

RC リング（タンク基礎）に与える温度の影響

STUDY FOR INFLUENCE OF TEMPERATURE UPON RC RING FOUNDATION OF OIL TANK

吉澤 耕介*・大森 弘一**

By Kosuke YOSHIZAWA and Koichi OMORI

This paper studies on the factors which affect stresses in a RC ring of a tank foundation constructed at Mutsu-Ogawara Oil Storage Base. Regression analysis are conducted on measured data and it is confirmed that changes in the stresses and earth pressure intensity depend on a seasonal temperature change at the site. Then, study is made on factors that restrict free movement of the ring. A degree of the restriction is also investigated.

The main conclusions are as follows.

- (1) The restriction was caused by the lateral resistance of soil.
- (2) The stresses in the ring decreases as rigidity of the ring increases.

Keywords : tank foundation, measurement, RC ring, temperature stress

1. まえがき

高度成長期の石油・エネルギー関連工業の飛躍的発達により、代表的な危険物の貯蔵施設である屋外貯蔵タンクの設置数は増大の一途をたどった。さらに昭和49年のオイルショックを契機として、国家および民間レベルで石油備蓄計画（当面3000万kl規模）が推進され、現在各地に大規模な石油備蓄基地が建設中である。

これらの貯蔵施設のほとんどは、地上に設置された鋼製平底の屋外貯蔵タンクであり、その基礎のほとんどは“リング基礎”とよばれる形式である。

リング基礎の設計において、通常、リングに作用すると考えている外力としては、基礎盛土による土圧、タンク自重および内容液（油）重量による側圧および地震力を考えている。しかし実際のリングの挙動は複雑で、作用荷重も含めて研究途上の段階であり、今後の研究成果が待たれている。

今回、著者らはわが国初の石油国家備蓄基地であるむつ小川原石油備蓄基地を2基のタンクにおいて、RCリングの静的挙動計測を行う機会を得た。同基地では公称

容量110000klタンクを51基建設したが、その中のNo.29タンクおよびNo.47タンクでRCリングの挙動計測を実施した。計測期間は、No.29タンクのRCリングが昭和56年10月～昭和58年8月、No.47タンクのRCリングが昭和57年6月～昭和58年12月という長期にわたるものであった。

No.29タンクのRCリング計測は、主としてRCリングの鉄筋およびコンクリートに発生する応力の把握を目的とし、No.47タンクのRCリング計測は、主としてRCリングに作用する土圧の把握を目的として実施した。当初、計測計画を立てた時点ではRCリングの発生応力、RCリングに作用する土圧とも、タンクの水張試験時に最大値が得られるものと想定し、タンク本体完成までは予備的計測と考えていた。しかしながら、今回の水張試験前の挙動計測により、現設計では配慮していない温度の季節変化が、RCリングの発生応力およびRCリングへの作用土圧に大きな影響を与えることが判明した¹⁾。本論文では2基のタンクで実施したRCリングの挙動計測のうち、No.29タンクの計測結果をもとにし、温度の季節変化がRCリングの挙動にどのような影響を与えていたかについて考察し、報告するものである。

* 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)

2. 計測概要

RC リングの諸元は、厚さ 50 cm、高さ 2.4 m、直径 85 m (周長は約 267 m) である。計測は 3 測点で実施した。測定平面位置を各測点における鉄筋計、コンクリートひずみ計、温度計および土圧計の各計器の取付位置とともに 図-1 に示す。計器数は鉄筋計 28、コンクリートひずみ計 18、土圧計 6、温度計 18 の計 70 個である。計器はすべて耐久性を考慮して差動トランジスタ型を用いた。各計器は完全に温度補償されていることおよび所定の測定精度を確保していることを事前に室内試験により確認し、さらに、鉄筋計については RC リングに使用した鉄筋と鉄筋計とのヤング率に差異がないことを試験により確かめた。

No. 29 タンクの RC リングのコンクリートには、乾燥収縮により打設後初期に発生しやすいヘーアクラックを防ぐために石灰系の膨張混和材を 30 kg/m^3 使用した。コンクリートの圧縮強度 σ_c 、ヤング率 E およびポアソン比

