

I-178 オイルダンパーを有するケーブルの振動実験について

東北工業大学 正員 高橋龍夫

〇 松山正将

山田俊次

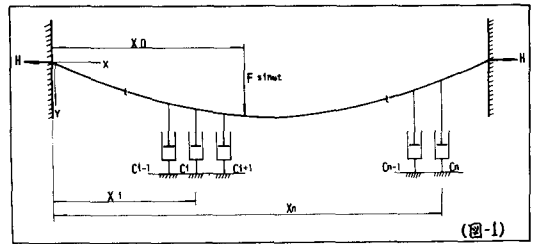
1. はじめに

可撓性の大きいケーブルに、ある程度の剛性を得るべく初期張力を与えて、外力に抵抗する構造形式を想定する場合、より動力学的な面での検討が必要と考えられる。前者等は、これよりケーブルに粘性抵抗(オイルダンパー)が集中的に作用した場合の振動性状等を把握するために、解析と若干の実験を試み報告してきている。今回は、サグ比が比較的小さな範囲(0.010~0.030)の振動実験のなかから、主に対称一次振動の結果をまとめて報告するものである。

2. 運動方程式

水平方向に等分布荷重が載荷されたケーブルに、粘性抵抗力が集中的に作用する場合の運動方程式は、図-1に示す諸元により、デルタ関数を用いて次式で示される。

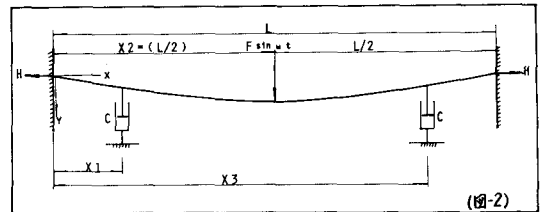
$$m \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} - H \frac{\partial^2 x}{\partial x^2} + \sum_{i=1}^n C_i \frac{\partial x}{\partial t} \delta(x-x_i) = F \sin \omega t \delta(x-x_0)$$



この方程式を導くにあたり、次の仮定を設けている。①ケーブル形状は放物線である。②水平方向に等分布荷重があり、ケーブルの自重は考えない。③振動は微小振動であり、振動にわたる水平反力増分は考えない。ここで外力として、正弦波状外力 $F \sin \omega t$ を任意の位置に与えることとしている。これ等、運動方程式により得られた計算値については、既に報告してあるので詳しくは述べる。

3. 実験模型及び実験方法

実験模型の諸元は、図-2に示す通りで、簡単のためオイルダンパーは、スパン中央に対して対称に2個取り付けた実験で、サグ比($n = \frac{f}{L} = 0.010 \sim 0.030$)、ダンパー取り付け位置($DPD = \frac{L}{8}$: $DPD = \frac{L}{8}$: $DPD = \frac{L}{8}$)そして粘性減衰係数($C = 3.6 \sim 1080 \text{ g/cm}$)の条件を各々組合せて行った。スパン $L = 1.0 \times 10^3 \text{ (cm)}$; カウンター重量 $W = 0.139 \text{ (kg)}$; ケーブル断面積 $A_c = 1.42 \times 10^{-4} \text{ (cm}^2\text{)}$



ケーブル弾性係数 $E_c = 0.870 \text{ (kg/cm)}$ 。加振方法は、正確な正弦波状外力とはいえないが、スパン中央に人力で与え充分過渡振動が減衰した後に、剣突に供している。剣突時、これ等加振方法、ダンパー取り付け位置の方法、そして粘性減衰係数の増加に伴い、高次の微小振動を誘起させてはいるが、分析上こじつけないものとして、ここでは、以下の結果を示している。測定のピックアップは、歪計型加速度計を用い、二重積分回路を有する動歪計を通し、任意な成分をペン書オシログラフに記録する方法を採った。また、オイルダンパーは、ピストン型ピストン側面の間隙を利用であり、オイルにはシリコンオイルを用いた。使用ダンパーの粘性減衰係数は、シリコンオイル10ccで、 3.6 g/cm 程度の値である。他に、図-2で示す諸元で、ケーブル径と、カウンター重量を変えて実験を行ったが($A_c = 6.48 \times 10^{-2} \text{ (cm}^2\text{)}$; $E_c = 0.963 \times 10^6 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$; $W = 0.100 \text{ (kg/cm)}$)、以下に示す実験結果とはほぼ同様の傾向を示している。

