

VI-4

深層混合処理工法による燃料タンク基礎地盤改良

北海道電力(株) 正会員 岩佐 英昭  
 北海道電力(株) 正会員 白川 部秀基

1. はじめに

一般に軟弱地盤上に構築される燃料タンク基礎の構造は、「地盤改良を施した直接基礎」と「杭支持による基礎」に大別される。このうち、地盤改良としては、置換工法・振動締固工法・プレロード工法などがこれまで多く採用されている。

北海道電力(株)では知内火力発電所2号機増設工事において、新設する燃料タンク(容量40,000kℓ×3基)の基礎工法を選定するにあたり、隣接する住居地区および既設施設への影響、経済性、工期等の観点から比較検討を行った結果、電力会社としては初めて深層混合処理工法(以下CDM工法と呼ぶ)による地盤改良を施した直接基礎を採用することとした。

しかし、燃料タンクは消防法の規制を受け、消防法令に基づき基礎の設計を行わなければならないが、CDM工法は、タンク基礎地盤改良に適用された事例がほとんどなく、消防法令にも詳細に規定されていないことから、タンク以外の施設の諸基準を参考にしながら設計方針の策定を行うとともに、事前配合試験、施工中の動態観測、品質管理試験等を行いながら施工した。

本報告は、平成6年12月から平成7年9月にかけて実施したCDM工法による地盤改良の設計、施工、品質管理等について取りまとめたものである。

2. 工事概要

(1) 地盤の概要

当発電所周辺の地盤は、知内川などの河川による土砂堆積作用等によって形成された泥炭層などの軟弱な沖積層が広く堆積している。代表的な地質を表-1に示す。

表層付近に分布しているAp・Ao層は、厚さ5~6m程度で極めて柔らかく有機物含有量も20%程度と他の土層と比較し多い。下位に分布している洪積層のDsg層は、層厚に変化がみられるものの比較的締まっており、支持層として十分期待できる。また、Dc層は過圧密状態にあり圧密降伏応力で4kgf/cm<sup>2</sup>以上あり、有効土被荷重にタンク増分荷重を加味した荷重を上回ることから、圧密沈下はしないものと判断される。

(2) タンク基礎の概要

知内発電所は、函館市の南西方向約50kmの上磯郡内町に位置し、昭和55年に使用燃料を重・原油として1, 2号機の建設に着手し、1号機(35万kW)は昭和58年に運転を開始したが、2号機(35万kW)は電力需要低迷等により土木工事を一部実施し中断していた。その間、使用燃料の再検討を行い、重油とオリマルジョンの混焼に計画を見直し、平成6年9月に増設工事として再開し、平成9年9月運転開始を予定している。

今回増設する燃料タンク(直径49.5m、高さ23m、容量40,000kℓ×3基)は、既設燃料タンクの南側に位置し、隣接する住居から最短距離で約150m程度離れている。

表-1 地質一覧表

時代	柱状記号	土記	層号	構成土質名	層厚(m)	N値(回)
新 世			Bk	盛土	2.0~5.1	2~14
			Ad	泥炭層(シルト)	0.4~2.4	02~3
			Ao	シルト 細砂(シルト)	0.4~3.9	02~13
			As	砂 砂質シルト	0.9~4.4	1~18
			Ac	粘土	8.8~13.0	02~4
旧 世			Dsg-1	砂 砂	0.1~6.4	7~50 以下
			Dc	シルト 細砂(シルト) 粘土質シルト	0.4~6.8	1~34
			Ds	砂	0.3~0.5	6~24
			Dsg-2	砂 砂 砂混じり砂	0.4~7.6	35~50 以下
新 第三 期			Tsm	凝り固結岩 砂岩	0.7以下	30~50 以下

Improvement in Ground of Fuel Tank Foundation by Cement Deep Mixing Methods ;  
 by Hideaki IWASA and Hideki SHIRAKAWABE

