

(株) 総合技術コンサルタント 正会員 野口 二郎
大阪市立大学・工学部 正会員 北田 俊行
大阪市立大学・工学部 学生員 ○引口 学

1. まえがき 本研究では斜張橋の耐荷力特性を調べるため、道路橋示方書¹⁾に基づいて試設計された2つの斜張橋を3次元の骨組構造物にモデル化し、弾塑性有限変位解析を行う。そして、ケーブルの安全率（以下、 ν ）、およびケーブルの σ - ε 曲線の差異が及ぼす耐荷力への影響について調べる。また、これらの結果をもとに合理的な設計を行うためのケーブル安全率、ならびに斜張橋の耐荷力解析におけるケーブルの σ - ε 曲線の設定方法について考察する。なお、弾塑性有限変位解析にはプログラムEPASS²⁾を用いた。

2. 対象とした解析モデル それぞれ図-1および図-2には、検討対象としたケーブル1段および3段の2径間連続斜張橋モデルを示す。これらのモデルは桁が安全率1.7、塔が安全率1.7あるいは2.5で設計されている。また、1段ケーブルモデルの場合、主桁と塔とは独立した構造となっている。荷重の組合せは死荷重、分布活荷重、およびプレストレスとし、これらを荷重パラメータ α （設計荷重に対する倍率）によって比例・漸増載荷する。さらに、3段ケーブルモデルには集中活荷重も載荷する。なお、ケーブルの σ - ε 曲線については、3ケースのモデルを用いており、それらを図-3に示す。

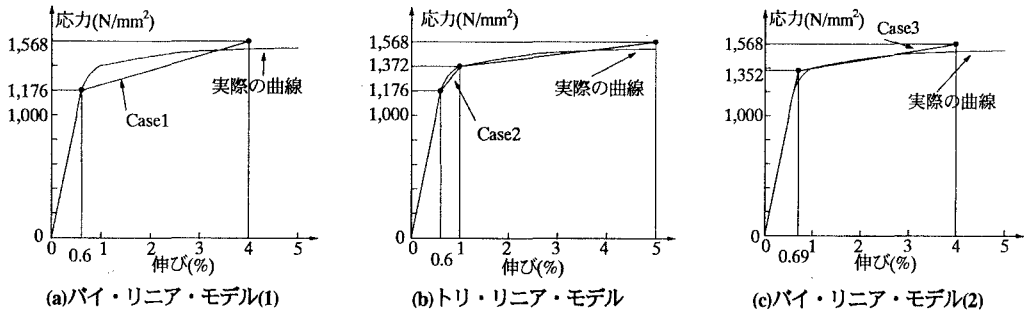
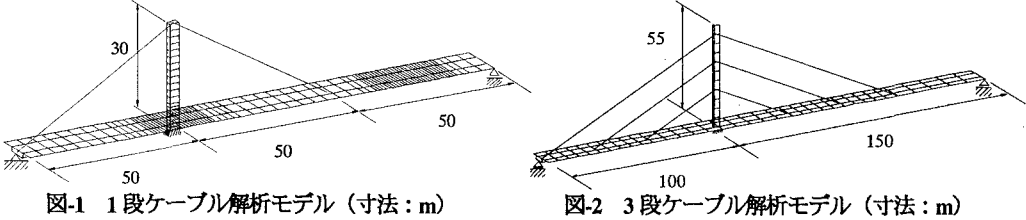


図-3 ケーブル材料の σ - ε 曲線

3. 解析上における基本条件 ①活荷重の載荷方法については、2径間連続斜張橋では、全径間に活荷重を載荷した場合（全載荷）より主径間側のみに載荷した場合（半載荷）の方が、厳しい載荷状態となり、降伏荷重パラメータ α_y および終局荷重パラメータ α_u は小さくなる。このため、本解析では分布活荷重は半載荷とする。②プレストレスの有無について、 α_u の値はプレストレスの有無に関わらずほぼ同じであったが、斜張橋全体の挙動に及ぼす影響は大きい。したがって、橋梁各部位の機能低下を考慮して耐荷力を評価するためには、耐荷力解析においてプレストレスは考慮する必要がある。③残留応力の有無が斜張橋全体の挙動および荷重パラメータ α_y と α_u とに及ぼす影響は小さく、斜張橋の耐荷力解析において、残留応力は無視してよいと考えられる。

表-1 α_y および α_u

ケース	安全率	ケーブル安全率2.5		ケーブル安全率1.7	
		α_y	α_u	α_y	α_u
1段モデル	Case1	1.97	2.09	1.37	1.70
	Case2	1.97	2.24	1.37	1.77
	Case3	2.16	2.22	1.58	1.84
3段モデル	Case1	2.02	2.21	1.42	1.84
	Case2	2.02	2.32	1.42	1.90
	Case3	2.28	2.32	1.63	1.90

4. 解析結果とその考察 解析結果から得られた降伏荷重パラメータ α_Y および終局荷重パラメータ α_u を、表-1 に示す。なお、 α_Y はケーブルが最初に降伏応力度に達したときの荷重倍率としている。これらの解析により、以下の諸点が明らかになった。

