

## 火力発電所土木構造物の復旧

関西電力(株) 寺田昌史\*  
関西電力(株) 國分幸二\*\*

「阪神・淡路大震災」により関西電力(株)東灘ガスタービン発電所の貯油タンク基礎は、基礎スラブの沈下や傾斜はなかったものの基礎PC杭にひび割れが発生した。

復旧に当たっては、杭のひび割れ補修方法として「炭素繊維シート巻付工法」を採用し、基礎全体の復旧は既設スラブの周辺に新設のリング基礎を築造し、地震時の水平力を持たせることとした。また、地震後のボーリングデータから液状化の判定を行った結果、地震時には再度液状化する可能性が高いことが判明したため地盤改良を行うこととし、工法は被災杭に振動の影響を与えない観点からグラベルドレーン工法とした。

### 1. はじめに

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震により関西電力では、神戸支店管内の火力発電所、変電所に大きな被害を受けた。なかでも東灘ガスタービン発電所(昭和49年10月運開、出力12万KW)は、図-1に示すように震度7の地域に近接していたこともあり、地盤の液状化や側方流動が発生し、護岸や機械設備基礎等において大きな被害を受けた。

このうち護岸は0.8m程度の沈下と1m程度の水平移動が生じ、構内地盤の沈下は大きいところで0.7m程度であった。機械設備基礎は、貯油タンク基礎(油容量4,000kl、2基)や揚油岸壁(2,000tタンカー接岸用)のような大きなものから配管基礎のような小さなコンクリートブロックまで種類も数量もたくさんあり、被害の度合いも様々であるが、概して直接基礎は大きく沈下・傾斜し、杭基礎の一部も大きく沈下・傾斜した。杭基礎の中では、貯油タンク、純水タンク(500kl)、淡水タンク(1,000kl)等の杭を多く打設した基礎は、基礎杭にひび割れが発生したものの基礎の沈下・傾斜は殆ど生じなかった。

### 2. 貯油タンク基礎の地盤、構造

#### (1) 地盤状況

東灘ガスタービン発電所は神戸臨海工業地帯にある東部第三工区埋立地内に位置し、地盤は海上を埋め立てた地盤で図-3に示すように上層から埋立層、沖積層、洪積層から構成されている。埋立層の平均層厚は約15m、埋立材料はマサ土が主体で一部φ300mm以内の玉石がある。沖積層は平均層厚約9m、海成粘土が主体でその上下に薄い砂質土が一部見られる。洪積層は大坂層群と称され、砂質土優勢の粘性土と砂質土の薄層互層である。図-4に地震後の「ボーリング」結果の埋立層の粒径加積曲線、図-5に標準貫入試験のN値の深度分布を示す。