タンク位置を図-1に、タンク基礎断面を図-2に、タンクおよびタンク基礎の諸元を表-2に示す。

タンク基礎は、平成7年9月末にタンク本体工事への引き渡しとなっており、工期が約13ヵ月と短期間であるため、冬期間も工事を行うこととした。

当タンク基礎は、消防法に基づく危険物貯蔵所設置許可申請を平成6年6月30日に行い、同年11月7日に設置許可を受けており、CDM工法は、Ap・Ao層の良質土置換、施工基盤の造成終了後の同年12月10日から開始し、平成7年9月20日に消防法に基づく完成検査前検査を終了した。検査は、改良地盤の改良効果の確認検査、基礎床付面の平板載荷試験、鉄筋コンクリートリングの鉄筋検査等各工事段階毎に受検した。

### (3) 基礎地盤改良工法の選定

タンク基礎の設置地盤が極めて軟弱なため支持力、不等沈下量等の観点から、当発電所の既設燃料タンクにおいてはパイロコンポーザー工法およびプレロード工法を併用した地盤改良を行っている。今回増設する燃料タンクにおいても地盤改良または杭基礎が必要であり、表-3に示す工法の比較検討を行い、以下の理由によりCDM工法を採用した。

- ①隣接住居地区への騒音・振動の低減に優れている。
- ②既設施設（既設タンク、配管等）への振動の影響を低減できる。
- ③冬期間の施工が容易である。
- ④経済性、工期ともに優れている。

## 3. 設計概要

### (1) 改良体の設計

地盤改良の仕様は、「ソイルセメントコラム工法設計・施工指針(案)、住宅・都市整備公団<sup>1)</sup>」などを参考にしながら策定した設計方針に基づき以下のとおりとした。

- ①改良は沖積層(Ac層まで)を対象とし、洪積砂礫層(Dsg-1層)を着底層とした。なお、Ap・Ao層は有機物含有量が多く固化困難と考えられるため、事前にBk層の良質土に置換して施工する。
- ②改良パターンは接円ブロック式(改良率78.5%)とし、設計基準強度は10kgf/cm<sup>2</sup>とする。
- ③改良範囲は、鉄筋コンクリートリングの外側1

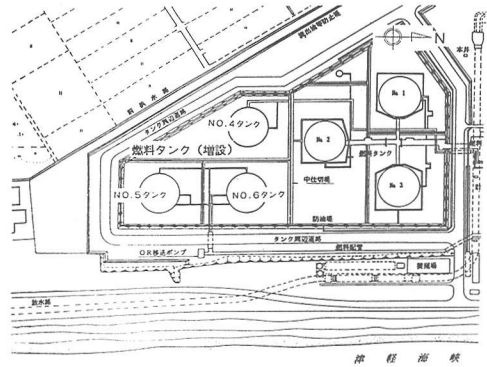


図-1 タンク位置図

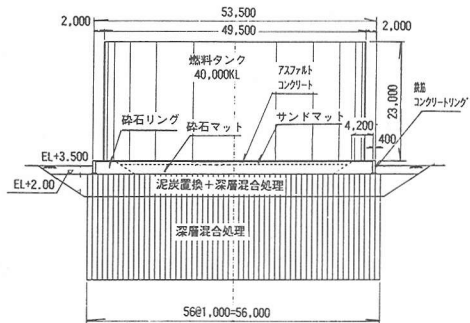


図-2 タンク基礎形状図

表-2 タンクおよびタンク基礎諸元

型式	ドームルーフ式円筒形直立タンク
容量	40,000 KL×3基
直径	49.500 m
高さ	23.000 m
断面積	1,928 m <sup>2</sup>
設計液重	42,434 tf
タンク鋼重	984.5tf
タンク荷重	43,881 tf (タンク重+液重+積雪重)
型式	鉄筋コンクリート、砕石リング併用式サンドマット基礎
タンク	アスファルト舗装厚 0.1m
サンドマット部	サンドマット厚 0.5m
	砕石マット厚 1.9m
基礎	上幅4.20m、下幅7.80m、高さ2.40m以上
鉄筋コンクリートリング	幅0.40m、高さ2.15m
基礎荷重	11.363tf (サンドマット+砕石リング+鉄筋コンクリートリング)

