

支間長 800m エクストラドーズド吊橋を構成するケーブルシステムの設計に関する研究

三井住友建設(株)	正会員	○ヘン	サルピソット
三井住友建設(株)	正会員	内堀	裕之
三井住友建設(株)	正会員	永元	直樹
三井住友建設(株)	正会員	春日	昭夫

1. はじめに

著者らは長大 PC 橋梁の可能性を
 探るため、支間長 800m エクストラ
 ドーズド吊橋（図-1）の構造を検討
 してきた¹⁾。提案したエクストラド
 ーズド吊橋の構造は成立可能なも
 のの、側径間の斜材応力が大きく変動

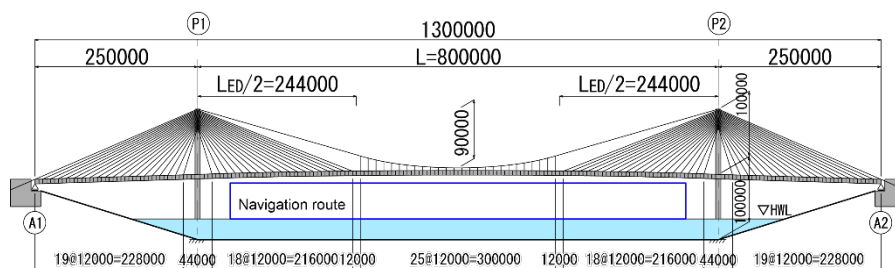


図-1 エクストラードーズド吊橋（単位：mm）

し、斜材を含めたケーブルシステムの合理的な設計方法が課題として残された。また、提案した長大支間エクストラドーゾド吊橋はコンクリート製補剛桁を有する新しいハイブリッドケーブル構造であるため、斜材、メインケーブルおよびハンガーのそれぞれケーブルの設計安全率の規準として旧道路橋示方書²⁾の値を適用したことは合理的な設計とはいえない。そこで、本研究では現状のケーブル設計安全率を整理し、応力変動を着目した各ケーブル安全率の再設定を検討するとともにその影響および効果の評価を行った。

2. ケーブル設計安全率の現状

ケーブル部材の設計安全率は一般的に、鋼橋において支間 200m 以下では道路橋示方書²⁾、それ以上の支間長では、本州四国連絡橋公団の上部構造設計基準⁴⁾の値を適用する。支間が長くなるにつれて死荷重に対する活荷重の割合が小さく、相対的に変動応力が小さくなり、安全率を小さく設定できると考えられる。明石海峡大橋の場合、これに加え防食方法が確立されたため、安全率をより小さく設定できるとされている⁶⁾。一方、PC 橋においては、斜材の設計は交通量の予測が困難な場合、図-2 に示す限界値線のように活荷重による変動応力を指標とした設計手法がある⁵⁾。そして、部分係数設計法を導入した新しい道路橋示方書³⁾もこれを基本としている。表-1 に各規準における現状のケーブル設計安全率のまとめを示す。これまで、ケーブル安全率の決定に関連する要因について、死荷重応力と活荷重応力との比、活荷重応力の発生頻度、2 次応力の影響、応力の不均一性、他の構造部分の安全率とのバランスなどの項目を挙げられている⁶⁾が、ケーブルの組合せ等の特殊なケーブル構造に対する現行安全率の評価や決定方法は明らかではない。経済的・合理的に設計するために、活荷重の低減や 2 次応力などの詳細な検討も行う必要があるが、本研究では、安全率の決定に重要な要因の一つである応力変動に着目して、PC 工学会の設計施工規準⁵⁾に準じたケーブルの安全率の検討を行った。

3. 中間支点

設置による斜材応力変動の低減について
斜張橋でも一般的に適用されているよ

表-1 各規準におけるケーブルの設計安全率

各ケーブル	旧道示 ²⁾	本四公団 ⁴⁾	明石海峡大橋 ⁴⁾	PC 工学会 ⁵⁾	新道示 ³⁾
斜材	2.5	2.5	—	1.67～2.5※	1.67～2.5※
メインケーブル	3.0	2.5	2.2	—	
ハンガー	3.5	3.0	3.0	—	

※ 応力変動による

うに、対象橋梁は側径間の1/4に中間支点を設置し、さらに主塔部にも支承を設けた。それぞれの支持条件による各ケーブルの応力変動の結果は図-1に示す。支持条件の改善により、斜材の応力変動を大幅に抑えることができた。なお、メインケーブルおよびハンガーの応力変動は支持条件による影響が小さく、大差はなかった。

