

長大吊橋のケーブル安全率設定が静的・動的不安定挙動に与える影響

(株)宮地鐵工所 正員 坂根 秀和
長岡技術科学大学 正員 長井 正嗣
埼玉大学 正員 山口 宏樹
東京都立大学 正員 野上 邦栄
(株)開発コンサルタント 正員 謝 旭

1. まえがき

公共事業費削減が強く求められている現在，長大吊橋建設にあたりコスト縮減は重要な課題である．このような状況の中，吊橋の設計において相対的に単価が高いとされるケーブルおよびハンガーの設計時安全率低減の可能性を検討することは，吊橋自重の軽減と経済性の追求といった観点から重要であると考えられる．

本来，安全率低減の議論を行う場合，材料自身の強度特性が主要因となる「材料安全性」と，ケーブルやハンガーといった部分構造強度が主要因となる「部材安全性」の両面を，限界状態設計法の観点からいかに考慮すべきかの検討が必要かと考えられる．しかし，安全率低減の議論はさまざまな問題を含んでおり極めて複雑である．

そこで本研究では，メインケーブルおよびハンガーの安全率をパラメータとしたスパン 3000m 吊橋モデルを対象に，面内鉛直荷重作用下の終局強度ならびにその挙動を明らかにし，更に風荷重下の静的耐風安定性，ならびにフラッター発振風速に着目した動的耐風安定性について検討を行い，メインケーブルおよびハンガーの安全率が静的・動的不安定挙動に与える影響を明らかにする．そしてこれらの結果から，安全率低減の可能性を同定する上での基礎資料とすることが本研究の目的である．

2. 解析モデルと解析条件

本論文で用いたスパン 3000m の吊橋モデルを図-1 に示す．図中(a)は側面形状で，3 径間 2 ヒンジ流線形箱桁吊橋である．図中(b)は桁断面で，図に示すような流線形の箱断面とする．桁幅は 35.5m，桁高は 7.0m とした．図中(c)は塔の形状および塔断面である．塔の断面は多室の変断面を扱う．材質として，桁には SS400 材，塔には SM570 材を用いる．また，吊材にはケーブルに 180 キロ級鋼線，ハンガーに 160 キロ級鋼線を用いている．解析上，桁および塔は完全弾塑性体，吊材はバイリニアモデルとして扱う．弾塑性有限変位解析における荷重載荷方法は，桁死荷重に比例した形で荷重を増加させる方法とした．静的横安定解析においては，空気力 3 分力係数を考慮した変位依存型風荷重を考慮する．フラッター解析においては従来形式とクロスハンガー形式の 2 つの吊形式についても合わせて検討し，合わせてゼルベルグの簡易式による検討も行っている．本論文で対象にした安全率に関するパラメータを表-1 に示す．

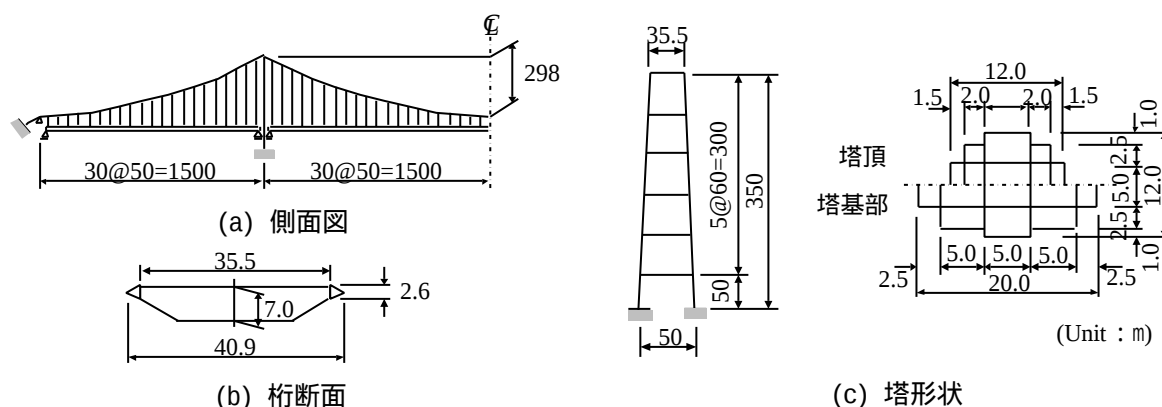


図-1 吊橋モデル

長大吊橋，安全率，終局強度，耐風安定性

〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 TEL:0258-47-9602 FAX:0258-47-9600

