

# 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

石川島播磨重工業 正会員 師山 裕  
 東京都立大学 正会員 中村一史\*・前田研一  
 長岡技術科学大学 正会員 林 正

**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，吊形式橋梁を含む鋼構造物の終局強度に着目した弾性有限変位解析，および，弾塑性有限変位解析に基づく種々の実用的な設計法の提案が活発になっている<sup>1)</sup>．このことを踏まえ，本研究では，これまでの成果<sup>2)</sup>に加えて，ケーブルの弾塑性や非抗圧性といった特有の材料特性を考慮に入れ，中間橋脚の有無や活荷重の載荷状態の相違が，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** 解析は，弾塑性有限変位解析法<sup>3)</sup>によるものとし，主桁のみ，あるいは主桁及びケーブルの塑性化を考慮した．表-1，図-1 に示すように，主桁は弾性-完全塑性体，ケーブルは弾性-線形塑性体と仮定し，断面の一部または全部が塑性化しても曲げひずみに対する平面保持の仮定が成立し，せん断応力が降伏に及ばず影響は無視することとした．また，要素内の軸方向の塑性域の進展は考慮せず，両端節点での断面の塑性域の進展のみから節点力と断面剛性を算定した．

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-2)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．表-1に断面諸元を示す．ケーブルのモデル化については，単一の直線軸力部材(直線ケーブル)とする場合と，自重によるサグを含むケーブルの弛緩を考慮するために，全ケーブルを水平方向に等分割した4部材からなるリンク構造(リンクケーブル)に置き換える場合の2種類を考えた．

ケーブルに軸圧縮力が働いた際には，実際のケーブルは抵抗しないで弛緩するはずであり，ここではこのことをケーブルの非抗圧性と呼ぶことにする．すなわち，ケーブル部材の実挙動に即した解析を行うには，ケーブルの構造的なモデル化に加えて，解析上でケーブルの非抗圧性を考慮に入れる必要性が考えられる．そこで，直線ケーブルモデルとリンクケーブルモデルに対してケーブルの非抗圧性を考慮する場合としない場合との両者の解析を行うこととした．さらに，中間橋脚の影響を検討するために，中間橋脚有りの場合と無しの場合との両者の解析を行うこととした．

荷重条件は，完成系(死荷重+プレストレス)に対し，活荷重(L)を基本荷重として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，その載荷位置による影響も検討対象とした(図-2)．数値計算は，このLに荷重パラメータ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，各増分段階でニュートン・ラフソン法によって収束計算を行った．

**3. 解析結果とその考察** 解析結果の一部として，図4，図5にそれぞれ，中間橋脚有りモデルと中間橋脚無しモデルでの荷重-変位曲線のピーク点(終局強度)と活荷重載荷ケースの関係を示した．全ての図において は，直線ケーブルモデル

表-1 部材の材料特性

			$\epsilon$ (%)	$\sigma$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	$E$ (kgf/mm <sup>2</sup> )
主桁	SM570	降伏応力 $\sigma_y$	0.22	46	$2.1 \times 10^4$
ケーブル (JSSC)	PWS(ST1570)	耐力 $\sigma_y$	0.59	118	$2.0 \times 10^4$
		引張強さ $\sigma_u$	4	160	$1.23 \times 10^4$

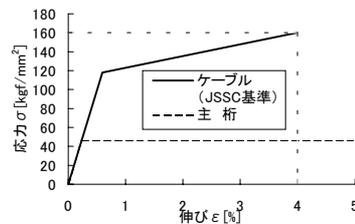


図-1 応力-伸び線図

表-2 断面諸元

	主桁	主塔
A(m <sup>2</sup> )	1.58	1.24~3.30
J(m <sup>4</sup> )	6.4	12.0~20.0
L <sub>1</sub> (m <sup>4</sup> )	150	10.20~24.40
L <sub>2</sub> (m <sup>4</sup> )	2.66	11.99~45.22
ケーブル		
A(m <sup>2</sup> )	0.006278~0.01343	

