

石川島播磨重工業(株) 正倉 貞一 樋口 環一
佐々木 敏

1. まえがき

スルチーケーブル斜張橋の架設途中において観測されたケーブルの振動⁽¹⁾は、降雨に伴う風の強い時に発生し、その挙動は渦励振またはバフエーティング⁽²⁾では説明がつけられない現象である。実験観測からこの現象が雨に起因していることが明らかなので、雨風を再現した風洞試験によって、現象の発生機構の解明を試みた。今回の風洞試験は、発生機構解明の第1段階として、雨バビのように振動発生に結びついているのか、さらに実験で認められた現象の特徴バビのように説明がつけられるのかを定性的に明らかにしたものである。

2. 試験方法

Reynolds数の影響を考慮、試験には実験ケーブルを用いた。3mmφのケーブル(実際にはP.E.巻込み)をバネで吊り、振動自由度を実験ケーブルの鉛直弦振動に対応する1自由度として、2次元の振動応答を調べた。振動数は2Hzの1種とした。試験条件を実機値と比較すると、試験風速は実機値と一致するが、スクリーン数は質量の違いによって実機値の約1/10になっている。降雨はケーブルの風上側水道水をスプレーする方法で再現した。ケーブルの姿勢(β, θ)によってはケーブルの端部バビ流領域がはみ出している⁽³⁾ので、試験は完全に2次元性の下で行われているとは言えない。したがって、以下に示す数値は現象を定性的に説明するためのものである。

3. 雨の振動発生機構

ケーブルの風洞気流中の応答(図-2)は、スプレー雨を降らすと渦励振発生風速より高い風速で大きな振動が発生する。このときの雨の挙動を観察すると、ケーブルに当たった雨はケーブルに沿って流れ落ちるときにケーブル表面に水路が形成される。水路の形成状態は、風速とケーブル姿勢によって異なるが、大きな振動が発生する際には上面と下面の両方に水路ができる(図-3)。ケーブルの傾斜角 θ を持っていると、下面水路は無風状態でも $\alpha = -90^\circ$ に形成されるが、有風時には風圧によって下流側に移動する。一方、上面水路は有風時にのみ形成されず、ケーブルに当たった雨の風圧によってケーブル面に沿って押し上げられるが、完全に吹き飛ばれる⁽⁴⁾ので、 $\alpha = 80^\circ$ 附近にある幅を持った水路が形成される。気流は上面水路の前縁で剥離して、後縁で再付着しているようであり、上面水路は剥離領域幅で形成されていると思われる。上面及び下面水路の挙動を細かく観察すると、雨はケーブル運動にともなう慣性力によって円周方向に振動しながらケーブル面に流れ落ちる。

このような雨の挙動から判断し、有風時に発生する振動は、ケーブルに沿って流れる雨によってケーブル断面が空力的に不安定な形状に変化する⁽⁵⁾ことに起因する現象であると言える。この不安定現象は次のように推察される。(1)水路形成による断面揚力曲線が負勾配となり発生するギャロッピング。ギャロッピングを生じる8字型架設通信ケーブルは吊線バビ $\alpha = 90^\circ \sim 100^\circ$ に位置すると負勾配をもつと報告⁽⁶⁾されている(図-4)

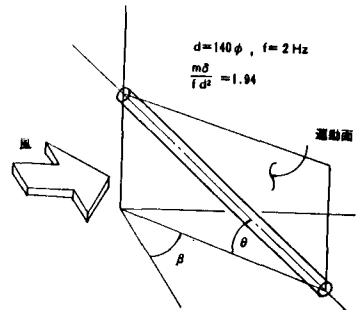


図-1 試験条件

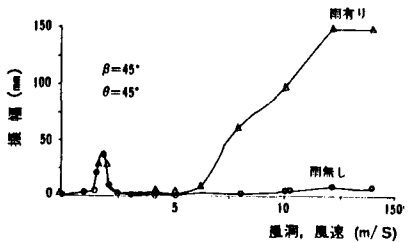


図-2 雨有・雨無時応答の違い

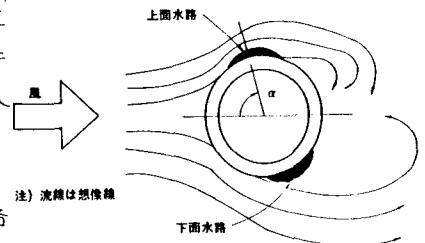


図-3 上面と下面の水路

$\alpha = 80^\circ$ 付近に形成される上面水路が吊橋と同じ効果をもたらしている可能性もある。(11) 用いられるケーブル断面内周方向に脈動することによって生じる自励振動。流れの脈動は、接近流のみならず、着氷架線が円転運動していることに対応する。このようなとき自励振動が発生すると報告⁽³⁾されている。

