

## 礫を対象とした砂防ソイルセメント流動タイプの配合方法に関する一考察

○ 株式会社 本久 小布施 栄

### はじめに

砂防ソイルセメントは、近年のコンクリート需給の不安定化や施工条件の多様化を背景として、更なる適用拡大が期待される。このような中、施工方法の選択肢の一つとして、砂防ソイルセメント流動タイプ（以下、「流動タイプ」と称す）の活用が考えられる。

その一方で、流動タイプの配合手法は確立されていない。現位置攪拌固化混合工法（以下、「ISM 工法」と称す）や生コンクリートの配合手法が参考とされる場合もあるが、ISM 工法の配合手法は現位置攪拌を前提としており、打設を伴わないためフレッシュ性状に対する要求が異なる。また、生コンクリートの配合手法は骨材を調整可能な材料として扱うのに対し、土質材料は粒度および含水状態が不可分の状態として与えられるため、生コンクリートと同様に扱うことができない。

さらに、転圧タイプで好適とされる砂礫土砂においては、流動タイプでは流動性が低く、材料分離が生じやすいといった課題があり、必ずしも扱いやすい材料とはならない。これは、強度発現性とフレッシュ時の適切な流動性および材料分離抵抗性が一致しないことに起因する。すなわち、要求強度および単位セメント量の低減を優先した配合では骨材のかみ合わせが支配的となり、流動性の不足や材料分離が生じやすくなる。このような課題に対し、流動性および材料分離抵抗性に着目した配合手法の確立が必要である。

そこで、本研究では礫を主体とする土砂を対象として、従来の配合設計の考え方を見直し、新たな配合設計手法を提案する。

### 1. 従来の配合手法の整理

本研究で用いる主な記号および配合構成（従来および本提案）を表-1 に示す。本章では、これらのうち従来の配合構成に基づき検討を行う。

「砂防ソイルセメント施工便覧（平成 28 年版）」<sup>1)</sup> では流動タイプの配合手法として ISM 工法の事例が示されており、「現位置攪拌固化混合工法（ISM 工法）設計・施工マニュアル 第 1 回改訂版」<sup>2)</sup> に配合手法の詳細が示されている。

ISM 工法の配合手法は、生コンクリートの絶対容積法に基づき、配合全体の体積が 1 となる関係を前提としている。すなわち、

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{W}{\rho_w} + \frac{S_{ssd} + G_{ssd}}{\rho_{ssd}} = 1 \quad \dots\dots\dots (式-1)$$

である。ここで、 $C$  は単位セメント量、 $W$  は単位水量、 $\rho_c$ 、 $\rho_w$  はそれぞれセメントおよび水の密度、 $S_{ssd}$ 、 $G_{ssd}$  はそれぞれ細骨材と粗骨材の表乾状態における単位量、 $\rho_{ssd}$  は細粒分・砂分・礫分を含む骨材の全体の表乾密度である。なお、単位は  $\text{kg/m}^3$  で統一する。

ISM 工法では、攪拌土砂の空隙をセメントおよび水で充填する考え方に基づいており、骨材の単位容積質量および表乾密度から求まる空隙体積と、セメントおよび水の体積との関係は次式で表される。

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{W}{\rho_w} = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_{ssd}} \quad \dots\dots\dots (式-2)$$

ここで、 $\rho_b$  は骨材の単位容積質量である。  
(式-2)を整理することで、単位セメント量  $C$  は次式で表される。

$$C = \rho_c \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_{ssd}}\right) - \frac{\rho_c}{\rho_w} W \quad \dots\dots\dots (式-3)$$

また、水セメント比  $r$  とすると

$$C = \frac{1 - \frac{\rho_b}{\rho_{ssd}}}{\frac{1}{\rho_c} + \frac{r}{\rho_w}} \quad \dots\dots\dots (式-4)$$

となる。  
同様に、単位セメント量  $C$  を与えたとき、単位水量  $W$  は次式で与えられる。

$$W = \rho_w \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_{ssd}}\right) - \frac{\rho_w}{\rho_c} C \quad \dots\dots\dots (式-5)$$

ここで、セメントの密度  $\rho_c=3040 \text{ kg/m}^3$ 、単位セメント量  $C=200 \text{ kg/m}^3$ 、土砂表乾密度  $\rho_{ssd}=2500 \text{ kg/m}^3$ 、単位容積質量  $\rho_b=1800 \text{ kg/m}^3$  とすると、空隙充填を満足する単位水量  $W$  は  $214 \text{ kg/m}^3$  となり、水セメント比  $W/C$  は約 107 %となる。

表-1 従来の配合構成と本提案における配合構成の整理 (単位:  $\text{kg/m}^3$ )

従来の配合構成	大分類	セメント	土						水
	小分類		細粒分	砂分	礫分	石分	内部吸水水	表面水	練混水
	記号		細骨材 $S_{ssd}$		粗骨材 $G_{ssd}$		(骨材に含む)	水 $W$	
本提案における配合構成	大分類	セメント	土						水
	小分類	粉体分 $C$	細粒分 $F_d$	砂分 $S_d$	礫分・石分 $G_d$		内部吸水水 $W_a$	表面水 $W_s$	練混水 $W_{add}$
	記号	粉体 $P=C+F_d$		骨材 $A_{ssd}=S_d+G_d+W_a$				水 $W=W_s+W_{add}$	

