

# 地盤改良体方式斜め土留め工法の適用事例

## 富山新港火力発電所 LNG 1号機新設工事

照井 太一・嶋田 洋一・伊藤 浩邦

斜め土留め工法（以下「本工法」という）は、開削工事に用いられる土留め壁を傾斜させることにより、掘削深さが3m以上でも支保工が不要となる自立形式の土留め工法である。「地盤改良体方式」（以下「本方式」という）は、浅・中層地盤改良工法であるパワーブレンダー工法により連続した地盤改良体を造成して土留め壁とするものである。掘削深さが5m程度の開削工事に適用性が高く、遮水性を有することから地下水位が高い地盤条件でも適用可能である。

本報では、富山新港火力発電所 LNG 1号機新設工事のうち、ボックスカルバートを設置する冷排水路工事に本工法を適用した事例を報告する。

キーワード：斜め土留め、自立式土留め、地盤改良工法、遮水性土留め、近接施工、省スペース、工期短縮、コスト縮減

### 1. はじめに

本工法は、土留め壁を傾斜させることにより掘削深さが3m以上でも支保工が不要となる自立形式の土留め工法である。支保工を省略できるため、中間杭の躯体貫通部や切梁設置位置における側壁の打継がなくなり、目的物である躯体の品質が向上する。また、内部掘削および躯体構築の施工効率が向上するため、工期短縮およびコスト縮減が可能となる。これまで、鋼矢板方式および親杭横矢板方式により掘削深さ10m程度までの施工実績がある。

今回、ソイルセメントを用いて遮水性土留め壁を築造する本方式を新たに開発した。これは、地盤改良工法であるパワーブレンダー工法を用いて、傾斜した土留め壁を造成するものである。本方式を、富山新港火力発電所 LNG1号機新設工事のうち、ボックスカルバートを設置する冷排水路工事および電気ケーブルトレンチ工事に初めて適用した。本報では、地盤改良体方式斜め土留めの施工状況、土留め計測結果を報告する。

### 2. 工法概要

パワーブレンダー工法は、原位置土とセメント系固着材を攪拌混合し、連続して安定した地盤改良体を造成する浅・中層混合処理の地盤改良工法である。従来はトレンチャー式攪拌機（以下、トレンチャー）を鉛

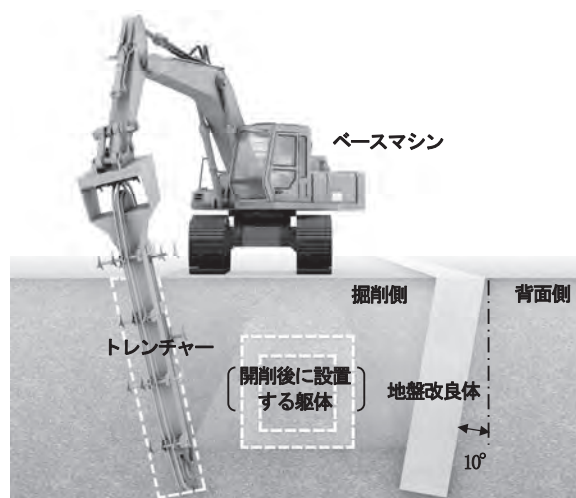


図-1 パワーブレンダー工法による地盤改良体の造成

直方向に地中に挿入するが、本工法では改良型バックホウ（以下、ベースマシン）のアームに専用のアタッチメントを取付け、トレンチャーの傾斜角度を一定に保持できるようにした（図-1）。施工設備は、ベースマシン、トレンチャー、スラリープラント、グラウトポンプ、コンプレッサー、発動発電機等で構成される。

地盤改良体の傾斜角度は10°、最大造成長さは13m、標準改良厚は1m、ソイルセメントの設計基準強度は500～1,000 kN/m<sup>2</sup>である。遮水性を有する土留め壁であるため地下水位が高い地盤条件でも適用可能である。

本工法の特徴は以下の通りである。

- ①傾斜角度を10°に保持したトレンチャーを地中に挿入した後、横引きしながら等厚の連続した地盤改良体を造成できる。
- ②ベースマシンを土留め壁の掘削側に配置しながら造成するため、土留め背面側に構造物が近接する場所でも施工が可能である。
- ③造成方向が変化する場合、ソイルセメントが固化する前に壁体をラップして造成できるため、土留めコーナー部でも閉合が容易である。
- ④工事完了後には地盤改良体を残置するため、土留め壁の撤去で問題となる躯体の沈下を避けることができ、また、工期短縮にもつながる。

