

自硬性安定液に関する研究 (その5)

—PC 地中壁工事における現場調査結果—

喜田大三 齋藤裕司

Studies on Self-hardening Slurry (Part 5)

—Field Research on Properties of Slurry in Precast Diaphragm Walls—

Daizo Kita Hiroshi Saito

Abstract

Self-hardening Grout (SG) fills up the backs and joints of precast concrete (PC) panels and upon hardening constitutes the water cut-off barrier in the PC diaphragm wall method. In order for SG to demonstrate its capabilities it is necessary to establish a mixing plan and quality control method considering soil properties and conditions for construction execution. On investigation of the natures of SG and other related matters in the field the results were as follows: (1) The stability of the trench during excavation was confirmed. (2) Water cut-off properties at joints of PC panels were very good. (3) There was no trouble inserting PC panels caused by reduction in fluidity of SG. This was substantiated by gel strength of SG. (4) SG hardened in the field showed strengths of 10.5—41.2 kg/cm², which were 2 to 6 times the strength of SG taken from the trench before hardening and cured in the laboratory. (5) One of the main factors of variation in SG strength was judged to be the difference in cementitious materials contents. SG hardened in the field was concentrated by dehydration in the process of hardening and SG strength was increased. A method for quality control of SG was proposed based on the above results.

概 要

PC 地中壁工法では、自硬性安定液 (SG) が使用され、SG 硬化体は PC 板の背面および目地部分を充填し、遮水壁として機能する。この SG が所定の性能を発揮するには土質条件や施工条件などを考慮した調合計画、および品質管理法の確立が不可欠である。ここでは PC 地中壁工事における SG の諸性状と関連事項を調査して、以下のことが判明した。(1) 掘削時の孔壁面は安定していた。(2) 目地からの漏水はなく、PC 地中壁の遮水性能は非常に優れていた。(3) PC 板の挿入が SG の流動性の悪化によって困難となることはなく、SG のゲル強さの測定結果からも裏付けられた。(4) 硬化前に孔内から採取して室内養生した硬化体に比べ、現場硬化体の強度は 10.5～41.2 kg/cm² と 2～6 倍を示した。(5) 強度変動の主要因の一つは硬化剤含有量の差と判定され、現場硬化体は硬化過程での脱水現象によって濃縮され強度は増大する。以上の結果にもとづいて、SG の品質管理法を提案した。

1. まえがき

プレキャスト鉄筋コンクリート (PC) 地中壁工法は従来の地中連続壁工法に比べて、品質のより一層優れた平滑な地中壁ができる、埋土や軟弱地盤などの崩壊しやすい地盤に対しても、より一層高い精度の地中壁ができる、遮水性能がより一層優れているなどの特長を有している。したがって、PC 地中壁工法は根切り底が比較的

浅い場合の山止め、遮水壁として採用され始め現在ではより一層経済的に地下工事を行なうために PC 板を地下外壁として使用する構造体利用も可能となった。さて、この工法では SG (自硬性安定液) が使用されるが、それは PC 板の背後部および目地部分を充填し、遮水壁として機能する。筆者らは SG の広範囲の利用を目的とし、その基本性状を既に報告^{1), 2), 3)}している。

ところで、PC 地中壁工事において SG が所定の性能

を發揮するには土質条件や施工条件などを考慮した調合計画，ならびに品質管理法の確立が不可欠である。そのためにはSGに関連する諸事項について現場調査を行なって，その実態を十分に把握する必要がある。

