

自硬性安定液に関する研究（その7）

——置換式 SG 工法の現場適用例——

斎藤 裕司 喜田 大三

Studies on Self-Hardening Slurry (Part 7)

——Field Application of Substitutional SG Method——

Hiroshi Saito Daizo Kita

Abstract

The Substitutional SG Method was developed in order to broaden the application of the SG Method. This paper presents an outline of this method and the results of field applications. On investigation of the natures of SG and other related matters in the field, it is apparent that this method has sufficient safety and sureness, and the usefulness of the method has been clarified.

概 要

掘削時に SG を孔内に満たしながら掘削していく方法では、通常1日で施工を完了しなければならず、適応範囲が限定される。そこで、適用範囲の拡大を計るため、OWS 工法で従来から使用されている泥水で掘削した後、孔底から SG で置換する方式を開発した。本報告は施工法の概要と現場適用例を紹介した。施工時の各種の調査結果によって、本工法は十分な安全性と確実性を持つすぐれた工法であることが確認でき、当工法の有用性が明らかとなった。

1. まえがき

自硬性安定液 (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¹⁾などに広く利用されている。その際、SG を掘削孔内に満たしながらケーシング掘削機で所定の溝孔を掘削していく方法が採用されてきた。ところで、SG は作成から数時間経過すると硬化する性質を有しているため、掘削に数時間以上を要する場合は遅延剤を添加して硬化時間の遅延を計っている。そして、当社では高性能遅延剤の使用によって、硬化不良をおこすことなく遅延時間が8~24時間と大幅な遅延が可能となっている。しかし、上記の遅延時間の範囲では1エレメントの施工は通常1日以内で完了するようにしている。したがって、前記の方式は硬質地盤や掘削規模が大きいなど、1日で施工が完了できない場合には適用できなかった。そこで、これら施工を可能にするための一方法として、連続地中壁工法で従来

から使用されている泥水を使用して所定の溝孔を掘削した後、SG を孔底に注入し孔内泥水と順次置換して SG 壁体を構築していく置換式 SG 工法を開発した。

この工法は昭和53年3月に WF 杭の空打ち部の埋戻しの際、埋戻し土の代わりに SG を充填する工事に初めて適用された。その後、本工法に関する研究調査の結果、本工法のもつ特徴が明らかとなり、施工技術の開発、改善に伴って、遮水壁や仮設土留・遮水壁の施工にも適用され、現在の施工実績は約 17,000 m² に及んでいる。以下に本工法の概要と代表的な施工例を紹介する。

2. 施工法

2.1. 施工手順

置換式 SG 工法の施工手順を図-1 に示す。

①準備工事は従来の SG 工法（非置換式）と同様に行なう。②掘削機を使用して、一つのエレメント掘削する。その際、孔内には SG の代わりに連続地中壁工法で使用される泥水（ベントナイト泥水、ポリマー泥水）を満

たし、掘削孔壁面の安定を保つ。
 ③掘削完了後、孔底に沈降したスライムを除去する。そして、SG壁の仕様に依りて、各種の部材を所定位置に挿入する。④トレミー管を使用してSGを孔底に送り込む。その際、あふれる泥水は泥水槽に回収し、SG作成用材料として使用する。⑤一つの標準パネルが完成すると、隣接する標準パネルを先の②～④を繰返して、SG硬化体による連続地中壁を完成させる。