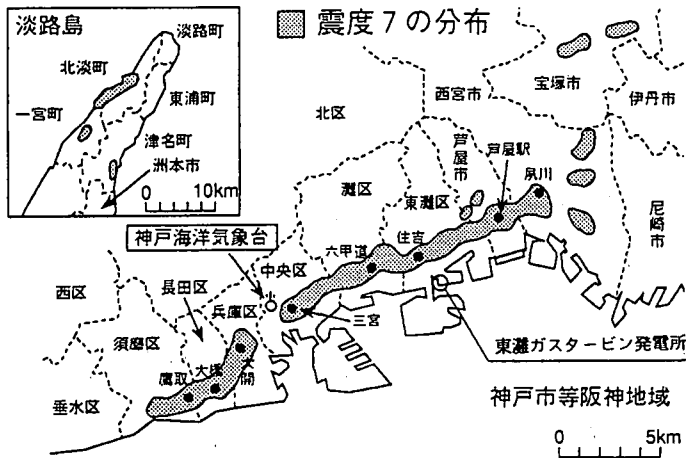


図-1 発電所位置および震度7の分布<sup>1)</sup>

代表的な土木設備の被害を図-2に示す。被害は大別すると、①護岸の沈下、水平移動、②発電所構内地盤の沈下、③機械設備基礎の沈下、傾斜であった。

キーワード：地震復旧、タンク基礎、PC杭

\*：関西電力土木建築室、06-441-8821

\*\*：関西電力東灘ガスタービン工事所、078-441-1079

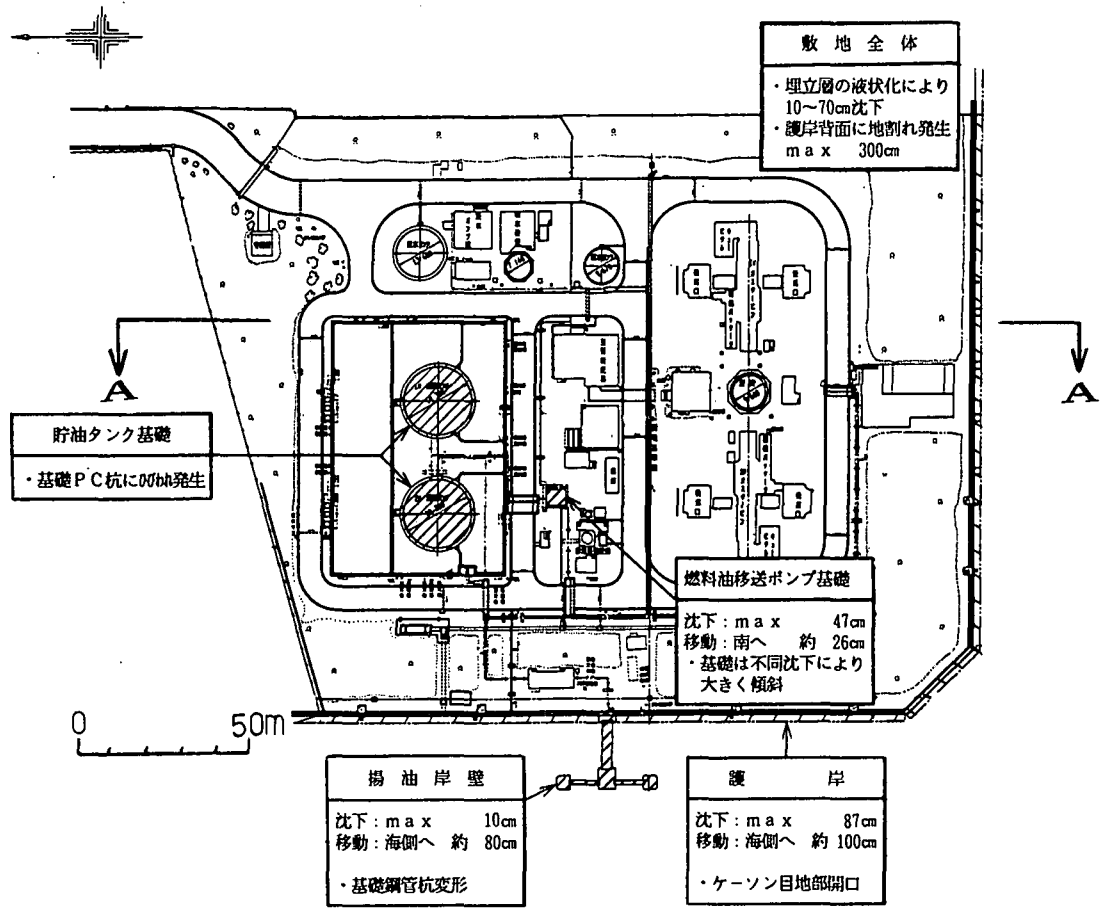


図-2 構内配置および被害概要

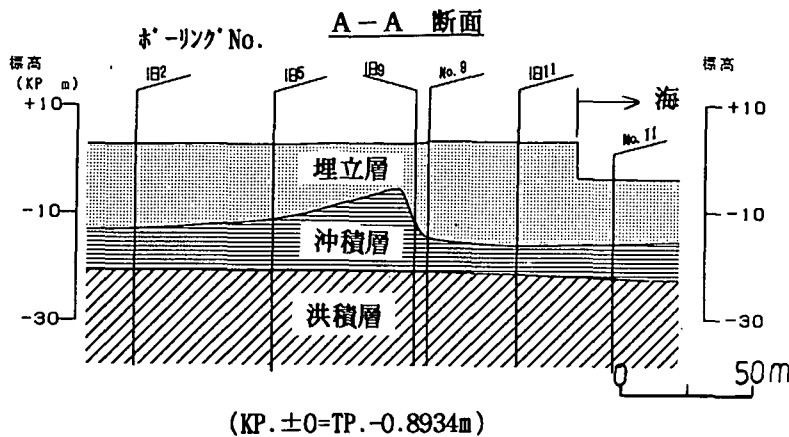
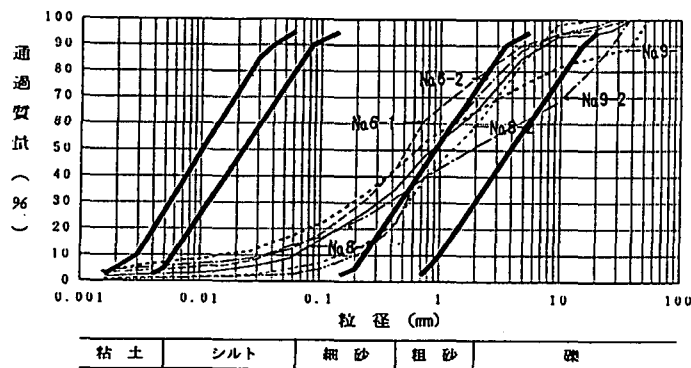