ここではPC地中壁工法による仮設山止壁工事に際してSGの現場調査を行なった結果，SGの調合計画および品質管理上の有益な指針が得られたので，以下に報告する。

2. 現場概要

2.1. 工事概要

図一1に，PC地中壁の平面図，断面図および土質柱状図を示す。

(1) 工期

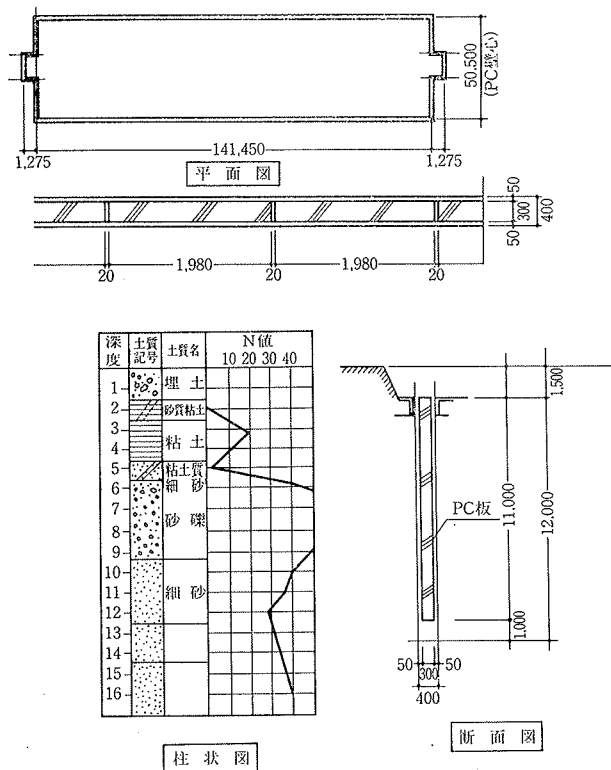
昭和55年11月～昭和56年2月

(2) 工事内容

PC地中壁工法による仮設山止・遮水壁の構築工事

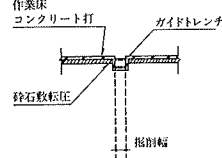
(3) 工事規模

(i) 壁厚：400mm，(ii) 掘削深さGL-13.5m，(iii) 壁面積：4,656m²，(iv) PC板：11,000(H)×1,980(W)

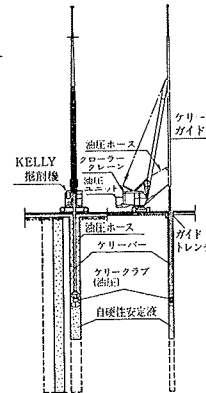


図一1

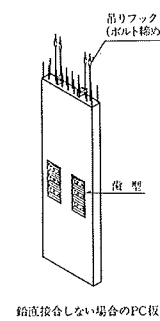
1. 準備工事



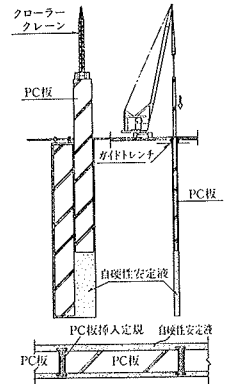
2. 掘削前



3. PC板の製作



4. PC板の挿入



図一2 PC地中壁の施工手順

×300(L)mm 195枚

(4) 土質

当現場は東京の淀橋台に位置しているため，主体は東京層である。土層は上部から埋土(0～1.6m)，砂質粘土層(1.6～2.6m)，上部東京層(2.6～4.7m)，東京礫層(5.7～9.4m)，下部東京層(9.4m～)で構成されている。地下水位は東京礫層の上部でGL-5.7m付近である。

2.2. PC地中壁工事の施工法

図一2に，PC地中壁工法の施工手順を示す。

- (1) 壁位置にそって掘削およびPC板建込みの基準となり，PC板を支承できるガイドトレンチを設置する。
- (2) 掘削機械(ケリー掘削機)で，孔内にSGを満たしながら，所要の深さまで掘削する。
- (3) 十分な品質管理のもとに工場または現場でPC板を製作する。
- (4) 掘削が終了すると，クレーンであらかじめ製作したPC板を所定位置に挿入する。その際，精度を高めるために，PC板挿入定規を用いる。
- (5) 1区画の施工が終了と，(2)～(4)を繰返して順次PC地中壁を構築する。

3. SGの作成と使用

3.1. 材料と調合

現場の土質，および施工条件を考慮して，使用したSGの材料と調合を表一に示す。この調合

材料	種類	添加量[%]
ベントナイト	共立#250	5
硬化剤	特殊セラメント	16
添加剤	FO-1	0.2

表一1 SGの材料と調合

は10⁻⁶cm/sec以下の透水係数を示す強度(5kg/cm²以上)を實現し得るものである。また，PC板の挿入に伴って回収したSGは翌日使用のためFO-1を再添加した。添加量はSGの性状に応じて0.05～0.2%とした。

