

# 若令埋立地盤(人工島)における海水練り安定液による WF の施工

喜 田 大 三      川 地      武  
齋 藤 裕 司      辻      博 和  
高 木 嗣 郎  
(関電御坊 OWS 工事事務所)

## Construction of Diaphragm Wall Using Sea Water Mud on Young Reclaimed Island

Daizo Kita      Takeshi Kawachi  
Hiroshi Saito      Hirokazu Tsuji  
Shiro Takagi

### Abstract

For the construction project of Gobo Power Station situated on an artificial island reclaimed offshore, the diaphragm wall named WALL FOUNDATION was adopted for the underground foundation. On this project, the ground shows loose structure and high permeability and clean water for making excavating slurry cannot be obtained. Thereupon, before excavation for the diaphragm wall, ground improvement by self-hardening slurry was adopted and sea water was used for mixing water of the self-hardening slurry and polymer base slurry. As a consequence, a diaphragm wall of high quality was successfully constructed. In this paper, an outline of the construction method for the artificial island and properties and results of sea water mud are described.

### 概 要

関西電力(株)御坊火力発電所は和歌山県御坊市の沖合の人工島に建設され、島内の主要建物の基礎に WF が採用された。人工島は埋め立てて間もない破砕礫を主体とする若令地盤であり、WF 構築のための地中連続壁工法の施工には①埋立部の掘削時の孔壁安定、逸泥の防止が難しい。②強度の大きな岩盤部に 1~2m 根入れする。③安定液作成のための清水の入手が困難である、などの問題があった。そこで、現地の地盤を想定した試験工事を行ない、WF 掘削に先立って自硬性安定液(SG)による地盤改良を行ない岩盤部はハイドロフリーズで掘削し、また安定液は海水練りの SG 及びポリマー安定液とするなどの方針を決定し本工事に臨んだ。その結果、前例のない若令埋立地盤(人工島)における WF の施工を成功裏に終了することができた。本報告は工事及び施工法の概要を述べるとともに、海水練り SG 及びポリマー安定液の調合、性状、施工結果などについて述べている。

### 1. まえがき

狭溢な国土の高度利用の一環として、我が国では工場を海岸埋立地に立地させることが多く、最近では LNG タンクなどのエネルギー基地や発電所などが海岸地帯に建設されている。関西電力(株)御坊火力発電所は和歌山県御坊市の沖合を埋め立てにより造成した人工島に建設されるもので、我が国でも最初の人工島発電所である。この人工島は海岸線から約 300 m の水深 2~17 m の位置に建設され、埋立の完了後ただちに発電所の建設が開

始された。発電所建設予定地の地盤は破砕礫を主体とし、極めてルーズかつ透水係数の大きな状態にあった。

発電所建設にあたり、その基礎には WALL FOUNDATION (WF) が採用されることになったが、もちろん人工島における地中連続壁工事も初めての試みであり、慎重な施工が望まれた。特に、超若令埋立地盤における地中壁掘削時の孔壁の崩壊や逸泥による周辺海域の汚染の防止やこれらへの対策としての自硬性安定液(SG)による地盤改良および海水を混練水とした海水練り安定液の性能確保などが課題となった。

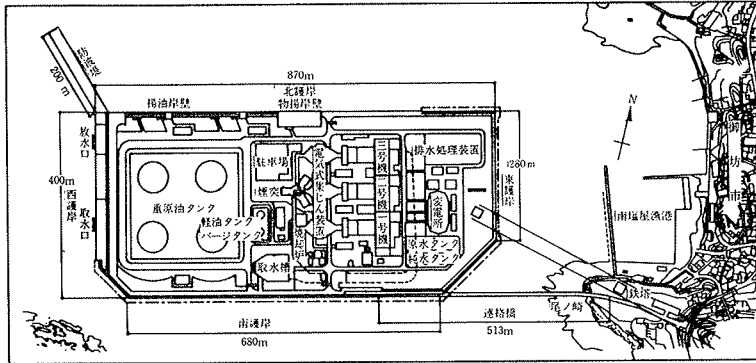
そこで、超若令地盤を想定して川西工事事務所において実験工事を行ない SG による地盤改良の基本方針を決定した。さらに、現地でも本工事に先立って確認実験工事を行ない、SG による地盤改良法の詳細を検討するとともに海水練り安定液の調査・管理の指針を得た。このような周到な予備検討を経て本工事に着手した結果、世界でも最初といえる人工島における地中連続壁工事は成功裏に終了し品質の良好な WF を築造することができた。本報では超若令地盤における地中連続壁工事の概要と海水練り安定液の使用結果を述べる。なお、海水練り安定液中で築造した地中壁の鉄筋の腐食防止については別報で述べる<sup>1)</sup>。

