

1 倍強震計ばね強度測定試験報告*

矢 崎 敬 三**

550.341

§ 1. は し が き

さる昭和27年3月4日十勝沖地震の際激震域にあった釧路測候所の1倍強震計水平動成分の板ばねが切れ、また昭和36年2月27日向灘地震の際強震域に位置していた宮崎地方気象台の1倍強震計水平動の回転軸板ばねが両成分上下とも切れて、地震記象がとれなくなったという事故が生じたことから、1倍強震計のばね強度および機構の再検討が要求されたので、とり急ぎ試験用ばねを試作し、ばねの強度試験を行った。試験は静的、動的二様の方法で行ない、静的試験は気象測器製作所部内において、動的試験は建設省建築研究所の大型耐震試験台を借用し、建築研究所において同所員および本庁地震課酒井、勝又両技官の協力を得て行った、この試験によればばね強度を確保するため改良すべき点について結論を得たので、試験経過、結果とあわせて報告する。

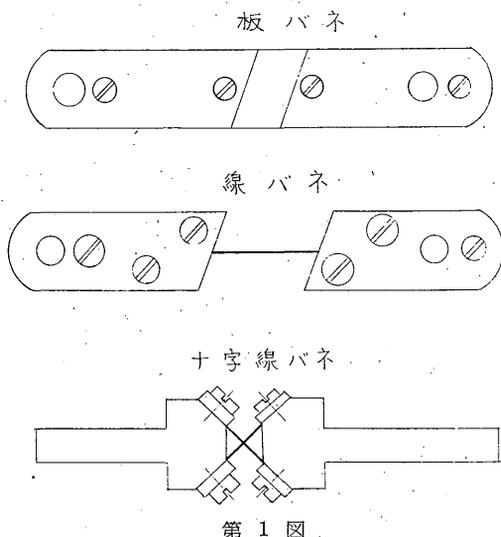
§ 2. 静的および衝撃試験

試験用ばねとして用意したのは第1表に示すとおり、厚さ3種類、長さ3種類を組合せた板ばね、および線ばねについて、太さ2種類、長さ2種類の組合せ、十字線ばねについて太さの異なるもの2種類、計15種類で、各種類につき上下ばね10組である。試験の際の便宜上こ

第 1 表

板ばね厚さ mm	板ばね長さmm			
	0.10	0.18	0.25	
30	長・薄	長・中厚	長・厚	
16	中長・薄	中長・中厚	中長・厚	
8	短・薄	短・中厚 (現用)	短・厚	
線ばね太さ mm	線ばね長さmm		十字線ばね 長さmm	十字線 ばね太さmm
	0.50	1.00		
16	長・細	長・太	0.65	細太
8	短・細	短・太	1.00	

これらのばねを第1表で示すように略称した。また、これらのばねの形状を第1図に示す。



試験は

- 1) 水平動振子の重心位置において、振子方向(板ばねから重錘を見る方向)、上方に静的に荷重をかける。
- 2) 重心位置において、振子方向、水平に静的に荷重をかける。
- 3) 重心位置において、振子方向、上方に衝撃的に荷重をかける。
- 4) 重心位置において、振子方向水平に衝撃的に荷重をかける。
- 5) 重心位置において、振子に直角方向に衝撃を与え、フレ止メに衝突させる。フレ止メは現用の位置のもの(これを現とする)と、重心位置に試験的に設けたもの(これを新とする)の2種類について行う。

上記衝撃試験においては荷重を2種類とし、落下距離

* K. Yazaki : Strength Test of the Springs for Strong Motion Seismometer (Received Jan. 9, 1962).

** 気象測器製作所

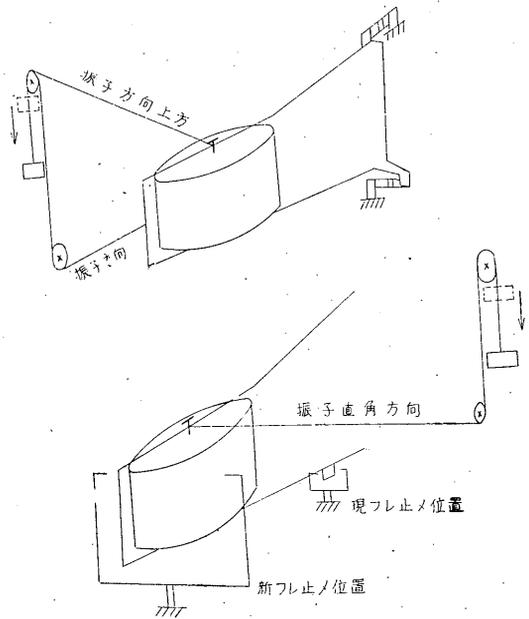
は約 25cm, 荷重の案内網の下端に止メを置き, 衝撃後荷重がそのまま静荷重としてかかるようにした場合と, 衝撃後止メが容易に切れ, 荷重は衝撃的にのみかかるようにした場合と 2 通りについて行なった.

