

V-3

深層混合処理工法を採用した大型燃料タンク基礎地盤の挙動

北海道電力(株) 正 員 白川部秀基
 北海道電力(株) 正 員 岩佐 英昭
 北海道電力(株) 坪内 克也
 北電興業(株) 正 員 樋詰 透

1. はじめに

北海道電力(株)では知内火力発電所2号機増設工事に伴う大型燃料タンク基礎の地盤改良に深層混合処理工法(以下CDM工法と呼ぶ)を採用した。

今回増設した燃料タンクは、直径49.5m、高さ23.0m、容量40,000kℓ×3基であり、その基礎地盤は軟弱な沖積層が約20m堆積し、それ以深では15mの洪積層が基底となる砂質シルト岩まで堆積している。

よって、CDM工法はこの沖積層を対象に実施した。

CDM工法は、現在地盤改良工法としては幅広い実施例があるが、大型タンク基礎への実施例がなく、消防法の「深層混合処理工法を用いた特定屋外貯蔵タンクの地盤の運用基準」が制定(平成7年11月7日)された後、初めての事例でもある。

したがって、当工法の選定に際しては、各種の地盤改良工法を、経済性、既設施設への影響、周辺環境への影響、工期等の観点より比較検討を行い決定した。

また、本工法実施後、燃料タンクの水張り試験時においては、地盤の複雑な変形挙動が予測されたため、一般的な地表部の観測に加え、地中埋設計器による地盤の挙動を観測した。

本報告は、燃料タンク水張り試験時におけるタンク基礎のCDM改良部、CDM下部地盤およびタンク周辺地盤の挙動観測結果について取りまとめたものである。

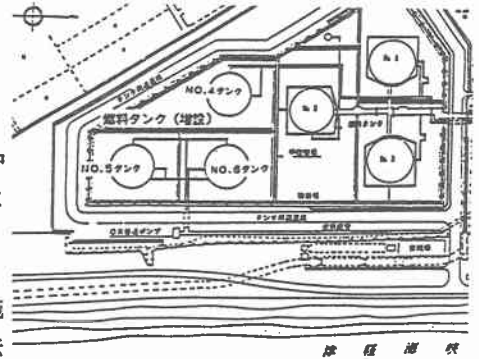


図-1 タンク位置図

2. 地盤の概要

当発電所周辺の地盤は河川による土砂堆積作用等によって形成された泥炭層等の軟弱な沖積層が約20m堆積し、その下部以深では15mの洪積層が基底となる砂質シルト岩まで堆積している。

沖積層は、地表面より泥炭層(5~6m)、砂質土層(1~3m)、粘性土層(9~12m)に構成されており、泥炭層(A_p層、A_o層)は有機物含有量が20%でありN値も1~3と極めて低い、また、砂質土層および粘性土もN値が1~3と極めて低く、軟弱な沖積層が堆積している。

一方、洪積層はNO.4タンクと、NO.5タンクで層厚にばらつきがみられるものの上層部にはN値20
 Behaviour of the Ground of Fuel Tank Foundation by Cement Deep Mixing Methods ;
 by Hideki SHIRAKAWABE and Hideaki IWASA and Katsuya TSUBOUCHI and Tohru HIZUME

表-1 土質試験結果(洪積層)

		Dag-1 層		Dc 層		Dag-2 層	
		NO.4タンク	NO.5タンク	NO.4タンク	NO.5タンク	NO.4タンク	NO.5タンク
一般	湿潤密度 (g/cm ³)			1.636	1.699		
	自然含水比 W _n (%)	7.3~25.4	10.8~17.2	43.6~57.2	41.1~61.5	9.4~25.2	9.4~15.6
	飽和度 (%)			96.2	100.0		
粒 度	礫 分 (%)	38~68	56~76	0	0	50~76	52~58
	砂 分 (%)	21~59	22~30	2~6	1~7	16~40	33~40
	シルト分 (%)			35~52	32~51		
	粘土分 (%)	5~11	2~14	43~60	45~67	6~14	9~14
	最大粒径 (mm)	37.5	37.5	2.0	0.4	37.5	28.5
一 圧 縮	一軸圧縮強さ q _u (kgf/cm ²)			2.350 ~2.830	1.900 ~4.500		
	圧縮指数 C _c			0.688 ~0.692	0.452 ~0.628		
	圧縮係数 P _c (kgf/cm ²)			4.25 ~4.30	6.90 ~8.20		

