

吊橋ケーブルバンド（ピン定着方式）のすべり安全性に関する検討

本州四国連絡高速道路(株)	正会員	○山口	和範
同	正会員	山田	郁夫
同	正会員	川端	淳

1. はじめに

本州四国連絡橋の吊橋のケーブルバンド（以下、「バンド」という）は鞍掛け方式バンド（瀬戸大橋，大鳴門橋，因島大橋，大島大橋，図-1）とピン定着方式バンド（明石海峡大橋，来島海峡大橋）がある．ピン定着方式バンドのうち明石海峡大橋はバンド本体が縦割りでバンドボルト（以下，「ボルト」という）を横締めしており（以下，「ピン定着横締め方式」という，図-2），来島海峡大橋はバンド本体が横割りでボルトを縦締めしている（以下，「ピン定着縦締め方式」という，図-3）．鞍掛け方式バンドの場合，ハンガーロープをバンド上面に鞍掛けしているため側圧効果（図-1）が期待できるが，ピン定着方式バンドの場合，ハンガーロープがバンド下面にピン定着されているためボルト軸力が低下したときバンド下面の内圧が減少しケーブルとの摩擦が切れる可能性がある．ボルトは経時的に軸力の低下が生じており，所要の安全率を確保しつつ合理的な管理を行うためには，バンドがすべる終局時の挙動など力学的特性を把握する必要がある．本検討では，「ピン定着横締め方式」および「ピン定着縦締め方式」に対して3次元の弾塑性有限変位 FEM 解析を行い，ピン定着方式のバンドのすべり安全性に関する検討を実施した．本稿はその検討概要を報告する．

2. ケーブルバンドのモデル化

バンドのすべりに対する解析はソリッド要素などによる3次元弾塑性有限変位FEM解析^{1),2)}で実施した（図-4）．ここで，ケーブルの剛性（ヤング係数）は空隙の影響を考慮し鋼材の3%に低減している．また，ケーブルとバンドはギャップ要素で接続してケーブルとバンドが局部的に非接触になった場合を考慮できるようにするとともに，摩擦係数はバンドの設計値である0.15を採用した．解析は，明石海峡大橋の「ピン定着横締め方式」の長バンド（ $L=1910\text{mm}$ ， $\phi=1122\text{mm}$ ）と短バンド（ $L=960\text{mm}$ ， $\phi=1122\text{mm}$ ）の2モデル，来島海峡第一大橋の「ピン定着縦締め方式」の長バンド（ $L=1820\text{mm}$ ， $\phi=426\text{mm}$ ）1モデルの計3モデルに対して実施した．どちらの吊橋の場合も長バンドは主塔に最も近く，すべりに対して最も厳しい条件にあるバンドをモデル化した．

解析ケースはボルト軸力が初期導入軸力の100%，50%，30%の3ケースに着目し，ハンガー張力を設計張力の100%から300%に漸増させた．

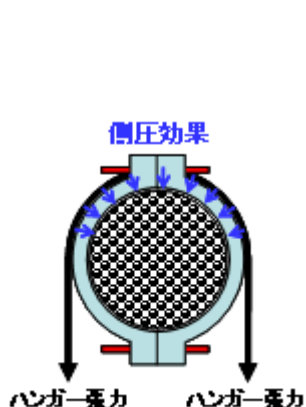


図-1 鞍掛け方式バンド
（瀬戸大橋等）

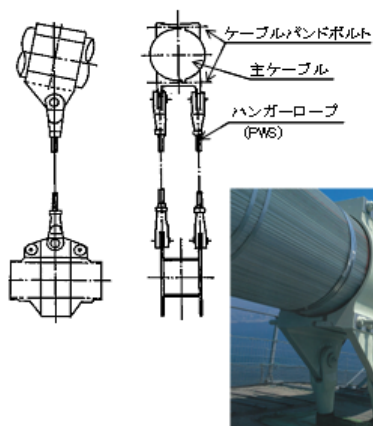


図-2 ピン定着横締め方式
（明石海峡大橋）

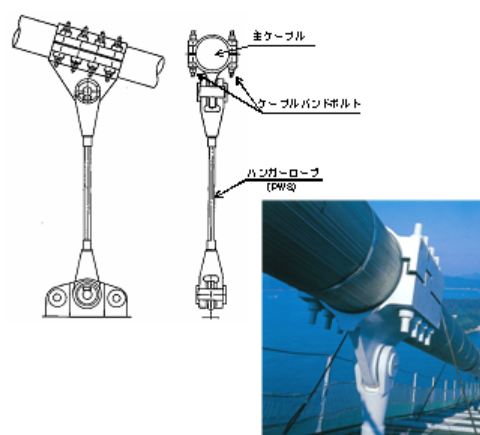


図-3 ピン定着縦締め方式
（来島海峡大橋）

キーワード 吊橋，ケーブルバンド，すべり，安全性，3次元 FEM

連絡先 〒651-0088 神戸市中央区小野柄通 4-1-22 本州四国連絡高速道路(株)長大橋技術センター TEL 078-291-1075

3. ピン定着横締め方式（明石海峡大橋）

ケーブル軸線方向の作用力と摩擦抵抗力の関係を図-5に示す。短バンドの場合、いずれのケースにおいてもハンガー張力が設計張力の300%になってもバンドがすべることは無かったが、長バンドの場合、ボルトの残存軸力が30%のケースにおいてハンガー張力が設計張力の約180%でバンドのすべりが発生した。しかし、ボルトの残存軸力が50%のケースではハンガー張力が設計張力の300%でバンドのすべりが発生しておらず、ボルト軸力の抜けが1/2になったとしてもすべり安全率は3.0を確保しているものと考えられる。