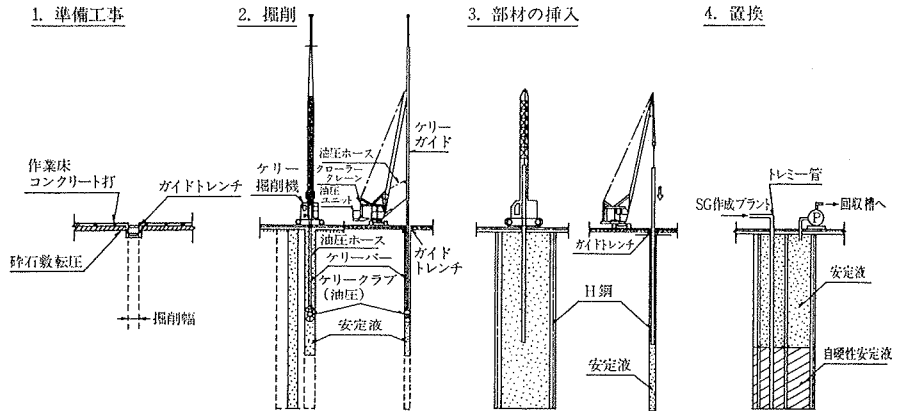


図-1 置換方式の施工手順

2.2. 特徴

置換式SG工法は従来の非置換方式に比べて、下記の特徴を有している。

- (1) 掘削に要する時間の制約を受けない。
- (2) 大きなエレメントの施工が可能となる。
- (3) 掘削時のトラブルに対処しやすい。
- (4) 循環タイプの掘削機も使用できる。
- (5) 孔壁の状態が確認でき、精度管理が容易である。
- (6) 部材の挿入作業が行ないやすい。
- (7) 現場硬化体は周辺土質の影響を受けにくい。

3. 現場適用例

3.1. 三郷浄水場における遮水壁工事²⁾

(1) 工事概要

(i) 工期

昭和54年5月～昭和55年3月

(ii) 工事内容

埼玉県三郷市で、浄水能力220万 m^3 /日を有する東京都水道局の三郷浄水場が建設されている。この工事における掘削は大規模なオープン掘削工法が採用されているため、工事に伴う地下水低下の抑止、地盤変状への対策として、浄水場周囲に遮水壁(約78,000 m^2)が泥水固化連続地中壁とRC連続地中壁によって施工された。泥水固化連続地中壁(43,300 m^2)の内、約30,000 m^2 は当社のSG工法で施工された。

(iii) 工事規模

- a. 掘削壁面積: 30,840 m^2
- b. 壁厚: 600, 800 mm
- c. 掘削深さ: 約45 m

(2) 置換方式の適用理由と安定液の調合

この工事の大部分はSGを孔内に満たしながら、ケリー掘削機によってSG壁を造成していく非置換方式で施工された。その際、掘削深度が約45 mと非常に深い

で、SG壁の垂直精度は1/500以上と高い精度が要求され、施工に際しては5 m掘削ごとに水系法によって精度測定を行なった。工事に際して、水系法の精度を再確認するため、二つのパネルにおいて、掘削時の測定結果と掘削完了後の超音波による孔壁形状の測定結果とを対比する必要性が生じた。そこで、ベントナイト泥水で掘削して上記の測定を行なった後、このパネルはSGで置換することとした。掘削時のベントナイト泥水の調合はベントナイト5%で、置換時にはこの孔内泥水に硬化材を16%添加したSGとした。

(3) 適用結果

置換完了時に孔内のSGを5 mごとに採取した。各試料の比重は下部試料ほど大きく、1.17～1.19の範囲を示し、それらを20℃の室内水中養生した硬化体の4週強度は、6～8 kgf/cm^2 を示した。これら比重と強度の測定結果はいずれも使用したSGの調査から期待できる値を示しており、置換は良好であったと判断された。

さらに、ボーリング調査による現場硬化体の8週材令時の強度分布を図-2に例示する。図示したように、現場硬化体は6～18 kgf/cm^2 の範囲で深度方向に漸増し、所定の強度を発現していることが確認された。下部位置ほど強度が大きくなる主な理由として

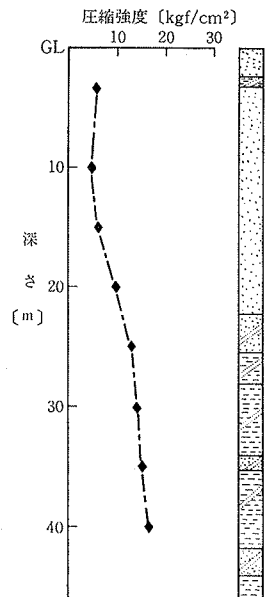


図-2 現場硬化体の強度分布

は、硬化材の沈降のため下部位置ほど単位硬化材量が増大すること、圧密の程度が大きいことなどが考えられる。

3.2. 長柄橋架換え工事に伴う鋼管矢板建込み工事

(1) 工事概要

(i) 工期

昭和53年6月～昭和56年11月

(ii) 工事内容

大阪市の淀川にかかる長柄橋の架換え工事に際して、図-3に示すように、鋼管矢板で仕切った内部に橋脚の基礎を構築することとなった。鋼管矢板は単に土留・遮水壁としてばかりではなく、支持杭としても機能する。

