

VI-39

埋設式LNG地下タンクにおけるRCドーム屋根の設計

鹿島建設土木設計本部 正会員 深田 敦宏\*<sup>1</sup>  
 東京ガス生産技術部 正会員 中野 正文\*<sup>2</sup>  
 東京ガス生産技術部 正会員 宮崎 信一\*<sup>2</sup>  
 石川島播磨重工業プラント事業部 鈴木 英憲\*<sup>3</sup>

1. はじめに

東京ガス(株)扇島工場では現在、容量 20 万 KL の埋設式LNG地下タンクを建設中である。本タンクは屋根全体を地表面以下とする完全埋設式となっているため、屋根は覆土荷重に耐えうる構造とする必要があり、従来の鋼製に代わり鉄筋コンクリート（RC）製となっている。

本論文では、本タンクの屋根の設計について報告する。

2. 構造概要

本タンクは図-1に示すとおり、内径 72m、液深 49.2m、容量 20 万 KL である。RC屋根はスパン 72m の低ライズドーム形式（ライズスパン比：1/10）であり、中央で 1.0m、端部で 2.0m の厚さを有している。屋根の強度部材は前述のとおりRC構造であるが、RC屋根施工（エアサポート工法）のための型枠としてRCの下面に仮設鋼製屋根が設けられている。また、仮設鋼製屋根の部材を小さくするために、RC屋根の打設は 2 層に分割して行った。

3. 仮設鋼製屋根の設計

鋼製屋根は、RC屋根打設をエアサポート工法で行うための仮設部材であり、貯槽内に空気圧を作用させた場合の気密部材とコンクリート打設時の型枠材として用いられる。

RC屋根の設計において主筋のかぶりを 100mm としたため、施工性を考慮し屋根板の上面に設ける骨部材は H-100 とした。エアサポート工法では、コンクリートの打設厚さに対して作用させる空気圧が変わり、空気圧の大きさに屋根板の厚さが決定される。本貯槽では、RC屋根を 1 回で打設する場合、20mm 程度の屋根板厚が必要となるが、2 層に分割施工し、1 層目 50cm のみを鋼製屋根で支保することで、7mm 厚とした。

上記により鋼製屋根の部材寸法を設定したため、従来の鋼製屋根に比べて剛性が小さくなっており、設計上座屈の問題が避けられなくなった。

そこで、表-2に示す各状態について許容応力度法による応力度照査および座屈に対する検討を行った。施工時の許容応力度の割増しとして長期の許容値の 1.25 倍を考え、3 次元 FEM 解析により得られた断面力より応力度照査を行い安全性を確保した。また、座屈に対しては、線形固有値解析により座屈に対する検討を行った。従来の本設の鋼製屋

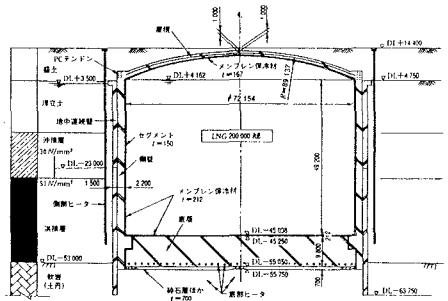


図-1 構造概要

表-1 主要材料（屋根）

| 材 料    | 仕 様                      | 数 量                 |
|--------|--------------------------|---------------------|
| 鋼 材    | SLA360                   | 700t                |
| 鉄 筋    | SD345                    | 1,600t              |
| コンクリート | f'ck=30N/mm <sup>2</sup> | 6,000m <sup>3</sup> |

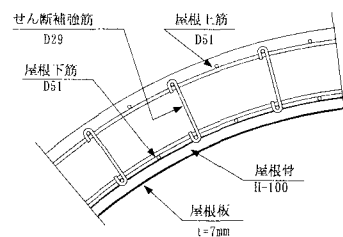


図-2 屋根構造

表-2 検討項目（鋼製屋根）

|          |                  |
|----------|------------------|
| 組立時      | 底版上での組立時         |
| エアレイジング時 | 浮上中              |
| エアサポート時  | 空気圧のみの状態         |
|          | 鉄筋組立中            |
|          | コンクリート打設中(9STEP) |

キーワード：コンクリート製ドーム屋根，エアサポート，エアレイジング，座屈

- \* 1 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30  
 \* 2 〒230-0055 神奈川県横浜市鶴見区扇島 4-1  
 \* 3 〒135-8733 東京都江東区豊洲 3-2-16

TEL:03-5561-2111 FAX:03-5561-2154  
 TEL:044-392-7182 FAX:044-287-2180  
 TEL:03-3534-3102 FAX:03-3534-2330

根は、座屈に対して固有値を9以上とすることで安全性を確保していたが、今回の屋根は低ライズで従来の評価式の適用範囲外であり、また中央がフラットな構造で完全な球体でないこと等を考え、従来よりも大きな固有値（20以上）を確保することとした。

