

# 土工事における濁水処理に関する研究 (第21報)

——スクリュエデカンター型遠心分離機の土砂除去特性——

喜田大三 炭田光輝  
辻 博 和

## Studies on Muddy Water Treatment in Earthwork (Part 21)

——Properties of Soil Removal from Slurry by Screw Decanter Type Centrifuge——

Daizo Kita Mitsuteru Sumida  
Hirokazu Tsuji

### Abstract

In underground excavation using slurry, screw decanter type centrifuges ( $\phi$  400 mm, L 1,330 mm) were applied to separate fine-grained soil from slurry, while discharged slurry was treated using these machines. The following results were obtained: (1) Separability of fine-grained soil from slurry was mainly affected by the soil content of the slurry (specific gravity of the slurry), flux, and centrifugal effect. (2) Separability in the steady state was determined by the specific gravity of slurry, for example, recovery of dry solids was 2,000 to 3,000 kg/h, water contents of cakes were 30 to 45 percent under the condition that specific gravity of slurry was 1.20, and flux was 20 to 30 m<sup>3</sup>/h. (3) From 85 to 95 vol. percent of slurry was regenerated after separation from fine-grained soil. (4) Discharged slurry, the specific gravity of which was 1.05 to 1.10, was treated at a rate of 15 m<sup>3</sup> per hour with addition of 1,500 to 2,000 ppm of PAC and 100 to 200 ppm of organic flocculant. The concentrations of suspended solids in overflow were 20 to 150 mg/l, and the water contents of cakes were 90 to 120 percent.

### 概 要

泥水工法において、泥水に解膠された細粒分を効率的に除去するため、 $\phi$ 400mm L1,330mmのスクリュエデカンター型遠心分離機を適用した。また、この機械で廃液を処理した。その結果、以下のことが明らかになった。(1) スクリューデカンター型遠心分離機による細粒分の分級性能には、泥水の濃度(比重)、流量、遠心効果が大きく影響する。(2) 定常運転時の性能は泥水比重でほぼ決まり、例えば比重1.20の泥水を流量20~30m<sup>3</sup>/hで処理した時の固形分回収量は2,000~3,000kg/h、ケーキの含水比は30~45%である。(3) 細粒分に分級後に再生される泥水は85~95vol%である。(4) 比重1.05~1.10の廃液にPAC 1,500~2,000ppm、高分子凝集剤を100~200ppm添加して15m<sup>3</sup>/hの流量で固液分離を行なったところ分離水のSSは20~150mg/l、ケーキの含水比は90~120%であった。

#### 1. まえがき

泥水を循環して地盤を掘削する地中連続壁工法や泥水シールド工法などでは、掘削土砂をスラリー輸送するので、泥水と掘削土砂を分離する必要がある。掘削土砂のうち荒砕きの土砂・礫分・砂分はスクリーン・サイクロン<sup>1),2)</sup>・沈砂槽<sup>3)</sup>などで泥水から除去され、泥水は再度循環利用される。このとき、粘性土地盤の掘削では解膠された細粒分によって泥水比重が増大するので、細粒分を除去するために泥水の一部を循環経路から取出してフィルタープレスなどの加圧脱水機で固液分離処理してい

る<sup>4)</sup>。

ところで、泥水工法において泥水は言うまでもなく掘削に必要な材料であり、所定の量、品質を保持する必要がある。したがって、細粒分を除去するために循環経路から取出した量とほぼ同量の泥水を補給しなければならない。そのため、一般に新たに作成した比重の小さい良質な泥水を補給して泥水量と品質を確保している。

上述のように、フィルタープレスなどによる現状の細粒分の除去方法では、結果的に有用な泥水材料も同時に廃棄することになるので、非常に不経済である。したがって、細粒分も砂・礫分のように循環経路の中で泥水か

ら分級し、分級後の泥水をそのまま再度循環利用できれば非常に都合がよい。

このような、全く新しい細粒分の除去方法を可能にしたものがスクリュウデカンター型遠心分離機である。

この報告では、スクリュウデカンター型遠心分離機の特徴を述べるとともに、地中連続壁工法、泥水シールド工法などの工事への適用実績に基づいて、細粒分を分級するときの分級性能さらにはフィルタープレスのような固液分離機として使用した際の性能について報告する。

