

ケーブルバンドすべり安全性の検討

本州四国連絡橋公団	長大橋技術センター	正会員	○森山	彰
〃	〃	正会員	大谷	康史
〃	〃	正会員	薄井	稔弘

1. はじめに

ケーブルバンド（図-1）は、吊橋において道路面を有する桁構造を吊るハンガーロープを主ケーブルに固定する部材であり、ケーブルバンドと主ケーブル間に働く摩擦によって位置を保持している。この摩擦力は、ケーブルバンドを固定するバンドボルトに軸力を導入することにより得られるため、所要のすべり安全性を確保するためには、バンドボルトの軸力管理が必要となる。

バンドボルトには経時的に軸力抜けが生じており、所要の安全性を確保しつつ経済的な管理を行うためには、バンドボルトの再締め付けの必要性の判断や実施時期を適切に設定する必要がある、軸力抜けの進行の調査とともにケーブルバンドのすべりに対する所要の安全性に関する再評価が必要と判断した。また、ケーブルバンドにすべり力を生じさせる外力はハンガーロープ張力であり、ハンガーロープの安全性と対をなす事項であるため、管理段階におけるハンガーロープの安全性を同時に議論することとした（図-2）。以下に、これまでの検討の概要と今後の検討方針について報告する。

2. バンドボルト軸力抜けの調査

設計時におけるバンドボルト軸力($N=n \times A \cdot \sigma_e$ ここに、 n : ボルト本数、 A : ボルト断面積、 σ_e : 締付け応力)は、ケーブルバンド設計要領(案)（本四公団）により、あらかじめ導入軸力の30%の軸力抜けを想定した上で、すべり安全率3.0を確保できるように決定されている。管理段階におけるボルトの軸力抜けの実態は図-3に示すとおりで、時間の経過とともに軸力抜けが生じている。時間軸を対数で整理した、この図からは軸力抜け量を経過時間と一義的に関連づけることは難しい。図-3を参考に仮にバンドボルトに導入軸力の50%の軸力抜けが生じた場合のボルトのひずみ量は $\varepsilon=1.2 \times 10^{-3}$ である。これをボルト長さの変化量に換算すると、バンドボルトの締付け長さ $L=500\text{mm}$ (因島大橋)で $\Delta L=0.6\text{mm}$ 、 $L=910\text{mm}$ (明石海峡大橋)で $\Delta L=1.1\text{mm}$ と微少な量である。

バンドボルトに軸力抜けが生じる要因は、ケーブルが垂鉛めっきを施した鋼線の集合体であることを踏まえると以下が想定される。1)鋼線の垂鉛めっき層のクリープ、2)締付けボルトのリラクゼーション、3)応力増大によるケーブルの細り、4)ケーブルバンドの変形、5)荷重変動などによって生じる鋼線の再配列、6)ケーブル内に入っているシーリングテープの変形、7)バンドとケーブルの温度差

これらの要因の中で、バンドボルトの軸力抜けが、管理段階で時間の経過とともに上記に示すような微少な量が徐々に、しかも確実に生じているという実態を踏まえて、要因毎に分析・評価すると表-1となる。各種の要因が複合的に関連して軸力抜けが生じているものと考えられるが、その中でも1)垂鉛めっき層のクリープの占める比率が大きいと考えられた。

3. めっき鋼線のクリープ

鋼線には、規格上 300g/m^2 以上のめっき付着量を要求し、実勢値としては 350g/m^2 程度の付着量が確保されている。めっき付着による鋼線の線径増加量がおおよそ 0.1mm であることから、めっき層厚はおおよそ $t=0.05\text{mm}$ である。めっき層の全厚は、鋼線径を 5mm 程度と仮定するとケーブル径 620mm (因島大橋)で $t=12\text{mm}$ 、 $1,120\text{mm}$ (明石海峡大橋)で $t=22\text{mm}$ に相当する。垂鉛は鋼に比べ、弾性係数が約半分と柔らかく、再結晶温度($15 \sim 50^\circ\text{C}$)も著しく低く、常温域にあるためクリープ的な挙動が生じやすい材料である。

キーワード 吊橋、ケーブルバンド、すべり、クリープ、安全性

連絡先 〒651-0088 神戸市中央区小野柄通 4-1-22 本州四国連絡橋公団 長大橋技術センター TEL 078-291-1073

垂鉛めっき鋼線の側圧によるクリープ現象を調査する目的で、側圧一定の条件の下での室内試験を実施した。試験は、めっき鋼線を直列配置してめっき層のクリープ現象を調査するケースとめっき鋼線を幅 50mm(鋼線約 9.6 本に相当)×高さ約 50mm に鋼線 100 本をランダムに配置して鋼線の集合体としてのクリープ現象を調査するケースを実施した。結果は次のとおりである。ランダム配置によるひずみ量は、直列配置のケースよりかなり大きく、集合体としての影響が相対的に大きいことが判明した。長期のクリープ量を試験結果より推定すると、時間軸の整理の仕方により推定値が大きく異なることとなった。また、側圧の大きさを変化したケースでクリープ特性を調査したが、影響は大きくなかった。