表-3 タンク基礎工法比較検討結果

	深層混合処理工法 (リング基礎)	場所打ち杭基礎 (コンクリートコア基礎)	PHC中掘り杭基礎 (コンクリートコア基礎)	パイロコンポーザー工法基礎 (リング基礎)
概要	・改良径φ78.5% φ1000 L=19.2m n=2,480本	・場所打ち杭 φ1500 ctc4000 L=30.5m n=144本	・中掘り杭 φ800 ctc2200 L=30.5m n=472本	・パイロコンポーザー φ700 ctc1450 L=19.2m n=4,452本 ・プレロード
改良率の取得 (改良・掘削)	○	△	○	×
経済性	○	○	△	△
工期	○	○	△	×
改良への適用性	○	○	○	○
総合評価	○	△	△	×

m程度の範囲（直径56m）とする。

改良体の平面配置・仕様を図-3に示す。

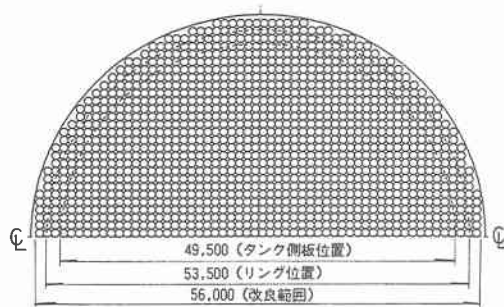
### (2) 改良体の現場目標強度

現場目標強度は、改良体の一軸圧縮強さにより管理することとし、タンクの重要度および改良体のバラツキを考慮して最低値管理と平均値管理を併用し、次の値を満足するものとした。

- 改良体2m毎（3供試体）の平均強度（quf1）は設計基準強度以上： $quf1 \geq quck = 10 \text{ kgf/cm}^2$
- 改良体1本の各層毎の平均強度（quf2）は標準偏差を考慮した $quck = qu1 - 2(0.25qu1)^{1.1}$ より設計基準強度の2倍以上： $quf2 \geq 2quck = 20 \text{ kgf/cm}^2$

なお、改良体強度を確認する材令は、CDM工法で

は一般にこれまで材令28日であるが、長期養生による強度増加が期待できセメント使用量の低減が図れることおよび工程的にも長期養生が可能であることから、材令91日とした。



- 改良率：78.5%  $(1.57 / (2.0 \times 1.0) = 0.785)$
- 改良範囲：直径 56 m
- 平均改良長：19.2m
- 改良体本数：2,480 本/基
- 改良体積：37,400 m<sup>3</sup>/基

図-3 改良体平面配置図

## 4. 試験工事

試験工事（室内配合試験および現場配合試験）は、CDM工法の本施工に先立ち、設計基準強度を満足するセメント量の把握および施工性を確認し、本施工にあたっての最適なセメント量を決定する目的で実施した。高炉セメントB種を用い水セメント比（W/C）=60%で実施した現場配合試験におけるNo.4タンクでの材令91日の試験結果を図-4に示す。試験は、改良体からオールコアサンプリングにより採取した試料から供試体を作成し、一軸圧縮試験により行った。

試験結果から、各タンクで各地層ともセメント量 150kg/m<sup>3</sup>以上とすることで現場目標強度を満足することができた。

施工性については、施工機のモーター電流値により判断した。例として、No.4タンクでの施工時のモーター電流値を図-5に示す。

使用したモーターの定格電流値の上限値は300Aであるが、セメント量 150kg/m<sup>3</sup>では現地盤の粘性が高く 350~400A程度の電流値が連続する結果となり、本施工で施工機にトラブルが発生する可能性の高いことが半明した。このため、本施工においては、Bk層の抵抗を少なくするため置換時に玉石等の障害物を除去することとし、Ac層については粘性を下げるためフライアッシュ等の混合を検討したが、運搬費（苦小牧）およびサイロ追加等の設備費を考慮するとコスト増となることから、セメント量を 200kg/m<sup>3</sup>に増加させることとした。試験工事の結果から決定した本施工の仕様を図-6に示す。

