

むつ小川原石油備蓄基地における RC リングの 実挙動に関する検討

STUDY FOR BEHAVIOR AT MUTSU-OGAWARA OIL STORAGE BASE BASED ON MEASUREMENT OF RC RING

吉澤 耿介*・大森 弘 一**

By Kosuke YOSHIZAWA and Koichi OMORI

This paper studies behavior of a reinforced concrete ring subjected to static load. The study was conducted on two tanks at Mutsu-Ogawara Oil Storage Base, that is the first national project for oil storing purpose. Lateral unit pressure and lateral force were measured by earth pressure gages and load cells, respectively. In order to investigate the influence of the lateral force, stresses in the reinforcing bars and concrete were measured.

The main conclusion are as follows.

- (1) Temperature stress in the ring caused by seasonal temperature change is relatively large and can not be neglected.
- (2) Stresses in the ring measured during the water test by the lateral force are smaller than those estimated on paper.

Keywords : tank, foundation, reinforced concrete ring, measurement

1. はじめに

むつ小川原石油備蓄基地は、わが国初の石油国家備蓄基地であり、青森県下北半島のつけ根に位置し、約 240 ha (東西約 3 km, 南北約 0.8 km) の広大な丘陵地にタンク設備、操油設備が建設されるとともに、海域には原油の受払設備である 1 点けい留ブイバースと中継ポンプ場、さらに中継基地と貯蔵基地とを結ぶ移送配管が建設された (図-1)。当基地は、S. 54.10 に当該地に立地決定された後、S. 56.4 より公称容量 110 000 kl のタンク、51 基を主とする貯蔵施設等の工事に着手し、S. 58.8 に A 地区のタンクへ待望の原油が貯蔵された。すべての施設は S. 60.9 に完成した。

当基地のタンク基礎は、基礎を直接、地盤の上に築造するタイプで、GL -2.0~-4.0 m の深さを良質土で置換し、基礎としては、RC リングおよび碎石リングで補強した盛り土基礎となっている (図-2)。この形式は通常リング基礎と称し、近年、タンク基礎で採用されている基礎形式の 30% を占めている。そのため、最近リング基礎の設計法も技術基準として定められたが¹⁾、こ



図-1 むつ小川原石油備蓄基地全体配置図

の技術基準の解説でも述べられているごとく、リングに作用する荷重は複雑であり、RC リングの設計法もまた研究に待つところが多い。

RC リングの挙動に関する既往の研究としては、電力中央研究所による「貯油タンク基礎の地震時安定性」として、各種の基礎形状による数値解析・模型振動実験の中で、一つの形状として RC リング基礎の有用性を数値でとらえ報告されたもの^{2),3)}、計測の種類・点数・期間は当基地に比し少ないが、静荷重時の RC リングの実挙動計測として、35 000 kl タンクで土圧計、鉄筋計および沈下の計測を実施した結果を報告されたもの¹⁾等の例がある。

当基地ではタンク 51 基のうち、No. 29 および No. 47 タンクにおいて、静荷重に対する RC リングの挙動

* 正会員 工修 清水建設 (株) 土木本部設計部設計課長
(〒108 港区三田 3-13-16 43 森ビル)

** 正会員 東亜燃料工業 (株) 機械技術部建設担当部長
(〒100 千代田区一ツ橋 1-1-1 パレスサイドビル)

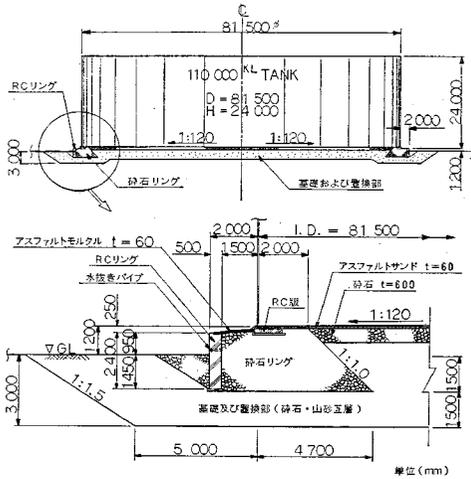


図-2 RC リング基礎図

把握を目的として、基礎構築段階より、タンクの水張試験完了時まで No. 29 タンクで 22 か月、No. 47 タンクで 19 か月の長期間にわたり計測を実施した(表-1)。今回の挙動計測では RC リングに作用する外力を把握するために、通常の土圧計によるものと荷重計により載荷板を介して土圧力を計測する方法の 2 通りの土圧計測を実施した。また、今まで問題視されていなかった温度の影響の有無を考慮してリングの温度を計測した。さらにリングの内・外の鉄筋の発生応力に差があるかどうかを考えて配置した鉄筋計による鉄筋応力の計測およびリングのコンクリートの発生応力を把握するためのひずみ計による計測を実施した。また、RC リングの挙動に関連して、水張試験時のタンク側板の沈下および RC リングの沈下、RC リングの絶対変位、RC リングとタンク側板間との相対距離についても計測を実施した。このように、長期で、本格的計測は他に類をみないものであり、この間、静荷重に対する RC リングの挙動に関して貴重なデータを集積することができたので、ここに報告するものである。なお図-2 に示すごとく、RC リングの諸元は現行基準の厚さ 40 cm 以上、地上部分と同程度の根入れおよび基礎地盤の局部破壊の検討より厚さ 50 cm、高さ 2.4 m で、周長は約 267 m(タンク；直径 81.5

