

長大斜張橋主桁の面外耐荷力と塔位置支持条件

三井住友建設
東京都立大学
東京都立大学

正会員
正会員
フェロー

吉田但守
中村一史*
前田研一

1. まえがき

斜張橋は支間の長大化にともない、主桁の軸力が増大するばかりでなく、強風時に作用する主桁の面外曲げモーメントも大きくなる。特に、主塔付近および中央径間中央部の面外曲げモーメントが大きくなり、断面の増厚などが強いられ、経済性が損なわれる。また、主桁の面外曲げモーメントの低減方法¹⁾や面外耐荷力に関する検討はこれまでほとんどされていない。そこで本研究では、主桁を面外方向に弾性的に支持することにより面外曲げモーメントの低減を図るとともに、その終局挙動について検討することを目的として、中央径間長 1500m の長大斜張橋を対象に弾塑性有限変位解析を行った。

2. 解析モデルと解析条件

解析対象とした長大斜張橋の一般図、主桁断面図を図-1～2 に、断面諸元を表-1 に示す。主桁の支持条件として、従来のウインドシューにより主塔位置で面外変位を拘束する場合と、風荷重による面外曲げモーメントを低減するために、主塔位置で主桁を面外方向に弾性支持する場合について検討した。これらの解析モデルをそれぞれ、ウインドシューモデルおよび弾性支持モデルと呼ぶこととする。弾性支持モデルでは図-3 に示すように、主桁と主塔の間に、緩衝材として圧縮のみに抵抗するゴムを想定したバネを設置し、主桁の面外変位を弾性的に支持するものとする。このバネの許容変位量は塔柱と主桁との間隔で決定され、ここでは 2.7m とし、それ以上の変位はウインドシューの場合と同様に拘束するものとした。なお、最適なバネ定数は事前検討により 9800kN/m (1000tf/m) とした。

主桁の断面変化と鋼種配置は、ウインドシューモデルでの試設計結果より、図-4 に示す通りである。弾性支持モデルの鋼種配置は、弾性支持の効果を把握するために、ウインドシューモデルと同一とした。さらに、弾性支持モデルでは、設計風荷重載荷時に最大・最小面外曲げモーメントの絶対量を 3.4%, 12% それぞれ低減されることから、断面設計の精査により、HT690 の割合を減らした鋼種変更モデルを設定した。このモデルでは主桁の材料費のみで約 3%コスト削減となっている。

数値解析には弾塑性有限変位解析³⁾を適用した。また、主桁と斜ケーブルはファイバー要素でモデル化し、その材料特性は図-5 に示すような構成則とした。なお、主桁の終局挙動を主な着目点としていることから、主塔は弾性部材とした。風荷重は設計基本風速を 37.0m/s とし、本州四国連絡橋公団の耐風設計基準・同解説に準拠して算出した。荷重条件は D+PS+αW とし、設計風荷重を漸増させた。

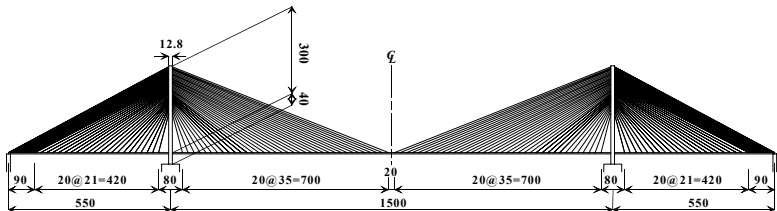


図-1 一般図

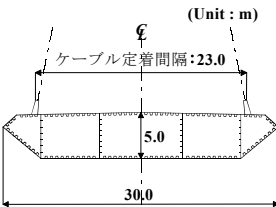


図-2 主桁断面

表-1 断面諸元					
断面	主桁(SM490Y～HT690)				主塔(SM570)
	①	②	③	④	上部 下部
A(m ²)	1.428	1.815	2.104	2.385	1.792 2.240
I _m (m ⁴)	6.090	7.832	9.095	10.30	45.44 56.80
I _{out} (m ⁴)	113.7	144.7	166.7	188.7	29.15 36.86
J(m ⁴)	12.22	16.72	19.15	22.99	40.45 67.41
ケーブル(ST1770)					
A(m ²)	0.007502～0.018755				