4. ピン定着縦締め方式（来島海峡大橋）

ケーブル軸線方向の作用力と摩擦抵抗力の関係を図-6に示す。傾向は、明石海峡大橋のピン定着横締め方式とほぼ同じであるが、ボルトの残存軸力が50%のケースではハンガー張力が設計張力の約270%でバンドのすべりが発生しており、明石海峡大橋の結果より1割程度すべり抵抗力が小さくなっている。図-7にボルトの残留応力50%（ハンガー張力は設計張力の2倍）のときの内圧分布を示す。下面の一部で非接触箇所が生じているが、上面の内圧が増えている箇所もあり、全体としてすべり抵抗力を確保していることが分かる。

来島海峡大橋のピン定着縦締め方式の場合、バンド本体が上下に分かれているため、ずれ止め用の突起（下バンドが凸型の突起、上バンドが凹形状）が片側当たり2箇所設けられている。凹凸の余裕幅は5mmであるため、片方向当たり2.5mmの遊間があるものとして解析した。図-8に上下バンドのずれ止め突起の相対変位を解析した結果を示すが、ボルトの残留軸力が50%より小さくなると下バンドがずれ止め同士が接触するまで滑動（2.5mm滑動）することが分かる。

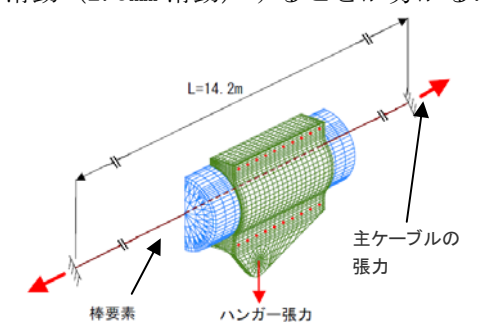


図-4 解析モデル（明石海峡大橋、長バンド）

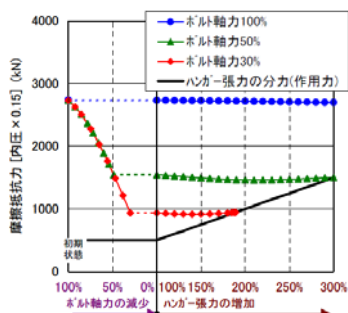


図-5 バンドの滑動に対する安全性（明石海峡大橋、長バンド）

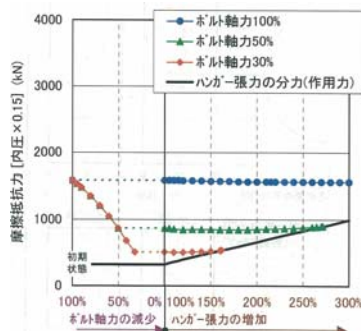


図-6 バンドの滑動に対する安全性（来島海峡第一大橋、長バンド）

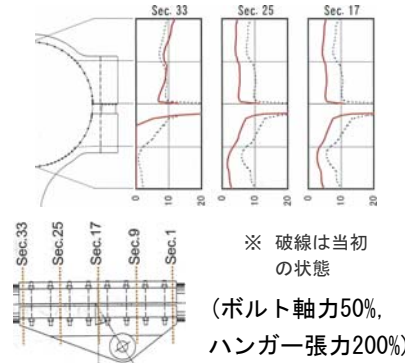


図-7 バンドの内圧の分布（来島海峡第一大橋、長バンド）

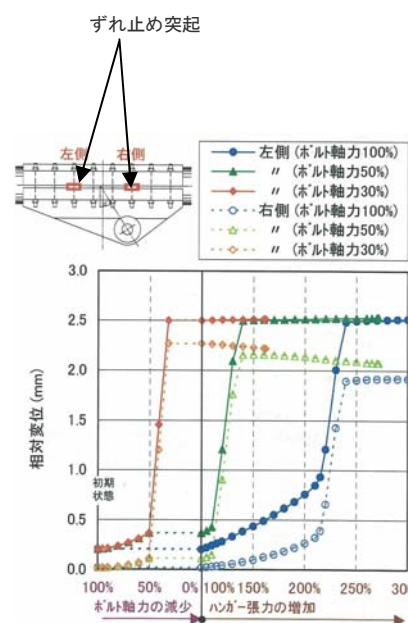


図-8 上下バンドのずれ止め突起の相対変位（来島海峡第一大橋、長バンド）

5. まとめ

本検討により「ピン定着横締め方式」、「ピン定着縦締め方式」のどちらの場合でもボルトの軸力が低下してハンガー張力が増加したとき、バンド下面の一部でケーブルと非接触の箇所ができるが、仮にボルトの残留軸力が1/2になったとしても十分なすべり抵抗力を確保している。ただし、「ピン定着縦締め方式」の場合、ボルトの残留軸力が1/2程度より小さくなると下バンドが滑動する可能性があると考えられる。

参考文献

- 1) 森山, 山田, 横井: 吊橋ケーブルバンドのすべり安全性に関する検討, 土木学会第62回年次学術講演会, 2007年9月
- 2) 山田, 森山, 山口: 吊橋ケーブルバンドのすべり安全性評価, 本四技報 Vol. 34 No. 113, 2009年9月