表-1 計測タンクの工事工程表

工程	'81年			'82年												'83年										
	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
29 タンク	基礎工事			タンク建設工事												水張試験										
47 タンク	基礎工事			タンク建設工事												水張試験										

m、高さ 24 m、液面高さ 21.6 m) である。

2. RC リングの設計法

リングに作用する荷重(図-3 参照)としては、近年、次式に示す荷重を考慮すれば強度的安全性については支障ないと考えられている¹⁾。

$$P_i = 1/2 \cdot K_0 \cdot \gamma \cdot H_1^2 + K_0 \cdot P_{ii} \cdot H_2 \dots \dots \dots (1)$$

$$H_2 = H_1 + H_3 - B / \tan \theta \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 P_i ：リングに作用する荷重 (t/m)

K_0 ：土圧係数 (=0.5)

γ ：土の単位体積重量 (t/m³)

H_1 ：リングの高さ (m)

H_3 ：基礎上面とリング天端との垂直距離 (m)

P_{ii} ：タンク荷重等による鉛直方向分布応力 (t/m²)

B ：リング内面からタンク荷重等の外縁までの距離 (m)

θ ：タンク荷重等の分布角度 (deg)(常時 45°、地震時 60°)

なお、リング外側からの抗土圧として、静止土圧を考慮してよいとしている。

リングの円周方向引張力は、リングの全体剛性が小さいことから、側圧力に比例する薄肉円筒膜として

$$T = P \cdot R \dots \dots \dots (3)$$

で求める。ここに T ：リングの円周方向引張力 (t)、 P ：リングに作用する側圧力 (t/m)、 R ：リング中央までの半径 (m)。なお、常時における鉄筋の応力度を通常の許容応力度の 2 割程度減少させた値をもって、鉄筋のみで円周方向引張力に抵抗させるものとしている。

これらの式に基づいて、水張試験時の最大発生応力を求めてみる。

式 (1)、(2)、(3) に、 $K_0=0.5$ 、 $\gamma=1.8$ t/m³、 $H_1=2.4$ m、 $H_3=0.25$ m、 $P_{ii}=21.6$ t/m²、 $B=1.5$ m、 $\theta=45^\circ$ 、 $R=42.25$ m(図-2 参照)をそれぞれ代入することにより

$$P_1 = 15.01 \text{ t/m (リング内側)}$$

$$P_2 = 0.95 \text{ t/m (リング外側)}$$

$$T = (P_1 - P_2) \cdot R = 594.04 \text{ t}$$

・鉄筋とコンクリートとが荷重負担する場合の鉄筋応力

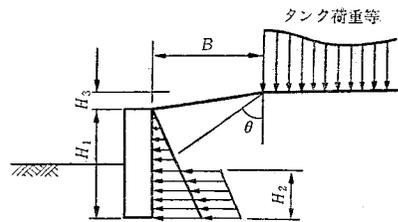


図-3 リングに作用する荷重

No. 29 タンク

$E_c=2.9 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, $E_s=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ より $n=7.2$, $A_c=50 \times 240=12000 \text{ cm}^2$, $A_s=34-D22=131.6 \text{ cm}^2$ から

$$\sigma_s = nT / (A_c + nA_s) = 330 \text{ kg/cm}^2$$

No. 47 タンク

$n=7.2$, $A_c=12000 \text{ cm}^2$, $A_s=46-D22=178.1 \text{ cm}^2$
 $\sigma_s = 322 \text{ kg/cm}^2$

・鉄筋のみで荷重負担する場合の鉄筋応力

$$\sigma_s = T / A_s = 4514 \text{ kg/cm}^2 \text{ (No. 29 タンク)}$$

$$\sigma_s = 3335 \text{ kg/cm}^2 \text{ (No. 47 タンク)}$$

となる。なお、むつ小川原油備蓄基地の設計においては RC リングは変形するものと考え、リング内側の土圧係数として主動土圧係数 $K_a=0.17$, リング外側の土圧係数として受働土圧係数 $K_p=3.0$ を考えて設計している。

3. 計測概要

(1) 計測仕様

RC リングの挙動計測を実施した No. 29 および No. 47 タンクの位置図を図-4 に示す。

No. 29 タンクの RC リング挙動計測は 3 測点で実施した。各測点位置を各測点における計測器の配置とともに図-5 に示す。

また各計測器の取付台数(総数 70)を表-2 に示す。ここで、ひずみ計はコンクリートの発生応力を把握するためのものである。これらの計器はすべて差動トランス型で、すべて温度補償されていることおよび表-2 に示した精度を確保していることを事前に性能検査して確認し、設置した。

No. 29 タンクの RC リング計測の主な目的は、RC リングに発生する応力を把握することとしたため、外力となる土圧の計測は 1 測点でしか行わなかった。

一方、No. 47 タンクの RC リング計測は、RC リングへの外力となる土圧(タンク荷重による側圧を含む)がどの程度になるかを把握することを主目的として、計

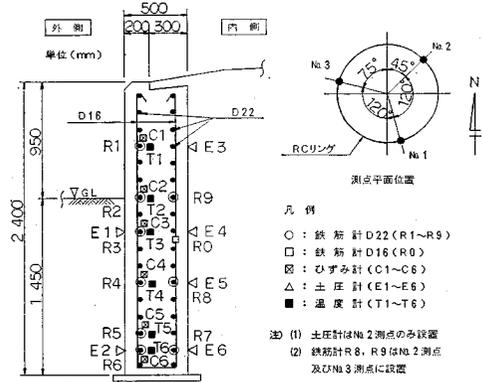


図-5 No. 29 タンク計測器配置図

表-2 No. 29 タンク計測仕様

計測器 名称	計測器 型式	測定範囲	測定精度	設置台数			合計
				No. 1	No. 2	No. 3	
鉄筋計 D22	差動トランス型 SD-22	$\pm 1,500 \mu$ 6.300%FS	$\pm 0.5\%FS$	7	9	9	25
鉄筋計 D16	差動トランス型 SD-16	$+1,500 \mu$ 6.300%FS	$+0.5\%FS$	1	1	1	3
ひずみ計	差動トランス型 SD-250S	$\pm 500 \mu$ 100%FS	$\pm 0.5\%FS$	6	6	6	18
土圧計	差動トランス型 PD-150-5	3%FS	$\pm 0.5\%FS$	-	6	-	6
温度計	ED-02	$-30 \sim +60 \text{ C}$	$\pm 1.0\%FS$	6	6	6	18
合計				20	28	22	70