砂礫土砂を対象とした場合、このような水セメント比は過大であり、材料分離の発生が懸念される。また、本式は空隙充填を満足する条件にすぎず、粗骨材量が多くの骨材同士の接触が支配的となる条件では、流動性が低下し、スランプが小さくなる主たる要因の一つとなる。

さらに、強度発現のみを考慮して単位セメント量  $C$  を低減し、材料分離を抑制するために単位水量  $W$  を低減すると、(式-1)の絶対容積条件を満足しなくなる。

このことは、従来の配合手法が打設を前提とする流動タイプに必ずしも適用できないことを示している。

## 2. 流動タイプの配合の提案

前章で示したように、従来の配合手法は空隙充填を前提としたものであり、流動性や材料分離抵抗性を十分に反映できない。このため、流動タイプの配合においては、空隙充填とは異なる観点からの整理が必要となる。

流動性の確保および材料分離の抑制において重要となるのは、ペーストの粘性およびそれにより形成されるモルタル量が十分に確保されていることである。生コンクリートでは、材料分離抵抗性を高める方法として、細骨材率の調整や単位粉体量の確保が挙げられている<sup>3)</sup>。

一方、土砂では粒度構成が一体として与えられるため、細骨材率の調整は困難である。このため、流動タイプにおける材料分離対策は、単位粉体量の確保によるものと整理できる。生コンクリートで望ましい単位粉体量が  $300 \text{ kg/m}^3$  以上とされることを踏まえると、流動タイプにおいても同等以上の単位粉体量が必要と考えられる。

ここで、土砂には細粒分  $F_d$  が含まれるため、この細粒分を粉体として扱うものとする。このとき、単位粉体量  $P$  は次式で表される。

$$P = C + F_d \dots\dots\dots (式-6)$$

なお、細粒分は粉体として扱うため絶対乾質量で評価する。

次に、単位水量  $W$  は、土の表面水  $W_s$  と、加水する水  $W_{add}$  の合計として

$$W = W_s + W_{add} \dots\dots\dots (式-7)$$

と定義する。

以上より、絶対容積法による配合構成は次式で表される。

$$\frac{C}{\rho_c} + \frac{F_d}{\rho_f} + \frac{S_d}{\rho_s} + \frac{G_d}{\rho_g} + \frac{W_s}{\rho_w} + \frac{W_{add}}{\rho_w} = 1 \dots\dots\dots (式-8)$$

従来の配合手法と異なる点は、セメントペーストを空隙充填としてではなく、流動性および材料分離抵抗性を確保するための必要量として評価する点にある。すなわち、まず検討すべきは単位粉体量  $P$  が十分に確保されているかどうかである。

生コンクリートにおいて望ましいとされる単位粉体量  $P$  の条件は、

$$300 \leq P \dots\dots\dots (式-9)$$

であるが、筆者の配合および現場における実務経験や大礫を混入する現地発生土砂を条件とすると

$$350 \leq P \leq 450 \dots\dots\dots (式-10)$$

が望ましい目安と考えられる。なお、本検討は流動成立条件に着目したものであり、スランプロスについては対象外とするが、単位粉体量が過大となる場合にはスランプロスが生じやすく、概ね  $P \geq 400 \text{ kg/m}^3$  程度でその傾向が認められる。

単位粉体量  $P$  が決まれば、単位水量  $W$  は、粉体の性状に依存するものの、概ね次式の範囲で設定される。

$$0.5P \leq W \leq 0.8P \dots\dots\dots (式-11)$$

最後に流動タイプの流動条件について検討する。礫分・石分のかみ合わせが流動性に影響を与えることを踏まえると、その空隙以上のモルタル量が必要となる。

モルタルの体積を  $V_m$  とすると、

$$V_m = \frac{C}{\rho_c} + \frac{F_d}{\rho_f} + \frac{S_d}{\rho_s} + \frac{W}{\rho_w} \dots\dots\dots (式-12)$$

となる。

礫分・石分の空隙を  $V_{vg}$  とすると、

$$V_m \geq 1.5V_{vg} \dots\dots\dots (式-13)$$

が一つの目安として考えられる。ただし、流動性は砂分の粗粒率やモルタルの量および粘性等も影響するため、本条件のみで一義的に評価できるものではなく、指標の一つである点に留意が必要である。

なお、(式-13) を満足しない粒度条件に対しては、細粒分や砂分を主体とする土砂を混合するなどの対策が考えられる。

## おわりに

本研究では、礫を主体とする現地発生土砂を対象として、流動タイプにおける流動性および材料分離抵抗性に着目し、従来の配合手法の課題を整理するとともに、新たな配合の考え方を提案した。

従来の配合手法は空隙充填を前提としたものであり、流動性や材料分離といったフレッシュ性状を十分に評価できない。本提案では、配合を絶対状態で整理し、細粒分を粉体として扱うことで、流動性および材料分離抵抗性を配合条件として明確に位置付けることを可能とした。

これにより、従来は扱いが困難であった礫を主体とする土砂に対しても、流動タイプとしての適用可能性を検討するための一つの指針を示したものとする。

一方、本検討は限られたデータおよび実務経験に基づくものであり、特に流動成立条件については今後さらなる事例の蓄積と検討が必要である。

【参考文献】1) 一般財団法人砂防・地すべり技術センター：砂防ソイルセメント施工便覧<平成 28 年版>、2016 2) (財)先端建設技術センター・ISM 工法研究会：現位置攪拌混合固化工法 (ISM 工法) 設計・施工マニュアル 第 1 回改訂版、2007 3) 土木学会：2023 年制定コンクリート標準示方書 施工編、2023