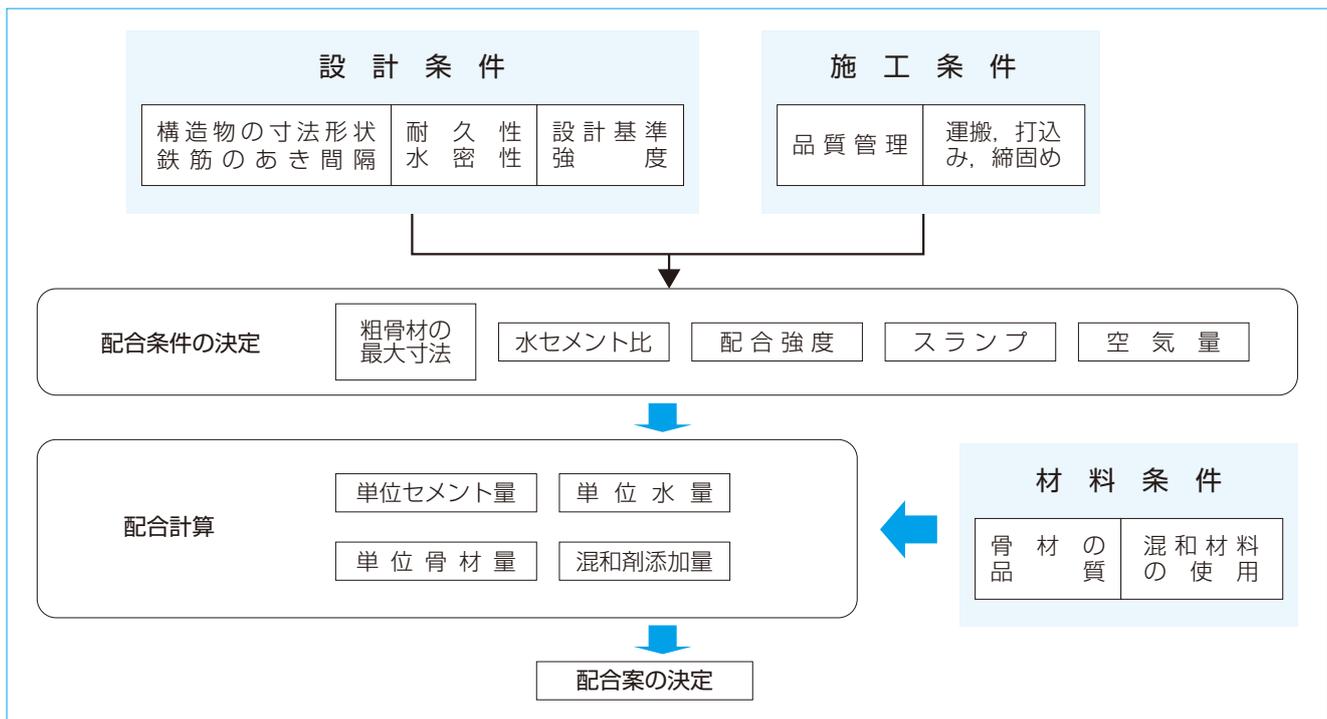


図3 配合設計のフロー

条件を定める。

粗骨材の最大寸法は、構造部材の寸法、鉄筋のあき（間隔）を考慮し、コンクリートが確実に充填できることを条件として、できるだけ大きい寸法とする。施工に適する範囲で粗骨材の寸法が大きいほどよいのは、単位水量および単位セメント量が少なくできることでひび割れが生じにくくなるためである。

水セメント比はコンクリートの緻密さを間接的に示す値であり、水セメント比が小さいほど強度が高く、セメント水和物の組織は緻密になるため、劣化因子の拡散が小さく、耐久性に優れるとされている。

配合強度は、設計基準強度に品質変動を考慮して割り増した目標強度であり、材料の品質変動が小さく、変動の少ない製造管理が余分な強度を求めなくてよいことになる。

スランプは、型枠内にコンクリートを充填するための難易度を示す指標であり、流動性を簡易に示すものである。空気量は、一定の範囲であれば凍結融解作用に対する抵抗性の優れることから、目標を4.5%とし、変動があっても3%を下回ら

ない値とされる。

これらの配合条件を満足するように配合（各材料の1㎡あたりの計量値）を定めるのが配合計算である。この計算では、使用材料の品質が影響し、密度が大きいほど単位容積質量が大きくなり、一般的には耐久性に優れるとみることができる。

