

憐大林組 技術研究所 正員 ○野村 敏雄
同 正員 大内 一
同 武田 寿一

1. はじめに

(その1)で報告した軸対称回転体FEM非線形解析を鉄筋コンクリート製LNG地下貯槽に対して適用した。この種の構造物は通常運転時において土水圧等の実荷重に加え、温度荷重が作用する。この温度荷重については定常温度分布を得るまで貯液後数年を要することが、非定常熱伝導解析によって識られている。そこで、当構造物の長期間にわたる挙動をクリープ、ひびわれ等を考慮した非定常解析により明らかにし、温度応力設計に資することにした。

2. LNG地下貯槽の温度応力解析

2.1 荷重条件

作用温度は温度のみとし、凍結線を側壁外側1.0mとした場合の熱伝導解析を基に決定した。図-1に一般部における断面内の経時温度変化を示す。初期は急激な変化が予測されることから、解析上の取扱いとして、1, 3, 6, 12, 36ヶ月における温度分布を用い、各段階で増分温度は線形変化させて、これを与える事にした。

2.2 材料定数

表-1, 2に解析に用いた材料諸定数を示す。またコンクリートの単位クリープ関数は次式で表わされるものを用いる。

$$f(t) = \sum a_i (1 - e^{-b_i t})$$

式中の定数については、常温時(20℃)¹⁾と低温時(-30℃)²⁾についてそれぞれ算定した。

2.3 解析モデル

貯槽側壁を対象に、図-2に示す様な要素分割を行ない解析を実施した。地中壁及び底板の影響、そして周辺地盤の拘束効果は考慮しない。また側壁底部のみをローラ支承とした。

2.4 解析結果

解析は、(1)弾性解析、(2)クラック解析、(3)クラック+クリープ(常温特性)解析、(4)クラック+クリープ(低温特性)解析の計4ケースを行なって各々比較することにした。

1)ひび割れ 図-1は定常時におけるひび割れ状況である。ここに定常とは温度荷重作用後36ヶ月における状態をいうものとする。また図中、Radial Crackとは円周方向引張力 σ_θ による縦ひび割れであり、Circumferential CrackとはRZ面内での応力によるひび割れである。ひび割れは内面での温度低下が10℃～20℃(内外面温度差10℃～15℃、約1ヶ月後の状態に対応)で発生し、2～3ヶ月程度で進展

表-1 材料諸定数

材 料	弾性係数E(kg/cm ²)	線膨張係数 α ($1/^\circ\text{C}$)	ポアソン比 ν
コンクリート	2.7×10^5	1.0×10^{-5}	1/6
鉄 筋	2.1×10^6	"	---

表-2 コンクリートのクリープ係数

クリープ定数	定 常 温 (20 $^\circ\text{C}$)	低 温 (-30 $^\circ\text{C}$)
a _i (1/E _i)	1 0.4245 $\times 10^{-6}$	0.5036 $\times 10^{-6}$
	2 0.1712 $\times 10^{-6}$	0.1806 $\times 10^{-6}$
	3 0.8486 $\times 10^{-6}$	0.3501 $\times 10^{-6}$
	4 1.1517 $\times 10^{-6}$	---
b _i (E _i / η)	1 0.46	0.65
	2 0.046	0.065
	3 0.0046	0.0065
	4 0.00046	---

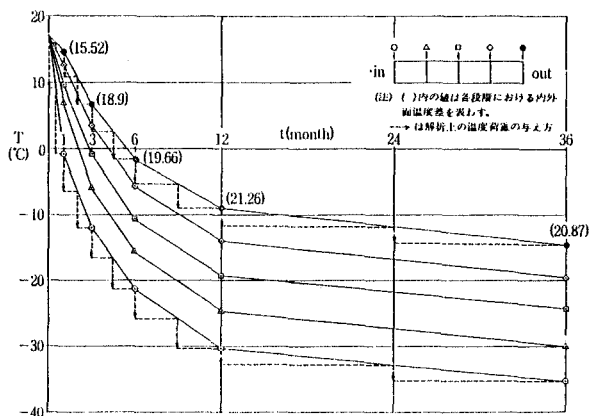


図-1 一般部における断面内温度分布の経時変化

しなくなる。これは断面内の温度勾配が初期（約1ヶ月）において急激に大きくなるが、その後はあまり変化せず、一様に低下していく事に起因すると考えられる。またクラック解析に比しクラック+クリープ解析の場合は、クリープにより引張応力も緩和され、その結果ひび割れは明らかに押えられると言える。