(iii) 工事規模

- a. 掘削壁面積：933 m²
- b. 壁 厚：600 mm
- c. 掘削深さ：17 m
- d. 鋼管矢板：φ 508 mm, l=17 m, 91本

(2) 置換方式の適用理由と安定液の調査

鋼管矢板建込み工事には騒音・振動防止のため OWS-SOLETANCHE 工法が採用された。その際、現場の土質からは掘削に長時間を要すると予想されること、ならびに鋼管矢板建込み時の施工性と精度の確保のために、掘削時にはベントナイト泥水を使用し、鋼管矢板建込み後に孔底から SG で置換する工法を適用した。

ベントナイト泥水の調査はベントナイト7.5%、逸泥防止材0～0.5%で、置換時はこの孔内泥水に硬化材を24～28%添加した SG を使用した。硬化材を24%添加した SG は鋼管矢板の周辺固定用で、28%添加した SG は

根固め用であり、鋼管矢板の支持力を確保するため、長期材令(56日)で20 kgf/cm²以上の強度発現を目標とした。

(3) 適用結果

図-4に、置換完了時に孔内の各深度から採取した SG の比重分布を例示する。各パネルとも孔底付近の比重は1.20以上を示し、その位置の SG は硬化材量が28%のものと判定される。

また、上部位置ほど比重は小さくなる傾向を示すが、いずれも1.18以上と所定値以上を示し、置換は良好に行なわれたと判定される。

つぎに、結果は明示しないが、孔底部付近から採取した試料を20℃の室内水中養生した硬化体の4週強度は20～30 kgf/cm²と所定の強度を発現していた。また、橋台に死荷重・活荷重がかかった各時点においても橋台の沈下はまったく認められなかった。

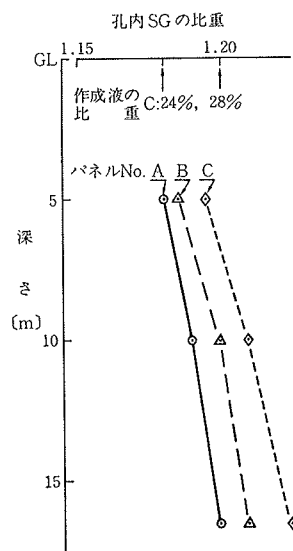


図-4 孔内 SG の比重分布

3.3. 三宮地下鉄建設工事に伴う仮設土留・遮水壁工事³⁾

(1) 工事概要

(i) 工期

昭和57年5月～11月

(ii) 工事内容

神戸市高速鉄道の三宮地下駅の建設予定地は玉石を含む沖積砂レキ層が厚さ約10m堆積し、その下部に砂または砂礫層からなる段丘層が厚さ15m程度堆積している。本工事は図-5に示すように、上記の地盤を約24m掘削して、3層構造の地下駅を建設するための仮設土留・遮水壁工事である。

(iii) 工事規模

- a. 掘削壁面積：13,190 m²
- b. 壁 厚：600 mm
- c. 掘削深さ：GL -30 m (平均)
- d. H 鋼：394×398×11/18, @ 950
- e. P C 板：4×0.8 m 厚さ 10 cm

