

消防用設備の鋼管継手等の耐震性能の検証に関する研究

加藤 和夫* , 片岡 正弘*

概要

地震時に消防設備(消火設備)の配管系統が破損する事例が報告されていることに鑑み、特に中枢部であるポンプ周囲から立て配管結合部、床貫通部分の耐震性について検証するため振動実験を行った。結果は以下のとおりであった。

- 1 立て配管と横引き配管結合部はひずみが最も大きくなるため地震動で破損するおそれがある。
- 2 水槽と配管結合部では、水槽面が弾性変形することにより、配管結合部のひずみは小さくなる。
- 3 配管に屈曲が多くなるとひずみが全体に分散される。

1 はじめに

火災を初期のうちに消火するためには、スプリンクラー設備等の自動消火設備が有効である。しかし、過去の大きな地震では配管系統が破損し、その機能が発揮されなかった事例も報告されている。そこで、配管と水槽から構成される配管系統の地震時における挙動の基礎データを得るため振動実験を行った。

2 実験概要

実験は、単独で振動した場合のデータを得るために振動台の上に立て配管、横引き配管及び水槽の全てを固定した場合と、立て配管が上階の床面から受ける揺れの影響を見るために水槽を振動台に固定し、立て配管を振動実験室の床面に固定した場合との二通りの実験を行った。(図1参照)

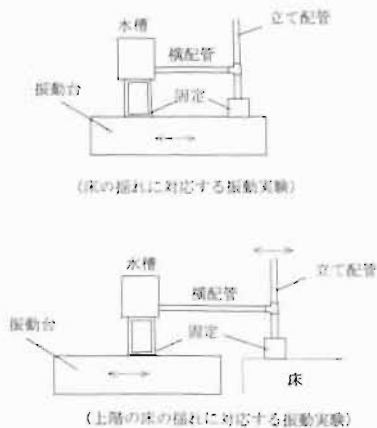


図1 実験の前提条件

(1) 実験に使用した立て配管、水槽等

ア 立て配管

立て配管については、箱状の固定具に配管を立てた状態で下部をコンクリートに埋め込み固定した。固定具は下部6箇所をM12の六角穴付きボルトで振動台のテーブルに固定、又は、振動実験室の床に打ち込まれたアンカーボルトM12のボルトで4箇所固定した。(写真1参照)



写真1 立て配管の固定状況

イ 水槽

水槽は図2に示す構造で、高さ0.9mの架台の上に載せM8のボルトで4箇所固定(配管結合部が床面から1mになるように設置)し、架台の下部をM12の六角穴付きボルトで振動台のテーブルに6箇所固定した。水槽には100lの水を入れた。(写真2参照)



