

## 燃料配管結合部の対震性能の研究

Vibration Test of Oil Pipes coupled differently

加藤 和夫\*

片岡 正弘\*

## 概 要

ボイラー等の少量危険物施設の本体部分と燃料配管の結合部分の違いによる震度7に相当する加速度を加えた場合の対震性能について、二次元振動測定装置で振動実験を実施した。

その結果、次のことが判った。

- 1 接続部にフレキシブル管を用いた方式は、
  - ① 管に直角な方向の揺れにはかなり余裕がある。
  - ② 配管の口径が大きくなるほどフレキシブル管の長さを大きくする必要がある。又、フレキシブル管は軸方向の瞬発的な揺れに対応するため弛みをもたせたほうが有効である。
- 2 配管に屈曲を設けた場合は、結合部分のひずみは小さくなる。
- 3 従来震度5の実験で有効であった配管と鋼管継手（エルボ）の組合せは、震度7の地震動に対しても損傷を有効に防止できる。

We made vibration tests of oil pipes coupled differently to determine how much they can withstand quake movements. In the tests the two-axial(horizontal-vertical)shaking table was used.

- 1 In the case of the flexible tubes,
  - ① The spiral type expansion pipe joints are strong for moving in a right angled direction with it.
  - ② We must use long-length tubes for big-diameter tubes, and it is effective for vibration along the pipe line to set them slackend.
- 2 In the case of the pipes coupled by some elbow- pipe-fittings, the strain on the connected point is little.
- 3 The pipe-line with elbows prevent to be destroyed effectively for shock of earthquake.

## 1 はじめに

ボイラー等の少量危険物施設の本体設備と燃料配管の結合部分は地震動によりひずみを生じ切損する恐れが大きく損傷を受けないよう措置する必要がある。幸い阪神・淡路大震災では被害はなかったと言われているが、ひとたび事故等が発生すると、大きな被害をもたらすことも考えられる。

燃料配管系の対震実験については、以前に正弦波・水平加振により震度5程度の実験を行って（所報第15、16号掲載）が、今回は、震度7を想定した正弦波（最大1200gal）の水平・垂直の同時加振及び地震波による加振により振動実験を行った。試験体は少量危険物施設での燃料配管に多く用いられている直配管及び金属可動式管継手（以下「フレキシブル管」という）及び鋼管継手の以下の組合せについて安全性の検証を行った。

- (1) 直管-フレキシブル管-直管
- (2) 直管-フレキシブル管-直管（直管の一部固定あり）
- (3) 直管-鋼管継手-直管-鋼管継手-直管（水平-水

平)

- (4) 直管-鋼管継手-直管-鋼管継手-直管-鋼管継手-直管（水平-垂直）
- (5) 直管-鋼管継手-直管-鋼管継手-直管（水平-水平）  
（直管の一部固定あり）

## 2 実験概要

実験は当研究所の振動測定装置の振動台（水平・垂直同時加振の動電形、以下、「振動台」という）にボルト止めした鋼板製の固定具（以下「固定具1」という）と振動実験室床（コンクリート）にアンカー打ちしたボルトにより固定された鋼板製の固定具（以下「固定具2」という）のそれぞれに配管用炭素鋼鋼管をフランジで固定し、それらの鋼管の間をフレキシブル鋼管継手及びエルボ継手で結合させて入力条件（振動方向、地震波、周波数、強さ）を変化させてその挙動について歪み測定及び観察を行った。

