

# 自硬性安定液に関する研究（その6）

——早期強度増進剤の開発と現場適用例——

齋藤 裕司 喜田 大三

## Studies on Self-Hardening Slurry (Part 6)

——Development and Field Application of Agent for Increasing Strength  
at Early Age of Self-Hardening Slurry——

Hiroshi Saito Daizo Kita

### Abstract

This study was made with the objective of increasing strengths at early age of self-hardening slurry in order to prevent looseness of ground due to excavation and to start early excavation by the OWS method after improvement of ground with self-hardening slurry. The results were as follows:

(1) The inorganic agent which accelerates the hydration of cementing materials at early age was developed through laboratory tests. The effect of this agent in increasing strengths at 1-day age were very small. However, strength increased approximately in proportion to addition of this agent after 2 days.

(2) This agent exhibited the specified performances in field applications.

### 概 要

自硬性安定液（SG）の早期強度が必要となるのはSG工事中の周辺地盤のゆるみを防止する場合や、SG地盤改良工事後すみやかにOWS工事を開始させる場合が主となる。そこで、上記の施工を可能にすることを意図し、SGの早期強度を増大させるための研究を行なって、以下の知見を得た。

(1) 室内実験によって、初期の水和鉱物の生成を促進する無機系の早期強度増進剤を開発した。この増進剤の添加による1日強度での効果はほとんど認められない。しかし、2日以後の強度は増進剤の添加量にほぼ比例して著しく増大する。

(2) 現場においても、早期強度増進剤は所定の性能を発揮し、この増進剤を実用化できた。

## 1. まえがき

SGはOWS工事の補助工法としての地盤改良工事、SG壁体を遮水壁、または仮設の土留・遮水壁として利用する工事、ならびにPC地中壁工事などに広く利用されている。その際、SGの早期強度が必要となるのは地盤改良工事後すみやかにOWS工事を開始させる場合や、SG工事中の周辺地盤のゆるみを防止する場合が主となる。必要な早期強度を得るための最も簡単な方法は硬化材量を増すことである。しかし、この方法では材料費のコストが非常に増大する。そこで、上記の施工を経済的に可能にすることを意図し、SGの早期強度を増大させ

るための研究を行なった。その結果、従来のSGに少量添加することによって、早期強度を著しく増大できる早期強度増進剤を開発した。

ここでは、室内実験による早期強度増進剤の研究開発結果を述べるとともに、現場適用によってもその効果を確認し実用化できたので以下に報告する。

## 2. 室内実験による早期強度増進剤の研究開発

### 2.1. 早期強度増進剤の効果

過去一連の研究結果に基づくと、早期強度増進の一方は初期の水和鉱物の生成促進であり、それを可能にする早期強度増進剤を研究し、無機系材料を開発した。

2種類の硬化材(A, B)を使用したSGに増進剤を添加した際の材令7日までの早期強度を図-1に例示する。図示したように、両硬化材とも1日強度での効果はほとんど認められない。しかし、2日以後の強度は増進剤の添加量にはほぼ比例して著しく増大する。その際、早期強度は使用する硬化材の種類によって異なり、同一調合でも硬化材Bに比べて硬化材Aで大きい。

上記のように、この増進剤は材令2日以後に非常に有効である。実際の施工では単一のパネルが連続するには2日以後の場合が多く、工事中の周辺地盤のゆるみを防止するにはこの増進剤は十分に実用化できる。

なお、図示しないが、増進剤の添加によって、28日材令の長期強度も無添加に比べて5~20%増大する。また、特に1日強度が必要となる場合は別に開発した増進剤や特殊な硬化材を使用する。

2.2. 早期強度増進剤を添加したSGの流動性

図-2に示すように、早期強度増進剤を添加したSGのファンネル粘度はかくはん条件下において1時間後に60秒、2時間後に測定不能を示す。この流動性状ではケリー掘削機による掘削は可能であるが、施工性は低下すると判断される。そこで、流動性状を改善する材料を検討し、有効な添加剤を見いだした。図-2に併記したように、この添加剤量を調整することによって、SGのファンネル粘度のコントロールは可能である。なお、結果は明示しないが、この添加剤を使用しても、適切な添加量の範囲内ならばSGの早期強度の発現は阻害しない。

2.3. 早期強度の簡便な推定法

早期材令のSG硬化体の一軸圧縮試験は強度が0.5 kgf/cm<sup>2</sup>以下と小さいので、非常にやりにくい。そこで、簡便な方法で強度を推定する方法を検討した。

