

吊橋ケーブルバンドの維持管理に関する検討

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	森山	彰

1. はじめに

吊橋のケーブルバンド(以下、「バンド」という)はケーブルバンドボルト(以下、「ボルト」という)に軸力を導入することで主ケーブルに摩擦により固定される。管理段階においてボルト軸力は、設計時の想定を上回る軸力低下が経時的に生じることが判明している^{1),2)}。一方、バンドのすべり力の評価には、ハンガーロープ(以下、「ハンガー」という)の張力が大きく影響を及ぼし、このハンガー張力も供用形態が異なる等の要因から、設計時の想定張力とは差が生じている。よって、バンドのすべり安全性の評価には、これら管理段階での実態を考慮した検討が必要となることを報告した^{3),4)}。ここでは、大島大橋(1988年完成、中央支間長 560m)におけるボルト軸力調査結果を反映した、ボルト管理手法について検討を行った結果を報告する。

2. ボルト軸力の調査結果

図-1に大島大橋のボルト軸力低下の経時変化を示す。設計時に想定したボルト軸力低下量(導入軸力の30%、残留率70%)を上回る軸力低下が生じている。このボルト軸力は、軸力導入時からバラツキを有しており、ボルト軸力のバラツキは、経時変化によるボルト軸力の低下に伴って大きくなる傾向にあることが図-2よりわかる。図-3には、軸力調査時のボルト軸力残留率の分布を示す。ほぼ正規分布に近似する分布を有している。図-1～図-3は、ケーブル傾斜角の大きい主塔近傍の8バンド(ボルト80本)を対象としている。全バンドのすべり安全性の評価に用いるボルトの軸力残留率を推定するには、このボルト軸力残留率のバラツキを考慮する必要があり、合理的なバンドのすべり安全性の評価を可能にすると考えられる。

一つのバンドは複数のボルトで固定されている。このため、一つのバンドを対象にボルト軸力量を評価するには、複数ボルトの合計値としてボルト軸力量を評価することとなり、バンドの軸力量のバラツキは、ボルト1本毎のバラツキが平準化されることとなる。すなわち、バンド軸力のバラツキにボルト毎のバラツキを考慮することは、過度に安全側の評価を行う可能性を有している。図-4にはバンド毎の軸力残留率とボルト毎の軸力残留率

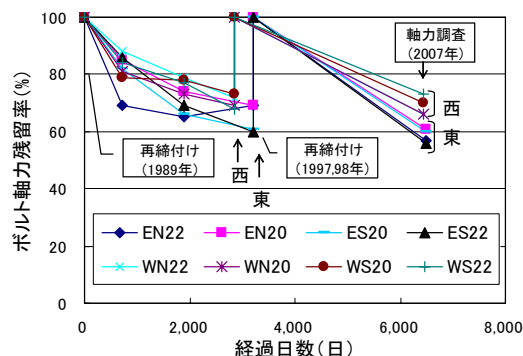


図-1 ボルト軸力低下の経時変化

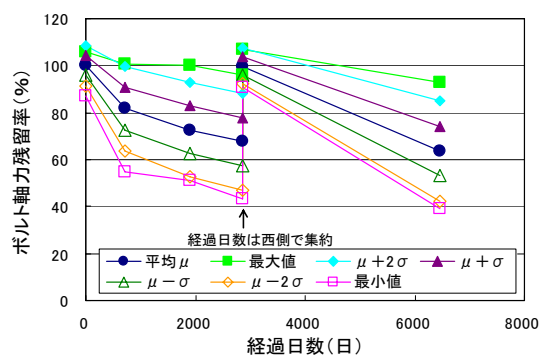


図-2 ボルト軸力低下の分布

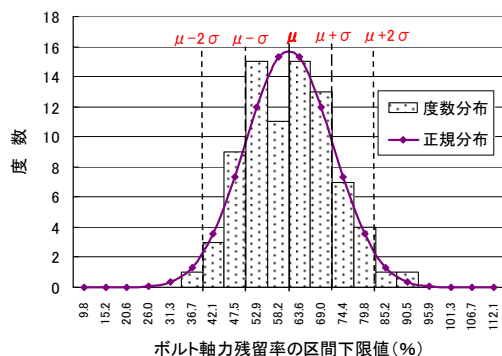


図-3 ボルト軸力低下の分布(ボルト 80 本)

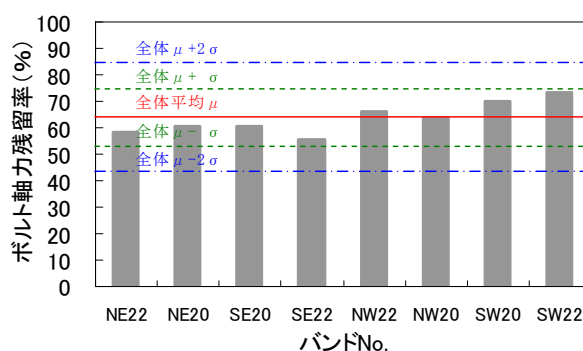


図-4 ボルト軸力低下の分布(ボルト 10 本/バンド)

キーワード 吊橋, ケーブルバンド, すべり, 安全性, 維持管理

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 078-291-1073

表-1 バンドすべり安全率の推定結果

項 目	単位	設計時	管理時	
			現時点	5～10年後
ハンガー張力 T	kN	1530(完成形)	1350(暫定形)	
すべり力(作用力) S	kN	540	480	
ボルト軸力残留率	平均(μ)	70(仮定)	66	63
	最小($\mu - \sigma$)		55	51
ボルト軸力 N	平均(μ)	410	380	370
	最小($\mu - \sigma$)		320	300
摩擦係(抵抗力) R	平均(μ)	1,710	1,610	1,540
	最小($\mu - \sigma$)		1,350	1,250
すべり安全率 $\nu = R/S$	平均(μ)	3.2	3.4	3.2
	最小($\mu - \sigma$)		2.8	2.6

