

(7) No. 2-7 : 川越火力発電所 No. 5, 6LNG タンク設置の内地盤強化他工事

No.	2-7
発注者	中部電力(株)
施設名	川越火力発電所
所在地	三重県三重郡川越町
工事名称	川越火力発電所 No.5, 6LNG タンク設置の内地盤強化他工事
施工期間	2007年10月～2010年6月
施工者	不動テトラ・徳倉・シーテック共同企業体
キーワード	液状化、サンドコンパクションパイル、浸透固化

概要

中部電力(株)川越火力発電所は、発電用燃料に LNG を使用した合計出力 480.2 万 kW の世界最大級の火力発電所である。LNG 調達の柔軟性と燃料供給信頼性の向上を図るため、LNG の貯蔵能力の向上を目的とした 18 万 KLLNG タンク 2 基の増設に先立ち、タンク地盤の強化を目的として支持地盤の地盤強化工事と隣接護岸の補強工事を実施した。

【設計概要】

①設計条件

地盤は、埋立粘土層(Rc1)、埋立砂層(Rs)、埋立粘土層(Rc2)、沖積砂層(As)、沖積粘土層(Ac)、洪積砂礫層の順で構成されている。埋立砂層は層厚 3m 程度で、N 値が 2～10 程度と非常に小さく水平方向の地盤反力が低い。沖積砂層は層厚 6m 程度である。埋立砂層と沖積砂層は地震時には液状化する可能性が高い。また、埋立粘土層は一軸圧縮強度が小さくて水平方向の地盤反力は低く、沖積粘土層は層厚が厚く埋立土による圧密過程の途上にある。

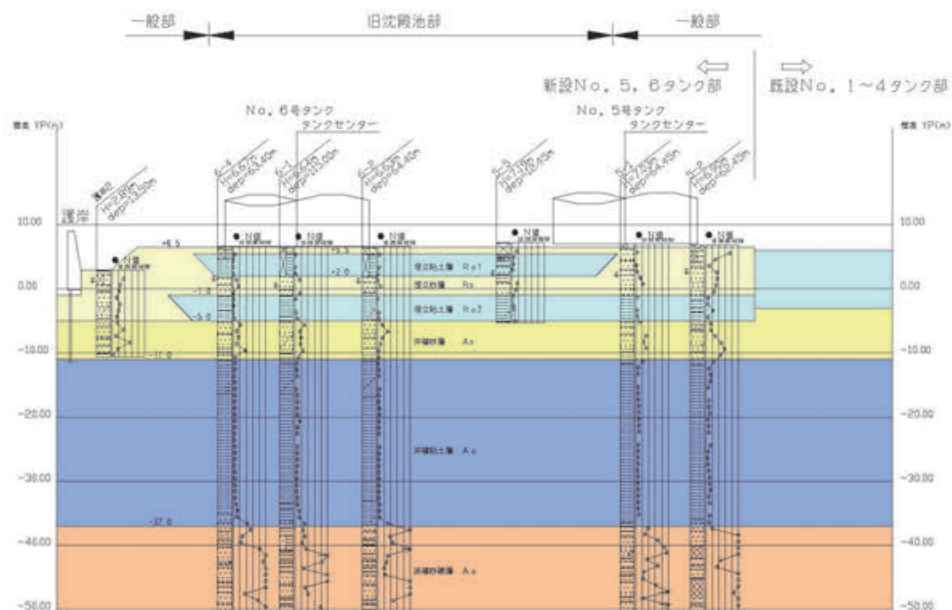


図-1 地質断面図

②設計方針

- ・タンク基礎(基礎版、鋼管杭)および PC 防液堤が地震時により変形が残留してもタンク各部の目標性能を損なわないように設計した。地盤強化方法は、地盤強度の増加および圧密促進を図るため、載荷盛土+複合砂杭+揚水井の併用工法とした。

埋立層は水平方向の地盤反力が低く、地震時にタンク基礎の水平変位が増大するため、地盤を強化して水平変位量を抑制する。埋立粘土層と埋立砂層の水平方向地盤反力度 kh を 25MN/m^3 以上とする。

埋立砂層と沖積砂層では、地震時に液状化して地盤支持力の喪失と過剰間隙水圧の消散による地盤沈下がおこるため、液状化しないように地盤を締め固める。レベル 1 地震動に対しては、液状化に対する安全率 FL を 1 以上、低減係数 DE を 1 とする。また、レベル 2 地震動に対しては低減係数 DE を $2/3$ 以上とする。

埋立粘土層、沖積粘土層は圧密による残留沈下が発生するため、事前に載荷盛土を実施して圧密促進による残留沈下を解消する。載荷盛土の期間は、各タンクの有効載荷期間を 5 ヶ月とした。

- ・地震時における護岸の側方流動による新設の LNG タンク地点での地盤変位量が許容値内となるように設計する。

当初は護岸が側方流動を起こさないように設計していたが、より合理的な設計を実施するために、対象となる LNG タンク地点での地盤変位量に許容値を設けて、動的変形解析を実施して計算値が許容値内に収まるように対策の仕様を設定した。

レベル 2 地震動としては東海・東南海・南海の三連動地震を対象とした。

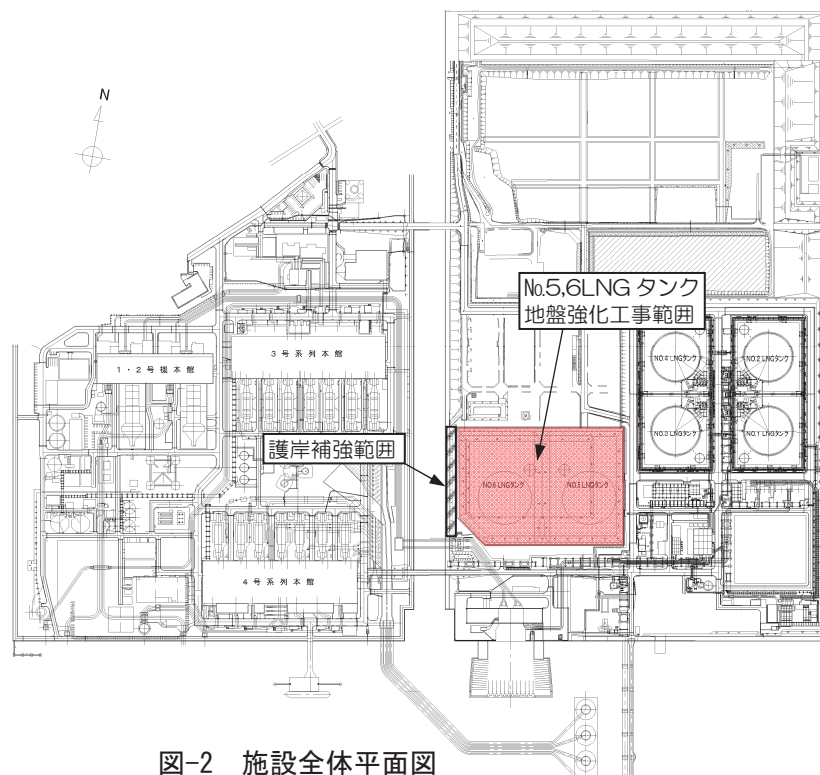


図-2 施設全体平面図

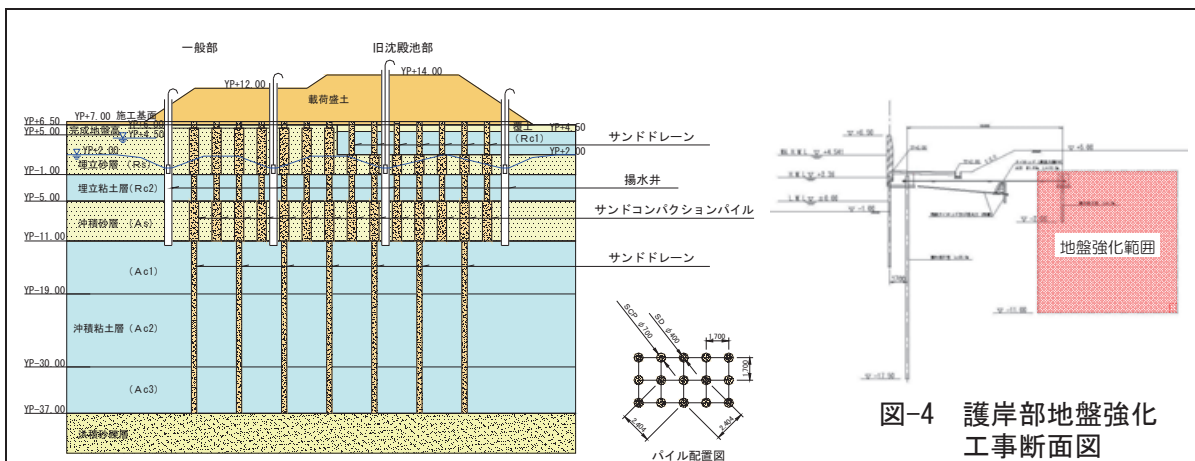


図-3 No. 5, 6LNG タンク部地盤強化工事断面図

図-4 護岸部地盤強化工事断面図

【施工概要】

①タンク部

液状化対策を目的としたサンドコンパクションパイル(SCP)と粘性土の圧密促進を目的としたサンドドレーン(SD)からなる複合杭である。SCPの仕様は、レベル1地震動においてFLが1以下となる確率が5%以下になるように改良率13%とした。(パイルの径はφ700mm、打設間隔は正方形1.7m間隔)