この試験方法を模式的に示すと第 2 図のとおりである.

以上のような方法で行なった試験の結果は第 2 表 a に示すとおりで, 試験は各種のばねにつき各試験方法につき行なったわけではないが, 第 2 表 a の試験から試験はせずとも結果が容易に類推できるものも含めると, 第 2 表 b のようになる.

この静的および衝撃試験によるばねの損傷は主として下のばねに生じ, それも, 永久ひずみとして曲げが地震計台に固定された側の挟片のつけ根に生ずることが確かめられたが, 切れたのは僅か 1 件のみであった. また, 現用の短, 中厚のばねでも, またそれよりも長い中長, 中厚の程度のものでも, フレ止メが新しい位置にあれば, 充分これらの試験に耐えられた.

上記の試験は, 地震計に取付けられた姿勢で, ばねが静的にどの位の荷重に耐えられるか, あるいは種々の方



第 2 図

第 2 表 a

試験種類 荷重 kg	衝撃試験 (落差 約 250mm)															
	静的試験				振り方向 上方へ		振り方向 水平		振り直角 方向, 水平に瞬間的, フレ止メ現		振り直角 方向, 水平に瞬間的, フレ止メ新		振り直角 方向, 衝撃負荷, フレ止メ現		振り直角 方向, 衝撃負荷, フレ止メ新	
	1.37	2.75	4.42	7	1.37	2.75	1.37	2.75	1.37	2.75	1.37	2.75	1.37	2.75	1.37	2.75
試験ばね種類	1.37	2.75	4.42	7	1.37	2.75	1.37	2.75	1.37	2.75	1.37	2.75	1.37	2.75	1.37	2.75
長	○	○	○	×	○	○							×上	○		○
中厚	○	○	○	(×)	○	×			○				○			
厚	○	○	○	○	○	×	○	○					○	×	○	○
中長	○	○	○	○	○	○	○	○					○	×	○	×
厚	○	○	○	○	○	○	○	○					○	×	○	○
短	○	○	○	○	○	○	○	○					○	×	○	○
厚	○	○	○	○	○	○	○	○					○	×	○	○
線ばね長	○	○	○	○	○	○	○	○					○	×	○	×
太										(×)			○	×	○	×
線ばね短									(×)				○			×
細													○			×
太													○			×
十字線ばね	○	○	○	○	○	○	○	○					○	○	○	×
細													○			×
太													○			×

○ 折損なし × 折損 (×) 僅かな変形しかなかった場合

第 2 表 b

試験種類		静的試験				衝撃試験 (落差 約 250mm)											
						振子方向 上方へ		振子方向 水平		振子直角 方向, 水平に瞬間 的, フレ止メ現		振子直角 方向, 水平に瞬間 的, フレ止メ新		振子直角 方向, 衝撃後負荷, フレ止メ現		振子直角 方向, 衝撃後負荷, フレ止メ新	
荷重 kg		1.37	2.75	4.42	7	1.37	2.75	1.37	2.75	1.37	2.75	1.37	2.75	1.37	2.75	1.37	2.75
試験ばね種類																	
長	薄	○	○		×	○	○							×	×	(×)	×
	中厚	○	○	○	(×)	○	×			○				○		○	
	厚	○	○	○	○	○	×	○	○	○				○		○	
中長	薄	○	○	○	○	○	× _{上下}	○	○	○				○	× _{上下}		× _{上下}
	中厚	○	○	○	○	○	○	○	○	○				×	×	○	○
	厚	○	○	○	○	○	○	○	○	○				×	×	○	○
短	薄	○	○	○	○	○	○	○	○					○?	○?	○	○
	中厚	○	○	○	○	○	○	○	○					×	× _{切断}	○	○
	厚	○	○	○	○	○	○	○	○					×	×	○	○
線ばね長	細	○	○	○	○	○	○	○		×	○	○	○	× _{上下}	×	×	×
	太	○	○	○	○	○	○	○		(×)	○	○	○	× _{上下}	×	(×)	×
線ばね短	細	○	○	○	○	○	○	○		(×)	×	○	○			×	×
	太	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○			○	×
十字線ばね	細	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○			○	×
	太	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	×	×		