なお、固定具1をボイラー等の本体設備、固定具2を本体設備に結合された配管を支持する架台又は壁体と仮定した。

\* 第二研究室

### 3 実験方法等

#### (1) 配管固定具の形状寸法及び固定方法

配管固定具の形状及び固定方法は図1のとおり。

なお、固定具1は下部4箇所をM12の六角穴付きボルトで4か所固定し、固定具2は振動実験室の床に打ち込まれたアンカーボルトM10のボルトで4箇所固定した。



写真1 実験1の状況

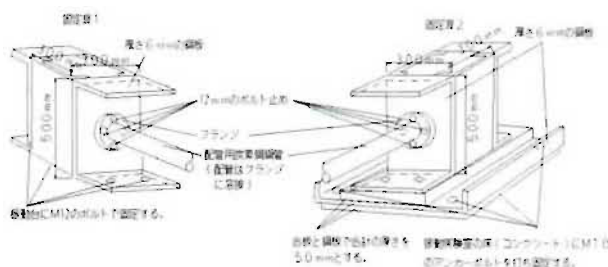


図1 配管固定具の形状寸法等

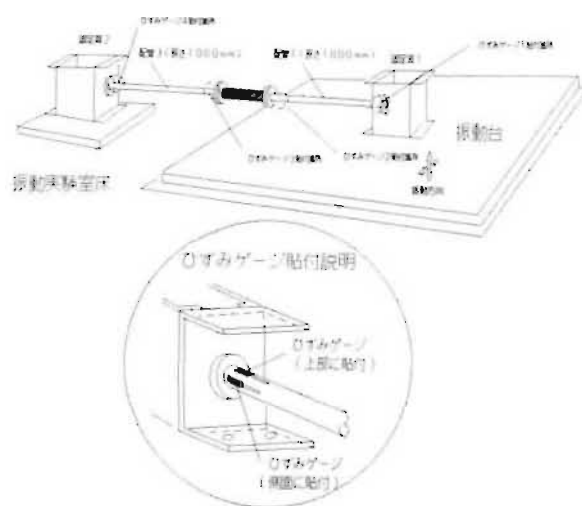


図2 実験1及びひずみゲージ貼付状況説明図

#### (2) 実験内容

##### ア 実験1

##### (7) 実験方法

配管は表1のとおり一般的に使用されている、32A、40A及び50Aの口径のものをを用い、図2のようにその片側のフランジ部（配管とフランジは溶接されている）を固定具1、2にM12のボルト4本で固定する。（固定具1に結合するものを「配管1」、固定具2に結合するものを「配管2」とする）

配管1と配管2の間を表1のフレキシブル鋼管継手（フランジ部分をM16のボルト4本で固定する）で結合し実験する。（写真1参照）

表1 フレキシブル鋼管継手

配管（呼び）	フレキシブル鋼管継手の長さ（mm）		
32A	400	500	600
40A	300	—	600
50A	300	—	600

#### (4) 入力波

入力波は表2の正弦波及び地震波で実施した。又入力波の加振波形は図3（正弦波）、図4（地震波）のとおり。

表2 入力波

入力波	周波数	振動方向	加速度等
正弦波	水平 3 Hz 垂直 3 Hz	水平・垂直方向に同時加振	漸増加速度2gal/sで水平方向0～1200gal、垂直方向0～600galで漸増加振した。
地震波	釧路沖地震波	地震波の水平・垂直同時	最大加速度：920cm/s <sup>2</sup> (E) 465cm/s <sup>2</sup> (上下方向) 周期：0.37sec
	①発生日時：平成5年(1993年)1月15日20時06分 ②地震波の記録場所：気象庁釧路観測所(釧路地方气象台) ③震央：北緯42度53.5分、東経144度22.4分 ④震源の深さ：103.2km ⑤マグニチュード：7.8 ⑥各地の震度：釧路 震度6、浦河・広尾・八戸 震度5		

※正弦波については地震波の周波数成分中で振動台の性能から最も加速度を出せる3 Hzについて実験した。

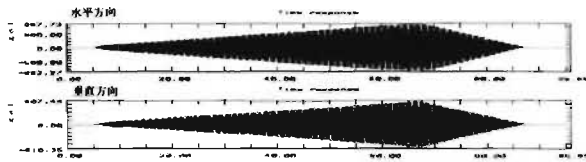


図3 正弦波の加速度波形

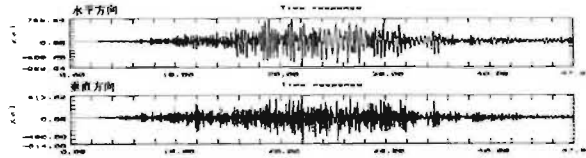


図4 地震波の加速度波形

(ウ) 加振方向

配管が振動台の水平振動方向に直角の方向（以下「横方向」という）と配管が水平振動方向と同方向（以下「軸方向」という）について加振する。

(エ) 測定内容

測定は表3により実施した。

なお、測定装置等の接続系統は図5のとおり。

表3 測定項目

測定項目	測定内容
動ひずみの測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>実験1、2では固定具、フレキシブル管との結合部分に出来るだけ近い配管の部分4箇所にはひずみゲージを貼付しブリッジボックスを経由しひずみ測定器に接続した。</li> <li>各箇所には、水平方向の動きに対するひずみを測定するため、配管側面に、又、上下方向の動きに対するひずみを測定するため配管上面にひずみゲージを貼付した。(図2、図5、写真2参照)</li> <li>実験3、4では図6、図7の位置に実験1、2と同様にひずみゲージを貼付した。</li> </ul>
目視による観察	<ul style="list-style-type: none"> <li>振動状況及び結果について、カメラ及びビデオによる記録とともに目視による測定を行った。</li> </ul>

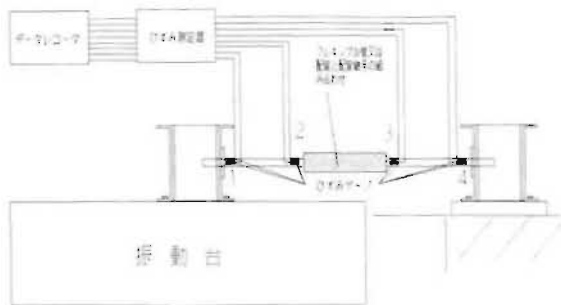


図5 測定系統図

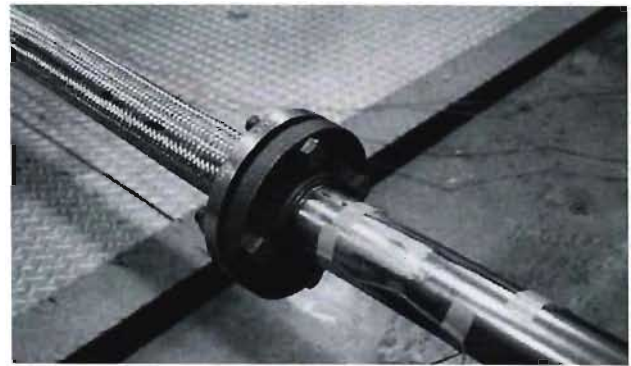


写真2 ひずみゲージの貼付状況

イ 実験2

実験1と同じ配管設定条件とするが、固定具1から40cmの配管部分を固定した時の挙動について実験1と同様に実験する。(写真3参照)

