

# 1 コンクリートの基本的性質と配合

## 1.1 セメントペースト, モルタル, コンクリートとは

コンクリートは、セメントと岩石の粒である骨材に水を加えて混合したものである。混合直後には粘りのある液体であるが、セメントは水との化学反応により硬化していくため、時間の経過とともに固まっていく。セメントと水の反応は「水和反応」と呼ばれる。

骨材は、5mmのふるい目を通る粒径のものを「細骨材」、それより大きい粒径のものを「粗骨材」と呼ぶ。

水とセメントの混合物を「セメントペースト」ないし単に「ペースト」と呼ぶ。水とセメントと細骨材の混合物、すなわちセメントペーストに細骨材を加えたものは「モルタル」と称す。コンクリートとは、モルタルに粗骨材を加えたものの呼称である。

材料の混合は古くは人力により、現代では非常に少量であるときを除いて練混ぜ機械（ミキサ）を用いて行われる。その際に空気が混入するため、コンクリートは事実上、水、セメント、細骨材、粗骨材と空気により構成されることとなる。コンクリートの運搬はアジテータトラック（トラックミキサ車とも通称される）、打設はコンクリートポンプで圧送されることが主流である。打設時に行うバイブレータ等による締め固めは、型枠の隅々にまでコンクリートを行き渡らせるとともに、余分な空気を排除する作業である。

## 1.2 骨材の必要性

水とセメントの混合比率が同じであれば、圧縮強度はセメントペーストが最も大きく、モルタル、コンクリートと、骨材が多くなるにつれて低下する。一方、硬化に伴う収縮の度合いはセメントペーストが最も大きく、モルタル、

コンクリートの順に小さくなっていく。よって、強度が大きいからといってセメントペーストやモルタルで大きい構造物を作ろうとしても、収縮クラックが発生するために健全な構造物を作ることはできない。骨材は、コンクリートの収縮を低減させ、クラックの少ない構造物を造るために必須な材料なのである。

骨材を多く使用することができればセメントペーストの必要量が少なくなり、セメントの使用量を減らすことができる。セメント使用量の減少によって、セメントの水和反応に伴う発熱を低減できることから、コンクリートの温度上昇量が抑制され、その後の温度低下に伴う収縮が緩和できる。また、セメントの資材費の減少はコンクリートの製造費用を低減することとなる。

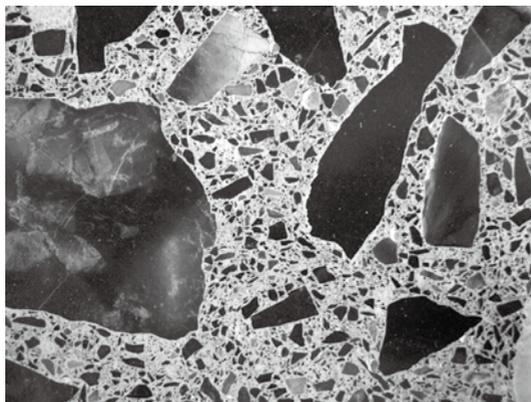
セメントペースト、モルタル、コンクリートの特性は表-1.1のようにまとめられる。

表-1.1 セメントペースト、モルタル、コンクリートの特性

構 成	圧縮強度	収 縮	単位 セメント量
セメントペースト=水+セメント	大	大	大
モルタル=セメントペースト+細骨材 (空気)	中	中	中
コンクリート=モルタル+粗骨材 (空気)	小	小	小

写真-1.1 に骨材最大寸法 150 mm のダムコンクリートの断面を示す。骨材粒子が黒色であるため粒子の配列がよく分かる。各骨材粒子はセメントペーストで覆われ、それぞれ独立して存在しているように見える。また、大粒径の粗骨材粒子であっても、それらの間には小粒径の粗骨材粒子やモルタルないしセメントペーストが介在し、大粒径の粒子同士が直接接触しているようには見えない。写真-1.1 は単位セメント量（コンクリート  $1\text{m}^3$  あたりのセメント量）が  $150\text{kg/m}^3$  程度のコンクリートであるから、単位セメント量  $300\text{kg/m}^3$  程度の一般的なコンクリートよりセメントペーストの量はずっと少ない構成である。単位セメント量の多いコンクリートであれば骨材粒子間の間隔はもっと広くなる。

