

木更津市役所 正員 久良知 篤史  
武蔵工業大学 正員 成山 元一

### 1. まえがき

近年、薬液注入工法は、軟弱地盤改良工法の一つとして、また、他の工法の補助工法として急速に需要が増えつつある。しかし、その工学的体系化に未だ確立をみず、現場技術者の経験に頼りかうである。そこで筆者らは特に使用頻度の高いセメント・水ガラス系グラウトに注目し、その配合設計を確立すると共に、それらに基づいてグラウト材の基本的な諸特性を把握する研究を実験的に、てきた。配合設計はすでに、第12回土質工学研究発表会（土質工学会、昭和52年度）において発表した。以後、混和材としてベントナイト、珪藻土を混入した配合設計を確立すると共に、それらの諸特性を解明するため、①ゲルタイム特性、②強度特性、③混和材の特性、④配合面の体系化、等について実験的研究を行い、ある程度の成果をみたので、ここに報告する。

### 2. 実験材料および使用器具

実験材料—①水ガラス（丁珪酸ナトリウム3号）②普通ポルトランドセメント ③ベントナイト ④珪藻土  
使用器具—①モルタルミキサー（攪拌容量3ℓ）②一軸圧縮試験機（圧縮速度1mm/min）③カ計 ④温度計 ⑤ストップウォッチ ⑥モルタル用型枠（φ5cm×10cm）⑦上皿天秤 ⑧メスシリンダー ⑨ゲルタイム測定用ポリエチレン袋（φ5cm×40cm）⑩pHメーター

### 3. 配合設計

前述の土質工学会発表の配合設計に、さらにベントナイト、珪藻土を加えた配合設計を示す。

練り混ぜ材料および重量 ①水ガラス $W_G$ 、セメント $W_C$ 、水 $W_W$ 、ベントナイト $W_B$

②水ガラス $W_G$ 、セメント $W_C$ 、水 $W_W$ 、珪藻土 $W_K$

$W_C/W_W = a_c$  (セメント・水比)     $W_G/W_W = a_g$  (水ガラス・水比)     $W_B/W_C = G/C$  (水ガラス・セメント比)

$W_B/W_W = a_B$  (ベントナイト・水比)     $W_K/W_W = a_K$  (珪藻土・水比)

但し、水の密度および比重 = 1

(1)  $W_W = \frac{1}{a_c/\rho_c + a_g/\rho_g + 1 + a_B/\rho_B}$     (2)  $W_W = \frac{1}{a_c/\rho_c + a_g/\rho_g + 1 + a_K/\rho_K}$

$\rho_c$ : セメントの比重

$\rho_g$ : 水ガラスの比重

$\rho_B$ : ベントナイトの比重     $\rho_K$ : 珪藻土の比重

### 4. 実験条件および実験方法

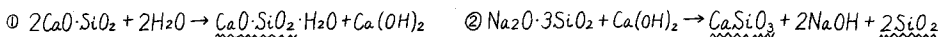
実験条件—①配合条件； $a_c = 0.10 \sim 1.00$ の0.10きざみ、 $G/C = 0.25 \sim 2.50$ の0.25きざみ、 $a_B, a_K = 0.05, 0.10, 0.20$ の各条件とした。②温度条件；材温を $20 \pm 2^\circ\text{C}$ となるよう、温度調整をした。

実験方法—①ゲルタイム測定；各々の材料を5分間練り混ぜた懸濁液の中に水ガラスを投入し、10秒間攪拌させる。グラウトの粘性が上昇してゼリー状となるまでの時間をゲルタイムとした。②材温測定；懸濁液のゲル化直後に測定し材温とした。③強度試験；モルタル用モールドにゲル化以前のワーカビリティに富んだグラウトを打設し、固結した供試体を脱型し、水中養生をして、材令1, 3, 7, 28日の一軸圧縮強度試験を行った。④pH測定；グラウトをゲル化直後に測定し、pH値とした。なお、本実験は1 Shot方式を用いた。