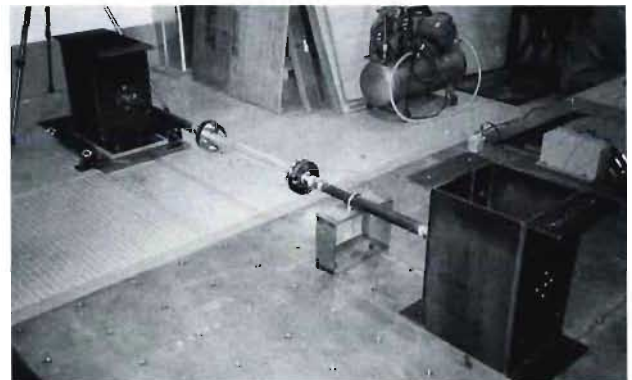


写真3 実験2の状況

ウ 実験3

固定具1、2に固定された配管(32Aのみ)を90度のエルボ鋼管継手3個で図6のように結合して地震波で実験1と同様に実験する。又、エルボ鋼管継手と配管の接続状況はねじ込み接続とする。

配管は固定具1の方から「配管1」、「配管2」、「配管3」、「配管4」とし配管1と配管4は長さが1000mm、配管2の長さは500mmとし配管3の長さを200mmと400mmに変えて実験する。

(図6、写真4参照)

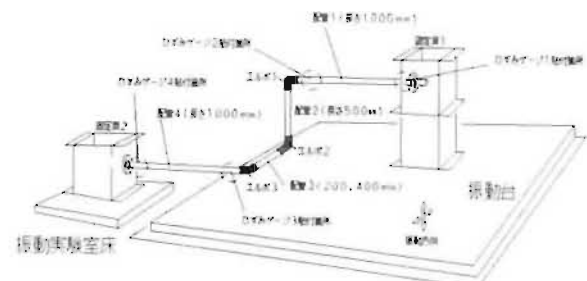


図6 実験3の状況説明図



写真4 実験3の状況

ウ 実験4

固定具1、2に固定された配管(32Aのみ)を90度のエルボ鋼管継手2個で図7のように結合して地震波について実験1と同様に実験する。

配管は固定具1の方から「配管1」、「配管2」「配管3」とし、配管1と配管3は長さが1000mm、配管2は200mmとする。(写真5参照)

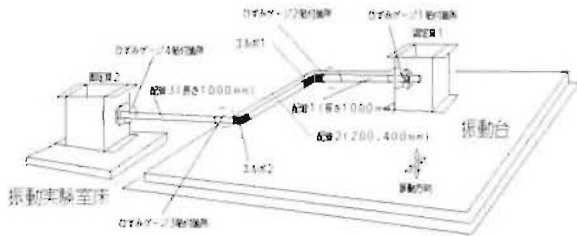


図7 実験4の状況説明図

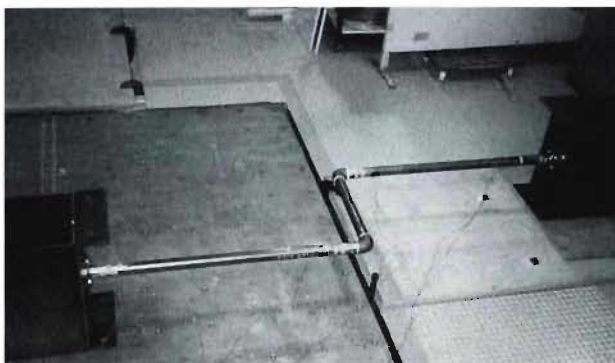


写真5 実験4の状況

エ 実験5

実験4の設定で、配管1の一部を固定した場合について地震波で横方向に加振し実験する。(図8参照)

配管1と配管3は長さが1000mm、配管2は400mmの場合について実施する。

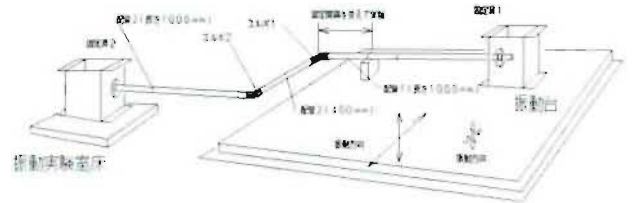


図8 実験5の状況説明図

オ 実験6

実験5の設定で、エルボ2を固定した状態で配管1の固定部分を変えて実験5と同様に実験する。(図9参照)

