

東大 正 ○ 藤野 陽三 東大 正 伊藤 学
 日建設計 正 野村 和男 埼玉大 正 山口 宏樹
 佐田建設 深沢 秀樹

通信ケーブルと吊線をラッシングにより一体化した架空通信ケーブルのギャロッピング振動について昨年度¹⁾ 発表した。引き続き実験・解析を行ったので、新たに得られた知見を中心に報告する。

(1) 三次元全体模型実験

縮尺1/2で、諸元が所要値に近くなるよう改良を施したスパン15mの模型(図1)を用いて、水平一様気流のもとで実験を行った。風を吹かせると風圧によりケーブルは吹き流され(図2)、ある風速を越えるとギャロッピング振動が生じる。振動モードは支持柱の剛性が低いと対称一次モード、高いと逆対称一次モードとなり、支持柱の影響は大きい。以下の実験結果は支柱の剛性を高めた場合のものである。

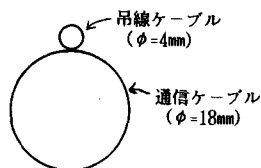


図1 模型断面

図3に、ギャロッピング振動の発達状況(スパン1/4点でのリサージュ図)の一例を示す。振動初期の段階では並進運動的で、ある面内におさまっているが、振動速度が増すと、通信ケーブルが吊線まわりに振り運動をし始め、最終的にはねじれ振動(θ 方向)を伴った円に近い軌道に落ち着く(図4)。昨年度、振動初期の発振方向はケーブル面の作る角度(図3の α)にはほぼ一致すると報告した¹⁾が、その方向は α よりも小さく、鉛直面に近いことが判明した(図3)。

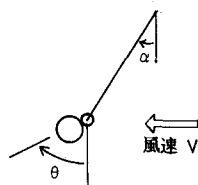


図2 風圧による吹き流し

発振方向に対する検討 図5は、吹き流された状態での任意の方向に対する速度比例空力減衰定数 A_1 を放射グラフで表したものである。 A_1 は空気力係数の7次多項式近似を用いて評価した。 $A_1 < 0$ は負減衰を表す。図5の場合 A_1 値が最小(励振力が最大)となるのは、吹き流され角 40° よりもかなり小さい 28° の時である。他のケースについても検討したが、いずれの場合も最大励振力の方向は吹き流され角 α よりも小さく、実験結果との整合性も悪くはなかった。逆対称一次モードではあらゆる方向にケーブル剛性が等しいので、そのギャロッピング振動の発振方向が空力特性により決まるとしても不自然ではない。

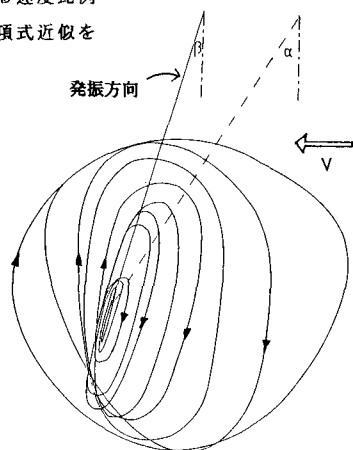


図3 振動の発達状況(リサージュ図)
(サグ比3%, 風速11.5m/s)

サグ比と発振風速 サグ比と発振風速の関係を図6に示す。○印は self-starting 風速, △印は quench 風速を表す。サグ比が増すと同一風速に対する迎角 θ (スパン1/4点)の増加が実験的に確かめられており、また逆対称一次モードの振動数も低下する。したがって発振風速もサグ比の増大とともに低下すると予想されたが、図6に示すようにサグ比 >0.03 においてはむしろ逆の傾向を示している。

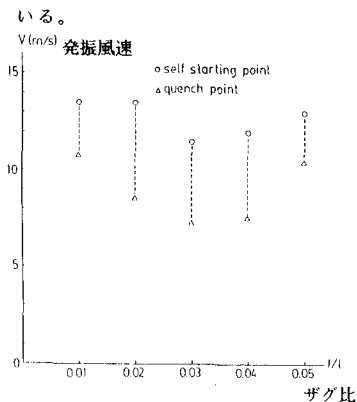


図6 サグ比と発振風速の関係

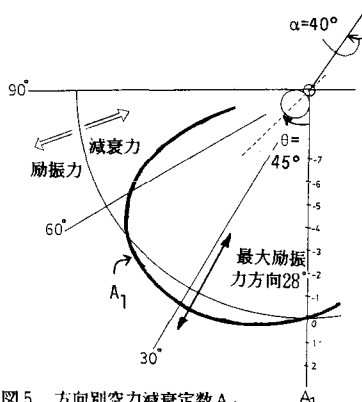


図5 方向別空力減衰定数 A_1
(サグ比3%, 風速12.5m/s)

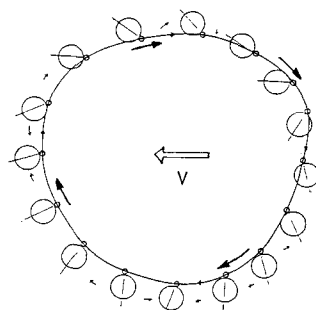


図4 ねじれを伴う定常振動

制振対策 スパン1/4, 3/4 点付近に等しい長さの円筒を8字型断面ケーブルに被せ、その制振効果を調べた。図7に円筒長さ α とself-starting 発振風速値の関係を示す。スパン長の2割に円筒をつけることにより発振風速は約3割上昇し、円筒化がかなり有効な制振対策であることがわかる。