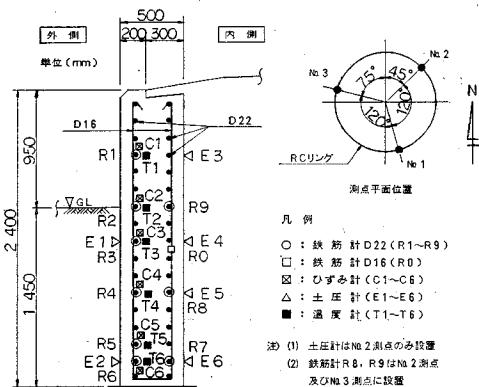


図-1 No. 29 タンク計測器配置図

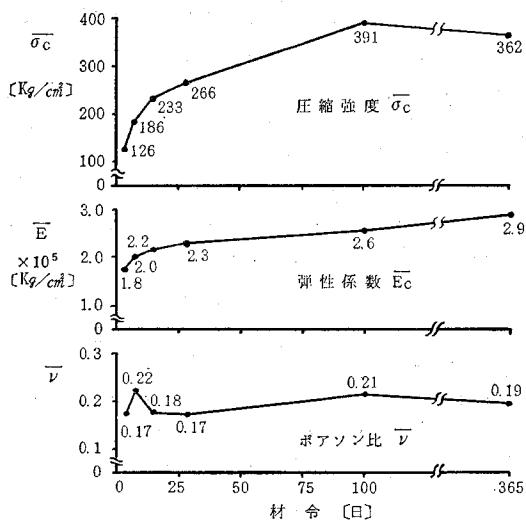


図-2 RC リングコンクリート材料試験結果

ンビルの試験結果を 図-2 に示す.

RC リングの挙動計測にあたっては、計測管理およびそのデータの図化プログラムを作成し、パソコン 컴퓨터を現地の観測小屋に設置した。タイマーにより毎日午前 11 時に完全自動計測を行い、フロッピーディスクへのデータ保存と図化を行って RC リングの挙動を把握するとともに施工管理にも役立てた。

3. 計測結果概要

計測は基礎マウンドの盛立開始から水張試験完了まで実施した。

- 1) 基礎マウンド施工開始から水張試験前
 - 2) 水張試験時

(1) 一層元本試験の計測結果

水張試験前の計測結果において注目すべきことは、基礎工事完了時点から水張試験直前までの、RC リングに対しても一定の荷重（タンク本体建設に伴う荷重増が 0.5 t/m^2 程度あるが影響は無視できる）が作用している期間において鉄筋応力、コンクリート応力、土圧の値が温度の季節変化に従い周期的に変動することであった。すなわち、秋から冬に向かい外気温の低下により RC リングの温度が低下すると、鉄筋とコンクリートの引張応力はともに増大し、春から夏に向かい外気温の上昇により RC リングの温度が上がると、鉄筋とコンクリートの引張応力はともに減少した。一方、土圧については、RC リング内側の土圧はリングの温度が下がり、リングが縮む冬季に増大し、リングの温度が上がり、リングが伸びる夏季に減少し、リング外側の土圧はリングが縮む冬季に小さくなり、リングが伸びる夏季に大きくなつた。この現象はリング外部が外気に接しているリング上部の土圧計 E3 で顕著であった¹⁾。

(2) 水張試験時の計測結果

常時の RC リングに最大荷重が作用するのはタンクが満油になった状態と考えられ、水張試験は油の代わりに水を最高油位まで注水する試験である。計測結果について述べる前に現在設計で考へている方法²⁾で推定される水張荷重による RC リングの鉄筋・コンクリートの発生応力を計測結果と比較しやすいように示しておく。

水張荷重は図-3のごとくリングに作用するものと最近は考えている。したがってリングを薄肉円筒膜と考えると、リング円周方向引張力 T は RC リング半径が 42.5 m であることから、

$$=12,42 \times 42,5 = 527,85 \text{ t}$$

となる。この引張力を鉄筋とコンクリートで負担する場合と鉄筋のみで負担する場合の2通りについて、それぞ

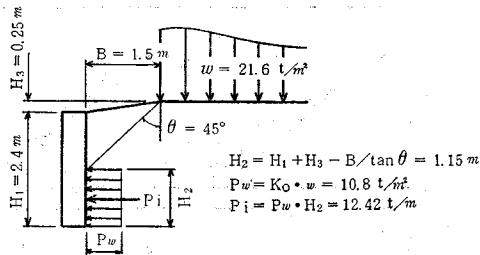


図-3 リングに作用する荷重

れの発生応力を求めてみる。

- ・鉄筋とコンクリートとが荷重負担する場合

材料試験の結果等より $E_c = 2.9 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, $E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ であり, $n = 7.2$, $A_c = 50 \times 240 = 12,000 \text{ cm}^2$, $A_s = 34 - D22 = 131.6 \text{ cm}^2$ を以下の式に代入することにより,

$$\sigma_s = nT/(A_c + A_s \cdot n) = 294 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{ct} = T / (A_c + A_s \cdot n) = 41 \text{ kg/cm}^2$$