配管1と配管3は長さが1800mm、配管2は400mmの場合について実施する。

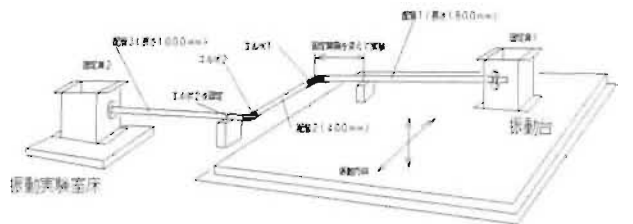


図9 実験6の状況説明図

カ 実験7

実験6の設定で、配管を20Aにして、配管1の固定部分を変えて実験する。

配管1と配管3は長さが1000mm、配管2は400mmの場合について実施する。



#### 4 実験結果

(1) ひずみゲージの測定結果について、最大値をグラフ化したものが図10~17である。

(2) 実験1について

ア 横向き加振の場合

(ア) いずれの配管も変形・損傷はしなかった。

(イ) 最も太くて短い50Aの長さ 300mmの場合が最も大きく揺れ、固定具2も引っ張られるように揺れたが損傷はしなかった。

(ウ) 振幅の大きい振動では固定具2も揺れた。(固定具1は振動台と同じ動きをした)

イ 軸方向の加振の場合

(ア) 固定具2も引っ張られて大きく振動した。地震波では瞬発的にフレキシブル管が引っ張られた。

32A400mmのフレキシブル管は地震波の最大振幅(約130mm)の時に固定具2側のブレードが剥がれ結合部分が変形した。しかし、内側のスパイラル管に亀裂等の漏れにつながるほどの損傷はなかった。(写真6参照)



写真6 フレキシブル管の破損状況

(3) 実験2について

配管の途中を固定した場合、目視では大きな差異は認められなかったが、図11のひずみゲージの測定値からは固定箇所側の固定具のひずみが小さくしており、他の部分は大きな変化はなかった。

(4) 実験3、4について

ア エルボ3個の横向き加振では、最初は振動台の揺れに合わせて、固定具1、配管1が小刻みに揺れ、振幅が大きくなると配管2がエルボ2を支点に前後に動き、配管4も配管に直角の方向に固定具2を支点に振動し、固定具2が揺れだした。

イ 実験3、4とも配管系統に変形・亀裂等は起きなかった。ひずみゲージが最大となったのは、固定具1側の最初のエルボ部分でフレキシブル管継手に比べると遙に大きな値になっている。

ウ エルボ2個の場合のほうが3個よりひずみが大き

かった。

エ エルボ配管の場合はフレキシブル管とは逆で固定具付近のひずみがエルボ等の部分に比較して小さかった。

(5) 実験5について

ア 配管の一部を固定すると、固定した側の固定具1は変形しなかったが、固定具2の配管固定部(フランジ接続部分の面の鉄板)が振動につれて弾性限度内で変形を繰り返した。

イ ひずみゲージの測定値は、配管の途中を固定しない場合は、各部はほぼ同じ値であった。

配管の途中を固定した場合は、固定位置がエルボ1に近づくにつれエルボ1付近のひずみが小さくなり、固定具2の結合部分の配管のひずみが大きくなり最大で $280 \times 10^{-6}$ であった。

ウ 固定具2は固定具1に比べて固定状態が甘いため振動台の振幅が大きくなると若干振動した。

(6) 実験6について

ア エルボ2、配管3、固定具2の揺れが実験5に比べて小さくなった。

配管1は中間固定部分を支点として前後上下に揺れ、エルボ1の部分が折れ曲がるように揺れた。エルボ1から600mmの部分固定した場合は、配管2のエルボ1との結合部分(ネジ切り部分)が切損した。(写真7参照)



写真7 結合部の切損状況

イ ひずみゲージの測定値は、エルボ1の部分が他に比べ大きな値となり、又、配管固定位置がエルボ1に近づくにつれてひずみが大きくなり、最大で $275 \times 10^{-6}$ であった。

(7) 実験7について

ア 配管1は中間固定部分を支点として前後上下に揺れ、エルボ1の部分が折れ曲がるように揺れた。32Aの配管に比べ大きく曲がった。エルボ1から400mmの部分固定した場合は、配管1はエルボ1との結合部分(ネジ切り部分)で切損した。

(写真8参照)

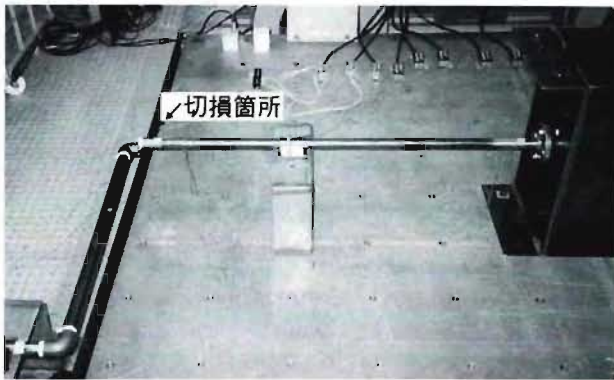


写真8 結合部の切損状況

イ ひずみゲージの測定値は、エルボ1の部分比其他に比べ大きな値となり、又、配管固定位置がエルボ1に近づくにつれてひずみが大きくなり、最大で  $325 \times 10^{-6}$  であった。この値は32A配管に比べ大きい。

