I －126

斜めつり材をもつつり橋の実験的研究

京都大学工学部　正員　工博　小西一郎
京都大学工学部　正員　工博　白石成人
鹿島建設 KK　正員　工修　野口習紘
首都高速　正員　大野想平

1. まえがき

最近，一つのつり材形式として，斜めつり材を有するつり橋が提案され，この形式が英国Severn橋に応用されて以来，多くの工学者の注目をあびている。しかしながら現在，斜めつり材を有するつり橋の力学機構は，まだ充分解明されておらず，Severn橋においても，まだ斜めつり材はつり橋構造における本質的なものとしては扱われていないようである。斜めつり材をもつつり橋では，ハンガーが斜めに張られることにより，ケーブルと補剛桁の変形時には，この両者の相対的な橋軸方向変位，ならびに補剛桁の曲げによっていき，補剛桁のたわみ角のいづれをも拘束する機能をもつことが予想される。筆者らは，以上の点に着目して，つり橋解析の初期的段階として，斜めハンガーをもつつり橋の総括的な性状を究明すると同時に，ケーブル，ハンガー，補剛桁の相関的力学性状を把握しようとするものであり，ここに2，3の実験的検討の結果を報告するものである。

2. 模型実験

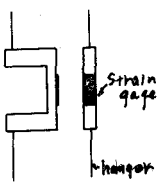
つり橋モデル（右表参）を作製し，静的載荷実験と自由減衰振動実験を行なった。以下において，その方法についてのべる。

つり橋諸元	
Span	300ᵐ+860ᵐ+300ᵐ
Cable sag	71.5ᵐ
補剛桁断面二次モーメント	3.81 m⁴
Cable 自重（側径間，主径間）	(4.642 t/m, 4.361 t/m)
補剛桁自重（側径間，主径間）	(11.875 t/m, 11.757 t/m)
補剛桁形式	ワレントラス
モデル縮尺	1/100
Slicing factor	9.2757

ただし，上の諸量は実橋，片側ケーブル当りの値を示す。

(1) 静的載荷実験は，つり橋のつり材形式として①鉛直つり材形式，②3Memberつり材形式，③Warrenつり材形式，④Double Warrenつり材形式の4形式について行ない，測定対象とその方法は

①ケーブルの橋軸，鉛直方向の変位量は，ケーブルに固定したスケールの読みを，橋軸直角方向に据えたトランシットで読み取ることにより求めた。②補剛桁の鉛直方向たわみは，補剛桁に固定したスケールの読みをレベルで読み取ることにより求めた。③ケーブル張力は，ケーブルに直接PL-2ストレインゲージを貼付し，ケーブル歪の測定結果より求めた。④ハンガー張力は，あらかじめCalibrationした左図の装置をハンガーに取り付けることにより求めた。



(2) 自由減衰振動実験は，中央スパンの1/2ℓ点，1/4ℓ点を手で鉛直方向に加振し対称一次振動，逆対称一次振動，対称二次振動を励起させることによった。

なお，この実験は，(1)の場合と同一ハンガー状態について行ない，測定対象と

しては，ケーブル歪の振動波形，補剛桁の鉛直方向たわみモードをとった。

3．静的載荷実験の結果と考察

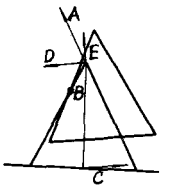
実験結果の主要な点をのべると次のようになる。なを，結果の代表例は，付図に示す。

(1)．同一載荷状態において，たわみ量は，Vertical，3Member，Warren，Double Warren の各型式の順に大きい。また，この傾向は，満載荷重の場合より，部分，非対称載荷のときに顕著であった。

(2)．Vertical hanger の場合には，あらゆる荷重状態において，Cable水平張力増分Hは全スパンにわたって一定である。しかし，斜めつり材型式の場合には，スパン方向に，Hの値は変動する。この傾向は，3Member，Warren，Double Warrenの各hanger状態の順に小さい。また Vertical hanger と，他の3種の hanger 形式の Cable 張力を同一載荷状態において比較した場合後者の Cable 張力は，前者の Cable 張力より大きくなることはほとんどないようである。(図3.4.5.6－4)

(3)．Vertical hanger の場合には，hanger 張力は，載荷点付近では大きく，概略一定である。(付図3.4－2) しかし，他の形式の hanger では，相隣る hanger の張力状態が大きく変化している。

以下において，一つの代表的な例として Warren hanger 形式と Vertical hanger 形式のつり橋について考察を進める。右図は，5－1図の(4)点の Warren hanger のうちの一格間の hanger をとり出したものであるが，この一組の hanger は，図の A，B のような軸力をうける。そして，この水平成分を D，鉛直成分を E とすれば，計算により E は，概略，図4の(4)の附近の hanger 張力に等しいことが確められた。そして，このことは，あらゆる荷重状態において，またスパンのあらゆる位置において，概略成立する。