- ・鉄筋のみで荷重負担する場合

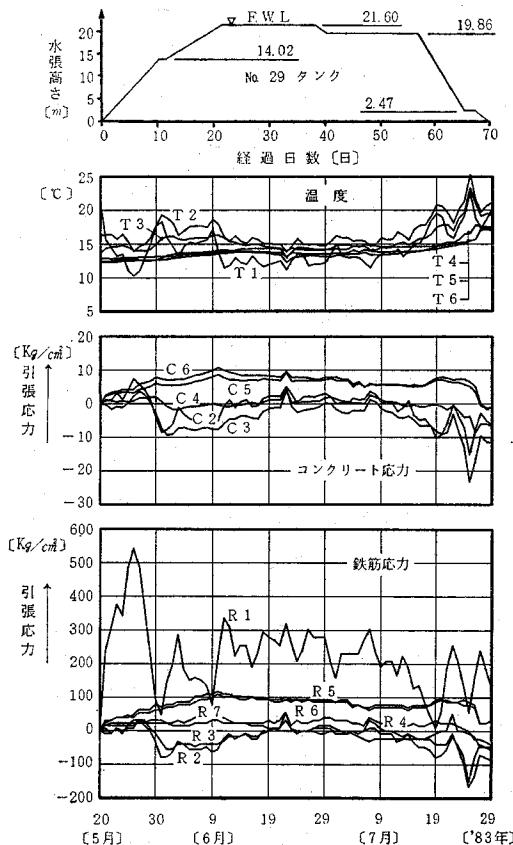


図-4 No. 1 測点水張試験時計測結果図

$$= 4011 \text{ kg/cm}^2$$

となる。

水張試験時の計測結果を水張開始直前を原点として整理し 図-4～図-6 に示す。これらの図をみると、水張試験時期が春から夏に向かう温度上昇期にあるため、水張試験前の計測結果で述べた現象と同じく、水張荷重が 21.6 t/m^2 という大きな値であるにもかかわらず、荷重増による鉄筋およびコンクリートの引張応力の増加よりも、温度上昇に伴う鉄筋およびコンクリートの引張応力が減少する傾向の方が卓越しているという現象が顕著にみられる。

一方、 21.6 t/m^2 という水張荷重に対して、RC リングに作用する最大土圧はわずか 1.6 t/m^2 程度であり、現設計法で考慮している静止土圧としての側圧よりもかなり小さな値を示している。ただし、図-4 および図-6において、水張期間中の鉄筋およびコンクリートの引張応力は図-5 における土圧計近くの計測測点のそれらの値よりも大きいことから、この土圧が必ずしも最大値