工事箇所は、東面にはLNGタンク、南面にはガス配管と循環水管、西面には護岸に近接している。近接する既設構造物への影響を抑制するため、事前に変位緩衝孔による変位抑制対策を実施した。変位抑制孔は、深さ20mまで約φ600の削孔を1.8m間隔で行って懸濁安定性の高いベントナイトで置き換えて孔壁を安定させ、砂杭による変位を吸収する。砂杭の施工範囲から近い循環水管に対しては2列施工し、その他の区間は1列施工とした。

②護岸補強部

振動棒締固工は、換算径φ600mm、打設間隔は正方形1.5m間隔とした。

浸透固化処理工は、球体径φ2400mm、打設間隔は平面的には正方形1.95m間隔で、注入深度は1.95m間隔を基本として互層地盤であることを考慮して調整した。

既設護岸の背面に新たなタイロッド式鋼矢板護岸を構築する。新設の鋼矢板は、長さ20mのIV型で、既設のタイロッドを切断した後、バイプロハンマで打ち込む。



写真-1 施工時全景



写真-2 タンク部施工時



写真-3 護岸部施工時

【図面】

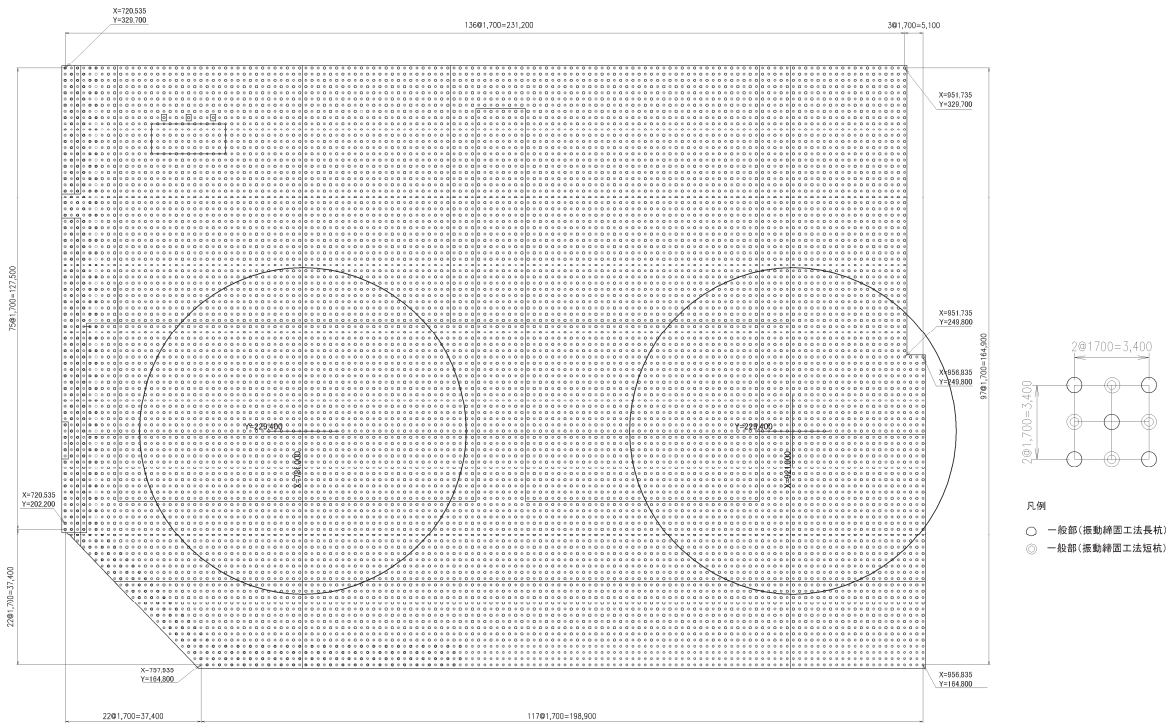


図-5 タンク部地盤改良平面図

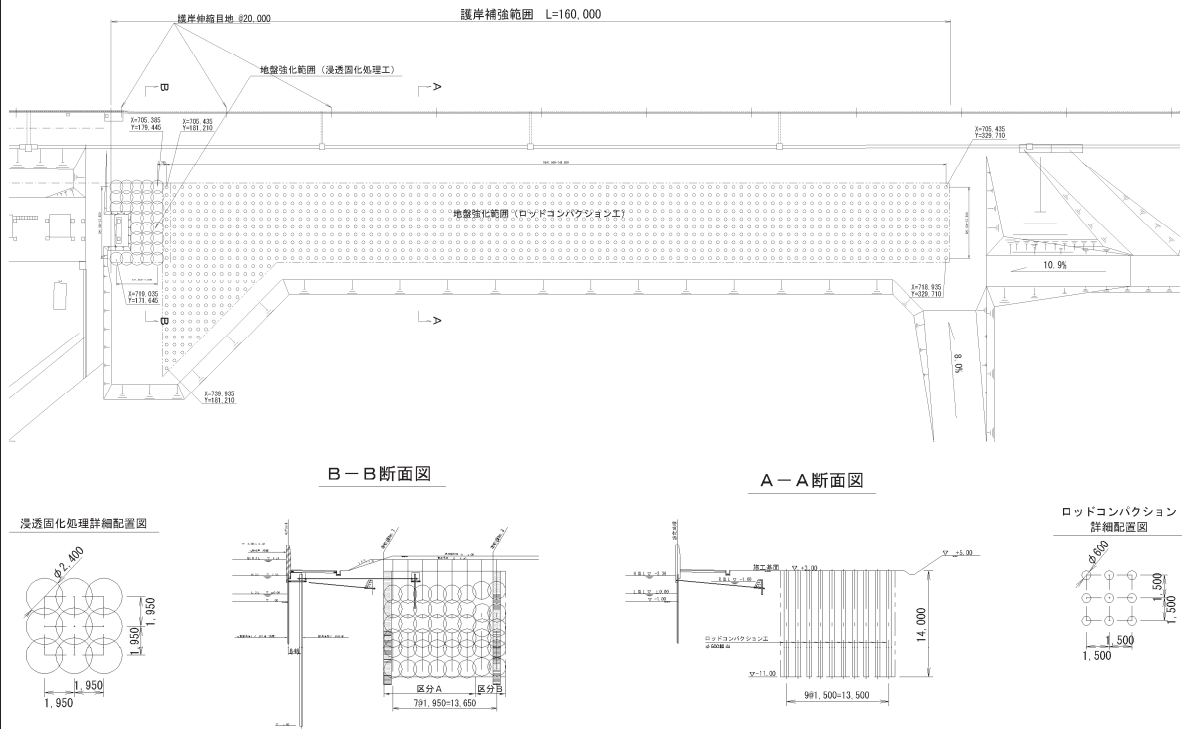


図-6 護岸部地盤改良平面図・標準断面図

【工事規模】

①タンク部

- ・長尺杭 6,175 本、全長 43.5～44.0m
- ・短尺杭 7,151 本、全長 17.5～19.0m
- ・SCP 延長 168,610m
- ・SD 延長 231,667m

②護岸補強部

- ・振動棒締固工 1,105 本、全長 14.0m
- ・浸透固化処理工 32 孔、192 球

参考文献	杉戸孝，東岡利治，三輪寛：川越火力発電所 LNG タンク増設に伴う地盤強化工事の調査・設計，施工報告，電力土木，No.343，pp.45-49，2009.
備考	

(8) No. 2-8 : 碧南火力発電所 4 号機石炭灰埋立地盤強化試験工事

No.	2-8
発注者	中部電力(株)
施設名	碧南火力発電所
所在地	愛知県碧南市
工事名称	碧南火力発電所 4 号機石炭灰埋立地盤強化試験工事
施工期間	1997 年 10 月～1998 年 6 月
施工者	不動建設(株)
キーワード	液状化、サンドコンパクションパイル、石炭灰、リソイル工法

概要

中部電力(株)碧南火力発電所 4・5 号機の主要構造物の一部は、既設の 1～3 号機より発生した石炭灰で埋め立てられた灰捨地内に建設されるため、石炭灰埋立地盤の地質調査を実施した結果、液状化の可能性が高いことがわかった。一方、環境保全・コスト削減の観点から建設発生土や石炭火力発電所から発生する石炭灰の有効利用先の開発が必要であった。このような背景から、石炭灰埋立地盤の液状化対策として建設残土や石炭灰を中詰め材に利用したサンドコンパクションパイル工法の適用を考え、施工性と改良効果の確認を目的として同発電所内で試験工事を実施した。

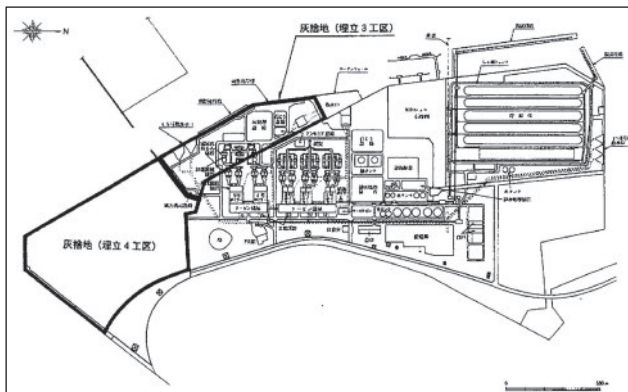


図-1 施設全体平面図

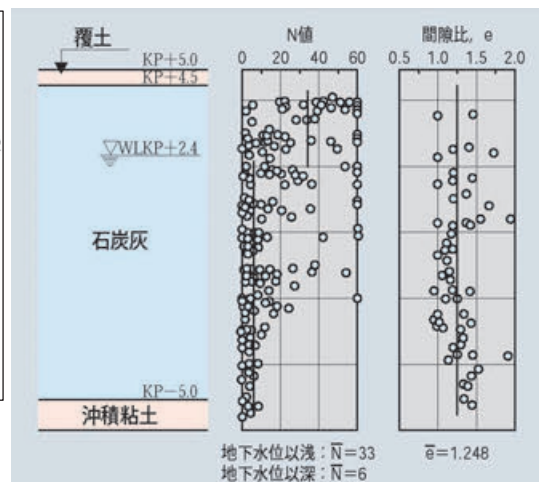


図-2 試験場所の土質

【施工概要】

(1) 施工性確認試験

a) 中詰め材料

中詰めを使用する材料は、4・5 号機増設工事で発生する建設残土と既設の 1～3 号機より発生した石炭灰、および比較のために良質砂を含め、①良質砂(海砂)、②現地土(細粒分含有率 25% 以下)、③クリンカアッシュ(粒径 0.1～10mm の粗い石炭灰)、④フライアッシュ(粒径 0.01～0.10mm の細かい石炭灰)、⑤フライアッシュにセメント(30kg/m³)を添加、⑥フライアッシュとクリンカアッシュを混合(2:1)の 6 種類の中詰め材について試験打設を行った。

b) 結果

フライアッシュは良質砂に対して約 1.6 倍の施工時間を要するが、材料費を含めた経済性では約 0.9 倍と優っている。クリンカアッシュは最も経済的であるが発生量が少なく、フライアッシュにセメントを添加したものは混合時の飛散防止対策が必要になるが、中詰め材としてフライアッシュやクリンカアッシュ等の石炭灰の適用が可能であることが確認できた。

