

吊構造形式橋梁のケーブル安全率の再評価に関する検討

(国研)土木研究所 正会員 ○坂本 佳也, 玉越 隆史, 大島 義信
 本州四国連絡高速道路(株) 正会員 金田 崇男

1. はじめに

これまでの道路橋示方書(以下, 道示)では, 表-1 に示すように, 吊構造形式橋梁に用いるケーブル部材の安全率は, 橋の種類や構造形式ごとに経験的に規定されていた. 一方で, 橋の部材に確保すべき安全余裕は, 材料品質のばらつきなどの抵抗特性の信頼性に加えて, 供用期間中に発生することが想定される応力の大きさや変動の特徴を考慮して合理的なものであることが望ましい. 本研究は, これまでに建設されてきた吊構造形式橋梁のケーブル部材について, 実設計で考慮されている荷重ごとの設計断面力による分析に加え, 供用中に生じる可能性のある発生断面力と安全余裕の関係を明らかにするための数値シミュレーションを行い, その結果を分析したものである.

表-1 H24 道示でのケーブル安全率

鋼橋			
ケーブル		ハンガー	
吊橋	斜張橋	直線部	曲線部
3.0	2.5	3.5	4.0

コンクリート橋			
内ケーブル	外ケーブル	エクストラ ドーズド橋	斜張橋
1.67※ ¹		1.67※ ²	2.5※ ²

※1: PC 鋼材に対する許容応力度 $0.6 \sigma_{pu}$ を換算
 ※2: 活荷重による変動応力から安全率を 1.67~2.5 の範囲で定める方法もある.

表-2 橋梁形式別の分析対象数

橋梁形式	橋梁数	ケーブル数
エクストラドーズド橋	15	454
コンクリート斜張橋	16	485
複合斜張橋	4	179
鋼斜張橋	18	579
吊橋(主ケーブル)	14	14
吊橋(ハンガー)	11	1,016
ニールセンローゼ橋	14	328
計	92	3,055

2. 吊構造形式橋梁の実設計による分析

表-2 に示す, 代表的な吊構造形式橋梁を中心に 7 形式 92 橋を対象として選定し, 道路管理者より提供された設計報告書から部材諸元や設計条件等の必要な情報を抽出した.

道路橋の場合, 吊構造形式となるのは比較的規模が大きい場合であり, ケーブルに発生する応力の内訳から多くの場合, 供用中は固定的に作用する死荷重(プレストレス含む)と不規則に変動する活荷重が支配的である. また, 部分係数設計法に代表される信頼性を反映した技術基準の考え方に則れば, ばらつきが大きく不確実な要因に対してより大きな安全余裕を見込むことが合理的とされる.

そこで, 抽出した死荷重(プレストレス含む)及び活荷重ごとの設計断面力を用いて, 安全率との関係を整理した. 図-1 に活荷重によるケーブル断面力とケーブル引張強度の比と

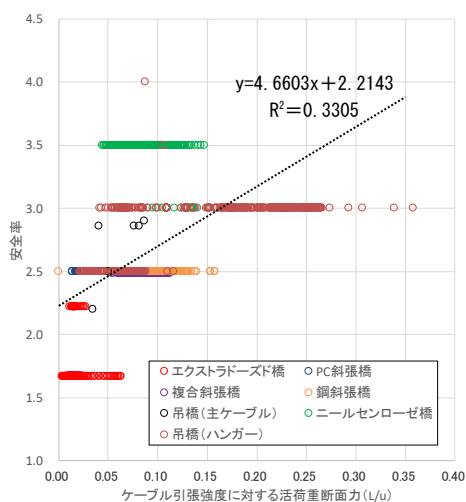


図-1 活荷重による断面力/ケーブル引張強度と安全率

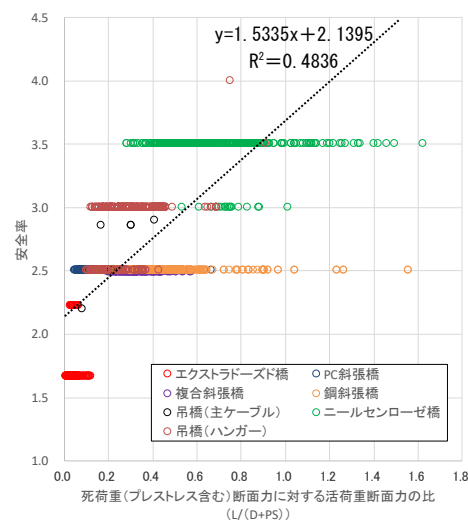


図-2 死活荷重断面力比と安全率

安全率の関係, 図-2 に活荷重及び死荷重(プレストレスを含む)によるケーブル部材断面力の比(以下, 死活荷重断面力比)と安全率の関係を示す. 図-1, 2 に示すように, 活荷重に着目したパラメータが大きいほど, 安全率が大きくなる傾向が見られ, 特に, 死活荷重断面力比と安全率の間で顕著である.