3.2. SGの作成・使用のフロー

図一3に，SGの作成と使用のフロー図を示す。まず

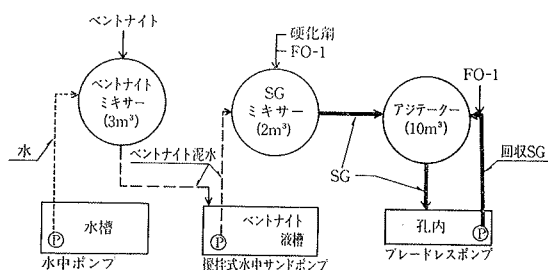


図-3 SGの作成と使用のフロー

所定濃度のベントナイト泥水を作成し、一時液槽に貯留した。掘削日には、ベントナイト泥水に添加剤と硬化剤を添加混合してSGを必要量だけ作成し、アジテーターに貯留しながら孔内に供給した。PC板の挿入に伴ってあふれ出るSGはポンプでアジテーターに回収し、翌日再使用した。

4. 施工結果

4.1. 孔壁の安定

掘削時の孔壁の安定は超音波による孔壁形状の測定が現在不可能なため掘削完了時に確認できなかった。しかし、掘削時のSGの使用量が従来の地中連続壁工事における安定液のそれと大差がなかったこと、および、根切り工事中のPC板から根切り側の硬化体の厚みが平均で67mm、最大でも130mmと設計値(50mm)に比べて著しく大きい部分がなかったことから、掘削時の孔壁の安定は確保されていたと判断した。

4.2. 目地の遮水性

根切り工事完了時に、目地の遮水性を調査した結果、全目地数196ヶ所の内、SG硬化体がしめる程度に水がにじんでいた個所は40カ所、SG表面が乾燥するほど完全に遮水していた個所は156カ所で、PC地中壁の遮水性能は非常に優れていることが判明した。根切り工事完了後のPC地中壁体を写真-1に示す。

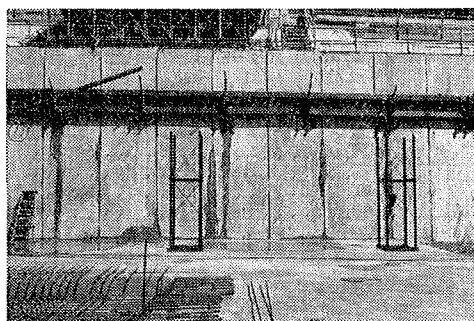


写真-1 PC地中壁体

5. SGの品質調査法

5.1. 硬化前の品質調査

(1) 試料の採取

作成液は毎日2回(午前・午後各1回)補給口で採取した。孔内液はPC板挿入後にトレンチ表面で、一部のパネルではGL-5mおよび8m位置で採取した。回収液はアジテーターの上部で採取した。

(2) 調査項目と方法

各試料の比重、ファンネル粘度、砂分率はAPI規格のマッドバランス、ファンネル粘度計、砂分計でそれぞれ測定した。また、一部の試料のみかけ粘度とゲル強さはB型粘度計で、硬化剤含有量は生コンのセメント量を測定する塩酸溶解熱法を応用した方法(CHCl法)で測定した。塩酸溶解熱法を応用した硬化前のSG中の硬化剤含有量測定法の詳細は後日別報で報告する予定である。

5.2. 硬化体の品質

(1) 試料の採取

室内養生用の試料は各パネルのPC板挿入後にGL-5および8m位置から硬化前に採取器で採取し、現場硬化体は根切り工事中に、GL-5および8m位置で約30cm角のブロック状に採取した。

(2) 供試体の作成と養生

室内養生用の供試体はφ3×7cmのアクリル製円柱状モールドにつめ、現場硬化体はφ3×7cmの円柱状に整形した。室内養生用の供試体は所定の材齢まで、20℃の標準水中養生を行なった。

(3) 調査項目と方法

各供試体の圧縮強度はコンクリートの圧縮強度試験法で、湿潤密度は液浸法で、含水比は土の含水量試験法で硬化剤含有量は化学分析によるCaO量を求め、硬化コンクリートの配合推定法に準じて測定した。(C_{cn0}法)

