

軽 量 コ ン テ ナ

Light-Weight Tank Container

化工機事業部 技術部 技術第2課

西 村 馨
Kaoru Nishimura

ISO provides the maximum weight of the tank containers as 24 000 kgs. Thus, the lighter the tare weight of the tank container, the greater the payload for the tank container. This report describes the experimental results on the strength of tank container frames which have been made lighter by approximately 400 kgs.

当社のタンクコンテナはタンク部とフレーム部より構成されているが、当社はこのたびフレームの構成部材を節減し、形状をスリム化することによりタンクコンテナ全体の軽量化に成功した。ここでは軽量フレーム強度の実験結果を紹介する。

ま え が き

20フィートタンクコンテナ総重量は国際標準機構 (ISO) に 20 320kg と規定されている。ただし ISO では近く 24 000 kg に改正されることが予想される故、当社では 24 000 kg を標準としている。総重量 (Gross weight) = コンテナ自重 (Tare weight) + 積載重量 (Payload) であるから、自重の小さいコンテナほど多量の貨物を積むことができる。

したがって、すぐれたコンテナを設計するには、所定の強度を有した上で、いかに自重を減らしてタンクコンテナを軽量化するかにかかっている。タンクコンテナはタンク部およびフレーム部より成るが、タンク部は耐圧強度および各種規則に定められた最低板厚により、板厚が決定され各メーカーともほとんど差異はないが、フレーム部は各社とも設計に個性があり、種々の形状でそれぞれ重量が異なる。

当社はタンクコンテナのフレームの外のり寸法 19' - 10 1/2" (L) × 8' (W) × 8' 6" (H) のフレームについて軽量のタンクコンテナを試作し、荷重試験においてフレーム各部に取付けた歪ゲージを用いて強度を確認した。さらにフレームの隅柱下部に加速度計を取り付けて衝撃試験を行い、タンクコンテナの損傷の有無を目視で確認した。第1表は当社の新旧タンクコンテナの計算重量の比較を示したもので、約400kgの軽量化が達成された。写真1は完成した軽量コンテナを示す。

1. 荷 重 試 験

1.1 実験方法および項目

第1図に示す供試フレームに歪ゲージ (2軸ゲージ) を取付け、CSC条約 (安全なコンテナに関する国際条約) に定められた荷重試験第2表により、フレームの強度を確認した。歪ゲージで測定された歪は次式で応力換算した。

部材長手方向応力

$$\sigma_l = (2.15 \varepsilon_l + 0.65 \varepsilon_h) \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$$

テストは専用のテスト架台上で行い各荷重は油圧ラムで

第1表 新旧コンテナの重量比較 (計算値) 単位: kg
Table 1 Weight comparison of new and old containers (calculated) (Unit: kg)

	Frame weight	Tank weight	Total weight
New type	1 410	1 790	3 200
Old type	1 810	1 790	3 600

第2表 荷重テスト項目
Table 2 Load tests

	Load [kg]	Remarks
Stacking test	54 000	= 24000 × 1.8 × 5 × 1/4 ¹⁾
Lateral racking test	15 240	
Longitudinal stacking test	7 620	
Longitudinal restraint test	24 000	

