

石狩 LNG 基地ポンプ室側壁構築における SMW 土留壁本体利用

Designing Underground Diaphragm Walls with Soil Cement for a Main Structure at Ishikari LNG Base

北海道電力(株)
前田建設工業(株)○正 員 松本直也 (Naoya Matsumoto)
正 員 横川雅之 (Masayuki Yokokawa)
一瀬将吾 (Shogo Ichinose)

1. はじめに

北海道電力(株)では、既設火力発電所の経年化に対応するとともに燃料種の多様化を図るため、石狩湾新港に総出力約 171 万 kW (約 57 万 kW×3 機) の液化天然ガス(以下、「LNG」という。)を燃料とする石狩湾新港発電所の建設を行なっている。

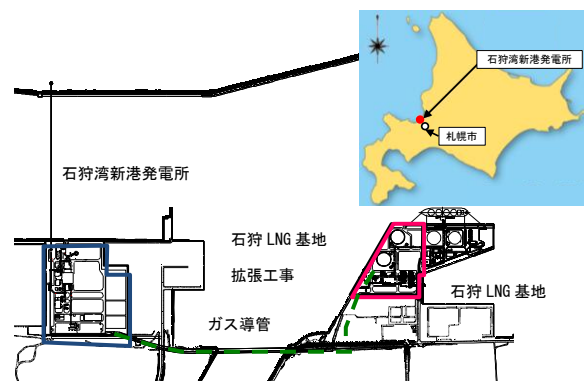
その発電用燃料設備として、北海道ガス(株)が 2012 年 11 月より運用を開始している石狩 LNG 基地を拡張し、国内最大級の容量 23 万 kl となる LNG 地上式貯槽 2 基と、LNG を気化し発電所へ送出するための LNG 製造設備を建設中である(図—1)。

LNG 製造設備工事では、主要土木設備として、海水を熱源として LNG を気化させるオープンラック式気化器(以下、「ORV」という。)で使用する海水を取放水するための水路構造物である気化器取放水設備を構築している。

気化器取放水設備は、最大 $5.1\text{m}^3/\text{s}$ を取水口より表層取水し、取水管、ポンプ室、海水管を経て ORV まで導水し、ORV で使用した海水は、放水路、放水ピットを経て、放水口から水中放水させるものである(図—2)。

気化器取放水設備のポンプ室工事では、既設設備が近接していたため、施工時の振動や地盤変位により既設設備に影響を与えないよう、土留壁として柱列式中連続壁工法のうち「H 形鋼を芯材としたソイルセメント壁による地中連続壁」(以下、「SMW 土留壁」という。)を採用した。

さらに、経済性を希求し、土木工事では道内で初めて



図—1 石狩湾新港発電所全体計画図

SMW 土留壁を本設構造物の一部として利用した。

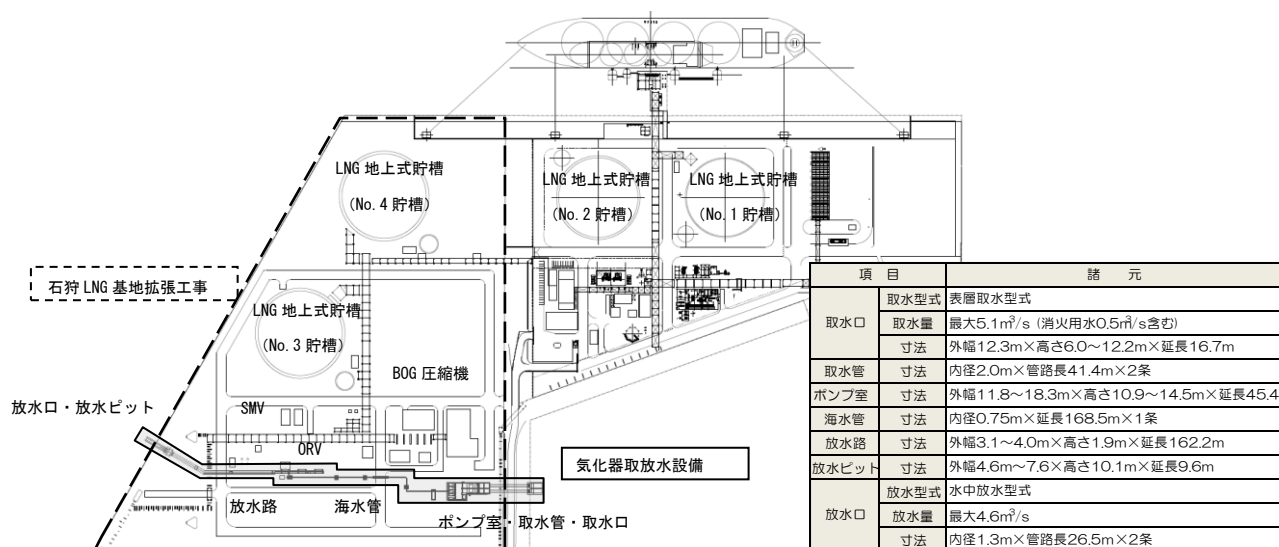
本稿では、SMW 土留壁を本設構造物の側壁と一体化させて本体利用したポンプ室工事の概要について報告する。

