

石油貯蔵タンク配管系の耐震実験について (第2報)

齊 藤 洋*
菅 原 満 弘*

1. はじめに

世界有数の地震国である我が国においては、昨年伊豆大島近海地震(1月14日、M7.0)、宮城県沖地震(6月12日、M7.5)と相次で発生し、陸上に多大な被害をもたらした。

さらに、多くの学者によって、近年再びマグニチュード8程度の大地震が、東海地方に発生する可能性が高いと指摘されている。

このような情勢から、本研究では、新潟県沖地震の教訓をも参考にしながら、地震被害を受けやすい石油貯蔵タンク配管系の耐震性について、昨年(所報第15号に記載)に引き続き、実験を行った。

2. 実験項目

動的実験

- (1) ループ型配管のひずみ
- (2) L字型(I, II型)配管のひずみ
- (3) 直状管のひずみ
- (4) スパイラル・タイプの曲状取付によるひずみ
- (5) フレキシブル・チューブの破壊試験

静的実験

- (1) 各種ジョイントの荷重試験

3. 実験供試体

- (1) ループ型配管(口径32mm、全長5,200mm)
(写真1)
- (2) L字型配管
 - ア L字-I型(口径32mm、全長4,700mm)
(写真2)
 - イ L字-II型(口径32mm、全長3,700mm)

(写真3)

- (3) 直状管(口径32mm、全長2,500mm)(写真4)
- (4) ボール・ジョイント(口径32mm、全長600mm)(写真5)
- (5) ヴィクトリック・ジョイント(口径32mm、全長600mm)(写真5)
- (6) フレキシブル・チューブ(写真5)
 - ア スパイラル・タイプ(口径32mm、全長500mm、800mm)(写真6)
 - イ ベローズ・タイプ(口径32mm、全長625mm)(写真7)
- (7) エルボ(口径32mm、角度45度、90度)

*配管は、配管用炭素鋼管(SGP)を使用した。

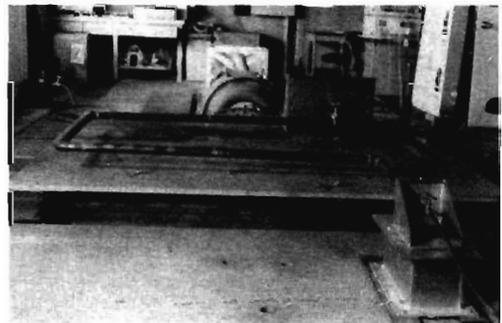


写真1 ループ型配管

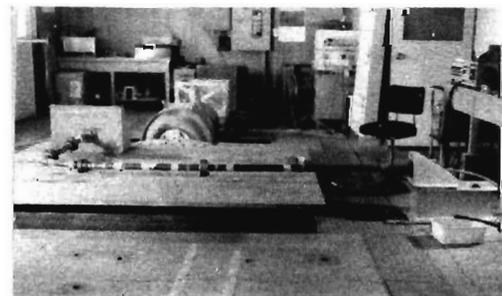


写真2 L字-I型配管



写真3 L字—II型配管

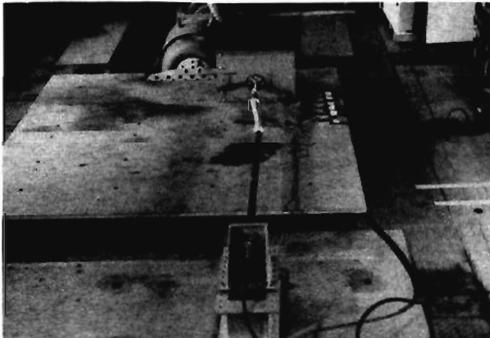


写真4 直状管



ボール・ジョイント



ヴィクトリック・ジョイント



フレキシブル・チューブ
写真5 各種ジョイント

4. 実験装置

- (1) 振動試験機 (V S L—3205 R型)
- (2) 動ひずみ測定器 (D P R—I N型)
- (3) ひずみゲージ (K F C—5—C 1型)