Note 1) 6 stacks. Safety factor 1.8

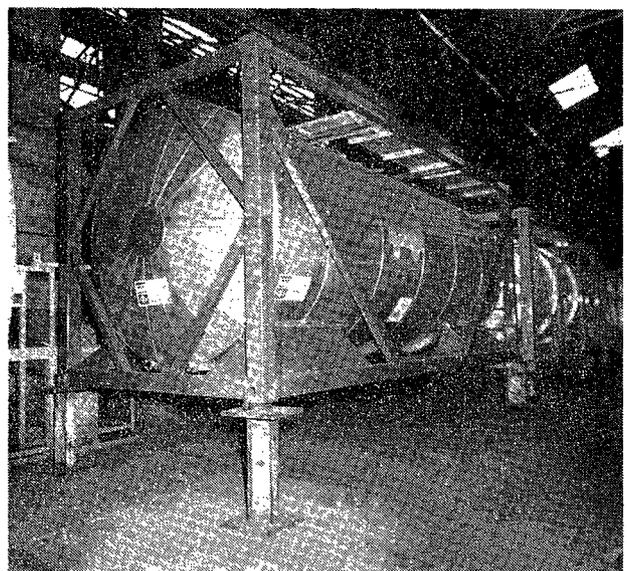


写真1 軽量コンテナ

Photo. 1 Light-weight tank container

負荷した。

荷重試験概略図は第2図に示す。

1. 2 実験結果

各荷重テスト時の部材長手方向の応力値を下記の表にまとめた。

- 1) 積重ね試験 第4表
- 2) 横手方向ラッキング試験 第5表
- 3) 長手方向スタッキング試験 第6表
- 4) 長手方向緊締試験 第7表

1. 2. 1 最大応力

各荷重試験において発生した最大応力を第3表に示す。

1. 2. 2 変形

型式認可試験における判定に用いられる部材変形の測定値を第7～10表に示す。測定にはダイヤルゲージおよび金尺を用いた。いずれの試験においても許容値内である。

1. 3 考察

荷重試験はコンテナの静的荷重に加えて輸送時に加わる負荷状態を想定して試験荷重が定められている。型式認定の際に荷重テストが実施されるが、合否の判定基準は各荷重テスト後の残留変形量で規定されている。また1.2.2に示すように型式認定試験に合格している。