測仕様を決定した。

No. 47 タンクで実施した RC リングの計測測点位置を各測点の計測器の配置とともに、図-6 に示す。また各計測器の取付台数(総数 63)を表-3 に示す。ここで、土圧の計測は荷重計により^{4),5)}、載荷板 ($B=1.0 \text{ m}$, $h=2.4 \text{ m}$) に作用する全土圧を鉛直土圧と水平土圧とに分離して、土圧力として計測できるように工夫した。荷重計はボールベアリングを使用することにより、摩擦抵抗を極力少なくした特別なものである。また、受働土圧側では鉛直上向きの土圧が大きくなった場合を考え、鉛

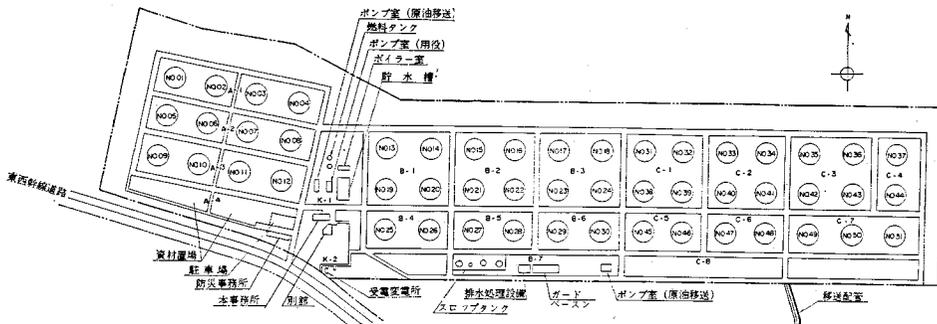


図-4 貯蔵基地配置図

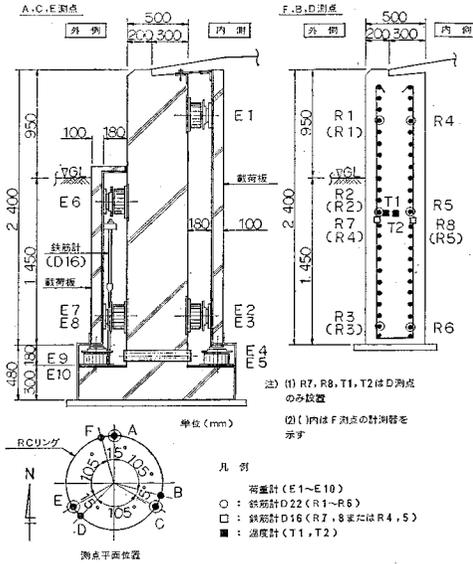


図-6 No. 47 タンク計測器配置図
表-3 No. 47 タンク計測仕様

計測器 名称	計測器 型式	測定範囲	測定精度	設置台数						
				A	B	C	D	E	F	合計
荷重計	-	3~1.0t	±0.5%FS	6	6	6				30
鉄筋計 D22	差動トランス型 SD-22	±3,000 Kgf/d	±0.5%FS	4	4	4				15
鉄筋計 D16	差動トランス型 SD-16	±1,500 Kgf/d	±0.5%FS				2	2		7
温度計	ED-02	-30~+60C	±1.0%FS					2		2
変位計	LD-101	±50mm	±0.5%FS	3				3		9
合計				11	9	11	13	11	8	63

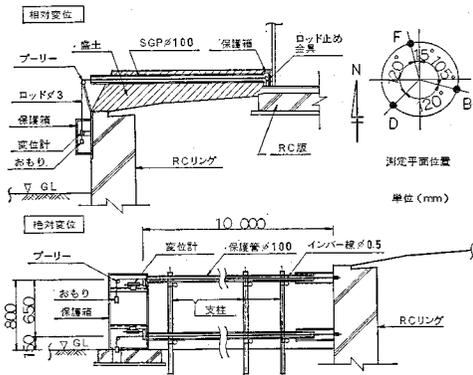


図-7 リング変位計および相対変位計設置図
(No. 47 タンク)

直土圧用荷重計と合わせて引張鉄筋計も設置し、鉛直土圧力が計測できるようにした。

さらに、No. 47 タンクでは変位計を用いて、水張試

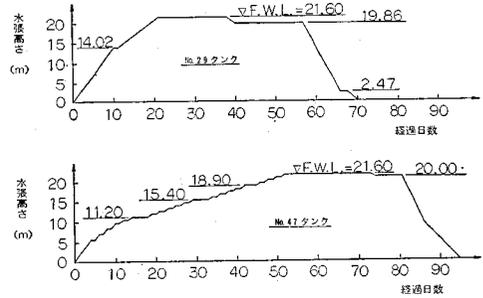


図-8 水張工程

験時の RC リングの絶対変位およびタンク側板と RC リングとの相対変位を計測し、タンク挙動を把握できるように応力計測の3測点に設置した(図-7)。

(2) 打設コンクリートおよび水張り荷重

No. 29 タンクの RC リングコンクリートは、打設後初期に発生しやすい乾燥収縮によるヘアークラックを防ぐため、石灰系の膨張混和材を使用した。一方、No. 47 タンクの RC リングコンクリートは混和材は使用しなかった。これは、No. 29 タンクでは発生応力の把握に力点をおいたため、乾燥収縮によるクラックをできるだけ防いでおきたかったためである。なお、打設コンクリートについては材令ごとのヤング率 E 、ポアソン比 ν および圧縮強度 σ_c を計測と並行して把握し計測に生かした。

