

複合斜張橋の最適設計に関する基礎的研究

熊本大学工学部 学生員 ○佐々木 高
 " 正 員 小林 一郎
 " 正 員 三池 亮次
 九州大学工学部 正 員 大塚 久哲

1. はじめに 主桁の側径間部にコンクリート、主径間部に鋼を用いた複合形式斜張橋は力学的に有利な構造形式であり¹⁾、今後、我国においても長径間斜張橋にこの形式のものが多用されるものと思われる。また、筆者のひとり、部分定着式複合斜張橋と鋼斜張橋についてのパラメーター解析により簡易的な経済性比較を行ない、長大斜張橋への複合形式適用の可能性を指摘した²⁾。そこで本研究では、複合斜張橋への最適化手法の適用の可能性を検討し、鋼斜張橋の最適解とのより詳細なコスト比較を試みる。

2. 最適設計問題の設定 本解析においてはモデル調整法を応用した多段階決定法³⁾を用いることとし、各段階における最適化手法としてはSLP法を使用した。上位レベルの設計変数は主桁の桁高と各ケーブルの断面積である。主桁および塔の鋼部材についての制約条件式は「道路橋示方書(昭和55年版)」に従うものとし、各部材の設計変数としては図1に示した通り主桁の3つの板厚および塔の部材幅、板厚を用いた。

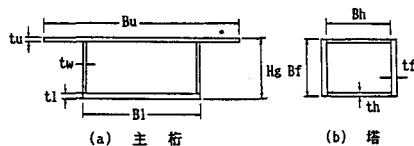


図1 鋼桁および鋼塔の断面形状

PC桁については図2の断面図において t_u 、 t_l 、 t_w を各部材ごとの変数とする。また、各PC鋼棒によって生じる圧縮力の合力が断面の中立軸に作用するものと仮定し、PC鋼棒の本数 n も部材ごとの変数とする。桁高 H_g は全部材共通の変数であり、上下のフランジ幅 B_u 、 B_l は図1(a)、図2とも共通の定数である。

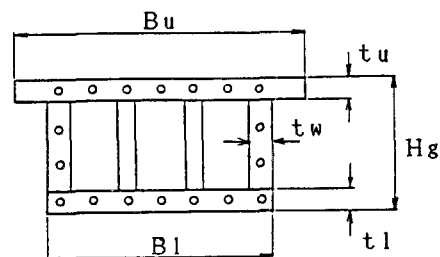


図2 PC桁の断面形状

PC桁の最適断面の決定に当っては、表1の制約条件式と目的関数を用いるが、主桁内プレストレスは、次の2条件を満足するように決定した。(a) 図3のようにケーブル定着点間の桁を1部材の片持ち梁とし、架設時に作用する曲げモーメントによる引張応力度 σ_{tmax} が圧縮となる(式(1))。(b) 完成系における応力制限が式(2)、(3)を満足する。なお、PC鋼棒には1本当たり57,285kgの張力を導入するものとする。また、図3において、 w はコンクリートの死荷重強度、 P は作業車荷重であり、表1の σ_+ 、 σ_- は部材の引張および圧縮の最大応力度である。式(4) - (6)は板厚制限であり、下限値は施工条件等を考慮し、表のように定めた。ただし、 t^u は板厚の上限値である。目表1 PC桁の制約条件式および目的関数

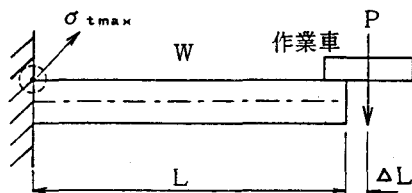


図3 架設時の解析モデル(PC桁)

1) 制約条件 (単位 kg, cm; -は圧縮)	
$\sigma_{pc} + \sigma_{tmax} \leq 0$	(1)
$-120 \leq \sigma_- \leq 0$	(2)
$\sigma_+ \leq 0$	(3)
$28.0 \leq t_u \leq t^u$	(4)
$16.9 \leq t_l \leq t^u$	(5)
$35.0 \leq t_w \leq t^u$	(6)
2) 目的関数	
$C = C_k \rho_k A_k L + C_p \rho_p A_p L$ (7)	

的関数は式(7)である。ただし、 A は断面積、 ρ は単位体積重量、 C は単位重量当りのコスト評価係数、 L は部材長である。また、添え字は鋼桁 g 、鋼塔 t 、ケーブル c 、コンクリート桁 k 、PC鋼棒 p を表すものとする、それぞれのコスト評価係数は、鋼材・コンクリート桁の架設費、PC鋼棒の緊張作業費等も考慮し次式のように定めた。

$$C_g : C_t : C_c : C_k : C_p = 1.000 : 1.200 : 2.000 : 0.084 : 1.684 \quad (8)$$

