

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SG1m³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SG1m³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¹⁾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

すること、その低減に遅延剤が有効であること、またSGの固化強度は多量の粘性土混入によって低下するが、砂や少量(10%)の粘性土の混入ではほとんど影響されないことなどが報告されている。しかし、これらは、室内試験のみであり、供試土の種類も限られている。したがって、現場における土砂混入量、また土砂の種類によるSG性状への影響などは、明らかにされていない。

そこで、この報告では、土砂混入量の測定方法を検討し、その手法を適用して現場の土砂混入量を調査した。さらに、土砂混入がSGの固化強度に及ぼす影響を調べるため、各種の土砂による室内試験を行なった。

2. SG中の土砂混入量の測定方法の検討

2.1. 供給SGと孔内SGの比重差から求める方法

孔内に供給するSGの組成は一定であり、当然、その比重も一定値を示し、一般に1.14~1.19の範囲にある。一方、掘削土砂の湿潤密度は、一般に1.3~1.9t/m³の範囲にある。したがって、孔内SGの比重は、掘削土砂の混入量とともに増大する。このことを利用して、土砂混入量は、次式によって求められる。

$$D_2 = \frac{1000 \times D_1 + S' \times D_3 \times e}{1000 + S'}$$

故に、
$$S' = \frac{1000 \times (D_2 - D_1)}{D_3 \times e - D_2}$$

また、
$$S = \frac{S'}{1 + S'/1000}$$

ここで、

D₁: 供給SGの比重

D₂: 孔内SGの比重

D₃: 土砂の湿潤密度 (t/m³)

e: 土砂の飽和度が100%未満の場合、土砂中の気体部分の体積を除くための係数

S': 供給SG 1m³ 当り土砂混入量 (l)

S: 孔内SG 1m³ 中の土砂混入量 (l)

この方法を以下、比重差法という。孔内SGの比重増大は、上述の土砂混入だけでなく、SG中の水分の逸失によっても起る。したがって、比重差法は、簡便であるが、一般に実際よりも大きな値を与える。また、各種の土層からなる場合、土砂の湿潤密度の設定値が重要となる。

2.2. 孔内SGの比重、含水比、固化材含有量などから求める方法

孔内SGの比重と含水比から、その1m³中に含まれる全固形分の質量を求め、その質量か

ら供給SGに由来する固化材およびベントナイトの質量を差引いた値は土砂混入量である。故に、土砂混入量は、次式で求まる。

$$S = \left\{ 1000 \times D_2 \times \frac{100}{100 + W_1} - C_1 \times \left(y + \frac{B_0}{C_0} \right) \right\} \times \frac{100 + W_2}{100} + D_3$$

ここで、

S, D₂, D₃: 前述(2.1.)と同じ

w₁: 孔内SGの含水比 (%)

w₂: 土砂の含水比 (%)

B₀, C₀: 供給SGの水1m³当りのベントナイト量 (kg), 固化材量 (kg)

C₁: 孔内SG 1m³中の固化材含有量 (kg)

y: 固化材の水和を考慮した補正係数

この方法を以下、組成分析法という。組成分析法は、孔内SGの水分量の変化に影響されない。なお、結果の

現場名	A	B	C	D	
場所	鹿児島市	東京都築地	東京都日本橋	東京都池袋	
主な土質	砂質土	沖積粘性土	沖積粘性土	関東ローム	
SG配合(水1m ³)	ベントナイト	共立, 50kg	共立, 70kg	共立, 50kg	
	固化材	高炉B種, 240kg	特セラ, 180kg	特セラ, 180kg	
	FO-1	1.2kg (平均)	1.2kg (平均)	1.0, 1.7kg (平均)	1kg (平均)
壁厚	0.5m	0.6m	0.4m	0.6m	
壁深	18m	13m	15m	14.5m	
土質柱状図	(m)	N値		N値	
	0	中細砂 6	埋土	埋土	埋土
	-5	粗砂 8	シルト混り細砂	埋土	ローム 2
		細砂 15	砂質シルト	既設コンクリート	粘土質ローム 4
	砂混り粘土		砂質シルト	2	
	-10	中細砂 10	シルト質粘土	細砂 8	2
			3	砂質シルト	3
	-15	細砂 10	砂質シルト	砂質シルト	凝灰質粘土 5
			砂礫 20	シルト混り砂	1
	-20	中砂 23	シルト混り中砂	凝灰質シルト	凝灰質シルト 8
30			砂質シルト	1	
土砂の平均的性状	含水比	30%	50%	47%	70%
	湿潤密度	1.8t/m ³	1.63t/m ³	1.64t/m ³	1.55t/m ³