3. 解析結果

まず弾塑性有限変位解析結果として、図-2 に満載の荷重ケースにおける終局時の荷重倍率を示す。この際のハンガー安全率は 3.0 である。縦軸には桁死荷重分を考慮した荷重倍率をとり、図中 T は塔の倒壊、H はハンガーの破断によって終局状態となった場合を表している。ケーブル安全率が 2.0 以上の場合、それぞれの要素における初期降伏時の荷重倍率ならびに終局強度はほぼ等しい。これらのケースではハンガーの破断によって終局状態となっている。一方ケーブル安全率が 1.8 以下の場合には終局強度の低下が見られる。これらのケースではメインケーブルに降伏が生じており、これによって塔頂の変位が急増し、塔の崩壊で終局状態となったためと考えられる。

この結果から、メインケーブルに降伏が生じる場合、塔の剛性が吊橋の終局強度に与える影響が大きいと考えられる。また、ハンガーの破断によって終局状態となる場合は、メインケーブルの安全率が終局強度に与える影響は小さく、ハンガーの安全率によって終局時の荷重倍率がコントロールできると考えられる。したがって面内耐力の面からは、ハンガーの安全率をコントロールすることにより、メインケーブルの安全率が低減できると考えられる。

次に耐風解析結果として、図-3 にフラッター発振時の風速を示す。この図からも分かるように、メインケーブルの安全率がフラッター発振風速に与える影響は小さいといえる。また、クロスハンガー形式は従来形式に比べて、約 10m/s ほどフラッター発振風速が上昇しており動的耐風安定性向上に有効であることが確かめられた。ゼルベルグによるフラッター発振風速はその結果にばらつきが生じた。

図-3 に桁の浮き上がりが生じる静的不安定時の風速をプロットすると、静的不安定時の風速はフラッター発振時の風速より低いことが分かる。したがって長大吊橋の耐風挙動は動的挙動より、静的挙動に支配されていると考えられる。耐風安定性の面からは、ケーブル安全率が静的・動的耐風安定性に与える影響が小さいということが分かったが、図-3 から分かるように、静的不安定時の風速が約 50m/s と低く、これを改善するための新しい吊橋システムを考えなければ、本研究で対象としたモデルで 3000m 吊橋を架設するのは難しいといえる。

4. まとめ

本解析結果より、面内鉛直荷重ならびに風荷重に対して安全率低減の可能性を示唆できたと考える。しかし、本研究では安全率が耐風安定性に与える影響が小さい理由を解明するに至らなかった。今後はこのメカニズムの解明を行う予定である。

参考文献

1) Xu Xie, Hiroki Yamaguchi, Masatsugu Nagai, Kuniei Nogami : Effect of Safety Factor of Main Cables on Ultimate Behavior and Strength of Long-Span Suspension Bridges, Structural Steel PSSC'98 Volume1, pp.559-564, Korean Society of Steel Construction, 1998.10

表-1 計算パラメータ

メインケーブル安全率	ハンガー安全率		
1.6	3.0	2.5	2.0
1.8			
2.0			
2.2			
2.5			

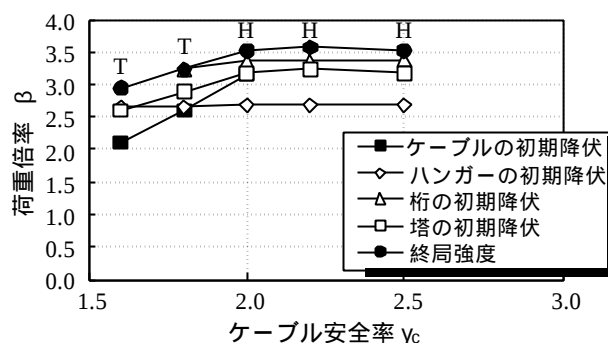


図-2 初期降伏ならびに終局時荷重倍率比較
(ハンガー安全率 3.0)

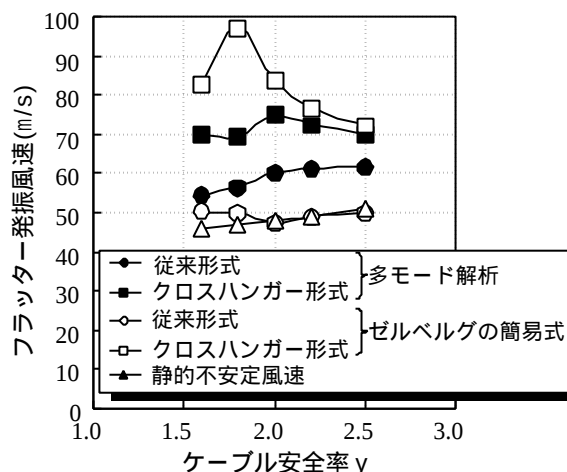


図-3 フラッター発振風速比較