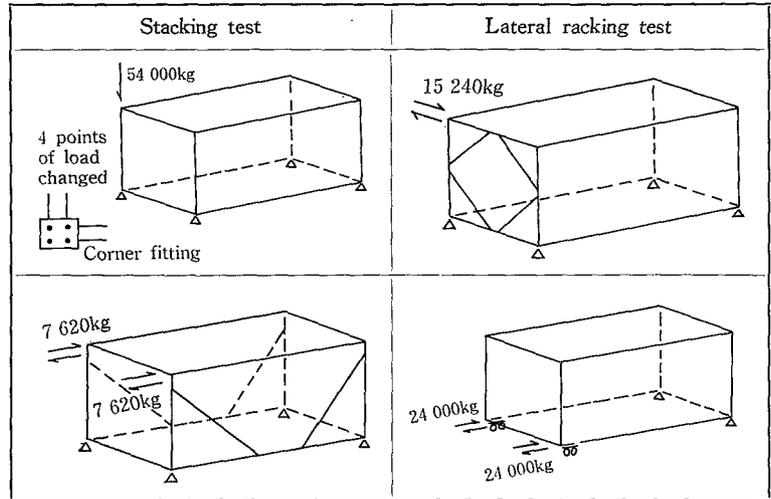
1. 3. 1 積重ね試験

積重ね試験における最大応力は隅柱下部

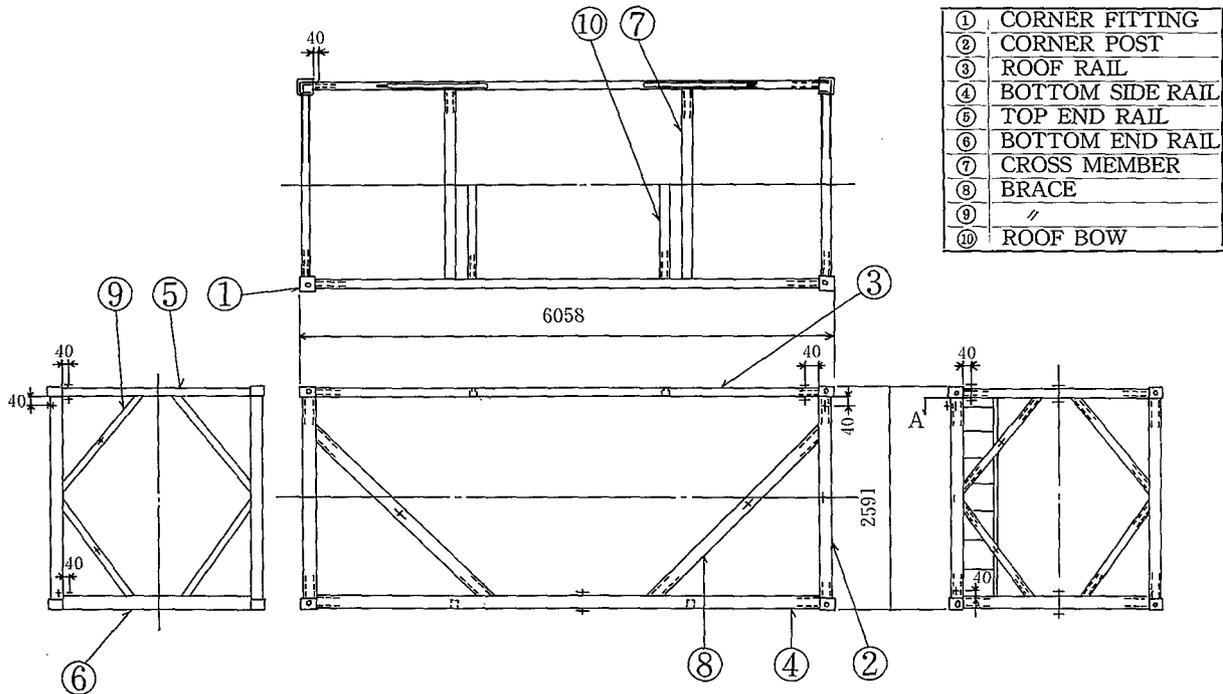
に発生する。第3図に最大応力発生位置近傍の応力分布を示す。この応力分布から次の事がわかる。

- 1) 最大応力は $\alpha_{max} = 23.2 \text{ kg/cm}^2$
- 2) 柱断面の応力分布形状は、荷重位置が異なってもほぼ同一である。
- 3) 隅柱には軸力に加え曲げ応力が発生しており、最大応力も軸力+曲げの合力である。

ここでは日本建築学会の定める「鋼構造設計規準」における許容応力値を最大応力に対する評価を行う。



第2図 荷重試験概略図
Fig. 2 Outline of load tests



第1図 供試フレーム
Fig. 1 Tested frame

許容圧縮応力 (短期)

$$f_c = \frac{1.5 \{1 - 0.4(\lambda/A)^2\} F}{\nu} = 23.5 \text{ [kg/mm}^2\text{]}$$

$$A: \text{ 限界細長比} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6 F}} = 120$$

F: 許容応力度 [kg/mm²]

λ: 細長比 19.3

ν: 安全率 1.517

したがって,

-23.2kg/mm²[最大発生応力] < -23.5 kg/mm² [許容圧縮応力]。鋼構造設計規準の許容応力を超えていない。

1. 3. 2 横手方向ラッキング試験

最大応力はプレスに発生している。同様に鋼構造設計基準により応力評価を行う。

許容圧縮応力

$$f_c = \frac{1.5 \{1 - 0.4(\lambda/A)^2\} F}{\nu} = 21.1 \text{ kg/mm}^2$$

$$A=120, \lambda=46.6, \nu=1.6$$

したがって

-14.9 kg/mm²[最大発生応力] < 21.1 kg/mm² [許容圧縮応力]