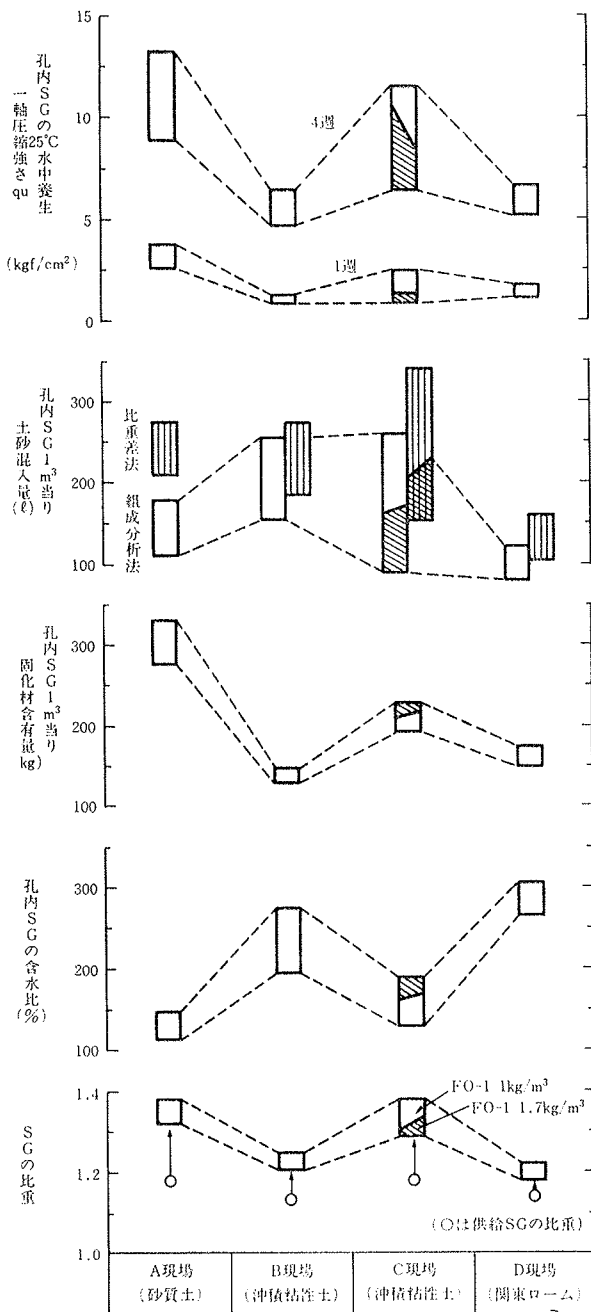
表一 各現場の施工条件と土質

詳細を省くが、室内で一定量土砂を混入し、組成分析法で調べた結果、誤差は5%以内であり、本法の妥当性が認められた。しかし、本法も、各種の土層からなる現場では、土砂の含水比と湿潤密度の設定値が重要となる。

3. SGの土砂混入量と固化強度に関する現場調査例

3.1. 現場の概要

調査現場は、表一1の4現場である。A現場は砂質地盤、BとC現場は軟弱層を含む沖積粘性土地盤、D現場は関東ローム地盤である。掘削孔の形状とSGの配合は、



図一1 各現場のSGの性状

同表に示す。また、いずれの現場も掘削機として、バケット式の「ケリー40M」を用いた。

3.2. SG中の土砂混入量

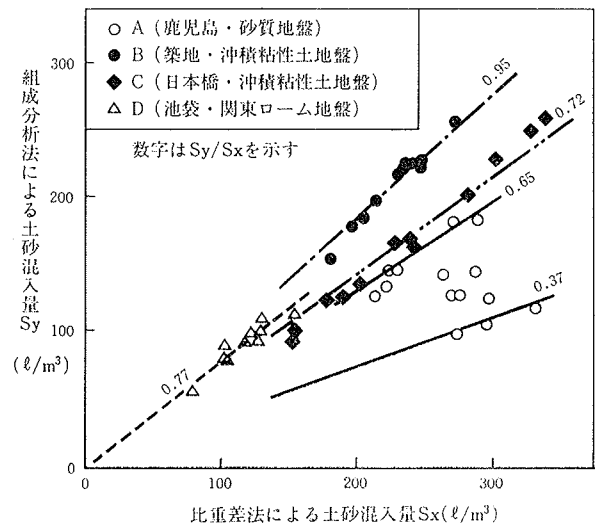
各現場のSGの比重、含水比、固化材含有量、さらに土砂混入量を図一1に示す。これらは、各現場の標準的な施工状態にある1~2のパネル数の調査結果である。