#### 4. RC屋根の設計

本タンクにおけるRC屋根の設計は、完成した状態の設計に加え施工時の諸検討を行っている。主な検討項目は以下のとおりである。

##### ①完成後の検討

- ・常時、地震時の検討（応力度、耐力）
- ・構造安定性に対する検討（座屈）

##### ②施工時の検討

- ・施工ステップを考慮した検討（応力度、耐力）
- ・構造安定性の検討（座屈）

上記検討項目のうち、施工時の検討について以下に示す。施工ステップを考慮した検討では、除圧時、2層目打設時、完成時について1層目のコンクリートに作用している先行応力を考慮した形での応力照査並びに完成した状態については終局限界状態の照査を行い、安全性を確認した。また、2層目コンクリート打設時の座屈を含む構造安定性の検討として、材料および幾何学的非線形を考慮した耐荷力照査を行った。なお、解析モデルは工事中の資機材搬入用開口部を考慮した穴あきモデルとした。

応力ならびに耐荷力の照査では工事用開口部周辺で鉄筋の補強が若干必要となった。

また、構造安定性に対する検討では、線形固有値解析により2層目打設終了時が最も厳しい状態となることがわかったため、この状態について解析を行った。解析の結果、2層目コンクリート重量の3.44倍の荷重を載荷した状態で断面破壊を生じ、座屈現象を起こさない安定した構造であることを確認した。

#### 5. おわりに

本タンクの屋根工事は1998年8月に仮設鋼製屋根のエアレイジングを行い、11月に1層目のコンクリートを、また、1999年2月に2層目のコンクリートを無事打設完了し、現在2000年6月のタンク完成に向けて断熱材などの内装取り付け工事等が進められている。

本論文が今後の同種工事への参考になれば幸いである。

参考文献 1) 宮崎他：完全埋設式LNGタンクにおける鉄筋コンクリートRC屋根の構築概要，土木学会第54回年次学術講演会，1999

2) 社本他：エアレイジング工法による埋設式LNGタンク屋根の施工，土木学会第54回年次学術講演会，1999

3) 小河他：エアサポート工法を利用した埋設式LNG地下タンクRC屋根の施工，土木学会第54回年次学術講演会，1999

表-3 検討結果（鋼製屋根）

| 状 態      | 最大応力判定値 |      | 最 小<br>固有値 |
|----------|---------|------|------------|
|          | 屋根板     | 屋根骨  |            |
| 組立時      | —       | 0.82 | 20         |
| エアレイジング時 | —       | 0.53 | 22         |
| エアサポート時  | 0.34    | 0.93 | 28         |

注）応力判定値：発生応力度／許容応力度

表-4 RC屋根の検討ステップ

|        |                       |    |
|--------|-----------------------|----|
| STEP1  | 1次プレストレス導入時           | *1 |
| STEP2  | 内圧除荷時                 |    |
| STEP3  | 2層目コンクリート打設時（外周部約1/3） |    |
| STEP4  | ”（外周部約2/3）            |    |
| STEP5  | ”（打設終了時）              |    |
| STEP6  | 2次プレストレス導入時           | *2 |
| STEP7  | 工事用開口部コンクリート打設時       |    |
| STEP8  | 3次プレストレス導入時           |    |
| STEP9  | 覆土、盛土施工時（貯槽完成時）       |    |
| STEP10 | 完成後地震時                |    |

\*1：1層目コンクリートのみで抵抗

\*2：1層目の先行応力考慮

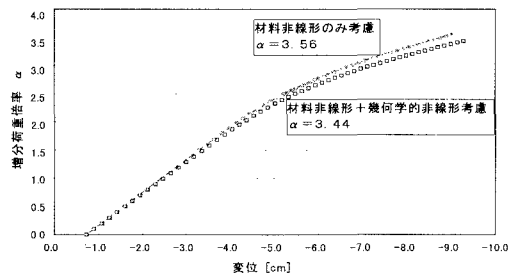


図-3 耐荷力解析結果  
（荷重倍率～鉛直変位）

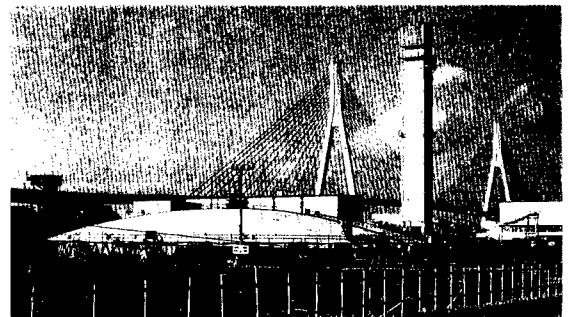


写真-1 屋根施工状況