1. 3. 3 長手方向スタッキング

最大応力は上桁に発生し、軸力 + 曲げ成分を持っている。

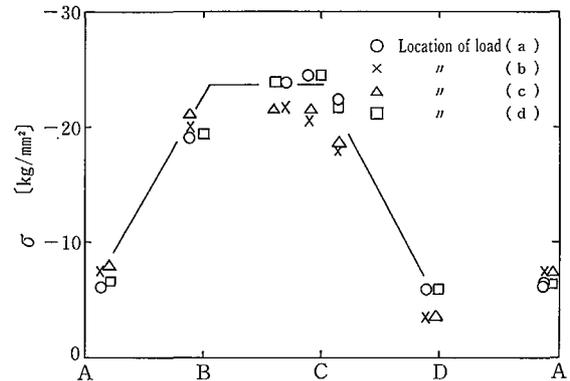
ここでは曲げで応力評価を行う。

許容曲げ応力

$$f_c = \frac{1.5F}{1.5} = F = 24 \text{ kg/mm}^2$$

したがって,

-8.4kg/mm²[最大発生応力] < 24kg/mm²[許容曲げ応力]



第 3 図 隅柱軸方向応力の分布

Fig. 3 Axial stress distribution on corner post.

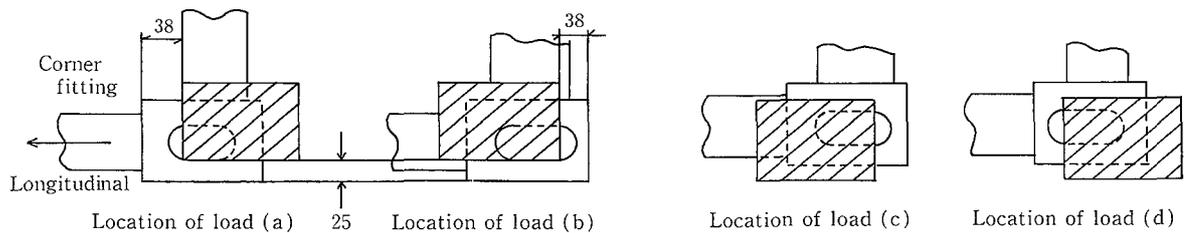
第 3 表 最大応力

Table 3 Maximum stress

	Max. stress [kg/mm ²]	Member
Stacking test	-23.2	Lower section of corner post
Lateral racking test	-14.9	Brace
Longitudinal stacking test	- 8.4	Roof rail
Longitudinal restraint test	- 9.5	Bottom side rail

第 4 表 積重ね試験測定応力値

Table 4 Measured stresses in stacking test



Location Load (kg)	Location of load (a)			Location of load (b)			Location of load (c)			Location of load (d)		
	Upper sec. of corner post	Central sec. of corner post	Lower sec. of corner post	Upper sec. of corner post	Central sec. of corner post	Lower sec. of corner post	Upper sec. of corner post	Central sec. of corner post	Lower sec. of corner post	Upper sec. of corner post	Central sec. of corner post	Lower sec. of corner post
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18 000	- 5.1	- 4.6	- 6.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36 000	-11.3	- 9.2	-12.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54 000	-16.2	-13.2	-18.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0.1	- 0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54 000	-17.2	-12.7	-19.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Unit:kg/mm²

第 5 表 横手方向ラッキング試験測定応力値

Table 5 Measured stresses in lateral racking test

Unit : kg/mm²

Location Load (kg)	Racking (push)				Racking (pull)			
	Corner post	Top end rail	Bottom end rail	Brace	Corner post	Top end rail	Bottom end rail	Brace
0	0	0	0	0	0	0	0	0
15 240	- 1.3	-12.1	- 3.6	14.0	- 0.1	7.7	0.8	-14.9
0	0	0	0	0	0	0	0	0

第 6 表 長手方向スタッキング試験測定応力値

Table 6 Measured stresses in longitudinal stacking test

Unit : kg/mm²

Location load (kg)	Stacking (pushing)				Stacking (pull)			
	Corner post	Top end rail	Bottom end rail	Brace	Corner post	Top end rail	Bottom end rail	Brace
0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 620	1.9	- 8.4	- 0.5	- 3.8	- 1.8	7.4	- 0.6	- 4.4
0	0	0	- 0.1	0	0	0	0.4	0