図-3に、同一試料について測定した一軸圧縮強度とコーン試験装置によるコーン沈下量との関係を示す。図示したように、両者はよい対応関係を示し、強度の低下に伴ってコーン沈下量は増大し、0.1~2 kgf/cm<sup>2</sup>の範囲では下記の回帰式が成立する。

$$\log q_u = -0.33 \times F_c + 0.44 \quad (0.5 \leq F_c \leq 4) \quad \dots\dots(1)$$

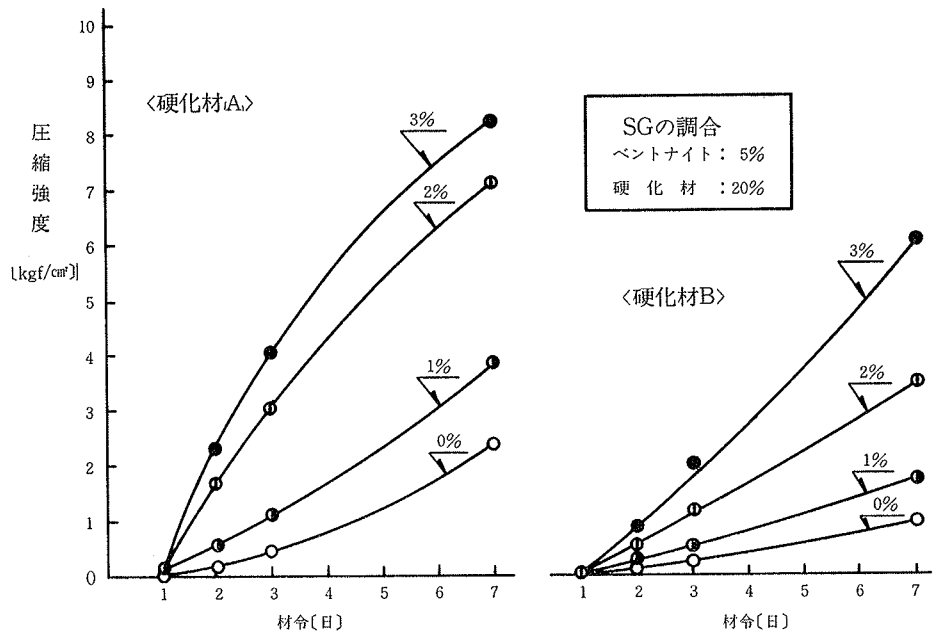


図-1 早期強度増進剤の効果

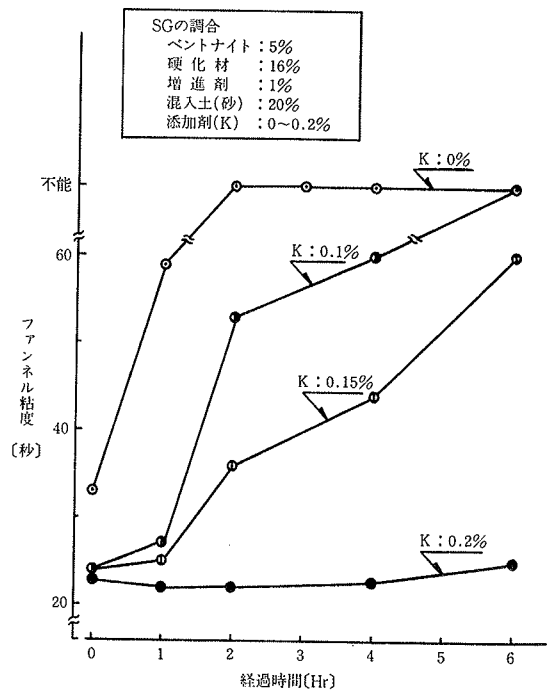


図-2 増進剤を添加したSGの流動性状

ここで、  $q_u$ : 一軸圧縮強度[kgf/cm<sup>2</sup>]

$F_c$ : コーン沈下量[mm]

したがって、早期材令のSG硬化体のコーン沈下量を測定することによって、(1)式から一軸圧縮強度を推定できる。

2.4. まとめ

SGの早期強度を増進するため、初期の水和鉱物の生成を促進する無機系材料を開発し、以下のことが判明した。

(1) この早期強度増進剤の添加による1日強度での効果はほとんど認められない。しかし、2日以後の強度は増進剤の添加量にほぼ比例して著しく増大する。その際、早期強度は使用する硬化材の種類によって異なる。

(2) 増進剤を添加したSGのファンネル粘度の経時変化は無添加とは異なり、2時間後に測定不能となる。そこで、無添加と類似の流動性状を得るのに有効な添加剤を見いだした。