孔内SGの比重は、各現場とも供給SGの比重よりも大きく、特にA現場で顕著であった。また、A現場では、他に比べて孔内SGの含水比が低く、固化材含有量が多かった。このことは、A現場が砂質のため、SG中の水分が多く逸失したことによると考えられる。また、D現場の含水比が高かったのは、逸水量が少なく、土砂の含水比(表一1)が比較的高かったためと考える。一方、B現場のSGの逸水量は、極く少量と計算された。

これらの値を用いて比重差法、組成分析法で求めた土砂混入量は、同図のようであった。ここで、前述のように精度がより高い組成分析法によると、孔内SG 1m³中の土砂混入量は、A現場で100~180l、B現場で150~250l、C現場で100~250l、D現場で80~120lであった。すなわち、土砂混入量は、地盤の影響を受け、沖積粘性土地盤>砂質地盤>関東ローム地盤の順であった。また、C現場で、遅延剤FO-1の添加量が異なるパネルを調査した。その結果、図一1のように、土砂混入量は、FO-1を多く添加するほど、すなわちSGの粘性を低下させるほど減少することが示唆された。

なお、結果の詳細を省略するが、B、D現場において現場のSG固化壁から試料採取し、組成分析法によって土砂混入量を求めた。その結果、固化壁中の土砂混入量は、上述の孔内SGのそれとほぼ一致し、孔内SG試料についての測定が有意であることが認められた。

つぎに、比重差法による土砂混入量(Sx)と組成分析



図一2 土砂混入量測定における比重差法と組成分析法の関係

法による土砂混入量 (Sy) の関係を図-2 に示す。Sy/Sx 比は、砂地盤のA現場では0.37~0.65と小さく、しかもばらついた。一方、逸水の少ない沖積粘性土地盤のB現場では0.95であった。C, D 現場では、それらの中間値を示した。このように、Sy/Sx 比は、地盤の影響を強く受けるが、データを集積すれば、簡便な比重差法による土砂混入量の推定も可能と考える。

3.3. 孔内 SG の固化強度

孔内 SG の約25°C水中養生の固化強度を図-1 に示す。固化強度は、A現場 ≧ C現場 > D現場 ≧ B現場 の順で、固化材配合量(表-1)の多い A, C 現場で大きかった。さて、固化強度の変動の要因は、固化材配合量の他に、土砂の混入、孔内での水分量変化、養生温度など各種考えられる。これら要因のうち、混入土砂がどのように影響するか、この現場調査のみでは明らかにできない。

そこで、混入土砂の種類・量が SG の固化強度に及ぼす影響について、4章に述べる室内試験において検討した。

4. 室内試験における土砂混入SGの固化強度

4.1. 試験方法

家庭用ミキサーを用いて、図-3 に示す配合で SG を作製し、さらに同図の土砂混入量になるように各種土砂を混合した。そして、φ3×h7 cm のモールドに流し込み、25~27°C 水中養生し、一軸圧縮試験を行なった。

4.2. 砂を混合した SG の固化強度

水 1m³ 当りベントナイト 50 kg, 固化材 180 kg 配合の SG の固化強度は、土砂無添加の場合、qu1w で 2.1 kgf/cm², qu4w で 9.8 kgf/cm² であった。一方、図-3 No. 1 のように、砂を 1m³ 当り290 l まで混入しても、SG の固化強度は、ほとんど変化しなかった。したがって、図-1 で砂質地盤での土砂混入量が 100~180 l であったことも考慮すると、砂質地盤では、一般に、土砂混入による強度低下はないと判断する。

なお、結果の詳細を省略するが、砂質土が多量の水分を含む場合、その混入によって SG の単位水量当りのセメント量が減少するので、当然、固化強度は低下する。

4.3. 沖積粘性土を混入した SG の固化強度

沖積粘性土を混入した SG の固化強度を図-3 の No. 2, 3, 5, 6 に示す。これらの土は、混入量 110 l/m³ において、いずれも土砂無添加 SG の固化強度に比べて大きい (4 週強度で20~50%大きい) 固化強度を示した。この原因調査のため、固化試料の X線回折試験を行なったが、図-4 に一例を示すように、X線回折図に明瞭な差異を認めなかった。したがって、この原因として、X線回折図に現われない低結晶質の生成物の質、量の差異などが固化強度に影響したと推察する。

