

# ビーム型タンクコンテナ

## A Beam Type Tankcontainer



(化)技術部 設計第2課  
北村吉朗  
Yoshio Kitamura

A full frame beam type tank container has recently been developed and put into practical use. The aim of the development is to meet customers' demand for increasing the container volume beyond 21 m<sup>3</sup> and for better protection of the tank shell from damage caused by a road accident or rough handling by a crane.

The new design of full-frame container is expected to have an advantage of better protection when compared with our previous design "container having no roof rail" proposed in 1986.

### えがき

当社は1975年にタンクコンテナの製作を始めて以来タンクをサドルを介してフレーム底部で支えるフルフレームのドル型を製作してきた。そして1986年には軽量化と大容量用として、上部のルーフレールを取り省き（但し、ボトサイドレール付）、タンク重量を鏡部サポートリング及胴補強リングを介して前後のフレームで支え、タンクの部を強度メンバーとしたビーム型タンクコンテナを開発した。

ISO規格によって製作されるタンクコンテナにとってフレーム構造は、国際間の輸送において、ハンドリング必要というだけでなく、通常海上輸送、道路輸送、鉄輸送及び取扱における振動や衝撃等あらゆる外力からタンクを守るということと、事故や手荒い取り扱いからもタンクや保温を保護することの二つの重要な役目を果たしている。従って、長手方向の上部、下部にフレームのあるフルフレーム構造は特に危険物を運ぶタンクコンテナには求が多い。しかし一方では、コンテナの自重を軽くし、できるだけ積載重量を増やすため、上下長手方向フレーム省いたビームタイプも多く製作されている。

今回開発した20'×8'×8.6'の新ビーム型タンクコンテナは、タンク重量を鏡部サポートリングを介して前後エンドフレームで支える構造である。前回のビーム型で採用し、胴補強リングとエンドフレームとを結合する底部フレームは廃止し、ルーフレールとボトムサイドレール付きと

した、安全性重視で、大容量向きのフルフレームのビーム型タンクコンテナである。

### 1. ビーム型タンクコンテナの特徴

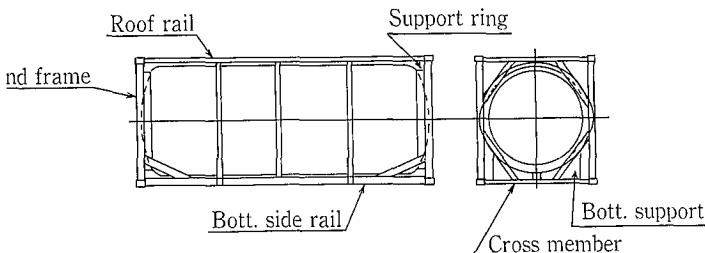
従来から製作してきたサドル型タンクコンテナ第2図と今回開発したビーム型タンクコンテナ第1図の特徴比較を次に示す。

#### 1.1 ビーム型の特徴

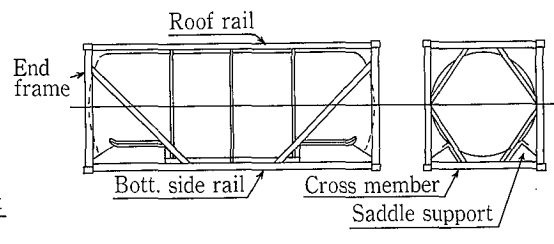
- (1) タンクは両鏡サポートリングを介してエンドフレーム全体で支える。
- (2) シャーシ荷重伝達はクロスメンバを介して、タンク底部のサポートで受ける。
- (3) タンクとエンドフレームは溶接結合による一体型である。
- (4) ルーフレール、ボトムサイドレールを含むフルフレーム構造である。（ルーフレールなしでも製作可能）
- (5) 21 m<sup>3</sup>を超える大容量のコンテナの製作が可能
- (6) 保温については、胴部と鏡部とはエンドフレームに接合し、鏡サポートリングで分離されている。鏡部保温はフレームとの一体形で、フラット面となる。

#### 1.2 サドル型の特徴

- (1) タンクは前後4箇所のサドルを介してボトムサイドレール、エンドフレーム、クロスメンバの底部フレームのみで支える。
- (2) シャーシ荷重伝達はクロスメンバを介してサドル端部で受ける。