向の衝撃的な荷重にどのくらい耐えられるかを求めたもので、振子方向の荷重に対しては、ばねが長過ぎると、挫屈と同じ現象が生じ、振子に直角な方向の荷重に対しては、現フレ止メ位置では、振子はここを支点として、ばねに大きな曲げを与え、永久ひずみを生じさせることがわかった。しかし、これらの衝撃的な試験に対しては十分な計測装置が得られなかったので、数値的に扱うことはできなかった。また、この試験は、振子が実際に地震動を受けた時の状態とはほど遠いものである。この試験の結果に基づいて振動試験の方法と、試験用ばねの種類を決定した。

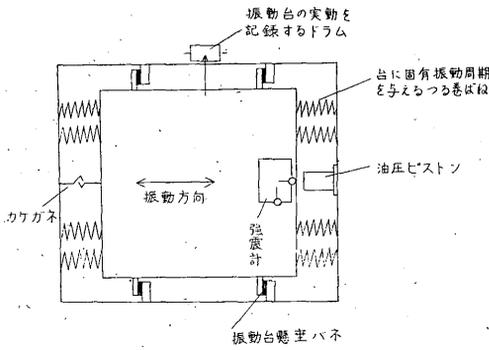
§ 3. 振動試験

振動試験を行うための振動台の施設が気象庁部内では得られないので、建設省建築研究所の大型耐震試験台を借用した。この試験台は台のみの重量 11 ton, 約 4 m 角の台を 4 か所で板ばねで基台から懸垂し、台の両側面において、基台との間につる巻きばねをはさみ、このばね

のそれぞれの強度と個数とを変えることにより試験台の固有周期を変えることができる。したがって試験台の水平方向の振動は 1 方向に限られる。振動を与える方法はまず油圧ピストンによってあらかじめ試験台を一方に片寄せ、カケ金で止め、ピストンを後退させる。しかる後、カケ金をはずすことによって試験台に自由振動を生起させる。あらかじめピストンによって圧して与える変位の大きさによって最初の加速度を変えることができる。この試験台の構造を模式的に第 3 図に示す。

たまたま、試験台上には原子炉の炉心のグラフィトブロックの試験セットがあったので、そのセットの縁を利用し、試験台の振動方向に一成分、振動に直角な方向に他の一成分が向くように地震計をセットした。試験台には、台の変位を直接記録させるための記録装置と、台に与えられた初加速度と、その後の自由振動の加速度を記録させるためのペンオッシュロ記録装置が用意され、試験資料の整理に便ならしめた。

試験はまず、試験台の固有周期を 0.4 秒にセットし、



第 3 図

各種のばねにつき、加速度を変えて、水平動振子にはダンパーなしで13回の試験を行なった。試験の種類と、その場合のばねの切損状況は第3表aのとおりである。第3表aの結果から試験はせずとも結果が容易に類推出来るものも含めると、第3表bようになる。

振動方向に向いた成分についてはダンパーがなくても、加速度 0.7g (激震程度) になっても何らの異状は認められなかったばかりではなく、はじめ多少振動している場合でもその振動は次第に減衰してゆく状態であった。すなわち、振子に及ぼす他成分の影響は振子の固有周期6秒に対し、強制振動の周期が0.4秒と極めて短い場合

は全く問題にならないことが明らかに示された。

振動方向に直角な成分においては、振幅が小さい場合は、加速度が大きくても何ら損傷はなかったが、振幅が大きくなって、フレ止めに衝突するようになると折損を生ずるようになった。フレ止めの位置を現在の位置と、重錘の重心位置との2カ所に変えて行なったところ、現在のフレ止め位置では、振動がフレ止めに当たる程度以上になるとすべての場合下のばねが折損した。このすべての場合上のばねは折れず、変形を生じたのも下のばねが折れたため、荷重が異常な形で上のばねにかかったためと考えられ、振動中と考えられない。下のばねの折れた個所は、すべて地震計台に固定されている側の挟片の根元である。フレ止めに重心位置にした新しい位置での試験では与えた加速度が0.7gに達しても何らの損傷も、異状も認められなかった。

なお、現在のフレ止め位置での試験でねばが折れた場合の状況も極めて興味あるものであった。ばねはフレ止めに当たった一衝撃で折れるのではなくて、左右のフレ止めと衝突を何振動かくり返した後に折損が起る。フレ止めに振子の重心位置から著しく回転軸に近いので、ばねの曲げ角度は、振幅/振り腕の長さより2ないし3倍も大きくなり、ばねは大きな角度のくり返し曲げを受けて、ついに切断に至ることが認められた。

第 3 表 a

○折損なし
×折損(すべて下のばね)