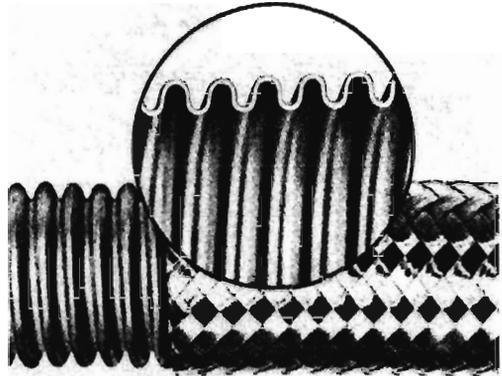


写真6 スパイラル・タイプ

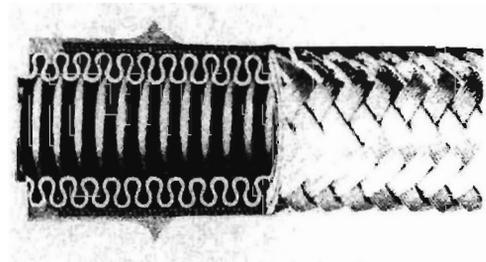


写真7 ベローズ・タイプ

- (4) 電磁オシログラフ (F R—301型)
- (5) バネバカリ (0~250kg)
- (6) 加圧ポンプ (0~20kg/cm²)
- (7) リフト

5. 実験方法

動的実験

本実験は、ループ型、L字型 (I, II型) 及び直状の各配管系について、各種ジョイント (ループ型、L字型については一種類のみ) を取り付け、振動台上及び床上の固定台 (振動台上をA、床上をBとする) に固定し、正弦波加振した時の配管各部のひずみを測定したものである。

以下に各実験について方法を示す。

(1) 実験1

実験条件

- ① 加振周波数及び加速度
3.0Hz, 600gal
- ② 加振方向
各図中に矢印にて示す。
- ③ 管内条件
管内水圧 2 kg/cm²

ただし、ループ型ボール・ジョイントなし

(図1-1)については、空の場合も測定した。

ア ループ型配管の加振実験(図1)

(ア) ボール・ジョイントなし(図1-1)

(イ) ボール・ジョイント2個取付(図1-2)

イ L字-I型配管の加振実験(図2)

(ア) ボール・ジョイントなし(図2-1)

(イ) ボール・ジョイント2個取付(図2-2)

(ウ) ボール・ジョイント3個取付(図2-3)

ウ L字-II型配管の加振実験(図3)

(ア) ボール・ジョイントなし(図3-1)

(イ) ボール・ジョイント2個取付(図3-2)

(2) 実験2

実験条件

① 加振方向、周波数及び加速度

X方向(管軸と平行方向)については6.0Hz、300gal。

Y方向(管軸と垂直方向)については3.0Hz、600gal。

ただし、ジョイントなし(図4-1)及びペローズ・タイプ(図4-8)については、X方向のみ。

② 管内条件

管内空及び水圧2kg/cm²

ただし、ペローズ・タイプについては水圧のみ

ア 直状管の加振実験(図4)

(ア) ジョイントなし(図4-1)

(イ) ボール・ジョイント取付(図4-2、図4-3)

(ウ) ヴィクトリック・ジョイント取付(図4-4、図4-5)

(エ) フレキシブル・チューブ(スパイラルタイプ)取付(図4-6、図4-7)

(オ) フレキシブル・チューブ(ペローズ・タイプ)取付(図4-8)

(3) 実験3

実験条件

① 加振方向、周波数及び加速度

X方向については6.0Hz、300gal

Y方向については3.0Hz、600gal

② 管内条件

管内空及び水圧2kg/cm²

ア スパイラル・タイプの曲状取付による加振実験(図5)

(ア) 45度エルボ使用による取付(チューブ長さ500mm)(写真8、図5-1、図5-2)

(イ) 90度エルボ使用による取付(チューブ長さ800mm)(写真9、図5-3、図5-4)