## 2. 人工島発電所の建設工事概要<sup>2)</sup>

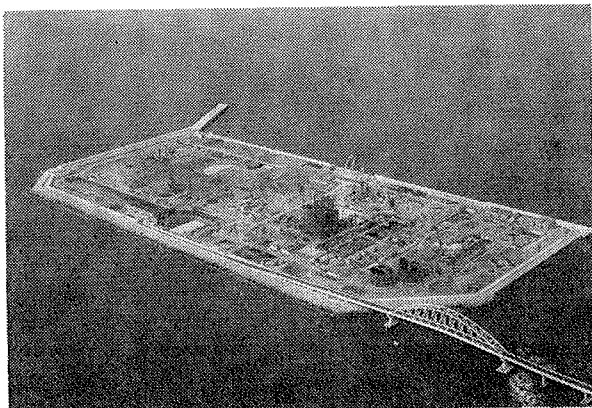
### 2.1. 御坊火力発電所の概要

関西電力(株)御坊火力発電所は、昭和55年3月に建設工事に着手され、昭和59年度中の運転開始を目標に現在その工事が順調に進んでいる。

当発電所の建設地点は、紀伊半島西岸のほぼ中央部に位置し、和歌山県御坊市の沖合である。その工事内容は、図一1に示すように、海岸線から200m~1,000mの沖合に、海面を埋立て約35万m<sup>2</sup>の人工島を築造し、そこに単機出力60万kwの重・原油専焼火力が3基からなる発電所を建設するものである。



図一1 御坊発電所一般平面図



写真一1 人工島の全景

### 2.2. 人工島建設の概要

御坊火力発電所は日本で初めて人工島方式によって敷地が造成された発電所である。

水深2~17mの海上にケーソン式護岸および捨石式護岸形式で、東西に870m・南北に400mのほぼ長方形の護岸等外郭施設を築造し、その中へ約280万m<sup>3</sup>の埋立土を搬入して、人工島が建設された。

埋立土のうちの約80万m<sup>3</sup>は淡路島で採取した風化マサ土であり、バージ船によって海送搬入し、DL-4m以下の埋立に使用した。残りの約200万m<sup>3</sup>の埋立土には、人工島の対岸で施工されている御坊市都市計画事業で発生した頁岩・砂岩などの破砕礫を使用した。ベルトコンベアで約1.7kmを陸送搬入し、スプレッダーでまき出しブルドーザーで敷き均して、地盤高としてDL+4.4mまで埋立て、造成された。

埋立土の粒度分布は、図一2に例示するように、海送・陸送どちらも砂礫を主体としていた。

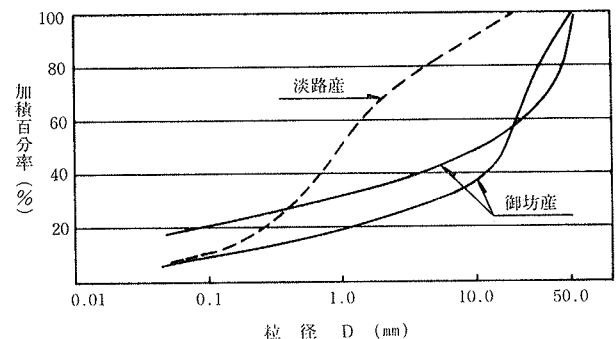
つぎに、造成された人工島の地盤柱状図の一例を図一3に示す。埋立土層は砂礫で構成されているにもかかわらずN値が5~10と低く、ゆるい堆積状態であることを示している。また、透水係数は10<sup>0</sup>~10<sup>-1</sup>cm/secの範囲にあり、透水性は極めて大きい。したがって、地下水位は潮位の変化に応じて変動する。

一方、埋立土層の下の基盤は頁岩と砂岩であり、一軸圧縮強さで最高1,600kgf/cm<sup>2</sup>を示し、非常に硬い。

## 3. 若令埋立地盤でのWFの概要

### 3.1. WF採用の経緯

昭和53年末に関西電力(株)より、(株)大林組および他の1グループに対して、発電所本館、ボイラおよび煙突の基礎工法について検討委託があった。これを受けて設計・工務・特殊工法・技研などからなるプロジェクトチームを組み検