(2) 二次元剛体模型実験と応答解析

風圧による迎角の変化によって生ずる8字型断面ケーブルのギャロッピング振動の基本特性とその応答解析の可能性を検討する目的で、図8に示す二次元剛体模型を作成した。模型は2本のアルミパイプ ($\phi=5\text{mm}$, 25mm , 長さ 2.5m , 重量約 0.7kg)より成り、これを長さ約 6m のピアノ線ケーブルで吊した。この模型の特徴は実ケーブルと同様、風圧により吹き流しが生じる所にある。なお、端板はつけていない。

対風挙動 風速をあげると模型は吹き流され、迎角が変化する。サグ比 0.012 の場合、風速 10m/s 程度でギャロッピング振動が生ずる。模型に光学式変位計を付けて測定したリサージュ図を図9に示す。模型ははじめ吹き流され面(角度 α)より鉛直面に近い方向に振動する。振幅が小さいうちは並進運動のみであるが、振動速度が増すと、下の太いパイプが急に振子運動(θ 方向)をはじめ、回転振動を伴った長円軌道の定常振動に落ち着く。その長軸はほぼ鉛直面内である。このように三次元ケーブルの挙動に近い現象が観察された。

光学式変位計をはずし、模型を軽くした場合、やはり風速 10m/s 程度で不安定振動を起こすがその挙動は先の場合とはかなり異なる。即ち、はじめは並進運動を生じるが、振動速度が大きくなると回転振動が発生し、その結果振幅は減少し、回転振動(ねじれ振動)のみが残る(図10)。さらに高風速では並進運動は殆ど生じず、初めから回転振動のみとなる。

応答解析 3自由度 R , α , θ (図8)をもつ系に準定常空気が作用するとして非線形運動方程式を導き、線形加速度法により時刻歴応答を求めた。図11はその試算結果例である。模型の質量が大きい場合には、並進運動が発達して、鉛直面に長軸をもつ長円軌道に落ち着く。図9 リサージュ(模型重い場合)一方小さい場合には並進運動から、回転(ねじれ)運動が卓越した振動に移行する。このように実験でみられた2つのタイプの不安定振動を数値計算によってもかなり再現しうることが示されている。

ここで対象とする架空通信ケーブルのギャロッピング振動の予測をケーブルとしての定式化に基づいて行おうとすると数値解析上難しい点が多い²⁾。この剛体モデルを用いる場合にはそのような困難はないが、問題は振動予測がどの程度可能かということであろう。これに対する検討結果は当日発表する。

参考文献 1) 鶴田他 : 架空通信ケーブルのギャロッピング振動, 年次講演会概要集1-313, 1983 2) 山脇他 : 8字型断面を有するケーブルの動特性とギャロッピング振動, 年次講演会概要集, 1984

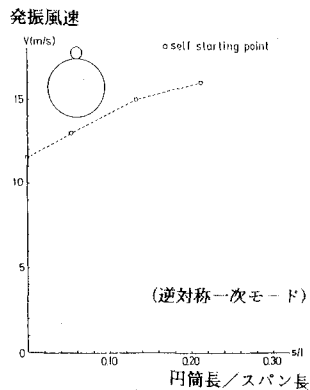


図7 円筒長比と発振風速

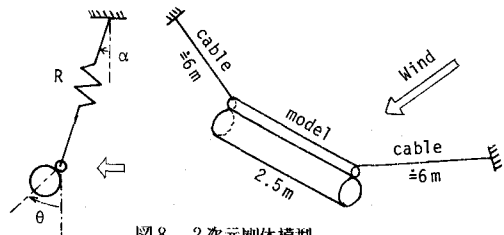


図8 二次元剛体模型

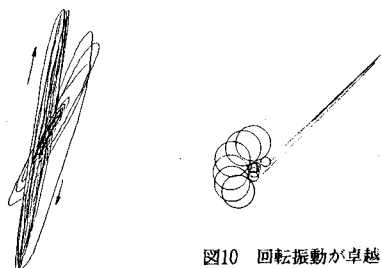


図10 回転振動が卓越したリサージュ(模型軽い)

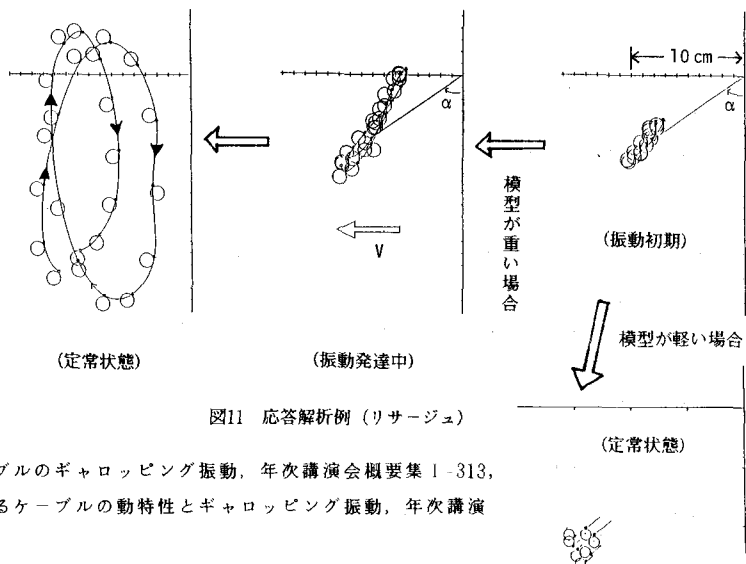


図11 応答解析例(リサージュ)