

超長大吊橋の終局強度に着目した合理的な安全率のバランス化

大和証券 SMBC 仲西 竜伸
 東京都立大学 岩崎 秀隆
 東京都立大学 野上 邦栄
 長岡技術科学大学 長井 正嗣

1. 背景および目的

近年、明石海峡大橋をはじめ橋梁の長大化の発展は目覚しく、更なる長大化を目指して、 Messina 海峡や東京湾港に、新しい海峡横断プロジェクトの検討が進められている。しかし、社会が求める土木事業の在り方は開発からリノベーションへと移行していることも無視できない。これからは、今まで以上に橋梁の真価が問われる時代である。今後計画されている長大橋を実現するためにも、より合理的で経済性が高く、更に耐久性に富んだ設計・施工が急務である。そこで本研究では、既存の長大橋の実績を踏まえた上で、吊橋の終局強度に着目した安全率の低減・バランス化に関する解析的研究を行う。特に、(1)主塔、主ケーブルおよびハンガーの安全率ならびに載荷条件、初期たわみおよび残留応力の値をパラメトリックに変化させた時の非弾性挙動の把握、(2)各構成要素の初期降伏および終局強度に着目した時の、最もバランスのとれた合理的な安全率の組み合わせを提案することを主な研究目的とする。

2. 解析モデルおよび解析条件

解析対象とした吊橋は、図-1 に示すような中央径間 3000m の 3 径間連続補剛桁吊橋である。この試設計は、側径間と中央径間のスパン比を 1:2:1、サグ比を 1/10、さらにケーブル中心間隔を 35.5m、ハンガーケーブルの定着間隔を 50m として本州四国連絡橋設計基準¹⁾に基づいて行っている。桁断面は桁高 7m の流線型単室箱桁である。補剛桁の断面諸元は補剛材を考慮した等価板厚 (デッキプレート 20mm、その他 18mm) により計算している。主塔は、塔高が基部から $h=350\text{m}$ の 6 層ラーメン形式であり、多室箱型を有する変断面塔柱である。使用鋼材は桁が SM400、塔が SM570 とした。更に、ケーブルの引張強度は 1764MPa、ハンガーケーブルのそれは 1568MPa である。

本解析の荷重条件として、死荷重+活荷重の倍率を荷重倍率 α とし、活荷重載荷を全径間(満載)、片側径間+中央径間(偏載)、中央径間(偏載(中央径間))の 3 ケースとした。初期不整としては、初期たわみと残留応力を考慮している。初期たわみは、塔頂部橋軸方向に、 $\delta=h/2000, h/1000, 0(h\text{:塔高})$ の 3 ケースを直線形状で導入した。残留応力は溶接型断面の理想的線形分布とし、その圧縮残留応力を $\sigma_c/\sigma_y (= \kappa) = 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, 0.1, 0.0$ の 5 ケースについて検討した。

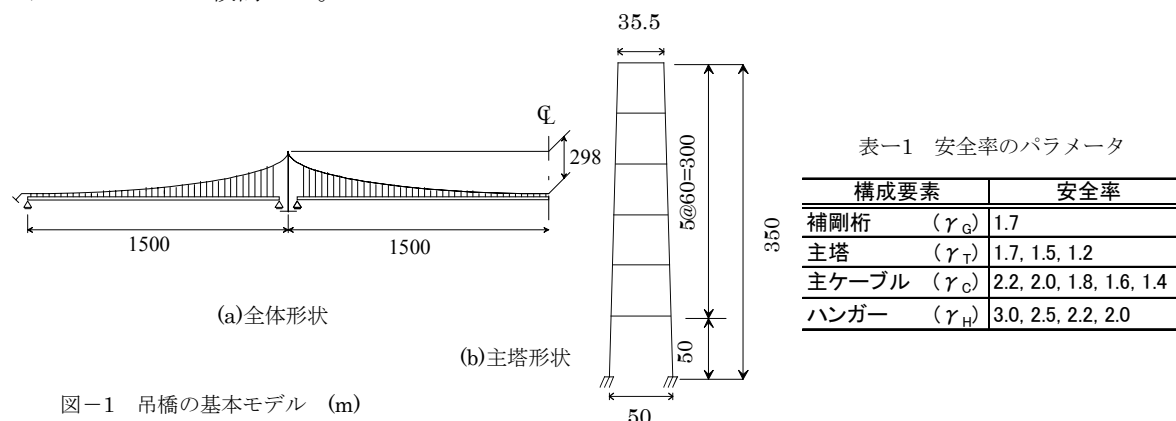


図-1 吊橋の基本モデル (m)

表-1 安全率のパラメータ

構成要素	安全率
補剛桁 (γ_G)	1.7
主塔 (γ_T)	1.7, 1.5, 1.2
主ケーブル (γ_C)	2.2, 2.0, 1.8, 1.6, 1.4
ハンガー (γ_H)	3.0, 2.5, 2.2, 2.0

3. 終局挙動

図-2 は、主ケーブルの安全率の変化に着目した終局強度への影響である。(a)は解析条件を $\kappa=0.4$ 、 $\delta=$

Keyword: 安全率, 超長大吊橋, 終局強度, 弾塑性有限変位解析

h/2000, 偏載と東京都塔の安全率を $\gamma=1.7$ とし、(b)は $\delta=h/1000$ の場合、FAX (0226) 7772 と、主ケーブルの