2. 土留工法の選定および仕様の決定

ポンプ室の地質は表層 10m の区間が軟弱な埋立土層であり、地下水位は表層から 2.1m と比較的高い。ポンプ室工事の土留工法の選定にあたっては、施工時の振動による既設設備への影響だけでなく、土留壁構築後の止水性や土留変位による地盤への影響を考慮する必要があった。

(1) 土留工法の選定

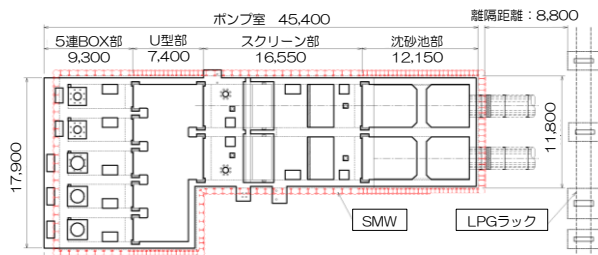
ポンプ室近傍には、躯体から 8.8m の位置に既設設備の液化プロパンガス(以下、「LPG」という。)ラッ



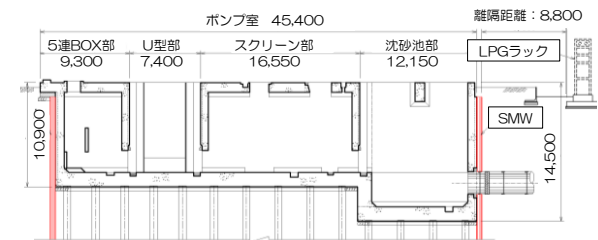
図—2 石狩 LNG 基地拡張工事計画図および気化器取放水設備諸元

クが供用中である(図—3, 4)。ポンプ室工事における土留構築時の振動および土留変位による LPG ラックへの影響が懸念されたため、ポンプ室工事では、静的工法で施工時の振動を抑制し、土留変位が小さい土留工法を採用する必要があった。そのため、ポンプ室工事では、オーガー削孔後に鋼矢板を圧入する工法(以下、「鋼矢板圧入工法」という。)と SMW 土留壁工法の 2 つの工法を比較検討した(表—1)。

検討の結果、ポンプ室工事では、地盤の許容変位量が 10mm と小さい LPG ラックの直接基礎への影響を最小限とするため、鋼矢板圧入工法と比較して土留変位が小さく、さらに止水性や施工性に優れた SMW 土留壁を採用することとした。



図—3 ポンプ室平面図



図—4 ポンプ室断面図

表—1 土留工法比較

	鋼矢板圧入	SMW土留壁
仮設材	鋼矢板、切梁	H形鋼芯材、切梁 ソイルセメント、
概要	・オーガー先行削孔、鋼矢板圧入 ・工事完了後、撤去	・現位置土にセメント系懸濁液を攪拌、芯材挿入
止水性	・継手部から漏水の懸念がある	・止水性に優れる
周辺への影響	・土留変位は大きく、LPGラックへの影響が懸念される ・継手からの漏水による周辺土砂の吸出し ・引抜による地盤の緩み	・土留変位は小さく、LPGラックへの影響が小さい
施工性	・オーガー先行削孔が必要 ・切梁段数が多くなり、鉄筋の継手および打設割が多くなる	・切梁段数が少なくなり、施工性に優れる

(2) SMW 土留壁の仕様の決定

SMW 土留壁は H 形鋼芯材とソイルセメントから構成され、土圧により生じる応力および変形は H 形鋼芯材で受け持ち、H 形鋼芯材間に生じる水平方向の応力はソイルセメントで受け持つ構造である。ここで、ソイルセメントとは、土とセメント系懸濁液を混合・攪拌したものをいう。

H 形鋼芯材の間隔は、「SMW 設計施工指針」¹⁾(以下、「指針」という。)より SMW の厚さおよび H 形鋼芯材の高さ等から決まる。スクリーン部および 5 連 BOX 部については指針に基づく最大間隔とした。躯体高のある沈砂池部および側壁が片持ち梁構造となる U 型部は、躯体完成後に作用する応力が大きい箇所であるため、沈砂池部および U 型部の H 形鋼芯材間隔は、スクリーン部および 5 連 BOX 部の 900mm と比較して 1/2 である 450mm とした(図—3, 4, 表—2)。