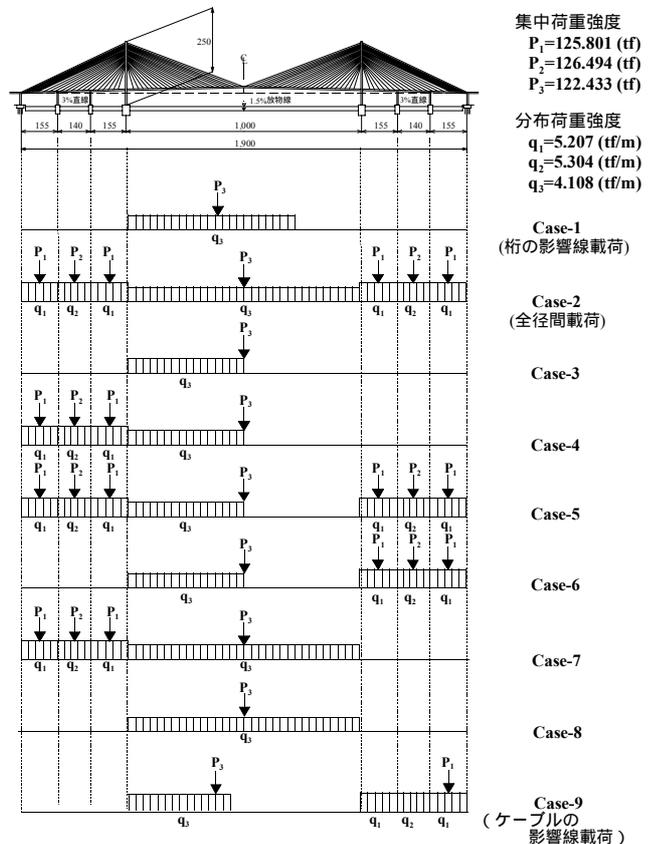


図-2 試設計モデルと活荷重載荷ケース

Key Words: 長大斜張橋, 弾塑性有限変位解析, 非抗圧性, 終局強度

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

ルにおける抗圧開始点をプロットしたものであるが、参考までに弾性有限変位解析におけるものも で付記した。なお、リンクケーブルモデルにおいては、抗圧開始点は探索されなかった。a)では、主桁の塑性化のみを考慮した場合のケーブルのモデル化と非抗圧性の考慮の有無による差異を示し、b)では、主桁とケーブルの塑性化を考慮した場合のケーブルのモデル化と非抗圧性の考慮の有無による差異を示した。

図4より、主桁のみの塑性化を考慮した場合には、ケーブルのモデル化による差異はほとんど見られない。しかし、Case-2とCase-4において、主桁のみの塑性化を考慮した場合に比べて、主桁とケーブルの塑性化を考慮した場合には $\alpha$ 値の低減が見られる。このことから、ケーブルを常に弾性体と考えたときに、活荷重の荷重ケースの相違によっては非現実的な挙動が現れるといえる。Case-6において抗圧開始点が探索されたが、終局強度には非抗圧性の影響がないことがわかった。したがって、中間橋脚有りモデルにおいては、ケーブルの塑性化の影響も考慮に入れる必要があるが、その非抗圧性は考慮に入れる必要がないことがわかった。また、主桁とケーブルの塑性化を考慮した場合には、活荷重の荷重ケースの相違にはそれほど影響を受けないこともわかった。

図5より、主桁とケーブルの塑性化を考慮した場合は、ケーブルのモデル化の相違による差異は見られない。しかし、主桁のみの塑性化を考慮した場合には、直線ケーブルモデルで非抗圧性を考慮しない場合に比べて、リンクケーブルモデルの $\alpha$ 値は低減される。またCase-5では、直線ケーブルモデルにおいても非抗圧性を考慮した場合には $\alpha$ 値が低減し、リンクケーブルモデルの値に近づいている。これらのことから、中間橋脚無しモデルの直線ケーブルモデルでは、活荷重の荷重ケースの相違によって影響を受け、リンクケーブルモデルでは、そのモデル化によりケーブルが弛緩した状態でも張力を保持することが出来ることから、そのことがケーブルの非抗圧性を考慮したことになり、ケーブルの非抗圧性の処理は特に必要がないことがわかった。