## 5 実験結果の考察

### (1) フレキシブル継手について

#### ア 横向き加振の場合

(ア) 横向き加振ではいずれのフレキシブル継手に亀裂等損傷は無く、かなりの揺れでも対応できるものと思われる。

(イ) 同じ口径の場合は長さが長くなるほどひずみが小さくなる。50Aのフレキシブル継手では300mmの方が600mmの約5倍になっている。

(ウ) 同じ長さの場合は口径が大きくなるほどひずみが大きくなる。

(エ) フレキシブル継手の配管結合部分の方が、固定具の結合部分に比べてひずみが小さい。

(オ) 配管の途中を固定すると、固定した側の固定具との配管結合部分のひずみが減少し、他は固定していない場合とほとんど変わらない。

#### イ 軸方向加振の場合

(ア) 同じ口径では長さが長い方がひずみが小さい。

(イ) 横向き加振に比べはるかにひずみが大きくなる。

(ウ) 瞬発的な揺れでは破損する可能性がある。

### (2) エルボの組み合わせについて

ア 配管系でエルボが多いほうがひずみが分散し、個々のひずみは小さくなる。

イ エルボの近くを固定すると配管の接続部のひずみが大きくなるため、エルボからある程度離れた部分を固定するか、可とう性がある固定方法とする必要がある。

ウ 細い配管ほどひずみが大きくなるが、可とう性があるので折損しにくい。

エ 配管のエルボネジ込み接続部は肉厚が薄くなるた

め他に比べ弱く折損し易い。

## 6 結 論

少量危険物貯蔵・取扱場所に用いられる配管継手構成で震度7に相当する加速度を加えた場合、次のことがいえる。

(1) フレキシブル配管の場合、横方向の揺れには強いが軸方向の揺れで、瞬発的な引っ張り力により破損する恐れがあるため、十分な長さのあるものを使用するか、配管にエルボ等を使用し屈曲をもたせたものと組み合わせると有効と思われる。

(2) 配管に屈曲を設けて振動を緩和する場合、継手に近い部分を固定すると大きな力が加わり切損する恐れがあるため、溶接等で配管相互を強固に結合するか可とう性のある固定をする必要があると思われる。又、屈曲が多い方が有効である。

(3) エルボ3個の場合は横方向の加振も軸方向の加振もフレキシブル継手の場合に比べて大きな差はないためこれとフレキシブル管と組み合わせれば軸方向の振れに対して更に有効になると思われる。

(4) 今回の実験では、振動台と静止面である振動実験室の床面との間に固定具を介して配管系を固定して振動させたため、振動台の変位が直接配管系に加わるという苛酷な条件の実験であった。従って、実際の地震ではもう少し余裕があるものと思われる。

## 7 おわりに

今回の実験では、本体装置と配管結合部分の対震性能について正弦波及び地震波を入力し、強さを変化させて、その強さ等に応じて、どのような動き、どのようなひずみを受けるか検証した。今後さらに、

(1) フレキシブル管については軸方向に地震波のような瞬発的な振動が加わると、破損する可能性が認められたことから、フレキシブル管の太さと、長さについて特に軸方向の振れに対してのひずみとして許容される限界値、即ち、安全性の限界点を見極めるための研究

(2) 配管に屈曲を設ける場合、屈曲部の近くを固定するとひずみが大きくなるため、配管の口径・種類により屈曲部からどのくらい離して固定したらよいか見極めるための研究