写真2 水槽と配管の状況

* 第二研究室

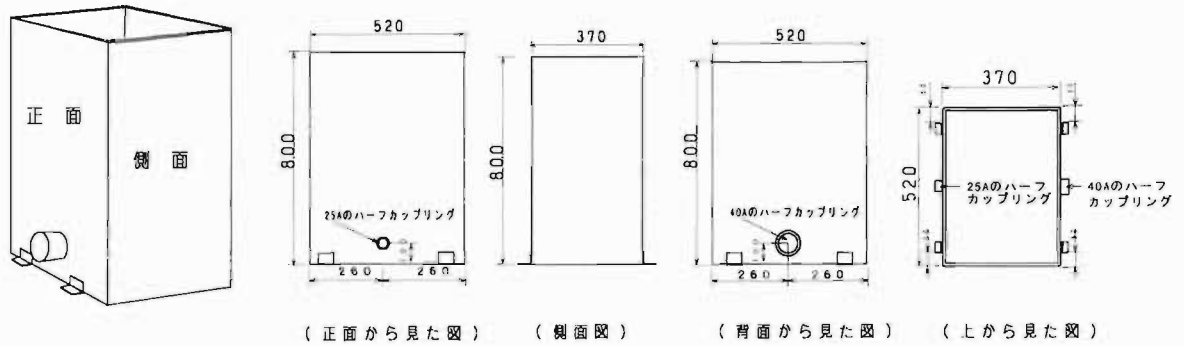


図2 水槽の形状

(2) 実験内容

ア 配管の設定等

配管の設定及び加振波形等は、表1のと通りの組み合わせで実験した。

表1 実験内容

実験No	配管の設定等	加振波形	加振方向	
実験1	1-1	振動台上に50Aの立て配管と水槽を40Aの横引き配管で屈曲点(エルボ鋼管継手)1個を介して結合する。(図3) 立て配管(50A)-T字管チーズ(ねじ式)-横引き配管(40A)-フレンジ(ねじ式)-バルブフレンジ(ねじ式)-エルボ(ねじ式)-ハーフカップリング(内ねじ式)-水槽(水100l)	地震波	X方向
	1-2		正弦波1	
	1-3		正弦波2	
	1-4		正弦波3	
	1-5	振動台及び水槽上部に加速度センサを設置し、加速度を測定する。配管の結合部付近に図5のとおりひずみゲージを貼付し、動ひずみを測定する。	地震波	Y方向
	1-6		正弦波1	
	1-7		正弦波2	
	1-8		正弦波3	
実験2	実験1の立て配管を振動実験室の床に固定する。(図4)	地震波	X方向	
		正弦波2		
実験3	立て配管を32A、横引き配管を25Aとして、実験1と同様に実験する。(図5) 立て配管(32A)-T字管チーズ(ねじ式)-横引き配管(25A)-エルボ(ねじ式)-ハーフカップリング(内ねじ式)-水槽(水100l)	地震波	X方向	
		正弦波1		
		正弦波2		
		Y方向	地震波	
			正弦波1	
			正弦波2	
実験4	実験3の立て配管を振動実験室の床に固定して実験する。(図6)	地震波	X方向	
		正弦波1		
		正弦波2		
実験5	横引き配管で屈曲点(エルボ鋼管継手)2個を介して結合する。(図7)	地震波	X方向	
		正弦波1		
実験6	実験5の立て配管を振動実験室の床に固定して実験する。(図8)	地震波	X方向	
		正弦波1		
実験7	直状管において実験6と同様に実験する。(図9)	地震波	X方向	
		正弦波1		