図-3 東灘ガスタービン発電所 地層断面



(図中の太線は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」<sup>2)</sup>の液状化の可能性のある土の粒度範囲を示す)

図-4 地震後の埋立層の粒径加積曲線

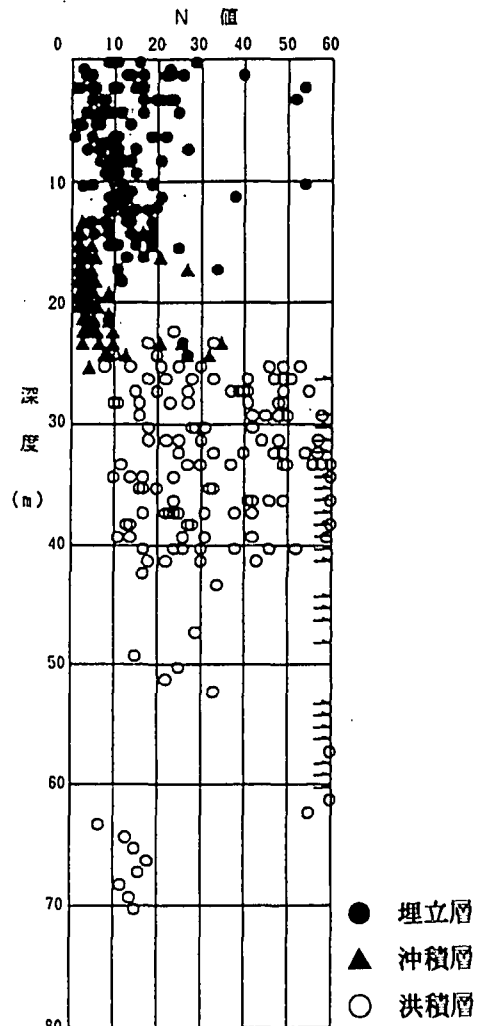


図-5 地震後のN値の深度分布

## (2) 基礎構造

4,000kl貯油タンク基礎は、建設時に将来の不同沈下対策として杭支持（PC杭、 $\phi$ 400mm、 $l=30$ m、 $N=120$ 本/タンク）

としたもので、上部は鉄筋コンクリートスラブである。地震発生時にはNO.1タンクで約2,900kl、NO.2タンクで約1,600klの灯油が貯油されていた。タンク基礎の構造を図-6に示す。