1図 新ビーム型タンクコンテナ  
Fig. 1 New beam type container



第2図 サドル型タンクコンテナ  
Fig. 2 Saddle type container

第 1 表 ビーム型コンテナ供試体の仕様

Table 1 Specifications of beam type container specimen

|                      |                          |
|----------------------|--------------------------|
| ISO class            | 20'×8'×8'6" (ICC)        |
| IMO type             | Type 2                   |
| Nominal capacity     | 21 000 $\ell$ t          |
| Tank inside diameter | 2 200 mm                 |
| Tank overall length  | 5 824 mm                 |
| Shell thickness      | 3.2 mm                   |
| Head thickness       | 5.0 mm                   |
| Tank material        | SUS 316                  |
| M. A. W. P.          | 1.78 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Design pressure      | 2.46 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Max. gross mass      | 24 000 kg                |
| Tare weight          | 3 520 kg                 |
| Max. payload         | 20 480 kg                |

- (3) タンクとサドルはボルトによる結合
- (4) フレーム構造はフルフレーム型。ルーフレール、ボトムサイドレール及び斜めサイドフレーム付きのため安全性が高い。
- (5) 保温構造は胴部及び鏡部一体型でフレームから独立

1. 3 ビーム型コンテナの仕様

国際間で流通しているタンクコンテナは、20 ft. の長さのものが圧倒的に多く、容量では23 m<sup>3</sup> 以上、総重量は30.48 ton が主流である。国内では危険物輸送における規制があり、消防法では容量が20 m<sup>3</sup> と制限されているが、国際タンクコンテナについては20 m<sup>3</sup> 以上の容量が認められている。また、道路法では、最大積載量（コンテナ自重+積載物）が24 ton の規制がある。国内ユーザも国際専用タンクコンテナとしては容量の大きいものを望んでおり、また法規制についても国際情勢にあわせ、国内はもちろん海外からも規制の緩和が強く望まれている。

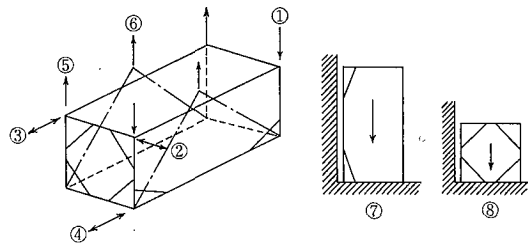
今回の開発はユーザニーズと将来の規制緩和を前提に、最大容量24 m<sup>3</sup>、総重量は30.48 ton を目標とした。ただし、実際の試作にあたっては、現在の標準コンテナにあわせ、容量を21 m<sup>3</sup>、最大総重量は24 ton（フレーム構造は30.48 ton）用とした。供試タンクの基本仕様は第1表に示す。

|      |                   |           |
|------|-------------------|-----------|
|      | 製作可能最大容量          | 製作可能最大重量  |
| ビーム型 | 24 m <sup>3</sup> | 30.48 ton |
| サドル型 | 21 m <sup>3</sup> | 24.0 ton  |

2. 荷重テスト（静的、動的荷重）によるフレーム強度確認

2. 1 静的荷重試験

従来のサドル型、ビーム型同様今回の新ビーム型タンクコンテナもISO、CSC条約（安全なコンテナに関する国際条約）及びその他規則に定められている荷重試験を行



- ① Stacking test (1.8 R×5/4) (6 stacks) = 54 000 kg
  - ② Lateral racking test = 15 240 kg
  - ③ Longitudinal racking test = 7 620 kg
  - ④ Longitudinal restraint test (2 R) = 48 000 kg
  - ⑤ Top lift test (2 R) = 48 000 kg
  - ⑥ Bottom lift test (2 R) = 48 000 kg
  - ⑦ Longitudinal internal restraint (R) = 24 000 kg
  - ⑧ Lateral internal restraint (R) = 24 000 kg
- R: Maximum gross mass = 24 000 kg