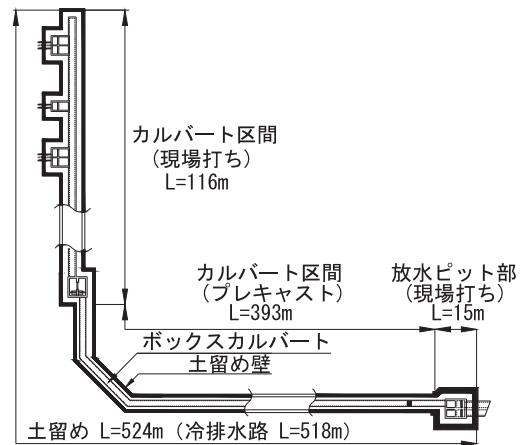


図-3 冷排水路工事 平面図

### 3. 施工事例

#### (1) 工事概要

本工事は、富山新港火力発電所の石炭1号機をリブレースして、LNG（液化天然ガス）を燃料とする高効率で環境負荷の少ないコンバインドサイクル発電設備を新設するものである（図-2）。

- ・工事名：富山新港火力発電所 LNG1号機新設工事
- ・工事場所：富山県射水市堀江千石地先
- ・発注者：北陸電力株式会社
- ・施工者：(株)大林組・東洋建設(株)・西松建設(株)
- ・主要工種：PCタンク工事，地盤改良工事，取水口工事，冷排水路工事，電気ケーブルトレンチ工事

#### (2) 構造諸元および地盤条件

斜め土留めを適用して築造する冷排水路は、延長518mの鉄筋コンクリート製ボックスカルバート構造である。カルバート形式は大部分の区間（以下、カルバート区間）で1連（現場打ちおよびプレキャスト）であるが、終点側の放水ピットは2連（現場打ち）となっている（図-3～5）。