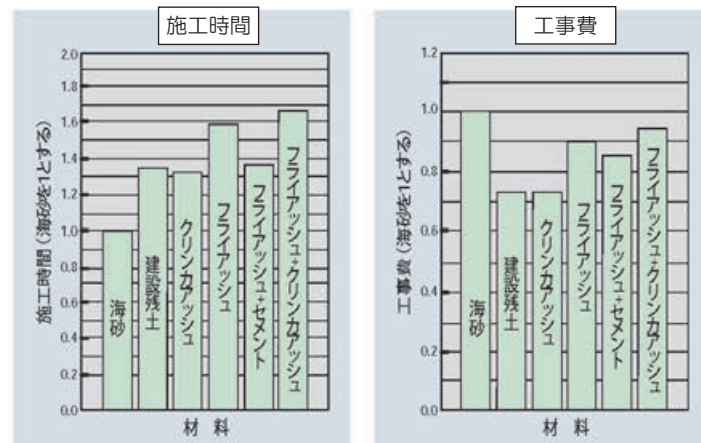


図-3 各材料での施工時間と工事費の比較

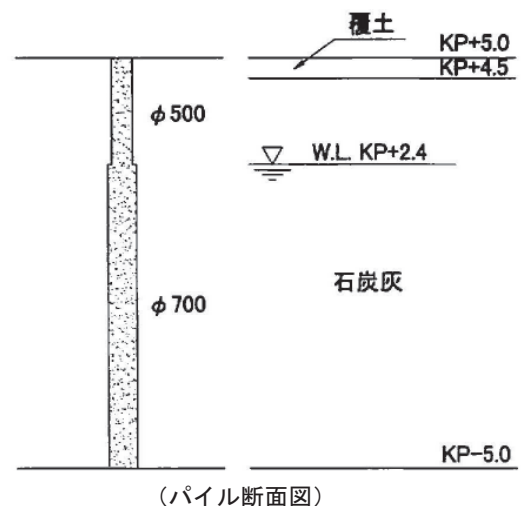
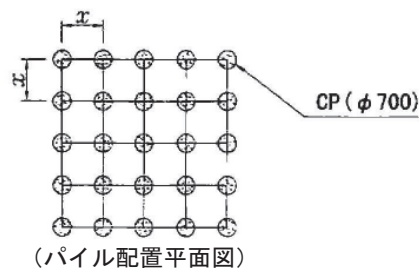
(2) 改良効果確認試験

a) 比較ケース

施工性確認試験の結果を踏まえて、中詰め材の違いによる改良効果の確認と改良率(打設間隔)の違いによる改良効果の確認を行った。

表-1 中詰め材料と改良率の組合せ

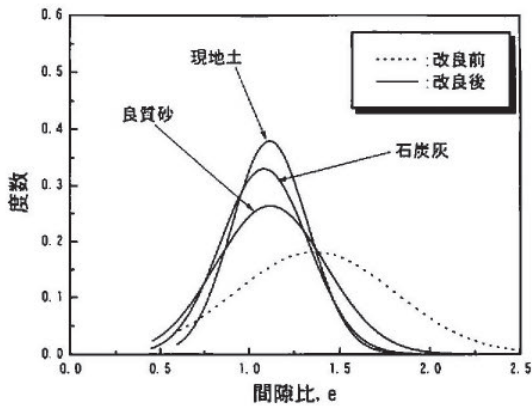
中詰め材料	改良率(ピッチ)		
	27% (□1.2m)	15% (□1.6m)	10% (□2.0m)
良質砂	—	○	—
現地土	○	○	○
石炭灰(フライアッシュ)	—	○	—



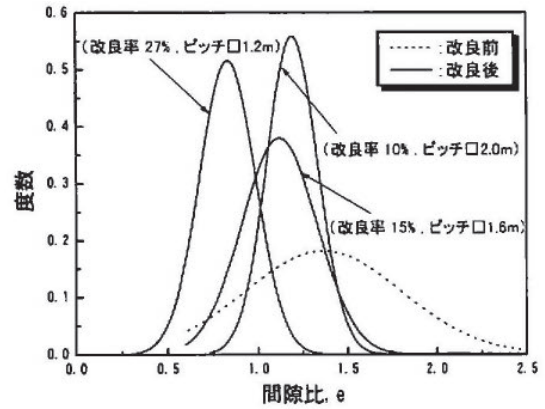
b) 結果

改良率の違いによる改良前後の間隙比を比較すると、改良前の平均値は約 1.4 であるが、改良後の平均値は 0.8~1.1 になっており、改良効果を確認できた。また、中詰め材の違いによる改良後の平均間隙比やヒストグラムの形状に優位な差が見られず、いずれの中詰め材料においても所定の径の改良杭が造成されたことを確認できた。

中詰め材料による改良効果の比較 (改良率 15%)



改良率の違いによる改良効果の比較



改良率 (%)	ピッチ (m)	改良前の平均間隙比	改良後の平均間隙比	
			理論値	実測値
27	□1.2	1.362	0.731	0.829
15	□1.6		1.008	1.106
10	□2.0		1.135	1.189

図-4 改良前と改良後の間隙比の比較

参考文献

- 1) 中部電力(株)碧南火力建設事務所 土木課：石炭灰を利用したコンパクションパイル工法の開発，中部電力(株)技術開発ニュース，80号，1999.
- 2) 滝英治，中島英雄，西牧孝洋：碧南火力発電所4号機増設における貯炭場地盤改良のうち現地土CPの施工，電力土木，No.280，pp. 35-39，1999.
- 3) 滝英治，西尾良治：碧南火力発電所4・5号機増設工事における石炭灰埋立地盤強化試験工事報告，電力土木，No.281，pp. 55-59，1999.
- 4) 滝英治，中島英雄，鈴木英治，肥後道憲，仁田尾洋：石炭灰を中詰め材料に利用したコンパクションパイル工法の試験工事，土木学会第54回年次学術講演会，III-B261，pp.522-523，1999.

備考

碧南火力発電所4・5号機取水設備および循環水管の地盤強化工事にサンドコンパクションパイル工法の中詰め材にフライアッシュを採用した。

(9) No. 2-9 : 碧南4・5号取水設備他改良工事

No.	2-9
発注者	中部電力(株)
施設名	碧南火力発電所
所在地	愛知県碧南市港南町二丁目 8-2
工事名称	碧南4・5号取水設備他改良工事
施工期間	2011年10月～2013年6月
施工者	佐藤・鹿島・熊谷・日本国土・シーテック共同企業体
キーワード	耐震裕度向上工事、高圧噴射攪拌、置換コンクリート、フライアッシュ

概要

中部電力では、東海・東南海・南海地震の3連動地震等の大規模地震に備え、主要な機能を維持し運転継続あるいは公衆安全を確保するため、復旧に時間を要する設備の耐震裕度向上工事を実施している。「碧南4・5号取水設備他改良工事」もその一つである。

【設計概要】

碧南火力4・5号取水設備は、洪積粘土層上の直接基礎構造物である。取水設備の耐震裕度を向上させる方法として、取水設備周辺の軟弱土層（沖積粘土層）を洪積粘土層と同等以上の固さに改良することが有効であると判断した。軟弱土層の改良は、開削によるコンクリート置換工法を基本とし、既設設備等が支障となり開削が困難な箇所については高圧噴射攪拌工法を選定した。

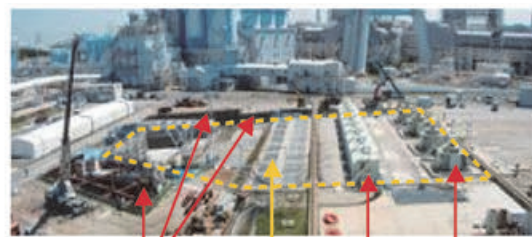
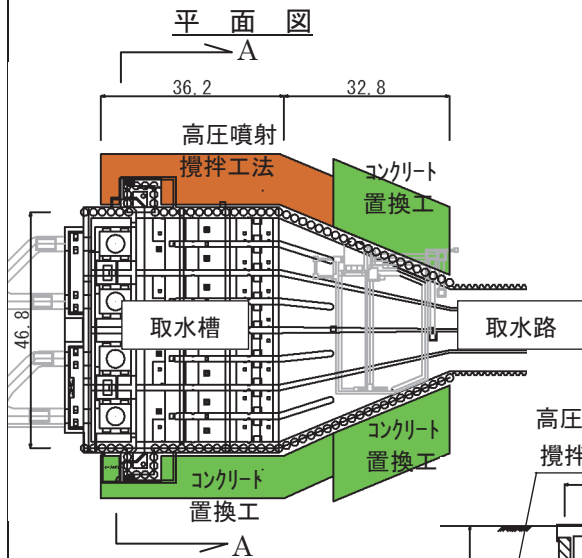