このことから、硬化したコンクリートは、骨材粒子間に介在するセメント



写真－1.1 コンクリート断面の骨材分布状態

ペーストで粒子同士を結合した構造を有し、硬化が開始される以前のフレッシュコンクリートの変形や流動は、セメントペーストが骨材粒子間を潤滑することによってもたらされていると推察できる。

### 1.3 コンクリートの配合設計の要点

詳細は後述によるが、コンクリートの強度や耐久性の大小は、大略、水とセメントの混合比率に依存すると考えてよい。その比率には一般に水とセメントの質量比が用いられ、「水セメント比」と呼ばれる。水セメント比が小さいほど硬化後のペーストの組織は緻密になるため、コンクリートの強度や耐久性は大きくなる。また、水セメント比は練り混ぜた直後のセメントペーストの粘性の指標にもなり、水セメント比が小さいほど粘りのあるペーストになる。

ある一定の量の細骨材と粗骨材に、任意の量の水とセメントを加えてコンクリートを製造することを想定した場合（よって、コンクリートの体積は可変）、コンクリートの軟らかさはセメントペーストの粘性と量に依存することとなる。すなわち、軟らかいコンクリートを得るには、水セメント比が大きくて粘性の小さいペーストであれば少量でよいが、水セメント比が小さく粘性の大きい場合は多量のペーストを加える必要がある。

視点を換え、コンクリートの体積を  $1\text{m}^3$  とし、細骨材量および粗骨材量

を一定とした場合を想定する。この時、空気量の変動を無視すればペースト量は一定となり、コンクリートの軟らかさの程度は骨材粒子間を潤滑するペーストの粘性の程度のみ依存することとなる。当然のことながら、水セメント比が大きくて粘性が小さいペーストほど、コンクリートは軟らかくなる。

それでは、コンクリート  $1\text{ m}^3$  中の細骨材と粗骨材の合計体積を一定としたうえ水とセメントの量も同一とした場合、細骨材と粗骨材の粒度や構成比(=細骨材率)を変化させると、どのようになるであろうか。その測定例2つを図-1.1に示す。この図に見られるように、ある細骨材率でスランプは最大を示すことから、細骨材率には最適点が存在することが分かる。

図-1.1中の2つのグラフは、同じ原石から製造された砕砂の細骨材と碎石の粗骨材を用いているが、製造機械の調整方法が変化したため骨材の粒度が異なっている。いずれのグラフともに細骨材率の変化に伴いスランプが変化し、スランプの最大値は細骨材率42%と47%で得られている。両者の単位水量(コンクリート  $1\text{ m}^3$  あたりの水量)は同じ  $158\text{ kg/m}^3$  であるが、水セメント比は0.04異なっている。5.5.2に後述するように、全く同じ骨材を用いた場合には水セメント比の大きい◆のグラフの方が△のグラフよりやや大きめの細骨材率でスランプの最大値を示すはずであるが、ここでは逆に◆のグラフの方が5%も小さい細骨材率でスランプが最大となっている。この違いは骨材の粒度の変化に起因すると解釈できる。

図-1.1の各々のグラフから分かるように、スランプが最大となる細骨材

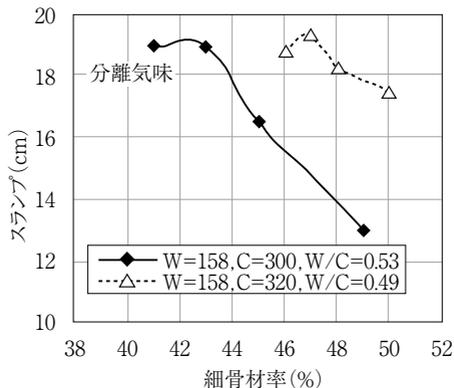


図-1.1 粒度が異なる場合のスランプの測定例

率の領域はあまり広いものではない。細骨材率はその領域を外れた場合、スランプが急減する場合もある。よって、細骨材率の設定が適切でなければ、目標スランプを得るために無駄な水量をコンクリートに加えてしまう可能性が大きい。逆に考えれば、慎重に細骨材率を設定することによって水量は最少にできるのである。単位水量の減少により、コンクリートの収縮量低減やセメントペースト組織の緻密度の向上による耐久性の向上を図り得るため、スランプを最大にする細骨材率（＝単位水量を最少にできる細骨材率）を追求することは、コンクリートの配合設計における最も重要な事項といえる。