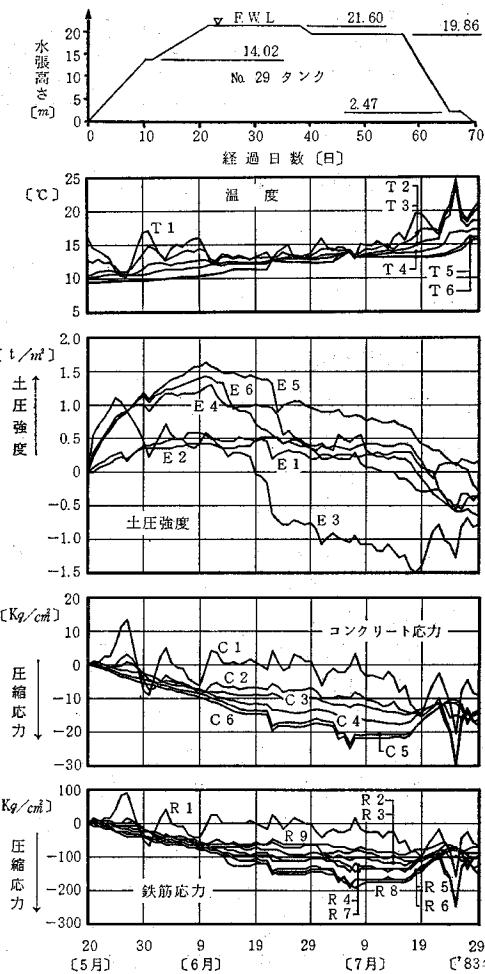


図-5 No. 2 測点水張試験時計測結果図

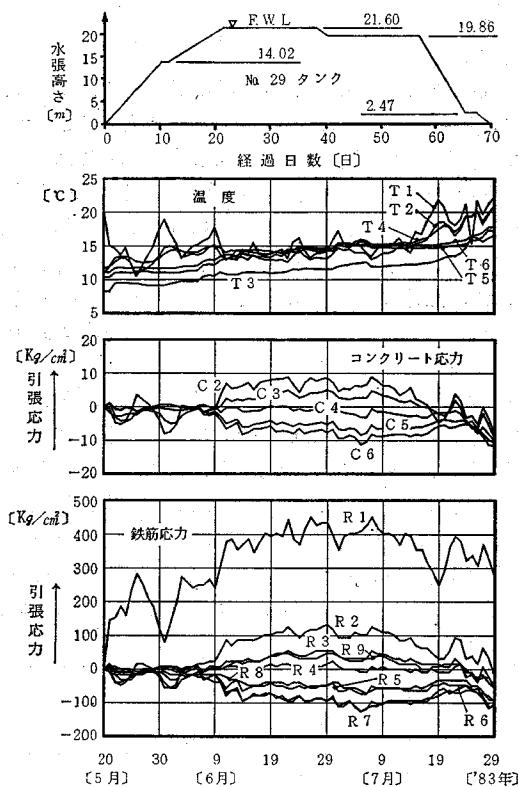


図-6 No. 3 測点水張試験時計測結果図

とはいえない。いずれにしても水張前の計測値と合わせると、土圧はリングの発生応力と同様に温度変化の影響を受けていることがわかる。

4. 計測結果の考察

計測結果より、RC リングの鉄筋およびコンクリートの発生応力および RC リングに作用する土圧は、温度変化に伴う RC リング変形挙動の影響を大きく受けていると考えられる。そこでまず計測結果を統計的に解析することにより、鉄筋応力・コンクリート応力および土圧強度がどの程度温度変化に支配されて発生しているのかについて検討してみる。

(1) 計測結果に基づく相関・回帰分析

a) 鉄筋応力と温度との相関・回帰分析

越冬後 ('82年3月20日) から水張試験前まで ('83年5月19日) の鉄筋応力計測データのうち、ヘーアクラックが入った測定点のデータを除いた鉄筋応力と温度との関係を散布図にまとめたものとして、図-7にNo. 2 測点に関するものを示す。散布図は対応する鉄筋計と温度計おののについて示してある。

次にこれらの散布図に基づき相関・回帰分析を実施した。これらの結果を表-1の中に示す。表-1より温度と鉄筋応力の相関係数は -0.9490~-0.9912 の範囲に

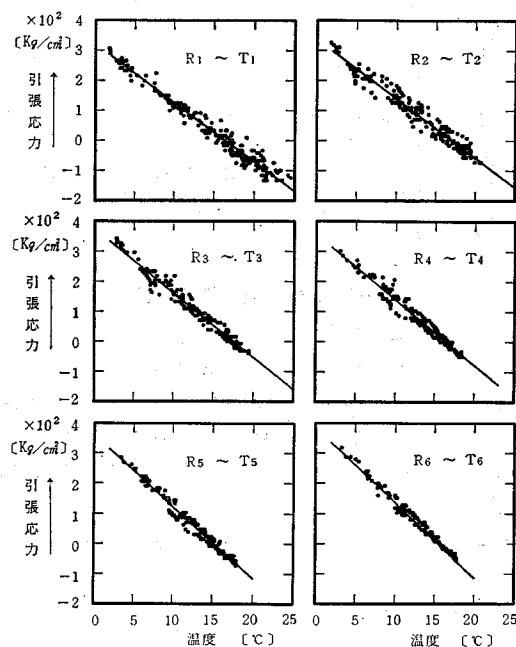


図-7 鉄筋応力～温度の散布図

あり、かつ、これに対する検定の結果から両者の間には非常に高い相関があることがわかった。このことはタンク自重が RC リングの発生応力にほとんど寄与していないことも、同時に示している。

b) コンクリート応力と温度との相関・回帰分析

鉄筋応力と同様の条件で実施した相関・回帰分析の結果について、散布図は同じく No. 2 測点のものを図-8 に、各測点の回帰式については表-1 中に示す。その結果、相関係数は -0.9536~-0.9956 であり鉄筋応力と同様温度と非常に高い相関があることがわかった。

c) 土圧強度と温度との相関・回帰分析

鉄筋応力・コンクリート応力と同様、温度変化以外には外力の影響がないと考えられる越冬後から水張試験前までの土圧強度計測データと温度変化との関係について散布図を作成し、相関・回帰分析を実施した。その結果例として RC リング内側土圧強度の散布図を図-9 に、また回帰分析の結果を表-1 中に示す。表より相関係数は E_s を除き -0.7511~-0.9360 となり、両者の間には高い相関があることがわかった。 E_s の土圧計のみ回帰分析の結果からは温度との相関がないことになるが、鉄筋応力、コンクリート応力および他の土圧計と温度との相関関係からして E_s 土圧計は相関関係がないというのではなく、設置時等に何らかの問題があったものと判断される。また鉄筋応力・コンクリート応力に比べリング下部にいくほど若干相関関係が低くなる傾向がみられる。このことは下部の土圧計の挙動には他の要因がいくらか入っている可能性を示している。