キーワード ケーブル, 安全率, 道路橋示方書, 数値シミュレーション

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (国研)土木研究所 構造物メンテナンス研究センター TEL 029-879-6773

3. 吊構造形式橋梁の数値シミュレーションによる分析

数値シミュレーションは、H24 までの道示で考慮されている荷重について、それぞれ表-3 に示すように発生頻度や発生時刻、大きさ、変動の特性などを仮定し、モンテカルロ法により、表-4 に示す代表的な吊構造形式橋梁のモデルに载荷を行う方法で行った。

図-3 に死活荷重断面力比とケーブル安全余裕の関係を示す。なお、ケーブル安全余裕は、数値シミュレーションから求めた断面力の100 年最大値分布の平均値及び非超過確率95%値をケーブル引張強度で除して算出した。図-3 に示すように、ケーブル安全余裕は、死活荷重断面力比に応じて変化している傾向がある。これは図-2 の実設計での結果と同じ傾向であるが、橋の種類及びケーブルごとに大きなばらつきがみられる。すなわちこれまでの基準で建設された橋では、経験的に変動要因の影響が支配的なケーブルでより大きな安全余裕を確保してきた傾向があるものの、変動要因の影響の程度は設計条件によって大きく左右されるため、橋梁形式による安全率の差別化で安全率の最適化を図るには、限界があるものと推測される。

4. まとめ

吊構造形式橋梁のケーブル部材に生じる可能性のある発生断面力と安全余裕の関係を明らかにするため、実設計及び数値シミュレーションによる分析を行った。その結果、ケーブル部材の安全率は、死活荷重断面力比に応じて変化する傾向が見られ、これまで橋の種類や構造形式で一定の安全率を与えていたこれまでの道示での規定と異なる傾向が見られた。また、供用期間中の荷重及び荷重の組合せによるばらつきを考慮して、ケーブル部材の安全余裕を算出した結果、橋の種類だけでなく、同じ橋でもケーブル部材によって安全余裕に大きなばらつきが生じていることが明らかとなった。よって、吊構造形式橋梁のケーブル部材で確保すべき安全余裕は、橋の種類や構造形式で一定の安全率を与えるのではなく、ケーブル部材に生じうる発生断面力の比に応じて確保することで、より合理的な設計につながる可能性がある。

表-3 各荷重の発生頻度、時刻、規模

荷重の種類		発生頻度 (1 年間)	発生時刻	規模 (荷重の大きさ)
永続作用	死荷重(D)	全区間	死荷重の確率分布モデルを用いて $t=0$ にて 100 年間の初期値を確率的に与える。その後の 100 年間は一定とする。	
	活荷重(L) 【渋滞時】 【通常時】	【渋滞時】 730 区間 【通常時】 渋滞時以外	渋滞発生時刻をポアソン過程により与える	平均大型車混入率を 30%とした車両列スナップショットを確率的に構成し、与える
変動作用	温度変化の影響 (TH)	全区間	日最大・最小値を 6 区間ごとに交互に与え、その他の区間は正弦波で補完する。	日最大・最小値分布 (日最高・最低気温の月平均値に関する年ごとの最大・最小値の分布) の確率分布モデルによって与える
	風荷重(W) 【季節風】	12 区間	ポアソン過程による	月最大値分布 (10 分間平均風速の月最大値の分布) の確率分布モデルによって与える
	風荷重(W) 【台風】	台風発生期の中で 3 区間	ポアソン過程による	月最大値分布 (台風の 10 分間平均風速最大値の分布) の確率分布モデルによって与える
	地震の影響(EQ)	12 区間	ポアソン過程による	月最大値分布 (加速度の月最大値の分布) の確率分布モデルによって与える

表-4 シミュレーション対象橋梁

No.	橋梁形式	支間(m)	着目部材	モデル
1	吊橋	60.0+140.0+600.0+170.0	ハンガーロープ	立体骨組
2	鋼斜張橋	105.0+165.0	斜ケーブル	立体骨組
3	複合斜張橋	55.0+75.0+475.0+75.0+55.0	斜ケーブル	立体骨組
4	エクストラードズド橋	91.0+182.0+98.0	斜ケーブル	平面骨組
5		88.3+122.3+81.2	斜ケーブル	平面骨組
6	ニールセンローゼ橋	123.0	吊材	平面骨組

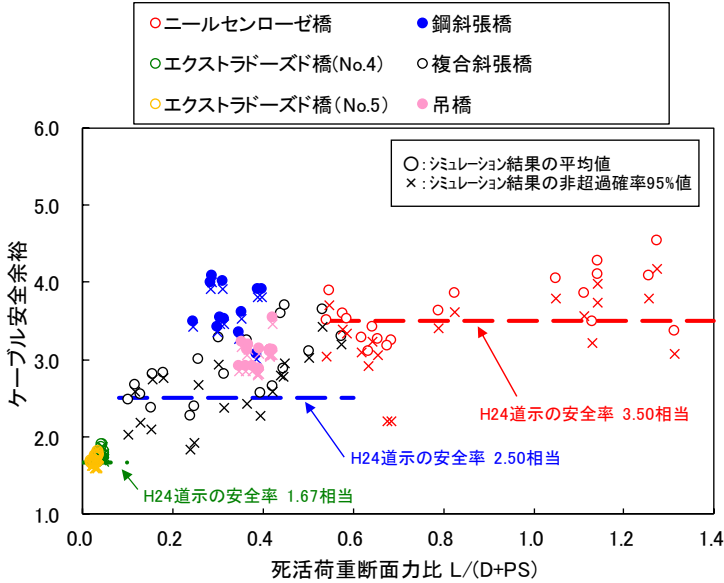


図-3 死活荷重断面力比とケーブル引張強度に対する安全余裕