

ジャイロ計測による長大吊橋形状管理法の提案

復建調査設計(株)

正会員 梅本 幸男

1. 概要

長大吊橋においては、経年変化に伴う主ケーブルの伸び、主塔の倒れ、橋台・橋脚基礎の沈下・移動・傾斜等が発生した場合には極めて危険な状態に陥ることが予測される。一方、構造上ではこれらの変化量がたとえわずかであったとしても橋桁に大きな標高変化を誘発することが知られていることから、橋桁の標高を随時計測し建設時（設計時）からの経年変化量を把握・評価していくことが構造物の安全性を確保する重要な一手法であるといえる。そのためには設計時の温度（基準温度）でかつ通行する車両が全くいない無載荷状態における標高値「無載荷標高値」を得る必要がある。

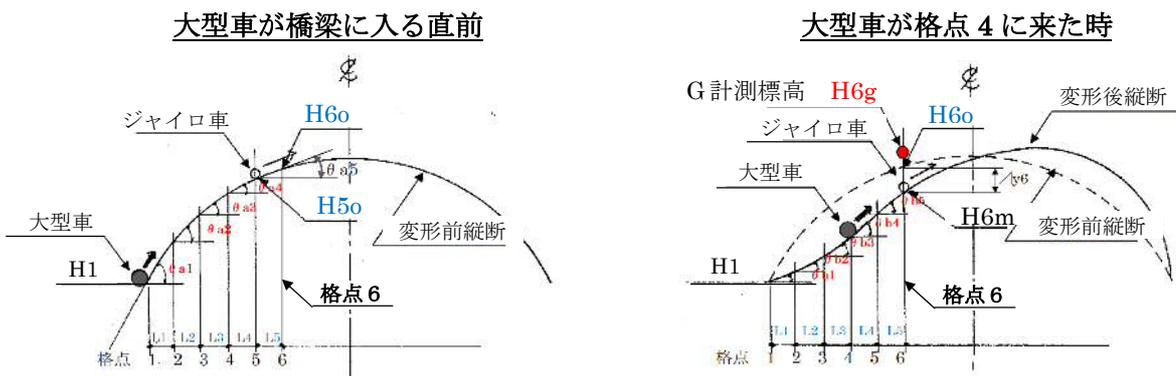
しかし長大橋であるがゆえに無載荷状態になることは極めて稀でありかつ車両の通行状態では標高が時々刻々と変化することもあり、容易には無載荷標高値を得ることができない。このような状況下で、TS（自動追尾型測距儀）を利用した MAT-S 法¹⁾および MAT-J 法²⁾により無載荷標高値を得る手法を開発してきた。しかし、TS は数百米程度が視準の限界であり超長大橋に適用することができないという課題に直面した。そこで、距離の制限を受けず無載荷標高値を得ることが可能なジャイロ計測法を改めて開発した。

なお、ジャイロ計測技術の開発にあたっては北九州市道路公社が管理されている国内最古の長大吊橋である若戸大橋（中央径間 $L_c=367m$ ）をフィールド提供いただきました。ここにお礼を申し上げます。

2. ジャイロ計測法の概要

ジャイロ計測法とは、「慣性基準装置を搭載した車両を走行させ、極めて短い時間間隔（例えば、1秒間に200回程度）で角速度、加速度および微小移動距離を同時測定し、同微小距離間の標高差を順次計算し、これらの値を数値積分することにより走行経路の標高を連続的に算出し縦断形状を得る方法」である。

しかし、計測中に大型車等車両が通行した場合には、それに伴うたわみ角が橋桁に発生するため、格点 6 の標高をジャイロは変形前縦断（ H_{6o} ）とは異なる無載荷標高値ではない変形後縦断（ H_{6g} ）と評価してしまう（図-1）。そこで、計測した変形後縦断（ H_{6g} ）を無載荷状態における縦断に補正する方法を検討した。



$$\begin{aligned} \text{変形前の標高} & : H_{6o} = H_1 + \sum_{i=1}^5 (\theta_{ai} * Li), \quad H_{5o} = H_1 + \sum_{i=1}^4 (\theta_{ai} * Li) \\ \text{変形後の Gyro 標高} & : H_{6g} = H_{5o} + \theta_{b5} * L_5 \\ \text{変形後の実標高} & : H_{6m} = H_1 + \sum_{i=1}^5 (\theta_{bi} * Li) \quad (\text{TS 計測値}) \end{aligned}$$

図-1 ジャイロによる標高計測法の概念図

キーワード 長大吊橋, 橋桁の縦断形状計測, 維持管理手法, 変状検知手法

連絡先 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東 3-12-24 (博多駅東 QR ビル) 復建調査設計(株) TEL092-471-8324

3. 橋桁路面のジャイロ計測データから実縦断形状を算出する方法

図-2 において、 β_r が現状における無載荷状態での縦断形状であり、この不明である縦断形状を求めることが目的である。しかし、ジャイロが計測した縦断形状は、通行車両の影響によるたわみ角 θ を受け α のようになってしまっている。