2) 温度曲げモーメント 図-4に一般部における温度変化と曲げモーメントの関係を示す。各時間ステップ内における断面内温度分布形状の違いにより弾性解析においてもモーメント変化は一様ではなく、温度勾配変化に対応してゆるやかに増加する傾向にある。これに対してクラック+クリープ解析ではひび割れの発生やクリープによりモーメントは増加が押えられ、1~3ヶ月段階以後での変化は少ないと言える。また定常時においてクラック解析値 ($M \approx 322 \text{ tm/m}$) と比較した場合、常温クリープ特性を用いた場合にはその低下率は大きく ($M \approx 303 \text{ tm/m}$)、低温特性を用いた場合には逆の結果になっている。 ($M \approx 355 \text{ tm/m}$)。これは前者の場合、クリープの影響が応力緩和に若干大きく寄与しているものと考えられる。

3) 断面力分布 図-5は各断面力分布を示したものである。クラック解析及びクラック+クリープ解析の間には、ひび割れ発生状況、応力度には相違が生じるが、断面力については両者の間に大きな差異は認められず、曲げモーメントは弾性に比し総じて50~60%になっている。

3. あとがき

前述の様な軸対称回転体非線形温度応力解析を実施し、検討した結果と今後の課題を以下に示す。

1) 内面付近での温度低下が10℃~20℃(基準温度18℃)という比較的初期段階(1~3ヶ月)でひび割れは発生し、その後の進展は比較的少ない。

2) クリープを考慮した場合、引張応力も緩和され、ひび割れ発生は押えられるが、温度曲げモーメントは常温及び低温クリープともにこれを考慮しないクラック解析値と定常時で大差なく、弾性モーメントの50~60%になっている。

3) 上記の結果は温度応力設計において、どの時点の温度分布を設計温度荷重とするか、またクリープの影響をいかに考えるべきか、という点で重要な意味を持っている。これらについては現在結論を述べることは差し控え、他の荷重との組合せや、材料強度、弾性係数等の物性の温度依存性を考慮した解析的スタディを待つことにしたい。

参考文献

- 1) Conite Euro-International du Béton (CEB) 1978: CEB-FIP Model Code for Concrete Structures
- 2) 国島他: 低温下におけるコンクリートのクリープ特性について, 土木学会年講 1976

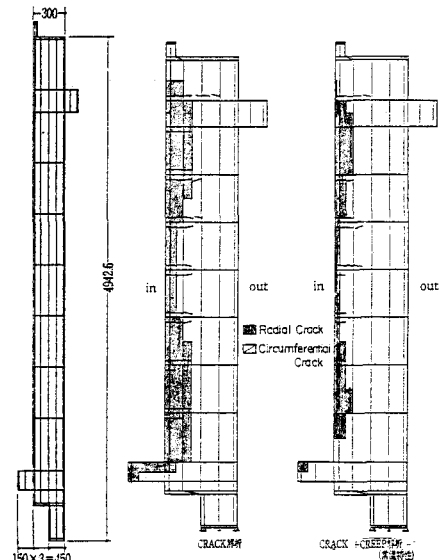


図-2 要素分割

図-3 ひび割れ状況

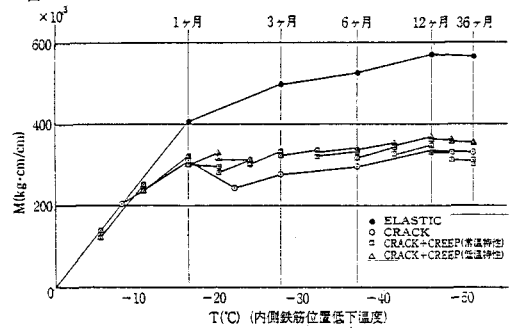


図-4 構造物の温度変化と曲げモーメント

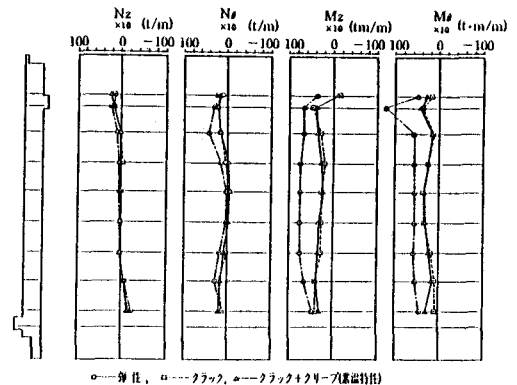


図-5 断面力分布

曲げモーメント: 内側引張を正
軸力: 引張を正