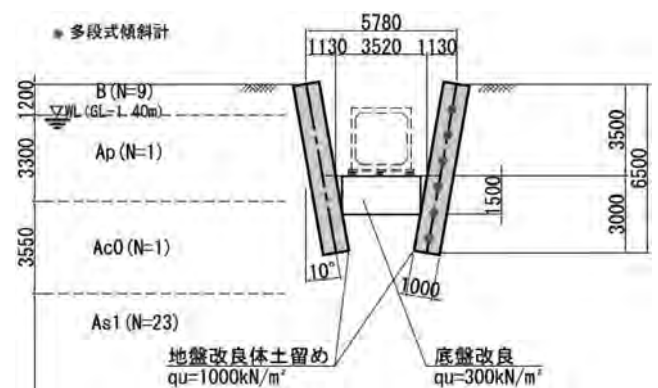


図-4 カルバート区間 土留め断面図

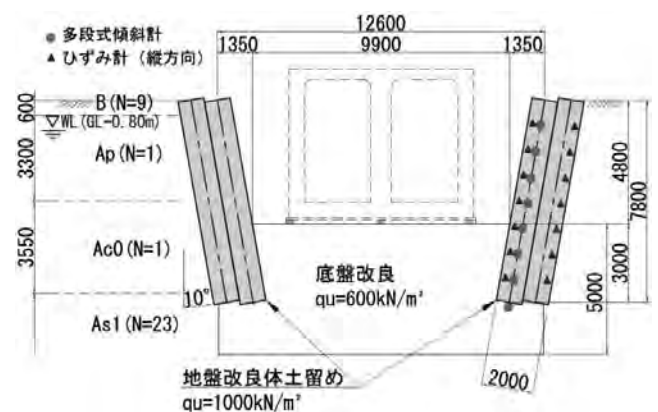


図-5 放水ピット部 土留め断面図

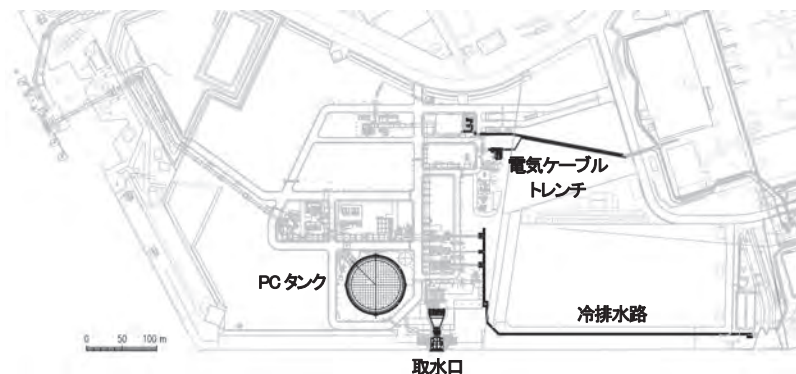


図-2 工事全体平面図

土留めの構造諸元は以下の通りである。

#### 1) カルバート区間

- ・掘削深さ : 3.3 ~ 4.5 m
- ・土留め壁深さ : 6.0 m ~ 7.0 m
- ・土留め壁厚さ : 1.0 m
- ・底盤改良 : 厚さ 1.5 m  
(設計基準強度 300 kN/m<sup>2</sup>)

#### 2) 放水ピット部

- ・掘削深さ : 4.8 m
- ・土留め壁深さ : 7.8 m
- ・土留め壁厚さ : 2.0 m
- ・底盤改良 : 厚さ 5.0 m  
(設計基準強度 600 kN/m<sup>2</sup>)

底盤改良は、土留め壁の受働抵抗の増加と掘削底面の盤ぶくれ防止(放水ピット部)を目的として造成した。

施工場所は海に近接しており、地下水位が GL-1.0 m 程度と高い。地盤は軟弱粘性土層 (Ap, Ac0) が主体であり、GL-8.0 m 程度以深には砂質土層 (As1) が存在する。

### (3) 土留め壁の造成

施工機械は、1.9 m<sup>3</sup> 級油圧ショベルのベースマシンに、長さ 9.0 m、幅 1.0 m のトレンチャーを装着して使用した(写真-1)。ベースマシンのアームの先端に専用のアタッチメントを取り付け、トレンチャーの傾斜角度を 10° に保持できるようにした(写真-2)。測量により土留め壁の造成位置をマーキングしたあと、ベースマシンを土留めの掘削側に配置し、土留め壁軸方向に移動しながら地盤改良体を造成した。所定の位置に精度良く地盤改良体を造成するため、トレンチャーの上部に受信機を取り付け、レーザーレベル測定器により高さや造成方向を管理した。なお、一回の施工サイクルで造成できる地盤改良体の改良幅は 1 m であるため、壁厚 2 m の土留め壁を造成する際は、1 列目の地盤改良体を造成したあとソイルセメントが固化する前に 2 列目を造成することで、これらが一体化する土留め壁とした。

### (4) 配合計画および強度確認試験結果

ソイルセメントの設計基準強度は、掘削深さと地盤条件に応じて 500 kN/m<sup>2</sup>、750 kN/m<sup>2</sup>、1,000 kN/m<sup>2</sup> と 3 種類設定した。また、土留め施工範囲で地層構成が大きく変化することから、水路延長方向に 6 つの区間に分割して配合試験を行い、区間毎にソイルセメントの配合を設定した。

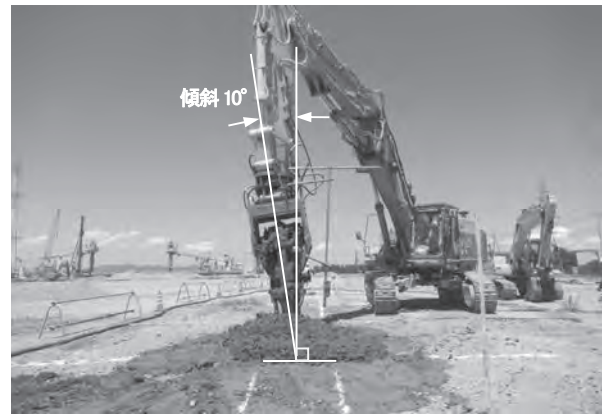


写真-1 土留め壁造成

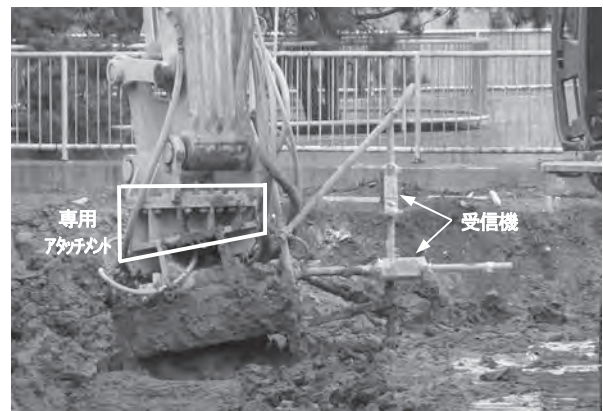


写真-2 専用アタッチメント

表-1 ソイルセメント配合

設計基準強度	固化材種類	セメント量	W/C
1,000 kN/m <sup>2</sup>	高炉セメント B 種	300 kg/m <sup>3</sup>	80%