図一2 埋立地の粒度組成

討した結果、WALL FOUNDATIONを基礎ぐい、耐震壁および土留・止水壁として用いる工法を提案した。

関西電力(株)では2グループの提案に対して約1年間をかけて検討され、ケーソンあるいは鋼矢板で土留をし、

岩盤まで掘削して直接基礎とする工法に対して、WF案がコスト面、工程面および工事の安全性などについて大きく優位にあると判断されて採用に踏み切られたものである。

### 3.2. WFの使用目的と規模

図-4にWFの平面配置図を示す。図示したWFの壁厚は800, 1,000 mmの二種があり、前者は外周の土留・遮水壁を兼用したWF、後者は支持杭、耐震壁を目的とするWFである。WFの深さは海底岩盤面位置に応じて約9~22 mであり、壁面積の合計は約44,000 m<sup>2</sup>に及ぶ。

### 3.3. WF工事の特徴

当工事の主な特徴は下記の三つである。

(1) 地盤が頁岩・砂岩などの破碎礫を主体とした土砂で、埋立てばかりの若令埋立地盤であるため、通常安定液による掘削では孔壁の安定及び逸泥の防止は不可能である。

(2) 岩着部の遮水性を確保するため、最高1,600 kgf/の強度を示す岩盤に1~2 mの根入れをする。

(3) 安定液混練用の清水の入手は困難で、海水練り安定液を使用せざるをえない。

そこで、それぞれの対応策は次のようにした。(1)に関しては、WFの掘削に先行して、SGによる地盤改良を実施する。(2)に関しては岩掘削が可能であるハイドロフーズ掘削機を使用する。(3)に関しては海水練り

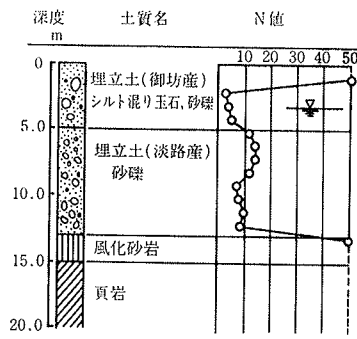


図-3 土質柱状図(例)

のSG及びポリマー安定液を検討した。

### 3.4. WFの施工法

当現場で実施したWF工事の施工順序を図-5に示す。①まず、地盤改良工事として、ケリー掘削機で埋立土層部を掘削し、WFの壁厚より両側に20~25 cm うわまわる厚さのSG連続壁を構築する。②SG壁造成から1週間以上後に、SG壁をくりぬくように、孔内にポリマー泥水を満たしながらケリー掘削機で1パネル分の標準パネルを掘削する。③つづいて、ハイドロフーズによって岩盤を約2 m掘削する。④スライム処理機でスライムを除去し、鉄筋カゴを挿入する。⑤トレミー管を利用してコンクリートを打設した標準パネルが完成する。⑥一つの標準パネルが完成すると、隣接する標準パネルを②~⑤を繰返して構築する。⑦標準パネル完成後、ハイドロフーズを使用して、両隣の標準パネルのコンク