つぎに、これらの沖積粘性土を 200 l/m³ 混入すると、固化強度は、いずれも 110 l/m³ の場合に比べて低下した。

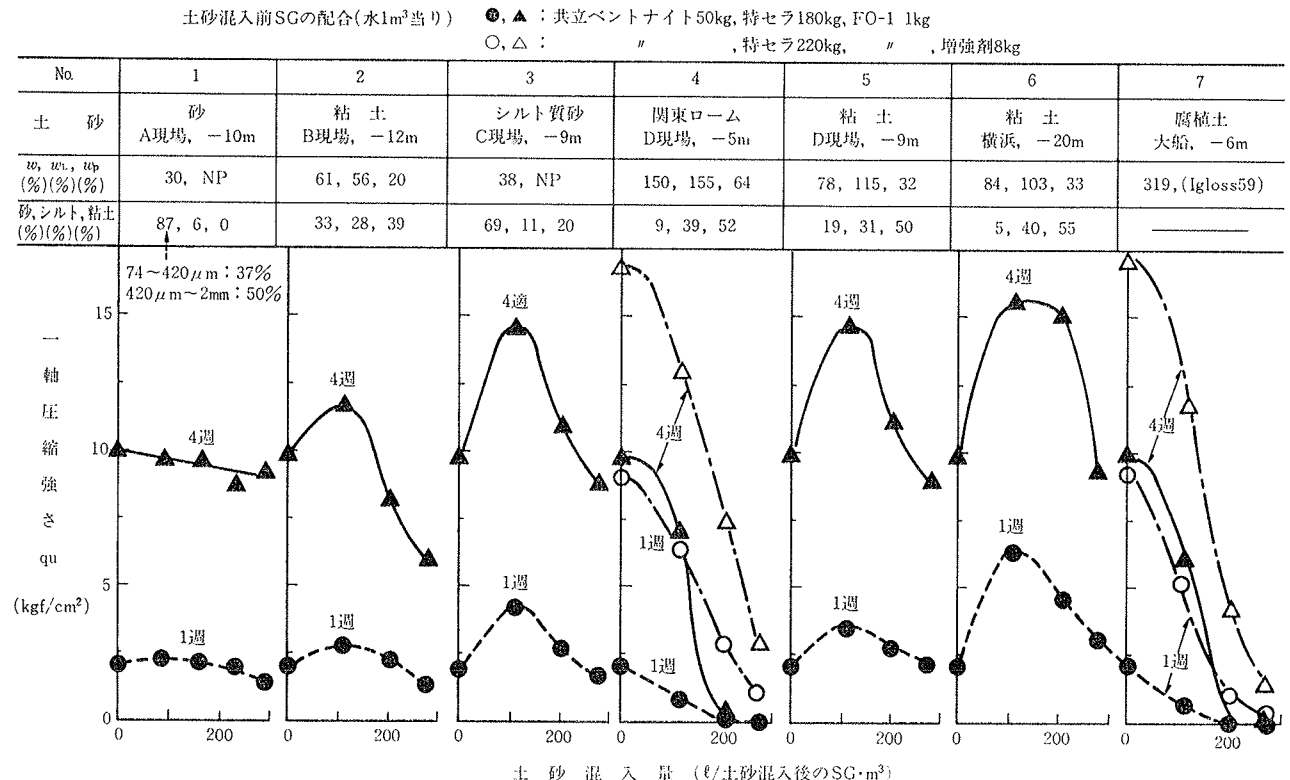


図-3 室内試験において各種土砂を混入した SG の固化強度

その程度は、土によって異なり、No. 6 では僅かであった。そして、 200 l/m^3 混入の固化強度は、No. 2 では土砂無添加 SG のそれを4週で20%下回ったが、No. 3, 5, 6ではそれを上回った。また、沖積粘性土を 270 l/m^3 まで混入すると、SG 固化強度は、さらに低下し、No. 2 では4週で土砂無添加 SG のその60%になった。しかし、No. 3, 5, 6では、 270 l/m^3 混入しても、土砂無添加 SG と同程度の固化強度を確保した。これらの結果は、土の物理的性状の差異のみで説明できない。固化強度に関する要因を、今後さらに検討する必要がある。

以上、沖積粘性土が約 100 l/m^3 混入することによって、SG の固化強度は、一般に増大する。また、沖積粘性土が約 $200\sim 300\text{ l/m}^3$ 混入すると、その固化強度は、土によって異なり、土砂無添加 SG の固化強度を下回る場合があるが、一般に土砂無添加 SG のそれと同程度である。したがって、室内と現場で混入土砂の粒度や解膠状態が全く同じとは限らないが、3.2. で述べた現場の沖積粘性土の混入量 $100\sim 250\text{ l/m}^3$ を考慮すると、現場での沖積粘性土の混入は、SG 固化強度をやや低下させる場合があるが、一般に低下させないと判断される。