### 5. 実験結果および考察

前述の配合にのった実験結果の一例を、図1～4に示す。

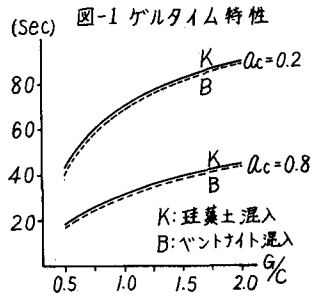
#### 5-1. ゲル化に関する化学的考察（反応式）



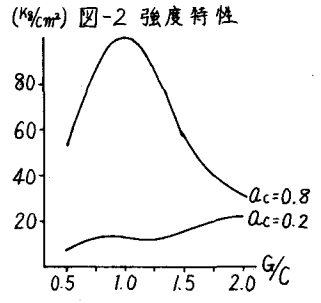
セメントの水和反応により生成されるゲル体(①の反応)、およびそこで生成される $\text{Ca(OH)}_2$ と水ガラスとの反応により生成されるゲル体(②の反応)は、①の反応が非常に遅々とした反応であるため、ゲルタイムには影響しないと考えられるので、これらのゲル体は強度を決定する要因となり、ゲルタイムを決定する要因は②の反応により、生成するゲル体と思われる。また、④の反応は③の反応により生成される $\text{Na}_2\text{SO}_4$ と、未反応水ガラスとが残存反応して強度に影響を与えていると思われる。

混和材としては、ベントナイトが荷電置換反応によりゲル化反応を促進しており、また珪藻土は水ガラスゲル体を形成する $\text{SiO}_2$ を多量に含んでいるため、ゲル化反応を促進していると考えられ、両者とも膨潤性に富み、水を吸収して粘性を上昇させゲル化の促進に寄与していると思われる。

5-2. ゲルタイム特性; ゲルタイムは、セメントの配合比によってほぼ決定されることかわかり、これは、③の反応においてセメント中に含まれる $\text{CaSO}_4$ が3%と少ないため、水ガラスに対してセメントの多い配合( $\%$ の小さい配合)の方が、ゲルタイムが短くなるためである。(図-1参照) また、混和材の違いによるゲルタイム特性には差異はなく、両者ともゲルタイムの調整に有効であると思われる。

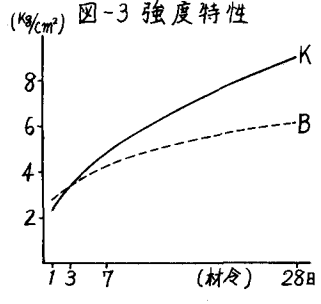


5-3. 強度特性; 強度も、セメントの配合比によってほぼ決定されることかわかり、これは、①、②の反応によるものである。図-2より、 $A_c$ の大きい配合では $\% = 1.0$ で強度は最大となるが、 $A_c$ の小さい配合では、 $\% = 0.75$ でピークとなり、 $\% = 2.0$ で強度は最大となる。これは、セメント量の少ない配合では、④の残存反応の影響が強いためと思われる。図-3より、初期強度ではベントナイト混入の方が若干強いが、長期強度に至ると珪藻土混入の方が強いことかわかる。これは珪藻土に多量に含まれる $\text{SiO}_2$ の働きによるものと思われる。

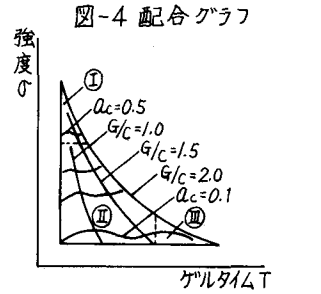


6. まとめ

以上のことより、セメント・水ガラス系グラウトのゲルタイムおよび強度は、セメントの配合比によってほぼ決定されることかわかり、混和材としては、ベントナイトより珪藻土の方が、より良い影響を与えることがわかった。



配合を広範囲にわたって検討してみると、図-4に示すように全てのデータをプロットし、同じ $A_c$ ,  $\%$ をそれぞれ水結ぶと、 $A_c$ が大きい配合ではゲルタイムが短く強度が強い①の範囲に入る。また、 $A_c$ が小さく $\%$ が大きい配合ではゲルタイムが長く強度が弱い④の範囲に入り、 $A_c$ が小さく $\%$ も小さい配合は②の範囲に入る。グラフを巨視的に見ると、 $\% = 20$ の双曲線の中に全ての点が包含されていることがわかる。すなわちセメント・水ガラス系グラウトでは、この範囲以外のゲルタイム-強度が存在しないことになる。しかるに、現場施工例等を見るとこの範囲以外の点もみられ、これは、一度ゲル化した状態のグラウトが注入圧等の外力によりゲルくずれの状態になっているためと思われる。



以上述べたごとく、グラウト材は、現場施工においても配合設計を確立する必要があるため、本実験の結果から配合設計試案として定義するものである。なお、本実験は、室内実験であるこの試案を元に、現場注入実験を重ねて完成を期したい。

(参考文献) わかりやすいグラウトの話: 土木施工, CCP硬化剤3号: 日東化学  
 コンストラクション第10巻(薬液注入工法): 重化学工業通信社