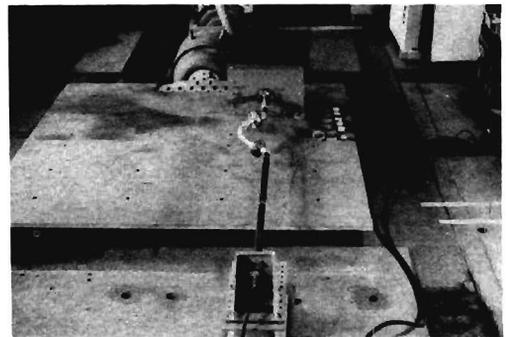


写真8 45度エルボによる取付

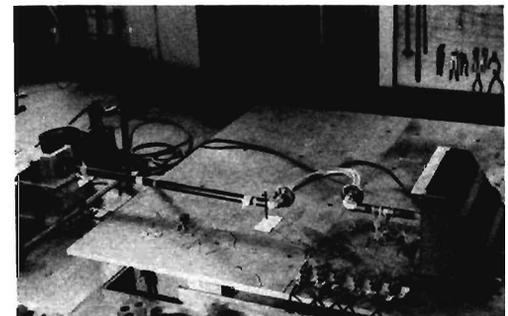


写真9 90度エルボによる取付

(4) 実験4

実験条件

ひずみ測定と同様の固定状態において、管内条件空、X方向について3.0Hz、600galにて加振し、チューブの変化を見た。

ペローズ・タイプについては、3.5Hz、900gal、4.0Hz、1,000galについても実験を行った。

ア フレキシブル・チューブの破壊試験

- (ア) スパイラル・タイプ直状取付
- (イ) ベローズ・タイプ直状取付

静的実験

- (1) 各種ジョイントを固定台Bに固定し、静荷重により引張した時の、各ジョイントの変化を見た。

実験条件

① 荷重

0～250kg

② 引張方向

X方向（ジョイント軸と平行方向）

Y方向（ジョイント軸と垂直方向）

③ 管内条件

管内空

ア 各種ジョイントの静荷重による破壊試験

(ア) ボール・ジョイント

(イ) ヴィクトリック・ジョイント

(ウ) フレキシブル・チューブ（スパイラル・タイプ、長さ500mm）

6. 実験結果

動の実験

- (1) ループ型、L字型配管の加振実験(実験1)

ア ループ型配管のひずみ

図1に結果を示す。

配管内に水圧 2 kg/cm²を加えた状態と空の状態とで加振したが、各測定点でのひずみ値に特に著しい差は見られなかった。

ボール・ジョイントを2個取り付けることにより、各測定点のひずみ値は大幅に減少した。固定台Aと配管接続部に設けた測定点1でのひずみ値は約 $\frac{1}{4}$ に減少した。(図1-2)

イ L字-I型配管のひずみ

図2に示す通り、ボール・ジョイント2個を、固定台と直角方向に取り付けたが、測定点1でのひずみ値には、大きな差が認められなかった。図2-3に示す位置に、ボール・ジョイントを1個追加したが、これによってひずみ値は約 $\frac{1}{3}$ に減少した。

ウ L字-II型配管のひずみ

図3に結果を示す。

ボール・ジョイント2個を、固定台Aと平行に取り付けた時の測定点1でのひずみ値は、約 $\frac{1}{3}$ に減少した

ループ型配管のひずみ分布 (図1)

($\times 10^{-6}$ ひずみ)

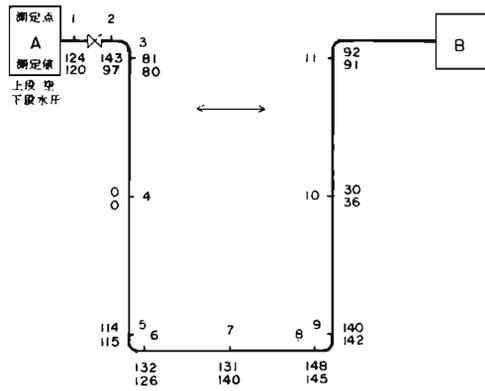


図1-1 ボール・ジョイントなし

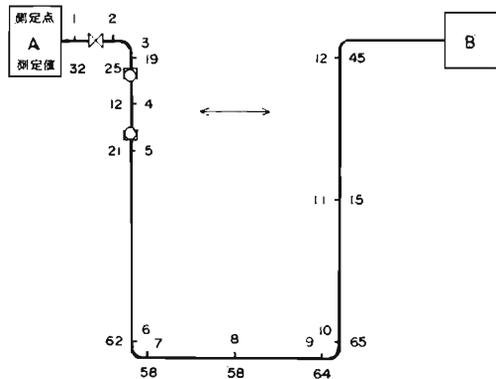


図1-2 ボール・ジョイント2個取付

L字-I型配管のひずみ分布 (図2)