4.4. 関東ロームを混入した SG の固化強度

結果を図一3の No. 4 に示す。関東ロームを混入した場合、固化材 180 kg/m^3 配合のSG の固化強度(4週)は、土砂無添加 SG のそれに比べて、 110 l/m^3 混入で25%低下し、 200 l/m^3 以上混入するとほとんど固化しなかった。この主原因として、関東ロームに含まれる粘土鉱物アロフェンが多量の遊離石灰を吸着して、セメントの硬化反応を阻害したことなどが推察される。

このように、関東ロームは、砂や沖積粘性土の場合と異なり、その混入量が約 100 l/m^3 でも、SG 固化強度を低下させ、約 200 l/m^3 以上混入すると、固化材 180 kg/m^3 配合において固化困難になる。しかし、3.2. に述べたように現場における関東ロームの混入量が $80\sim 120\text{ l/m}^3$ であったことを考慮すると、それによる SG 固化強度への影響は、一般に30%程度であろう。

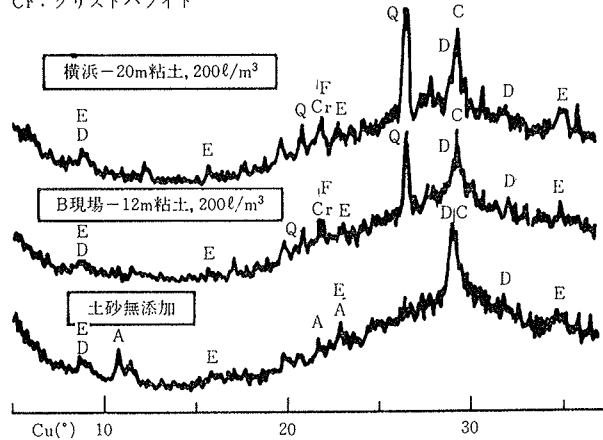
また、何らかの原因によって関東ロームが約 200 l/m^3 混入するような場合、図一3の No. 4 のように固化材配合の増大、増強剤の併用が有効である。

4.5. 腐植土を混入した SG の固化強度

図一3の No. 7 に示すように、腐植土の混入は、関東ロームと同様に、SG 固化強度を低下させた。これは、腐植土中のフミン酸などの影響によると推察される。腐植土混入量に関する現場調査結果がないので、現場でのその影響は明らかでない。腐植土が多量混入する場合、同図のように、固化材の増量、増強剤の併用を要する。

以上、4.2. ~4.5. に述べたように、SG 固化強度に対

A : $\alpha\text{-CaAH}_3$, D : $\text{C}_{1.5-2}\text{SH}_{1-4}$, E : エトリンジャイト
 Q : 石英, F : 長石, C : 炭酸カルシウム
 Cr : クリストバライト



図一4 土砂無添加 SG および土砂混入 SG の 4 週材令における X線回折図

する土砂混入の影響は、土砂の種類と混入量によって異なった。したがって、現場における混入土砂の種類と量を把握し、必要に応じて対処することが重要である。

5. まとめ

SG 工法のうち、SGを孔溝に満して孔溝を掘削する方式では、SG 中に掘削土砂が混入する。その土砂混入量の測定法の検討、それを適用した現場調査、土砂混入 SG の固化強度に関する室内試験で、以下の知見を得た。

(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方法(比重差法)と、孔内 SG の比重・含水比・固化材含有量などから求める方法(組成分析法)がある。後者の方が妥当性が高い。前者は、簡便であるが、孔内における SG 中の水分変化による誤差を伴う。

(2) 組成分析法による現場の土砂混入量は、土砂を含む SG 1 m^3 当り、砂地盤で $100\sim 180\text{ l}$ 、沖積粘性土地盤で $100\sim 250\text{ l}$ 、関東ローム地盤で $80\sim 120\text{ l}$ であった。

(3) 砂の混入は、SG の固化強度に影響しなかった。沖積粘性土は、 100 l/m^3 で固化強度を増大させ、 $200\sim 300\text{ l/m}^3$ でやや低下させる場合もあるが、一般に土砂無添加 SG と同程度の固化強度を与えた。関東ロームや腐植土は、 200 l/m^3 で固化強度を大幅に低下させた。

最後に、この研究に御協力・御助言を頂いた本社 特殊工法部の方々、当技術研究所 化学研究室 斎藤裕司 副主任研究員に感謝します。

参考文献

1) 喜田, 斎藤, 川地: 自硬性安定液に関する研究(その2), 大林組技術研究所報, No. 20, (1980), pp. 71 ~76