(3) 簡便に一軸圧縮強度 ( $q_u$ ) を推定するにはコーン試験器によるコーン沈下量 ( $F_c$ ) が有効で、両者の間には下記の回帰式が成立する。

$$\log q_u = -0.33F_c + 0.44 \quad (0.5 \leq F_c \leq 4)$$

### 3. 現場適用例

#### 3.1. 仮設土留・遮水用の泥水固化連続壁工事

##### (1) 工事内容と施工法

図-4に示すように、当工事はSG中にH鋼とPC板を挿入した仮設土留・遮水壁工事である。土質はN値が50以上の砂・砂礫が主体で、一部にN値10前後の粘性土層をはさむ。地下水は豊富で、水位はGL-5m付近である。そこで、ベントナイト泥水を孔内に満たしながら所定の溝孔を掘削した後、各種の部材を挿入し、SGで置換した。SGは回収した泥水に硬化材を添加して作成した。

##### (2) 早期強度増進剤の使用理由とSGの調査

当工事はベンシル型ビルが林立する地域において、歩道ぞいに片押し施工でSG固化壁を構築していく。その際、建物の防護のため周辺地盤のゆるみ防止が要求され

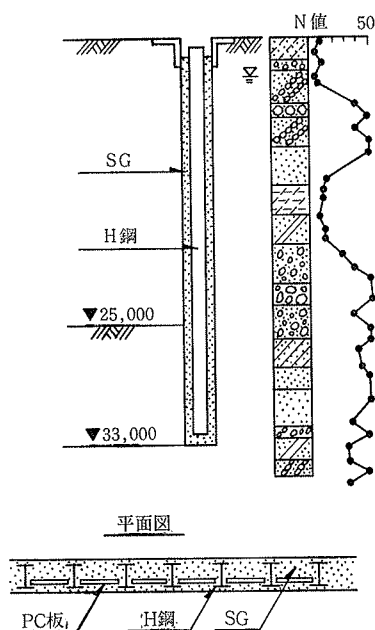


図-4 工事内容

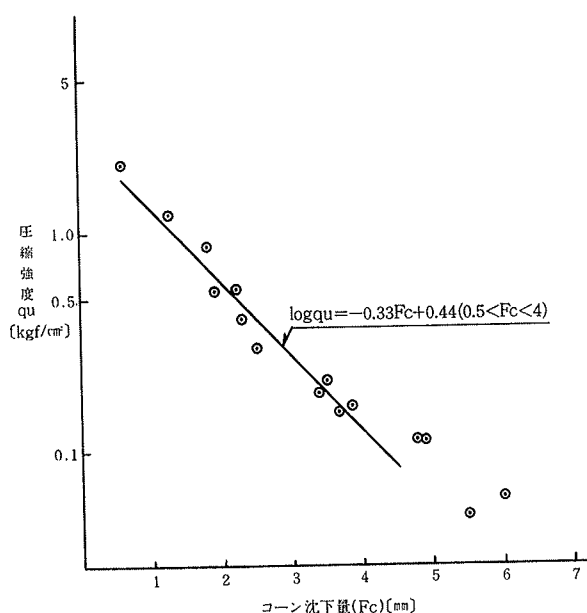


図-3 強度とコーン沈下量の関係

た。そこで、SG硬化体強度を早期に周辺地盤の強度と同程度にするため、早期強度増進剤を使用した。その標準調査はベントナイト7

	圧縮強度 [kgf/cm <sup>2</sup> ]		
	QU <sub>2</sub>	QU <sub>7</sub>	QU <sub>28</sub>
無添加	0.4	3.2	12.5
1%添加	1.3	7.6	15.8

表-1 SG強度測定結果 (例)

%, 硬化材20%, 増進剤1%であり、2日材令で1kgf/cm<sup>2</sup>以上の強度発現を目標とした。

##### (3) 適用結果

現場で置換完了時に孔内から採取し、室内養生したSG硬化体の強度を表-1に例示する。増進剤無添加時の2日強度は0.4kgf/m<sup>2</sup>と小さいが、1%添加で1.3kgf/cm<sup>2</sup>と調査計画時の1kgf/cm<sup>2</sup>以上を示した。そして、泥水固化工事中における周辺地盤の変状は全く認められなかった。

#### 3.2. OWS工事のための地盤改良工事

##### (1) 工事内容

図-5に示すように、深さ17mのOWS壁(地中連続壁)を構築するに際し、当現場の土質は粘性土でN値は10以下とゆるく、特に上部4mまでは非常に軟弱な土層である。さらに、現場の横には作業床より上に水面のある川が流れている。したがって、通常のOWS工法では上部軟弱層の崩壊を防止することは不可能と判断され、この部分を地盤改良することにした。