水張試験は No. 29 タンクが S. 58.5 に、No. 47 タンクが S. 58.12 に実施したが、その際の水張工程を図-8 に示す。水張高さは $h=21.6$ m である。

(3) 計測方法

各計測器の設置手順をフローとして図-9 に示す。

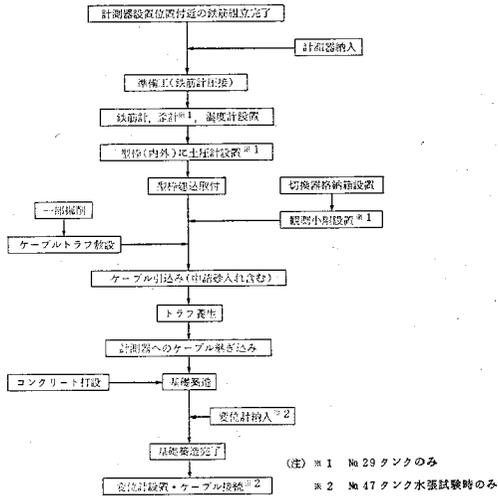
No. 29 タンクの RC リングの計測は現地ヤード内に観測小屋を設置し、そこでパソコンにより制御しながらすべて自動計測し、データは応力度や強度に換算し、フロッピーディスクに保存した。一方、No. 47 タンクでは、各計測器の読み取りは3台の手動切替器から測定器に内蔵されているカセットテープに集録し、パソコンと連結してフロッピーディスクに保存した。

4. 計測結果

No. 29 タンクの RC リングで実施した鉄筋応力、コンクリート応力、温度および土圧の計測結果を各測点ごとに全計測期間について、経時変化図として図-10~図-12 に、また、No. 47 タンクで実施した RC リングの温度変化および鉄筋応力の計測結果を全測点まとめて図-13 に、それぞれ示す。

No. 47 タンクで実施した荷重計を用いた土圧力の計測結果を経時変化図として図-14 に示す。なお、図-

№ 29 タンク各測点及び
№ 47 タンクの B, D, F 測点



№ 47 タンクの A, C, E 測点

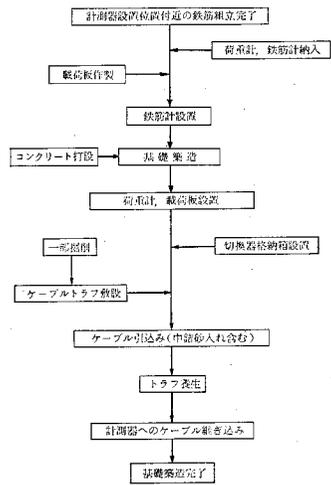


図-9 計測器設置フロー図

13 および 図-14 中の着色部分 (S. 57.12~S. 58.3) は、計測を実施していない期間である。次に、No. 29・No. 47 タンク側板で実施した水張試験時の沈下測定結果を沈下展開図として、それぞれ 図-15、図-16 に示す。また、No. 47 タンクで実施した、水張試験前を原点とした際の変形挙動を表わす RC リングの絶対変位および水張試験時のタンク側板~RC リングの相対変位の計測結果を 図-17 に示す。

(1) 鉄筋応力の挙動 (図-10~図-12 および 図-13)

温度の季節変化に連動する形で、鉄筋の発生応力が周期的に変化する傾向がみられる。この場合、気温が下がる冬季に引張応力が大きくなり、逆に、気温の上がる夏季には引張応力が減少している。No. 29 タンクの温度の計測結果より、年間の RC リングの温度変化は大きいところで 23°C あり、これに対応する鉄筋応力はクラックの入っていない測定点で約 500 kg/cm² 増減している。紙面の関係でここでは省略するが、温度と鉄筋応力との相関関係分析の結果、両者には強い相関があり、温度変化の影響による発生応力を除いた発生応力、すなわち、

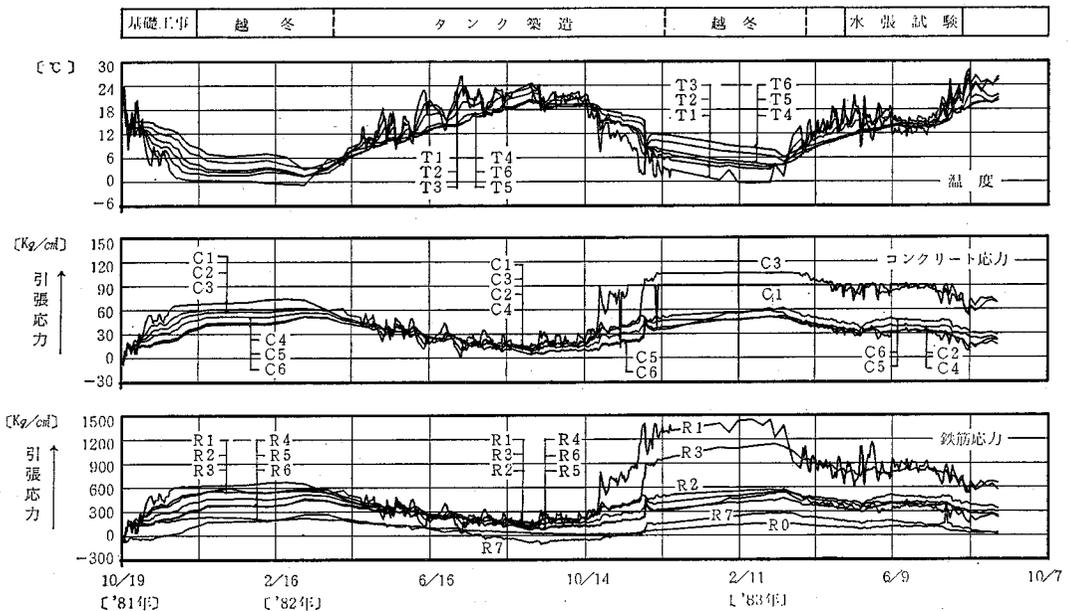


図-10 No. 1 測点計測結果図 (No. 29 タンク)