## 2. スクリューデカンター型遠心分離機の構造と特徴

スクリュウデカンター型遠心分離機の標準的な構造は図-1の模式図に示すとおりであり、①外胴ボウル、②内胴スクリュウ、③ギヤユニットの三つの主要部分から構成されている。

泥水は高速で回転しているボウル内に供給される。このとき、固形分（土粒子）は遠心力の作用を受けてボウル内壁に沈降する。沈降した固形分は外胴ボウルよりもわずかな回転差を与えた内胴スクリュウによってボウル端部から排出される。一方、分離液は固形分出口と反対の端に設けられた堰からオーバーフローする。

さて、スクリュウデカンター型遠心分離機は、大きな遠心力の作用により概ね 10 μm 以上の粒子は沈降分離できるので主にシルト分の分級が可能である。また、凝集剤を添加することにより固形分のほとんどすべてが回収できるのでフィルタープレスのような固液分離機としても活用できる。従来の細粒分の処理に広く利用されているフィルタープレスと比べると

- (1) 連続運転が可能であり保守・管理が容易である
- (2) 占有床面積当りの処理能力が大きい

を特徴とする機械である。また、掘削時に分級機として細粒分を処理する場合にはさらに

- (3) 凝集剤が不要である
- (4) 泥水処理に伴って補給する泥水量が著しく少なくなる
- (5) 分離水が発生しない（再生泥水として利用するので分離水の処理が必要ない

という利点がある。しかし、ケーキ（アンダー側に排出される土砂）は、供給泥水の性状によってはそのままの状態ではダンプトラックでは搬出不可能な場合もあり、何らかの処理が必要な場合もある。

## 3. 沈降理論

遠心沈降理論はシグマ理論として知られており、ストークスの法則に基礎をおき、デカンター型では処理量 Q と遠心沈降面積 Σ との関係は(1)式の通りであり、処理量は遠心沈降面積に比例する<sup>6)</sup>。

$$Q = \eta \cdot V_s \cdot \Sigma = \eta \cdot V_s \cdot \frac{\pi \cdot L_1 (r_1^2 - r_0^2) \cdot \omega^2}{g \cdot \ln(r_1/r_0)} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、η: 分離性能に関する係数、V<sub>s</sub>: ストークスの終末速度、L<sub>1</sub>: ボウルの有効長さ、r<sub>1</sub>: ボウルの半径、r<sub>0</sub>: 中心から液体表面までの距離、ω: ボウルの角速度、g: 重力の加速度

遠心沈降面積 Σ を変形すると

$$\Sigma = k \cdot G \cdot D_1^2 (L_1/D_1) \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{ただし、} k = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1 - (r_0/r_1)^2}{\ln(r_1/r_0)}, G = r_1 \omega^2, D_1 = 2 \cdot r_1$$

となり、ボウルの形状が相似形で同一の遠心効果 G の場合には Σ 値はボウル内径 D<sub>1</sub> の 2 乗に比例する。

同じ泥水を違う機種で処理する場合には、分離しようとする粒子の沈降速度 V<sub>s</sub> は同じとすれば(3)式が成立する。

$$\frac{Q_1}{\eta_1 \Sigma_1} = \frac{Q_2}{\eta_2 \Sigma_2} = V_s \text{ (一定)} \dots\dots\dots(3)$$

$$\therefore Q_2 = f \cdot Q_1 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{L_2/D_2}{L_1/D_1}\right) \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{ただし、} f = \frac{\eta_2}{\eta_1}$$

したがって、処理量はボウル内径の比の 2 乗に比例し、(ボウル長さ/ボウル内径)の比の 1 乗に比例する。

## 4. 性能に影響を及ぼす因子

スクリュウデカンター型遠心分離機に分級性能あるいは固液分離性能に影響を及ぼす因子は、機械本体の構造（たとえば、ボウルの形状、スクリュウのピッチ、……）などの固定パラメーターは別とすれば、主なものは①供給原液の性状（濃度、粒度、粘度など）②供給原液の流量（処理量）、③遠心効果、④外胴と内胴の回転差（差速）、⑤プール深さ（堰の位置；オリフィス No.）、であり、凝