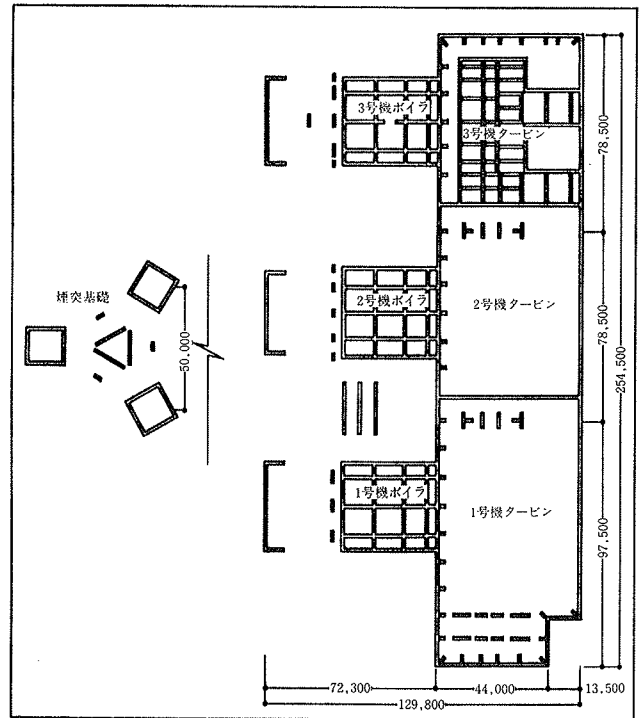


図-4 WFの平面配置図

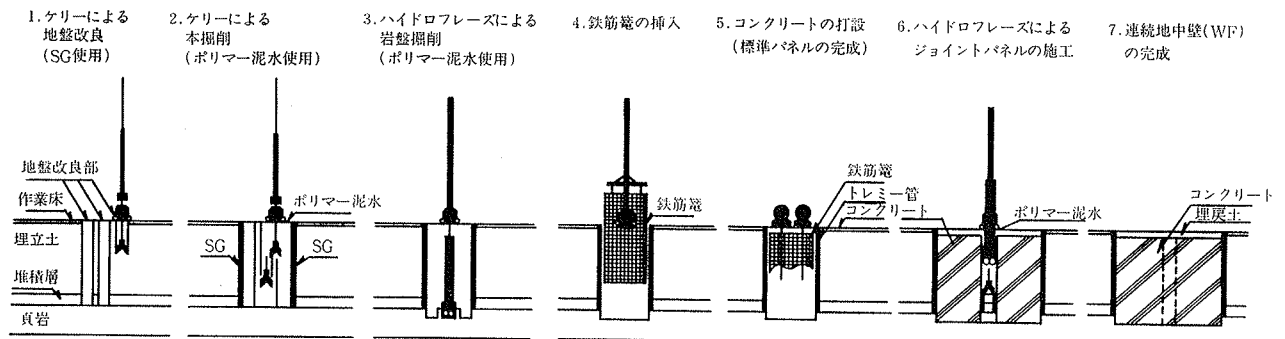


図-5 WFの施工手順

リート端面をカッティングしながらジョイントパネルを掘削し、標準パネルと同様の作業を繰り返し、ジョイントパネルを構築し、WFを完成させる。

なお、地盤改良工事の一部は、ロックオーガーを用いセメント・ベントナイトミルクを注入しながら穿孔し、WFの周囲をとりまくようにソイルセメントの柱列を造成していく工法（MP工法）で実施した。

#### 4. SG（自硬性安定液）による超若令埋立地盤の改良

##### 4.1. SGの調合・管理

表一に、SGの標準調合を示す。この調合はWF掘削までの養生期間（1週間）で2kgf/cm<sup>2</sup>以上の強度発現を目標としている。

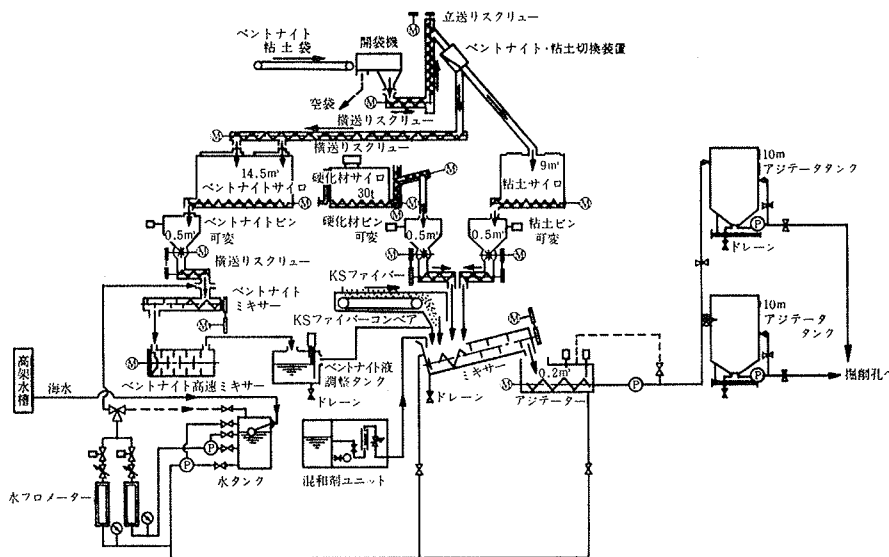
この調合で一般のSGとの違いは、混練水に海水を使用していることおよび逸泥防止材の使用である。海水はベントナイト粒子の分散を著しく妨げ、その結果、SGのブリージングは増大する。そこで、ベントナイトを増量するだけでなく、粘土を添加している。つぎに、SGは10<sup>-2</sup>cm/sec以下の透水係数を示す地盤ではほとんど逸泥しないが、当現場では10<sup>0</sup>cm/secの地盤であるため逸泥防止対策が必要である。そこで、特殊な長さを持つポリエステル系逸泥防止材（KSファイバー）を新たに開発した。また、表二にはSGの品質管理項目と管理基準を示す。