～50と比較的締まった砂礫層（Dsg-1層）と下部にはN値50以上の非常に締まった砂礫層（Dsg-2層）があり、その間をN値3～10程度の粘性土層が介在している。

この粘性土層の物性値は、表-1の土質試験結果より、飽和度100%、一軸圧縮強度2.0～4.0kgf/cm²有効土被り圧約2.0kgf/cm²に対し、圧密降伏応力4.0kgf/cm²以上の過圧密状態にある。

また、NO.4タンクの粘性土の層厚が2～4mであるのに対し、NO.5タンクは4～12mと層厚の変化が大きい、このため両タンクの下部地盤の挙動は水張り試験時の載除荷の過程で異なる傾向を示すことが予想された。なお、図-2にNO.4タンクの地質断面図を、図-3にNO.5タンクの地質断面図を示す。

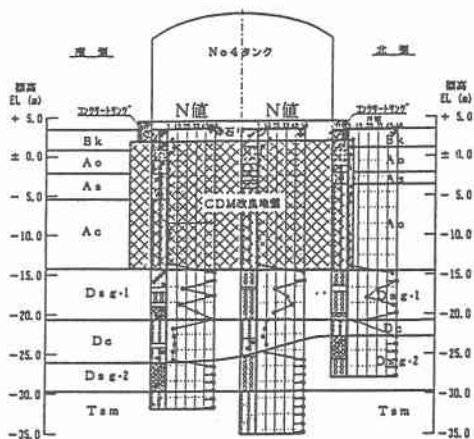


図-2 No.4タンク地質断面図

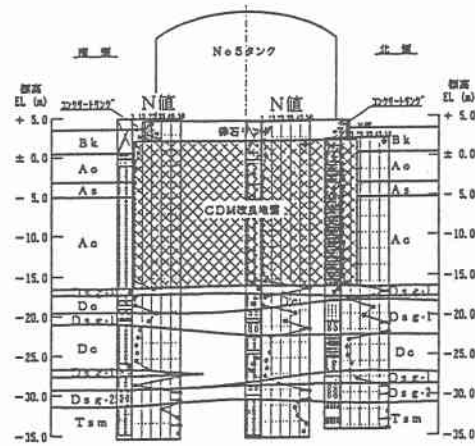


図-3 No.5タンク地質断面図

3. CDM工法の概要

今回のCDM工法は平成6年12月10日から施工を開始し、平成7年3月22日に全タンクの施工を完了した。

3.1 CDM工法の仕様

- (1) 改良は沖積層（Ap, Ao, Ac層）を対象とし、洪積層砂礫層（Dsg-1層）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たため、事前に礫混り土（Bk層）の良質土に置換して施工を行った。
- (2) 改良パターンは接円ブロック式とし、改良範囲はコンクリートリングの外側1mの範囲とした。
- (3) 改良率は78.5%、設計基準強度は10kgf/cm²とした。表-2にCDM工法の仕様を示す。

3.2 改良体強度

図-4に示すように改良体の強度は材令91日において、平均強度48.7kgf/cm²であり、設計基準強度を満足する値となった。

表-2 CDM施工仕様

改良率	αp=78.5%
改良パターン	接円ブロック式
セメントの種類	高炉セメントB種
配合比	水：セメント＝1：0.6
配合量	Bk, As層・・・150kg/cm ³ Ac層・・・200kg/cm ³
設計基準強度	10kg/cm ²
平均改良長	19.2m