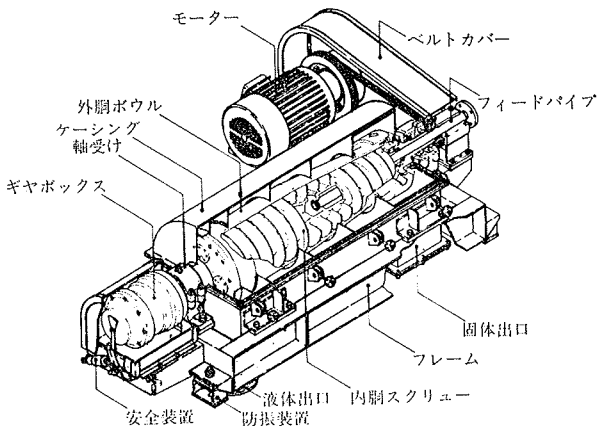


図-1 スクリューデカンター型遠心分離機の構造<sup>5)</sup>

集剤を使用する場合には、⑥凝集剤の種類と量、である。

### 5. 土砂の分級性能

泥水工法において、スクリュードカンター型遠心分離機を使用して泥水から細粒分を分級し、分級後の泥水を再度循環利用する場合、遠心分離機の分級性能は分級後の泥水の性状および分級したケーキの性状で評価できる。

分級後の泥水(オーバーフロー泥水)には、濃度(比重)が小さく造壁性の優れたものが要求される。スクリュードカンター型遠心分離機で分級後の泥水は微粒子に富むので造壁性は著しくよい。したがって、濃度がいかに小さくなるかを評価すればよく、これはオーバーフロー泥水の濃度で評価するよりも単位時間当りの固形分回収量で評価すべきである。

以下、外胴ボウル寸法  $\phi 400 \text{ mm}$  L 1,330 mm のスクリュードカンター型遠心分離機を地中連続壁工法・泥水シールド工法の工事現場に適用した際の施工実績などに基づいて、固形分回収量およびケーキの含水比について記述する。

#### 5.1. 固形分回収量

スクリュードカンター型遠心分離機の分級性能の概要は図-2に示すとおりであった。すなわち、固形分回収量は、運転条件では、流量を増大させると増大する。しかし、流量は機械的な制約もあり限度がある。また、一般に流量を増大させると回収率(投入した固形分のうちケーキとして排出される割合)は減少するので、所定の流量までは流量とともに固形分回収量は増大するが、それ以上の流量では頭打ちとなる。

遠心効果の影響は、流量と同様な傾向を示し、所定の値までは遠心効果を大きくすると固形分回収量も多くなるが、その値以上遠心効果を大きくしても増大しない。この遠心効果は900~1,500 G である。

差速とプール深さの影響は、一般に差速が大きいほど、プール深さが深いほど固形分回収量は多くなる傾向にある。しかし、これらの影響は極端な条件の場合は別として影響は小さい。

特性	泥水性状			運転条件			
	濃度(比重)	粒径(例えばD <sub>50</sub> )	粘度	流量	遠心効果	差速	プール深さ
固形分回収量	↗	↗	↘	↗	↗	↗	↗
ケーキの含水比	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘

図-2 スクリューデカンター型遠心分離機の分級性能の概要

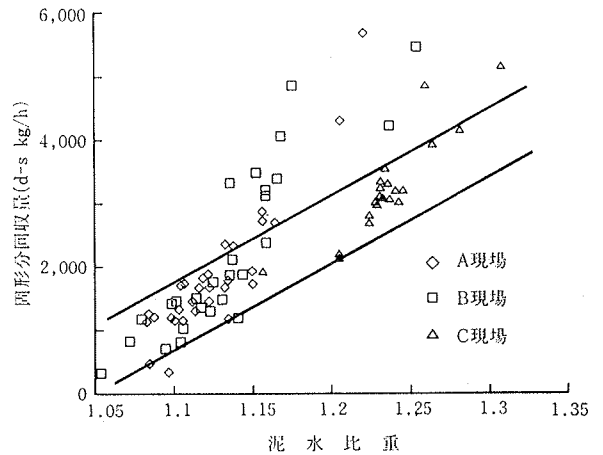


図-3 供給泥水の比重と固形分回収量

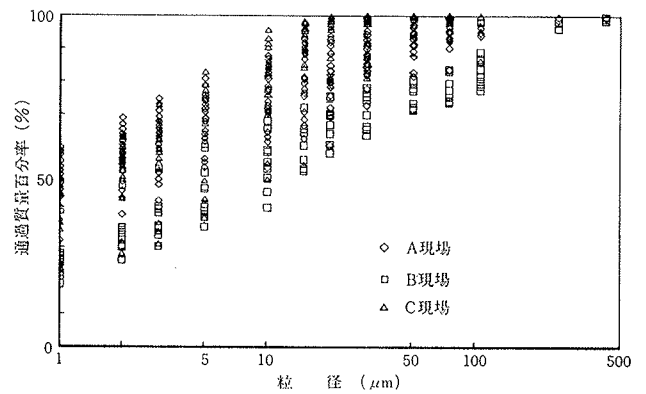


図-4 供給泥水の粒度分布

一方、供給泥水の条件では、濃度(比重)が大きいほど固形分回収量は多くなる。また、泥水中の固形分の粒度、泥水の粘度の影響は、粒度が粗いほど、粘度が低いほど固形分回収量は多くなると考えられるが、地中連続壁工法および泥水シールド工法における実績ではこれらの影響は顕著ではなく、濃度の影響に比べると小さい。

したがって、スクリュードカンター型遠心分離機で細粒分を分級する場合には、所定の流量および遠心効果を確保した条件では固形分回収量は供給泥水の濃度(比重)によってほぼ決まる。図-3は外胴ボウル寸法  $\phi 400 \text{ mm}$ , L 1,330 mm の機械の地中連続壁工法および泥水シールド工法における処理実績を示すものである。なお、供給泥水の土粒子の粒度分布は図-4に示すとおりであった。

図-3から明らかなように、泥水比重が大きいほど固形分回収量は多くなり、泥水比重  $\rho=1.1$  で 800~1,800 kg/h,  $\rho=1.15$  で 1,500~2,500 kg/h,  $\rho=1.20$  で 2,000~3,000 kg/h である。なお、 $\rho=1.15$  以上で固形分回収量が多いものは供給泥水中に砂分を含有

していたためである。

図-5は分級結果の一例を示すものである。図から明らかなように、10 $\mu\text{m}$ 以上の粒径のものはほとんどすべて回収される。一般に、分級性能はトロンプ曲線においてアンダーフローへの配分率が50%の粒径(分離粒径)などで表示される<sup>1)</sup>。スクリュードカンター型遠心分離機の分離粒径  $d_T$  は3.3~15.4 $\mu\text{m}$ 、(平均7.8 $\mu\text{m}$ )、補正分離粒径  $d_T^{(1)}$  は3.5~18.0 $\mu\text{m}$ 、(平均9.2 $\mu\text{m}$ )であり、修正トロンプ曲線<sup>2)</sup>は図-6に示す範囲にある。

また、所定の流量を確保したときの固形分回収量と流量比(フィード流量に対するケーキの量の容量百分率)の関係は図-7に示すとおりであり、流量比は5~15%、換言するならば95~85%の泥水が再生されることになる。なお、流量比は流量を小さくすると増大する。

### 5.2. ケーキの含水比

結果の概要は図-2のとおりである。ケーキの含水比は、流量を増大させるほど、遠心効果を大きくするほど低くなるが、そのうち頭打ちとなり、ほぼ一定値となる。差速とプール深さの影響は、差速が小さいほど、プール深さが浅いほど含水比は低くなる傾向にある。しかし、これらの影響は比較的小さい。

