

吊橋形状（標高）計測における再現性の確認

復建調査設計(株)（元(株)日本構造橋梁研究所） 正会員 梅本幸男
西日本高速道路(株)下関管理事務所 正会員 栗野純孝
(株)日本構造橋梁研究所 正会員 古川 毅

1. 概要

供用後 35 年を経過している関門橋(吊橋：L=1068m)においては、基本的な構造諸元の形状(標高他)測定を定期的に行い経時変化の状況を把握することにより健全度を確認してきている。本橋のようなケーブル支持構造物は通行車両の影響により大きくたわむほかケーブル温度変化によっても形状(標高)が敏感に変化することから、交通状況や気象条件にかかわらず基準温度(20℃)時・無載荷状態の形状(標高)を正しく確認できる方法が必要でありそのような方法を採用しなければ計測そのものが無意味なものとなってしまう。

このようなことから、一般供用したままの状態では交通状況や気象条件が異なる夕方から深夜にかけて断続的に計測を実施し、大型車等の活荷重によるたわみ補正及びケーブル温度補正を行い標高値の再現性を確認することにした。その結果、『AP 計測』と『大型車影響評価法』を適用するのみならず、ケーブル断面温度をより適切に評価することで、交通状況や気象条件に関わらず標高値が再現できることが確認できた。

2. 補正標高値の再現性の確認方法と結果

2.1. 計測方法の概要

『AP 計測』法とは、橋梁外の計測基準点に設置した自動追尾トータルステーションから補剛桁に据えたミラーを視準し、毎秒 2.5 回の標高データ(空間座標値)を一定の計測時間連続的に得る方法である。

この間の平均標高値に対して、同時に調査した大型車の通行状況をもとにたわみの影響を補正する方法が『大型車影響評価法』である。次式の $\Sigma \Delta$ (mm)が計測時間(T sec)内に各車線(j =1~6)を通行した大型車(台数: n_j 、平均速度: v_j m/sec)による『たわみの影響(補正量)』である。

$$\Sigma \Delta = \{ \sum_{j=1}^6 (n_j \times \eta_j \times \delta o \times (1068 / v_j) / T) \} \times (W / 200)$$

ここに、 δo ：橋梁内を等速度で移動する200kN集中荷重により着目点に生じる平均たわみ量(単位:mm)
 η_j ：大型車走行位置(j)が主ケーブルに与える影響値(主ケーブル間の1-0 法による分担率)

線形化たわみ理論によれば、200kN集中荷重により $L_c/2$ 点(中央径間中央点)に発生する最大たわみ量は55mmとなるが、この荷重が橋梁内を通行する間に $L_c/2$ 点に発生する平均たわみ量(δo)は6.5mmと約1/9の小さな値となる(図-1)。

計測は夕方17時から深夜24時までの1時間ごとに8度(第1回～第8回)のほか、翌々日の昼間(第9回)と夜間(第10回)にも行った。一回当たりの計測時間(T)は600secとした。また、大型車重量(W)は前回の調査結果を基に150kNと仮定した。

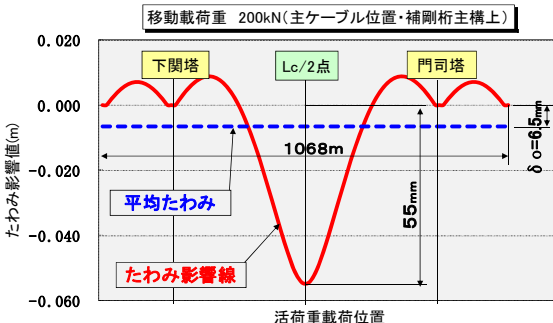


図-1 Lc/2 点のたわみ影響線

2.2. 大型車の通行状況調査

補剛桁の $L_c/2$ 点を通行する大型車の台数及びその平均走行速度は車線別に調査した。この結果、全車線の平均走行速度はどの計測時間帯においても 24m/sec 程度ではほぼ同じであったものの、全車線の合計通行台数は計測時間帯により大きく異なり、最少が 75 台(東側 10 回目)、最多が 133 台(西側 7 回目)となっていた (表-1)。

表-1 大型車の通行状況調査

着目点		Lc/2 (東側)		Lc/2 (西側)		
計測回		通過台数 (台)	走行速度 (m/sec)	通過台数 (台)	走行速度 (m/sec)	
一日目	1	2/20:17	90	24.3	107	24.2
	2	2/20:18	88	24.8	100	23.2
	3	2/20:19	88	24.8	100	23.2
	4	2/20:20	94	24.1	97	25.1
	5	2/20:21	88	24.2	98	23.5
	6	2/20:22	96	23.6	111	23.5
	7	2/20:23	95	23.7	133	21.3
	8	2/20:24	119	23.4	102	24.2
二日目	9	2/22:15	76	23.4	87	23.8
	10	2/22:21	75	20.7	78	24.5

注). 通過台数は全車線分の合計、走行速度は全車線分の平均値である。

2.3. ケーブル温度が標高に及ぼす影響と計測方法

ケーブル温度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の変化により $L_c/2$ 点は干28mm 標高が変化する。この値は活荷重たわみ量と比べても大きな影響を及ぼすことから温度計測には十分留意する必要がある。そこで塔頂サドル内のストランド温度 (St 温度と略す) 及び隣接 PA 内にある実物大の模型の両方で温度計測を実施した。前者は表面4周点の平均温度を、後者は模型の両端を断熱カバーで覆い表面から内側への熱伝動状態を再現し、図-2に示すように表面と断面内計25箇所の断面平均温度をケーブル温度として評価することにした。