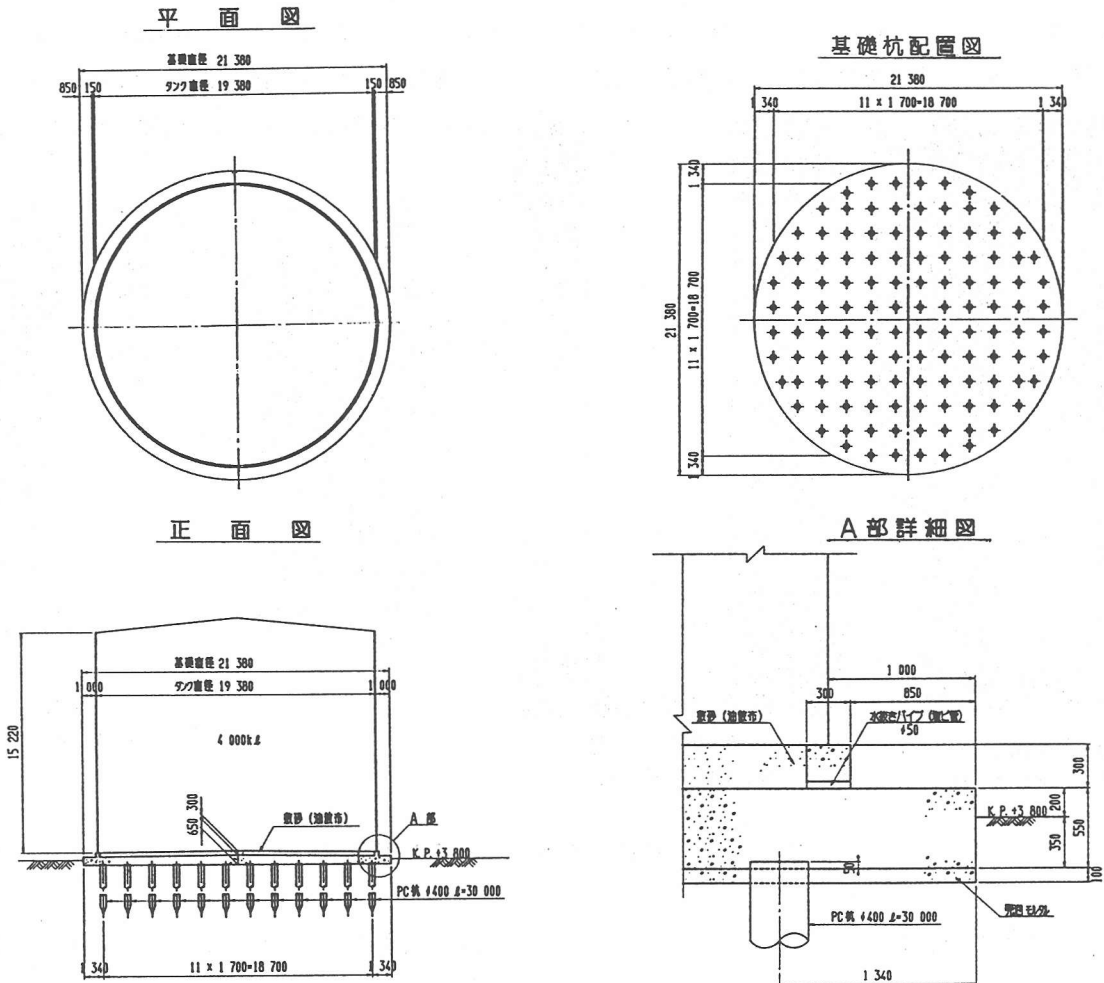


図-6 貯油タンク基礎 構造図

## 3. 貯油タンク基礎の被災状況

### (1) 沈下, 移動

タンク基礎は、地震による沈下・水平移動が殆どなく、基礎スラブコンクリートにも損傷はなかったが、基礎周辺の地盤が液状化により最大60cm程度沈下し、基礎外周部の杭頭が露出し、杭体にはひび割れが生じているのが認められた。基礎スラブ直下の杭間地盤は液状化した様子は見られなかった。地震直後の貯油タンク基礎周辺の状況を写真-1に示す。

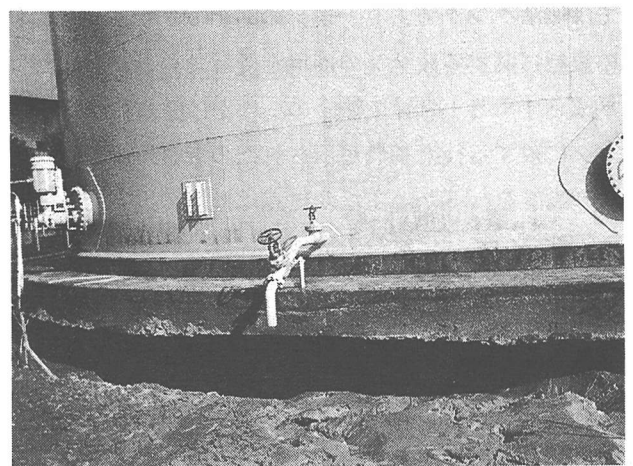
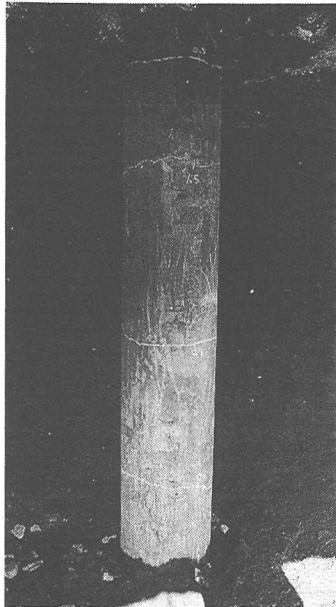