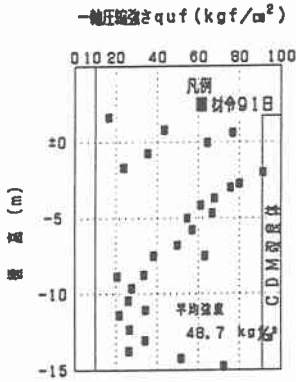


図-4 一軸圧縮強度と深度分布図

4. 水張り試験と測定項目

4. 1 水張り試験

水張り試験は消防法に基づく完成検査前検査の対象であり、タンク本体溶接部の検査およびタンク基礎の不等沈下量等の確認を行うものである。

試験は平成8年6月14日No. 4タンクから注水を開始し7月25日にNo. 6タンクの排水を終了した。

試験の基本パターンは図-5に示すように、当発電所既設燃料タンクの実績を踏まえ満水位(21.62m)まで1日(10時間)約350m³/hを注水した。

水抜きは満水位到達後、一定载荷状態における沈下量を用いて双曲線法により最終沈下量を予測し、沈下変形等に問題がないことを確認してから4日間で排水した。

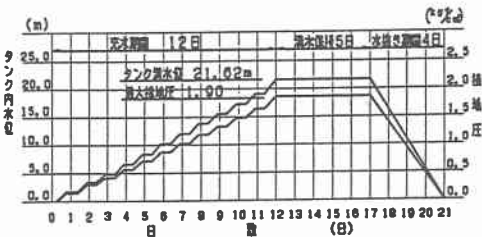


図-5 水張り試験基本パターン

表-3 測定項目一覧

測定項目		No. 4タンク	No. 5タンク
地 測 表 部	タンク側板	8測点	8測点
	コンクリートリング	8測点	8測点
	変位杭	8測点	8測点
量	周辺地盤	36測点	46測点
	土圧計	2カ所	—
地 計 下 測 部	多段式傾斜計	1カ所	—
	層別沈下計	5カ所	2カ所
	ひずみ分布計	1カ所	—

4. 2 測定項目

今回は大規模な地盤改良であり、大型燃料タンクという重要構造物でもあるため、水張り試験においては通常の沈下測定の他に各種埋設計器を用い、タンク基礎および下部地盤の挙動を経時的に観測した。表-3に計測項目の一覧表を示す。

(1) 沈下測定位置

沈下測定は各タンクとも、タンク側板、コンクリートリング、変位杭をそれぞれ8測点、さらに各タンクの周辺構造物(配管架台基礎)について実施した。図-6に沈下測定位置を示す。

(2) 埋設計器設置位置

鉛直変位を測定するため、層別沈下計をNo. 4タンクについては、改良体に5測点(C点についてはDsg-1, Dc層にも設置)、No. 5タンクについてはコンクリートリングから約2.5m離れた位置に2測点を洪積層の各層に設置した。

また、水平変位を測定するため、多段式傾斜計をNo. 4タンクC点で改良体内および下部地盤に設置した。

埋設計器の設置位置を図-6に示す。

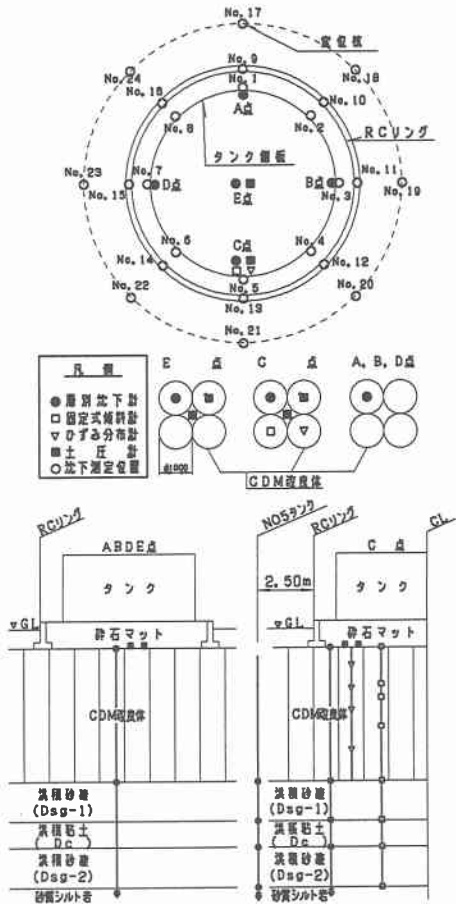


図-6 測定位置図

5. CDM改良地盤の挙動

水張り試験におけるNo.4タンクの層別沈下計 計測結果よりタンク内水位と改良体の圧縮量を図-7に示す。

同図より改良体には最大で0.7mm～1.3mmの圧縮量が発生しており、この圧縮量より変形係数をめると表-4に示すように27,000～48,000kgf/cm²であり、材令91日における一軸圧縮強さ(平均強度)から求めた変形係数(E₅₀)=17,500kgf/cm²(図-8)と参照比較すると1.5～2.7倍の値となる。