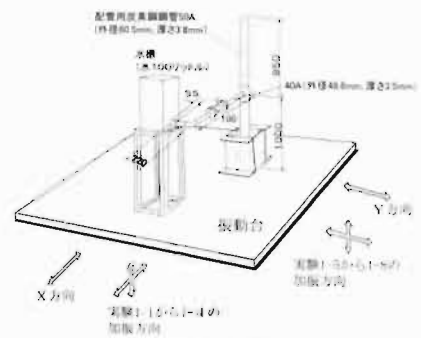


図3 実験1の設定

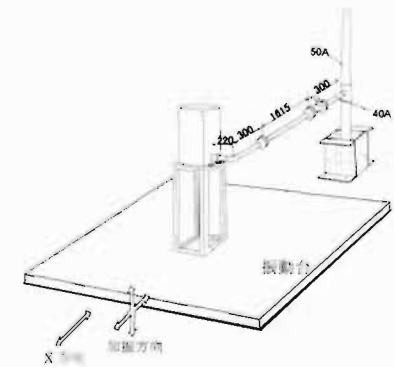


図4 実験2の設定

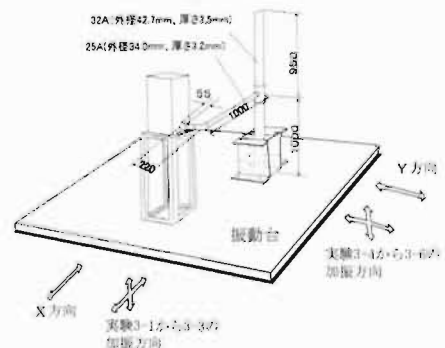


図5 実験3の設定

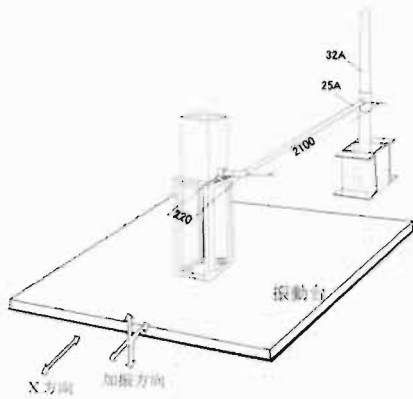


図6 実験4の設定

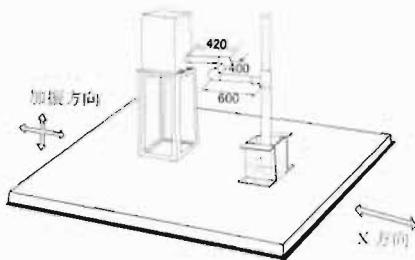


図7 実験5の設定

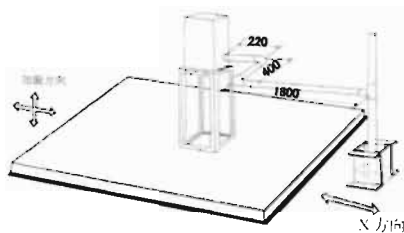


図8 実験6の設定

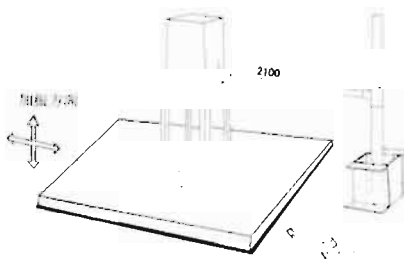


図9 実験7の設定

イ 加振波形

表2の加速度波形で加振した。

表2 入力波

入力波	周波数	振動方向	加速度等
地震波	鋼路沖地震波	地震波の水平・垂直同時	最大加速度:920cm/s ² (E), 711cm/s ² (W) 周期:0.37sec
地震波	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: 気象庁鋼路観測所(鋼路地方気象台) 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: 鋼路 震度6, 浦河・広尾・八戸 震度5 ※ 水平方向の最大振幅 52mm		
正弦波1	水平・垂直 3.3Hz	水平・垂直方向に同時加振	毎秒2cm/s ² の上昇率で水平方向0~1000cm/s ² , 垂直方向0~500cm/s ² で漸増加振。 ※ 水平方向の最大振幅 23mm
正弦波2	立て配管の共振周波数 (10Hz)	水平方向	毎秒2cm/s ² の上昇率で水平方向0~1000cm/s ² で漸増加振。 ※ 水平方向の最大振幅 2.5mm
正弦波3	水槽の共振周波数 (X方向, 4Hz)	水平方向	毎秒2cm/s ² の上昇率で水平方向0~1000cm/s ² で漸増加振。 ※ 水平方向の最大振幅 16mm
正弦波4	水槽の共振周波数 (Y方向, 9Hz)	水平方向	毎秒2cm/s ² の上昇率で水平方向0~1000cm/s ² で漸増加振。 ※ 水平方向の最大振幅 3.1mm

※ 正弦波1については対震安全装置の試験規格の中で振動台の性能から最も加速度を出せる周期0.3(3.3Hz)について実験した。

ウ 測定内容

鉄筋コンクリート貫通部分、配管結合部直近の配管にひずみゲージを貼付し、動ひずみを測定した。ひずみゲージの貼付箇所、測定目的は表3、図10のとおり。又、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目視観測を行った。

表3 ひずみゲージ貼付箇所と測定目的等

ひずみゲージ No	貼付箇所	測定目的等
1-1 1-3	立て配管のコンクリート貫通部付近に、横引き配管と直角の部分に、配管の軸方向に貼付	主に立て配管が横引き配管に対し水平に90度の方向(Y方向の加振に対応)に振動した時の立て配管の軸方向のひずみを測定することを目的として貼付
1-2 1-4	立て配管のコンクリート貫通部付近に、横引き配管方向の部分に、配管の軸方向に貼付	主に立て配管が横引き配管の方向(X方向の加振に対応)に振動した時の立て配管の軸方向のひずみを測定することを目的として貼付
2-1 2-3	横引き配管結合部付近の側面に配管軸方向に貼付	主に横引き配管が水平方向に立て配管を軸としてゆれた場合のひずみを測定することを目的として貼付
2-2 2-4	横引き配管結合部付近の上下面に配管軸方向に貼付	主に横引き配管が上下方向に立て配管結合部を支点にしてゆれた場合のひずみを測定することを目的として貼付
3-1 3-3	エルボ直近の配管側面に配管軸方向に貼付	主に配管のエルボを支点として上下にゆれた場合のひずみを測定することを目的として貼付
3-2 3-4	エルボ直近の配管上下面に配管軸方向に貼付	主に配管のエルボを支点として水平方向にゆれた場合のひずみを測定することを目的として貼付
4-1 4-3	水槽結合部の直近の配管側面に配管軸方向に貼付	主に配管の水槽結合部を支点として水平方向にゆれた場合のひずみを測定することを目的として貼付
4-2 4-4	水槽結合部の直近の配管上下面に配管軸方向に貼付	主に配管の水槽結合部を支点として上下方向にゆれた場合のひずみを測定することを目的として貼付