表-1 鉄筋応力・コンクリート応力・土圧強度～温度回帰分析結果一覧表

測点名 対象 計器名	No.2 測点			No.1 測点			No.3 測点		
	回帰式 A	B	相関係数 r	A	B	相関係数 r	A	B	相関係数 r
鉄筋 応力 温度	R1 ~ T1	-19.62	321.18	-0.9861	—	—	—	—	—
	R2 ~ T2	-19.72	337.09	-0.9791	-20.03	622.78	-0.9804	-32.89	519.14
	R3 ~ T3	-21.48	375.93	-0.9860	—	—	—	-28.28	559.90
	R4 ~ T4	-21.69	356.70	-0.9814	-22.78	588.21	-0.9894	-22.67	542.19
	R5 ~ T5	-23.83	361.14	-0.9847	-23.12	544.38	-0.9869	-27.30	604.20
	R6 ~ T6	-24.95	384.95	-0.9912	-25.30	602.48	-0.9695	-24.83	570.40
トントン 応力 温度	C1 ~ T1	-2.49	38.23	-0.9875	—	—	—	—	—
	C2 ~ T2	-2.45	36.22	-0.9794	-2.34	67.44	-0.9805	-2.68	58.54
	C3 ~ T3	-2.73	39.77	-0.9859	—	—	—	-3.08	60.44
	C4 ~ T4	-2.92	44.44	-0.9791	-2.67	64.59	-0.9832	-2.64	56.44
	C5 ~ T5	-3.21	46.29	-0.9841	-3.01	65.65	-0.9883	-2.94	62.56
	C6 ~ T6	-3.26	47.93	-0.9931	-3.29	72.10	-0.9686	-2.87	61.64
土圧 強度 温度	E1 ~ T3	0.0199	0.678	0.7511	—	—	—	—	—
	E2 ~ T6	0.0479	0.649	0.8144	—	—	—	—	—
	E3 ~ T1	-0.0905	2.088	-0.9360	—	—	—	—	—
	E4 ~ T3	-0.0468	2.181	-0.8573	—	—	—	—	—
	E5 ~ T4	-0.0071	1.179	-0.1823	—	—	—	—	—
	E6 ~ T6	-0.0338	2.304	-0.7749	—	—	—	—	—

(註) 1. 回帰式 $Y = A \cdot x + B$

2. 表中 — はコンクリートにクラックが発生している為に相関・回帰分析の対象外としたものを表わす。

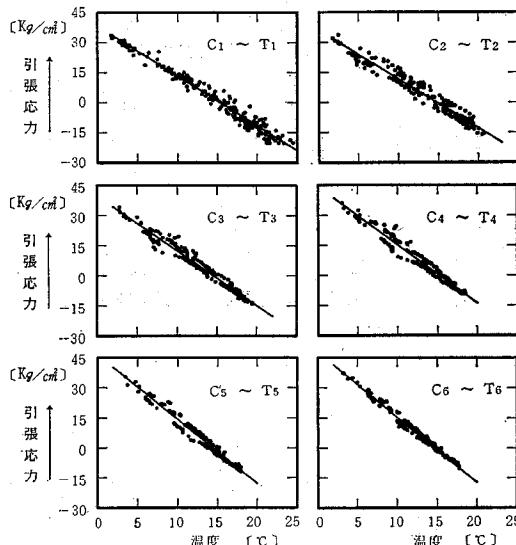


図-8 コンクリート応力～温度の散布図

リング上部の回帰式より温度変化 1°C 当たりの土圧強度の変化量は傾き B となり、 $-0.0905 \text{ t/m}^2/\text{°C}$ となる。したがって、夏冬で 23°C の温度変化を考えると、リング上部で 2.08 t/m^2 も夏冬で土圧は変動するといえる。

以上のごとく計測結果を統計的に処理した結果、RC リングの鉄筋・コンクリートの発生応力および土圧強度とも温度の影響を大きく受けているといえる。

ところで、一般にコンクリートは温度変化を受ける場合、打設直後のコンクリートが固まり定温となった状態を原点と考えると、コンクリートは温度が高くなると伸び、温度が低くなると縮む。したがって RC リングの挙動に影響を受ける土圧のうち内側土圧は、冬季に RC リ