表-2 設計風荷重	
載荷位置	分布荷重強度(kN/m)
主桁	11.86
主塔	59.55
ケーブル	0.282～0.455

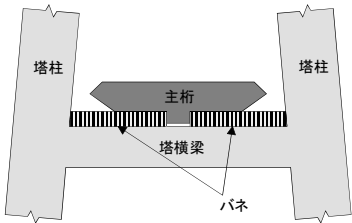


図-3 弾性支持の概念図

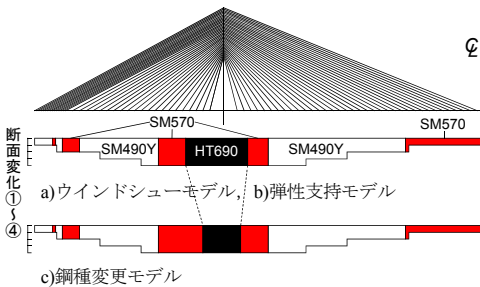


図-4 主桁鋼種配置

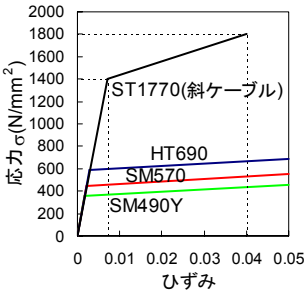


図-5 各鋼種のσ-ε関係

Key Words : 長大斜張橋, 面外弾性支持, 面外耐荷力, 弾塑性有限変位解析
連絡先* : 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL. 0426-77-1111 FAX. 0426-77-2772

3. 解析結果と考察

解析の結果の一部として、図-6 に中央径間中央部の荷重－変位曲線を、表-2 に各モデルにおける荷重パラメータの比較をそれぞれ示す。まず、図-6 より、全モデルで塑性化開始直後から非線形性が強くなることが解る。表-2 より、弾性支持の効果として、主桁の塑性化開始が若干遅くなり、耐荷力が向上すること、また、鋼種変更モデルでは、ウインドシューモデルに比べて耐荷力が僅かに低下することが解った。なお、各荷重パラメータを主桁高度における風速に換算し、併記しているが、終局時の換算風速は 70m/s 程度であった。

次に、各モデルにおける主桁断面の塑性化の進展状況を図-7 に示す。まず、全てのモデルで、主塔付近は負曲げと常時軸力の作用により、中央付近は正曲げにより、終局時にはかなりの領域にわたって主桁が塑性化することが解る。ウインドシューモデルおよび弾性支持モデルでは支間中央付近から塑性化が始まること、また、鋼種変更モデルでは支間中央付近と主塔付近で同時に塑性化が始まること解る。弾性支持の効果として、弾性支持モデル、鋼種変更モデルでは、主塔位置で塑性化の進展が抑制されているが、終局時にはウインドシューモデルと同程度まで塑性化が進展すること解る。これは、図を略したが、 $\alpha=1.40$ 以降は塔位置のバネが許容変位 2.7m に達し、変位が拘束されることに起因する。さらに、鋼種変更モデルでは鋼種のグレードを下げた主塔近傍の鋼種変更点での塑性化が終局時に支配的となり、 $\alpha=2.15$ で終局となるのに対し、ウインドシューモデル、弾性支持モデルでは終局時に支配的な部位は支間中央部であることも解る。

最後に、主塔位置および支間中央部の主桁に着目した、荷重と面外曲げモーメントの関係を全塑性モーメントで無次元化して図-8 に示す。図より、弾性支持により塔位置の曲げモーメントが低減されること、また、支間中央部ではその効果はないことが解る。

なお、図を略したが、弾性支持により主塔への影響は見られなかった。

4. あとがき

以上の結果から、主塔位置で主桁を面外方向に弾性支持することにより、強風時の面外曲げモーメントを低減することで、面外耐荷力もウインドシューで拘束する場合に比べて向上することが解った。

参考文献

1) 山下・中村・前田：長大斜張橋の塔位置支持条件と経済性，土木学会年次学術講演会講演概要集，第 56 回，CD-ROM I-A219，2001.10.
2) 野村・中崎・成田・前田・中村：長大吊形式橋梁の構造特性と経済性，構造工学論文集，Vol.44A，1995.3.
3) ヤマト設計：Y-FIBER3D 3次元ファイバーモデルによる鋼構造物の耐震解析システム，2001.11.