写真-1 取水設備（地上部）

図-1 地盤改良箇所

【施工概要】

火力発電所から大量に排出される石炭灰の多くが産業廃棄物となっている現状に対し、それを少しでも有効利用したいという発注者の意向に応じるため、本工事では、石炭灰を原材料とするJIS II種相当のフライアッシュを多量に混入したハイボリュームフライアッシュコンクリート（High-Volume-Fly Ash-Concrete：略称HVFC）を用いることとした。

①コンクリート置換工法による地盤改良工事

ハイボリュームフライアッシュコンクリートに用いるフライアッシュは250kg/m³以下とする事例が多いが、本工事における置換コンクリートの主な要求性能は、支持地盤である洪積粘土層と同等以上の固さであり、普通コンクリートのせん断弾性係数の1/10以上を確保することであったため、室内配合試験を実施し、フライアッシュを507kg/m³混入する配合とした。続いて大型試験体による試験施工を実施し、現場施工への適合性や施工上の留意点を確認したうえで実施を行った。

フライアッシュコンクリートの配合



W/(C+FA) (%)	細骨材率 (%)	単体量 (kg/m ³)						
		W	C	FA	S1	S2	G	Ad
28.0	31.3	185	154	507	289	128	946	4.63

セメント:C(普通ポルトランドセメント), 密度3.16g/cm³

フライアッシュ:FA(碧南火力産JIS II種相当品), 密度2.29g/cm³

細骨材:S1(山砂), 美浜町産, 表乾密度2.56g/cm³

S2(砕砂), 幸田町産, 表乾密度2.67g/cm³

粗骨材:G(碎石), 幸田町産, 表乾密度2.67g/cm³

混和剤:Ad(高性能AE減水剤;主成分はポリカルボン酸系)

© 2012 Chubu Electric Power Co., Inc. All rights reserved.

図-2 HVFCの配合

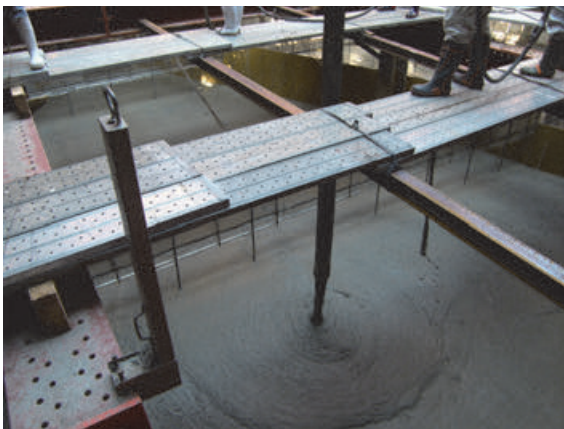


写真-2 HVFC 打設状況



写真-3 HVFC 仕上がり状況

②高圧噴射攪拌工法による地盤改良工事

既設設備等が支障となり、開削によるコンクリート置換ができない箇所については、地上からの高圧噴射攪拌工法による地盤改良を採用した。実際の工事で使用した工法は、改良する地盤に対して設計要求性能を確保できるジェットクリート工法（造成有効径φ4.0m）である。

参考文献	1) 中部電力グループ アニュアルレポート 2012：特集 2 大規模災害発生時における事業継続への取り組み 火力設備における対策の現状[碧南火力発電所 取水槽周辺地盤強化工事], 2012 2) V-531 フライアッシュを多量に使用したコンクリートの強度特性に関する検討, 土木学会第 67 回年次学術講演会, pp.1061~1062, 2012.9. 3) V-532 フライアッシュを多量に混入したコンクリートの適用性評価, 土木学会第 67 回年次学術講演会, pp.1063~1064, 2012.9.
備考	

(10) No. 2-10：姫路第二発電所設備更新工事のうち主要土木工事他

No.	2-10
発注者	関西電力(株)
施設名	姫路第二発電所
所在地	兵庫県姫路市
工事名称	①姫路第二発電所設備更新工事のうち主要土木工事 ② 〃 建築工事(第1工区:1～3号機) ③ 〃 建築工事(第2工区:4～6号機) ④ 〃 LNG 土木工事
施工期間	①2010年2月～2015年3月
施工者	①飛島・三井住友・吉田共同企業体 ②清水・大本・神崎共同企業体 ③鹿島・アイサワ共同企業体 ④浅沼組
キーワード	コンバインドサイクル、地盤改良、静的工法、変位低減型深層混合処理工法、格子状改良

概 要

姫路第二発電所(総出力 255 万 kw)は、昭和 38 年の運転開始以来、長期にわたって電力の安定供給に大きな役割を果たしてきた。今回、地球環境問題への積極的な対応と、電力自由化の発展による競争力基盤の確立のため、既設設備、用地、緑地帯等を有効利用しながら最新鋭の高効率コンバインドサイクル発電設備に更新する計画とした。

このうち主な土木工事は、地盤改良、循環水管基礎、LNG 配管基礎、ケーブル洞道、道路橋等を行う予定である。建築工事は本館、管理棟他付属物建物、煙突工事がある。図-1 に構内配置図。図-2 に本館付近の断面図を示す。

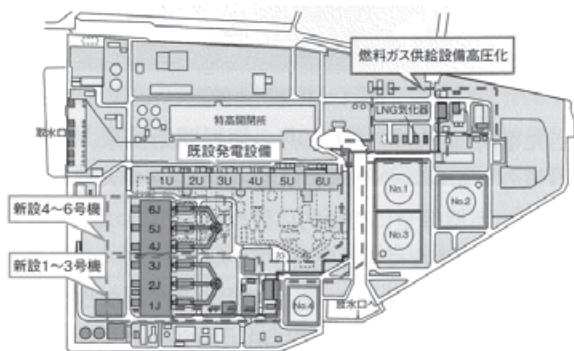


図-1 構内配置計画図

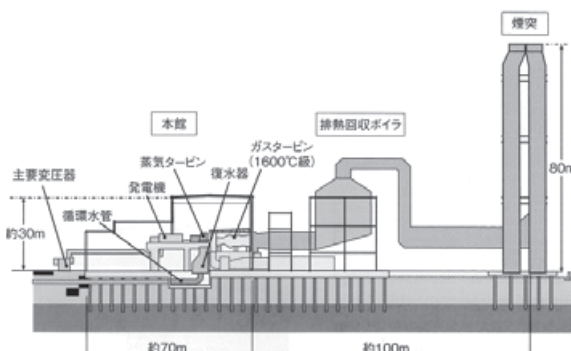


図-2 本館付近断面図

【施工概要】

前述の土木工事のうち、地盤改良、LNG 土木工事において液状化対策工事が実施されているので、以降にその概要を示す。

(1) 地盤改良工事

地質調査の結果、埋立層、沖積砂層において液状化する判定結果となったため、本館、管理棟、煙突、循環水管等、重要度の高い地盤にはサンドコンパクションパイルの施工を行った。サンドコンパクションパイルの施工において、既設設備のうち振動対策が必要な設備に近接した純水タンク、循環水管基礎エリアの一部については、施工に伴う振動による既設設備への影響を回避するため、静的工法を採用した。図-3に地盤改良計画図を、写真-1に施工状況写真を示す。

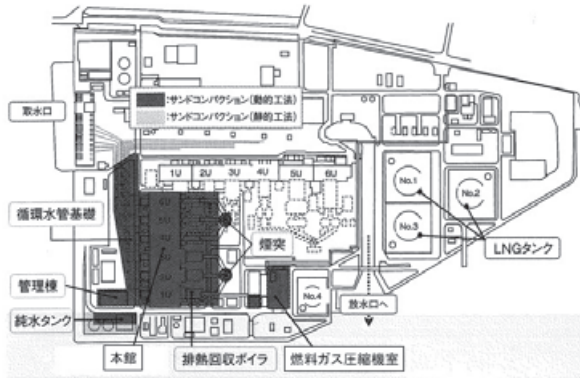


図-3 地盤改良計画図

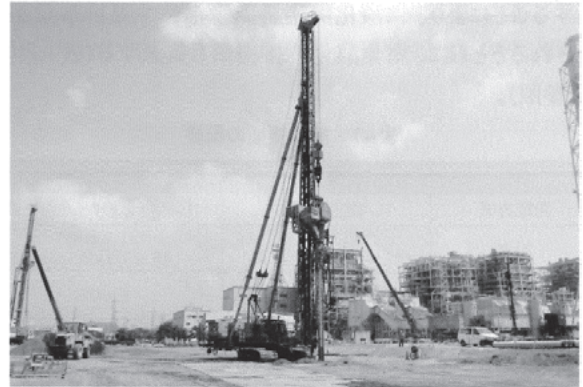


写真-1 サンドコンパクションパイル (動的工法) 施工状況

(2) LNG 土木工事

高压化工事のうち LNG 土木工事は、NG・LNG 配管ラック基礎、LNG 昇圧ポンプ基礎、高压気化器基礎、ケーブルトレンチ・ピット等がある。図-4に高压化工事概要図を示し、図-5に構内配置図を示す。