6. 調査結果と検討

6.1. 硬化前のSGの品質(1)

図-4に、作成液、孔内液(GL-8m)、回収液の比重、ファンネル粘度(FV)、および砂分率の分布を示す。

(1) 作成液

比重は1.125~1.14(平均: 1.133, 標準偏差(σ): 0.005)で、FVは24.5~28.1秒(平均: 26.3, σ: 1.3)と、いずれも管理基準を満足していた。

(2) 孔内液(GL-8m)

比重は1.215~1.345(平均: 1.298, σ: 0.047)を示し、FVは36.8秒~不能となり、砂分率は8.5~24%(平均: 17.3, σ: 4.27)を示した。比重が作成液より増大するのは掘削土の混入によるためと考えられる。

(3) 回収液

比重は1.19~1.365(平均: 1.287, σ: 0.047)の範囲で、1.22以上のものが80%以上を占めている。FVは24.9秒~不能の範囲で、不能の占める割合は全体の51%

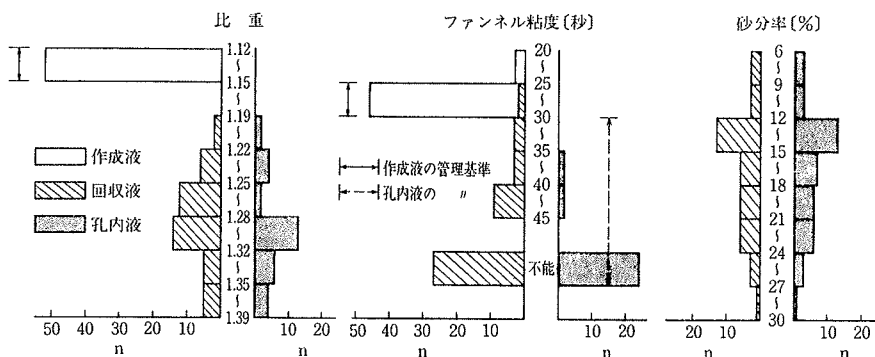


図-4 SGの比重、ファンネル粘度、砂分率の分布

パネル NO.	130	147	65	39	29	1	
施工日	1/22	1/31	2/7	2/13	2/19	2/24	
回収液	みかけ粘度 (η_{60}) [ポイズ]	10.5	17.5	10.8	17.4	14.6	6.4
	ゲル強さ [dyne/cm ²]	32	720	400	672	1180	448
	硬化剤含有量 [kg/m ³]	139	158	150	155	154	140
孔内液	みかけ粘度 (η_{60}) [ポイズ]	14.5	15.7	10.7	20.6	15.9	9.1
	ゲル強さ [dyne/cm ²]	560	528	688	1170	1020	672
	硬化剤含有量 [kg/m ³]	164	142	154	141	151	138
孔内液 (GL-8m)	みかけ粘度 (η_{60}) [ポイズ]	17	14.3	15.7	23.4	16.8	-
	ゲル強さ [dyne/cm ²]	400	624	912	1840	928	-
	硬化剤含有量 [kg/m ³]	157	132	152	150	-	-

表-2 SGの流動特性値と硬化剤含有量

に及んでいる。砂分率は6.5~25% (平均: 16.0, σ : 5.3) となることが判明した。

6.2. 硬化前のSGの品質(2)

表-2に、回収液と孔内液の流動特性値(みかけ粘度, ゲル強さ)ならびに硬化剤含有量の測定結果を例示する。

(1) SGの流動特性値

掘削完了後のSGのみかけ粘度は6.4~23.4ポイズとかなり大きな値を示すことが判明した。ゲル強さは32~1,840 dyne/cm² で大部分は400~1,000 dyne/cm²の範囲である。

さて、PC板挿入時の作業性に関与する一因子にSGの流動特性が考えられる。実際の施工においては、上述の流動特性の範囲では、PC板の挿入が不可能となったり、挿入しにくくなったことは認められなかった。またPC板の挿入限界をPC板底面に作用する力とSGのゲル強さとの均合いとして、SGのゲル強さを算出すると10⁵~10⁶ dyne/cm²となる。掘削完了日にPC板を挿入していく作業工程ではSGのゲル強さは上述の実測値から判断すると、5,000 dyne/cm²をこえることはないと推察されるので、ゲル強さが大きすぎることによってPC板の挿入が不可能となることはないと判断される。