材 料	種 類	調合量
水	海 水	1 m <sup>3</sup>
硬 化 材	エスメント配合品	200kg
ベントナイト	共立#250	100kg
粘 土	笠岡粘土	50kg
逸泥防止材	K Sファイバー	10kg

表一 SGの調合

表一に、SGの標準調合を示す。この調合はWF掘削までの養生期間（1週間）で2kgf/cm<sup>2</sup>以上の強度発現を目標としている。

##### 4.2. SGの作成



図一六 大容量ミキサー（SG液）フローシート

試 料	項 目	試験時期	管理基準値
作成液	比 重	1日2回	1.20±0.05
	ファンネル粘度	"	20~30秒
孔内液 (GL-5M)	ファンネル粘度	掘削完了時	23秒以上
	強 度	500m <sup>2</sup> に1回	qu7 ≥ 2kgf/cm <sup>2</sup>

表一 二 SGの品質管理項目と管理基準

地盤改良工事の最盛期にはケリー掘削機が3台稼動した。このため、1日当り必要なSG量は最大約500m<sup>3</sup>に及び、この多量のSGを供給するプラントは従来のSGプラントに比べて混練、作成能力の向上を計った改良型SGプラント4基と最大40m<sup>3</sup>/Hの作成能力を持つ大容量SG自動作成プラント1基で構成され、それぞれ約半分量づつを作成、供給した。大容量ミキサーにおけるSG作成フローを図一六に示す。

##### 4.3. 施工結果

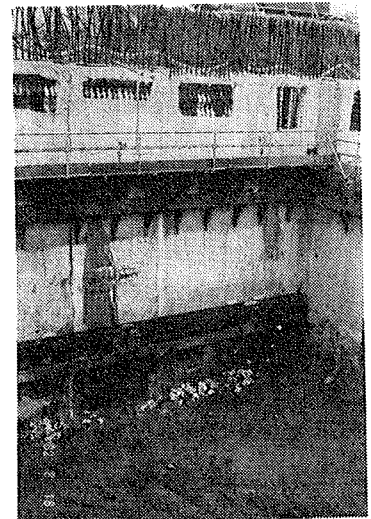
###### (1) 掘削能率とSGの割り増し率

SG地盤改良工事における掘削能率は地盤の不均一さ、壁厚および掘削深さなどの影響を受け、10~22m<sup>2</sup>/Hrの範囲に分布していた。

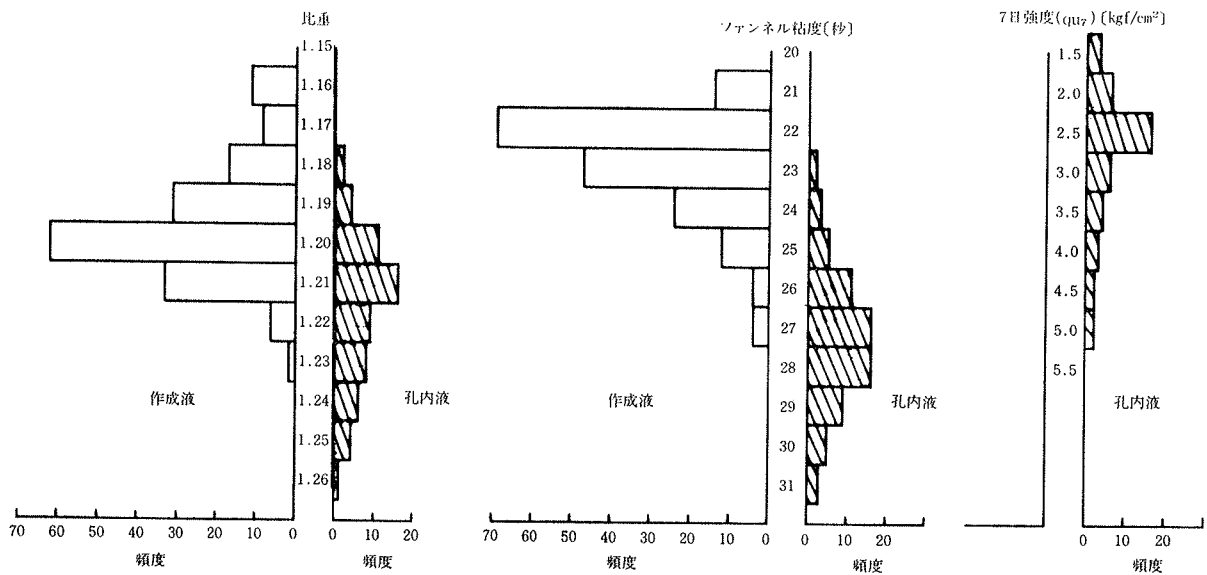
SGの割り増し率（SG使用量/設計掘削土量%）は115~210%に分布し、平均153%であった。上記の割り増しの主要因は地盤中への逸泥であり、逸泥防止材無添加での割り増し率は220~280%にも及ぶと予想され、上記の結果は、この種の地盤では小さいと判断される。これは4.1.で述べたように、新たに開発した逸泥防止材の効果によるものである。

