

三菱重工・石川島播磨重工・日本鋼管
吊橋ケーブル架設実験共同企業体

正員 植村 俊郎
正員 幸田 弘
正員 下瀬 健雄

1. まえがき

吊橋メインケーブル架設時における塔頂サドルのセトバック量を算定したり、形状調整前ストランドの支間中央点サグの上げ越し量を設定する場合、塔頂サドル部における完成ケーブルあるいはストランド等の滑動の検討が必要となる。検討の際、サドル内におけるケーブル、ストランドの摩擦係数値のとり方により結果が大きく影響を受けるため、係数値の適切な値が要求されるところであるが、この種の報告は少ない。ここでは、摩擦係数をサドル内におけるケーブルの側圧との関連から考察し、実験値と比較、検討した結果を報告する。

2. ケーブルの側圧の影響を考慮した滑動の検討

図1は、サドル上でケーブルが側径間側から中央径間側に滑動を生ずる直前における、ケーブル張力とケーブル底面での摩擦抵抗の関係を示したものである。微小角 $\Delta\theta$ においてケーブルに ΔT の張力差があるとすれば、サドル中心方向の接触圧力 P は次式で示される。

$$P = 2 \cdot T \cdot \sin \frac{\Delta\theta}{2} + \Delta T \cdot \sin \frac{\Delta\theta}{2} \quad (1)$$

この P による摩擦抵抗力は張力差 ΔT と釣り合っているから、 μ をケーブル底面における摩擦係数とすると、次式を得る。

$$\Delta T = \mu \cdot P \quad (2)$$

(1)式の 2 項を微小と考慮無視し、(2)式を代入して ($\theta = 0$, $T = T_s$) 図1 サドル上ケーブルの釣り合い、
($\theta = \theta_s + \theta_c$, $T = T_c$) の条件の下で解くと、滑動しないための必要摩擦係数として次式を得る。

$$\mu = \log (T_c / T_s) / (\theta_s + \theta_c) \quad (3)$$

上記の考察では摩擦抵抗をケーブル底面に限定したが、これはA.S.工法における素線サグ上げ越し時のように単一素線の滑動を対象とする場合は、特に問題は無いと考えられる。しかし、P.S.工法におけるストランドや、その集合体であるストランド群を対象とする場合は、やや状況が異なる。図2に示すように、サドル内におけるケーブルは、サドル側壁やスパーサーなどに接触、拘束を受けていることから、側面との摩擦抵抗も考慮する必要がある。サドル内ケーブルの側圧尿を考慮した場合(4)は次式で表わされる。

$$\Delta T = \mu_1 P + \mu_2 P_s \quad (4)$$

ここに μ_1 はケーブルの底面に対する摩擦係数、 μ_2 は側面に対する摩擦係数である。従って(4)式で摩擦抵抗は底面と側面の和になっている。ここで(2)項に対し側圧係数 $K_s = P_s / P$ を定義し代入すると(4)式は、

$$\Delta T = \mu_1 P + \mu_2 K_s P = K \cdot P \quad (5)$$

$$K = \mu_1 + \mu_2 K_s \quad (6)$$

となる。(6)式で K は見掛けの摩擦係数である。(5)式は(2)式とまったく同形であるから滑動の判定式(3)をそのまま用いることができる。

3. ケーブルの滑動実験と考察

サドル内ケーブルの滑動時における摩擦係数測定を目的として、P.W.S.の滑動実験を行なった。実験は、三菱重工(株)、石川島播磨重工(株)、日本鋼管(株)が共同でP.S.工法による吊橋ケーブル架設工法に関する実物大実験

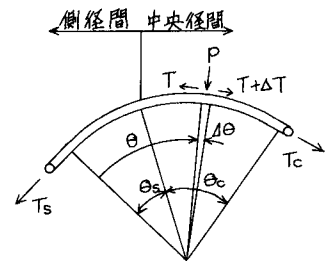


図1 サドル上ケーブルの釣り合い

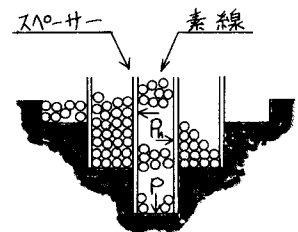


図2 サドル内のケーブル

の中で実施したもので、図3にその概要を示す。

実験はケーブルの滑動方向により2ケースとした。いずれも1AアンカーにおいてP.W.S.を引き込み、送り出し、側径間サグを増減させる方法で、側径間側と中央径間側に張力差を与えた。測定は、サドル両端でのP.W.S.張力を直接測定できないことから、滑動したときのP.W.S.サグと塔の倒れを測定し、計算により張力を求めた。