が必要と思われる。

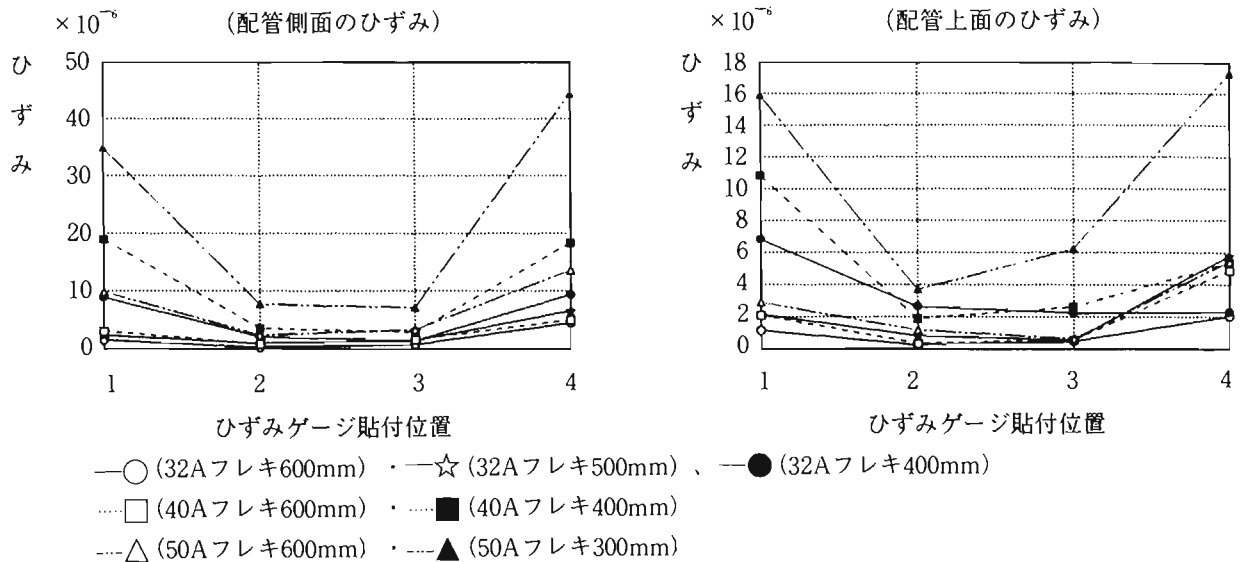


図10 実験1 (正弦波で加振した場合の各部のひずみ)

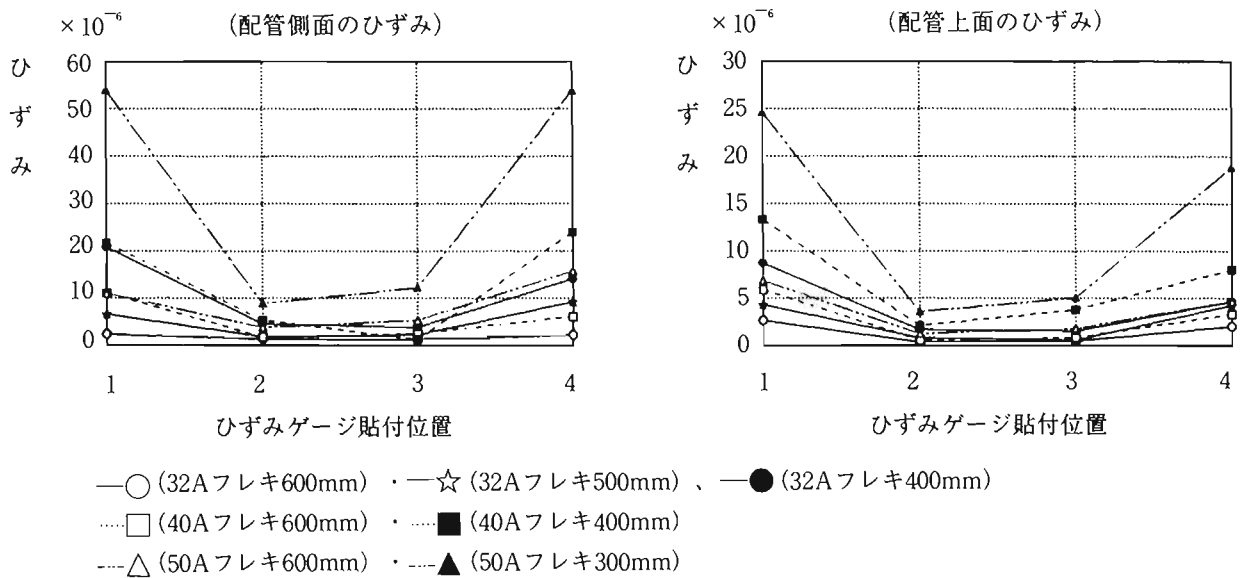
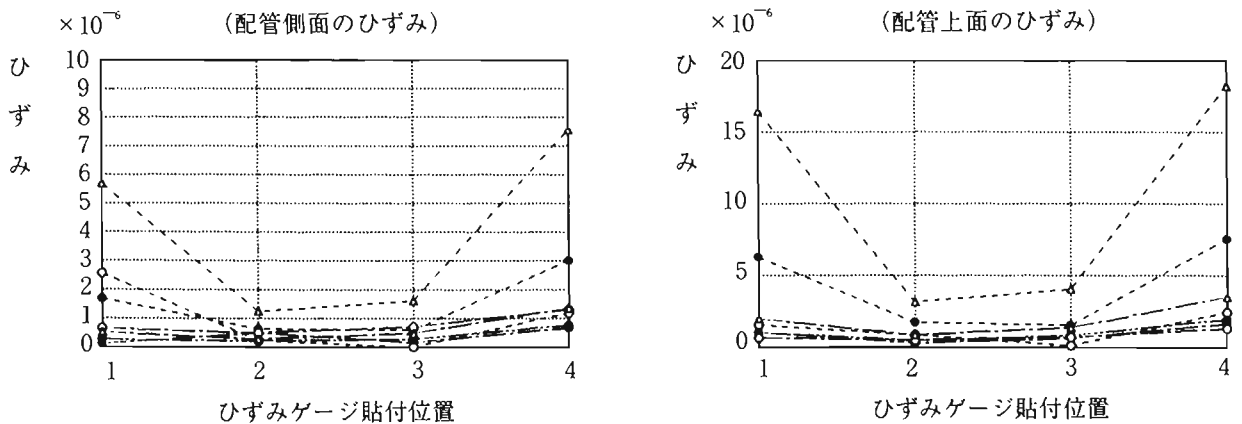