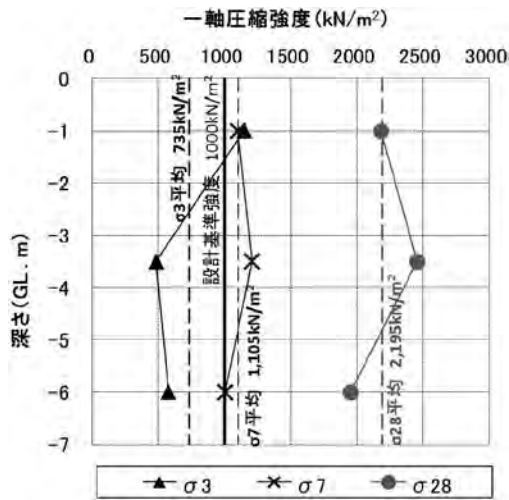
現場打ちカルバート区間(図-3)のソイルセメントの配合を表-1に示す。Ap層に含まれる有機質土の影響により、セメント添加量が多めとなった。

表-1に該当する区間のソイルセメントの一軸圧縮試験結果を図-6に示す。供試体用試料は、造成後のソイルセメントが流動性を有する間に3深度(GL-1.0 m, GL-3.5 m, GL-6.0 m)から専用の採取器を用いて採取した。7日平均強度は設計基準強度以上となる1,105 kN/m<sup>2</sup>、28日平均強度は2,195 kN/m<sup>2</sup>となった。また、これ以外の全ての区間でもソイルセメントの一軸圧縮強度が設計基準強度以上となったことから、地盤改良体の傾斜角度が10°の場合でも、従来の鉛直方向に改良するパワーブレンダー工法と同じ管理方法により安定した品質を確保できることを確認した。

### (5) 土留め内部掘削およびカルバート設置

本工法の適用により無支保での作業が可能となったため、掘削作業では油圧ショベルで掘削した土砂をダ





図一六 ソイルセメント強度確認試験結果



写真一五 現場打ちカルバート設置完了



写真一三 土留め内部掘削



写真一六 プレキャストカルバート設置状況



写真一四 掘削・均しコンクリート打設完了

ンプトラックに直接積み込んで搬出できた（写真一3, 4）。また、現場打ちカルバート構築時に支保工設置に伴う側壁打継を設ける必要が無く（写真一5）、プレキャストカルバート据付け時にも二次製品を所定の場所に直接吊り下ろすことができた（写真一6）ため、従来工法に比べ施工効率が大幅に向上した。なお、土留め内部掘削中から埋戻し完了までの期間、土留め

壁からの有意な漏水は見られなかった。

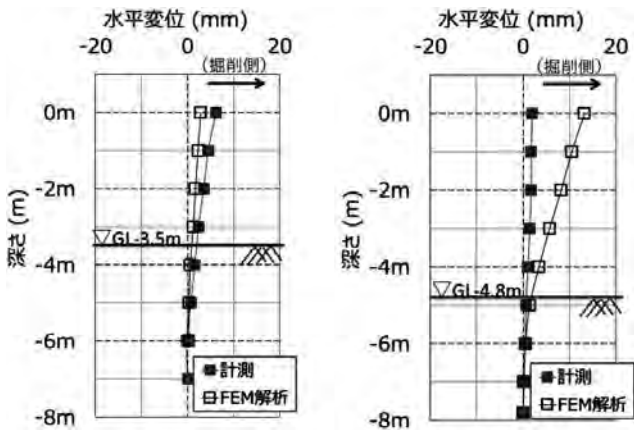
### (6) 土留め計測工

土留めの設計を検証することを目的とし、カルバート区間と放水ピット部の各1箇所土留め計測工を実施した。計測項目を表一2に示す(計器配置は図一4, 5参照)。

カルバート区間における掘削完了後の最大水平変位計測値は、土留め壁の頭部で6 mm となり、事前に実施したFEM解析値<sup>1)</sup>よりも若干大きくなった。放水ピット部の最大水平変位計測値は土留め壁の頭部で