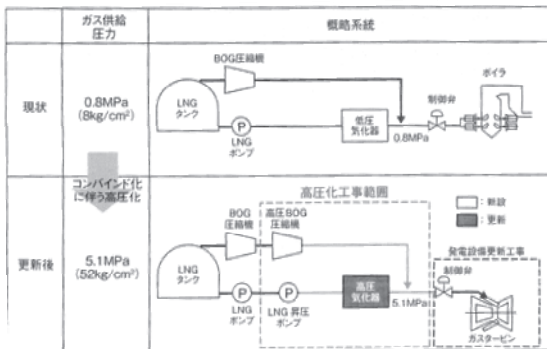


図-4 高压化工事概要図

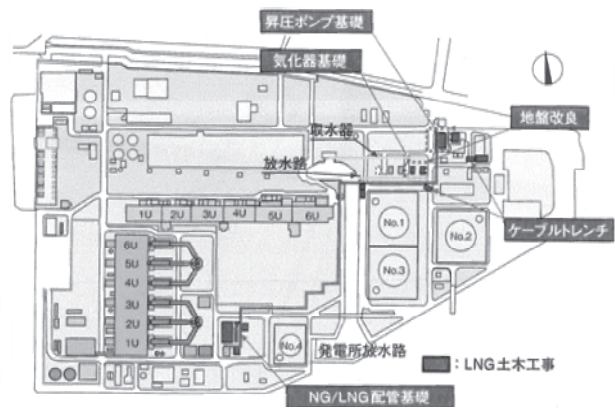


図-5 構内配置計画図

LNG 昇圧ポンプ基礎工事は、事前の地質調査の結果、埋立層、沖積砂層において液状化する判定結果となったため、設備重要度の高い LNG 昇圧ポンプ基礎および高压気化器基礎の地盤に液状化対策を実施した。

LNG 昇圧ポンプ基礎は、既設設備に近接しており、液状化対策工事に伴う振動による既設設備への影響を回避するため、静的サンドコンパクションパイル工法を採用した。

また、地中埋設ガス導管の近接箇所では、地中変位による導管への影響を回避するため、変位低減型深礎処理工法で施工した。

深礎混合処理工法とは、他の地盤改良工法に比べて、施工時の地盤変位が少ない工法として広く知られている。

なお、変位低減型深礎混合処理工法とは、従来の攪拌混合翼の上部にスクリューを取り付け、セメントスラリーの投入量に相当する土量を排出することにより周辺の地盤や構造物に影響を与えることなく施工する事が可能な工法である。

図-6 に変位低減型深層混合処理工法の概要図を示す。

工事施工中は、既設設備の振動を、パイロットランプによる警報装置を備えた振動計で測定すると共に、地中変位計による変位計測等を行った。

高圧気化器基礎工事は、既設低圧気化器基礎を撤去し、杭基礎を構築するものである。なお、既設の取水路・放水路を流用し、合理化を図った。

高圧気化器基礎の液状化対策工事は、既設の放水路・ガス導管等が近接し、施工ヤードが狭隘であること、および経済的に有利であることから、変位低減型深礎混合処理工法による格子状改良を採用した。格子状改良の仕様については、FEM 解析により格子の壁厚およびピッチの最適化を図った。

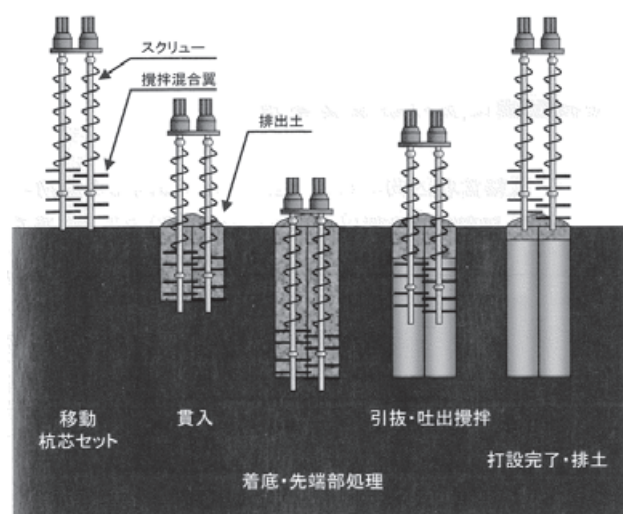


図-6 変位低減型深層混合処理工法概要図

<p>参考文献</p>	<p>1) 坂尻 博章：姫路第二発電所設備更新工事の概要，土木施工，Vol.152，No.9，pp.21-25，2011.</p> <p>2) 坂尻 博章，安岡 恒人，原田 知弥：姫路第二発電所設備更新工事の概要，電力土木，No.350，pp.57-61，2010.</p> <p>3) 吉田 光宏：姫路第二発電所設備更新工事の概要と進捗状況，電力土木，No.356，pp.150-151，2011.</p>
<p>備考</p>	

(11) No. 2-11 : 岩国(発)燃料タンク液状化対策工事

No.	2-11
発注者	中国電力(株)
施設名	岩国発電所 20,000KL 燃料タンク
所在地	山口県岩国市
工事名称	岩国(発)燃料タンク液状化対策工事
施工期間	1996年11月～1996年12月
施工者	(株)鴻池組
キーワード	燃料タンク、液状化、鋼矢板リング工法、液状化有効応力

概要

兵庫県南部地震により、発電所の燃料タンクにおいても基礎地盤の液状化に伴う被害が発生した。中国電力(株)においては、6火力発電所で33基の特定屋外貯蔵タンクを保有しているが、そのうち26基が旧法タンクである。平成7年度に全ての旧法タンクの安全性評価を実施したところ、4基について地盤の液状化強度に問題があり、平成8年度に岩国(発)2,000KL、20,000KLおよび下関(発)15,000KL燃料タンクの3基について鋼矢板リング工法による液状化対策工事を実施し、残りの1基については、平成11年に実施されている。

タンクを存置したままで実施し得る液状化対策工事は、注入固化工法、地下水位低下工法、グラベルドレーン工法および鋼矢板リング工法等が考えられ、本工事では鋼矢板リング工法を採用した。

鋼矢板リング工法とは、図-1に示すようにタンク基礎の外周地盤に直線型鋼矢板をリング状に建て込み、地震時にタンク基礎地盤のせん断変形を抑制し液状化の発生を軽減させると共に、液状化が発生した場合でも液状化した土の流出を防ぐことによって、タンク基礎地盤の沈下を減じることができる工法である。

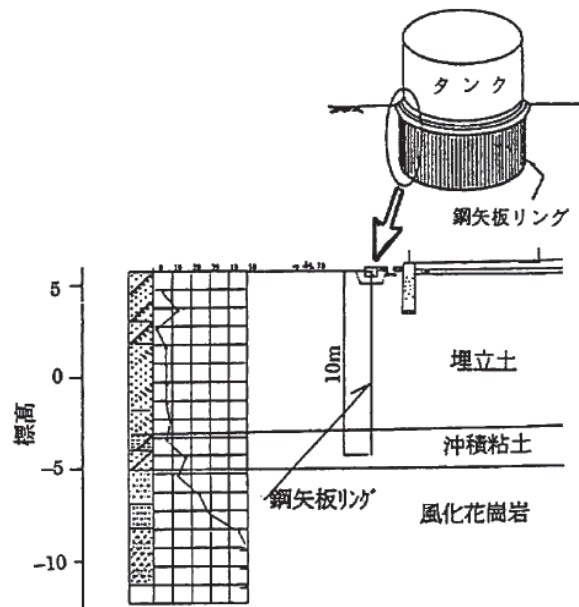


図-1 対策工の施工断面

【設計概要】

1. 鋼矢板リングの設計

(1) 地質概要

タンク基礎地盤は図-1に示すように、埋立土、沖積粘性土、風化花崗岩よりなり、N値7程度の地下水位以下部分(約6m)の埋立土層が液状化対象層である。

(2) 設計地震力

消防法で規定されている設計水平震度 $K_s=0.12$ (山口県)にて、リング内部の液状化判定を行い、一部液状化を起こす層が存在すると、リング内外とも液状化状態とし、タンク荷重が全て鋼矢板にかかる設計となり、理論的にはより大規模な地震にも通用することとなる。

(3) 鋼矢板リングの仕様

鋼矢板長は非液状化層に1m以上貫入させ、一律10mとした。

腐食対策として、矢板の肉厚から50年分の腐食代 $\times 2$ を差し引いて応力照査を行っている。

鋼矢板のリング径は、掘削した時にタンク基礎に影響を与えない最小離隔(約2m)をとり、矢板法線を設定した。表-1に液状化対策工事の概要、図-2に最狭部の施工断面を示す。

表-1 液状化対策工事の概要

岩国(発)20,000KL燃料タンク	
タンク寸法	直径42.6m
基礎仕様	コンクリートリング基礎
鋼矢板リング径	46.8m
鋼矢板の仕様	直線型鋼矢板; 296枚 (FXL SY390) L=10m

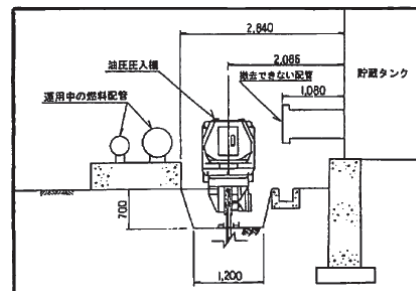


図-2 最狭部の施工断面

2. 対策工の効果検証

(1) 解析方法

液状化有効応力プログラムLIQCAを用いて、対策工の有無について2次元および3次元解析を行なった。

各土層のせん断波速度はPS検層から設定し、埋立土層の液状化強度特性は不攪乱試料の繰り返し三軸試験結果を用いた。地盤物性については、調査結果および液状化強度曲線に対する構成モデルの要素シミュレーション解析結果により材料パラメータを決めた。