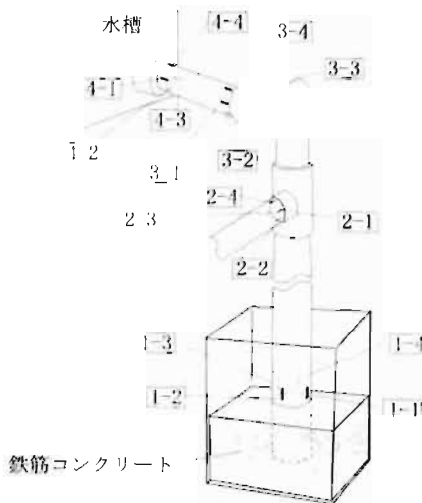


図 10 ひずみゲージの貼付位置

(3) 測定機器

ア 振動測定装置

IMV(株製, D S・2000・25 L)

イ ひずみ測定器

(株)共和電業製, MCC-A

ウ ひずみゲージ

KGF-5-120-C1-11L3M2R, ゲージ長 5 mm

エ データレコーダ

TEAC(株製), DAT テープ型:RD-145T

オ 加速度センサー

IMV(株製) サージ型加速度センサー

3 実験結果

各実験において配管結合部及び水槽と架台の結合部等の変形, 損傷は無かった。

(1) 実験 1 について

ア 実験 1-1 では, 試験体は全体的に振動台の揺れと同じに揺れ, ひずみゲージの値は, 立て配管の貫通部が最も大きかった。

振動台の水平最大加速度は 937.9 cm/s^2 でこの時, 水槽上部の揺れは 1092.5 cm/s^2 , 振動台の垂直方向の最大加速度は 520.7 cm/s^2 , 水槽上部は 528.7 cm/s^2 であった。

イ 実験 1-2 では, アと同様, 配管貫通部のひずみが一番大きく, 次に横引き配管の結合部も大きかった。又, 揺れが大きくなると水槽内部の水が蓋の隙間から漏れ落ちた。(水槽には上端から 28cm 下まで水が入っている。)

ウ 実験 1-3 では立て配管の共振周波数では, 立て配管上部が加振方向に細かく振動し, ひずみゲージの値は横引き配管の結合部が他の実験に比べて大きくなった。

エ 実験 1-4 正弦波 3 (水槽の X 方向の共振周波数 4 Hz)

では水槽の揺れ(X 方向)が大きく, ひずみゲージの値は実験 1-3 と同様に, 横引き配管結合部のひずみが大きくなった。

オ 実験 1-5 (地震波 Y 方向) では水槽が加振方向に揺れ, 内部の水が蓋の隙間から漏れ落ちた。

カ 実験 1-6 (正弦波 1) では X 方向とほぼ同様な値になっている。又, 揺れが大きくなると水槽内部の水が蓋の隙間から漏れ落ちた。

キ 実験 1-7 (配管の共振周波数 Y 方向加振) では X 方向加振に比べ立て配管貫通部及び横引き配管結合部分の配管のひずみは小さい。

ク 実験 1-8 (正弦波 3, Y 方向) では X 方向加振に比べ立て配管貫通部分及び横引き配管結合部分の配管のひずみは小さい。

ケ 実験 1-1 と実験 1-5 (地震波の加振) の最大値を表にしたものが表 4 である。立て配管貫通部分及び横引き配管結合部のひずみが大きいことがわかる。

コ 実験 1-3 と実験 1-7 (立て配管の共振周波数) の最大値を表にしたのが表 5 である。横引き配管の方向 (X 方向の加振) の揺れに対してひずみが大きくなっている。

サ 実験 1-4 と実験 1-8 (正弦波 1, 3.3Hz 水平・垂直) の最大値を表にしたものが表 6 である。X 方向の加振に対するひずみが Y 方向の加振に比べて大きい。また, 立て配管貫通部分のひずみが一番大きく, 次に横引き配管結合部分が大きく, エルボ結合部及び水槽結合部は小さい。

表 4 実験 1-1 と 1-5 のひずみの最大値

実験 1-1 と 実験 1-5 の 最大値	測定位置別ひずみの最大値			
	1-1	1-2	1-3	1-4
	488.8	529.2	471.3	511.5
	2-1	2-2	2-3	2-4
	357.3	355.8	362.0	406.5
	3-1	3-2	3-3	3-4
	198.7	99.7	166.1	54.6
	4-1	4-2	4-3	4-4
	117.3	103.8	149.6	104.0