この理由として以下のことが考えられる。

- ① 水張り試験時における改良体の材令は約450日であり、材令91日以降における長期強度の伸びが発生した。
- ② 微小ひずみレベル (ε<0.01%) における変形係数は、一軸圧縮試験から得られた変形係数E₅₀の1.5倍程度大きな値を示す知見¹⁾が得られており、今回の結果はほぼそれと同様である。

表-3 変形係数の計算結果

場所	圧縮量 (cm)	圧縮ひずみ ε (%)	変形係数 E (kgf/cm ²)
A点	0.07	0.005	48,000
D点	0.13	0.009	27,000
C点	0.09	0.006	39,000

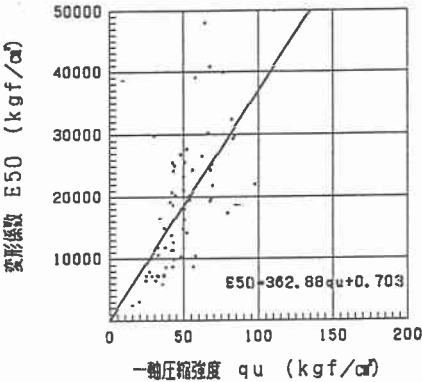


図-8 一軸圧縮強度と変形係数の関係

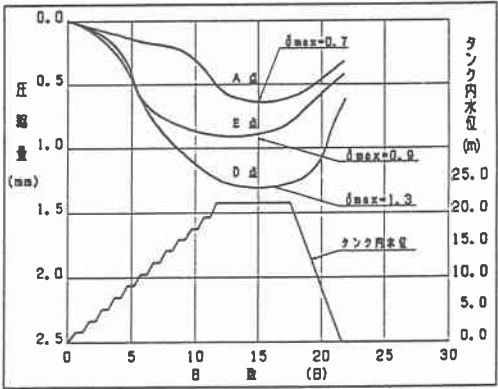


図-7 No. 4タンク層別沈下計計測結果

6. CDM下部地盤の挙動

水張り試験におけるNo.4タンク、No.5タンクの沈下測定結果を図-9、10に示す。

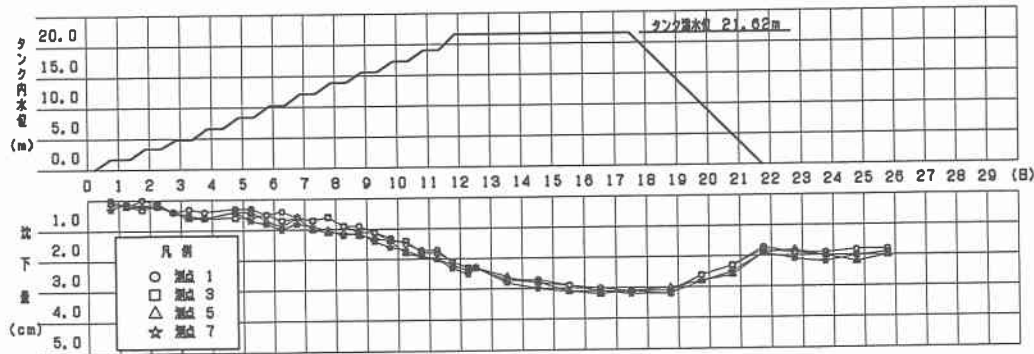


図-9 No.4タンク沈下測量測定結果 (タンク側板)