一方、供給泥水の条件では、濃度が大きいほど含水比

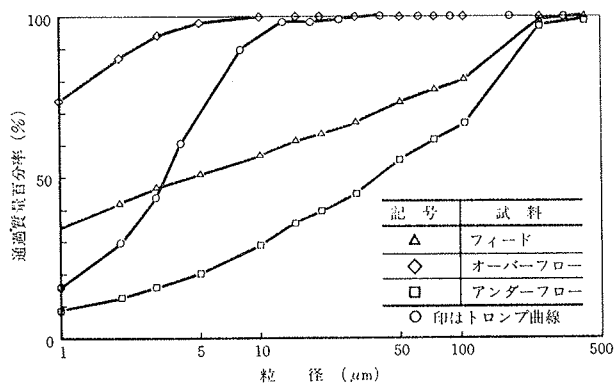


図-5 分級結果の一例

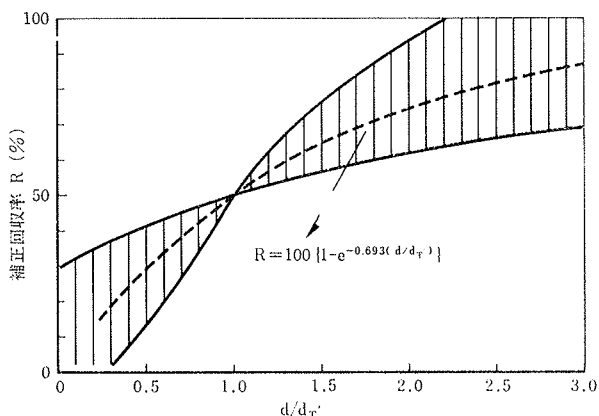


図-6 スクリューデカンター型遠心分離機の修正トロンプ曲線

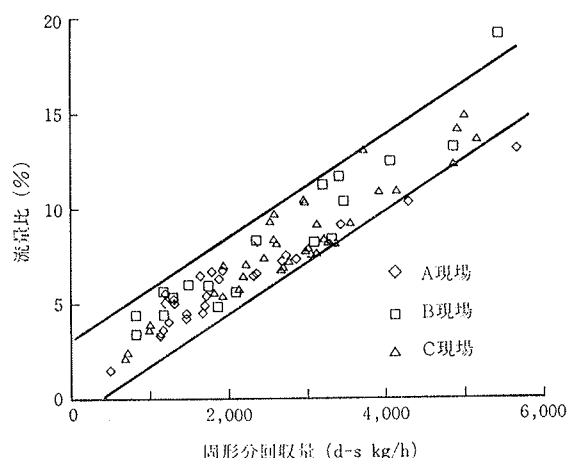


図-7 固形分回収量と流量比

は低くなる傾向にある。また、粒度、粘度の影響は、粒度が粗いほど、粘度が高いほどケーキの含水比は低くなる傾向にあるが、これらの影響は濃度の影響に比べると小さい。

さて、現場の定常運転時のケーキの含水比は主に供給泥水の濃度(比重)に左右される。図-8は供給泥水の比重とケーキの含水比の関係を示すものである。図から明らかなように、泥水比重が大きいほどケーキの含水比は低くなる傾向にあり、 $\rho=1.15$ で60~30%、 $\rho=1.20$ で45~30%、 $\rho=1.25$ で40~30%である。また、図-9に泥水比重とケーキの含水比からケーキの液性限界を引いた値との関係を示すように、比重の大きい泥水を処理すればケーキの含水比は液性限界に近くなり、 $\rho=1.20$ の泥水の場合液性限界付近から液性限界よりも5%程度高い含水比である。

