

長大斜張橋主桁の座屈安定性に及ぼす材料特性と荷重条件の影響について

住友建設 正会員 藤岡泰輔
 東京都立大学 正会員 中村一史*
 東京都立大学 正会員 前田研一

1. まえがき 近年、限界状態設計法への移行を念頭に置いて、鋼構造物の終局強度に着目した弾性有限変位解析、及び、弾塑性有限変位解析に基づく種々の設計法が各方面から提案されている¹⁾。本研究では、これまでの成果²⁾を踏まえ、斜張橋における多くの設計変数の中で、適用する荷重条件と載荷方法、及び、主桁とケーブルの材料特性に着目し、長大斜張橋の終局強度に与える影響について明らかにすることを目的とした。

2. 解析モデルと解析条件 解析対象には、側径間に3%直線勾配、中央径間に1.5%放物線勾配を持ち、中央径間長1,000mを有する長大斜張橋の試設計モデル(図-1)を参考に、斜張橋特有の設計条件を満足する平面骨組構造の有限変位解析モデルを作成した。図-2に主桁断面を、表-1に断面諸元を示す。斜ケーブルは非抗圧性を考慮した単一の直線軸力部材(直線ケーブル)でモデル化した。

解析には、まず、弾性有限変位解析を適用して主桁及びケーブルの影響線解析を行い、活荷重の載荷位置(図-1)を選定した。終局強度の評価には主桁及びケーブルの塑性化を考慮した弾塑性有限変位解析法³⁾によるものとした。荷重条件を、完成系[死荷重(D)+プレストレス(PS)]に対し、活荷重(L)を基本荷重とした場合、さらに、(D+PS+L)を基本荷重とした場合を設定し、それぞれ漸増させるものとした。活荷重は本州四国連絡橋公団の上部構造設計基準を準用して算定した。数値計算は、基本荷重に荷重パラメータ α を乗じた逐次増分荷重を作用させて、荷重増分法で荷重のみを制御し、各増分段階でNewton-Raphson法によって収束計算を行った。

材料特性は、図-3、表-2に示すように、主桁を完全弾塑性体、ケーブルをバイ-リニア型あるいはテトラ-リニア型として、それぞれ構成則モデルを仮定した。ここでテトラ-リニア型とは、本州四国連絡橋公団規格のケーブル材料規格の実験データを参照し、実験値の3つの中間点を忠実にトレースして4本の近似直線により構成則をモデル化したものである。また、使用する鋼材は、主桁には試設計された断面の鋼種(図-4)、ケーブルにはJSSC規格のPWS ST1570を用いた。さらに、主桁断面の鋼種をSM570、SM490YおよびSM400それぞれ一様と仮定した場合についても比較検討を試みた。

3. 解析結果とその考察 解析結果の一部として、図-5に、終局強度の指標である塑性化ピーク点での荷重パラメータ α の値と、活荷重載荷ケースおよび主桁の鋼種との関係を、基本荷重別にそれぞれ示す。図中、黒塗り

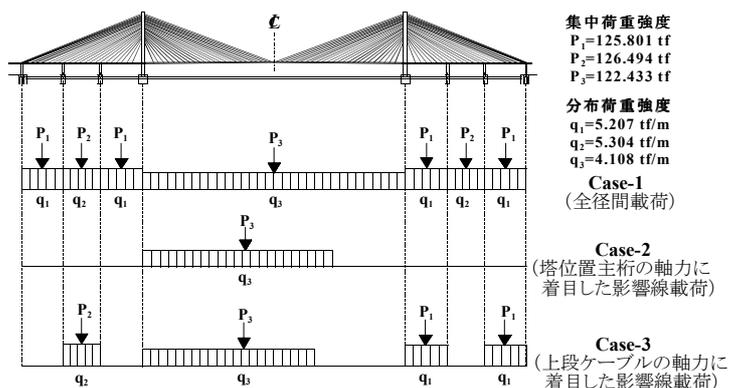


図-1 試設計モデルと活荷重載荷ケース

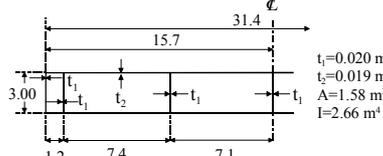


図-2 主桁断面

表-1 断面諸元

	主桁	主塔
A(m ²)	1.58	1.24~3.30
J(m ⁴)	6.4	12.0~20.0
I _y (m ⁴)	150	10.20~24.40
I _x (m ⁴)	2.66	11.99~45.22
ケーブル		
A(m ²)	0.006278~0.01343	