4 ケーブルの挙動

ケーブルの挙動は雨量、ケーブル姿勢によって大きく変化する。

雨量との関係 振動振幅は雨量によって変化して、適度な雨の下で振動は最も大きくなる。雨量が小雨程度になると振動は継続するが、振幅は減小する。雨量が激雨に増すと振動は完全に静止する。また、最大振幅を生じさせる雨量は、風速、ケーブル姿勢によって異なる。このような雨量と振幅の関係は非常に複雑であるが、振幅の変化はケーブルに沿う流れの量によって断面形状が変化して、断面空気特性が異なってくるために生じると考えられる。

風向との関係 実験観測において、振動は風向方向に下り勾配を持つケーブルに発生した。下り勾配は風向と逆方向のケーブルには発生しなかった。風洞試験では、前者が $\beta > 0$ 、後者が $\beta < 0$ に対応する。 $\theta = 45^\circ$ として、 $\beta = 45^\circ$ と -45° にセットしたとき、有風時減衰をそれぞれ図5と図6に示す。 $\beta = 45^\circ$ の場合は発振の発散振動が発生するが $\beta = -45^\circ$ ではケーブル応答は正減衰となり、実験観測と同じ現象を示すことが知られる。発散振動時の雨量の挙動は、上述のように上面と下面の水路が形成される。 $\beta = -45^\circ$ の姿勢では上面水路はできない。

ケーブル勾配との関係 $\beta = 45^\circ$ として、ケーブル勾配 θ を 25° にセットしたときの応答を図-7に示す。振動は、勾配が大きい場合($\theta = 45^\circ$ 、図-2)と比較して、低い風速から発現している。この結果は、実験において低風速時に上段ケーブル、すなわち勾配の小さいケーブルにしか振動が発生しなかった現象を説明していると考えられる。しかし、高風速時に振動発生式勾配の大きいケーブルに限定された実験現象を説明するものではない。

5. あとがき 以上、雨と斜張橋ケーブル振動の結びつき、ならびに振動現象と雨量、風向に対するケーブル姿勢等によって微妙に変化することと明らかにできたと考えられる。Rain Vibrationとは、これまでの固定化された形状の構造断面に関する空気問題とは異なり、断面形状がケーブル姿勢、雨量、風速等によって変化するという意味で新しい問題であると言える。近年、橋梁形式として斜張橋が多く採用される傾向にあることを考え、ケーブル径、被覆材、材質と振動との関係等を含めた検討を今後進めたいと予定がある。

参考文献

- (1) 樋上 斜張橋ケーブルのRain Vibrationの特徴、第40回土木学会年次大会講演会(発表予定)
- (2) 藤野、山田、伊藤 8字型断面を有する架空通信ケーブルのギャロッピング振動、第40回風工学会シンポジウム、1984
- (3) O.Nigol, P.G.Buchan "Conduction Galloping-Part II-Den Hartog Mechanism" IEEE 79TH0064-6-PWR

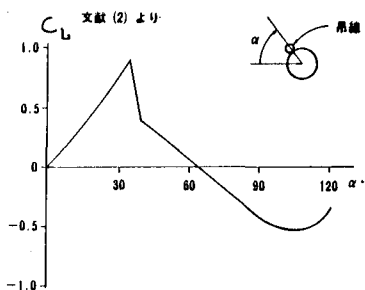


図-4 8字型断面架空通信ケーブル

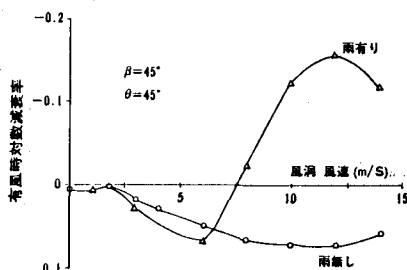


図-5 $\beta = 45^\circ$ 減衰特性

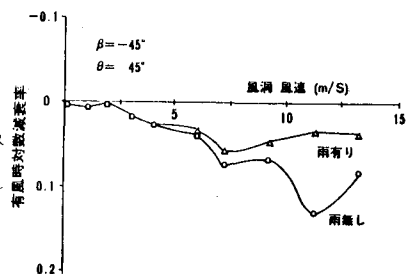


図-6 $\beta = -45^\circ$ 減衰特性

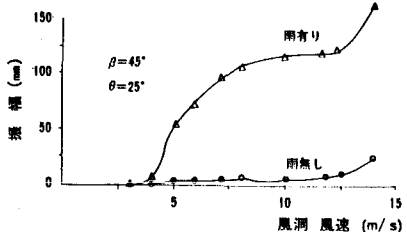


図-7 $\theta = 25^\circ$ 応答特性