表 5 実験 1-3 と 1-7 のひずみの最大値

実験 1-3 と 実験 1-7 の 最大値	測定位置別ひずみの最大値			
	1-1	1-2	1-3	1-4
	283.7	603.1	280.7	659.2
	2-1	2-2	2-3	2-4
	231.2	425.3	228.9	421.4
	3-1	3-2	3-3	3-4
	208.8	73.5	173.0	133.4
	4-1	4-2	4-3	4-4
	118.7	108.6	118.1	97.6

表 6 実験 1-4 と 1-8 のひずみの最大値

実験 1-4 と 実験 1-8 の 最大値	測定位置別ひずみの最大値			
	1-1	1-2	1-3	1-4
	342.9	476.5	315.0	523.9
	2-1	2-2	2-3	2-4
	178.6	348.1	177.2	372.0
	3-1	3-2	3-3	3-4
	107.0	45.7	60.1	57.2
	4-1	4-2	4-3	4-4
	66.5	108.6	45.4	66.4

(2) 実験 2 について

ア 実験 2-1 では立て配管がコンクリート貫通部を支点に振動方向にしなるように揺れた。水槽結合部の水槽面が振動につれてゆがんだが、配管・継手等に变形・損傷等はなかった。

ひずみゲージの値は配管貫通部で実験 1-1 に比べて3倍以上、横引き配管結合部、エルボ結合部、水槽結合部では10倍近い値になった。

イ 実験 2-2 では立て配管がコンクリート貫通部を支点に加振方向に揺れ、ひずみゲージの値は配管貫通部、横引き配管結合部で実験 1-1 に比べて3倍近く増加したが、水槽結合部分の配管のひずみは大きな変化はなかった。

(3) 実験 3 について

ア 実験 3-1 では実験 1-1 と同様に全体に振動台の揺れと同じように揺れ、ひずみゲージの値は配管貫通部が最も大きい。また、横引き配管結合部のひずみは実験 1-1 より大きい。

イ 実験 3-2 では実験 1-2 に比べて、立て配管貫通部のひずみは小さいが、横引き配管結合部のひずみは大きい。他はほとんど変わらない。また、揺れが大きくなると水槽上部の蓋の隙間から水が漏れ落ちた。

ウ 実験 3-3 では実験 1-3 に比べて、立て配管貫通部のひずみは小さいが、横引き配管のひずみは大きい。又、エルボ結合部のひずみも大きくなっている。

エ 実験 3-4 では実験 1-5 に比べエルボ結合部、水槽結合部のひずみが大きくなっている。

オ 実験 3-5 では実験 1-7 に比べ全てのひずみゲージの値が大きくなっている。又、揺れが大きくなると水槽上部の蓋の隙間から水が漏れ落ちた。

カ 実験 3-6 では実験 1-8 に比べ全体的にひずみゲージの値は小さい。

キ 実験 3-1 と実験 3-4 の最大値を表にしたものが表 7 である。表 4 と比較すると、エルボ結合部と水槽結合部のひずみが大きくなっている。

表 7 実験 3-1 と 3-4 のひずみの最大値

実験 3-1 と 実験 3-4 の 最大値	測定位置別ひずみの最大値			
	1-1	1-2	1-3	1-4
	463.6	406.6	446.1	394.3
	2-1	2-2	2-3	2-4
	309.4	389.1	262.7	347.2
	3-1	3-2	3-3	3-4
	344.5	111.0	269.5	142.2
	4-1	4-2	4-3	4-4
	195.5	181.7	218.7	141.1

ク 実験 3-3 と実験 3-6 の最大値を表にしたものが表 8 である。表 5 と比較するとエルボ結合部と水槽結合部のひずみが大きくなっている。

(4) 実験 4 について

ア 実験 4-1 では立て配管が振動台の揺れにつれて大きく加振方向に揺れ、ひずみゲージの 1-2、1-4 についてはレンジオーバーで測定不能となった。しかし、配管等の变形損傷はしなかった。実験 2-1 に比べると全体的にひずみの