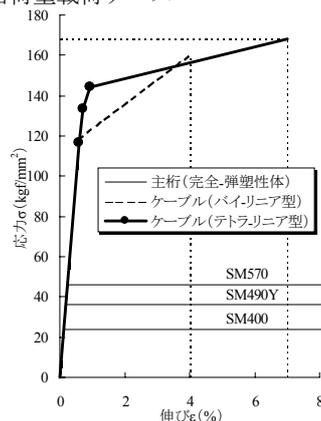


図-3 応力-伸び曲線

表-2 各部材の材料特性

	鋼種	降伏応力 σ_y	σ (kgf/mm ²)		E(kgf/mm ²)		
			ϵ (%)	σ (kgf/mm ²)	E(kgf/mm ²)	E(kgf/mm ²)	E(kgf/mm ²)
主桁	SM400	0.114	24	21000			
	SM490Y	0.171	36	21000			
	SM570	0.219	46	21000			
ケーブル	PWS(ST1570)	耐力量 σ_s	0.590	118	21000		
	バイ-リニア型	引張強さ σ_b	4	160	1230		
	PWS(ST1570)	耐力量 σ_s	0.583	116.6	2000		
	テトラ-リニア型	引張強さ σ_b	7	168	14400	5210	386

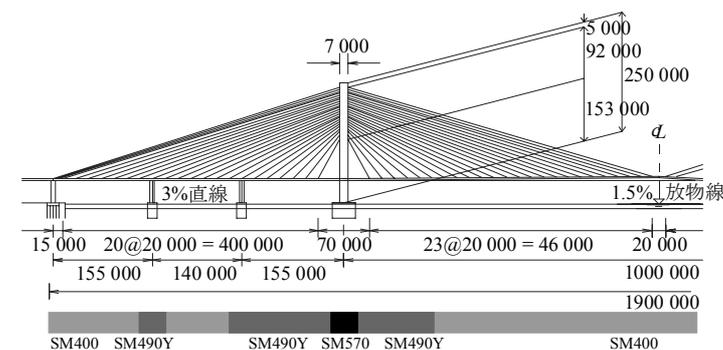


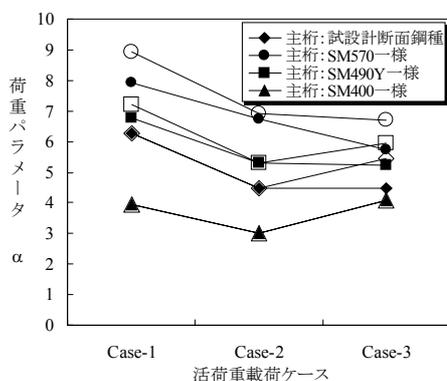
図-4 試設計された主桁断面の鋼種の変化

Key Words : 長大斜張橋, 弾塑性有限変位解析, 終局強度, 荷重条件, 材料特性
 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

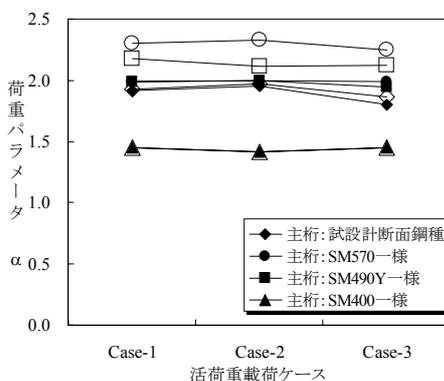
の点はケーブルの構成則をバイ-リニア型、白抜きの点はそれをテトラ-リニア型としてモデル化したものである。図-6には、主桁を試設計断面の鋼種あるいはSM570一様と仮定した解析モデルについて、Case-1の全径間載荷における終局変形図を基本荷重別に示す。なお、太線で示した部材は塑性化したことを表している。また、図-7に、ケーブルの構成則モデルによる相違が顕著に現れた一例として、基本荷重を(D+PS+L)、活荷重載荷ケースをCase-2、主桁の鋼種をSM570一様とした場合の荷重-変位曲線を示す。