図11 実験1 (地震波で加振した場合の各部のひずみ)



配管固定しない場合

○ (32Aフレキ600mm, 地震波)、□ (32Aフレキ500mm, 地震波)

配管固定した場合

● (32Aフレキ600mm, 地震波)、■ (32Aフレキ500mm, 地震波)

図12 実験1 (配管の一部を固定し地震波で加振した場合の各部のひずみ)

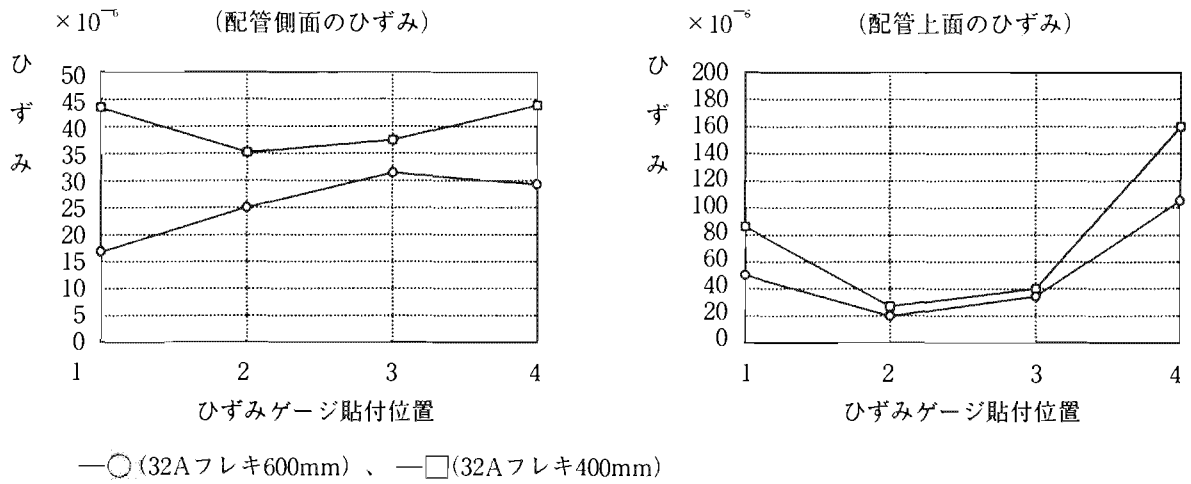
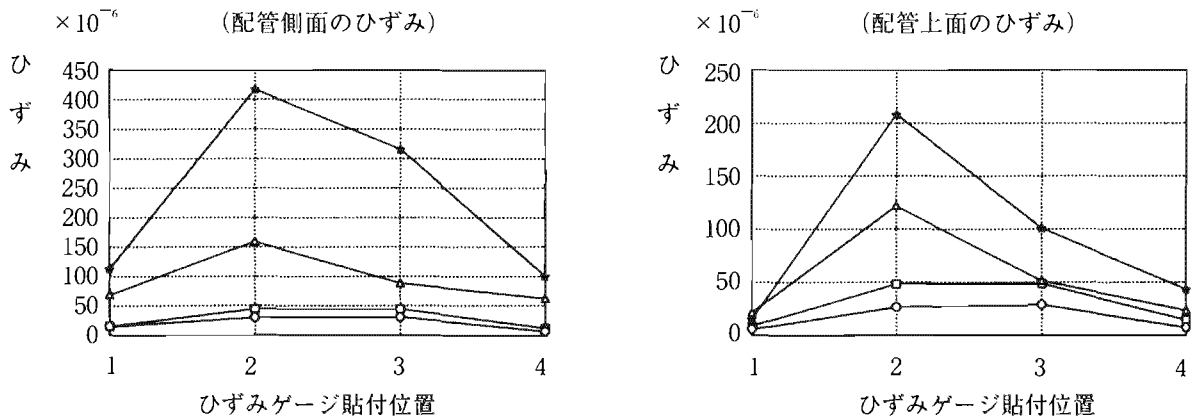


図13 実験1 (軸方向に地震波で加振した場合の各部のひずみ)



配管固定しない場合

—○(エルボ3個、横配管400mm、横方向に加振)、—□(エルボ3個、横配管400mm、軸方向に加振)、—△(エルボ3個、横配管800mm、横方向に加振)、—☆(エルボ2個、横配管800mm、横方向に加振)

図14 実験3、4 (エルボ配管を地震波で加振した時の各部のひずみ)