施工基準	
EL+2.0	仮設ヤマト
Bk層	セメント量
EL+1.9~+3.7	150 kg/m <sup>3</sup>
As層	W/C=0.6
EL+3.5~+5.0	
Ac層	セメント量
	200 kg/m <sup>3</sup>
	W/C=0.6
EL-16.0~-18.5	

図-6 本施工仕様

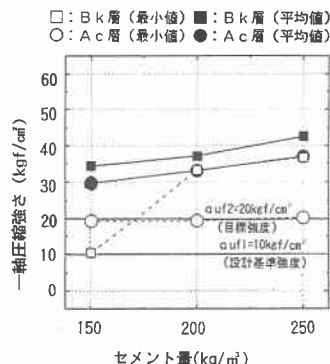


図-4 現場配合試験結果

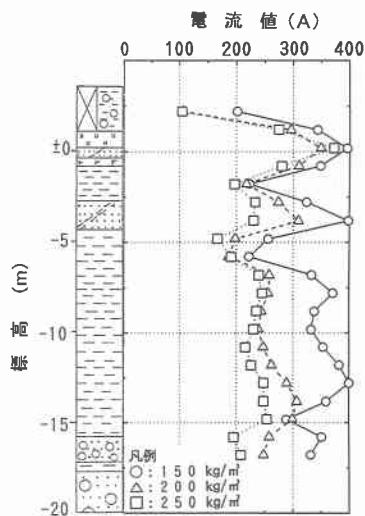


図-5 モーター電流値深度分布図

## 5. 施 工

### (1) 施工順序

当工事は、既設タンクが近接しているとともに、78.5%という高改良率で改良体を造成するため、既設タンクおよび施工済み改良体への施工時の影響が懸念された。

このため、これらに極力影響を与えないような施工順序の検討を行った。既設タンクへの影響については、施工の進行方向を既設タンクから離れる方向に施工することで変位を低減できること、また、施工済み改良体への影響については、当社先行発電所における純水タンクでの施工結果<sup>2)</sup>から、4列の改良体を先行して施工することで応力遮断効果が得られることが明らかとなっている。

これらの検討結果を踏まえ、本施工の基本的な施工順序は図-7に示すように、まず、先行してタンク中央部の4m×12m(4列×12列)の範囲(①)を施工機1台で施工し、その後、①部を挟むように2台の施工機で向かい合ってタンク中央部からタンク外周に向け施工する(②)。②部施工後、それを挟み既設タンクから離れる方向に施工(③)することとした。

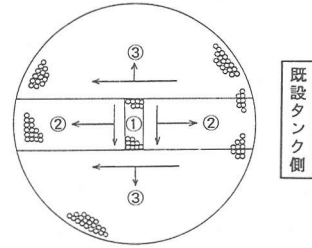


図-7 施工順序

### (2) 施工実績

タンク基礎工事施工フローを図-8に示す。

本施工は貫入吐出とし、施工機(二軸式、最大施工深度30m級、改良体直径1m×2本)をピーク時合計6台使用し、各タンクとも最初は1台で施工を開始し、その後2台で行い、平成7年3月22日に全タンクの施工を終了した。

作業能力の実績は、表-4に示すように冬期間での施工ではあったが平均23m<sup>3</sup>/hr程度が確保できた。

本施工にあたり、冬期施工対策として施した主なものを以下に示す。

①凍結防止を踏まえ、混練水に工業用水用として1号機建設時に設けた構内の井戸からの自噴水(水温12℃程度でほぼ一定)を使用し、各プラント設備までの水配管を地中に埋設した。

