

長崎大学工学部 学生員 〇藤本一人

学生員 村中幸治

正員 高橋和雄

1. 緒言 本論文は、ケーブルの面内非線形振動の動特性を支配する無次元パラメーター(形状パラメーターとしてのサグ比 r 、傾斜角 θ および材料パラメーターとしての伝播速度比 β)をもちに、非線形自由振動および強制振動特性を明らかにするものである。

2. 解析結果 (1) 水平ケーブルの非線形自由振動

水平ケーブルの固有振動形は図-1に示すように対称振動と逆対称振動の2つに区別することができる。逆対称振動についてはサグ比の影響が小さいが対称振動についてはあるサグ比の範囲で1段階高次の固有対称振動形に遷移し、それにつれて固有振動数も増加することが知られているので、非線形自由振動特性においてもサグ比の影響が大きいことが予想される。図-2は $\beta=30$ の場合の対称振動の非線形固有振動数 ω と振幅比 A との関係をサグ比をパラメーターとしてプロットしたものである。図-3に示す

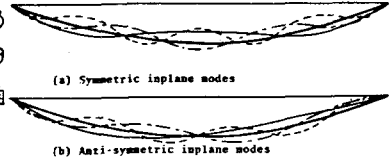


図-1 水平ケーブルの固有振動形($\gamma=0.1$)

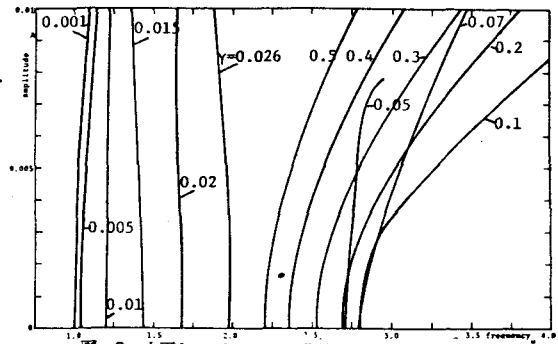


図-2 水平ケーブルの対称非線形自由振動

ように振動形の時間的変動を持つサグ比の小さい領域 $r=0.0\sim 0.005$ 付近では弦と同じ3次の非線形項が支配的な硬化バネ特性を示し、サグ比 r が0.01より大きくなると2次の非線形項が効いてくるために、軟化バネ特性を示す。さらにサグ比が増大して図-4に示すような $r=0.05$ 以上の振動形に遷移した後は、再び3次の非線形項が支配的となる。そして $r=0.1$ 付近で最も非線形性が強く、サグ比がそれ以上大きくなると非線形性はだんだん小さくなる。図-5に逆対称振動の振動数 ω と振幅比 A との関係を示す。

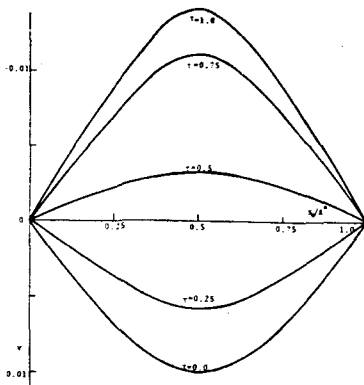


図-3 対称非線形自由振動の振動形($\gamma=0.01$)

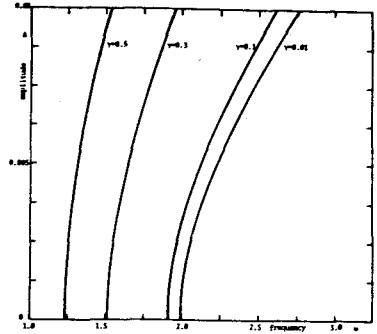


図-5 水平ケーブルの逆対称非線形自由振動

図-4に示すような $r=0.05$ 以上の振動形に遷移した後は、再び3次の非線形項が支配的となる。そして $r=0.1$ 付近で最も非線形性が強く、サグ比がそれ以上大きくなると非線形性はだんだん小さくなる。図-5に逆対称振動の振動数 ω と振幅比 A との関係を示す。

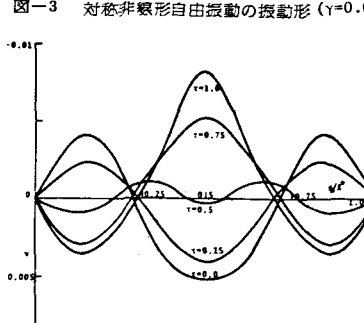


図-4 対称非線形自由振動の振動形($\gamma=0.1$)

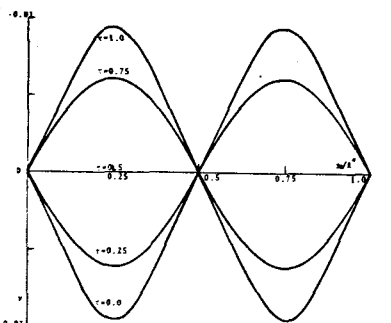


図-6 逆対称非線形自由振動の振動形($\gamma=0.1$)