ただし、コンクリートの最適配合は、スランプを最大とする細骨材率だけで決まるものではない。いくらスランプ値が大きくても材料分離が見られたり、打設時に扱いにくいと思われる性状、すなわちワーカビリティ<sup>解説 1.1</sup>に劣る場合は不適となる。図－1.1 に示す◆の試験の場合、細骨材率41%を下回る細骨材率ではコンクリートの材料分離が見られたため、試験を中止している。もし、もっと大きい細骨材率で分離が見られたならば、図－1.1に見られる凸型の形状ではなく右下がりのグラフとなったであろう。

所要の強度や耐久性により設定された水セメント比において、目標とする軟らかさを有しつつ良好なワーカビリティを得るために、適切な細骨材率と単位水量等を設定することが、コンクリートの配合設計の目的となる。

### 解説 1.1 ワーカビリティおよびコンシステンシー

フレッシュコンクリートの性質を表す代表的な概念としてワーカビリティ（workability）およびコンシステンシー（consistency）があり、配合の最適化の判断指標として用いられる。

現行の JIS A 0203（コンクリート用語）によれば、ワーカビリティの定義は「材料分離を生じることなく、運搬、打込み、締固め、仕上げなどの作業が容易にできる程度を表すフレッシュコンクリートの性質」であり、コンシステンシーは「フレッシュコンクリート、フレッシュモルタル及びフレッシュペーストの変形又は流動に対する抵抗性」である。

コンシステンシーの具体的な指標として、一般にスランプ試験、フロー試験、VeBe や VB、VC といった加振試験によって得られる各種の値が用いられ、通例は、材料分離がなく良好なコンシステンシーを有するコンクリートのワーカビリティは大きいといった表現がなされる。すなわち、コンシステンシーとしては、現行 JIS が定義する「変形又は流動に対する抵抗性」よりもコンクリート

の軟らかさを主眼とした概念のほうがより一般的といえよう。

これはコンシステンシーの定義が過去においては「変形や流動のしやすさ」を示すものであり、現行 JIS とは逆であったことに起因する。例えば、昭和 49 年版土木学会コンクリート標準示方書によるコンシステンシーの定義は「主として水量の多少による軟らかさの程度で示される、まだ固まらないコンクリートの性質」、昭和 50 年版日本建築学会建築工事標準仕様書 JASS5 鉄筋コンクリート工事では「主として水量によって左右されるまだ固まらないセメントペースト・モルタルまたはコンクリートの流動性の程度」とされており、これらによれば、基本的にスランプ値の大きいコンクリートはコンシステンシーも大きいと表現することとなる。現行 JIS によれば、軟らかくてスランプ値が大きいコンクリートは「変形又は流動に対する抵抗性」が小さいためにコンシステンシーは小さいと表現することになるので注意を要する。

なお、過去にはフレッシュコンクリートのことを「まだ固まらないコンクリート」と呼ぶ期間が長く存在した。その表現は、第二次大戦後間もない頃に土木学会コンクリート委員会委員長であった吉田徳次郎博士の発案によるものである。しかし、いささか冗長な表現に抵抗感もたれたようで、土木学会用語委員会において“それならば、硬化したコンクリートは「もう固まってしまったコンクリート」としないと片手落ちだ”と揶揄した委員がいて大笑いしたとのことである<sup>1)</sup>。吉田博士著の戦前の論文<sup>2)</sup>では「新しいコンクリート」という表現を用いているから、いろいろと思いをめぐらせての発案であったのではなかろうか。

#### 参考文献

- 1) 山田順治：コンクリート夜話，セメント協会，pp.54-55, 1998.
- 2) 吉田徳次郎：新しいコンクリートに於ける材料の分離に就て，土木学会誌，第 18 巻，第 8 号，pp.881-902, 1932.