第 3 図 荷重試験概略図  
Fig. 3 Outline of load test

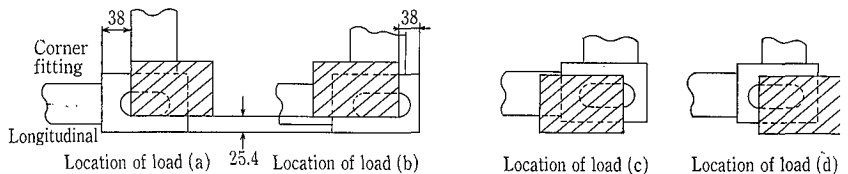
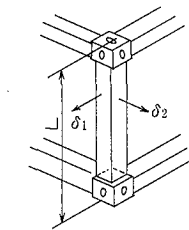
第 2 表 積重ね試験部材変形  
Table 2 Distortion of members in stacking test

| Load   | Location of load a |            |            | Location of load b |            |            |
|--------|--------------------|------------|------------|--------------------|------------|------------|
|        | $\delta_1$         | $\delta_2$ | $\Delta L$ | $\delta_1$         | $\delta_2$ | $\Delta L$ |
|        | 0                  | 0          | 0          | 0                  | 0          | 0          |
| 54 000 | +0.1               | +1.8       | -2.0       | +0.1               | +1.6       | -2.0       |
| 0      | -0.4               | 0          | 0          | -0.4               | 0          | 0          |

| Load   | Location of load c |            |            | Location of load d |            |            |
|--------|--------------------|------------|------------|--------------------|------------|------------|
|        | $\delta_1$         | $\delta_2$ | $\Delta L$ | $\delta_1$         | $\delta_2$ | $\Delta L$ |
|        | 0                  | 0          | 0          | 0                  | 0          | 0          |
| 54 000 | +0.2               | +2.0       | -2.0       | +0.3               | +1.8       | -2.0       |
| 0      | -0.4               | 0          | 0          | -0.4               | 0          | 0          |

Residual distortion  $\leq 3$  mm



い合格した。荷重試験の種類と荷重の大きさを第3図に示す。試験荷重は総重量24 ton が基準になっている。また、各試験荷重での歪みを測定し、強度の確認を行った。

1) 積重ね試験 (Stacking test)

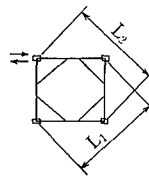
コンテナがコンテナ船に積み込まれる場合、一番下のコンテナは上に積まれた全コンテナの重量を直接受けることになる。従って、ISO及びCSCでは、通常6段積として、上5段分の重量と船体の動揺によって生ずる加速度分を加えて試験を行うことが規定されている。また、積み荷は少しずつずれて積まれている可能性があるため、コーナポストに荷重をかけるときは、長手方向に38 mm、横方向に25.4 mm、ずらして荷重をかけることになっている。それぞれ位置をずらしての荷重試験結果を第2表に示す。

2) 横ラッキング試験 (Lateral racking test)

コンテナが甲板上に2段あるいは3段と段積みされたコンテナは船のローリングや荒天時の転倒防止のため固縛されるので、下段のコンテナは横方向に荷重を受ける。その荷重を考慮した試験を行うため、下部隅金具を上下、左右前後に動かさないよう固定し、上部隅金具に横方向水平に圧縮と引張荷重を加える。試験結果については第3表に示す。

第3表 横ラッキング試験部材変形

Table 3 Distortion of members in lateral racking test



| Load   | Push        |             |                | Pull       |            |                |
|--------|-------------|-------------|----------------|------------|------------|----------------|
|        | $\Delta L1$ | $\Delta L2$ | $\Delta L1+L2$ | $\delta_1$ | $\delta_2$ | $\Delta L1+L2$ |
| 0      | 0           | 0           | 8.0            | 0          | 0          | 9.0            |
| 15 240 | +4.0        | -4.0        | 8.0            | -4.0       | +5.0       | 9.0            |
| 0      | 0           | 0           | 8.0            | 0          | 0          | 9.0            |

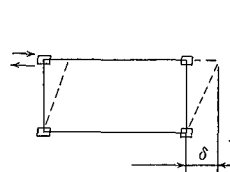
Diagonal distortion  $\leq 60$  mm

3) 長手ラッキング試験 (Longitudinal racking test)

横ラッキングと同様、船のピッチング時にコンテナの長手方向の力が前後エンドフレームに加わるため、この荷重を考慮した試験を行う。下部隅金具を上下左右前後に動かさないように固定し、上部隅金具に長手方向水平に荷重をかける。試験結果は第4表に示す。