2次元解析のモデルを図-3に、3次元解析のモデルを図-4に示す。

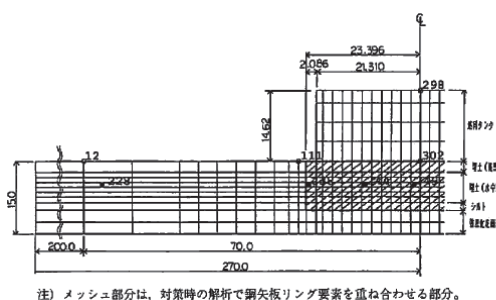


図-3 2次元解析モデル

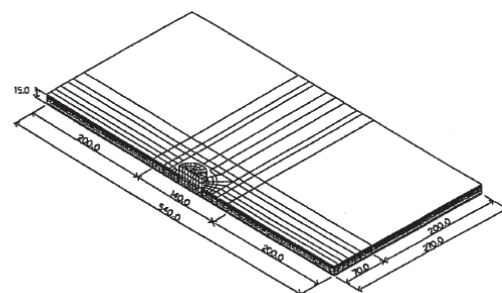


図-4 3次元解析モデル

2次元解析では、タンクおよび地盤部分を平面ひずみ要素でモデル化し、鋼矢板リングのモデル化は、既往の研究(鋼矢板リングを用いた液状化対策工の評価検討. 土と基礎vol.43)を参考にリング効果と等価な剛性を有する平面ひずみ要素を地盤要素と重ね合わせることでモデル化した。

3次元解析では、地震波の入力は水平一方向とするため片側のみをモデル化した。

想定した地震動は、内陸直下型の大規模地震動を対象として、非定常地震動予測モデルにより求めた最大加速度487gal、継続時間10秒程度の加速度波形をモデル底面に入力した。

(2) 解析結果

a) 過剰間隙水圧

2次元解析と3次元解析の過剰間隙水圧比分布の比較を行ない、2次元解析の妥当性を確認した。過剰間隙水圧比とは、過剰間隙水圧と初期拘束圧の比を表し、一般にその値が0.8に達すると地盤は液状化状態といわれ、1.0で泥水状の完全液状化状態といわれている。

2次元解析では、タンク直下の過剰間隙水圧比が0.8以上の上昇はないが、3次元解析では一部0.8を越える領域も見られるがほぼ一致している。これより2次元解析によっても過剰間隙水圧の挙動を説明できると考える。

b) 残留沈下

20秒経過後のタンクの基礎地盤の残留沈下量分布について、2次元解析と3次元解析の結果を比較して図-5に示す。2次元解析結果では鋼矢板リングの設置により、最大5cm程度沈下の低減がみられるが、3次元解析ではその効果がみられない結果となった。この原因は、主に鋼矢板リングのモデル化の影響と考えられる。

また、2次元解析の燃料最低液時でタンク直下の過剰間隙水圧の上昇が大きい場合について図-6に示したが、鋼矢板リングが無い場合には満液時に比べてタンク中央付近において沈下が大きくなり、鋼矢板リングがある場合には満液時以上に沈下の低減効果が表れており、対策工の効果が確認できたと考えられる。

(3) 対策工の効果検証

① 今回想定した地震動に対し、当地盤の液状化強度を考慮した液状化有効応力解析結果では、主に満液時のタンク荷重による拘束効果の影響でタンク直下における過剰間隙水圧の上昇は少ない。

② タンク内の液高が低い場合には、拘束圧が低下し、対策工を実施した場合でも液状化の発生が考えられる。

③ 残留沈下の評価は鋼矢板リングのモデル化の影響が重要であることが、2次元解析と3次元解析の比較により明らかとなった。

④ 今回の2次元解析モデルでは、満液時に比べて液状化の度合いが大きかった最低液時の方が沈下の低減効果が大きくあらわれ、液状化発生時の鋼矢板リングの効果が確認できた。

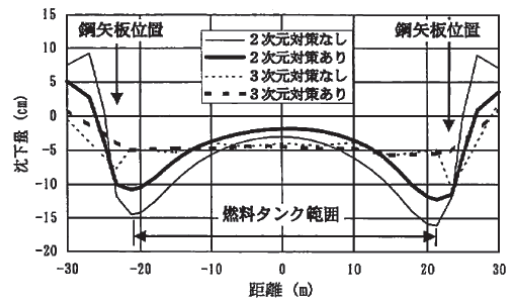


図-5 20秒後の残留沈下分布
(2次元3次元の比較)

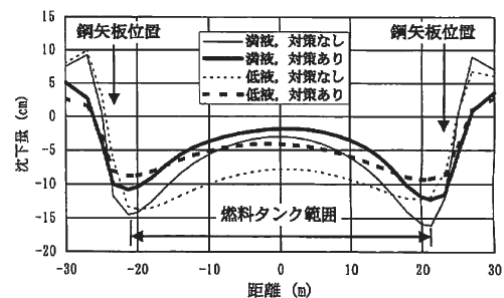


図-6 20秒後の残留沈下分布
(燃料満液、低液時の比較)

【施工概要】

1. 施工機械の選定

対策工を実施する対象タンク以外は運用しながら工事をするため、防油堤内を重機が自由に動くスペースがないことおよび振動によるタンク基礎への影響を考慮して、鋼矢板搬送装置を装備した油圧圧入機を使って鋼矢板を打設している。

a) 施工機械編成

- ・油圧圧入機：サイレントパイラーを改良した直線型鋼矢板圧入機(圧入力47 t)
- ・油圧ユニット：クローラ付エンジン式油圧ユニット
- ・矢板吊込み装置：油圧式クランプクレーン(2.9t吊り)
- ・矢板搬送装置：打設済の鋼矢板上に設置したレール上を走行(5t積み)

b) 施工手順

- ・鋼矢板の打設に使用する機器は、160t吊クレーンで防油堤の外から据付
- ・反力架台を用いて短い矢板3枚を先行打設し、それを反力として本設備の矢板を打設
- ・鋼矢板は、搬送装置で打設場所まで運搬後、吊込み装置を使って油圧圧入機に設置・圧入
施工状況を図-7および写真-1, 2, 3, 4に示す。

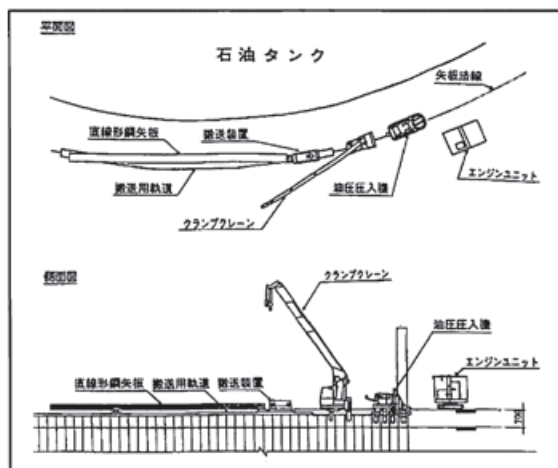


図-7 施工状況図

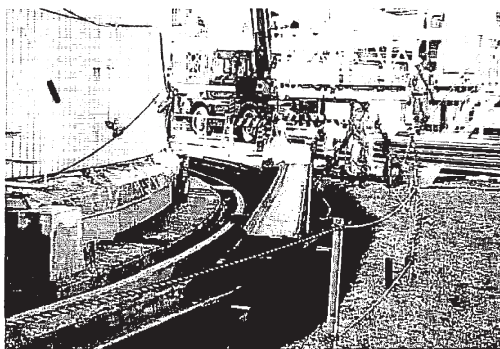


写真-1 鋼矢板搬送状況

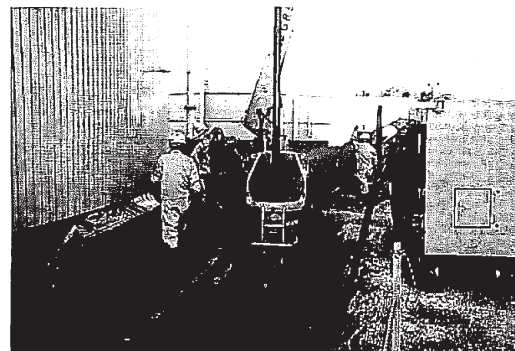


写真-2 鋼矢板打設状況(1)

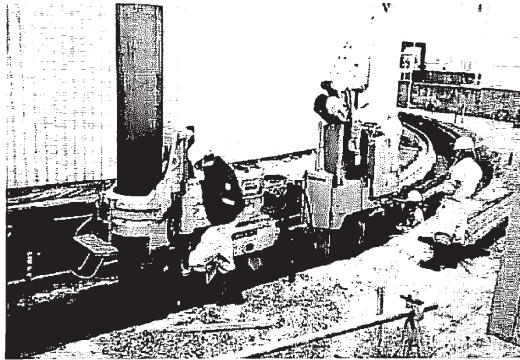


写真-3 鋼矢板打設状況(2)



写真-4 鋼矢板打設完了状況

c) 施工能力

本工事の施工実績としては、1日当り最小2枚から最高39枚までで、地質条件によりばらついている。地盤内に硬いところがあるため、鋼矢板の閉合時に2cm程度の倒れが矢板に生じ、最終的には異形矢板を工場製作して閉合させた。

2. 対策工事の検証

- ① 油圧圧入機による直線型鋼矢板の打設は、対象地盤内に転石などの硬い層がなければ異形矢板を製作することもなく精度良く閉合できることがわかった。
- ② 異形矢板を使用して閉合する場合には、その計測精度が重要となる。
- ③ 鋼矢板法線下の埋設物や障害物を事前に確認し、撤去しておくことが、鋼矢板リングの施工精度に大きく影響する。

参考文献	荒谷登, 角田英昭, 河原和文 : 鋼矢板リング工法による燃料タンク液状化対策工とその効果検証事例, 電力土木, No.278, P30~P35, 1998.
備考	中国電力(株)発注 下関(発)燃料タンク液状化対策工事 不動建設(株) 1996.12 岩国(発)10,000KL燃料タンク液状化対策工事 1999.6~7.

