２次曲げを考慮した斜張橋ケーブルの活荷重応力に関する研究

神戸製鋼所　正会員　○内藤 純也
大阪大学大学院　フェロー　西村 宣男

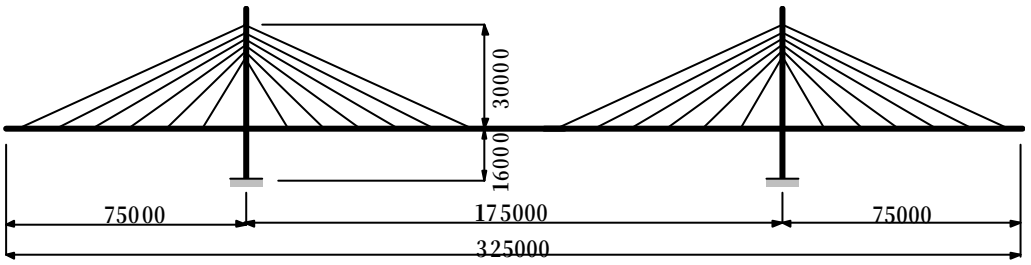
１．まえがき

吊形式橋梁において，ケーブルは主要な構造部材であることに加えて，他の部材と比較して相対的に単価が高いため，設計におけるケーブル部材の安全率や許容応力度の設定が橋全体の経済性に及ぼす影響は大きい．明石海峡大橋では，主ケーブルに占める活荷重の割合が小さいことから，様々な検討をもとにケーブルの安全率が 2.5 から 2.2 に低減された[1)]．一方，斜張橋設計においては，橋梁規模，構造形式等が様々であるにもかかわらず，ケーブルの安全率は一定の値（2.5）が用いられている．斜張橋のケーブル安全率低減を考える場合, 吊橋と比較して活荷重応力変動が大きいという問題がある反面, ケーブルの取替えが容易であり，工場で防食処理できるという利点がある．また，野口，北田ら[2)]は耐荷力の観点から斜張橋ケーブルの安全率低減を示唆している．このように公共構造物の建設費縮減という観点から斜張橋ケーブルの安全率低減の可能性を検討することは重要であると考える．

本報告では，斜張橋ケーブルの適切な安全率設定方法を検討することを目的として，斜張橋の形状パラメータと斜張橋ケーブルの活荷重応力との関係について調査した．

２．斜張橋モデル

斜張橋モデルは，中央径間長 L_C=175m 側径間長 L_S=75m の３径間対称自定式斜張橋とし，タワー高さ h_T を 23m，30m，37m に変化させた３ケースについて試設計を行った．斜張橋の形状を表すパラメータの一つであるタワー高さ・中央径間長比 h_T/L_C は，0.13，0.17，0.21 であり，実橋分布[3)]（３径間対称自定式斜張橋で 0.17～0.3）と比較して小さい範囲に設定している．図－１に h_T/L_C=0.17 の場合の側面図を示す．



塔　　：独立 A 形塔柱
桁　　：逆台形単室箱桁（桁高 2000mm），鋼床版
ケーブル：マルチファンタイプ２面ケーブル
（素線数 55 本φ57.5mm～素線数 139 本φ92.2mm）

図－１　側面図（３径間対称自定式斜張橋 h_T/L_C=0.17）

３．２次応力の解析方法

斜張橋ケーブルには，素線が拘束される定着部近傍で張力に加えて曲げによる２次応力が発生することが知られている．本報告では，より詳細にケーブルの応力状態を把握するため，２次応力を考慮したケーブル要素を立体有限変位解析プログラムに導入し解析に用いた．２次応力を考慮したケーブル要素は，西村・新家ら[4)]が架設時の吊橋主ケーブルのバンド間に着目し，ケーブルが素線間で完全すべりの状態にあるとの仮定のもと，２次応力を素線の偏差軸応力と局率変化による局部曲げ応力の和として定式化したケーブル要素を斜張橋の定着点間のケーブルに適用した．

解析は，完成系（死荷重＋プレストレス）の断面力を再現した状態で幾何学的非線形性を考慮して活荷重を載荷した．活荷重は極限に近い状態を想定して，道路橋示方書の L 荷重（等分布荷重 p_1）を橋軸方向に満載とした．また，橋軸直角方向には，片側のケーブルに不利な応力が発生するような分布を仮定し，解析モデルは，２次元，橋軸直角方向に 1/2 とした．

キーワード：　タワー高さ・中央径間比，２次応力
〒651-2271　神戸市西区高塚台 1-5-5，phone 078-992-5641，fax 078-993-2056