($\times 10^{-6}$ ひずみ)

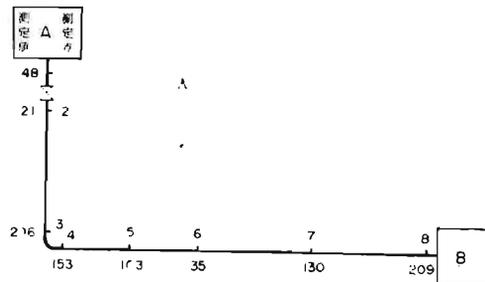


図2-1 ボール・ジョイントなし

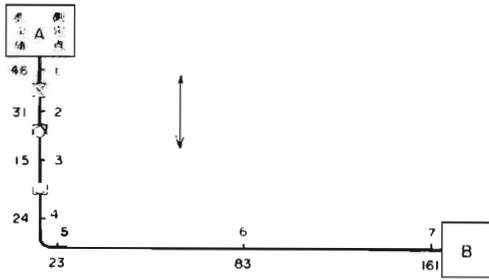


図 2-2 ボール・ジョイント 2 個取付

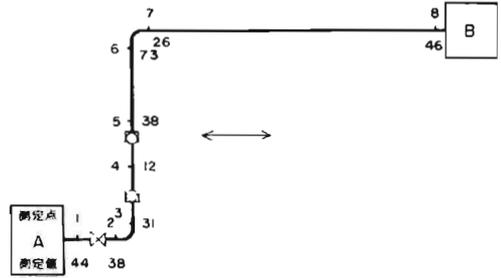


図 3-2 ボール・ジョイント 2 個取付

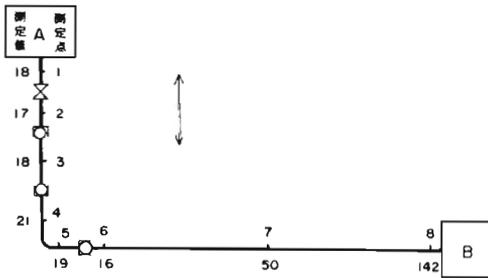


図 2-3 ボール・ジョイント 3 個取付

L 字-II 配管のひずみ分布 (図 3)
($\times 10^{-6}$ ひずみ)

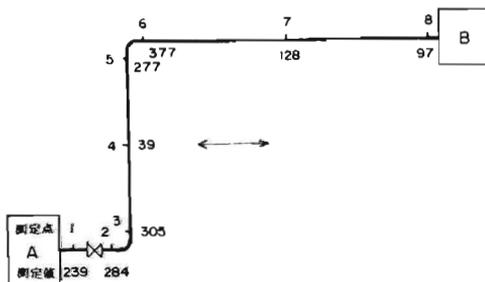


図 3-1 ボール・ジョイントなし

以上 3 種類の配管系にボール・ジョイントを取り付けて実験を行ったが、固定台 A と直角方向 (加振方向図 2-2) に接続しても緩衝性は少ないが、接続方法を考慮 (図 1-2, 図 2-3, 図 3-2) することによって、より高い緩衝性をもたせることができ、またボール部分が 360 度回転するために、ねじれに対して有効であるといえることができる。

(2) 直状管のひずみ (実験 2)

ア 配管にジョイントを取り付けない状態

(図 4-1) における X 方向加振については、配管自体にフレキシビリティがないため、固定台あるいは振動台等が破壊する恐れがあるため、加振方向は、Y 方向のみ行った。

配管内に水圧 2 kg/cm² を加えた時と、空の時とのひずみ値には、特に著しい差は見られなかった。

イ ボール・ジョイント接続によるひずみ

図 4-2, 図 4-3 に結果を示す。

配管内に水圧 2 kg/cm² を加えた時のひずみ値が、一部を除き若干大きくなっている。これは、ボール・ジョイントの伸縮によって、水圧が増すためであると考えられる。

図 4-1 と図 4-3 の測定点 1 におけるひずみ値を比較すると、ボール・ジョイントを取り付けることによって、空及び水圧を加えたものとも、約 1/2 に減少している。