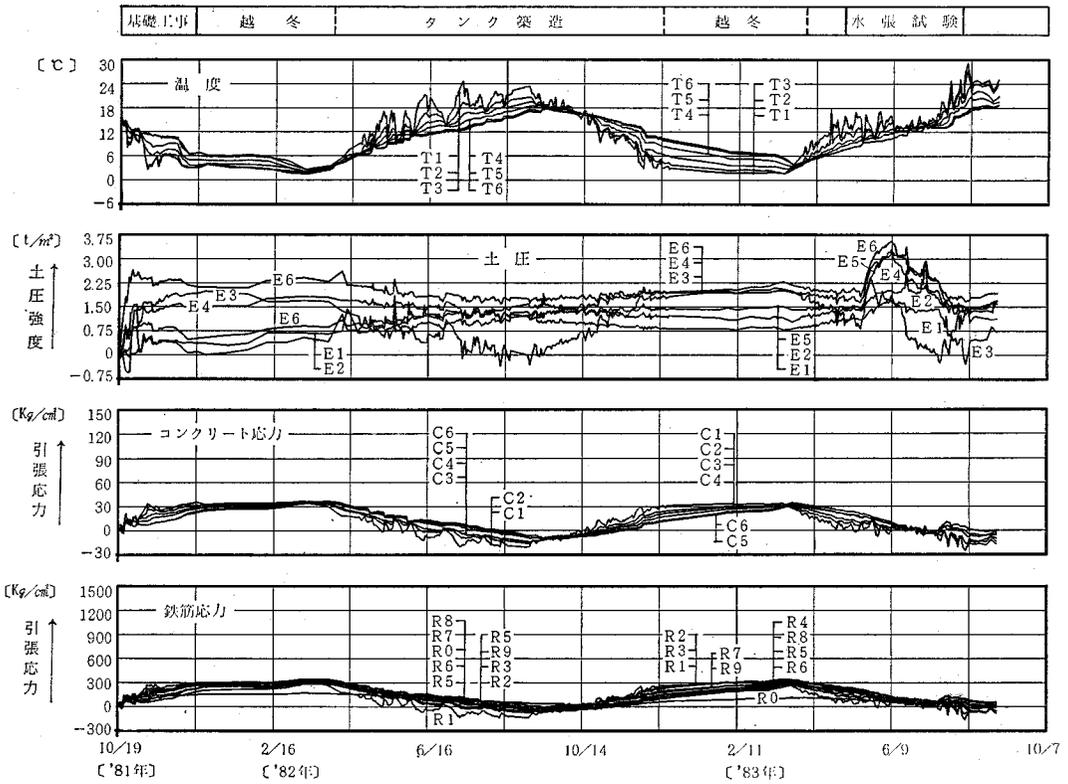


図-11 No. 2 測点計測結果図 (No. 29 タンク)

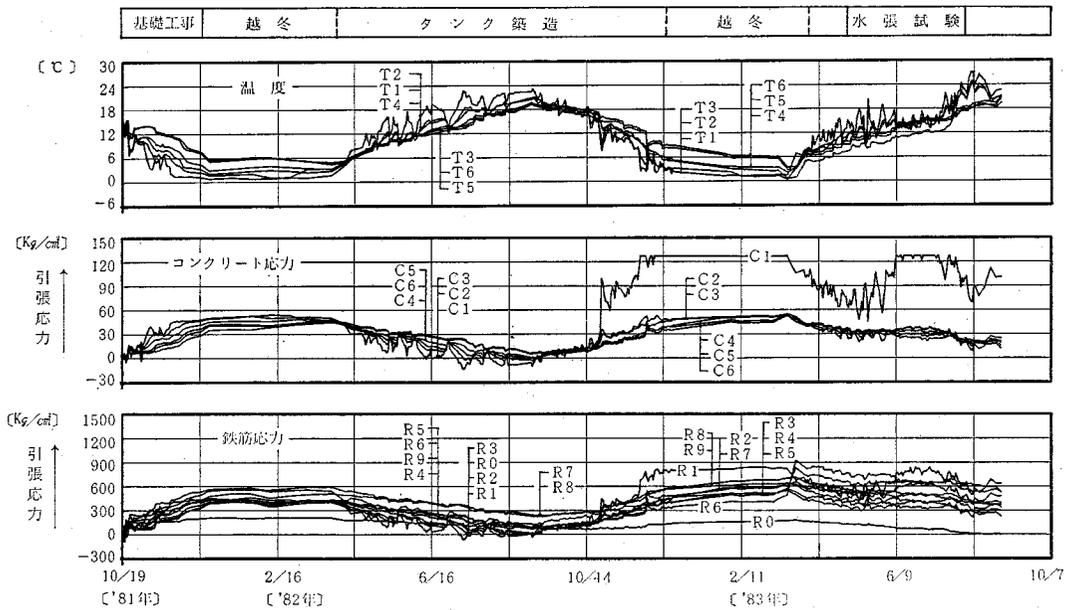


図-12 No. 3 測点計測結果図 (No. 29 タンク)