(1) $\nu=2.5$ と 1.7 との比較 主桁および塔の応答値 δ (変位)、 M (曲げモーメント) の挙動、つまり α - δ 、 α - M 曲線についてはほぼ同様の傾向を示す。具体的に、橋梁全体の挙動によって応答値が急激に変化する荷重レベルは、図-4 に示すように、ケーブルが降伏する荷重レベルとほぼ一致し、両ケースで差異は見られない。ただし、 α_Y および α_u の値は ν によって大きく異なる。

(2) ケーブルの σ - ε 曲線の仮定による比較 α - δ 、および α - M 曲線に大きな変化が現れる α_Y の値は Case1 と Case2 とでほぼ同じである。しかし、Case3 は他の 2 ケースより大きくなっている。また、Case1 と Case3 との曲線形状には同様の傾向が見られる。これに対し Case2 の形状は異なり、 α_Y の値は Case1 に、 α_u の値は Case3 とほぼ同じであり、 α_Y から α_u の間で滑らかに変化している。そして、1 段ケーブルモデルでは、 α_u に達した時の主桁（主径間端部）における曲げモーメント M は原則として、3 ケースとも同じ値になっている。このことから、主桁（主径間端部）の曲げモーメント M が終局曲げモーメント M_u に達することにより橋梁全体の終局状態が決定されることがわかる。一方、3 段ケーブルモデルで $\nu=2.5$ とした場合は、図-5 のように、Case2 および Case3 の M は Case1 と異なる。このことから、これらのケースの終局状態は塔部材における曲げモーメント M が終局曲げモーメント M_u に達した状態で与えられるものと考えられる（図-6、および図-7 参照）。

5. まとめ 上記の解析結果をまとめると、以下のとおりである。

(1) $\nu=2.5$ の場合、まず主桁および塔部材の一部が降伏するが、これは橋梁全体の挙動にほとんど影響しない。その後、ケーブルが降伏に達すると橋梁全体の挙動に大きな変化が現れる。一方、 $\nu=1.7$ の場合、まずケーブルが降伏応力度に達する。そして、主桁および塔部材では早い段階で塑性化が始まる。その結果、橋梁全体の安全率が著しく低下する。しかし、例えば橋梁全体の所要安全率を、 $\nu_{avg}=1.7 \times 1.1 \approx 1.9$ 程度とするならば、ケーブルの安全率は $\nu=2.5$ より小さくすることが可能である。

(2) ケーブルの σ - ε 曲線については、それが橋梁全体の挙動に及ぼす影響が大きく、さらに σ - ε 曲線の仮定が直接的にケーブル部材の剛性変化として現れることがわかった。そのため、解析においては、トリ・リニア・モデルを用いるなど、ケーブルの材料特性をできる限り忠実に再現することが重要である。

今後はさらに、形式、ケーブル段数、および径間数の異なるモデルを対象とした耐荷力解析が必要である。また、本研究では考慮しなかった、i) ケーブル張力の誤差、ii) 製作、および架設誤差、iii) 初期形状の設定などについての検討も必要である。

- 参考文献 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I、共通編、II、鋼橋編、丸善、平成 8 年 12 月。
2) EPASS 研究会：EPASS マニュアル、利用編（解説）、1991 年 9 月。

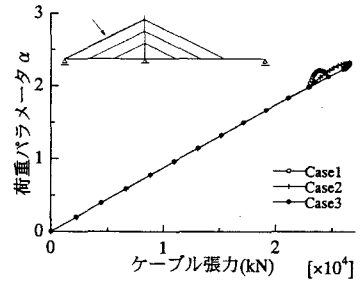


図4 側径間上段ケーブルの張力
(3 段ケーブルモデル、 $\nu=2.5$)

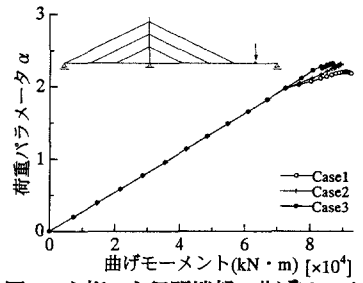


図5 主桁の主径間端部の曲げモーメント
(3 段ケーブルモデル、 $\nu=2.5$)

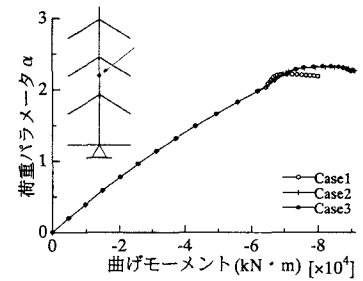


図6 塔の中間部における曲げモーメント
(3 段ケーブルモデル、 $\nu=2.5$)

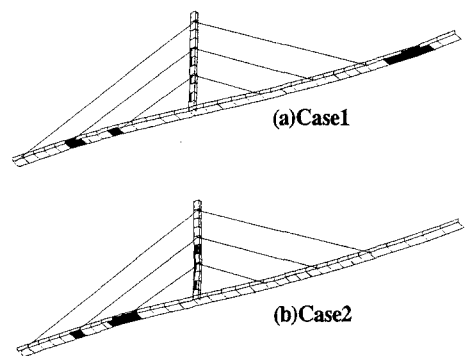


図7 終局状態における塑性領域図