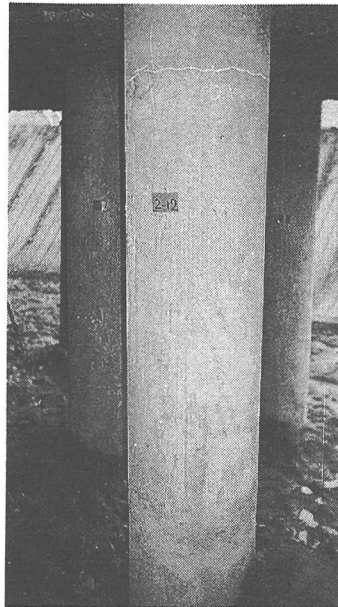
写真-1 地震直後の貯油タンク基礎の状況

## (2) 外観調査によるPC杭の被災状況

基礎杭については、地震後直ちに緊急の外観調査を実施した。調査は2つのタンク基礎外周部を深さ2m（一部最大4m）掘削し、最外周および2列目の杭全本数（各タンク60本）について実施した。その結果、ほとんどの杭にひび割れが見られ、ひび割れ幅は0.1～2.0mm程度で30～50cmピッチに発生していた。代表的なひ



調査区間全体に発生  
(No.2タンク 杭No.50)



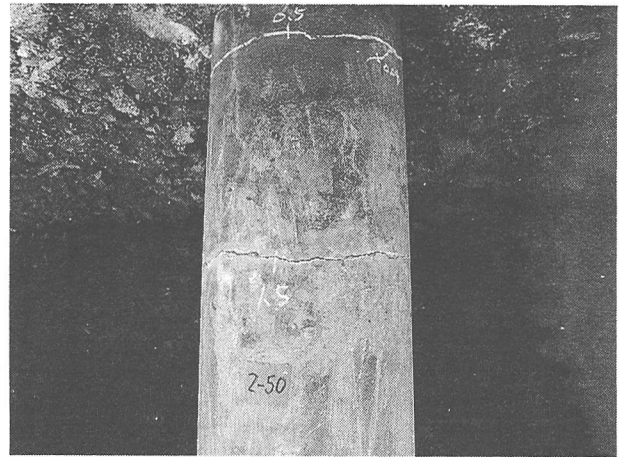
杭頭部のみに発生  
(No.2タンク 杭No.12)

び割れ状況を写真-2に示す。

## (3) 水中テレビカメラによる杭の内視調査

外観調査ではわからない深部での被災状況を調査するために、NO.1タンクの3本の杭について水中テレビカメラによる内視調査を実施した。

結果は、いずれの杭の場合も水中テレビカメラでは杭内部のひび割れの存在は確認できなかった。



ひび割れ発生状況  
(No.2タンク 杭No.50)

写真-2 PC杭の代表的なひび割れ状況

## 4. 貯油タンク基礎の復旧

### (1) 貯油タンク基礎

貯油タンク基礎は、昭和49年設置のいわゆる消防法では旧法タンクであり、現行の昭和52年新法（危険物の規制に関する政令）の適用を受けていなかったが、平成6年7月1日付で法令の一部が改正され、旧法タンクに対する技術基準が示されたので、現行の基準により設計を行った。主な変更点は以下の通りである。

#### ①地盤の液状化対策の実施

#### ②基礎の設計震度の変更( $K_h=0.2 \rightarrow 0.3$ )

被災したPC杭は、被災後も耐力があると考えられるが、地震時の設計水平震度を $K_h=0.3$ にした場合、既設の基礎杭だけでは杭の許容応力度を満足出来ないのので、図-7に示すように既設の基礎スラブの周囲にSC杭を増し打ちし、その杭に地震時の水平力を受け持たせることとした。既設基礎と新設杭の荷重の分担割