(2) 置換方式の適用理由と安定液の調査

当工区周辺には6～8階建のペンシル型ビルが躯体から約3m程度と非常に近接して林立している。そこで、土

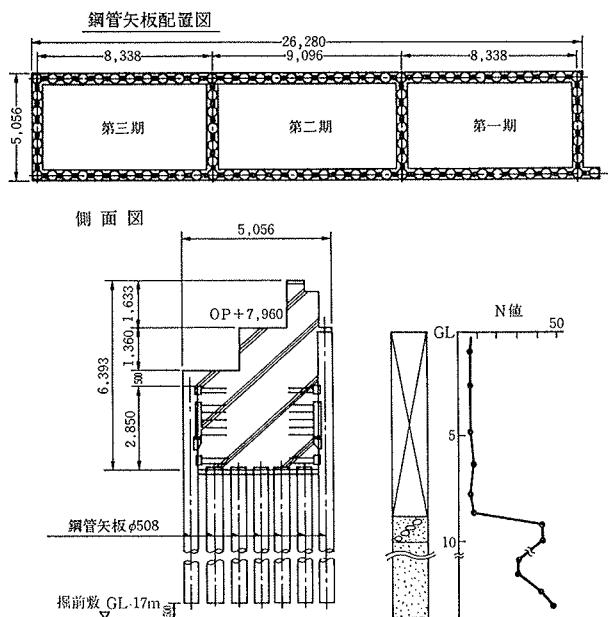


図-3 工事内容

留め構造としては施工上の安全を保ち、かつ隣接家屋への影響を極力小さくするため、剛性が大きく、遮水性の優れた泥水固化壁が採用された。この施工に際して、当工区は夜間営業の店舗がほとんどを占める歓楽街の中心で、夜間作業は不可能であること、ならびに当現場の土質条件下では1エレメントの掘削に2日を要すると判断されることから置換方式を採用した。なお、当方式の適用決定に際しては現場で数エレメントの試験施工を実施し、施工性と品質の確認を行なった。

掘削に使用したベントナイト泥水は土質条件を考慮して、ベントナイト7%、ポリマー0.05%、分散剤0.125%、逸泥防止材0.5%とした。置換時はこの孔内泥水に硬化材を20%、早期強度増進剤を1%添加したSGを使用した。SGの割合は隣接エレメント掘削時の周辺地盤のゆるみを極力防止すること、根切り工事に際し十分な遮水性を得ること、設計土圧、ならびにH鋼にかかる覆工荷重と逆巻コンクリートの反力に対する支持力の確保等を考慮して、室内実験ならびに試験工事での調査結果に基づいて決定した。この調査のSGは初期強度(3日)が1 kgf/cm²以上、長期強度(56日)は10 kgf/cm²以上を目標としている。

(3) 適用結果

当現場の土質条件や作業環境条件はかなり厳しいものであったが、周辺地盤・建物などに変状は認められず、予定した工期内に工事を無事に終了できた。現在、GL-15mまでの本掘削時点で、非常に遮水性がすぐれ、当初目標とした仮設土留・遮水壁が構築できていることを確認している。以下に、掘削時の泥水の品質、SGの品質の調査結果を述べる。

(i) 掘削時の泥水の品質

作成液250箇、孔内液125箇について比重、ファンネル粘度(FV)、造壁性ならびに砂分率を測定した。

a. 比重

作成液は1.03~1.05の範囲の正規分布で、管理基準(1.04±0.01)を満足していた。置換前の孔内液(GL-25m)は1.06~1.13の範囲に分布し、管理基準(1.10)以上のものが約10%存在した。この事象は閉塞パネル施