##### (2) 早期強度増進剤の使用理由とSGの調査

軟弱な地盤のゆるみを防止するためSGを充填しながらケーリー掘削機で6m長さの単位パネルを一つおきに先行掘削した。つぎに、軟弱な周辺地盤のゆるみを防止するため、SGが地山の強度(約0.15kgf/cm<sup>2</sup>)以上に

硬化した後、ジョイントパネルを同様に施工した。その際、先行パネルの一部では所定の強度を発現するのに必要な養生期間（4日以上）が得られなかった。そこで、その対策としてベントナイト8%，硬化材16%の調合に、養生期間に応じて増進剤を0.5～1.5%添加したSGを使用した。

(3) 適用結果

表一2に、先行パネルの養生期間に応じた増進剤添加量と強度の関係を例示する。ジョイントパネル掘削時には先行パネルの強度はいずれも0.15 kgf/cm<sup>2</sup>以上であった。その結果、SG

養生期間	増進剤[%]	圧縮強度[kgf/cm <sup>2</sup> ]
4日	0	0.20
2日	1.0	0.18
1日	1.5	0.16

表一2 SG強度測定結果 (例)

工事中に軟弱な周辺地盤にゆるみは認められなかった。そして、約5 kgf/cm<sup>2</sup>以上に強度が発現した後、孔壁の

崩壊もなくOWS工事を実施できた。

3.3. OWS工事に伴う地中障害撤去工事

(1) 工事内容と施工法

図一6に示すように、OWS壁を構築する位置に、旧建物の床板と松杭が存在していた。そこで、ロックオーガーを使用し、SGを注入しながら床板と松杭を破碎して削孔し、地盤の土砂と混合して地盤改良した。

(2) 早期強度増進剤の使用理由とSGの調合

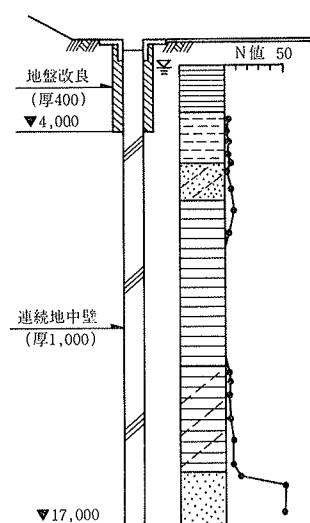
地中障害撤去工事に伴う地盤改良工事後、OWS工事を実施した。その際、一部の地盤改良部は地山の強度(約0.5 kgf/cm<sup>2</sup>)以上の強度を発現するのに必要な養生期間(1週間)が得られなかった。そこで、ベントナイト7.5%，硬化材14%の調合に、増進剤1%添加したSGを使用した。

(3) 適用結果

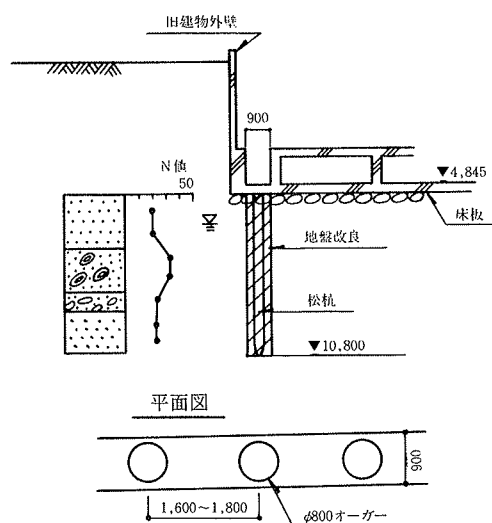
現場で削孔完了時に孔内から採取し、室内養生したSG硬化体の強度を表一6に例示する。増進剤を1%添加時の7日強度は0.56 kgf/cm<sup>2</sup>と所定の0.5 kgf/cm<sup>2</sup>以上を示した。そして、1週間後に孔壁の崩壊もなく、無事にOWS工事を完了できた。

	圧縮強度 [kgf/cm <sup>2</sup> ]		
	qu7	qu14	qu28
無添加	0.30	0.79	1.69
1%添加	0.56	1.13	3.10

表一3 SG強度測定結果 (例)



図一5 工事内容



図一6 工事内容

4. あとがき

ここでは、紙面の都合上、早期強度増進剤を適用した三つのSG工事例を紹介したが、適用現場は他に数例あり、いずれもその効果が確認されている。早期強度増進剤は、SG材料費のコストをやや上昇させるが、周辺地盤のゆるみ防止に有効であるばかりでなく、工期の短縮も計られ、OWS工事の施工に非常に寄与している。