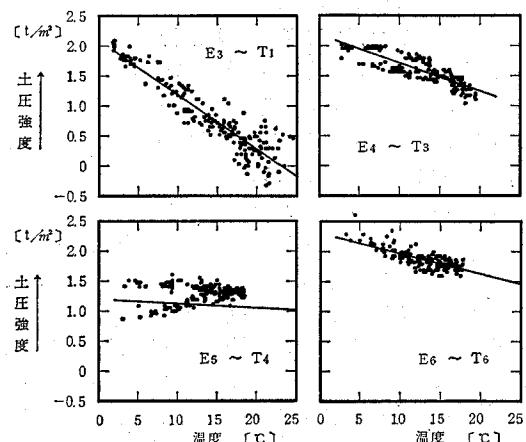


図-9 土圧強度～温度の散布図

ングが縮む際には増大し、夏季に伸びる際には減少し、外側土圧はその逆の動きになることが予想され、計測結果もそのとおりであった。

一方、鉄筋応力およびコンクリート応力の計測で、冬季の温度降下により RC リングのコンクリートは縮むのに鉄筋・コンクリートとともに引張応力が増大し、夏季の温度上昇によりコンクリートが伸びるのに鉄筋・コンクリートとともに引張応力が減少している計測結果が得られた。これは次のように考えると説明できる。図-10 に示すごとく、RC リングが伸びた夏の状態 (A) から、冬に RC リングが縮む現象を考える。温度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 RC リングが自由に変形できれば “O” である。

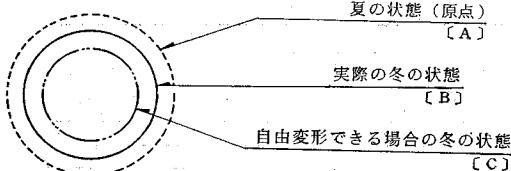


図-10 RC リング変形概念図

ところが何らかの拘束により B の状態までは RC リングは温度が下がっても変形できないため、鉄筋およびコンクリートは、見掛け上、C の状態から B の状態まで伸びさせたことになり、引張力が発生することになる。したがって、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は引張力が作用することになる。

これを確認するために、実測データをもとにシミュレーション解析を実施し、このような挙動を解析上も生ずるのか否かを検討してみる。

(2) RC リングの温度 FEM 解析

温度の計測結果より夏季から冬季に至る際の温度降下を RC リングの断面について 6 ブロックに分けて算出し表-2 に示す温度条件を設定し、図-11 に示すような解析モデル化を行い軸対称三次元 FEM を用いてシミュレーション解析を実施した。解析に用いた RC リングおよび地盤の各定数を図-11 中に示した。地盤定数、材料の物性については現地で試験したものはその値を、その他は一般的に使用されているものを用いた。

解析結果のうち RC リング付近の変形状況を図-12 に、RC リングの変位および RC リングに発生しているコンクリート応力を図-13 中に a として示す。全期間にわたる計測結果において夏季と冬季の温度差は RC リング上部では 3 測点を平均すると 23°C であり、その際のコンクリートの引張応力増加はヘーアクラックの入っている測定点を除いて考えると約 $60 \text{ kg}/\text{cm}^2$ である。これに対してシミュレーション解析によると、コンクリートの発生引張応力は $40 \text{ kg}/\text{cm}^2$ となっている。また、リング下部の計測結果は温度降下が 16°C に対してコンクリート引張応力は約 $40 \text{ kg}/\text{cm}^2$ の増加となっているのに対し、解析結果ではコンクリート引張応力は $30 \text{ kg}/\text{cm}^2$ となった。リング上・下部ともに計測結果に比べ解析値の方が引張応力は 3 割程度小さいが、引張応力発生の傾向は一致している。

したがって計測結果、シミュレーション解析結果の双方より、実測と解析との値そのものには差があるものの RC リングは、夏季から冬季への温度降下により収縮するにもかかわらず、RC リング部材には間違いなく引張力が作用しているといえる。解析の方の値が、拘束度が小さい結果となったのは、解析を弾性解析で実施したた

表-2 温度入力条件

要素番号	温度降下 $\Delta t (\text{ }^{\circ}\text{C})$	熱膨張係数 $\alpha (1/\text{ }^{\circ}\text{C})$
①	23	1.0×10^{-5}
②	23	1.0×10^{-5}
③	21	1.0×10^{-5}
④	18	1.0×10^{-5}
⑤	18	1.0×10^{-5}
⑥	16	1.0×10^{-5}