合は、既設の被災した杭には水平耐力を期待せず、全て新設のSC杭に受け持たせ、鉛直力は全て既設のPC杭に受け持たせることとした。

### (2) 地盤の液状化対策

地盤は、地震後のボーリング調査データから「危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示」等により液状化の判定をした結果、液状化の可能性が高いという結果になり、土質定数を低下させて杭基礎の評価をすると杭の許容応力を超える結果となった。そこでタンク基礎周辺を地盤改良することとし、工法の選定にあたっては既設構造物に極力影響を与えないことを重点に、振動が少なく工費、工期の観点からグラベルドレーン工法（G、D工法）を採用した。G、Dの仕様は、直径50cm、ピッチ1.3mの正方形配置とし、改良深度は事前調査ボーリングの結果からGL.-18m、平面範囲はタンク側板を起点として10mとした。

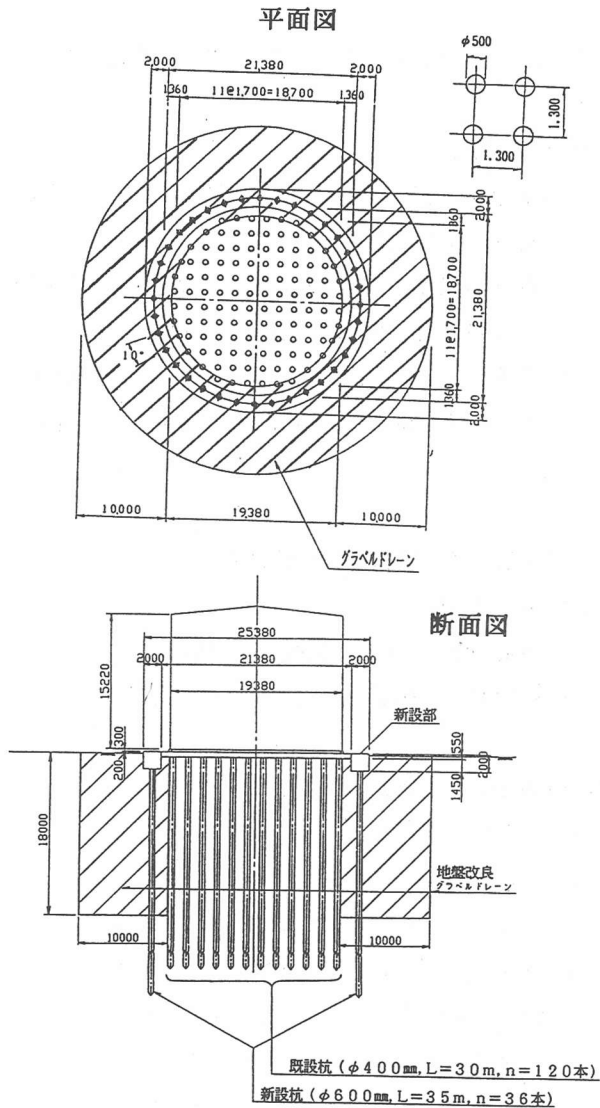


図-7 貯油タンク基礎設計図

### (3) 被災PC杭の補修

ひび割れは、補強とPC鋼線の防錆対策から補修することとし、ひび割れの小さなものはエポキシ樹脂注入、ひび割れの大きなものはエポキシ樹脂注入+炭素繊維シート巻き付けとした。ちなみに、ひび割れの大きなものの補修としては、従来からの「鋼板接着工法」と最近多くの構造物の補修に用いられている「炭素繊維シート巻付工法」が考えられたが、基礎スラブ下での作業であるため作業性の良さ、安全性から「炭素繊維シート巻付工法」を採用した。炭素繊維シートは、一方向繊維シートを用いたため杭軸方向と杭円周方向に各1枚ずつ重ね巻きした。炭素繊維シートの仕様を表-1、工事状況を写真-3に示す。

表-1 炭素繊維シートの仕様<sup>3)</sup>

| 種類          | 比重                        | 厚さ         | 設計強度                          | 耐摩率   | 破断伸度     |
|-------------|---------------------------|------------|-------------------------------|---|----------|
| 高強度<br>カーボン | 1.82<br>g/cm <sup>3</sup> | 0.11<br>mm | 35,500<br>kgf/cm <sup>2</sup> | 2.35×10 <sup>6</sup><br>kgf/cm <sup>2</sup> | 1.5<br>% |