5 誤差要因が存在する製造過程

配合設計で得られた各材料の配合は、暫定的なものであり、一般には試し練りを行って所定の配合条件を満たすことを確認する。配合条件を満たさない場合は、配合修正を行い最終の配合を定めることになるが、このときにセメントペーストの量が少なくなる材料、つまり単位水量および単位セメント量が少なくできる材料が望ましい。

表は、配合計算の手順を示したものである。コンクリート中に一定の空気量が必要となるが、耐久性を向上させるとされる微細気泡（エントレインドエア）はAE剤の混入で可能となる。このAE剤の必要量は試し練りで定められるのが一般的である。

単位水量は、スランプの大きさに変動し、使用材料が定まれば目標値が求まるので、通常は生コ

表 配合計算の手順と計算例

材料	条件	計算方法	単位量
AE 剤	耐凍害性から	容積45L / m ³	剤の量は試験による
水	スランブによる	試し練りで決定	165kg / m ³
セメント	強度・耐久性を満たす水セメント比から算出	水セメント比55%とすれば、単位水量から算出可能	300kg/m ³ (=165/0.55) 容積は95L (=300/3.16) 密度: 3.16g/cm ³
骨材料	細骨材率(全骨材量を容積比で配分)は試し練りから決定	骨材全容積を細骨材率(容積比)で分ける。細・粗骨材密度を乗じれば単位細・粗骨材量	1000-305=695 (L) 695 × 0.43 × 2.60 (細骨材密度) =777kg/m ³
粗骨材			695 × 0.57 × 2.60 (粗骨材密度) =1030kg/m ³

ン工場に保有されるデータから目算される。

次に、所要の強度から定まる水セメント比と、耐久性から定まる水セメント比の小さい方の水セメント比を選定する。そして、水セメント比が定まると、単位水量との関係から自動的に単位セメント量が算出できる。

空気量、単位水量、単位セメント量が定まると、それぞれの密度からセメントペーストの容積が求まり、1 m³の残りの容積は骨材となり、細骨材率で配分すると、細骨材および粗骨材の量が求まる。こうして実際に使用する配合が定められる。

配合が定まると、必要な製造量に対する材料の計量を行い、1 バッチの練混ぜ量が2 m³であれば、2 倍の質量の材料を計量し、練り混ぜることになる。ここで、配合通りに計量すれば品質変動は少ないはずであるが、細骨材は通常水分を含んだ状態(表面水を含んだ状態)であり、表面水の量だけ、水の計量を減じる操作を行う。このときに測定される表面水率は正確に把握することが困難であり、一定の誤差を含んだ状態でコンクリートは製造される。

また、温度によりスランブが変化するため、季節により配合修正が必要となる。

6 余分な強度はひび割れの原因

配合設計の段階で注意したい点は、むやみに単

位セメント量を増加させないことである。単位セメント量が多いと、一見強度が高くなると考える技術者がいるが、強度は水セメント比と相関が強く、単位セメント量との相関ではない。

単位セメント量が多いと、水和発熱が高くなり、部材の厚い土木構造物では内部の温度上昇が高くなり、これが放熱するときに温度ひび割れが生じることが懸念される。さらに、セメント量が多いと、自己収縮ひずみも大きくなり、ひび割れの危険性はさらに増す。つまり、ひび割れを抑制するには、強度を確保しつつ単位セメント量を少なくすることが望ましく、そのためには、単位水量を少なくすることが必要となる。単位水量を減じる策は、乾燥収縮ひずみを低減するだけでなく、単位セメント量を減じることでひび割れのリスクを減らすことになる。

7 おわりに

コンクリート構造物は、その用途により求められる性能がある。この要求性能を満足するために配合設計が行われ、優れた配合とするためには使用材料の厳選が必要となる。しかも安価に計画することが建設には必須の条件となる。料理の達人とまではいかないまでも、スペシャリストの仕事に期待したい。建設技術者は直接コンクリートを製造することは少ないが、生コン会社を信頼するにしても、それを吟味できる能力を有することも必要である。

【参考文献】

- 1) 全国土木施工管理技士会編『良いコンクリートをつつための要点 改訂第7版』全国土木施工管理技士会連合会、2006
- 2) 土木学会編『コンクリート標準示方書【施工編】』土木学会、2007
- 3) 十河茂幸、信田佳延、宇治公隆、栗田守朗共著『現場で役立つ コンクリート名人養成講座 改訂版』、日経B P 社、2008