第4表 長手ラッキング試験部材変形

Table 4 Distortion of members in longitudinal racking test



| Load (kg) | Push     | Pull     |
|-----------|----------|----------|
|           | $\delta$ | $\delta$ |
| 0         | 0        | 0        |
| 7 620     | 4        | 7        |
| 0         | 0        | 0        |

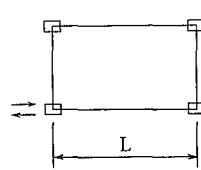
Distortion  $\leq 25.4$  mm

4) 長手緊縮試験 (Longitudinal restraint test)

コンテナをトラックや鉄道で輸送する場合、急発進、急停止によりコンテナ下部隅金具緊縮部に衝撃を受けるため、その荷重を考慮した試験を行う。コンテナ下部隅金具前後のどちらか一端を固定し、他端の隅金具に圧縮、引張の水平荷重をかける。試験結果については第5表に示す。

第5表 長手緊縮試験部材変形

Table 5 Distortion of members in longitudinal restraint test



| Load (kg) | Push | Pull |
|-----------|------|------|
|           | L    | L    |
| 0         | 0    | 0    |
| 48 000    | -2.0 | +2.0 |
| 0         | 0    | 0    |

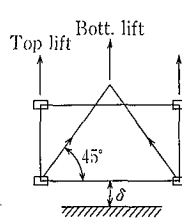
Residual distortion  $\leq 2.0$  mm

5) 上部吊上げ、下部吊上げ (Top and bottom lift test)

この試験はコンテナを吊り上げた時に隅金具がはずれたり、床フレームが曲がったり、落下したりしないよう試験を行う。また、吊り上げ時の加速度を考慮した試験を行う。試験結果については第6表に示す。

第6表 上部、下部吊上試験部材変形

Table 6 Distortion of members in top lift test and bottom lift test



| Load (kg) | Top lift | Bott. lift |
|-----------|----------|------------|
|           | $\delta$ | $\delta$   |
| 0         | 0        | 0          |
| 48 000    | +0.5     | +0.5       |
| 0         | 0        | 0          |

Redidual distortion  $\leq 3.0$  mm

6) 長手慣性試験・横慣性試験 (Internal restraint test)

この試験は、長手方向、横方向に加速度が働いている時、内容物の慣性が本体に及ぼす影響を考慮した試験を行う。試験結果については第7、8表に示す。

2 動的荷重試験 (Dynamic impact test)

[CTC (Canadian Transport Comission) 衝撃試験]

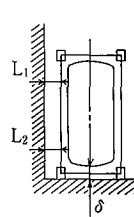
この規定はカナダでのあらゆる輸送に関する規程で、コンテナを鉄道輸送する場合もこの規定にかななければならない。この規定の衝撃試験は、コンテナを鉄道輸送する場合の発進、停止の際に起こる衝撃に耐えるかどうかを判定する試験である。

CTCの試験方法は、バッファ付きの台車を2両連結で固定車として設置し、タンクコンテナを積載した台車を駆動車で押して行き、規定のスピード (4 mile/h, 6 mile/h, 8 mile/h) で離し、固定車に衝突させる。衝突後コンテナに歪みや損傷がないこと、フレーム上面隅金具の両対角に測った寸法の変化が3mm以内であることが合格条件である。

当社では、5両の台車の代わりに、CTCの許可を得て、鋼材を積んだ1台の固定車にコンテナ積載台車を規定のスピードで衝突させる方法を行っている。今回の試験結果でも、コンテナの強度には問題ないことが確認され、合格の判定を得た。

第7表 長手慣性試験部材変形

Table 7 Distortion of members in longitudinal restraint

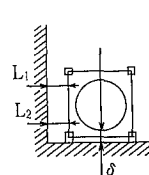


| Load (kg) | $\delta$ | L1    |      | L2    |      |
|-----------|----------|-------|------|-------|------|
|           |          | Right | Left | Right | Left |
| 0         | 0        | 0     | 0    | 0     | 0    |
| 24 000    | +4.2     | +1.0  | 0    | +1.0  | +0.5 |
| 0         | +0.1     | 0     | 0    | 0     | 0    |

$L_1, L_2 \leq 1.5$  mm  $\delta \leq 42$  mm

第8表 横慣性試験部材変形

Table 8 Distortion of members in longitudinal restraint



| Load (kg) | $\delta$ | L1    |      | L2    |      |
|-----------|----------|-------|------|-------|------|
|           |          | Right | Left | Right | Left |
| 0         | 0        | 0     | 0    | 0     | 0    |
| 24 000    | +1.8     | 0     | 0    | 0     | 0    |
| 0         | 0        | 0     | 0    | 0     | 0    |