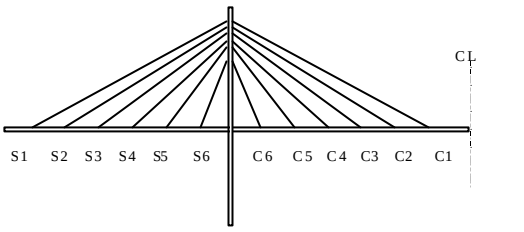
４．ケーブル応力

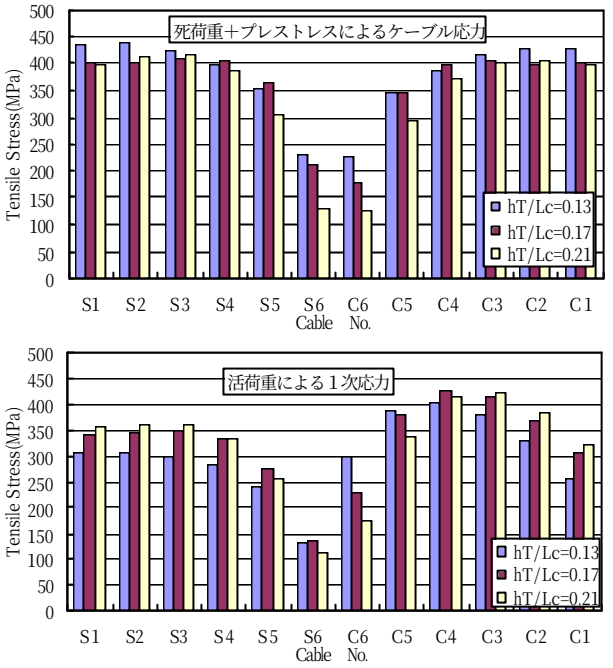
図－２，図－３に解析で求めたケーブルごとの応力状態を示す．横軸はケーブル番号，縦軸は応力（MPa）を示す．死荷重＋プレストレスおよび活荷重による軸応力（１次応力）をタワー高さ・中央径間長比 h_T/L_C で比較すると，ケーブル長の短い S6，C5，C6 を除いて h_T/L_C が小さくなると，死荷重＋プレストレスによる応力が大きくなり，活荷重による１次応力が小さくなる傾向にある．他ケーブルと比較して安全率に余裕の少ない S1 ケーブルでは，h_T/L_C=0.13 の場合の活荷重による１次応力は，h_T/L_C=0.21 の場合と比較して約 15%小さくなる．

図－３にケーブル定着点における２次応力を示す．桁側では，C1 ケーブルで h_T/L_C による差が顕著に生じ，h_T/L_C が小さくなると２次応力は大きくなり，１次応力とは逆の傾向を示した．また，タワー側では，すべてのケーブルで h_T/L_C が小さくなると２次応力が大きくなる傾向を示した．これは，h_T/L_C=0.13 と h_T/L_C=0.21 の活荷重に対する変形を比較すると，h_T/L_C=0.13 の場合，h_T/L_C=0.21 と比較してタワーの変形が小さく，桁の変形が大きいため，タワー側の定着部でのケーブルの角変形が大きくなったためである．また，本解析においては，定着部で素線が完全拘束されていると仮定したが実際には，曲げ応力を緩和させるような構造を採用するため，解析結果は安全側の値である．斜張橋のケーブル定着部の２次曲げ応力は，ケーブルの疲労に対して問題となることが考えられるが，疲労照査のためには，応力変動（最小応力）の算出，応力の発生頻度，考慮する活荷重の大きさ等，検討すべき課題が多い．

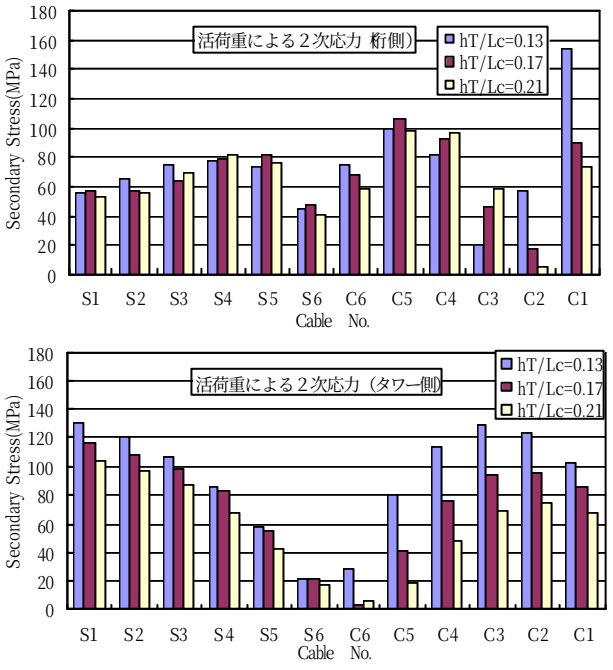
５．まとめ

斜張橋のタワー高さ（形状変化）に着目し，斜張橋の試設計とケーブル定着部の２次曲げを考慮した立体有限変位解析を行い，タワー高さとケーブルの１次応力，２次応力の関係を明らかにした．また，ケーブルごとにその傾向が異なること，斜張橋ケーブル定着部での２次曲げ応力による疲労検討が解析的に可能であることを示した．今後は，中央径間長 L_C など変化させたパラメータ解析や疲労に対する詳細検討を行い，新しい斜張橋ケーブルの安全率に反映していく必要があると考える．





図－２　ケーブルの１次応力状態



図－３　ケーブル定着部の２次応力

＜参考文献＞

１）（財）海洋架橋調査会（限界状態設計法による長大吊橋の設計基準検の討委員会）：明石海峡大橋主ケーブルに関する検討，限界状態設計法による長大吊橋の設計基準の検討報告書，1987.3.
２）野口二郎，北田俊行，引口学：斜張橋の部材安全率と橋梁全体の終局強度の関係，構造工学論文集，Vol.47A，pp.137～146，2001.3.　３）（社）建設コンサルタンツ協会近畿支部（鋼・複合斜張橋研究委員会）：鋼・複合斜張橋の合理化に向けて，鋼・複合斜張橋研究員会報告書，2001．４）西村昭，新家徹，中村憲市，土居憲司：吊橋架設途中における平行線ケーブルの変形と二次応力解析，土木学会論文報告集，No.260，pp.1～15，1977.4．