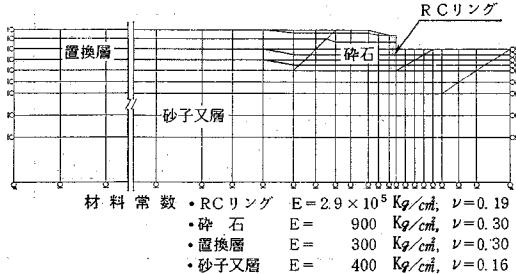
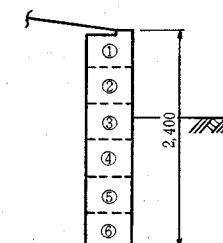


図-11 FEM 解析モデル図

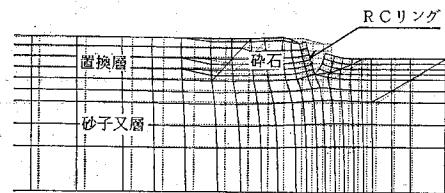


図-12 FEM 解析結果 RC リング付近変形図

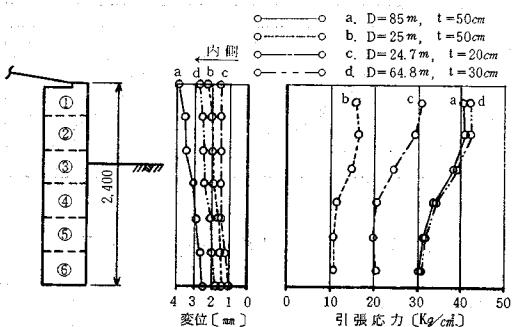


図-13 リング変位およびリングコンクリート発生応力図

め、すべての土の要素が動いたためと考えられ、実際に碎石リングの部分だけでリングの変形を拘束しているものと考えられる。

温度応力は周知のごとく何らかの拘束がなければ発生しない。タンク基礎の場合、その拘束を与えているものが何か、また拘束状態がどの程度かについて、次に検討する。

(3) RC リングの拘束度

(1) で実施した回帰式の結果より温度変化 1°C 当たりの鉄筋応力の変化量は傾き B であるため、鉄筋応力は温

度変化 1°C 当たり $-19.62 \sim -32.89 \text{ kg/cm}^2/\text{C}$ (表-1) であることがわかる。同様にコンクリート応力は $-2.34 \sim -3.29 \text{ kg/cm}^2/\text{C}$ である。

温度変化により鉄筋に発生する応力 σ_s の一般式は次式で表わせる。

同様に温度変化によりコンクリートに発生する応力 σ_a の一般式は次式で表わせる。

ここで R は拘束度で拘束なしでは $R=0$, 完全拘束されている場合 $R=1$ となる. E_s , E_c および α_s , α_c はそれぞれ鉄筋・コンクリートのヤング係数, 線膨張係数である. また, ΔT は温度変化量である.

そこで、式(5)に $E_s=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, $\alpha_s=1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$, $\Delta T=1^\circ\text{C}$ を代入すると、回帰式の結果より $\sigma_s=19.81 \sim 32.89 \text{ kg/cm}^2$ であるから、拘束度 R が求まる。その結果は $R_s=0.93 \sim 1.57$ となる。同様に式(2)に $E_c=2.9 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$, $\alpha_c=1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$, $\Delta T=1^\circ\text{C}$, および回帰式の結果より $\sigma_c=2.34 \sim 3.29 \text{ kg/cm}^2$ を代入することにより、拘束度 $R_c=0.81 \sim 1.13$ となる。鉄筋・コンクリートの E_s , E_c や α_s , α_c にばらつきがあることを考慮すれば、RC リングの鉄筋およびコンクリートは、ほぼ完全拘束状態で温度変化を受けていると計測結果からは評価してさしつかえないことがわかる。なお表-1を細かくみると RC リングの下部に向かって鉄筋・コンクリート応力とも拘束度が高くなる傾向があることがわかる。

次に、このRCリングの拘束要因が何であるかを検討する。

(4) RC リングの拘束要因

RC リングの温度変化に伴う自由変形を拘束する要因として考えられるものとしては、リングコンクリートの剛度、リング下面の摩擦、リング側面の土がある。この中でリング下面の拘束が実際に効いているとすれば、計測結果の円周方向発生応力から考えて RC リングにかなりの縦曲げが生じ、リング縦方向鉄筋に大きな応力が生じているはずであるが、計測結果をみるとほとんど応力は発生していない。したがってリング下面の摩擦は無視できる。そこでコンクリートの剛度の影響の有無を確認するために前述の温度降下に伴うコンクリート応力のシミュレーション解析に用いたモデル(図-11)において土の RC リングに対するすべての拘束をはずした、すなわち RC リングを空中に浮かした状態で、表-2 の温度条件を入力する解析を試みた。その結果、RC リングには何ら応力が発生せず、コンクリートの剛度もリング拘束に全く寄与していないことがわかった。以上よりリングを拘束している要因としてはリング側面の土というこ