今，補剛桁に働く水平方向の力を C とすればこの三角形のつり合から C＝D が成立せねばならない。これを全スパンについて考えれば，図(5-3)，(6-3) のようになる。ただし，くさびで全スパンにわたって，ΣC＝ΣD＝0 が成立する。

以上のことから，ある載荷状態における Warren hanger つり橋は，同じ載荷状態の Vertical hanger に，その荷重状態にあった。しかも，スパン全長においては ΣC＝ΣD＝0 なる水平力 C，D を加えたものであるといえる。

以上の推論から，以下において，考察を進める。もう今，Warren hanger 形式つり橋において，Vertical hanger つり橋に比べて，減少したたわみ分が，Cable に働く水平力 D によりうけもたれるとすれば，Cable 張力としては，Warren hanger 形式の方が大きい部分だけ大きくなるはずである。しかるにこれは，実験値に反する。このことから，たわみを小さくし，しかも，Cable 張力を減少させるためには，何らかの鉛直方向の力が働かねばならないことになる。

水平力 C は，図(5.6－3)をみてもわかるように，補剛桁のたわみ最大の位置に，たわみを減少させる方向に働いており，この力が，たわみ量減少に最も大きな役割を果しているものと思われる。

なを，このとき，Cable 張力が，全体的に減少するのは実験値とよく合致し，また Cable equation の性質もよくいいあらわしている。

以上の解明でも明らかのように，これからケーブル張力，および補剛桁のたわみ量の減少の傾向は，橋軸方向力 C が大きい程強く，最大たわみ量が大きい程，顕著であることを付記しておく。

なお、図(5-3)と(5-4)，(6-3)と(6-4)によって、cable 張力の変動性状は、hanger 張力の水平成分Dの働らく方向をみれば、明らかなように、hanger張力の性状と密接な関係があることは、明らかである。

4．自由減衰振動実験の結果と考察

各種hanger形式の場合の対称1次自由減衰振動実験により、そのMode，対数減衰率，振動周期を求めた。実験結果を以下に示す。

表1は、対称1次振動の周期を表わしている。これによれば、Double Warren hanger型式のつり橋の場合に、最も周期が小さくなっており、このことより、Double Warren hanger型式のつり橋が最も剛であると考えられる。

図2は、対称1次振動の、振巾～対数減衰率を示している。図により、Vertical hanger を有するつり橋では、対数減衰率は、特に低く、その他の3種のhanger型式では、概略等しい。

図1は、Vertical hangerとDouble Warren hangerつり橋の対称1次振動のModeを示している。これら両Mode を比較すると、side span の最大振巾と、main span の最大振巾の比は、前者では0.54後者では、0.35となっている。このことから、対称1次振動に対して、中央スパンのModeの最大値とside span の振動Mode の比を考えると、Double Warren 型式よりも、Vertical hanger型式の3 span つり橋の方が、顕著であるといえる。また、他の2種類のhanger 型式つり橋と、Vertical hangerのつり橋を比較した場合も同様なことがいえると思われる。

5．結語

本研究は、まず、静的載荷実験結果より、Cable 張力、補剛桁たわみ、hanger張力の機構を解明し、つづいて、それら各部材の力学的な関連性を把握しようとしたものである。斜めつり材を有するつり橋の力学性状は、これらの実験からいくつかの有利性をもっており、これをより深く追求することにより、その合理的解析法を確立することは、今後の大きな課題の1つである。また、現在、十分な振動実験を行ないえず、その正確な振動性状を把握していないが、この点は以後、明らかにする考えである。