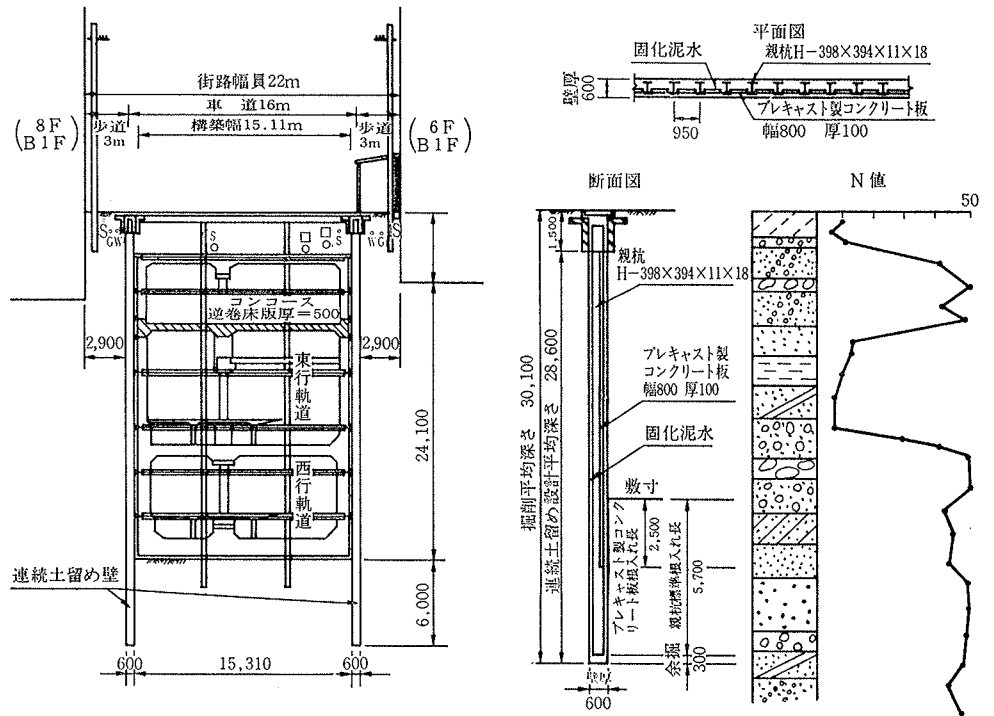


図-5 工事内容

工時に主として認められ、FVも管理基準の上限近くを示し、ジョイント部のSGを切削する際のSG硬化体の混入によるためと判定された。

b. FV, 造壁性, 砂分率

FVは作成液で平均23.8秒、孔内液で平均24.3秒の正規分布で、いずれも管理基準の範囲内であった。造壁性は作成液、孔内液とも管理基準の範囲内で平均1.5mlを正規分布であった。砂分率は最大20%で、大部分は3%以下であった。

(ii) 置換時のSGの品質

作成時の比重は1.16~1.24(平均1.20)の範囲に分布したが、この結果はほぼ所定調査のSGが作成されたことを示している。

表-1に、置換完了時に孔内(GL-15m)から硬化前のSGを採取し、室内での標準水中養生を行なった硬化体の強度を示す。Qu3, Qu28, および Qu56の平均値はそれぞれ1.3,