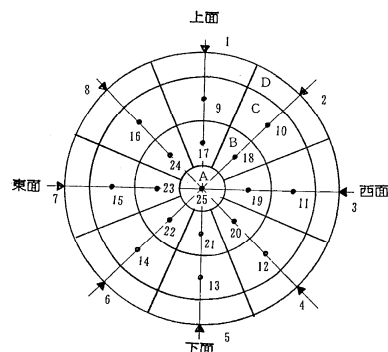


図-2 模型の温度計測位置 (▲●)

2.4. 基準温度時・無载荷状態の補正標高値

模型断面平均温度を基準温度(20°C)に換算した結果、交通状況や気象条件が異なる二日間(全10回)の $L_c/2$ 点(東側)の補正標高値は、76.147m~76.134m の範囲に納まり、最大13mmの差はあるもののほぼ同値となった(図-3)。

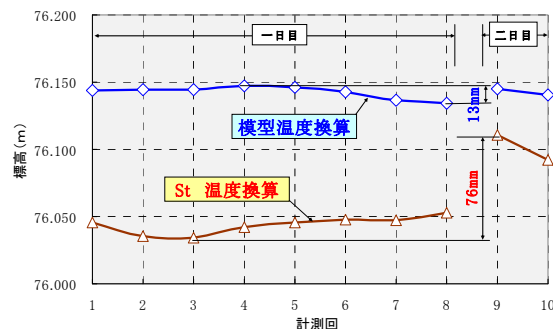


図-3 計測回と $L_c/2$ (東側)の補正標高

3. まとめと考察

St 温度を基準温度に換算した場合、二日間の標高差は76mm となった(図-3)。これは、計測当日の天候(一日目：晴、二日目：曇)により、St 温度からは実ケーブルの温度が適切に推定できなかった結果であると考えている(図-4,5)。つまり、サドル室内に位置する St は実ケーブルとは異なり直射日光や風の影響を受けないこと、その表面温度だけでは熱伝導の影響を受けるケーブル中心部の温度が評価できないことが標高差として現れたものと考えている。熱伝動の状況については、図-4,5 に示す模型表面及び模型中心の温度推移状況から明らかである。これより、二日間の補正標高値の差が小さい模型断面平均温度を基準温度に換算すべき温度とした。なお、前述の13mm 差は種々の要因が重なって発生した誤差であると考えている。

4. 結論及び今後の課題

『AP 計測』と『大型車影響評価法』を適用し、ケーブル断面平均温度をより適切に評価すれば、交通状況や気象条件に関わらず補正標高値が再現できることを確認した。しかし、ケーブルの断面平均温度を容易に求めることができない場合が多いことから、実ケーブルの表面温度を基にした断面平均温度の推定方法の確立が今後の課題である。

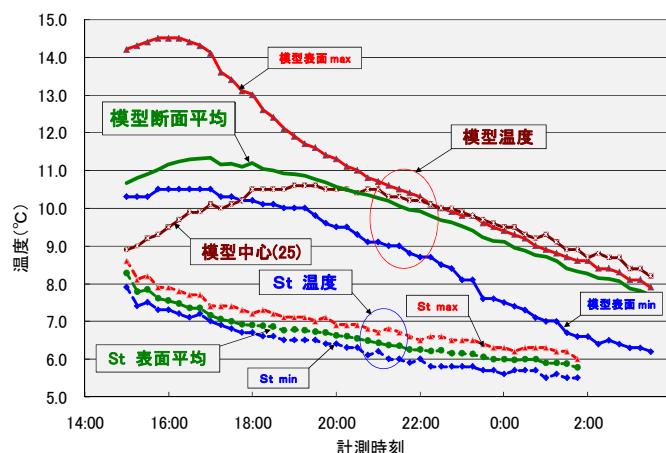


図-4 温度測定結果（一日目）

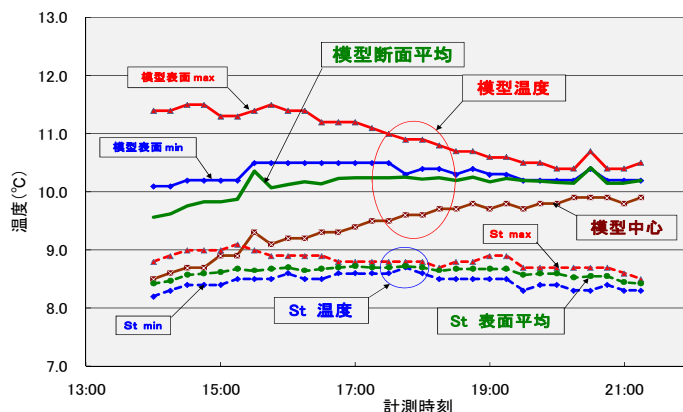


図-5 温度測定結果（二日目）

(参考文献)水田富久、相良 貢、堀野 恵、梅本幸男：大型車が頻繁に通行している長大吊橋補剛桁の縦断形状計測法、土木構造・材料論文集 第14号、pp61~pp68、1998年12月