値は大きかった。

表 8 実験 3-3 と 3-6 のひずみの最大値

実験 3-3 と 実験 3-6 の 最大値	測定位置別ひずみの最大値			
	1-1	1-2	1-3	1-4
	524.5	284.3	525.9	293.8
	2-1	2-2	2-3	2-4
	290.3	395.9	232.3	396.1
	3-1	3-2	3-3	3-4
	398.7	135.3	329.9	179.2
	4-1	4-2	4-3	4-4
	211.2	214.5	251.8	154.5

イ 実験 4-2 でも立て配管が振動台の揺れにつれて大きく加振方向に揺れ、ひずみゲージの 1-2、1-4 についてはレンジオーバーで測定不能となった。他の測定点では実験 4-1 より低い値となった。又、揺れが大きくなると水槽上部の蓋の隙間から水が漏れ落ちた。

ウ 実験 4-3 でも立て配管が振動台の揺れにつれて大きく加振方向に揺れ、ひずみゲージの 1-2、1-4 についてはレンジオーバーで測定不能となった。実験 2-2 に比べると全体的に大きな値となった。

(5) 実験 5 について

ア 実験 5-1 ではひずみは配管貫通部分、横引き配管結合部が大きかった。

イ 実験 5-2 ではひずみは配管貫通部分、横引き配管結合部が大きい実験 5-1 の値に比べると小さかった。又、揺れが大きくなると水槽上部の蓋の隙間から水が漏れ落ちた。

(6) 実験 6 について

ア 実験 6-1 では各部のひずみが 1000×10^{-6} を超えた値となった。

イ 実験 6-2 では立て配管貫通部分がレンジオーバーで測定不能となったが、他の部分は 1000×10^{-6} 以上にはならなかった。又、揺れが大きくなると水槽上部の蓋の隙間から水が漏れ落ちた。

(7) 実験 7 について

ア 実験 7-1 ではひずみは配管貫通部分、横引き配管結合部がレンジオーバーで測定不能となったが、エルボ結合部、水槽結合部のひずみは小さく、5-1 に比べはるかに小さかった。

イ 実験 7-2 ではひずみは配管貫通部分でレンジオーバーで測定不能となり、横引き配管結合部でも 1000×10^{-6} を超えた値となった。又、揺れが大きくなると水槽上部の蓋の隙間から水が漏れ落ちた。

(8) ひずみ波形について

ア 実験 1-4(水槽の共振周波数で X 方向に加振、水槽と立て配管は振動台上)の結果のひずみ波形を例示したものが図 11~14 である。揺れの小さいうちは直線的にひずみが漸増するが、途中から急激に上昇している。それぞれの箇所波形は類似している。

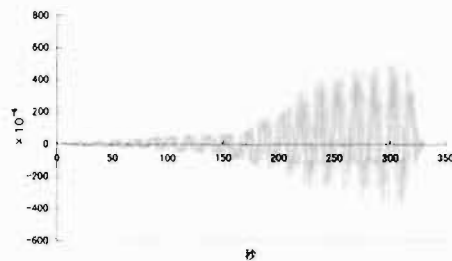


図 11 実験 1-4(測定点 1-2)のひずみ波形

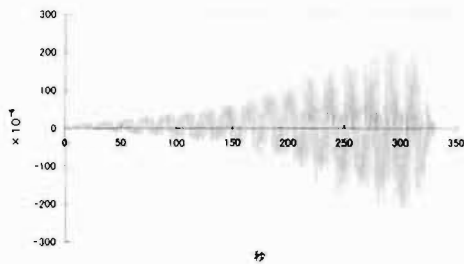


図 12 実験 1-4(測定点 2-2)のひずみ波形

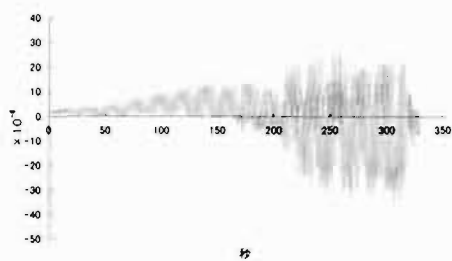


図 13 実験 1-4(測定点 3-2)のひずみ波形

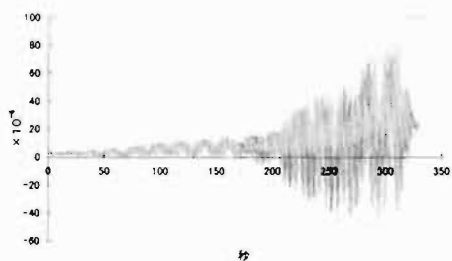


図 14 実験 1-4(測定点 4-2)のひずみ波形

イ 実験 2-2(実験 1-3 で立て配管を振動実験室の床に固定)のひずみ波形は直線的に漸増している。水槽結合部(測定点 4-2)の波形には乱れが見られる。

ウ 実験 4-2(立て配管を 32A、横引き配管を 25A とし立て配管を振動実験室の床に固定、正弦波 1 で X 方向に加振)のひずみ波形は全ての箇所直線的な漸増波形となっている。