とになる。

今回の計測リングはリング径 $D=85\text{ m}$, $t=50\text{ cm}$, $H=2.4\text{ m}$ と実際上地上タンクでは最大規模のリングである。そこで問題となるのはタンク径の小さいリングでも今回の計測結果と同様な拘束状態（計測結果では完全拘束）が生じるのかということである。そこで先の解析に用いたモデルでリング径のみを小さくする解析を試みた。この場合、予測としては置換層の部分が少なくなることおよびリング径が小さくなるために見掛けの土の弾性係数が上がることにより拘束度が大きくなり、その結果、先の解析結果のリング発生応力（図-13 の a）より大きな発生応力値が得られ、実用上は計測結果と合わせ考えた場合、すべてのタンクで完全拘束の温度応力が発生すると考えてよいのではないかと考えた。しかし、 $D=25\text{ m}$ として解析した結果は図-13 の b に示すごとく発生応力が a より小さくなった。

リングの変形は次式³⁾に示す K_c (以下リングばねと称す) の大きさに支配されるため、リングの剛度が発生応力に影響するのではないかと考え、次に同じモデルで RC リングの厚さを $t=20\text{ cm}$ として解析した。

ここで、 E_c ：コンクリートの弾性係数

t：リング厚

r : リング半径

結果は図-13中のcであり、bの場合より発生応力が大きくなつた。つまり、リング径が小さくなることによるリング側面の土の見掛けの弾性係数の増加よりも径が小さくなることによるリングばねの増加の比率の方が大きかったことがいえ、ほぼ、このリングばねの値が発生応力の大小を支配しているといえる。以上のことより、RCリングの拘束要因としてはリング側面の土のみが寄与し、その際のリング発生応力の値はリングの剛度が小さいほど大きくなるといえる。このことを確認する意味でaの解析で用いたリング剛度と等しい K_c (リング径 $D=64.8\text{ m}$ 、リング厚 $t=30\text{ cm}$)になるモデルで実施した解析が図-13のdであり、結果はリングばねが等しいため、発生応力はほぼ等しい値となった。若干dの値が大きいのはリング径がaに比べて小さい分、リング側面の土の見掛けの弾性係数がaの状態に比べて大きいためである。

5. ま と め

計測結果に基づく RC リングに与える温度の影響に対する種々の検討により、次のことがわかった。

(1) RC リングへの作用土圧および RC リングに発生する応力は、温度の季節変化に応じた周期性をもつ。

(2) RC リングは夏に伸び冬には縮む。その際、土

圧強度は RC リングの伸縮に伴い変化し、リング内側の土圧強度は夏に小さく、冬に大きな値を示し、リング外側の土圧強度は内側と逆の動きとなる。

(3) RC リングに発生する応力は、鉄筋、コンクリートとともに打設コンクリートの硬化時点を原点とした場合、温度が高くなると圧縮応力となり、低くなると引張応力となる。その際の応力の大きさは、実測結果では RC リングが温度に対し完全拘束されているとみなして求めた値と等しい。

(4) RC リングの温度変化による応力に対する拘束条件には、RC リング側面の土が寄与しており、リングの剛度、リング下面の摩擦抵抗は無視できる。

(5) リング側面の土の拘束によりリングには温度変化による応力が発生するが、その発生応力の大きさはリング剛度（リングばね）に支配され、リング剛度が大きいほど温度変化による応力は小さくなる。

6. おわりに

今回の長期計測結果に基づく研究により、RC リングの挙動に与える温度の影響について貴重な知見を得ることができた。これは現在行われている設計の中では何ら

考慮されていない要因である。今後さらに、このデータの中に含まれていると思われるリングの挙動に関する他の要因についても研究し、RC リングの挙動解明につなげていきたいと考えている。

最後に、計測計画段階から計測完了まで、ご多忙の身にもかかわらず、終始暖かいご意見、ご指導をいただいた東京理科大学 福岡正己教授、先見の明をもって、本計測の実施に努力していただいたむつ小川原石油備蓄（株）建設課および清水建設（株）むつ小川原建設所の各位、本論文をまとめるにあたって貴重なご意見、ご指導をいただいた北海道大学 三田地利之教授および解析を手伝っていただいた清水建設（株）近藤 司、鈴木康夫君その他関係各位に対して、深謝の意を表する次第です。

参考文献

- 1) 吉澤・大森：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、土木学会論文集 VI, 1988 年 3 月。
- 2) 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. 91～93, 1983.
- 3) 土木学会編：構造力学公式集、技報堂出版、pp. 388, 1974.
(1987.10.26・受付)