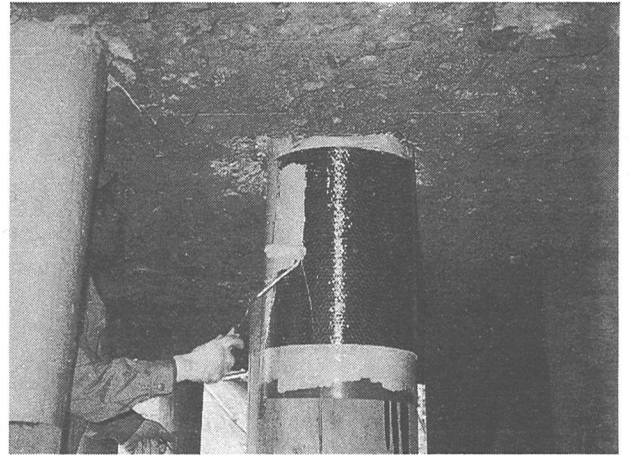


写真-3 炭素繊維シート巻付状況

### 5. 新設基礎の効果確認

新設リング基礎の効果確認として、増し打ちSC杭の打設後に水平載荷試験を実施した。

結果は図-8に示すように、SC杭は地震時に十分な耐力があることを確認した。

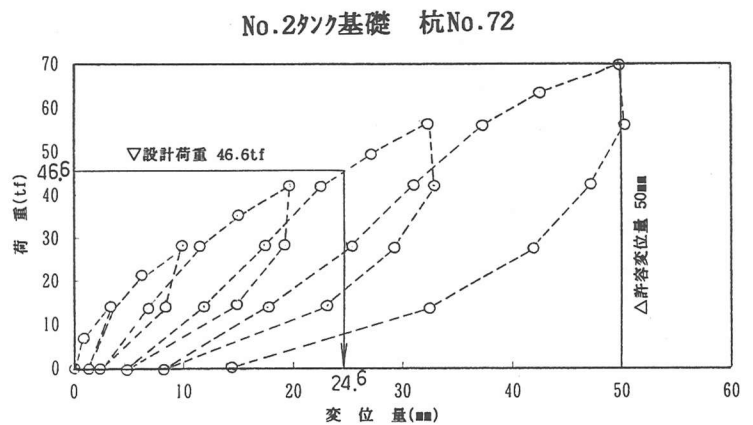


図-8 水平載荷試験結果 荷重～変位関係

## 6. おわりに

今回の地震では、その被害の大きさから地盤の液状化対策の重要性を改めて痛感させられた。地震動や地盤の液状化により護岸や機械設備基礎は大きく沈下・傾斜したが、本稿で取り上げた貯油タンク基礎は、地震により被災したものの基礎の破壊～油流出といった最悪の事態を免れたことは幸いであったと言える。

今後は、平成8年夏季に、神戸市内唯一の発電所でピーク用電源として重要な東灘ガスタービン発電所が

再び運転出来るよう復旧工事の推進に努めるものである。

### 【参考文献】

- 1) 気象庁:地震概況, 日本地震学会ニュースレター, VOL.6, No.6, pp.23-25, 1995
- 2) 日本港湾協会:港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻), pp.204, 平成元年2月
- 3) 東燃(株):フォルカ トウシートによる鉄筋コンクリート構造補強設計, pp.1-3, 平成5年4月

## RESTORATION OF CIVIL STRUCTURE IN FOSSIL POWER STATION

Masashi Terada, Kouji Kokubu  
THE KANSAI ELECTRIC POWER CO., INC.

The Great Hansin Earthquake caused some cracks to the fuel tank foundation piles in the Higasi-Nada gas turbine station of The Kansai Electric Power Co., Inc., although there was no settling or tilting of the slab.

In restoring the foundation, "Carbon Fiber Sheet Wrapping Reinforced Method" was adopted to repair the cracks and we decided to build a new ring shell around the existing slab to provide for horizontal force against an earthquake. Also, as a result of judging liquefaction from the boring data after the earthquake, we decided to improve the ground by the gravel drain technique to keep the damaged piles free from the vibration.