(12) No. 2-12 : 岩国(発)10,000KL 燃料タンク液状化対策工事

No.	2-12
発注者	中国電力(株)
施設名	岩国発電所
所在地	山口県岩国市
工事名称	岩国(発)10,000KL 燃料タンク液状化対策工事
施工期間	1999年6月～1999年8月
施工者	不動建設(株)
キーワード	液状化、鋼矢板リング工法

概要

中国電力(株)岩国発電所内における既設タンク(10,000kl)の液状化対策工として鋼矢板リング工法による対策を実施した。

【設計概要】

①設計条件

- ・タンクの仕様
直径 34.87m、高さ 13.70m
液高 12.58m、液比重 1.00
- ・使用鋼材
直線形鋼矢板 YSP-FXL
W=500mm
h=47.0mm
t=12.7mm

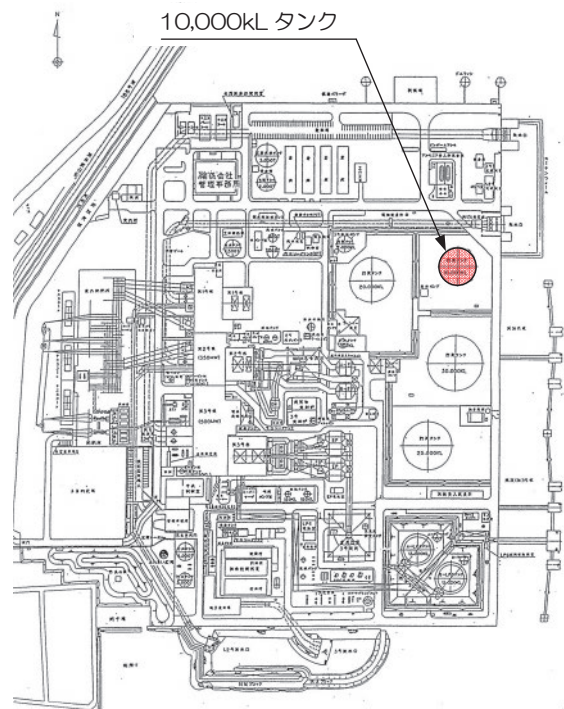


図-1 施設全体平面図

②設計方針

既設タンクに対する液状化対策工であるため、大型重機を使用する工法や既設構造物に多大な影響が懸念される工法は避ける必要があることから、「せん断変形抑制工法(鋼矢板リング工法)」を採用した。

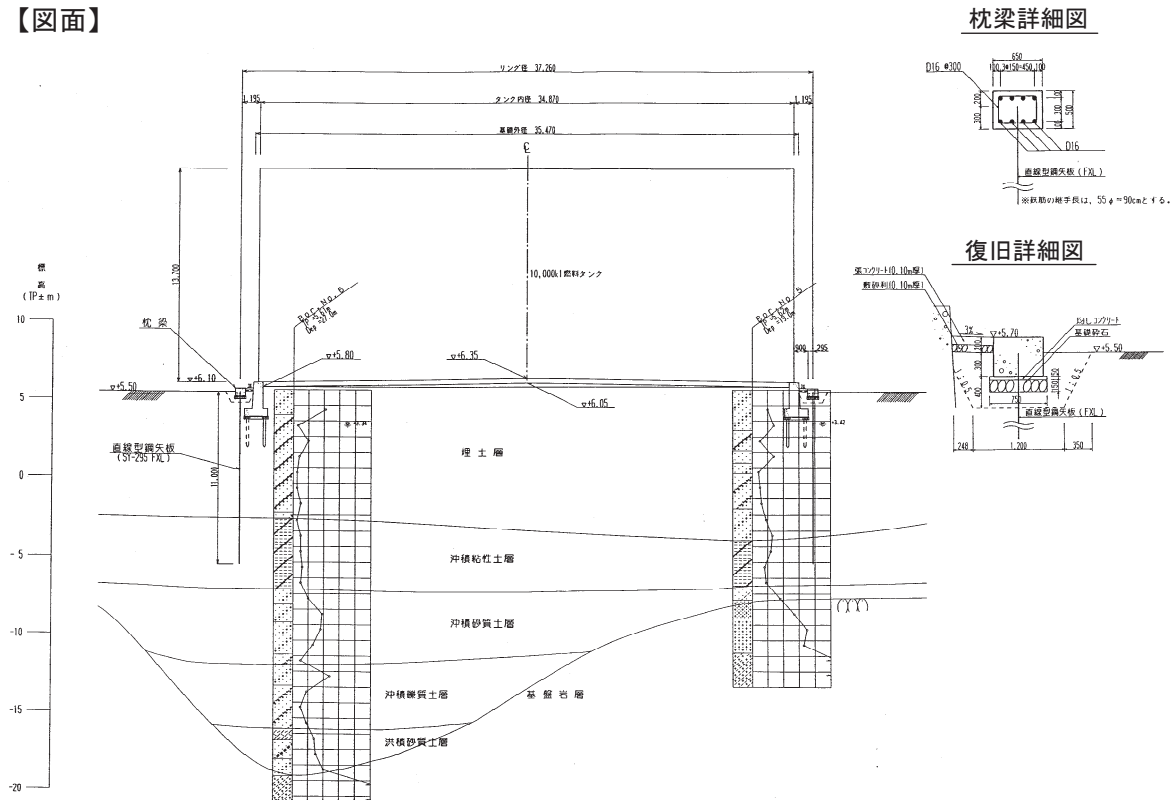
適用基準は、「消防法」、「屋外貯蔵タンク地盤の安全性に関する調査研究報告書(平成6年度)タンク地盤の改良工法等に関する調査検討 平成7年3月 危険物保安技術協会」、「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編 平成2年2月 (社)日本道路協会」を用いた。

経済性や施工性を比較検討し、鋼矢板を打設する位置を「タンク側壁から 1.3m」に決定した。鋼矢板の下端深度は、2箇所ボーリングデータから、非液状化層へ確実に 1.0m 以上の根入れが確保できる深さとして「GL-11.0m まで」とした。