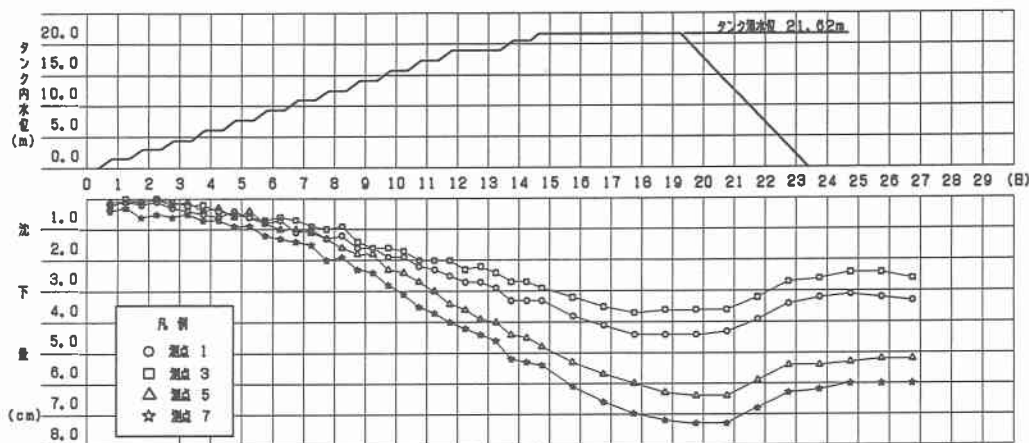


図-10 No.5タンク沈下測定結果(タンク側板)

- ① 改良体の沈下挙動は、改良体周囲に摩擦力が働いているものと考えられる。

これは、図-11より周面摩擦を考慮した場合の圧密沈下量の計算結果と沈下測定結果が近似していることより判断される。

- ② 最大沈下量はNo.4タンクで約30mm, No.5タンクで約70mmと40mmの差があり, No.5タンクでは約40mmの不等沈下となっている。

これは、No.4タンクで洪積層砂礫層(Dsg-1層, Dsg-2層)と洪積層粘性土層(Dc層)が一樣に存在しているのに対し, No.5タンクでは洪積層粘性土層(Dc層)が厚く, 層厚の変化が大きいためであると考えられる。

- ③ リバウンド量は両タンクとも12mm程度であり, 残留沈下量はNo.4タンクで20mm, No.5タンクで25~65mm程度となっている。

リバウンドの発生は水抜き開始に対し1日程度の時間的遅れを伴う現象が見られた。この遅れは洪積層粘性土層(Dc層)の吸水膨張によるものと考えられ, 実績²⁾として三菱石油水島製油所の計測結果とほぼ同じである。

- ④ 図-13より水平変位量は満水位の時, 洪積粘性土層(Dc層)で最大約7.3mm外側に変位している。

この側方変位は洪積粘性土層(Dc層)の圧密による側方流動と考えられ, 図-12に示す事前のF.E.M解析結果より, 鉛直変位と水平変位の比を用いて算出すると約11mmであり, 今回計測値とほぼ同様である。