###### (2) 地盤改良効果

SGによる地盤改良工事から1週間以上養生した後、



写真一 二 地中壁体



図一7 SG 諸性状の分布

WF の掘削工事を行なった。その際、300パネル以上にも及ぶ施工を通して、掘削用安定液の逸泥、および孔壁の崩壊はほとんど認められなかった。このことから、この種の地盤での WF (地中連続壁) 工事に際して、SG による地盤改良の信頼性は非常に高いことが実証された。また、改良地盤は自然の地盤に比べて均質であるため、施工管理が単純化され、精度が高く品質のよい WF が構築できた。いうまでもなく、この成果は十分な施工管理と SG の品質管理の結果を反映したものである。現場の地中壁体を写真一2に例示する。

つぎに、一部の I 区の地盤改良に MP 工法を適用した。そこで、両工法による地盤改良効果の比較検討を行なったところ、MP 工法に比べて、SG 工法では

(i) 孔壁表面が非常に平滑で、垂直精度がすぐれており、ロッキングボックスの裏側へのコンクリートの廻り込みがない。

(ii) WF 掘削時の施工管理が容易で、掘削能率も大きい。

など、の点で優れていることが確認された。

#### 4.4. SG の諸性状

4.2. で前述のように、現場では改良型 SG プラント、と大容量 SG 自動作成プラントの 2 種類で SG を作成したが、SG の諸性状は両プラントで類似していた。そこで、以下に大容量 SG 自動作成プラントで作成した SG の諸性状を説明する。

##### (1) 硬化前の性状

図一7に、比重、ファンネル粘度の分布をヒストグラムとして示す。作成液の比重は1.16~1.23の範囲に分布し、管理基準を満足している。孔内液の比重分布は1.18~1.26と作成液に比べて大きくなるが、その増大程度は

従来の SG 工事の混合に比べて小さい。比重の増大は掘削土の混入によるためであり、当現場では SG 中への掘削土の混入が比較的少なかったと判断される。

作成液の粘度は21~27秒の範囲に分布し、管理基準を満足している。孔内液の粘度分布は23~31秒と作成液に比べて増大していた。

##### (2) 硬化後の強度

図一7に示したように、7日強度の分布範囲は1.5~5 kgf/cm<sup>2</sup>であり、管理基準 (2 kgf/cm<sup>2</sup>) 以下のものが、約 6% 存在した。実際の施工では養生期間が計画時の7日ではなく、10日以上となったので、3.3.に前述のように、地盤改良部での孔壁の崩壊はなかった。なお、結果は明示しないが、上記の強度変動の主要因の一つは SG 中の硬化材量の変動であることを確認している。

## 5. ポリマー安定液による WF 掘削

### 5.1. 安定液の調査・管理

一般に掘削泥水は孔壁の安定を図るために造壁性および逸泥防止能が高く、掘削土砂の分離を促進するため適度な粘性を示す必要がある。当現場では4.に述べたように SG による地盤改良を先行しているため、安定液の造壁性は孔壁安定上の不可決な要素ではなく、また逸泥の心配も少ない。むしろ、SG による改良部を掘削する際に混入する SG 硬化物の掘り屑やハイドロフレーズ掘削機によるジョイント部のコンクリートカッティングの際に混入するセメント成分などによる安定液のゲル化、流動性の低下を防止しうる安定液が望ましい。一方、冒頭でも述べたように当現場では海水を混練水とするので、耐塩性のすぐれた材料が必要とされる。以上の各種条件を考慮すると、海水や SG やセメントなど塩類による劣化を

受けにくい耐塩性ポリマー（OP-16）を主材とするポリマー安定液が望ましい。その際のポリマー安定液の標準調査と室内練りの安定液の性状を表一3のAに示す。この表中の他の安定液は参考までに示したもので、Cのベントナイト安定液ではベントナイトの膨潤、分散が抑制され、ベントナイトは沈澱してしまう。