$L_1, L_2 \leq 1.5$  mm  $\delta \leq 8$  mm

第 9 表 各種静的荷重試験における最大応力

Table 9 Maximum stress under load test

Dimension : kgf/mm<sup>2</sup>

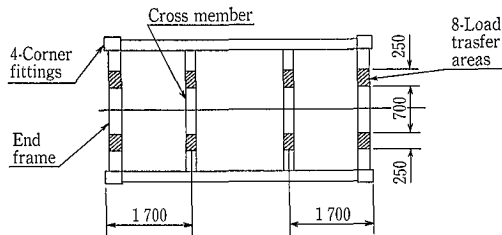
| Load tests                                       | Max. stress | All. stress | Member         | Location |
|--|-------------|-------------|----------------|----------|
| 1. Stacking (Case 1)                             | 19.7        | 31.8        | Corner post    |          |
| 2. Lateral racking (Comp.)                       | 21.3        | 23.5        | Top end rail   |          |
| 3. Lateral racking (Tens.)                       | 24.4        | 42.0        | Head           |          |
| 4. Longi. racking (Comp.)<br>(without/roof rail) | 32.6        | 42.0        | Head           |          |
| 5. Longi. racking (Tens.)<br>(without/roof rail) | 29.1        | 42.0        | Head           |          |
| 6. Longi. racking (Comp.)<br>(with roof rail)    | 12.1        | 16.5        | Roof rail      |          |
| 7. Longi. racking (Tens.)<br>(with roof rail)    | 16.9        | 36.0        | Roof rail      |          |
| 8. Longi. restraint (Comp.)                      | 9.3         | 22.5        | Bott. end rail |          |
| 9. Longi. restraint (Tens.)                      | 10.1        | 36.0        | Bott. end rail |          |
| 10. Top lift                                     | 2.9         | 36.0        | Support ring   |          |
| 11. Bottom lift                                  | 3.5         | 22.5        | Bott. siderail |          |
| 12. Inter. restraint (Longi)                     | 11.5        | 42.0        | Head           |          |
| 13. Inter. restraint (Lateral)                   | 9.1         | 42.0        | Support ring   |          |
| 14. Load for transfer area                       | 23.8        | 36.0        | Cross member   |          |

1. Allowable stress

$$3 \cdot S_m = 3 \times 14.0 = 42.0 \text{ kg/mm}^2$$

$$1.5 \sigma_y = 1.5 \times 24 = 36.0 \text{ kg/mm}^2$$

$$f_c = \text{Allowable buckling stress} = \frac{1.5 \{1 - 0.4(\lambda/\lambda_c)\} F}{\nu}$$



第 4 図 コンテナサポート位置

Fig. 4 Location of support

3. 静的荷重試験の歪測定

2. 1 項の 1) から 6) までの荷重試験での部材変形確認と同時に主要部材の歪測定を行い、応力換算し強度の確認を行った。第 9 表は各試験における応力の最大値であり、全て許容応力以下であった。

4. FEM解析による強度の確認

コンテナの強度の確認は、法的には C S C の静的荷重試験あるいは貨車による衝撃試験を行い、規定の残留歪以下であることが条件になる。しかし、プロトタイプ製作の時には、特に計算方法は指定されないが、静荷重試験及び動荷重に対する強度を確認した計算書の提出を求められる場合がある。

次の応力解析はタンクコンテナにかかる動荷重の検討を行ったものである。

4. 1 2 G の自重を荷した場合

IMDG CODE など各規定に定められた動荷重は、垂直下向きで 2 G の加速度とされている。このことから、この 2 G を荷重条件として解析を行う。この荷重を第 4 図に示すように、隅金具 4 箇所を支える場合 (CASE-1) とクロ

第 10 表 2 G の自重荷重応力解析結果

Table 10 Stress analysis under dynamic load of 2G

| CASE | Support                   | Head SI | Shell SI | 3·Sm | Frame SG | 1.5 σ <sub>y</sub> |
|------|---------------------------|---------|----------|------|----------|--------------------|
| 1-1  | Corner fitting            | 22.5    | 5.00     | 42.0 | 8.20     | 36.0               |
| 1-2  | Cross member<br>End frame | 11.7    | 8.68     | 42.0 | 10.3     | 36.0               |