表1

Hanger型式	V.H	3Memb.	W. H	D.W. H
対称1次周期	0.65sec	0.59	0.56	0.55

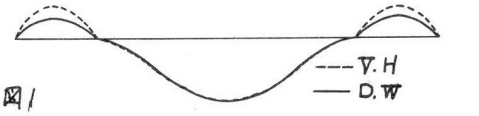


図1

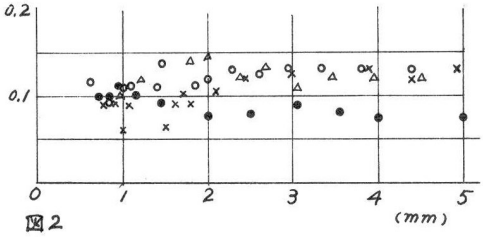
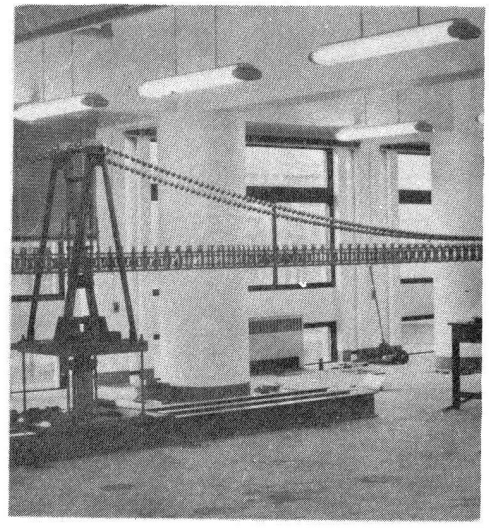
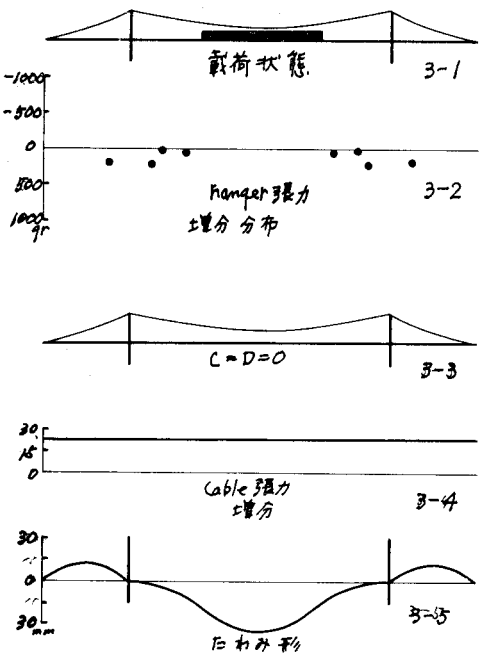


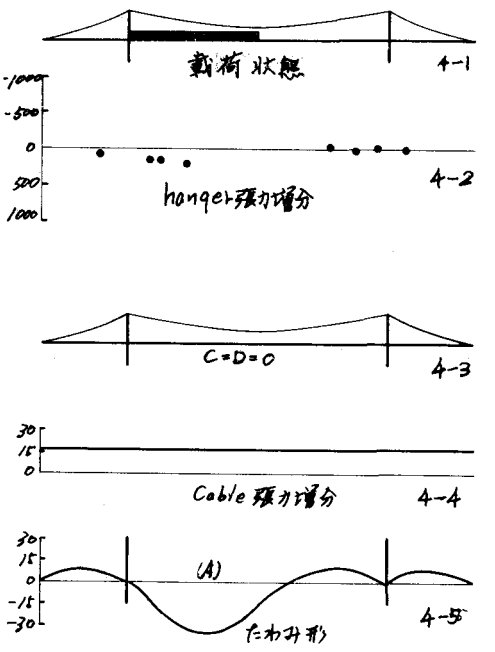
図2



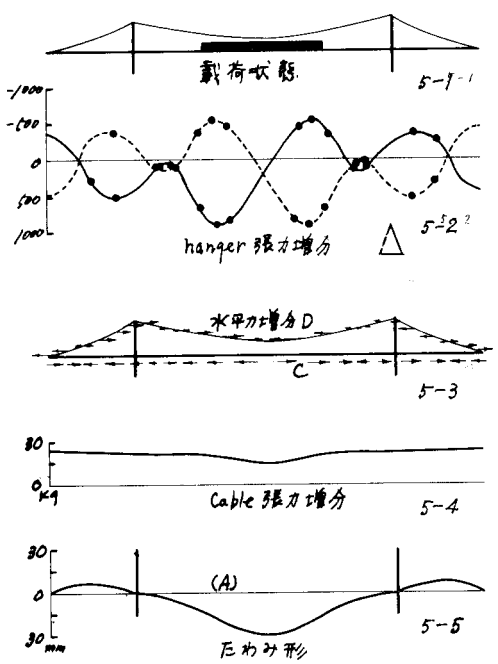
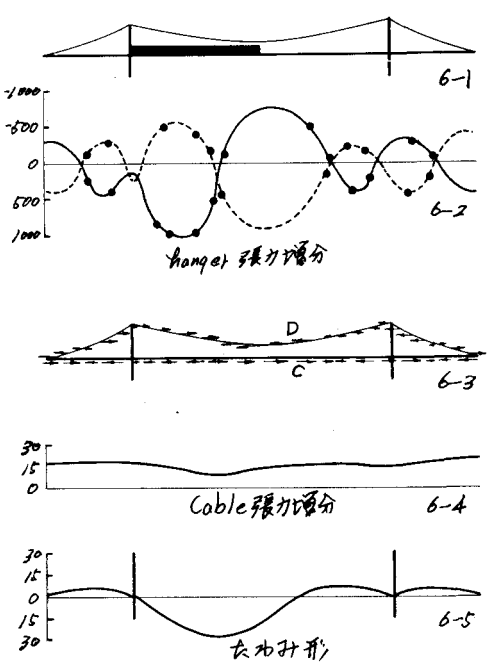
V H 型式つり橋



V. H 型式つり橋



W. H 型式つり橋



W. H 型式つり橋