第 7 表 長手方向緊縮試験測定応力値

Table 7 Measured stresses in longitudinal restraint test

Unit : kg/mm²

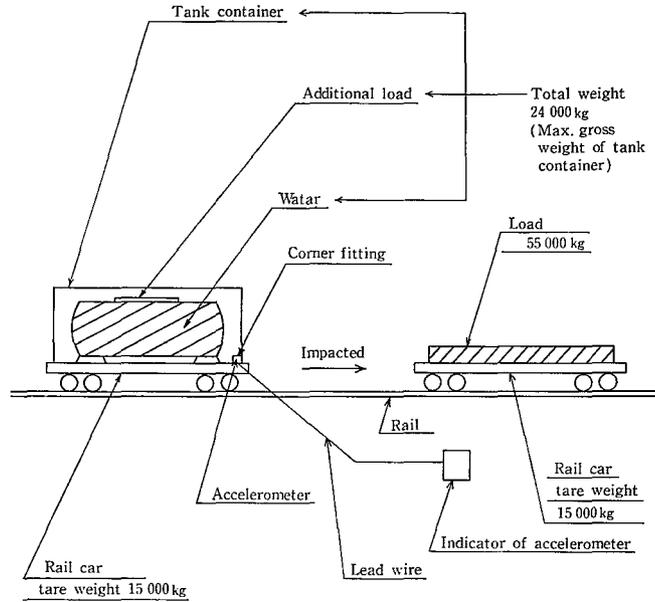
Location Load (kg)	Restraint (push)		Restraint (pull)	
	Corner post	Bottom end rail	Corner post	Bottom end rail
0	0	0	0	0
24 000	5.1	- 9.5	- 5.0	9.1
0	0.2	0	- 0.1	- 0.2

第 8 表 積重ね試験部材変形

Table 8 Distortion of members in stacking test

Unit : mm

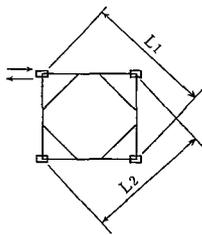
Load	Location of load (a)			Location of load (b)			Location of load (c)			Location of load (d)		
	Change in corner post length	Distortion of corner post		Change in corner post length	Distortion of corner post		Change in corner post length	Distortion of corner post		Change in corner post length	Distortion of corner post	
		Longi-tudinal	Lateral									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
54 000 kg	- 2.0	- 0.8	- 3.0	- 1.5	+ 0.4	- 2.35	- 2.0	+ 0.75	- 2.15	- 2.0	- 1.4	- 3.45
0	0	+ 0.35	- 0.15	0	+ 0.1	- 0.1	0	- 0.15	+ 0.1	0	0	0



第 4 図 AAR-600 衝撃試験概略図
Fig. 4 Outline of AAR-600 impact test.

第 9 表 横手ラッキング試験部材変形

Table 9 Distortion of members in lateral racking test

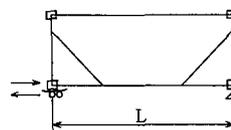


Load (kg)	Push			Pull		
	Differences of diagonal lengths		Sum of differences of diagonal lengths	Differences of diagonal lengths		Sum of differences of diagonal lengths
	ΔL_1	ΔL_2		ΔL_1	ΔL_2	
0	0	0	—	0	0	—
15 240	- 4.0	+ 4.5	9.5	+ 5.5	- 4.5	10.0
0	- 0.5	0	0.5	+ 0.5	0	0.5