### 6. 土砂の固液分離性能

スクリュードカンター型遠心分離機を連壁・シールド工事の掘削終了後の廃棄泥水の処理に適用し、廃棄泥水の固液分離処理を行なった。

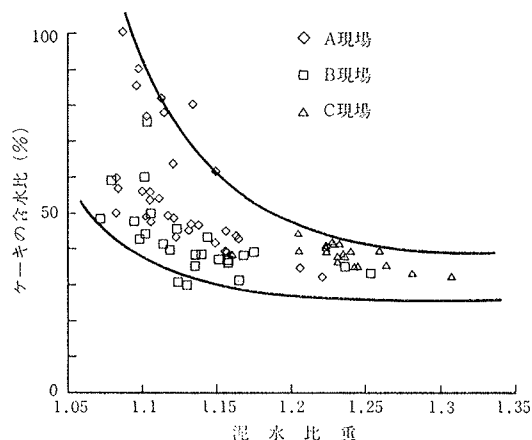


図-8 供給泥水の比重とケーキの含水比

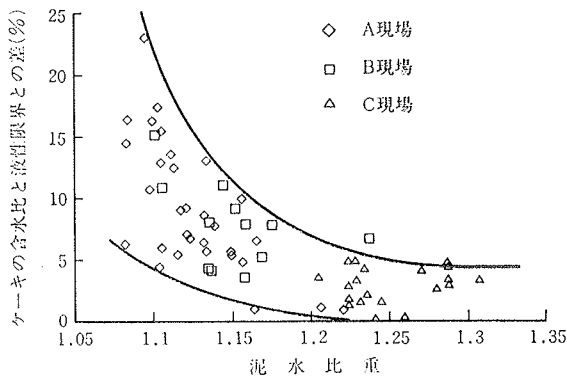


図-9 泥水比重とケーキの含水比と液性限界との差

凝集剤は無機系凝集剤の PAC をあらかじめ槽内で供給泥水と混合しこれをスクリュードカンター型遠心分離機の供給口に投入した。また、高分子凝集剤は分離機の高分子集凝剤注入口に直接投入し分離機内で混合した。結果は表-1 に示すとおりであった。なお、使用した分離機は  $\phi 400$  mm, L1, 330 mm のものである。表-1 に示すように、原液比重 1.05~1.10 の泥水に対して PAC を 1,500~2,000ppm, 高分子凝集剤を 100~200ppm 添加したときの分離水の SS は 20~150mg/l, ケーキの含水比は 90~120% であり、廃液処理として十分満足できる結果であった。

ところで、廃液処理においては凝集剤の管理は言うまでもなく重要であるとともに、スクリュードカンター型遠心分離機の運転では沈降した土粒子をすべて掻出す必要があり、最適な差速の管理をする必要がある。

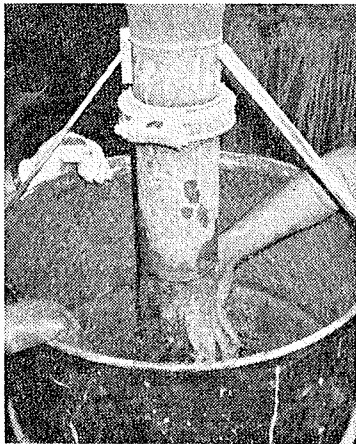


写真-1 分離水

処 理 条 件	原液比重	1.05~1.10
	流量 (m <sup>3</sup> /h)	15
	凝集剤添加量 (ppm)	PAC 1,500~2,000 高分子 100~200
処 理 結 果	ケーキの含水比 (%)	90~120
	分離水のSS (mg/l)	20~150
	分離水のpH	7.0~7.5

表-1 固液分離結果

## 7. まとめ

地中連続壁工法、泥水シールド工法などの泥水工法において、泥水に解膠された細粒分を効率的に除去するため  $\phi 400$  mm L 1,330 mm のス

クリューデカンター型遠心分離機を適用した。また、工事終了時の廃泥水などの廃液をこの遠心分離機で処理した。その結果、以下のことが明らかになった。

(1) スクリューデカンター型遠心分離機による細粒分の分級性能には、泥水の濃度(比重), 流量, 遠心効果が大きく影響する。

(2) 流量, 遠心効果を一定にした定常運転時には分級性能は主に供給泥水の比重に左右され, 比重が大きいほどよい性能を示す。性能の一例を示すと, 比重1.20の泥水を流量 20~30 m<sup>3</sup>/h で処理した時の固形分回収量は 2,000~3,000 kg/h, ケーキの含水比は30~45%である。

(3) 細粒分に分級後に再生される泥水は供給泥水の 85~95 vol % であり, 非常に効率のよい処理が可能である。

(4) スクリューデカンター型遠心分離機で廃棄泥水を固液分離処理した場合, 比重 1.05~1.10 の廃液に PAC を 1,500~2,000 ppm, 高分子凝集剤を 100~200 ppm 添加して 15 m<sup>3</sup>/h の流量で固液分離を行なったところ分離水の SS は 20~150 mg/l, ケーキの含水比は90~120%であった。

## 8. あとがき

泥水工法の泥水処理にスクリュードカンター型遠心分離機を適用することにより、本文に示したような効率的な処理が可能である。この機械は他の分離機と併用して使用するものであり、今後は最適な処理フローシステムを検討する予定である。