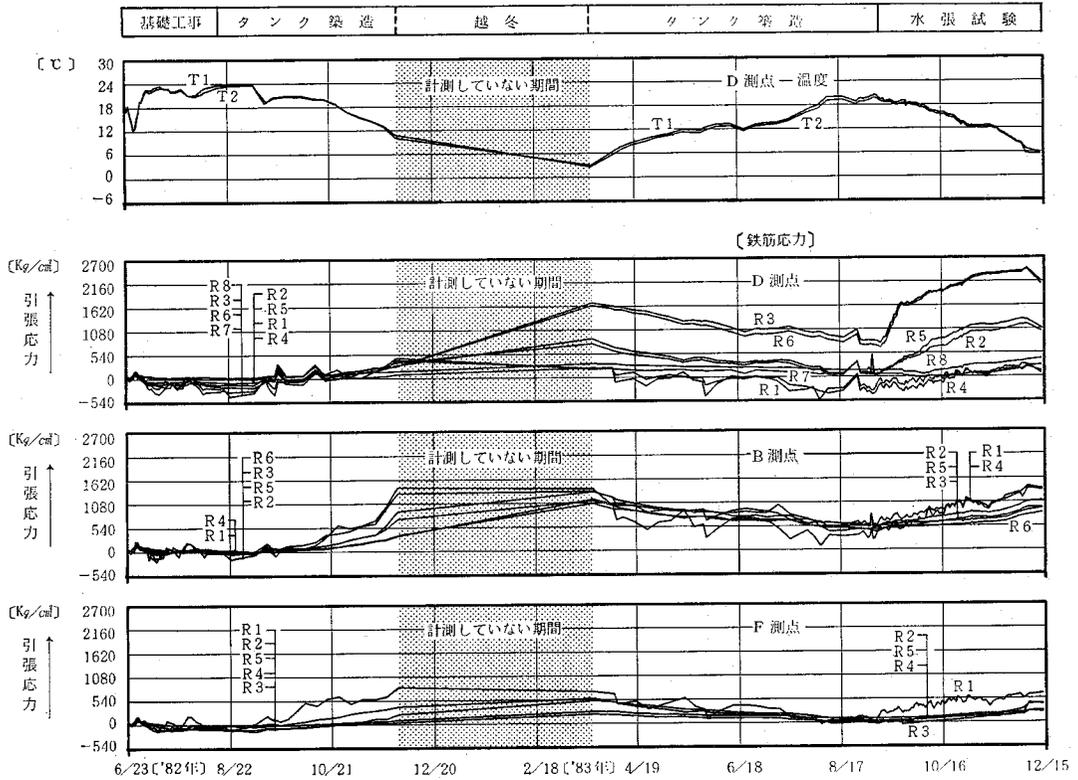


図-13 温度および鉄筋応力計測結果図 (No. 47 タンク)

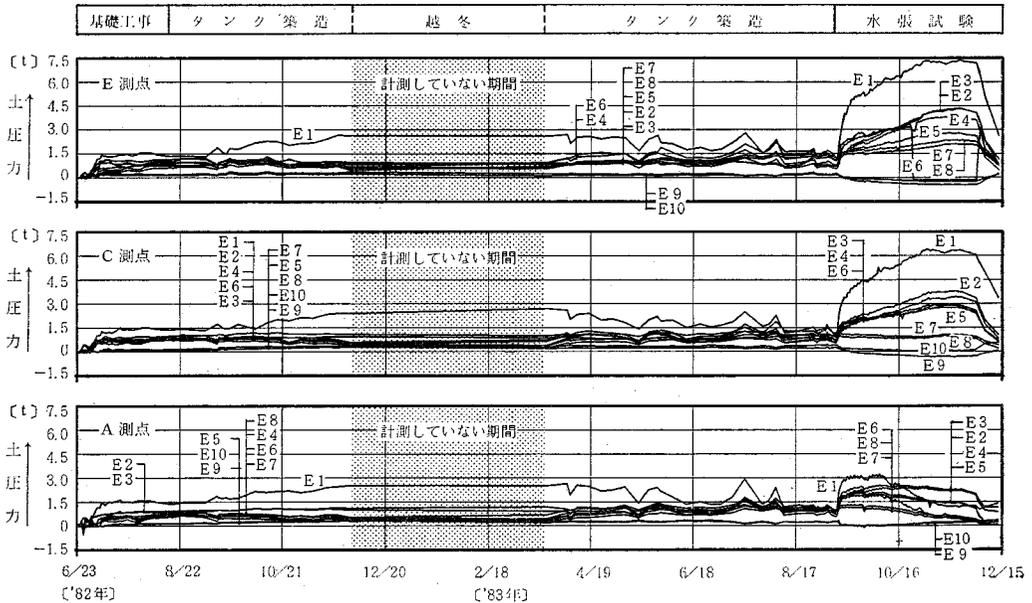


図-14 土圧力計測結果図 (No. 47 タンク)

基礎盛土による発生応力は約 100 kg/cm² である。

また、図-10～図-12 より、基礎工事完了時点から水張試験前までの鉄筋応力の挙動をみると、タンク自重は RC リングの発生応力にはほとんど影響ないことがわかる。ただし、No. 47 タンクの計測結果である図-13 の水張試験前までの B, D 測点をみると、鉄筋応力は経時とともに若干増加しているが、これは、RC リングの沈下が影響しているためである。

(2) コンクリート応力の挙動 (図-10～図-12)

鉄筋応力と同様にコンクリート応力にも、温度変化による周期性がみられる。

No. 29 タンクの各測点でのコンクリート応力を比較してみると、最初の冬はコンクリートにクラックが入っていないため、3 測点の対応する各測定点では 30～60 kg/cm² の範囲の応力が発生している。しかし、次の冬には No. 1 および No. 3 測点の上部外側コンクリート応力 (対応する鉄筋応力も同様) の挙動は、明らかに他の測定点と異なった動きをしており、ヘアークラックが入ったと判断され、測定点付近のコンクリートは限界引張応力に達しているものと思われる。これに対して、膨張材を使用していない No. 47 タンクの RC リングでは、沈下等の他の影響もあると思われるが、鉄筋応力の挙動より最初の冬に B, D 測点ではヘアークラックが発生している計測結果となっている。計測値によると、ヘアークラックの入った引張応力は $\sigma_t = 30 \sim 45 \text{ kg/cm}^2$ で一般にいわれているコンクリートの圧縮強度 ($\sigma_{365} = 362 \text{ kg/cm}^2$) の 1/10～1/13⁶⁾ と合致した引張強度が計測されている。

また、沈下等の影響が少ない測点では、No. 29・No.