4. 実験結果及び考察

振動数について、本実験でダンパーを設置しない場合の固有振動数は、サグ比 $n = 0.030 (1.858\%) > n = 0.010 (1.822\%)$

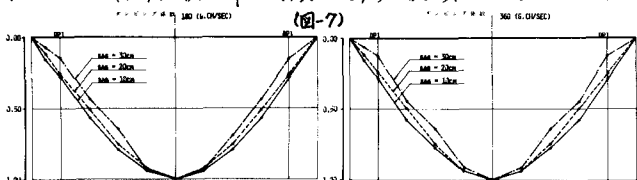
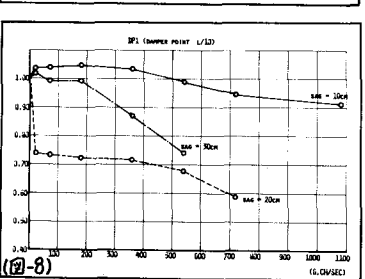
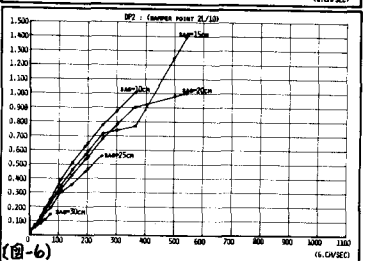
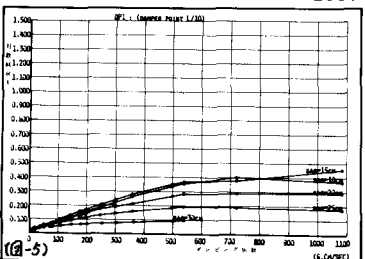
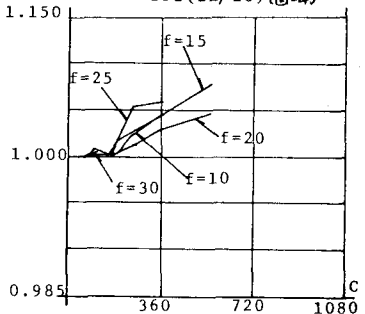
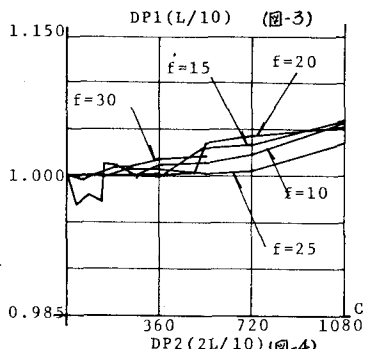
$\gamma n = 0.025 (1.723\%) > \gamma n = 0.015 (1.658\%) > \gamma n = 0.020 (1.650\%)$ の様な値である。C と振動数比の結果の一例を図-3, 4 に示す。縦軸に振動数比 $(\frac{f}{f_n})$ 、横軸にCをとっている。振動数について全体的な傾向を述べると、各々のサグ比において、ダンパー取付位置に関係なく、Cが大きくなるに従って若干ではあるが、振動数は増加している。その傾向を、 $n=0.010, 0.015$ について示すと、 $n=0.010$; DP① C=0~1080 の範囲でおよそ7%の増加。DP② C=0~360 の範囲でおよそ5.0%の増加。DP③ C=0~180 の範囲でおよそ4.6%の増加。 $n=0.015$; DP① C=0~1080 の範囲でおよそ6.1%の増加。DP② C=0~540 の範囲でおよそ8.0%の増加。DP③ C=0~252 の範囲でおよそ2.0%の増加。計算値では、振動モードに変化をきたさない範囲で、ある一定値に近づく傾向を見えるが、実験ではこの傾向を現出するまでに至っていない。

対数減衰率 (δ) について、その結果の一例を図-5, 6 に示す。当然の事ながらほぼCの値に比例した傾向を見えてゐる。図-5のDP①について見ると、次の様な事が知られる。 $n=0.020$ ではC≒1100, $n=0.025$ ではC≒750, $n=0.030$ ではC≒550 あたりまで比例傾向が顕著であり、この付近に対数減衰率のピークが見られ、以後Cが増加しても下向する傾向が出てゐる。この傾向は、計算値においても示されてゐる、その系の最適な減衰を考える場合、粘性減衰係数の有効な範囲が系にあるものと考えられる。ダンパー取付位置と対数減衰率の関係は、Cの値が小さな範囲での傾向として、次の様な比を示している。 $n=0.010 \sim n=0.020$ で $C \leq 1080$ では DP①:DP②:DP③ ≒ 1:0.5:6.0; $n=0.025 \sim n=0.030$ で $C \leq 720$ では DP①:DP②:DP③ ≒ 1:2.5:4.5

振動モードについて、結果の一例を図-7 に示す。図はDP②の場合のモードで、スパン中央を基準に各測点の変位の比をプロットしたものである。Cの増加に対して、振動振幅の減少は顕著にあらわれてくる。ダンパー取付点と他測点との位置関係については、測定資料から求めるのであるがまだ定性的に把握するまでに至っていない。図-8は、ダンパー取付点のみの振動比を、Cとの関係をプロットしたものである。

5. あとがき

本実験の様な、可撓性の大きいケーブルを対象とする実験では、サグ比が大きくなるに従い、ダンパー取付点がスパン中央に移動するに従い、そして粘性減衰係数が大きくなるに従って、高次の微小振動を生じ、又対称二次振動の節位置の事もあり、模型に対称一次振動を作る事が難しい。機械的な起振機を製作して、強制振動実験等を試みたが、上述の高次振動に起振機のノイズも加わり、より難しいものとなったので中断してゐる。しかし、上述の様な状態での実験ではあるが、オイルダンパーを取付けたケーブルの振動性状の部分的傾向を、実験結果は示してゐるものと考えらる。



参考文献

- 1) ケーブル橋の耐振設計 第29回講義、高橋、松山、山田
- 2) オイルダンパーを取付けたケーブルの振動について 第30回講義、高橋、松山