安全率が高まるにつれ終局強度も高まるものの、 $\gamma_c=1.6$ に達すると、終局強度に変化がみられなくなる。従って、 $\gamma_c=1.6$ が最も合理的な安全率であるといえる。(b)は(a)と同じ解析条件で、主塔の安全率を $\gamma_T=1.5$ に固定したものである。まず、ハンガーの安全率の変化に着目すると、 $\gamma_H=2.2, 2.5, 3.0$ のケースが同一曲線上に重なっていることがわかる。従って、 $\gamma_T=1.7$ を固定したとき、最も合理的なハンガーの安全率は $\gamma_H=2.2$ である。次に、主ケーブルの安全率の変化に着目すると、 $\gamma_H=2.2$ のケースでは、 $\gamma_c=1.8$ 以降、終局強度に変化がみられない。従って、 $\gamma_T=1.5$ と $\gamma_H=2.2$ を固定したとき、最も合理的な主ケーブルの安全率は $\gamma_c=1.8$ である。

図-3は、各構成要素の初期降伏と終局強度の関係を示したものである。(a)は解析条件を $\kappa=0.4$ 、 $\delta=h/2000$ 、偏載とし、安全率の組み合わせを $\gamma_T=1.7$ 、 $\gamma_H=2.5$ としたものである。現行の安全率の組み合わせ($\gamma_c=2.2$)の降伏進展状況をみると、まず、 $\beta=1.655$ で主塔が初期降伏を起こし、次いで、ハンガー、主桁の順に初期降伏を起こし、最終的に $\beta=2.805$ でハンガーの破断にて終局を迎えている。(b)は(a)の安全率の組み合わせを $\gamma_T=1.5$ 、 $\gamma_H=2.2$ に変化させたものである。上述した合理的な安全率の組み合わせ($\gamma_c=1.8$)に着目すると、まず、 $\beta=1.537$ で主塔が初期降伏を起こし、次いでハンガー、主ケーブル、主桁が初期降伏を起こし、最終的に $\beta=2.365$ で主塔の崩壊で終局を迎えている。

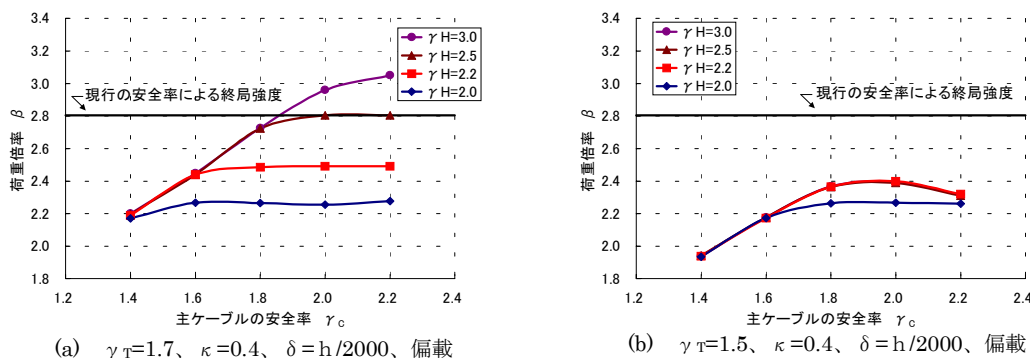


図-2 主ケーブルの安全率に着目した終局強度への影響

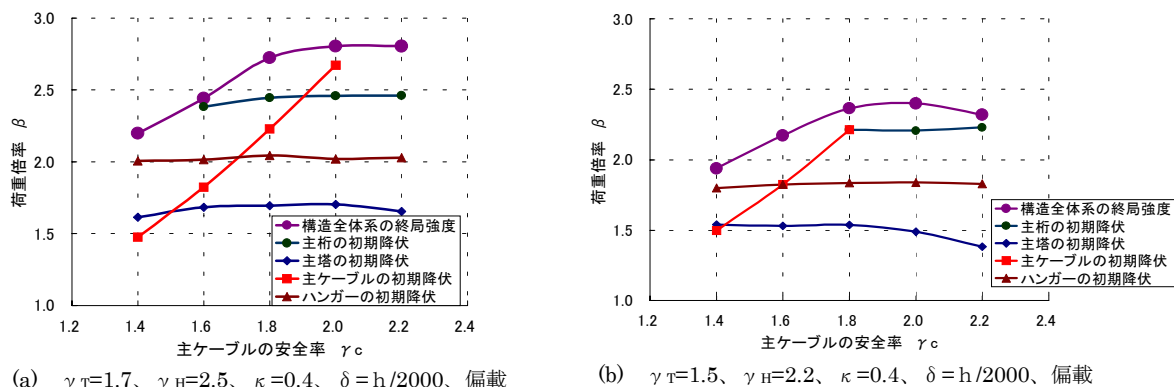


図-3 各構成要素の初期降伏と終局強度の関係

4. 合理的な安全率の組み合わせ

最もバランスのとれた合理的な安全率の組み合わせとして、「 $\gamma_T=1.5$ 、 $\gamma_c=1.8$ 、 $\gamma_H=2.2$ 」を提案する。この決定は以下の条件に基づき行った。1)終局時における荷重倍率は、現行の終局強度の値と比較しても1割程度の低下であり、十分大きな値であること、2)初期降伏時の荷重倍率は、現行設計法における荷重倍率と比較して1割程度の低下であること、3)各構成要素の降伏状況は、主桁、主塔、主ケーブルおよびハンガーの全ての構成要素が初期降伏を起こし、最終的に構造全体系の終局を迎えており、鋼材の有効利用が可能であること。尚、この安全率の組み合わせにより、現行の安全率の組み合わせと比較して、主塔の鋼重を15%、主ケーブルの鋼重を30%、ハンガーの鋼重を12%低減することが可能である。

- 参考文献 1) 本州四国連絡橋公団：上部構造設計基準・同解説,1989.
2) 藤野陽三・長井正嗣：吊形式橋梁の現状と将来,鋼構造論文集,Vol.1,1994.