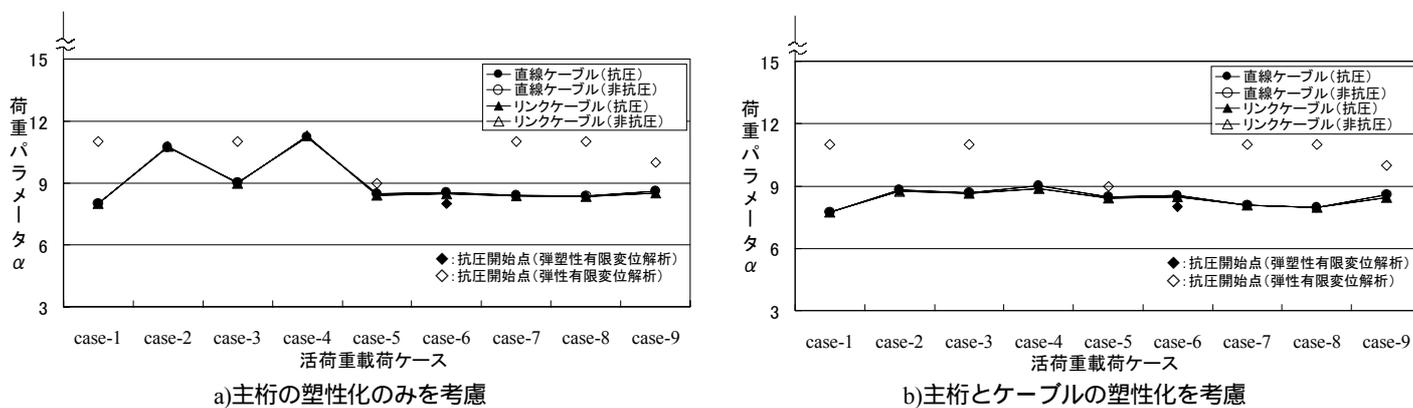


図4 ピーク点と活荷重荷重ケースの関係 (中間橋脚有り)

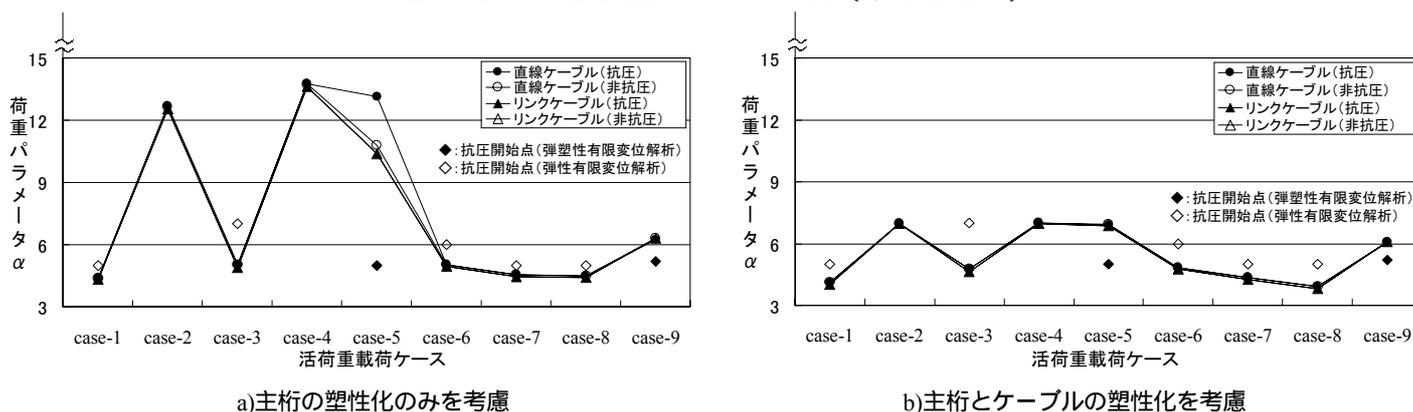


図5 ピーク点と活荷重荷重ケースの関係 (中間橋脚無し)

4. まとめ 以上のことから、ケーブルについては非抗圧性を考慮した直線ケーブル、もしくはその考慮の有無に関係なくリンクケーブルでモデル化をし、弾塑性有限変位解析を行えば、より信頼性の高い解が得られることがわかった。活荷重荷重条件については、中間橋脚を設けた安定した構造系であるならば、全径間全荷重で検討を行えば十分といえるが、中間橋脚が無い比較的不安定な構造系においては、主桁の影響線荷重、もしくは中央径間全荷重を行って検討する必要があることがわかった。

#### 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) 中村一史・前田研一・紺野誠・師山裕・林正：長大斜張橋の分岐座屈特性に及ぼす初期たわみの影響と荷重条件、構造工学論文集, Vol.46A, 2000.3.
- 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.