②改良体の凍上抑制対策として、施工基盤を兼ねて図-6に示すように改良体頭部位置の上面に仮設サンドマットおよび碎石を敷設した。この結果、改良体頭部位置での地中温度は、厳寒期でも平均7℃程度であり、凍結による改良体への影響はなかったものと考えられる。

また、表-5に示すセメント系固化材による改良土の養生温度と一軸圧縮強さとの関係<sup>3)</sup>によれば、今回の固化材添加率は9%以上であり、長期的な発現強度への影響もなかったものと考えられる。

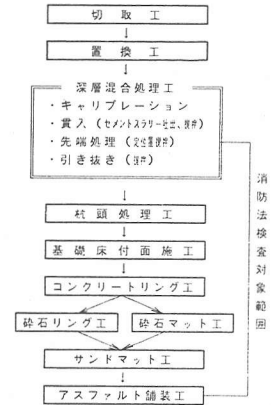


図-8 工事施工フロー図

表-4 作業能力実績

タンクNo	施工機No	施工期間	運転時間当りの平均作業能力
4	1	12/22~3/20	23.05 m <sup>3</sup> /hr
	2	1/9 ~3/21	
5	3	12/13~3/20	22.98 m <sup>3</sup> /hr
	4	12/20~3/20	
6	5	12/10~3/22	22.55 m <sup>3</sup> /hr
	6	12/15~3/22	

表-5 改良土の養生温度と一軸圧縮強さ

固化材添加率(%)	強 さ 比					
	5 / 20℃			35 / 20℃		
	3日	7日	28日	3日	7日	28日
5	0.65	0.84	0.84	—	—	—
7	0.82	0.85	0.94	—	—	—
10	0.85	0.95	1.02	1.00	1.17	1.02

### (3) 施工管理

本施工での施工管理は、通常のCDM工法の施工管理に加え、構造物の重要性を考慮して管理を行うこととし、表-6に示す施工管理を行った。

### (4) 動態観測結果

CDM工法施工時の周辺への影響を確認するため、地中傾斜計などの観測計器等を用いて動態観測を行った。地中傾斜計設置位置を図-9に示す。

#### a. 周辺地盤への影響

表-6 施工管理一覧表

管理内容	管理項目	基準値	管理方法及び頻度
1.改良体の掘削速度および引き抜き速度	a.貫入および引き抜き速度 b.回転数	a.1.1m/分 b.貫入≧200m/m 引き抜き≧400m/m 切戻り回数≧150回/m	a.施工記録 b.施工記録 写真 c.レコーダによる記録
2.使用材料の配合と使用量	a.セメントの規格 b.使用セメント量と泥水の配合状況 c.セメントの配合状況 d.2.25%の濃度 e.2.25%の比重 f.2.25%の吐出 g.セメント搬入量	a.品質証明書で確認 b.以下詳細 b-1.規定値以上 b-2.規定値以上 b-3.規定値以上 c.使用量以上	a.1ヶ月/毎 b.以下詳細 b-1.バッチ記録 b-2.バッチ記録の確認 b-2.マッドバランス測定 1回/日 b-3.施工記録 c.写真調査 c.写真調査 (各施工機械10枚)
3.改良体の設置状況	a.改良体の長さ b.直径 c.配置・位置 d.改良体露出の高さ e.改良体露出形状	a.柱天端+2.0m以上 柱底深さ350A以上 b.規定値以上 c.±100mm以内 d.規定値(LL+2.0m)以上 e.改良体露出5m×3m、9本の柱ピッチ±100mm以内	a.施工記録 (換尺写真1回/100本) b.6箇所/1タンク 9本/1箇所 c.7ヶ所外周のCDM柱の座標 d.6箇所のCDM柱高確認 e.6箇所/1タンク 9本/1箇所
4.施工位置設置状況	a.平面位置 b.目録位置確認 c.目録への設置状況 d.傾斜計とトランシット e.施工基準面高さ	a.設計値どおり b.1/100以下 c.基準値(T張りにて管理)	a.写真と成果表 ・目録の設置位置の精度確認 ・掘削費を目標に設置する状況写真 b.施工後の傾斜計による記録 適宜トランシットで確認 c.T張り高を適宜確認