図 4-2 の X 方向加振について比較すると、空の時で約 1/2, 水圧を加えた時で約 1/3 になっている。

ウ ヴィクトリック・ジョイント接続によるひずみ

図4-4、図4-5に結果を示す。

配管内に水圧を加えた時と空の時のひずみ値はボール・ジョイント接続の場合と同様な傾向を示している。

ヴィクトリック・ジョイントを接続することによって、Y方向加振時における測定点1でのひずみ値は、空の時に約 $\frac{1}{30}$ 、水圧を加えた時に約 $\frac{1}{18}$ に減少している。

エ スパイラル・タイプ接続によるひずみ

図4-6、図4-7に結果を示す。

配管内に水圧を加えた時と空の時のひずみ値は、一部を除いてボール・ジョイント及びヴィクトリック・ジョイント接続の時とは、逆の値を示している。このことは、スパイラル・タイプ全体に柔軟性があるため、この部分によって水圧が緩衝されるためであると考えられる。

オ ベローズ・タイプ接続によるひずみ

図4-8に結果を示す。

空の時の実験結果が、スパイラル・タイプと大差ないため、X方向加振における測定のみにした。

直状管のひずみ分布 (図4)

($\times 10^{-6}$ ひずみ)

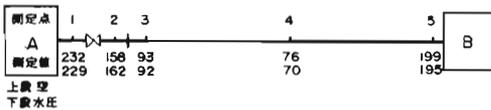


図4-1 ジョイントなし

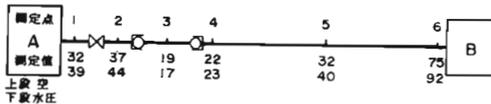


図4-2 ボール・ジョイント取付(X)

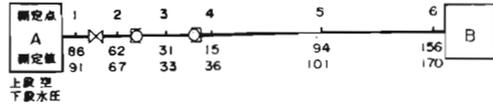


図4-3 ボール・ジョイント取付(Y)

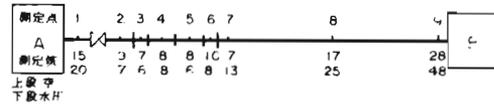


図4-4 ヴィクトリック・ジョイント取付(X)

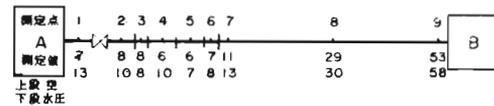


図4-5 ヴィクトリック・ジョイント取付(Y)

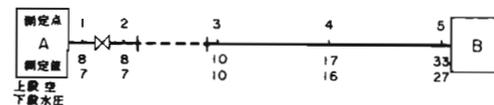


図4-6 スパイラル・タイプ取付(X)

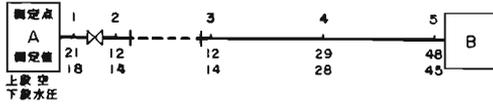


図4-7 スパイラル・タイプ取付 (Y)

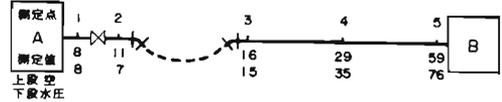


図5-2 45度エルボ使用 (Y)

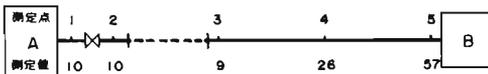


図4-8 ベローズ・タイプ取付 (X)

(3) スパイラル・タイプの曲状取付によるひずみ
(実験3)

大地震により、石油貯蔵タンクが、沈下、傾斜、変形等によって、配管接続部に大きな荷重が加わり、損傷する恐れがあることから、フレキシブル・チューブに十分な余裕をもたせることによって配管の折損を防ぐことができるはずである。

以上のことから、45度エルボ、90度エルボを使用して、スパイラル・タイプを曲状に取り付けて加振実験を行った。

図5(図5-1～図5-4)に結果を示す。

スパイラル・タイプの曲状取付によるひずみ分布(図5)
($\times 10^{-6}$ ひずみ)

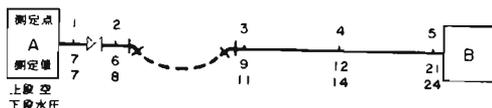


図5-1 45度エルボ使用 (X)

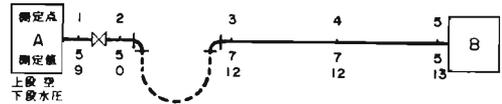


図5-3 90度エルボ使用 (X)