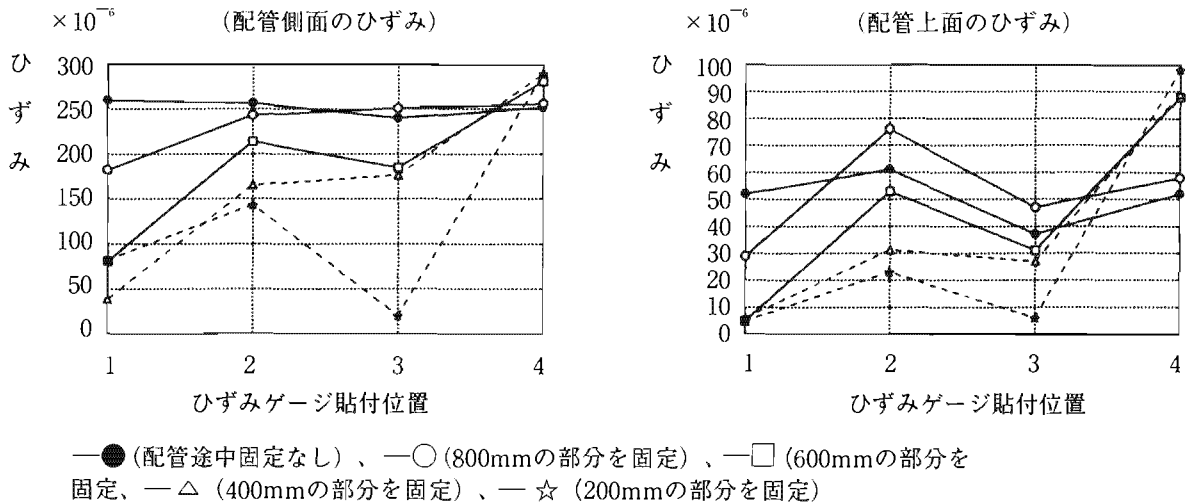
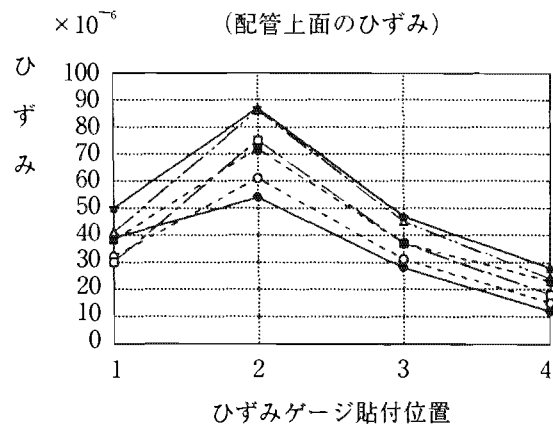
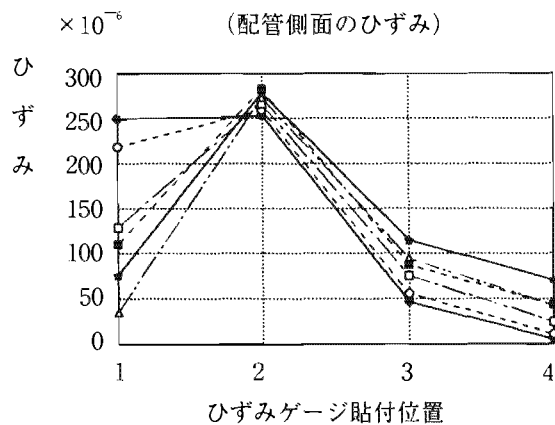


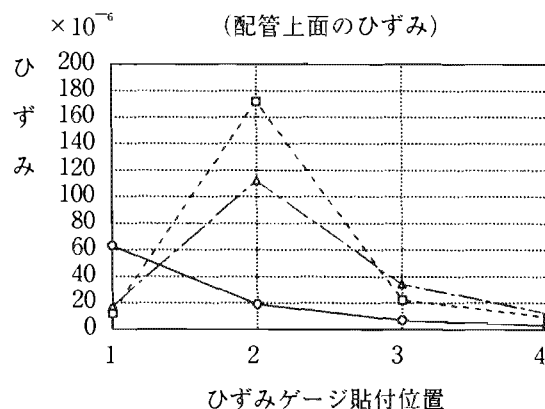
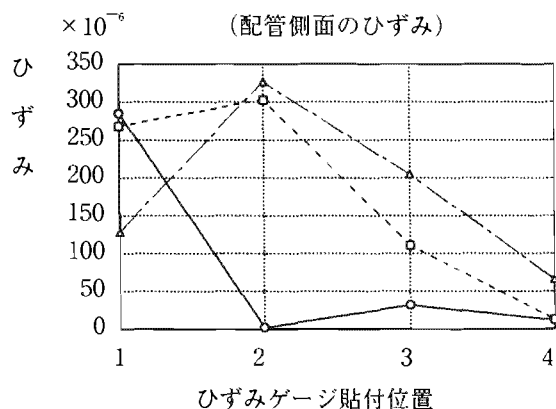
図15 実験5 (地震波で加振した場合の各部のひずみ)





—● (配管途中固定なし)、—○ (1600mmの部分を固定)、—□ (1400mmの部分を固定)、—△ (1200mmの部分を固定)、—☆ (1000mmの部分を固定)、—■ (800mmの部分を固定)

図16 実験6 (エルボ2付近の配管3を固定し、配管1の固定箇所を変えて地震波で加振した場合の各部のひずみ (32A配管の場合))



—○ (配管途中固定なし)、—□ (800mmの部分を固定)、—△ (600mmの部分を固定)

図17 実験7 (エルボ2付近の配管3を固定し、配管1の固定箇所を変えて地震波で加振した場合の各部のひずみ (20A配管の場合))