キーワード エクストラロード吊橋、支間長 800m、ケーブルの設計、安全率、応力変動

連絡先 〒104-0051 東京都中央区佃二丁目1番6号 三井住友建設（株）技術本部 TEL03-4582-3121

4. 各ケーブル設計安全率の検討

4. 1 各ケーブル設計安全率の再設定

支持条件がある各ケーブルの応力変動は、図-1 に示すように、斜材、メインケーブルおよびハンガーの応力変動は、それぞれ 35.3～93.1, 28.4～37.3 および 30.4 となっている。このように、メインケーブルおよびハンガーの応力変動は比較的小さいことがわかる。これは、本構造はハイブリッド構造であるため、メインケーブルが中央支間の一部のみを支持しているのみであることと補剛桁の剛性が高いことによるものと考えられる。これらの応力変動から、限界値線に準じるように安全率を再設定した結果を図-2 に示す。安全率を設定するときに応力変動との最適化を行うが、各ケーブル同士の影響はほとんどなかった。これも、上述の理由によるものと考えられ、各ケーブルはほぼ独立して機能しているといえる。ただし、図-1 に示す不連続点は構造の剛性が急に变化することで、ハンガーの応力変動が大きく発生するため、安全率を 2.5 にしている。構造の不連続性について、ハンガーをエクストラードゾーンに増やすなど、別途の検討を行う必要があると考えている。

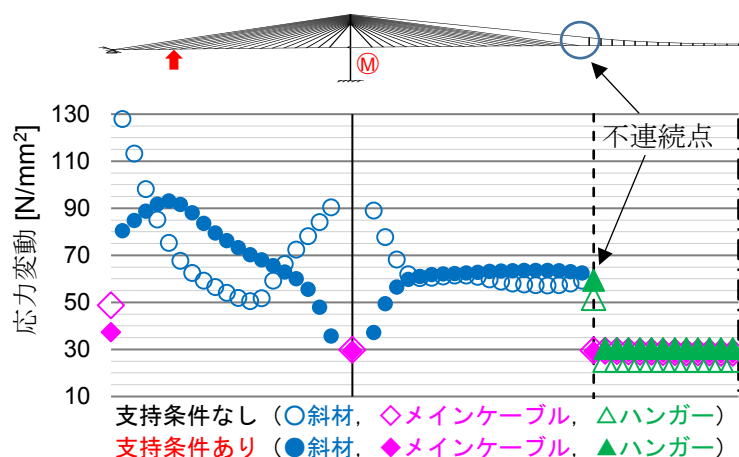


図-1 支持条件の有無による各ケーブルの応力変動

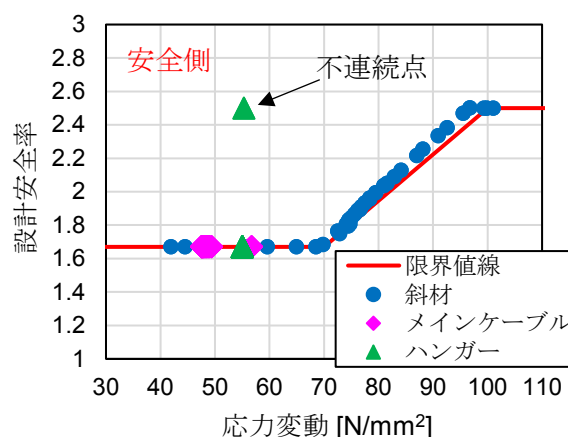


図-2 ケーブル安全率の設定方法

4. 2 安全率の再設定による各ケーブルの検討結果

各ケーブルの安全率を再設定した結果を表-2 にまとめる。数量比較のため、安全率設定前（安全率は旧道示の一定値²⁾）の支持条件なし、ありも同表に記載している。安全率を変化させ再設定した結果では、ケーブル重量の半分以上を占めるメインケーブルの重量が大きく減少し、重量の合計でも 60%程度まで減少させることが可能となった。なお、表-2 に示す支持条件ありのメインケーブル数量が支持条件なしの数量よりも若干大きくなったのは支持条件なしの検討がコンクリート製補剛桁の乾燥収縮の影響を考慮しなかったためである。

5. まとめ

本研究はケーブルの合理的な設計を実現するために、応力変動に着目した安全率の設定検討を行った。その結果、各ケーブルの安全率は独立的に設定できることが分

表-2 各ケーブル数量の比較（単位：トン）

各ケーブル	支持条件なし	支持条件あり	安全率の再設定 (支持条件あり)
斜材 SWPR7B(φ 15.2)	(91S15.2～432S15.2) 3,729	(48S15.2～147S15.2) 2,873	(37S15.2～127S15.2) 2,536
メインケーブル PWS-127(φ 5)	(192 本) 10,411	(206 本) 11,170	(104 本) 5,639
ハンガー NEW-PWS(φ 7)	(283 本) 61	(253 本) 55	(121 本, 187 本) 29
合計	14,201	14,098	8,204

かった。また、メインケーブルおよびハンガーの応力変動は一般的な吊橋よりも小さい。応力変動を指標とした設計手法を適用すれば、ケーブルの種別によらない総合的かつ合理的な設計が可能と考えられる。

参考文献 1) ヘンほか：支間長 800m エクストラードゾーン吊橋の設計に関する研究，PC 工学会 第 26 回シンポジウム，2017.10.

2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2012.3. 3) 同左，2017.11. 4) 本州四国連絡橋公団：上部構造設計基準・同解説，1989.4.

5) PC 工学会：PC 斜張橋・エクストラードゾーン橋 設計施工規準，2009.4. 6) 土木学会：ケーブルを使った合理化橋梁技術へのノウハウ，2007.3.