4. すべり安全性の評価

ケーブルバンドのすべり力は、ハンガーロープ張力とケーブル傾斜角により決まる。すなわち、ケーブルバンドのすべり安全性の評価にはハンガーロープの安全性の評価と対をなしている。ハンガーロープに生じる最大張力はシミュレーション解析等により推定可能であり、設計時に見込んだ製作・架設誤差の影響等はロープ張力の実測等によりキャンセルできるものであるため、管理段階における合理的な安全性の評価が可能と考えられる。また、ケーブル傾斜角は橋梁の幾何形状により決まり、ケーブル傾斜角が小さい場合には、ケーブルバンドに作用するすべり力も小さくなる。すなわち、ケーブルバンドが主ケーブル上に置かれている状態の摩擦力のみですべりに抵抗できると考えられ、バンドボルトの軸力管理の必要性の選別が可能と考えられる。

5. 今後の方針

バンドボルトの軸力抜け量の定量的な評価には、今回実施しためっき鋼線のクリープ試験結果等を踏まえた更なる検討を行う必要がある。また、すべり安全性に関して、橋梁全体系としての安全性や使用性への影響度等の検討を踏まえた評価を行い合理的な管理へ反映したいと考えている。

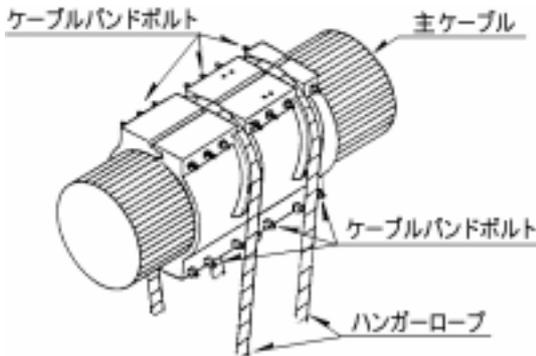


図-1 ケーブルバンドの構造概要

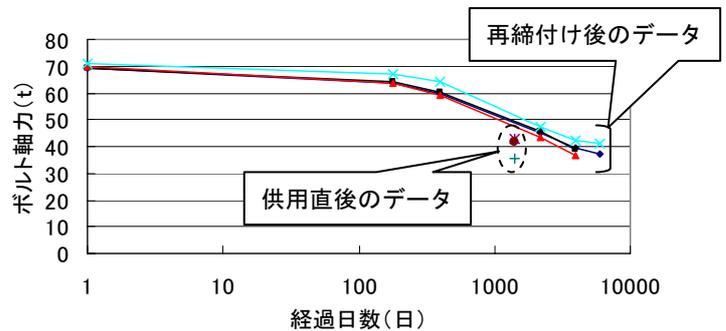


図-3 バンドボルト軸力抜け

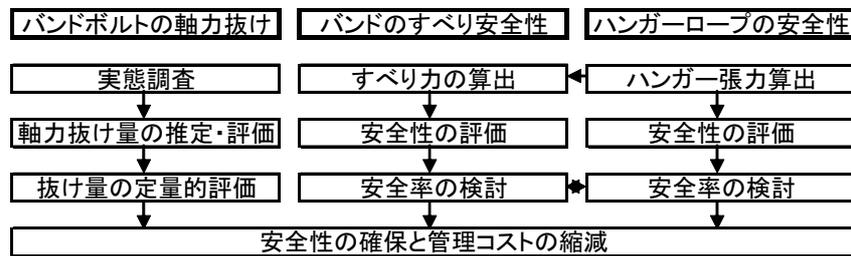


図-2 検討フロー

表-1 バンドボルト軸力抜け要因と分析

要因	分析結果	評価
素線の垂鉛めっきのクリープ	経時的なケーブル径の変化(再締め付け後の軸力抜け)の要因となり得る	○
締め付けボルトのリラクゼーション	HTB(F10T)でおよそ10%、短時間で収束	△
応力増大によるケーブルの細り	活荷重の占める比率は小さい、架設時の主要因	×
ケーブルバンドの変形	ボルト定着間のバンドの塑性変形は小さい	×
荷重変動などによって生じる鋼線の再配列	経時的な変化の要因とは考えにくい	△
ケーブル内のシージングテープの変形	全バンドで同様の現象が生じており、局所的な影響とは考えにくい	×
バンドとケーブルとの温度差	仮に温度差が生じて軸力変化の影響は小さい	×