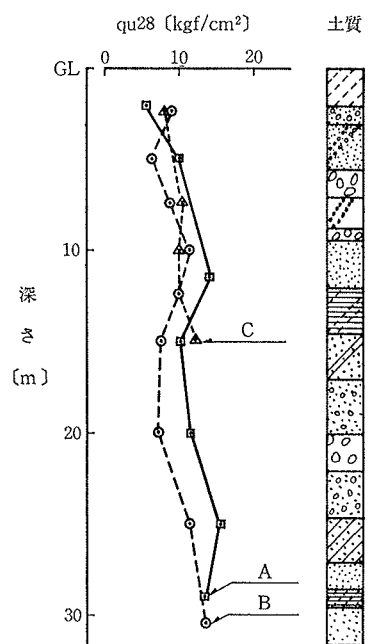


図-6 ボーリング試料の強度分布

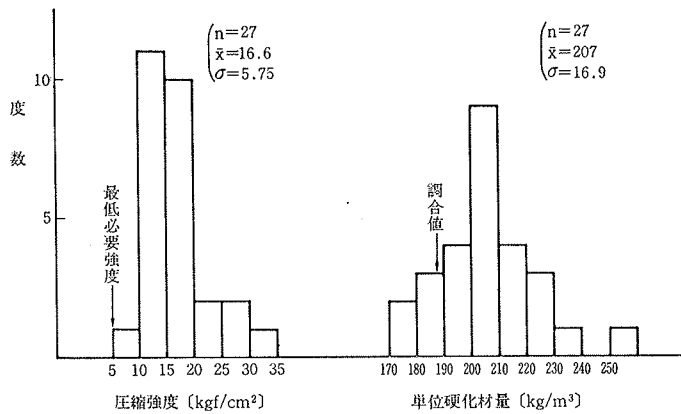


図-7 現場硬化体の強度と単位硬化材量の分布

13.9, 15.4 kgf/cm² で、いずれも調合から期待できる強度を発現していた。

(iii) 現場硬化体の品質

現場硬化体の品質を確認するために3箇所(A, B, C)において、3週材令時にダブルコアチューブ(φ80mm)によるコアボーリングを実施した。また、本掘削工事に際して、GL-15m位置の硬化体27箇(標準パネル20箇、閉塞パネル7箇)無作為に採取した。

図-6にボーリング試料に基づく、28日強度(q_{u28})の深度方向の分布を示す。図示したように、Aでは6~16 kgf/cm²の範囲で平均11.8 kgf/cm²、Bでは6~14 kgf/cm²の範囲で平均9.1 kgf/cm²、Cでは7~15 kgf/cm²の範囲で平均10.9 kgf/cm²を示し、強度は深度と無関係にバラツキを持って分布し、試料によって平均値はやや異なっていたが、いずれも調合から期待できる所定の強度を発現していた。

つぎに、GL-15m位置の硬化体の強度(材令56日以上)を表-2に示す。表示したように、標準パネルでの平均は17.5 kgf/cm²、閉塞パネルでの平均は15.9 kgf/cm²とパネルの種類によって平均値は異なったが、t検定の結果、危険率5%でその差は有意でないと判定された。そこで、図-7に現場硬化体の強度分布、ならびに化学分析法によって求めた単位硬化材量の分布をヒストグラムで示す。強度は平均値16.6 kgf/cm²、標準偏差5.8 kgf/cm²の正規分布で、平均値は硬化前に採取し、室内養生した硬化体の q_{u56} の平均値にほぼ近い値を示

	データ数	一軸圧縮強度(kgf/cm ²)			
		最大値	最小値	平均値	標準偏差
qu3	159	2.3	0.6	1.3	0.4
qu28	141	19.0	7.4	13.9	3.1
qu56	31	19.1	10.2	15.4	2.3

表-1 室内養生した硬化体の強度

パネルの種類	データ数	一軸圧縮強度(kgf/cm ²)		t検定結果
		範囲	平均	
標準パネル	20	8.2~28.3	17.5	$ t_0 =0.622$
閉塞パネル	7	10.6~31.4	15.9	$t(25, 0.05)=2.06$

表-2 現場硬化体の強度 (GL-15m位置)

した。そして、設計上の下限規格値(5 kgf/cm²)を下回るものはなかった。単位硬化材量は平均値207 kg/m³、標準偏差16.9 kg/m³の正規分布を示し、調合値(188 kg/m³)に比べて19 kg/m³多い側にずれていたが、ほぼ所定調合のSGが置換されていたと判定された。

4. あとがき

置換式SG工法の現場適用例を紹介した。工事に際して行なった施工性ならびに掘削時の泥水の品質と置換時のSGの品質ならびに現場硬化体の品質を調査した結果、本工法は十分に信頼性のある確実な工法であることが確認できた。本工法の特徴を生かして、今後の多くの工事に適用されることを望んでいる。

なお、最後にあたり、当工法を採用していただいた企業主の関係者、工事に伴う各種調査に協力していただいた工事事務所ならびに特殊工法部の皆様に厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) 喜田, 斎藤: 自硬性安定液に関する研究(その5), 大林組技術研究所報, No. 25, (1982), pp. 75~79
- 2) 松本, 他: 東京都水道局三郷浄水場における泥水固化地中壁および鉄筋コンクリート連続地中壁の施工, 基礎工, Vol. 8, No. 11, (1980, 11), pp. 96~108
- 3) 井田, 他: 三宮地下鉄の泥水固化連続壁の施工, 基礎工, Vol. 11, No. 8, (1983, 7), pp. 27~33