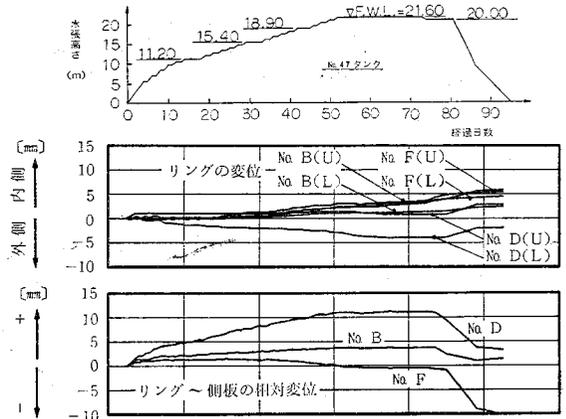


図-17 RC リングの変位および RC リングと側板の相対変位計測結果図

47 タンク RC リングとも、同季節、同温度の鉄筋応力、コンクリート応力ともほぼ同一の発生応力となっていることより、クリープ変形はほとんどないという計測結果となっている。

なお、図-10 および 図-12 のコンクリート応力経時変化図の中で冬季に一定値を示している部分 (No. 1 測点の C1, C2 および No. 3 測点の C1) は、ひずみ計の測定範囲をオーバーしていることを示しており、発生応力値ではない。

(3) 土圧の挙動 (図-11, 図-14)

基礎盛土完了後水張試験前までの挙動をみると、鉄筋応力、コンクリート応力と同様に温度変化による増減があり、タンク自重の影響はほとんどないことがわかる。

温度変化による挙動は、RC リング内側土圧は冬季に大きく、夏季は小さく、外側土圧は逆になっている。ここでは紙面の関係で省略するが、No. 29 タンクの土圧と温度との相関回帰分析を実施した結果、強い相関があることがわかった。

通常、計測に用いられている土圧計は、若干でも設置壁面より出入りがあると、土のアーチアクションや応力集中等の影響により、定量的に評価することが難しいため、今回、No. 47 タンクでは壁面全体に作用する全土圧力の計測を実施した。

No. 47 タンクの土圧計測結果より、土圧分布が台形になるものと仮定して、土圧力より土圧分布を求めたものと No. 29 タンクの土圧分布とを併せて主動側 (RC リング内側) について 図-18 に示す。なお、水張試験時の土圧分布は水張直前を原点とした水張荷重によるもののみである。

図-14 と 図-16 とを対比するとわかるように、タンク側板の沈下が大きくなると、RC リングに作用する土圧は内側・外側ともに大きくなり、側板沈下が土圧に影

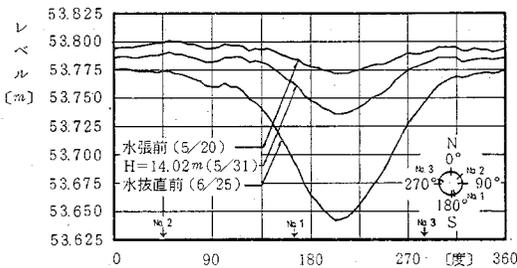


図-15 No. 29 タンク側板沈下展開図

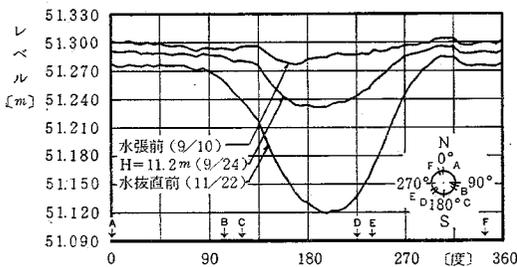


図-16 No. 47 タンク側板沈下展開図

計測時点	No. 29 タンク (No. 2 測点)	No. 47 タンク		
		A 測点	C 測点	E 測点
水張試験前				
水張試験時				

図-18 土圧分布推定図

響することがわかる。

基礎盛土による土圧は、No. 29 タンクの計測結果によると、温度の影響を除けば、RC リングの上端から下端まで、土圧強度 $q=1.5 \text{ t/m}^2$ の等分布荷重で作用していることがわかった。これは、分布形状としては福岡^らによる二次元弾性解の土圧分布に近い。

(4) 水張試験時の RC リングの挙動

No. 29 タンクの土圧の計測結果である図-11 および図-18 をみると、水張試験時の水張荷重 (21.6 t/m^2) による主動側の土圧増はわずか 1.2 t/m (最大土圧強度 0.9 t/m^2 の放物線分布に近い) しかなく、その際の鉄筋およびコンクリートの引張応力増加はわずかである。一方、No. 47 タンクの土圧計測結果である図-14 の土圧力より、RC リング奥行き 1 m 当たりの土圧力を求めると、図-18 に示すとおり主動側で 3.06 t/m (台形分布仮定で最大土圧強度 3.37 t/m^2) ~ 13.94 t/m (台形分布仮定で最大土圧強度 7.23 t/m^2) である。この際の鉄筋およびコンクリートには No. 29 タンクと異なり、引張応力の増加がみられる。これは、No. 29 タンクの水張試験が気温の上がる 5~6 月で、No. 47 タンクの水張試験が気温の下がる 9~12 月ということが影響していることおよび No. 47 タンクでは No. 29 タンクに比べタンク側板、すなわち RC リングの沈下の影響が加わっているためと推察される (図-16)。この状態の顕著なものが D 測点の鉄筋応力 (図-13) に現われている。ここで着目すべきことは、No. 29 タンクの RC リングでも同じような沈下が生じた (図-15) にもかかわらず、No. 29 タンクの RC リングの鉄筋応力には、その影響がほとんどみられない。このことから、単に沈下の量だけでなく、その沈下形状が影響していることがわかる。