ソイルセメントの設計基準強度は、H 形鋼芯材間において押し抜きせん断による破壊が生じない強度としており、指針より砂質土の 0.5N/mm² を採用している。セメント系懸濁液の配合選定については、「3. (2) 施工時の H 形鋼芯材建て込み精度の確保」で記載する。

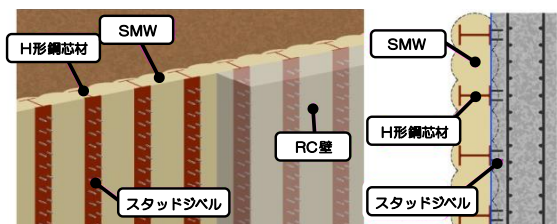
なお、ソイルセメントの強度は、施工時に採取した試験体の一軸圧縮強度試験を行い、設計基準強度以上あることを確認している。

表—2 土留壁仕様

		沈砂池部	U型部	スクリーン部 5連BOX部
H形鋼 芯材	仕様	H440×300 ×11×18	H440×300 ×11×18	H440×300 ×11×18
	間隔 (mm)	450	450	900
	長さ (m)	21.0	17.5	17.5
ソイル セメント	設計基準強度 (N/mm ²)	0.5		
	改良径 (mm)	650		
	間隔 (mm)	450		
	長さ (m)	23.0		

3. SMW 土留壁本体利用

ポンプ室工事では、周辺設備への影響を考慮した土留工法を採用するだけでなく、設計・施工の合理化および経済性を希求する観点から、SMW 土留壁の H 形鋼芯材と本設構造物である鉄筋コンクリート壁(以下、「RC 壁」という。)をスタッドジベルで一体化させる SMW 土留壁本体利用を土木工事では道内で初めて採用した(図—5, 写真—1, 2)。



図—5 SMW 土留壁本体利用のイメージ図



写真—1 スタッドジベル取付状況



写真—2 スタッジベル取付後の鉄筋組立状況

(1) 本体利用の設計概要

H形鋼芯材とRC壁をスタッジベルで接合した一体壁に作用する応力は、各部材が分担して負担し、その分担率は「H形鋼を芯材とする土留め壁本体利用の設計手引き」²⁾（以下、「手引き」という。）に基づき各部材の断面二次モーメントおよびヤング係数で決定する（図—6）。また、H形鋼芯材とRC壁の接合面のスタッジベルは、H形鋼芯材とRC壁のずれ止めとして機能し、躯体に作用する曲げモーメントを微小区間において接合面のせん断力としてスタッジベルが負担する（図—7, 8）。これより、一体壁としての剛性が増加し、必要なコンクリート量および鉄筋量を低減することができる。

$$J = J_s + \frac{E_c}{E_s} \cdot J_c + \alpha \cdot \frac{E_c}{E_s} \cdot A_c$$

H形鋼芯材 RC壁(=J' c) 一体化による剛性増加分(=J' w)