第 10 表 長手緊縮試験部材変形

Table 10 Distortion of members in longitudinal restraint test

Unit : mm



Load (kg)	Push	Pull
0	0	0
24 000	- 2.0	2.5
0	0	0

1. 3. 4 長手方向緊縮試験

最大応力は下桁に発生し、軸力が主成分である。

許容圧縮応力

$$f_c = \frac{1.5\{1 - 0.4(A/\lambda)^2\}F}{\gamma} = 21.6 \text{ kg/mm}^2$$

-9.5 kg/mm²[最大発生応力] < 21.6 kg/mm²[許容圧縮応力]

1. 4 結論

軽量化コンテナのフレームを型式認可テストと同一の試験荷重で強度試験を行い、フレーム強度を検討した結果各荷重試験において、残留応力(歪)もなく、型式認可試験に合格する強度を有している。

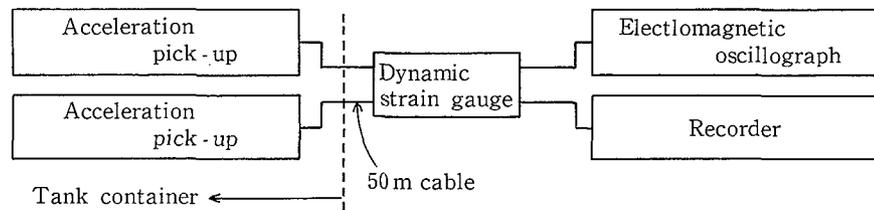
2. 衝撃試験

2. 1 AAR-600

米国の鉄道会社の協会である (Association of American Railroads の略) が定めたタンクコンテナの規定とし

て AAR-600 がある。その中に衝撃試験に関する規定があり、われわれの上述の軽量化タンクコンテナをこの AAR-600 の衝撃試験の手順にもとづいて衝撃試験をおこなった。

第 5 図
計測器ブロック線図
Fig. 5
Block diagram of
instrument.



2. 2 衝撃試験の方法

タンクコンテナの総重量が最大24 000kgになるようにタンクコンテナに水を満積し、さらにその両側に鋼材を取りつけてレール上の台車に載せる。もう一台の台車を同じレール上に用意し、鋼材と台車の重量の和が24 000kgになるように鋼材を台車に載せる。加速度計をタンクコンテナの下部のコーナーフィテングに取りつける。タンクコンテナを載せた台車に70 000 kgの荷重の台車を加速度計が5G以上を示すような速度で衝突させる。その結果タンクコンテナに損傷または異常がないことを目視で確認する。(第4図)

2. 3 計測器類およびデータ

計測器類のブロック線図を第5図に示す。

加速度 α は次式より算出される。

$$\alpha = \frac{x A}{B} \times 1000 [G] \dots\dots\dots (1)$$

x : 試験時オシロの記録巾 [mm]

A: 加速度ピックアップ校正値 [$G/1 \times 10^{-6}$]

B: 電磁オシロ校正時記録巾 [$mm/1000 \times 10^{-6}$]

測定センサー

Ch. 1 [加速度計 Y_N3610] A=0.007418 B=13.5

Ch. 2 [〃 Y_N3612] A=0.007199 B=11.5

これらの数値を(1)式に代入すると下記の式となる。

$$\alpha Ch_1 = \frac{x \times 0.007418 \times 1000}{13.5} = 0.549x [G] \dots (2)$$

$$\alpha Ch_2 = \frac{x \times 0.007199 \times 1000}{11.5} = 0.626x [G] \dots (3)$$

試験時オシロの記録幅の値を(2)式および(3)式の x に代入すると下記加速度が得られた。

	1 回目	2 回目
Ch ₁	4.1G	7.4G
Ch ₂	2.8G	7.2G

上記衝撃試験後タンクコンテナには異常は認められなかった。

む す び

以上フレーム部を軽減し、タンクコンテナの自重を約400kg軽量化図り型式承認を取得した。

今後さらに加熱装置や保温カバーなど付属物を取付けた構造について全体の軽量化を進め輸送効率の向上を行いたい。