そこで、まず β_r の値を仮定 (β_{r1}) して通行車両の影響によるたわみ角 $\theta_{r1} (= \alpha - \beta_{r1})$ だけを抽出し、これを無載荷状態の値 (θ_{ro1}) に補正して $Lc/2$ 点の標高を始めとする縦断形状($Go1$)を求める。

一方、縦断計算により、仮定した β_{r1} をもとに $Lc/2$ 点の標高を始めとする縦断形状($Ho1$)をも求めることができる。

この段階で、 $Go1=Ho1$ となれば β_{r1} が β_r であるといえる。しかし、 $Go1 \neq Ho1$ の場合には再度 ($\beta_{r2} \dots \beta_{rn}$) 仮定して同じ計算を繰り返し、 $Gon=Hon$ となったその時の β_{rn} が現状の無載荷縦断形状 (β_r) に相当する。ここで、 β_o は設計当初の縦断を表わしており、 β_o と β_{rn} との標高差が経年変化の影響 (垂下がり) となる。

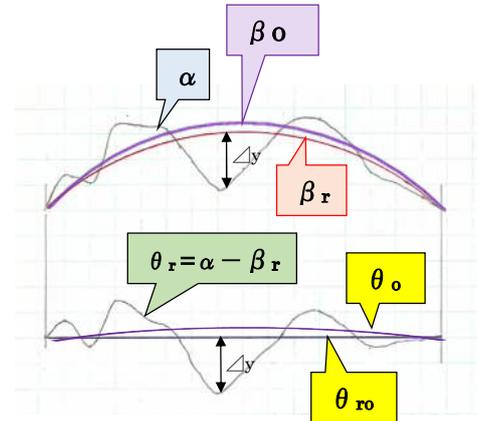


図-2 ジャイロ計測の概要

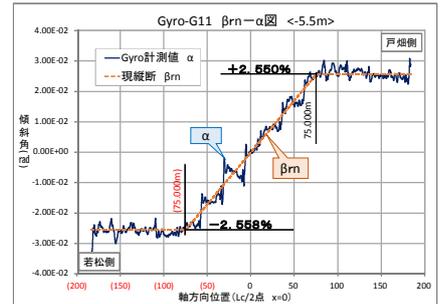


図-3 計測した縦断形状

4. 実測例

若戸大橋中央径間における載荷状態での実測例を図-3~6 に示す。

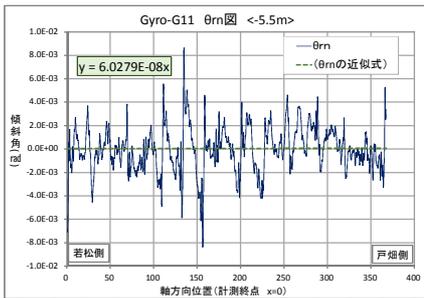


図-4 θ_{rn} の図

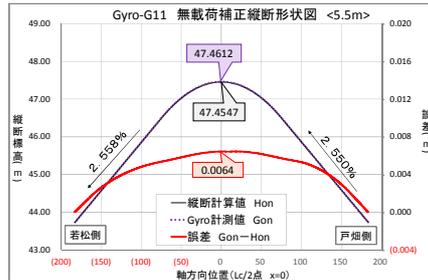


図-5 Gon 及び Hon の図

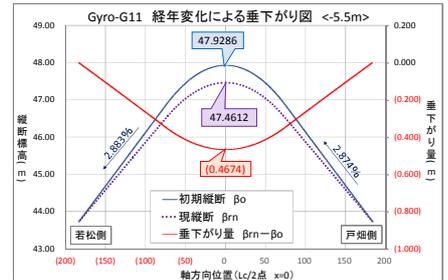


図-6 垂下がり図

無載荷状態における現状縦断は、主塔 \sim $\pm 75m$ の区間では若松側は 2.558%、戸畑側は 2.550%の直線勾配であり、 $Lc/2 \pm 75m$ の区間(150m)は両直線勾配に接する放物線であった (図-3)。載荷状態(G11)における $Lc/2$ 点標高は 47.4612m であり無載荷状態における標高(47.4547m)との差 (約 6.5mm) が提案する補正法による誤差となる (図-5)。なお、本橋の設計時において若松側直線勾配は 2.883%、戸畑側は 2.874%に設定されていたことから、経年変化により最大約 47cm の垂下がりを生じていることが確認できた (図-6)。

5. まとめ

検討の結果、ジャイロ計測法はデータを適切に処理さえすれば、たわみやすい橋桁路面であっても無載荷状態における縦断形状を手軽に取得できることが確認できた。なお、計測車両を運転中に急な加減速を行った場合にはそれに伴う車両の傾きも測定値に含まれてしまうことから、これらの影響を微小な値に抑えるような対策を検討中である。なお、ジャイロ計測法は人間の集団検診に匹敵する手法であり、この計測にて異常らしき所見が発見された場合には、MAT-S 法その他の手法により詳細に調査することを提案するものである。

参考文献

- 1) 河野、井上、梅本：半世紀を迎える若戸大橋 (長大吊橋) における形状測定、橋梁と基礎、Vol.45-2,pp27~32,(2011-02)
- 2) 楠根、山下、梅本：MAT-J 計測法による長大吊橋の維持管理手法の提案、平成 25 年度年次学術講演会 I-384