J：完全合成とした場合の一体壁の断面二次モーメント（鋼換算）【mm⁴】

J_s：H形鋼芯材の断面二次モーメント【mm⁴】

E_c：RC壁のヤング係数【N/mm²】

E_s：H形鋼芯材のヤング係数【N/mm²】

J_c：RC壁の断面二次モーメント【mm⁴】

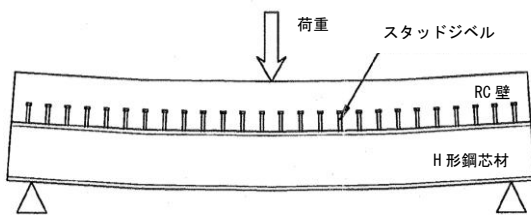
J' c：RC壁の断面二次モーメント（鋼換算）【mm⁴】

α：部材の断面寸法およびシアコネクタ量によって決まる係数

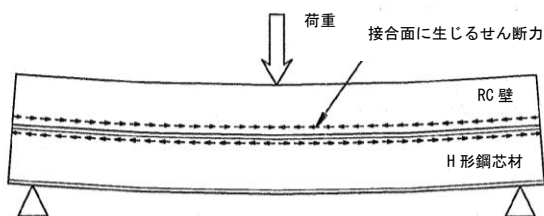
A_c：RC壁の断面積【mm²】

J' w：一体化により増加した断面二次モーメント（鋼換算）【mm⁴】

図—6 一体壁の剛性算出式



図—7 一体壁への荷重作用概念図



図—8 接合面に生じるせん断力の概念図

(2) 施工時のH形鋼芯材建て込み精度の確保

SMW 土留壁を本体利用する場合、RC壁の壁厚を確保するために、高い精度でH形鋼芯材を建て込む必要

があり、ポンプ室工事では、最長21mのH形鋼芯材を鉛直精度1/200で収める必要があった（表—3）。

H形鋼芯材の建て込みは、原位置土とセメント系懸濁液を攪拌混合したソイルセメント中にH形鋼芯材の自重により挿入していく作業である。セメント系懸濁液の水セメント比が小さいほど、ソイルセメント強度は増加するが粘性が高くなるため、H形鋼芯材の建て込み精度を確保できなくなる。また、ソイルセメントの品質は、原位置土の性状にも影響される。このため、セメント系懸濁液の配合は、品質および施工性を考慮して決定する必要があった。

配合の決定にあたっては、SMW 土留壁のソイルセメントの必要強度を得つつH形鋼芯材の建て込み精度が確保できることを確認するために、指針の標準配合に準じて試験施工を行なった。なお、施工箇所は地下水位が比較的高く、原位置土を攪拌した際の孔壁の崩れが懸念されたため、ベントナイトの配合量を標準配合の10kg/m³よりも多い15kg/m³とした（表—4）。

試験施工の結果、ポンプ室工事箇所土質では、必要なソイルセメント強度を満足しつつH形鋼芯材の建て込み精度を確保できる最適な水セメント比は225%であることを確認した（表—3, 4, 写真—3, 4）。

表—3 H形鋼芯材建て込み時の管理値

管理項目	土留法線直交方向の傾き	土留法線方向の傾き	ねじれ
管理値	1/200	1/100	13° 以内

表—4 セメント系懸濁液配合の選定

配合	配合（対象土1.0m ³ 当り）				設計基準強度 （N/mm ² ）	現場採取の試験体強度 （材齢28日） （N/mm ² ）
	セメント （kg）	ベントナイト （kg）	水 （L）	水セメント比 （%）		
標準配合 （砂質土）	280	10	560 ～700	200～250	0.5	-
決定配合	280	15	630	225	0.5	0.95



写真—3 SMW 施工状況



写真—4 H形鋼芯材建て込み完了状況

(3) 本体利用による躯体数量の低減

ポンプ室工事では、SMW 土留壁本体利用を採用することで、ポンプ室側壁部において、SMW 土留壁本体利用しない場合の壁厚 1,500mm と比較して、800mm 低減した 700mm にすることができた。

4. ポンプ室工事の施工実績

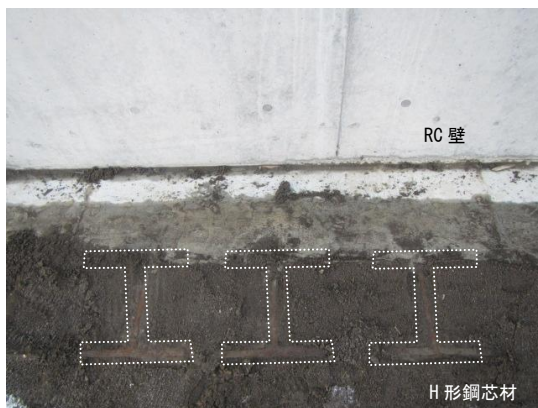
ポンプ室工事では、2015 年 5 月に SMW 土留壁の施工を開始し、約 1 ヶ月で完了した。その後、基礎杭工、土留壁内掘削工を完了した後、土留支保工設置と躯体構築工事を交互に行いながら、2017 年 3 月に躯体構築を完了した（表—5、写真—5、6）。

表—5 ポンプ室工事工程

工種	年	2017												2018												2019			
	月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4			
SMW土留壁工																													
基礎杭工																													
掘削工																													
土留支保工																													
躯体構築工																													



写真—5 ポンプ室完成状況



写真—6 SMW 一体壁完成状況

5. おわりに

ポンプ室工事における土留壁の施工にあたっては、静的工法である SMW 土留壁を採用することにより、施工時の振動や土留変位等による LPG ラックへの影響を最小限にすることができた。

さらに、SMW 土留壁本体利用にあたっては、試験施工により、土質性状を考慮したセメント系懸濁液の配合を決定することで H 形鋼芯材の建て込み精度を確保す

ることができた。また、土木工事で道内初の SMW 土留壁本体利用を採用することで、ポンプ室側壁部において壁厚を低減することができた。

参考文献

- 1) 日本材料学会：SMW 設計施工指針（改訂版）
- 2) 日本トンネル技術協会：H 形鋼を芯材とする土留め壁本体利用の設計手引き