したがって、SGの品質管理上、SGの流動特性はPC板の挿入精度の確保という視点でとら

えねばならず、今後の検討課題である。

(2) 硬化剤含有量

CHCl法による回収液の硬化剤含有量は133~164 kg/m³で、SG 1m³中の調合値(149 kg/m³)に近い値を示し、回収液の再使用は可能と判断された。また、孔内液の硬化剤含有量は132~164

kg/m³で、孔内のSGは硬化後に所要性能を発揮すると判断された。

なお、硬化剤含有量と強度の関係は6.3.(3)で検討している。

6.3. 硬化体の品質

表-3に、硬化前に孔内から採取して室内養生した硬化体と、ほぼ同位置の現場から採取した硬化体の強度、湿潤密度、含水比、硬化剤含有量を示す。

(1) 室内養生した硬化体

8週材齢時の強度は、4.02~12.1 kg/cm²と試料によってかなり異なったが、大部分の試料が目標値(5 kg/cm²以上)を満足していた。湿潤密度は1.256~1.342 g/cm³、硬化剤含有量は132~171 kg/m³、含水比は134~189%であった。

(2) 現場硬化体

強度(材齢50~70日)は10.5~41.2 kg/cm²、大部分は10~25 kg/cm²と10⁻⁶ cm/sec以下の透水係数を示す強度(5 kg/cm²以上)を示し湿潤密度は1.423~1.822 g/cm³、硬化剤含有量は172~278 kg/cm³、含水比は60~110%であった。

上記のように、現場硬化体では室内養生した硬化体に

試料	圧縮強度 ¹ (kg/cm ²)	湿潤密度 (g/cm ³)		含水比 (%)		硬化剤含有量 ² (kg/m ³)		
		室内	現場	室内	現場	室内	現場	
NO.130 GL-5m	4.87	21.9	1.311	1.493	162	85	134	236
	5.42	10.9	1.342	1.526	143	70.5	157	172
NO.147 GL-5m	4.51	11.2	1.307	1.512	160	72.6	142	184
	4.02	14.6	1.326	1.822	147	63.4	132	208
NO.65 GL-5m	5.74	10.5	1.287	1.478	170	81.1	154	192
	5.20	13.2	1.297	1.597	164	89.6	152	190
NO.39 GL-5m	6.03	15.5	1.312	1.440	150	105	141	174
	5.54	28.6	1.362	1.588	134	70.7	150	218
NO.29 GL-5m	12.1	-	1.270	-	183	-	171	-
	10.6	24.6	1.268	1.423	182	110	-	191
NO.1 GL-5m	7.83	17.9	1.256	1.433	189	107	138	202
	-	41.2	-	1.615	-	65.5	-	278
NO.3 GL-5m	8.30	15.9	1.313	1.499	162	88.9	142	198
	8.72	26.4	1.312	1.655	157	60.3	137	254

* 1 室内: 材令8週, 現場: 材令50~70日

* 2 室内: C₁法, 現場: C₂法

表-3 硬化体の諸性状

比べて、強度は2～6倍、湿潤密度は1.10～1.37倍、硬化剤含有量は1.10～1.85倍それぞれ大きく、含水比は約半分程度に低下している。この事象はPC板挿入後におけるSGの硬化過程において、ブリージング現象やSG中の自由水が地盤中に浸透していく際の圧密脱水現象に伴って孔内のSGは濃縮されたため、当現場が砂質土を主体とし、かつ地下水水位が低いという土質条件を反映したものと考えられる。なお、濃縮による体積の減少分は翌日SGを補給した。

(3) 硬化体強度の変動の主要因

(1)、(2)に前述のように、同一調合のSGを使用したにもかかわらず、透水係数と密接な関係にある硬化体強度は非常に変動していることが判明した。硬化体強度に関する因子は材料・調合ばかりでなく、作成条件、使用条件、混入土の種類と量、養生条件など各種あるが過去の調査結果によれば強度は特に硬化剤含有量と関連している。そこで、図一5に当現場の強度と硬化剤含有量の関係を示す。