施工の進捗状況と各傾斜計の観測結果を図-10に示す。

鋼矢板の前面(傾斜計No.1)・背面(傾斜計No.2)とも施工機が近くにつれて変位は増加傾向にある。この観測結果をこれまでの観測例<sup>4)</sup>と比較したものが図-11である。この図は、改良長と測定点までの距離の比と水平の関係を変位50%として表したものである。この図から、当工事での地盤変位はこれまでの観測例とほぼ同程度と判断できる。なお、既設タンクでは、鉛直・水平とも施工による変位は計測されなかった。

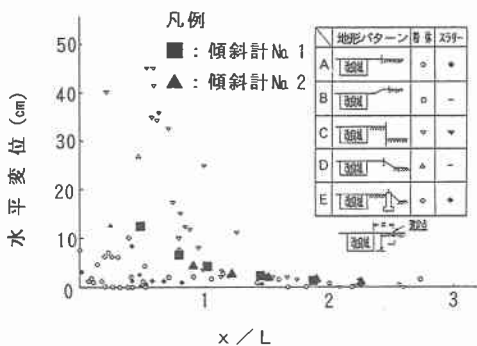


図-11 x/Lと水位変位の関係(文献4に加筆)

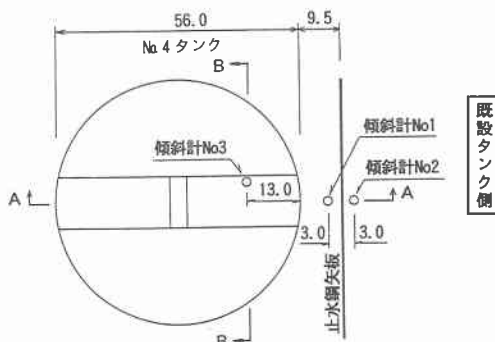


図-9 地中傾斜計設置位置図

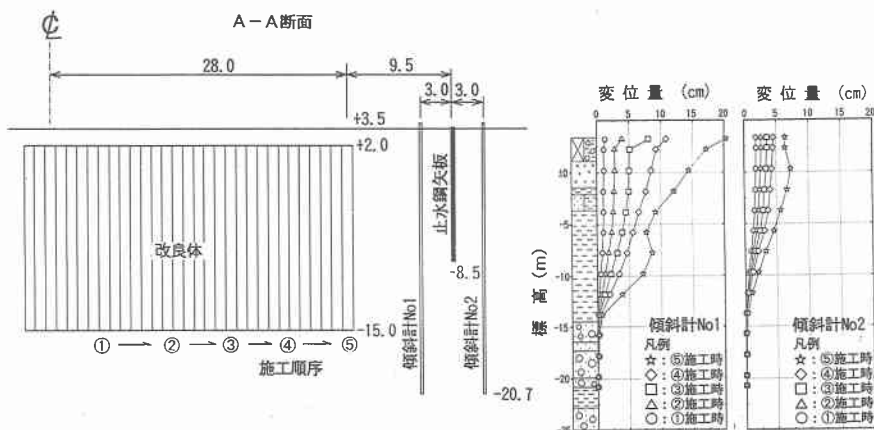


図-10 地中傾斜計観測結果

b. 施工済み改良体への影響

No.4タンクの中央帯部分(図-7①・②部)施工後3日経過した改良体に傾斜計(No.3)を設置し、両側(図-7③部)を施工した際の改良体への影響を観測した。観測結果を図-12に示す。改良体内での変位は最大でも3mm程度であり、変位はほとんど生じていないと判断できる。この結果から、今回の施工手順で施