なお、ジョイントパネルの掘削ではセメント成分の混入による劣化を防止するために分散剤として炭酸ソーダを0.5%添加している。

	A	B	C
泥水	耐塩性ポリマー安定液 OP-16 0.5% ベントナイト1%	一般ポリマー安定液 OP-4 0.5% ベントナイト1%	ベントナイト安定液 ベントナイト10% 分散剤0.2%
性能			
ファンネル粘度	28.2秒	21.5秒	20.0秒
脱水量(大林式)	1.0ml	2.0ml	10ml以上
比重	1.035	1.035	1.075
pH	9.5	9.4	9.6

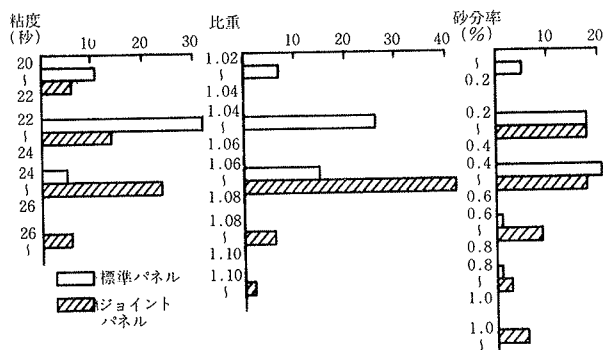
表一3 海水練り安定液の性状

次に、安定液の品質管理については上述の理由により、管理項目から造壁性は除外し、粘度と比重を主な管理項目とした。また、OWS 壁の用途が WF であるため、スライム処理は特に入念に行なう必要があり、スライム処理後の砂分率を管理した。それぞれの項目の管理基準値は、ファンネル粘度20~27秒、比重1.10以下、砂分率1%以下とした。ここにいう砂分率とは沈降速度の小さいSG硬化物の細片を除いた値である。

5.2. 施工結果

地中壁の性能は期待通りのものであり、ジョイント部などからの漏水はなく、コンクリート強度も設計値をうまわっている。

一方、安定液の転用回数は平均1.37回であり、一般のポリマー安定液の場合に比べてやや低い値となった。これは後述するように、安定液に混入するSGやセメント成分による劣化が一般の場合に比べて著しく、スライム処理の際に劣化安定液の一部を廃棄したりして、安定液



図一8 安定液性状のヒストグラム (スライム処理後)

の品質の維持に努めた結果である。

5.3. 安定液の性状

安定液は対流式ミキサー（3 m<sup>3</sup>）によって混練し、角タンク（27 m<sup>3</sup>）に貯留した。タンク内の作成液については粘度で品質をチェックしたが、ファンネル粘度が26秒前後であった。

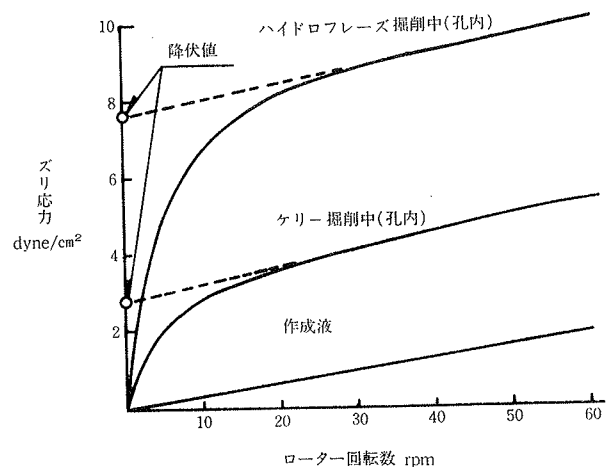
スライム処理後の掘削孔内の安定液の性状を図一8に示す。

粘度、比重ともに分布範囲がせまく、品質の安定した安定液を使用していたといえる。粘度は作成液に比べて低下しており、安定液がSGやセメント成分によって劣化していることを示唆している。なお、安定液の流動性を評価するためB型粘度計による流動曲線を、図一9に示す。図によれば、ハイドロフレーズ掘削時の安定液は高い降伏値を有するビンガム流動を示し、安定液の劣化を裏付けている。比重は作成液では1.03前後を示すが、孔内安定液では上昇しており、SGなどの混入を示している。安定液中のSG混入量を化学分析によって求めると、スライム処理後で10%前後に及んでいる。