図示したように、硬化剤含有量と強度の間にはバラツキが認められるものの、硬化剤含有量の増大に伴って強度は増大する傾向が明確に認められる。したがって、強度変動の主要因の一つは硬化剤含有量であると判断される。そして、(2)に前述の現場硬化体で室内養生の硬化体より強度が増大する理由は静置中の濃縮現象によって硬化剤含有量が増大したことによると判断される。

しかし、図示したように、同一硬化剤量においても強度は変動しており、この点の究明は今後の検討課題である。さらに、図中に併記したように、大部分の試料は室内で作成した場合の関係線より下方に分布しており、この解明も今後の課題である。

6.4. SGの品質管理法

以上に述べたSGの調査・検討結果ばかりでなく、他現場での調査結果も参考にして、SGの品質管理法の検討を行ない、以下の指針を得た。

(1) SG使用量の管理

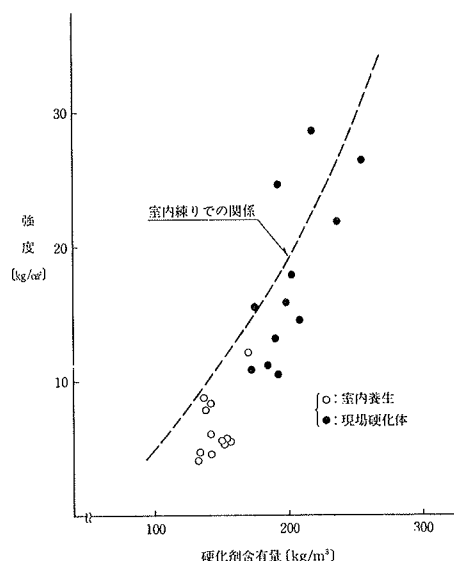
掘削中は壁面の安定、逸泥等を把握する目的で、SG使用量を確認する。また、現場硬化体の強度推定の際に参考となる濃縮程度を判断するために、ブリージング量または補給量を把握しておく。

(2) SGの品質管理

(i) 比重

作成液は調合通りのSGが作成されていたかを示す指標となり得るので、所定比重±0.01の範囲で管理する。孔内液では、掘削土の混入によって作成液より増大するのが一般的と考えられ、比重は硬化剤含有量の指標とはなり得ず、比重値から硬化体の性能を判断できない。したがって、品質管理に占めるウェイトは小さく、常時測定する必要はないと判断される。

(ii) 粘度



図一5 硬化剤含有量と強度の関係

作成液ではFO-1の添加量をチェックする一指標となるので、調合に応じて適正値を維持するよう管理する。孔内液ではブリージング防止の面から掘削完了時の粘度は40秒以上が好ましい。一方、上限値の設定はPC板挿入時の精度確保という視点からさらに検討を要する。

(iii) 砂分率

当初予想した30%以上を示すことはほとんどなく、この範囲内では硬化体の性能に影響しない¹⁾ので、本項目は常時測定する必要はないと考えられる。

(iv) 硬化剤含有量

孔内液の強度予測に非常に有力であると判断され、現場で簡易に精度よく測定する方法を開発して、適用していく方針である。

(v) 強度

強度は性能を確認する目的で実施する必要があると判断される。測定回数は現場の規模や硬化剤含有量の測定結果をも参考にし、必要に応じて決定する必要がある。

7. あとがき

今回の現場調査によって、SGの実態が把握でき、SGの品質管理法の確立のための有益な指針が得られた。今後はこの検証ばかりでなく、残された検討課題を解明しSGの合理的な調合計画および品質管理法を確立していく所存である。

参考文献

- 1), 2) 喜田, 川地, 斎藤: 自硬性安定液に関する研究(その1, 2), 大林組技術研究所報, No. 20, (1980), pp. 65~76
- 3) 喜田, 斎藤: 自硬性安定液に関する研究(その3), 大林組技術研究所報, No. 22, (1981), pp. 126~129
- 4) 喜田, 斎藤: まだ固まらないコンクリートの品質判定法に関する研究, 大林組技術研究所報, No. 15, (1977), pp. 98~102