工を行ったことにより、施工済み改良体への影響はほとんど無かったものと判断できる。

(5) 品質管理試験結果

品質管理は、基本的には改良体からオールコアサンプリングにより供試体採取し、材令14日、28日、91日での一軸圧縮強さによる管理を行った。

供試体は、社内検査として材令14日、28日について改良体 200本に1箇所(13箇所/1基)、材令91日について改良体 500本に1箇所(5箇所/1基)、

消防法に基づく検査として材令91日について改良体 500本に1箇所(5箇所/1基)採取した。図-13にNo.4タンクの一軸圧縮試験結果の平均値と材令の関係を、図-14にNo.4タンクの各材令における一軸圧縮強さの深度方向の分布の1例を示す。この、品質管理試験結果から、土層より一軸圧縮強さにバラツキはあるものの、各タンクいずれの土層においても管理基準を十分満足した結果が得られた。

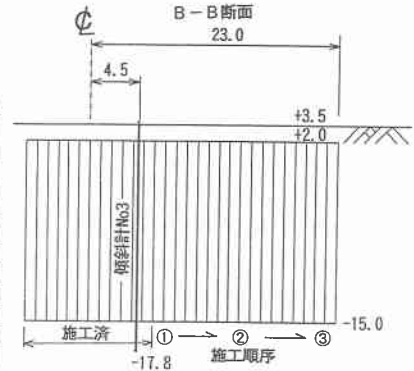


図-12 傾斜計観測結果(改良体)

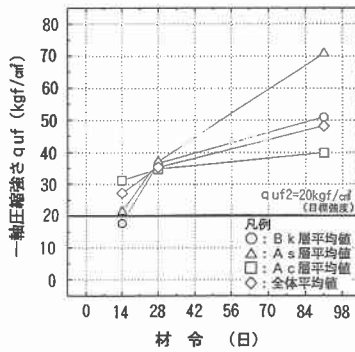


図-13 品質管理試験結果

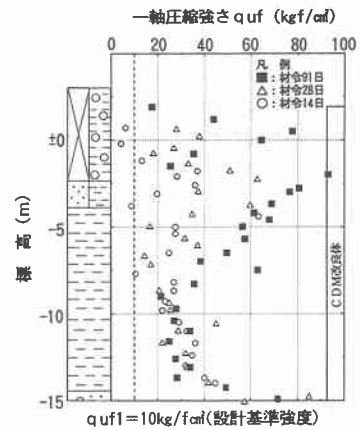


図-14 一軸圧縮強さ深度分布図

6. おわりに

今回、燃料タンク基礎の地盤改良としてはこれまでほとんど適用事例のないCDM工法を大規模に採用し、その設計法、施工方法、品質管理等について検討を行うとともに、各種試験・計測を行った。この結果から、改良後の品質は管理基準を十分に満足する結果が得られ、特定屋外貯蔵タンク基礎の地盤改良として本工法の適用が十分可能であることが明らかとなった。また、施工中の騒音・振動も十分小さいものであった。

しかしながら、タンクにおける大規模な施工実績がなく、地震に対する挙動および長期的な挙動も十分に把握されていないなどの課題があると考えており、今後改良地盤をモデル化した挙動解析と水張試験時計測結果との検証等を行い、より合理的な設計手法等の確立を図っていきたいと考えている。

最後に、今回のCDM工法の設計、施工方法の策定にあたりご指導いただいた危険物保安技術協会および工事を施工した知内2号機燃料タンク基礎ほか(飛鳥・前田・日本国土・不動・北電興業)共同企業体の皆様、その他関係各位に紙面を借りて感謝の意を表するものであります。

参考文献1) 住宅・都市整備公団;ソイルセメントコラム工法設計・施工指針(案)

2) 西尾, 鶴岡, 村田基治;タンク基礎の深層改良工法の適用について, 土質学会誌, 建設技術報告集第35号, 1995. 2

3) セメント協会;セメント系固化工材による地盤改良マニュアル

4) 榎野, 須藤, 河本, 道哉;深層改良工法の施工に伴う地盤の挙動とその対策, 第3回「施工技術協会」建設要一統地盤改良における施工の現状とその対策, 土学会施工委員会, 1986. 6