また, 鉛直変位とDc層の側方流動は連動しており, 側方流動は鉛直変位の約20%となっている。

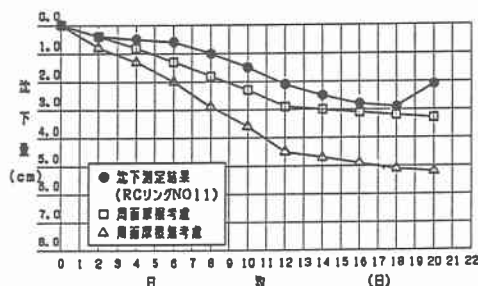


図-11 計算による沈下曲線と実測沈下曲線

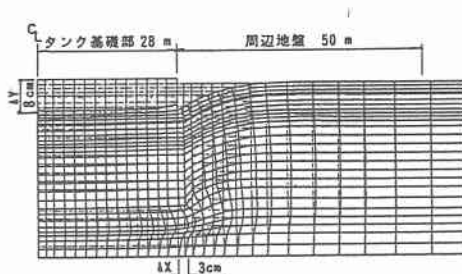


図-12 F.E.M.による地盤変位分布図

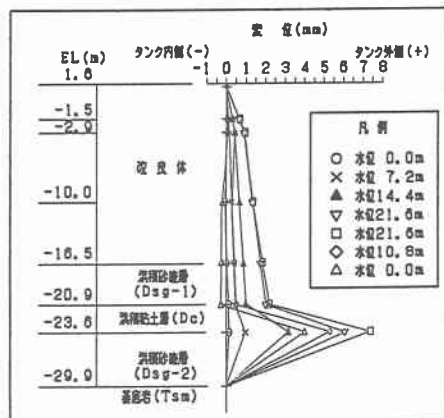


図-13 多段式傾斜計による計測結果

7. 周辺地盤の挙動

改良体の沈下に伴う周辺地盤の挙動は、図-14のNo.5タンクの洪積層以深に設置した層別沈下計と配管架台の沈下測定結果より示される。

コンクリートリングより2.5m離れた洪積砂礫層の沈下量は1.1cmであり、コンクリートリングの沈下量3.3cmの約1/3である。

また配管架台は洪積砂礫層を支持層とした杭基礎であり、同付近の配管架台の沈下量と同じ値を示していることから周辺地盤の沈下は洪積層の沈下の影響であると考えられる。

一方、沈下の影響範囲は、図-15よりタンク周辺約15mまで及んでおり、特にタンク周辺5mまでは洪積層の沈下と改良体の周面摩擦による拘束力の影響が強いと考えられ、事前のF.E.M解析結果と同程度の傾向を示す。

8. まとめ

今回、水張り試験による各種計測の結果よりタンク基礎部および周辺地盤の挙動として以下のことが判明した。

- ① CDM改良体の圧縮量は0.7～1.3mmと設計値2.4mmに対して極めて小さい値であった。
これは、改良体の設計基準強度10kgf/cm²であるのに対し、一軸圧縮強度試験による平均圧縮強度が48.7kgf/cm²と約5倍であり、より強固な地盤に仕上がっているものと考えられる。
- ② CDM改良地盤と周辺地盤の間には周面摩擦力が生じているものと考えられる。
- ③ No.4タンクとNo.5タンクで沈下量の差、No.5タンクの不等沈下は、両タンクにおける下部地盤の洪積粘性土層の層厚の違いによるものである。
- ④ 水抜き時のリバウンド量は両タンクとも12mm程度で沈下量に対して20～40%の復元率である。
また、洪積粘性土層(Dc層)の側方流動も同程度の復元率であった。
- ⑤ 周辺地盤の沈下の影響範囲はタンク周辺約15mであり、特に影響の大きいのはタンク直径の1/10の5m程度である。この周辺地盤の沈下傾向はF.E.M解析結果と同程度であり、タンク周辺5mまでは洪積層の沈下と改良体の周面摩擦による拘束力の影響があると考えられる。

9. おわりに

今回の水張り試験結果は、消防法の規定値以内であるほか、タンク底版等にも支障をきたしておらず各変位量も当初の予測範囲内であった。

また、今後はこれらの結果を踏まえ、燃料タンク基礎の挙動解析を行い、設計手法の改良および経済的な地盤改良範囲の提案等を目指し行きたいと考えている。

最後に本報告をまとめるに当たりご指導、ご協力をいただいた北海道大学三田地教授ならびに関係各位に感謝の位を表します。

参考文献

- 1) セメント改良砂質土の強度・変形特性に及ぼす有効拘束圧の影響：土木学会第50回 年次学術講演会報告集
- 2) 土と基礎の沈下と変形の実態と予測：土質基礎工学ライブラリー18、土質学会編
- 3) 深層混合処理工法を採用した大型燃料タンク基礎地盤の挙動：電力土木、No. 266. 1996. 11

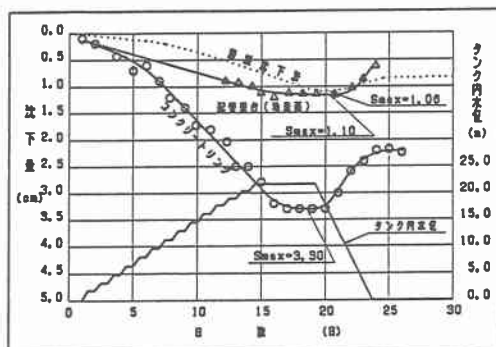


図-14 No.5タンク層別沈下計測結果

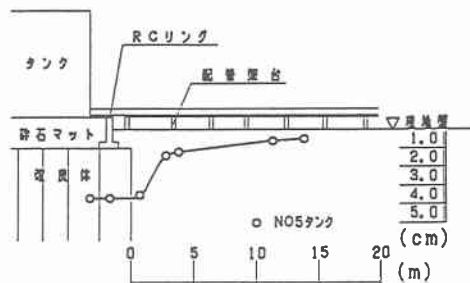


図-15 周辺地盤（配管架台）沈下量測定結果