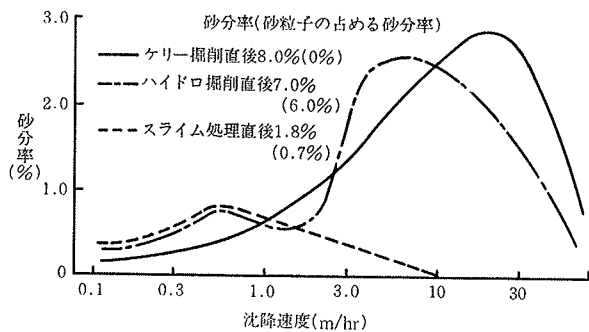
標準パネルとジョイントパネルでは後者の方が粘度と比重が高くなる傾向にある。これはジョイントパネルではケリー掘削時に掘り残したSGの細粒化が生じ、また、コンクリートカッティング時にセメント成分が混入したため安定液のゲル化がより著しく炭酸ソーダの添加によっても十分に防止できなかったことも対応している。なお、標準パネルとカッティングパネルでは安定液中のカルシウム (Ca) 含有量は前者では5,000 ppm 前後、後者で12,000 ppm 前後であった。

5.4. スライム処理

スライム処理はハイドロフレーズ掘削完了後、所定時間以上静置し、孔底の堆積物をケリー掘削機で底ざらいする方法やスライム処理機で除去する方法などを採用した。当現場の砂分は大半がSG硬化体の掘りくずで構成



図一9 泥水の流動曲線の例



図一〇 孔内安定液中の砂分の沈降速度分布例 (標準パネル)

されるので、砂分の沈降速度は一般のそれとは大きく異なった。すなわち、図一〇に示すように、ハイドロフレーズ掘削完了後の砂分の沈降速度は 0.1~30 m/H と広範囲に分布し、しかも 0.1~1 m/H の沈降速度の小さいものが常に存在した。そして、スライム処理後には沈降速度の大きな砂分は除去され、その沈降速度の分布範囲は 0.1~10 m/H であった。その際、沈降速度 1 m/H 以下の砂分は硬化 SG 特有の青色を呈す SG 硬化体の細片であった。ところで、スライム処理からコンクリート打設までの経過時間と沈降深さ(掘削深さ)を考慮すると、スライム発生要因となるのは沈降速度が約 1 m/H 以上の砂分である。そこで、砂分に関する管理項目として、いわゆる砂分率から SG 硬化体の掘りくずしの量を差し引いた値、すなわち、砂粒子に由来する砂分率を採用し、その管理基準を 1% 以下とした。図一八に併記した砂分率はこのような管理の結果を示すものであり、大半が 0.5% 以下となっている。

なお、砂分の沈降速度には安定液の粘度も大きく影響し、スライムの除去には低粘度であることが望ましい。当現場では低粘度を維持するように努めたが、安定液の劣化が進行すると図一九の孔内液のような流動曲線を示すゲル状の安定液となりスライム処理の効率が低下する

現象が見られた。このような場合にはスライム処理時の循環安定液の一部を良液と置換し、流動特性を改善するとともに、前記の粘度の管理基準のうち低粘度側で使用するようにした。このように、粘度と砂分率の管理を入念に行なうことによって先の施工結果で述べたように良好な WF 壁を構築することができた。

## 6. おわりに

理立直後の人工島における火力発電所建設工事に WF が採用された。超若令理立地盤における地中連続壁工事は初めての経験であったが、SG による地盤改良工法を適用することにより、品質良好な WF を構築することができた。その際、海水練りの SG およびポリマー安定液を使用した。海水練り安定液に関してはさらに改良の余地があるものの、その適用性を明らかにし得た意義は大きく、安定液技術の一段階を画したものといえよう。今後、人工島における地中連続壁工事の需要の増大あるいは清水の入手が困難な場所での地中連続壁工事の必要性の発生が考えられるが、今回の工事の成功はこれらの必要性に充分応えうることを実証したといえる。

今回の工事を施工するに当たり、関西電力(株)御坊火力建設所の関係各位の方々から貴重な御指導、御鞭達を預いた。ここに深く感謝の意を表します。また、工事の計画および施工に当られた関係諸部門および工事現場の方々に敬意を表します。

## 参考文献

- 1) 喜田・守屋: 土木建築における腐食に関する研究 (その11), 大林組技術研究所報, No. 27, (1983), pp. 72~77
- 2) 錦織: 御坊火力発電所の土木工事の概要, 発電土木, No. 168, (1980), pp. 9~18