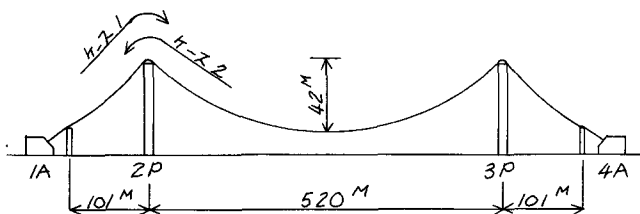


図3 実験概要

図4は、測定結果から(3)式により計算した見掛けの摩擦係数を示している。見掛けの摩擦係数は0.5~0.8の間でばらついており、材料表面の摩擦係数、例えばケーブル素線に用いられる亜鉛メッキピアノ線の0.2~0.3程度と比較すると、2~3倍大きな結果を得た。ばらつきは、実験時における測定誤差も含むが、サドル溝や、スパーサーなどの不整や、整形されたストランドの高さとヤの比、素線の交差、配列状態、空隙率などが複雑に影響した結果とも考えられる。これらの要因による影響度合いの比較的小さいものの平均をとると、0.56程度の係数値となる。

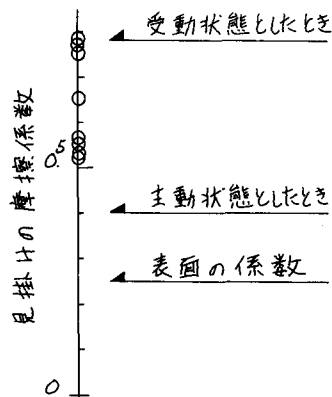


図4 摩擦係数の測定値

ところで、図2のサドル内を断面的に見ると、ケーブル素線を粒状体として見る事ができる。従って側圧屋に対し、ケーブル素線張力のサドル中心方向成分 P を、素線の見掛け上の自重と考えることにより、土圧的な考え方を導入することが出来る。仮りに土圧係数の上下限値を想定して、側圧屋を計算し(6)式に示した見掛けの摩擦係数を求めると、主動状態と考えた場合0.4、受動状態と考えた場合0.8程度の値を得る(ただし表面などの摩擦係数 $\mu = 0.25$ とし、内部摩擦角中は $\tan \phi = \mu \pi / 2$ より求めた)。測定値は両者の中間に位置していることから、サドル内におけるケーブルの滑動及びこれに関与する摩擦係数に対し、側圧の影響を考慮することは妥当と考えられる。

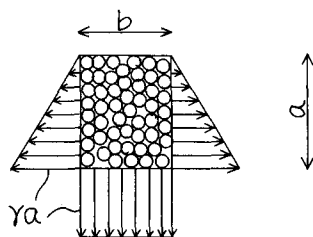


図5 側圧分布

一方、見掛けの摩擦係数の平均値0.56に対し、底面に対する摩擦係数を0.25と仮定すれば、見掛けの摩擦係数に対する側圧の寄与分は約5%となり、底面に対する摩擦係数と同程度もしくはそれ以上である。

また上記の平均値に対し、(6)式で $\mu = \mu_b = 0.25$ と仮定して側圧係数を求めると、 $K_a = 1.24$ を得る。この値は、図5に示す高さ a 、 b の矩形に整形されたP.W.S.の側圧を、静水圧分布と仮定したときの側圧係数、 $K_a = a/b = 1.29$ に近い値である。

4. あとがき

以上考察したように見掛けの摩擦係数は比較的大きく、その主たる原因は側面との摩擦抵抗であることがわかった。サドル部におけるケーブルの滑動の検討、特にその結果を現場での施工管理資料として用いる場合は、摩擦係数に対し側圧の影響を考慮するのが望ましい。しかし、側圧係数と不整、 a/b などの関係や、架設中のストランド群と完成ケーブルへの適用については不明な点も多く、更に検討が必要である。