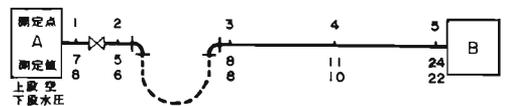


図5-4 90度エルボ使用 (Y)

(4) フレキシブル・チューブの破壊試験
表1に結果を示す。

スパイラル・タイプについては、チューブ中央部が、針金を素手で折る時に、一ヶ所を繰り返し曲げて折るのと同様な状態となり、熱を持ち、破損した。

なお、破損に至るまでの時間の相違については、固定台Bを床上に固定するためのボルトがゆるみ、固定台に多少「ガタ」が生じたためと考えられる。

ベローズ・タイプについては、スパイラル・タイプと同様な条件においても、又、より苛酷な条件において加振しても、異常は認められな

かった。

表1 フレキシブル・チューブの破壊試験

スパイラル・タイプ				
加振条件			結 果	
1回目	3.0Hz	800gal	1分10秒後破損	
2回目	3.0Hz	800gal	2分25秒後破損	
3回目	3.0Hz	800gal	1分30秒後破損	
ベローズ・タイプ				
加振条件			結 果	
1回目	3.0Hz	800gal	3分00秒異常なし	
2回目	3.0Hz	800gal	13分00秒異常なし	
3回目	3.5Hz	900gal	2分00秒異常なし	
4回目	4.0Hz	1,000gal	3分00秒異常なし	

静的実験

(1) X方向荷重

3種類のジョイントについて、250kgまで引張荷重をかけたが、各ジョイント共異常はなく、5kg/cm²の水圧をかけても水漏れ等の異常は認められなかった。

(2) Y方向荷重

各ジョイント共、X方向と同様に、250kgまで引張した。

ボール・ジョイントについては、X方向と同様異常は認められなかった。

ウィクトリック・ジョイントについては、引張荷重170kgまで加えたところ、全体が弓なりとなり(写真10)、突然にぶい音がし、引張用のワイヤーが緩んだ。ジョイントを点検しても異常はなく、固定台部分を見ると、ジョイント取り付け用のフランジが破損していた。(写真11, 12)

スパイラル・タイプについては、構造上全体が螺旋波形状になっているため、柔軟性に富み、引張荷重数kgを加えただけで直角に曲がった。

以上3種類のジョイントについて実験を行ったが、ジョイント自体にはいずれも異常は認められなかった。

7. 考 察

(1) ボール・ジョイントを、加振方向に直線的に接続(図2-2)してもフレキシビリティは少ないといえる。

ただし、加振方向と垂直に接続(図1-2、

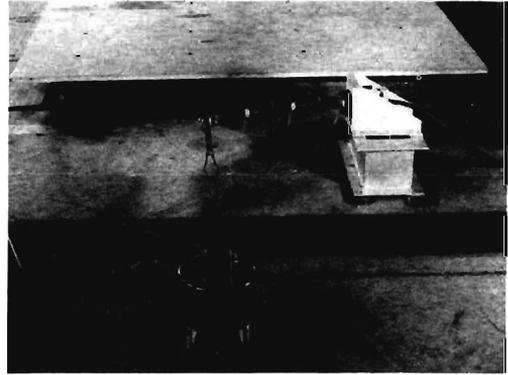


写真10 ヴィクトリック・ジョイントの破壊試験 (Y方向)