Head thickness : 5.0 mm, shell thickness : 3.2 mm

3·Sm : Allowable stress of shell (SUS316)

$$3 \times 14.0 = 42.0 \text{ kgf/mm}^2$$

1.5 σ<sub>y</sub> : Allowable stress of frame

$$1.5 \times 24.0 = 36.0 \text{ kgf/mm}^2$$

スメンバ、エンドフレーム 8 点 (シャーシ荷重伝達面) で支える場合 (CASE-2) との二通りのケースで各部材の応力解析、疲労解析を行った。

1) 応力解析

最大応力の発生する箇所は、鏡ではサポートリング取付部、本体胴は底サポート取付部、フレームではクロスメンバのボトムサイドレールとの取付部に発生している。

解析の結果、その発生応力強さは、第 10 表に示すように許容応力強さ 3·Sm 以下である。また、フレームに発生する応力 SG も、全面降伏応力 1.5 σ<sub>y</sub> 以下である。

2) 疲労解析

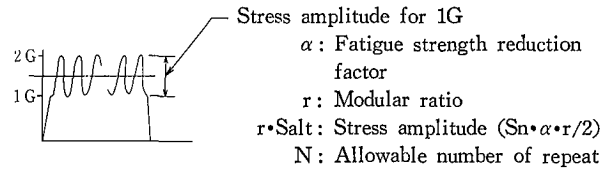
疲労解析は自重 1 G は一定とし、運搬中の振動による応力振幅は 1 G 分とした。従って、応力振幅 (Sn) は 1) の応力解析で求められた S I の 1/2 とする。フレームは最大主応力であり、最小主応力は 0 として SG = S I とする。

J I S 8250 (第 4 図 12.1, 第 4 図 12.2) の材料設計疲労曲線によれば疲労繰返し回数の最高値は 10<sup>6</sup> までであり、タンクコンテナにおいてはこの 10<sup>6</sup> を許容繰返し回数としており、解析結果では、第 11 表に示すように、いずれの部位においても許容繰返し回数以上である。

第 11 表 2G の自重負荷における疲労解析

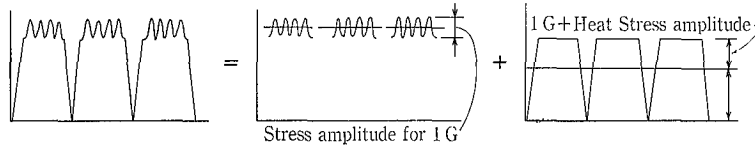
Table 11 Fatigue analysis under dynamic load of 2G

| CASE | Evaluated part | Sn   | $\alpha$ | r    | r•Salt | N       | n               |
|------|----------------|------|----------|------|--------|---------|-----------------|
| 1-1  | Head           | 11.3 | 2.75     | 0.95 | 14.8   | $>10^7$ | $1 \times 10^6$ |
|      | Shell          | 2.50 | 2.75     | 0.95 | 3.27   | $>10^7$ | $1 \times 10^6$ |
|      | Frame          | 4.14 | 2.75     | 1.08 | 6.15   | $>10^7$ | $1 \times 10^6$ |
| 1-2  | Head           | 5.85 | 2.75     | 0.95 | 7.64   | $>10^7$ | $1 \times 10^6$ |
|      | Shell          | 4.34 | 2.75     | 0.95 | 5.67   | $>10^7$ | $1 \times 10^6$ |
|      | Frame          | 5.15 | 2.75     | 1.08 | 7.65   | $>10^7$ | $1 \times 10^6$ |