まず、基本荷重を(L)とした場合、図-5(a)より、主桁の鋼種を変化させると、活荷重の載荷ケースによって、終局強度に差異を生じ、その傾向は、主桁の鋼種を高強度にするほど顕著であることがわかる。これは、図-6にも示したように主桁の鋼種を高強度にするほど斜ケーブルの塑性化の進展が進み、多数の斜ケーブルの塑性化が終局強度を支配しているためである。また、ケーブルの構成則モデルによる相違も主桁の鋼種が高強度であるほど顕著に現れるが、逆に、主桁断面の鋼種を試設計に基づいて変化させた場合、斜ケーブルは全く塑性化せず、中間橋脚の位置で主桁の塑性化が進展し、終局に至っているため、ケーブルの構成則モデルによる影響が小さくなり、鋼種をSM400一様とした場合に至っては、その影響はほとんど見られなかった。したがって、主桁の鋼種を高強度とした場合、ケーブルに関する影響線載荷であるCase-3で終局強度が最も低下することがわかる。

一方、基本荷重を(D+PS+L)とした場合、図-5(b)より、総荷重に占める活荷重の割合が相対的に小さくなることから、活荷重の載荷ケースを変化させても、主桁の鋼種ごとに終局強度はほぼ同程度であり、主桁の鋼種を高強度にするほど終局強度の増加が認められる。また、ケーブルの構成則モデルによる影響も主桁の鋼種が高強度であるほど顕著となる傾向は基本荷重を(L)とした場合と同様であり、図-7に示した荷重-変位曲線から、ケーブルの構成則をテトラ-リニア型でモデル化すれば斜ケーブルの塑性化の進展状況を的確に評価し、終局挙動を精緻に捉えることができると考えられる。



(a) 基本荷重: (L)



(b) 基本荷重: (D+PS+L)

図-5 塑性化ピーク点と活荷重載荷ケースおよび主桁の鋼種の関係

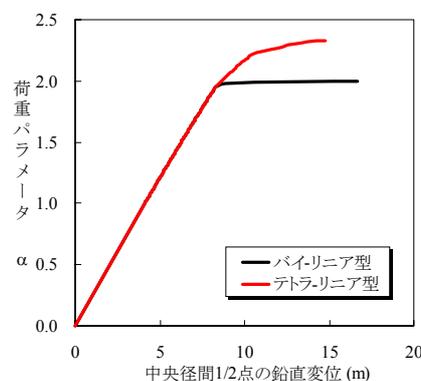


図-7 基本荷重: (D+PS+L)、SM570一様としたCase-2における荷重-変位曲線

主桁の鋼種	ケーブルの構成則	基本荷重: (L)	基本荷重: (D+PS+L)
試設計断面に基づく鋼種の変化	バイ-リニア型	$\alpha=6.290$	$\alpha=1.915$
	テトラ-リニア型	$\alpha=6.290$	$\alpha=1.923$
SM570一様	バイ-リニア型	$\alpha=7.930$	$\alpha=2.174$
	テトラ-リニア型	$\alpha=8.911$	$\alpha=2.307$

図-6 Case-1における終局変形図

5. まとめ 以上のことから、基本荷重を(L)とした場合、活荷重の載荷位置の選定に留意する必要があること、また、主桁断面の鋼種が高強度ほどケーブルの相対的な強度が低下するため、より精緻な終局挙動を把握するためにはケーブルの構成則モデルを十分に検討する必要があるといえた。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼構造物の終局強度と設計、鋼構造シリーズ6，1994。
- 2) 師山 裕，前田研一，中村一史，林 正：ケーブルの材料特性を考慮した長大斜張橋の終局強度と載荷条件，第55回土木学会年次学術講演会講演概要集，I-A146，2000.9。
- 3) Komatsu, S. and Sakimoto, T: Nonlinear Analysis of Spatial Frames Consisting of Members with Closed Cross-Sections, Proc. of JSCE, No.252, Aug., 1976.