サグ比に無関係に硬化バネの挙動を示している。つぎに図-6に逆対称振動の振動形の時間的変動を示す。逆対称振動の場合には2次の非線形項がゼロとなるために、振動の中には平衡点であり、弦の逆対称振動と本質的には同じである。

(2) 傾斜ケーブルの非線形自由振動 図-7は傾斜ケーブル($\theta=30^\circ$, $k=30$, $\gamma=0.1$)の振動形である。傾斜ケーブルでは対称もしくは逆対称振動形に分離することが不可能である。また傾斜ケーブルの場合には振動形の遷移が一段高い振動形に近づくことが明らかにされており、サグ比

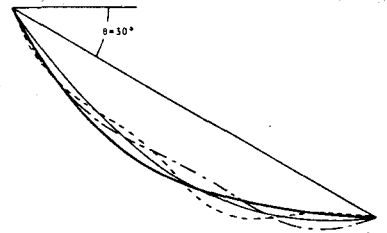


図-7 傾斜ケーブルの固有振動形($\gamma=0.1$)

による振動数の変動は水平ケーブルの場合よりも小さい。図-8は傾斜ケーブルの振動数 ω と振幅比 A との関係をプロットしたもので、非線形自由振動特性はサグ比の影響を受け、水平ケーブルの対称振動

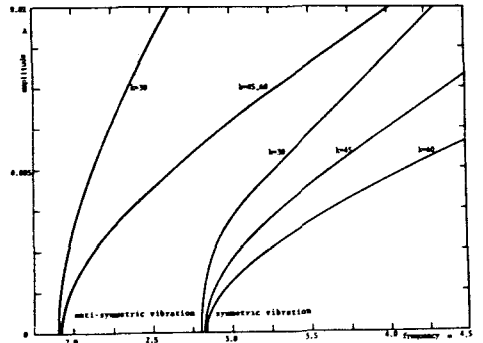


図-9 水平ケーブルの非線形自由振動($\gamma=0.1$)

動の場合と同じく、2次および3次の非線形項が付いた振動特性を示す。サグ比 $\gamma=0.05$ 以上の領域の硬化バネ特性は水平ケーブルの逆対称振動の場合と同程度である。

(3) 材料パラメーター α の影響 図-9はサグ比 $\gamma=0.1$ 、傾斜角 $\theta=0^\circ$ の場合に対称および逆対称振動に反ばす材料パラメーター α の影響を示したものである。双い振動の場合には α は逆対称振動に全く影響を及ぼさない。一方、非線形振動の場合には非線形項全体に α が係数としてかかるため、対称・逆対称振動の区別なく、 α の影響を受け、 α が大きくなるほど非線形性が大きくなる。

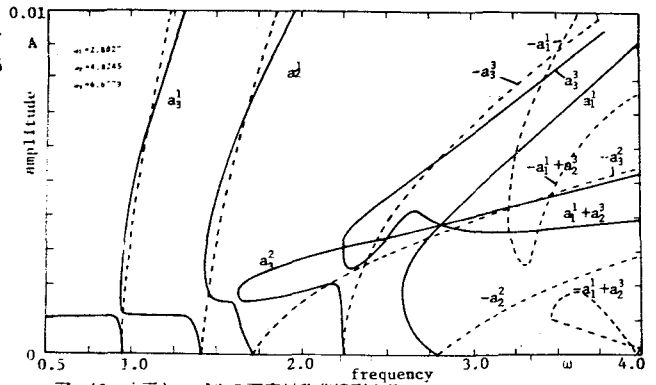


図-10 水平ケーブルの面内対称非線形応答($\gamma=0.1$)

(4) 水平ケーブルの非線形強制振動

図-10および11は水平ケーブル($k=30$, $\gamma=0.1$)の対称および逆対称振動の最近次の固有振動数近傍の応答曲線である。図中の実線は荷重と同位相の応答、点線は荷重と逆位相の応答を表す。対称振動の場合には2次および3次の非線形項が存在するために、主共振の他に2倍、3倍の高調波共振が生ずる。逆対称振動の場合には3次の非線形項のみが存在するために、3倍、5倍の奇数次の高調波共振が生ずる。

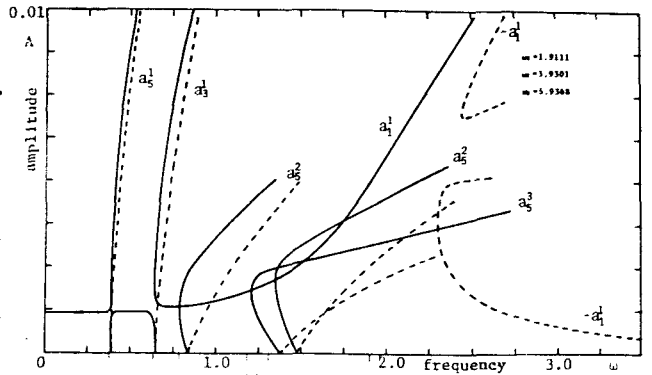


図-11 水平ケーブルの面内逆対称非線形応答($\gamma=0.1$)