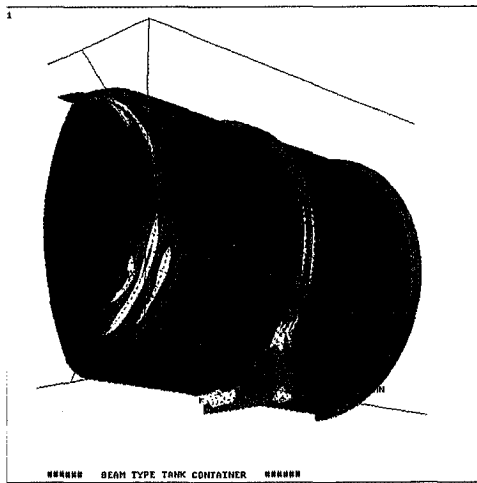


第 12 表 自重+熱荷重の疲労解析結果

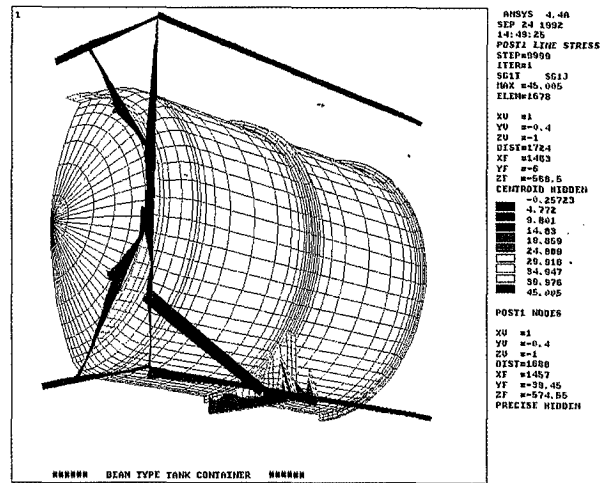
Table 12 Fatigue analysis



| CASE | Evaluated part | Sn   | $\alpha$ | r    | Ke   | r•Salt | N               | n               | Ui   | U    |
|------|----------------|------|----------|------|------|--------|-----------------|-----------------|------|------|
| 1-1  | Head           | 11.3 | 2.75     | 0.95 | —    | 14.8   | $8 \times 10^6$ | $1 \times 10^6$ | 0.13 | 0.21 |
|      |                | 42.5 | 2.75     | 0.95 | 1.04 | 57.7   | 2 500           | 200             | 0.08 |      |
| 1-1  | Shell          | 2.50 | 2.75     | 0.95 | —    | 3.27   | $>10^7$         | $1 \times 10^6$ | 0.1  | 0.11 |
|      |                | 23.7 | 2.75     | 0.95 | —    | 31.0   | 40 000          | 200             | 0.01 |      |
| 1-1  | Frame          | 4.14 | 2.75     | 1.08 | —    | 6.15   | $>10^7$         | $1 \times 10^6$ | 0.1  | 0.6  |
|      |                | 45.0 | 2.75     | 1.08 | 1.19 | 79.5   | 400             | 200             | 0.50 |      |



第 5 図 胴部の応力強さコンタ  
Fig. 5 Shell stress contour



第 6 図 フレームの応力強さコンタ  
Fig. 6 Frame stress contour

4. 2 1G の自重と熱荷重及び 1G 分の振動を荷負した場合

1) 応力解析

熱荷重としては、本体 100℃とし、フレームは 0℃の温度条件として解析を行ったものである。

解析結果では、本体に発生する応力強さは許容応力強さの 3•Sm を超える。また、フレームに発生する応力 SG も全面降伏応力 1.5σ<sub>y</sub> を超える。従って、簡易弾塑性解析を次項で行う (J I S 8250 では、簡易弾塑性解析により疲労解析が満足できるものであれば 3•Sm を超えても良いことになっている。) 第 5 図は胴部に発生する応力分布のコンタで第 6 図はフレームに発生する応力分布のコンタである。

2) 疲労解析

解析は二つの有意な応力サイクル、すなわち 4. 1 の 2) で評価した運搬中の振動及び熱応力発生時の自重と熱が負

荷されているため、この二つの応力サイクルで累積損傷を評価する。

この損傷評価としては、予想応力振幅における破壊までの繰返し回数を N とし、予想繰返し回数を n とすると、n/N で表される使用係数 U<sub>i</sub> の累積  $\sum U_i = U$  が 1 以下であることが必要である。解析の結果累積使用係数 U は、第 12 表に示すようにいずれも 1.0 以下である。

む す び

本来ビーム型コンテナの開発は、ビーム型にすることによって、コンテナ自体の自重を軽くし、積載重量を増やすことによって、輸送効率を高めることにあるが、反面世の中のニーズはより安全性を考えて、フレーム構造はフルフレームにという要求が強いため、メーカーとしてはやはり安全第一に考慮すると同時に、全体的にはできるだけ軽量化をめざさなければならないと考えている。