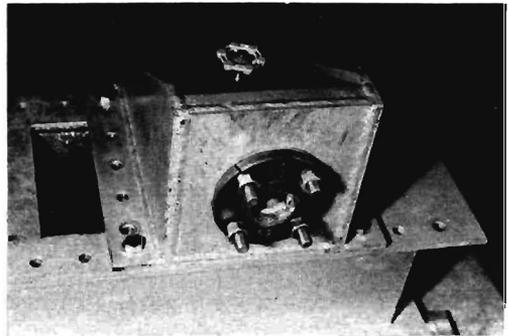


写真11 フランジ破損状態

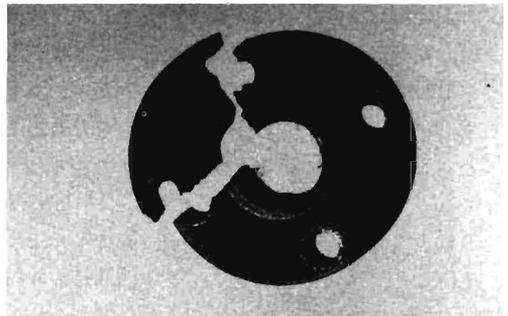


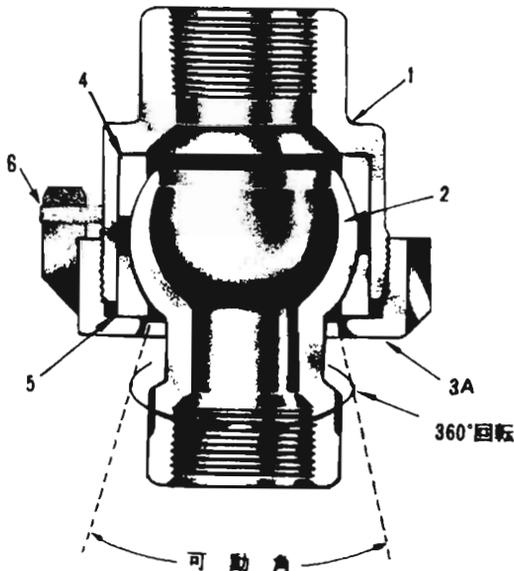
写真12 破損したフランジ

図2-3) することにより、ひずみ値は大幅に減少している。

このことから、当ジョイントの取り付け方法については、十分な検討をする必要がある。

(2) 配管内に水圧2kg/cm²を加え、加振したところ、ボールジョイントから水漏れがしたので、調べてみると、袋ナット部分(図-6の3A部分)にゆるみが生じていることがわかった。袋ナットを締めつけることによって水漏れはなくなったが、可撓性がほとんどなくなった。このことは、袋ナットの締めつけト

ルクが大きすぎたためと考えられる。



1.ケーシング部 2.ボール部 3A.セナット
4.内ガスケット 5.外ガスケット 6.セットスクリュー

図6 ボール・ジョイントの構造

(3) スパイラル・タイプについては、表1からわかるように、単独使用では苛酷な振動に対しては、破損しやすいといえる。

写真8、写真9に示すように、エルボを使用し、曲状に取り付け、チューブに余裕を持たせた状態で加振すると、破損することはない。したがって、このような取り付け方法によれば、タンクと配管結合部に大きな荷重が加わっても、有効な緩衝性を得ることができる。

ただし、耐久性、液体の流動性その他荷重の分布等について、今後の研究が必要であろう。

※ スパイラル・タイプは、モーター等の微振動の緩衝用に使用されている。

(4) ベローズ・タイプについては表1に示す通り、スパイラル・タイプよりもはるかに苛酷な条件で加振したが、チューブに熱を持つこともなく、破損等の異常は認められなかった。

以上の点から、ベローズ・タイプの方がスパイラル・タイプよりも、耐震性に優れているといえる。

※ スパイラル、ベローズ両タイプ共、金属ブレードによってチューブが保護されているため、外観からは区別することが困難である。

静的実験からの考察

3種類のジョイントについてX、Y方向に引張荷重を加えたが、各方向共ジョイント自体には異常はなく、Y方向において、ウィクトリック・ジョイントに、荷重170kgを加えたところで、フランジが写真14、15の状態に破損した。

8. おわりに

昨年の伊豆大島近海地震を契機として、「大規模地震対策特別措置法」が施行(昭和53年12月14日)され、すでに地震防災対策強化地域が発表されている。

警戒宣言が発せられた場合は、強化地域内の居住者には、火気の使用、自動車の運行その他多数の制限が法によって規制されることになっている。

危険物施設に関しても、配管系の損傷による油等の流出を最少限に抑えるため、タンクと配管系の間のバルブを締めるようにする必要があると考えられる。

本研究結果については、条件的に未解明な点が多々あるため、実際にタンクの配管系に適用するには、今後さらに研究・実験を積み重ねていく必要があるだろう。

9. 参考文献

- (1) 大規模地震対策特別措置法
- (2) 東京消防庁：大地震火災時における危険物施設等の延焼性状に関する調査研究報告書