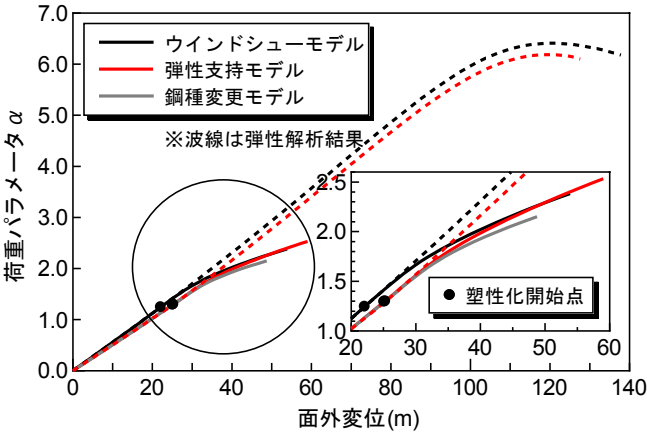


図-6 中央径間中央部の荷重－変位曲線

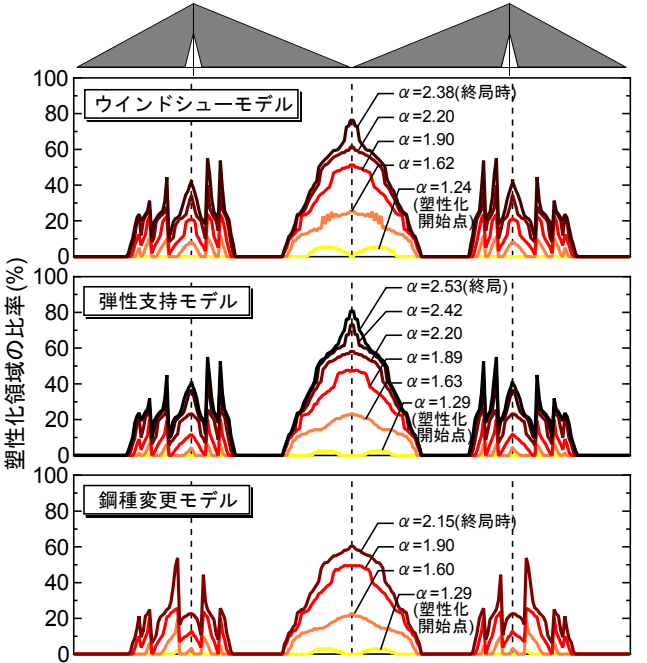


図-7 主桁断面の塑性化の進展状況

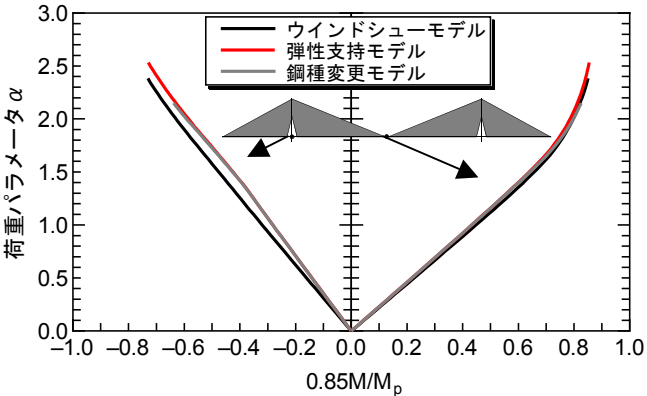


図-8 荷重－面外曲げモーメント関係

表-2 各モデルの荷重パラメータ

解析モデル	荷重パラメータ α		換算風速(m/s)	
	塑性化開始点	終局時	塑性化開始点	終局時
ウインドシューモデル	1.24	2.38	50.3	69.7
弾性支持モデル	1.29	2.53	51.3	71.8
鋼種変更モデル	1.29	2.15	51.3	66.2