No. 47 タンクの RC リングの変形挙動としては、気温の下がる時期であったためと考えられるが、D 測点を除き、荷重増加とともに RC リングは縮む結果となり、RC リング~タンク側板間の相対距離は、タンク底版が

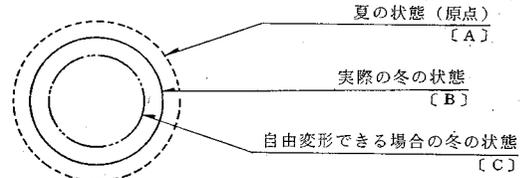


図-19 温度変化による RC リング変形概念図

タンク中心に向かってすり鉢状にたわむため、当然ながら荷重増加とともに広がる結果となっている (図-17)。D 測点の変位挙動だけが他測点と異なる原因としては、鉄筋応力、コンクリート応力、土圧の挙動と同様に沈下の影響が考えられる。

5. RC リングとしての挙動に対する一考察

当然ながら気温変化により RC リングは、夏季には伸び、冬季には縮む。この変形挙動に対応する土圧の計測結果は理解しやすい。一方、鉄筋応力とコンクリート応力が冬季にリングが縮むのに引張応力が增大するというのは、一見逆に思えがちである。しかしながらこれは、次のように考えれば理解できる。

図-19 に示すごとく、RC リングが伸びきった夏の状態 (A) から冬に縮む現象を考える。温度変化によるリングの縮みは、何の拘束もない状態であれば C のところまで縮めるものとする。ところが、何らかの拘束があり、実際には B までしか縮めないとする。温度変化により、RC リングに発生する鉄筋およびコンクリートの応力は、A から C にリングが自由に変形できれば "O" である。ところが、何らかの拘束によりリングは、温度が下がっても B の状態までしか変形できないため、鉄筋およびコンクリートは、見掛け上 C の状態から B の状態まで伸ばされたことになり、引張力が発生することになる。このように考えれば、冬に RC リングが縮んでいるにもかかわらず、鉄筋およびコンクリートに引張力が作用するという計測結果は、理解できよう。この拘束力が何によるものかは、今後検討していく予定である。

6. まとめ

今回の RC リングの計測結果より、RC リングの挙動として、主に以下のことが解明された。

(1) 季節の温度変化により RC リングには温度応力が作用し、その値は他の外力 (土圧、タンク液荷重) とともに鉄筋およびコンクリートの発生応力の中で大きなウェイトを占めている。

(2) 鉄筋応力、コンクリート応力とも気温の下がる冬季に引張応力が大きくなり、気温の上がる夏季には引張応力が減少している。

(3) RC リングに作用する土圧も、RC リングが温

度変化に伴い伸縮することにより、季節に応じ増減しており、内側土圧は冬季に大きくなり、夏季に小さくなっている。外側土圧はその逆である。

(4) タンク荷重による作用側圧力は、RC リングが静止状態にあると考えた側圧係数 $K_0=0.5$ を用いて推定したものに比べて、かなり小さい。この原因としては、RC リングの内側に設置されている砕石の力学特性や、RC リングの変形により、側圧が主動状態に近い状態となり、RC リングに想定ほど作用していないためと思われる。

(5) RC リングの沈下は、その沈下形状によっては RC リングにとって大きな外力となり得るため、入念な基礎の施工により、できるだけ RC リングの不等沈下の絶対量を少なくすること、RC リングの局部沈下をおさえることが望ましい。

7. おわりに

今回の計測により、RC リングの挙動に関する多くの貴重なデータを入手することができた。今後、RC リングの挙動に関する実測データの集積や研究がさらに進み、RC リングの挙動解明がなされることを望むとともに、この計測データが解明の一助になり、より合理的設

計法が確立されることを期待したい。

最後に、本計測の計画段階から計測完了まで、終始暖かく、適切な助言、ご指導をいただいた東京理科大学福岡正己教授に感謝の意を表する次第です。また、細心の施工、計測管理、データの収集にご尽力をいただいたむつ小川原石油備蓄(株)建設部工事課および清水建設(株)むつ小川原工事事務所の諸氏に、厚く御礼申し上げる次第です。

参 考 文 献

- 1) 危険物技術委員会編：屋外タンク貯蔵所基礎の規制基準（杭基礎及びリング基礎について）解説，技報堂出版，pp. 259～272，1983。
- 2) 電力中央研究所報告：貯油タンク基礎マウンドの地震時安定性（その1）—数値解析手法による研究，電力中央研究所土木技術研究所。
- 3) 電力中央研究所報告：貯油タンク基礎マウンドの地震時安定性（その2）—模型振動実験による研究，電力中央研究所土木技術研究所。
- 4) 福岡正己：擁壁の動土圧と耐震設計，土と基礎，Vol. 28，No. 8，pp. 17～24，1980。
- 5) 福岡正己：鋼製擁壁に加わる土圧に関する実験，土と基礎，Vol. 21-6，pp. 75～80，1973。
- 6) 吉田徳次郎：コンクリート及び鉄筋コンクリート施工方法，丸善，pp. 532～533。

(1987.8.31・受付)