おわりに、この研究の成果の一部は石川島播磨重工業(株)と共同研究の結果得られたものである。また、研究を進めるにあたり、本社 特殊工法部、同機械部、現場の皆様にご協力していただいた。ここに記して深く謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 喜田, 炭田, 辻, 他: 大林組技術研究所報, No. 25, (1982), pp. 112~117
- 2) 喜田, 炭田, 辻: 大林組技術研究所報, No. 27, (1983), pp. 112~116
- 3) 辻, 喜田, 炭田: 大林組技術研究所報, No. 32, (1986), pp. 82~86
- 4) 喜田, 辻, 炭田: 大林組技術研究所報, No. 29, (1984), pp. 145~149
- 5) 石川島播磨重工業(株): 遠心分離機総合カタログ
- 6) 化学工学協会編: 化学工学便覧, 丸善

# SG(自硬性安定液)工法に関する研究 (その10)\*

—SG中への掘削土砂混入量とその固化強度への影響—

喜田大三 久保博

## Studies on SG (Self-hardening Genius Slurry) Method (Part 10)

—Volume of Excavated Soil Mixed into SG and Its Influence  
on Strength of Hardened SG—

Daizo Kita Hiroshi Kubo

### Abstract

One of the generally used systems in the SG method is to excavate a trench while filling it with SG. Methods of measuring the volume of soil mixed into SG while excavating in this system were examined, and field tests applying the methods and laboratory tests on the strengths of hardened SG mixed with soils were performed. (1) The volumes of soil mixed were calculated from the densities of SG supplied and SG in the trench, or by the chemical composition of SG in the trench. The latter gives the more correct data. (2) The volumes of soil mixed in the field in types of ground mainly consisting of sand, alluvial cohesive soil, and volcanic cohesive soil were respectively 100 to 180 l, 100 to 250 l, and 80 to 120 l per cubic meter of SG containing soils. (3) The mixing of sand did not influence the strength of hardened SG. Strength was increased by mixing 100 l of alluvial cohesive soil and was similar to that of SG not containing soils by mixing 200 to 300 l, except in a few cases. Volcanic cohesive soil or humus decreased strength when mixed at a rate of 100 l.

### 概 要

SG(自硬性安定液)工法のうち、孔溝にSGを満たしケーリー掘削機で孔溝を掘削する方式がある。その際にSG中に混入する土砂量の測定法を検討し、それを適用した現場調査、さらに土砂混入SGの固化強度に関する室内試験を行なった。

(1) 土砂混入量の測定には、供給SGと孔内SGの比重差から求める簡便法と、孔内SGの組成を分析する方法がある。後者の方が正確な値を与える。前者は、孔内におけるSG中の水分の逸失による誤差を伴い、実際よりも大きな値を与える。

(2) 砂地盤、沖積粘性土地盤、関東ローム地盤の各現場のSG中の土砂混入量は、土砂を含むSG1m<sup>3</sup>当り、それぞれ100~180 l、100~250 l、80~120 lであった。土砂混入量は、地盤だけでなく、SGの粘性にも影響を受けた。

(3) SG固化強度は、砂の混入の影響をほとんど受けなかった。また、SG固化強度は、沖積粘性土が、土砂を含むSG1m<sup>3</sup>当り約100 l混入すると増大し、200~300 l混入すると、やや低下する場合があったが、一般に土砂無添加SGのそれと同程度であった。関東ロームや腐植土は、100 l混入でSG固化強度を低下させ、200 l混入で大幅に低下させた。

### 1. まえがき

SG(自硬性安定液)工法は、仮設の山留め遮水壁の築造、地下ダムなどの遮水壁の築造、鉄筋コンクリート製地中連続壁築造時の掘削孔溝周部の地盤改良などに多く採用されている。この工法には、①SGを孔溝に満たしながら孔溝を掘削し、そのまま固化させる方式(ここで非

置換方式という)と、②ベントナイト泥水やポリマー泥水を孔溝に満たしながら掘削したのち、SGで置換し固化させる置換方式がある。非置換方式では、孔溝掘削時にSG中に土砂が混入し、その量は一定でない。一方、置換方式では、SG供給時に土砂を混合しない限り、土砂の混入がない。この報告は、しばしば問題になる非置換方式での土砂混入について検討している。

既報<sup>1)</sup>において、SGは土砂混入によって粘性が増大

\* 改題：自硬性安定液に関する研究(その9)に続く