3. 数値計算例 図4に解析モデルを示す。主桁が総て鋼桁のときと、PC桁のときの2ケースについて最適設計を行なった。なお、塔部材はすべて鋼製とする。本計算においては、死荷重強度はPC桁の場合 $W_p=20.2\text{ton/m}$ 、鋼桁の場合 $W_s=11.0\text{ton/m}$ 、活荷重は等分布荷重 $W_l=2.93\text{ton/m}$ 、線荷重 $p_l=48.75\text{ton}$ とした。また、図3において、作業車荷重は $P=130\text{ton}$ 、 $\Delta l=2.5\text{m}$ とした。

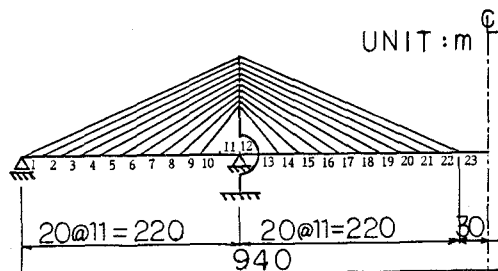


図4 解析モデル

図5、6は最適解におけるケーブルプレストレス導入後の軸力図と曲げモーメント図である。実線はPC桁、点線は鋼桁である。PC桁の方が死荷重強度が大きいので、絶対値の最大値は、軸力は1.8倍、曲げモーメントは2.2倍となった。塔およびケーブルも同様の傾向を示している。影響線解析により得られた部材力においても同様な結果を得た。

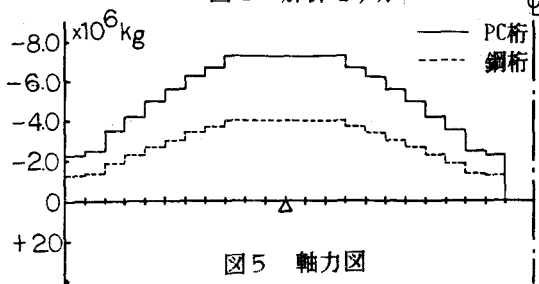


図5 軸力図

表2は各PC桁のPC鋼棒本数である。表中のアクティブな制約条件式とは、表1の式(1)-(3)までのどの制約条件式がアクティブとなったかを表わしている。これから、自定式の軸圧縮力の影響がでていることがわかる。圧縮応力による制約が中間支承付近でアクティブとなり、引張応力による制約が端支点と中央径間付近でアクティブとなっている。中間支承付近のかなりの部材で、架設時の条件がアクティブとなっているが、特に片持ち梁長が長くなる10から13部材および23部材でPC鋼棒本数が増加した。

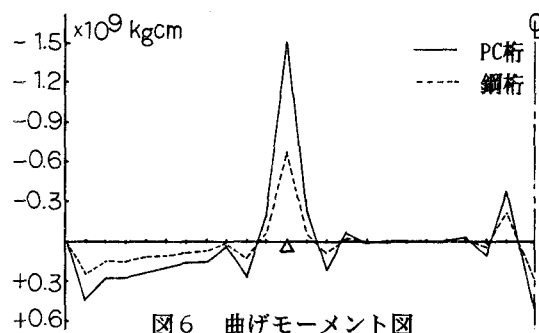


図6 曲げモーメント図

表3にコスト評価数量を示す。合計のコスト評価数量はPC桁とした方が大きくなっている。桁自体のコスト評価数量はPC桁の方が小さいが、死荷重強度が大きいため塔およびケーブルの軸力が増加しコスト評価数量が増えるためである。

表2 各PC桁のPC鋼棒本数

部 材 番 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
アクティブな制約条件式	3	3	2,3	2,3	2,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
PC鋼棒本数	68	87	85	71	58	54	55	56	54	148	158	161
部 材 番 号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
アクティブな制約条件式	1,2	1,2	1,2	1	1	1	1	1	3	3	3	
PC鋼棒本数	146	56	56	56	56	56	56	56	60	64	141	

複合形式斜張橋の経済性を考えるときPC桁のみのコスト評価数量の減少で、鋼斜張橋との優劣を比較することはできない。PC桁の死荷重強度の増加による部材剛性の再配分によるコスト評価数量の増減を考慮すべきである。なお、主桁の一部をPC桁とした複合形式斜張橋についての最適設計の結果は講演時に報告する予定である。

表3 コスト評価数量 (ton)

	鋼桁	PC桁
合計	7968	8920
桁	4015	3669
塔	2307	2631
ケーブル	1646	2620

- 参考文献 1) 若下藤紀: 複合斜張橋、橋梁と基礎、1985.8.
 2) 大塚他: 複合斜張橋の力学特性と経済性、合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集、1986.9
 3) 小林 他: 斜張橋の最適設計への多段階決定法の適用について、第41年講 I-183、1986.11