エ 実験 5-2(エルボ 2 個を介し結合し、水槽、立て配管を振動台上で、X 方向に正弦波 1 で加振)の結果のひずみ波形は全ての箇所ほぼ直線的な漸増波形となっている。

オ 実験 6-2(実験 5-2 で立て配管を床に固定)の結果のひずみ波形は全ての部分で直線的な波形になっている。又、実験 5-2 に比べ波形の乱れが小さい。

カ 実験 7-2(直状管で立て配管を床に固定)の結果のひずみ波形は、横引き配管結合部の波形は直線的な漸増波形になっているが、エルボ結合部、水槽結合部は変形した漸増波形になっている。

4 実験結果の考察

(1) 立て配管の貫通部はコンクリートで堅固に固定されており、そこを支点に長い管が揺れることから大きなひずみとなっている。

(2) 水槽、立て配管を振動台上で加振した場合、横引き配管結合部では全ての場合上下に貼付されたひずみゲージの値が側面に貼られたものより大きくなっている。

立て配管を床面に固定し加振した場合、横引き配管結合部のひずみが非常に大きくなることから、損傷する可能性が一番強い部分であると考えられる。

(3) 立て配管を床に固定し加振した場合で、エルボなしで直結した場合は立て配管貫通部と横引き配管結合部のひずみが大きいのに対し、水槽結合部のひずみは小さい。エルボ 2 個の場合は、エルボ結合部、水槽結合部もひずみが大きくなっている。又、ひずみの波形にも乱れが無いことから漸増的なひずみを示している。したがって、曲折部が多いほど、ひずみの最大値が全体的に小さくなり、ひずみが分散化されるものと考えられる。

(4) 水槽結合部のような鋼板面に結合された部分は鋼板面が弾性変形することにより結合した配管のひずみが緩衝されるため損傷する可能性は少ないと考えられる。

(5) ひずみ波形を比較して検討すると、ア 実験 1-4 でひずみが途中から急激に上昇しているのは水槽自体が共振したためである。

イ 立て配管を振動台とは別の床に固定した場合の方が波形に乱れがなくなっている。これは、立て配管の揺れによる各部のひずみの波形が規則正しい漸増波であること、かつ、床面の揺れにより横引き配管、水槽等が揺れることによるひずみに比べ大きいためと考えられる。

5 まとめ

(1) 分岐配管系統が同一床上で単独で揺れた場合は各部のひずみは小さいため配管結合部が損傷するおそれは少ない。

(2) 立て配管の揺れにより横引き配管結合部はひずみが最も大きくなるため損傷するおそれがある。

(3) 水槽のように面で結合された部分は面がひずむことにより配管結合部のひずみは小さくなるので水槽の配管結合部が破損するおそれは少ない。

(4) 配管に屈曲が多くなると、ひずみの大きかった部分は小さくなり、小さかった部分は大きくなり、全体的に平均化される。したがって、屈曲部を適当に設けることにより配管の耐震性が強まる。

(5) 100 リットル程度の水槽では本実験で行った固定で震度 6 程度の地震動に十分耐えうる。

VIBRATION TEST OF PIPE JOINTS OF FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS

Kazuo KATO*,Masahiro KATAOKA*

Abstract

In the past big earthquakes, breakage occurred in the piping of fire extinguishing systems. So we practiced vibration tests to find out the influence of earthquake shock on pipe joints around a pump and the part of the standpipe where it passed through the floor.

The result of the tests is as follows :

- 1 The joint between a standpipe and a divided pipe is most likely to break by a shock of a big earthquake.
- 2 At the connection of the water tank and pipes, the strain is smaller than other parts by the elasticity of a tank surface in case of a big earthquake.
- 3 If the pipes are coupled with elbow-pipe fittings, the shock of an earthquake is dispersed, causing little strain on the connected points

* Second Laboratory