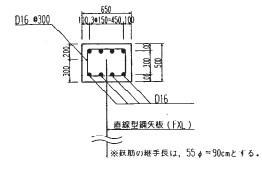
【施工概要】

鋼矢板の打込みには、小型軽量で近接構造物への影響が小さい油圧式鋼矢板圧入引抜機を使用した。

【図面】



枕梁詳細図



復旧詳細図

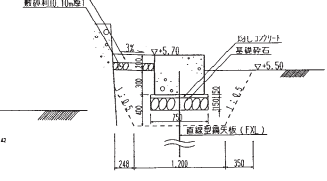


図-2 燃料タンク断面図

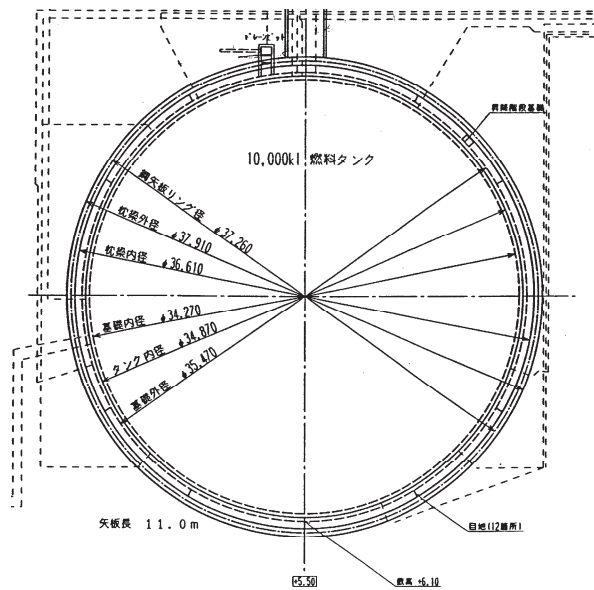


図-3 直線鋼矢板施工平面図

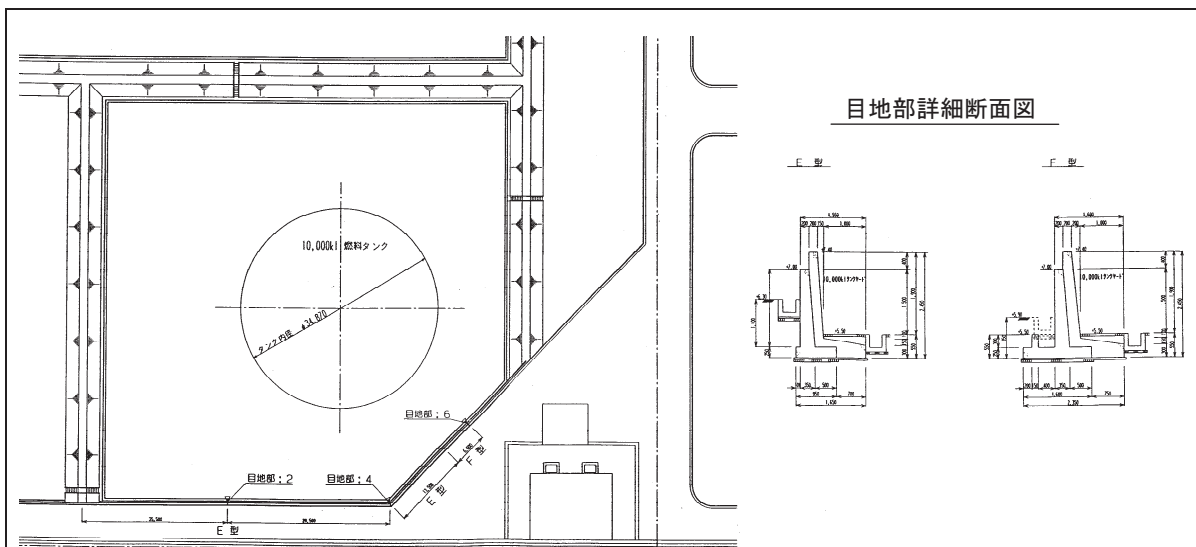


図-4 防油堤目地改修平面図

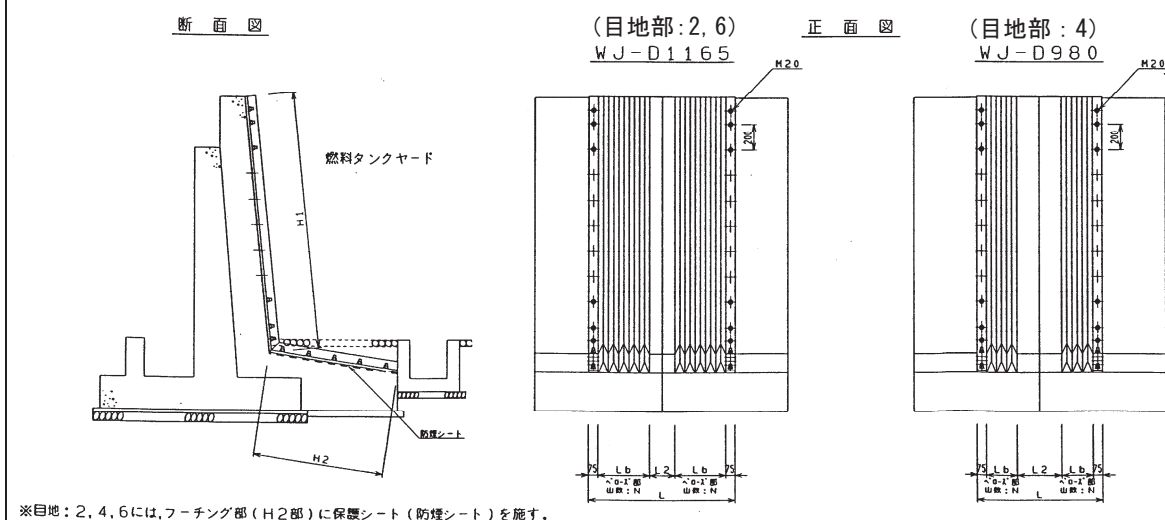


図-5 防油目地補強材構造図

<p>参考文献</p>	<p>新谷登, 角田秀昭, 河原和文: 鋼矢板リング工法による燃料タンク液状化対策工とその効果検証事例, 電力土木, No.278, pp.30-35, 1998.</p>
<p>備考</p>	<p>岩国(発)燃料タンク液状化対策工事で、既設タンク (20,000kL、2,000kL) の液状化対策工が実施されている。</p>

(13) No. 2-13 : 阿南発電所 No. 5 原油タンク液状化対策工事

No.	2-13
発注者	四国電力(株)
施設名	阿南発電所
所在地	徳島県阿南市橘町 106
工事名称	阿南発電所 No.5 原油タンク液状化対策工事
施工期間	2005 年 4 月～2005 年 7 月
施工者	西松建設(株)
キーワード	既設タンク基礎、液状化対策、浸透固化注入工法、曲線ボーリング

概要

四国電力(株)阿南発電所の No.5 サービスタンク基礎地盤は液状化判定の結果、液状化の可能性が高いと判断された。そのため、既設タンクを撤去することなく実施可能な液状化対策について比較検討し、当地区に最適な工法として曲線ボーリング削孔による浸透固化注入工法を実施した。

【設計概要】

設計地震動と設計方針を以下に示す。

- 設計地震動：レベル 1、2 地震動ともに南海地震と類似の発生形態と考えられる 1968 年十勝沖地震八戸波を用いることとし、表-1 のとおり最大加速度を設定した。
- 設計方針：液状化対策層（4.1m）の半層（As4 層：2m）のみ対策（固化処理）することにより、タンク基礎地盤の全体的な液状化の防止およびすべり安定性が確保できることから、液状化対策として、As4 層のみについてタンク側板から 3m の範囲までを浸透固化注入による改良を実施することとした。

また、液状化評価および円弧すべり計算の他に、時刻歴有効応力解析（FLIP）を実施し、改良体によりタンクの残留沈下量を大きく低減できることを確認した。

表-1 地震動レベルと最大加速度

地震動レベル	最大加速度の設定根拠
レベル 1	消防法関係法令に準拠し、地表面水平震度0.2に相当する加速度
レベル 2	今後50年以内にマグニチュード8.1～8.4の地震の発生確率が80～90%といわれる南海地震時の地表面最大加速度

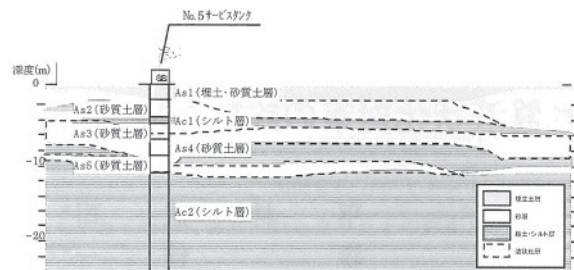


図-1 地質断面図

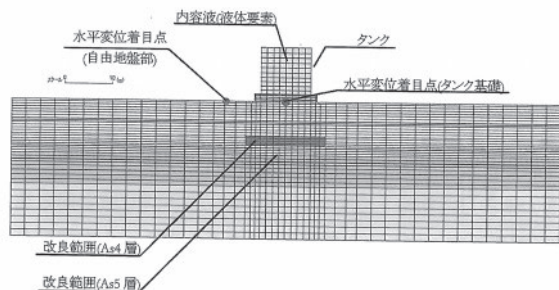


図-2 解析モデル

【施工概要】

本工事の対象土層における削孔および注入は、当該タンク周辺に既設タンク、配管等が多数存在していることなどから、タンク中心より約 50m 離れた地点から注入目標地点に確実かつ正確に削孔できる曲線ボーリングにより 7 本の削孔を実施し、41 注入地点から薬液注入を行った。本工事に用いた浸透固化注入工法は、注入ゾーンに存在する間隙水をゲルタイムが長く、耐久性を高めた水ガラス系の薬液で置換する工法であり、低圧注入することにより土の骨格構造を乱すことなく改良するものである。

①削孔工

曲線ボーリングにはロッド先端部にジャイロコンパスを内蔵した位置検出システムが組み込まれており、削孔中でもリアルタイムで位置を把握・修正可能である。また、可撓性の掘進用ロッド、ケーシングの使用により急曲線の削孔 (Rmin=20m) が可能である。

②薬液注入工

ボーリング孔 (φ100mm) に挿入された注入外管内 (φ45mm) に注入管 (φ20mm) を挿入し、注入ポイント (間隔 2.3m) 外の注入外管に巻かれたスリーブパッカー (長さ 2m) に注入管からセメントベントナイトを注入・膨張させ、孔壁に密着させる。その後、注入ポイント (長さ 0.3m) より所定量の薬液をピンポイントで注入する。実際の注入時は、注入速度および圧力が過大にならないよう常時監視し、設計数量である 4,300l/箇所 (総注入量 176m³/41箇所) を注入した。

③施工後の品質管理

注入後所定の養生期間を経て、通常実施される一軸圧縮試験以外に、三軸圧縮試験、振動三軸試験、透水試験などの各種試験を実施し、改良効果を確認した。

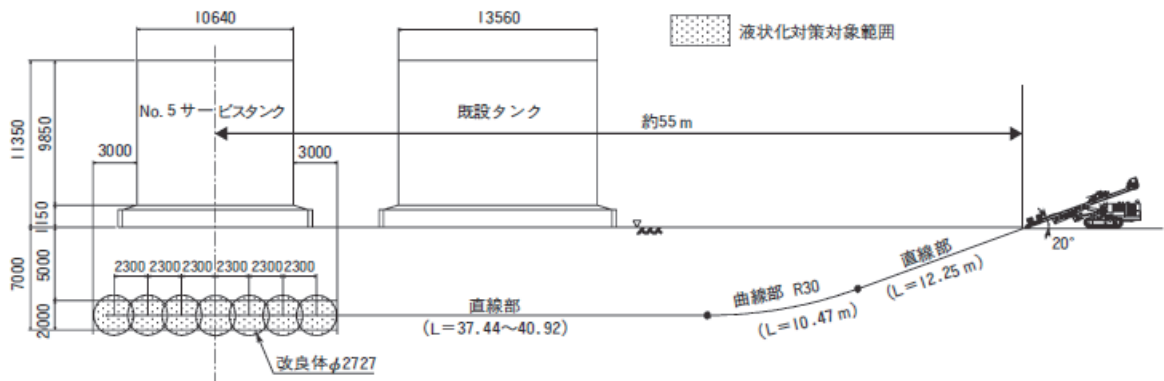


図-3 改良体の配置および削孔計画線図

<p>参考文献</p>	<p>1) 平林武司, 森佳一, 萩山和樹, 田中邦保 : 火力発電所既設油タンク基礎地盤液状化対策の設計と施工, 電力土木, No.321, 2006.1. 2) 荒木毅, 今村眞一郎 : 薬液注入工法による既設石油タンク基礎地盤の液状化対策の施工, 西松建設技報, Vol.29, 2006.6.</p>
<p>備考</p>	<p>類似工事 : 「阿南発電所 No.2 軽油タンク液状化対策工事」</p>