表一2 土留め計測項目

区間	項目	計測器	設置間隔	設置位置
カルバート	変位	多段式傾斜計	1 m	土留め壁中心
放水ピット	変位	多段式傾斜計	1 m	掘削側壁面から50 cm
	ソイルセメント鉛直応力	ひずみ計	1 m	土留め壁面から20 cm

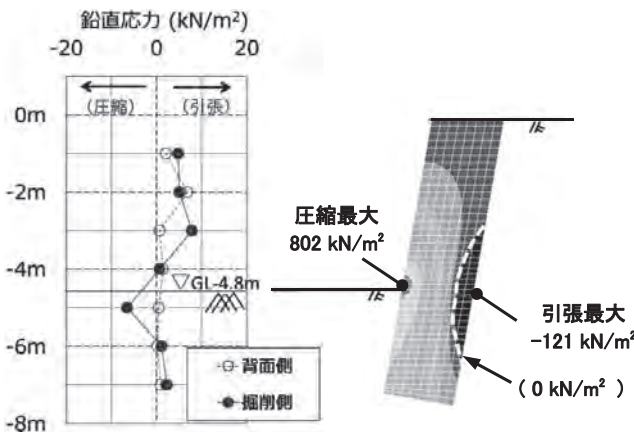


図一七 土留め壁水平変位分布  
(左：カルバート区間、右：放水ピット部)

2 mm となり、これは FEM 解析値の 15% 程度であった (図一七)。

放水ピットにおける掘削完了後のソイルセメントの鉛直方向応力の計測結果および FEM 解析結果を図一八に示す。土留め壁の掘削側では掘削床 (付け) 付近で最大圧縮応力  $6.5 \text{ kN/m}^2$  が発生し、背面側では全計測点で引張応力が発生した。これを FEM 解析結果と比較すると、圧縮および引張の応力の発生傾向は同様であるが、計測値は FEM 解析値より小さくなった。

放水ピット部において、改良体の水平変位とソイルセメントの鉛直応力の計測値が FEM 解析値よりも小さくなった要因は、計測位置が土留めコーナー部に近く、変位拘束の影響を受けたためと考えられる。



図一八 放水ピット部のソイルセメント鉛直応力分布  
(左：計測、右：FEM 解析)

#### 4. おわりに

本方式地盤改良体方式の本工法斜め土留め工法を今回初めて実工事に適用し、カルバート構築と埋戻しま

で無事に完了した。土留めの内部掘削から埋戻しまでの期間を通じて、土留め壁に有意な漏水は見られず、地下水位が高く軟弱な地盤条件でもパワーブレンダー工法により安定した品質の地盤改良体を造成できることを確認した。また、斜め土留め工法の特長である無支保でオープンな施工空間を確保できたことにより、内部掘削、ボックスカルバート設置および埋戻しの施工性が大幅に向上した。

これまでの本工法斜め土留め工法では、土留め壁背面側に施工機械を配置する必要があったが、パワーブレンダー工法では土留め壁の掘削側に配置しながらの施工も可能である。また、設備も大がかりでないため狭隘な場所でも適用可能で、騒音・振動が小さく、環境面でもメリットがあることから、都市部での工事への適用も期待できる。なお、別途実施した FEM 液状化解析では、工事完了後に残置される地盤改良体には地震時の液状化と、それに伴うカルバートの浮き上がりを抑制する効果があることを確認している<sup>2)</sup>。

#### 謝 辞

最後に、本工法の適用にご理解・ご協力を頂いた北陸電力の関係各位に感謝の意を表します。

JICMA

#### 《参考資料》

- 1) 照井他：地盤改良体を用いた斜め土留め工法の設計・施工事例，土木学会 土木建設技術発表会 2016，VI-11，2016.11
- 2) 照井他：地盤改良体方式斜め土留め壁によるカルバートの浮上抑制効果に関する解析的研究，土木学会 第 36 回地震工学研究発表会，B23-1002，2016.10

#### 【筆者紹介】



照井 太一 (てるい たいち)  
 株式会社 大林組  
 土木本部 生産技術本部 技術第一部  
 担当課長



嶋田 洋一 (しまだ よういち)  
 株式会社 大林組  
 土木本部 生産技術本部 技術第一部  
 副部長



伊藤 浩邦 (いとう ひろくに)  
 株式会社 加藤建設  
 ジオテクノロジー事業部 企画開発部  
 部長代理