注) 主塔に最も近い4バンド(No.22)を対象とする

表-2 ボルト軸力管理の暫定基準(案)

項 目	設計時	管理時	
ハンガー張力 T	完成形	暫定形(実橋)	
すべり力(作用力) S	$S = T \cdot \sin \theta$	$S = T \cdot \sin \theta$	
ボルト軸力残留率	70%(仮定)	平均(μ)	60%以上
		最小($\sigma - \mu$)	50%以上
摩擦係(抵抗力) R	$R = m \cdot \mu \cdot N$	$R = m \cdot \mu \cdot N$	
すべり安全率 $\nu = R/S$	3.0	平均(μ)	3.0以上
		最小($\sigma - \mu$)	2.5以上

注) θ : ケーブル傾斜角
 m : ケーブルバンド内圧分布に関する係数(=2.8)
 μ : ケーブルバンド内面と主ケーブルとの摩擦係数(=0.15)

の平均値(μ)とバラツキとして標準偏差(σ)を考慮した変動幅を示す。図-4 よりバンド毎のボルト軸力残留率は、「ボルト毎の軸力残留率の平均値 $\mu \pm$ 標準偏差 σ 」の範囲にあることがわかる。すなわち、軸力調査を行ったボルト毎のバラツキ(標準偏差 σ)を考慮すれば、バンド毎のボルト軸力残留量のバラツキを推定できることとなる。

3. バンドすべり安全性の評価

ボルトの再締め付け時期を設定するため、将来のボルト軸力低下量を既往の調査データを最小自乗法による対数近似によって推定した。推定期間は、主ケーブルの防食工事の施工が想定される、調査後 5～10 年とした。軸力残留率の推定値は、5 年後の平均値 μ が 64%、平均値 $\mu -$ 標準偏差 σ の最小値が 52%、また 10 年後は μ が 63%、 $\mu - \sigma$ が 51%と推定された⁵⁾。この推定結果を用いてバンドのすべり安全性を評価する。表-1 にすべり安全率の試算結果を示す。ここで、ハンガー張力は、管理段階の実橋ハンガー張力（暫定形）を基本とする。バンドすべり安全率は、現時点において平均値 μ で $\nu = 3.4$ 、最小値 $\mu - \sigma$ で $\nu = 2.8$ である。今後 5～10 年後においては、平均値 μ で $\nu = 3.2$ 、最小値 $\mu - \sigma$ で $\nu = 2.6$ と推定できる。

以上の検討結果より、現時点において管理段階における実橋ハンガー張力を用い、ボルト軸力低下量として平均値を用いるとすべり安全率は $\nu = 3.0$ を上回っている。一部のバンドではバンドの当初設計におけるすべり安全率の所要値 $\nu = 3.0$ を若干下回る可能性はあるが、吊橋全体としてのバンドのすべり安全性は $\nu = 3.0$ を確保できている。また、今後 5～10 年後においても、最小値でもすべり安全率 $\nu = 2.5$ 以上、平均値では $\nu = 3.0$ 以上が確保できるものと推定される。よって、大島大橋におけるバンドのすべり安全性は確保できるものと考えられ、ボルトの再締め付けは当分の間は必要ないと判断される。

4. ボルト管理手法の提案

これまでの検討結果を踏まえ、大島大橋の「ボルト軸力管理方法(案)」を下記に示すとおりとした。
①ハンガー張力は、実橋ハンガー張力を用いる。②ボルト軸力調査の対象バンドは、東西ケーブルでタイプ別に合計 4 個以上を選定する。タイプ別にはケーブル傾斜角の大きいバンドを対象とする。③調査対象バンドのボルト軸力調査結果に基づき、バンド毎のすべり安全率を算出するとともに、未調査のボルト軸力のバラツキを考慮して、ボルト軸力残留率およびバンドすべり安全率をボルト軸力の平均値 μ および標準偏差 σ から最小値($\mu - \sigma$)を決定し、安全性を検証する。④表-2 に示す大島大橋の「ボルト軸力管理の暫定基準(案)」のボルト軸力残留率またはバンドすべり安全率が管理基準値以下になる前に再締め付けを実施する。⑤ボルト軸力低下の推定精度向上のため、ボルト軸力調査を継続的に実施し、その結果を考慮して暫定基準の見直しを実施する。

5. あとがき

大島大橋のバンドのすべり安全性についてボルト軸力調査結果を踏まえた評価を行い、バンド軸力の管理方法について検討を行った。検討の結果、大島大橋では、当面ボルト軸力の再締め付けの必要がないとの結論を得たが、今後 5～10 年後の点検・調査において軸力調査を行い、再締め付けの必要性を判断することとした。今後も、本四連絡橋の吊橋で実施するボルト軸力調査の結果について、データ整理・分析等を行い、橋梁別の特殊性を考慮しながら、バンドのすべり安全性を評価し、ボルト軸力管理基準の策定のための検討を継続するものとする。

参考文献

1) 森山, 山田 : ケーブルバンドすべり安全性の検討(その2), 土木学会第61回年次学術講演会, 2006年9月
2) 森山 : 吊橋ケーブルバンドボルトの管理手法に関する検討, 本四技報, Vol. 31, No. 108, 2007年3月
3) 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
4) 森山, 山田, 横井 : 吊橋ケーブルバンドのすべり安全性評価, 土木学会第63回年次学術講演会, 2008年9月
5) 山田, 森山 : 大島大橋ケーブルバンドの維持管理, 本四技報, Vol. 33, No. 112, 2009年3月