初 加 速 度 フレ 止メ種別	振動台を人為的にゆすぶり0.48gまで		0.12g		0.30g		0.49g		0.60g		0.68g		
	現	新	現	新	現	新	現	新	現	新	現	新	
ばね種類													
中 長 ・ 薄	○		○				×	○					
中 長 ・ 中 厚						○	○	※	※			×	
中 長 ・ 厚									×	○			○
短 ・ 中 厚 (現用)								×	○				○

※フレ止めに当らず

第 3 表 b

初 加 速 度 フレ 止メ種別	振動台を人為的にゆすぶり0.48gまで		0.12g		0.30g		0.49g		0.60g		0.68g		
	現	新	現	新	現	新	現	新	現	新	現	新	
ばね種類													
中 長 ・ 薄	○	○	○	○	?	○	×	○	×		×		
中 長 ・ 中 厚	○	○	○	○	○	○	×	○	×		×		
中 長 ・ 厚	○	○	○	○	○	○	×	○	×	○	×	○	
短 ・ 中 厚 (現用)	○	○	○	○	○	○	×	○	×	○	×	○	○

この試験では試験台の周期も短く、かつダンパーなしであったので、強震計の自由振動が試験台の振動に重なり、実際の地震の際とは条件が異っていたので、ついで試験台の周期を最大の0.6秒とし、振動方向に直角な成分にはダンパーを取付けて試験を行なった。さきの試験ではばねの折損する機構は確認されたので、この試験では現用のばねを主とし、加速度を変えて行なった。この試験の結果は第4表aに示すとおりで、第4表aの結果から試験はせずとも結果が容易に類推出来るものも含めると第4表bようになる。ダンパーを取付けた結果、試験台の振動に重なる地震計の自由振動は見られず、ダンパーが有効に働いていることも確められた。

第4表bから明らかなように、現用のばねに対し、フレ止メが現在の位置にある場合には、振子がフレ止メに当たって折れる加速度に対しても、フレ止メを重心位置に移した場合には充分耐えられることがわかった。

第4表a ○折損なし
×折損(すべて下のばね)

ばね種類	初加速度 フレ止メ種別		振動台を人為的にゆすぶり0.23gまで		0.22g		0.52g	
	現	新	現	新	現	新	現	新
短・中厚 十字線ばね	×	○		○		○	×	○

第4表b

ばね種類	初加速度 フレ止メ種別		振動台を人為的にゆすぶり0.23gまで		0.22g		0.52g	
	現	新	現	新	現	新	現	新
短・中厚 十字線ばね	×	○	×	○	×	○	×	○

§ 4. 試験の結論

以上、静的、衝撃および振動試験を総合して 以下の ような結論を得た。

1. 宮崎地方気象台の強震計ばねの折損は、水平動両成分とある角をなす方向の地震動により振子がフレ止メに衝突をくり返し、振子の重心がフレ止メより回転軸に対し約2倍以上も外方にあるため、回転軸のばねは振子がフレ止メに衝突した際、フレ止メを支点として大きな角度で曲げられこのくり返し曲げによって生じたものと考えられる。第4表で見ると0.22gすなわち強震の上限近くの加速度の場合、振子がフレ止メに当たると下のばねが切れていることからこの考えは裏付けられる。試験においてはこの場合も下のばねが折損したのみであったが、宮崎の場合には下のばねが切れて振子が落ちた後、さらに続く地震動で上のばねも折れたのではないかと推測される。

2. 0.6秒周期の振動では0.52gまで、0.4秒周期の振動では0.68gまでの試験を行なったが、この試験の結果からフレ止メを振子の重心位置に移すことにより、現用の0.18mm厚、8mm長さばねで烈震、激震まで充分に耐えられることが確められた。また現在の全振幅60mmに相当する回転角に対してはくり返し曲げに充分耐えられることも確められた。

したがって、ばね強度を改善する方策はばね自体にあるのではなく、現在のフレ止メ位置を廃し、振子の重心位置にフレ止メを移すことである。

§ 5. 結 び

この試験は当所業務として行なったもので、当所職員各位の尽力によるものであるが、なお本庁広野地震課長、三浦補佐官の御教示をいただき、酒井調査官および勝又技官の御協力を得た。ばね試験片の準備は当所田宮、吉田両技官に負うものである。特に振動試験については建設省建築研究所の御厚意により、同所の大型耐震試験台を借用し、中川主任研究官をはじめとし、同研究室および共同試験場の職員多数の御協力をいただいた。静的試験によっては確められなかったばねの折損状況が、振動試験を経てはじめて確められ、上記の試験結果を得たものである。特記して各位の御厚意に感謝する次第である。