

低塔を有する 200m合成斜張橋の弾塑性挙動と終局強度

首都大学東京 学生会員 ○井尾 伸太郎
首都大学東京 正会員 野上 邦栄
埼玉大学 正会員 奥井 義昭
(株)長大 正会員 森園 康之

1. 背景・目的

都市内湾岸部に長大橋の建設において吊形式橋梁が検討対象となることが多い¹⁾が、地盤条件が非常に悪い場合アンカレイジが不要な斜張橋が適している。しかし、吊橋と比較して塔高比が大きくなるため、空港近接時には電波障害や航空制限の問題が生じ、また住宅近接時には日照権や通風権等の自然条件への配慮の問題が発生する。そのため、塔高をこれまでの最適塔高である中央径間長の 1/5 より低くする必要がある。また、日本において合成斜張橋は建設は行われていないが、経済性や施工性の面で優れている。そこで、昨今公共事業における建設コスト削減が課題となっている中、都市内空間において経済性や安全性の面から塔高を低くした合成斜張橋の適用の可能性を探ることは有益である²⁾³⁾。以上のことを踏まえ本研究では、中央径間長 200m を有する合成斜張橋を対象に桁上塔高を中央径間長の 1/5 の最適塔高を有するモデル(以下 1/5 モデル)と思い切って 1/10 と低くしたモデル(以下 1/10 モデル)の弾塑性挙動と終局強度特性を明らかにすると共に、低塔化が終局強度に与える影響を検討する。

2. 基本条件

図 1 に示すように、1/10 及び 1/5 モデルの中央径間長 $L_c=200\text{m}$ と側径間 $L_s=90\text{m}$ のスパン比は $L_s/L_c = 1/2$ とする。また、桁上塔高 H は中央径間長の 1/10 及び 1/5 とし、桁下空間は両モデルとも同一の 20m と仮定する。主桁断面には、図 2 に示すプレキャスト RC 床版+鋼 I 桁の合成桁を選択する。主塔は図 3 の RC 構造とし、その形状は、図 4 のような 2 層ラーメン形式とする。ケーブルには両モデル共に ST1770 材($\sigma_a=1000\text{N/mm}^2$)を使用している。以上の基本条件の下に決定された断面諸元が表 1 である。低塔化により、1/10 モデルは 1/5 モデルに比べケーブル、合成桁断面内の軸力が増大するため、各々の重量が大きい。なお、両モデルの試設計では、桁、塔、ケーブル材料は同一と仮定している。構成則はコンクリートには放物線型、バイリニア型(図 6)、鋼桁及び鉄筋にバイリニア型(図 7、表 2)、ケーブルにトリリニア型(図 8)を採用している。また、合成斜張橋の設計においてクリープ、収縮により終局強度が低下することが予想される⁴⁾⁵⁾ので、クリープ、収縮を無視した場合と考慮した場合の比較も行った。

表 1: 断面諸元

		単位	合成斜張橋	
塔断面			RC構造	
桁断面			RC床版+鋼I桁	
塔高比			1/5	1/10
桁	断面寸法	m	20×2.5	同左
	換算板厚 t_u, t_l, t_w	mm	700×30, 2100×12, 600×60	700×30, 2100×12, 800×60
	材質(床版)		40N/mm ²	同左
	材質(鋼桁)		SM490Y	同左
	断面積	m ²	0.91	0.93
	曲げ剛性	m ⁴	0.44	0.54
塔	断面寸法	m	2.5×4.0	同左
	壁厚	mm	600	同左
	材質(コンクリート)		40N/mm ²	同左
	材質(鉄筋)		SD345	同左
	断面積	m ²	6.36	同左
	曲げ剛性	m ⁴	11	同左
ケーブル	断面積	mm ²	5,349~10,198	8,582~16,202
	外径	mm	106~147	136~175
概算重量	RC床版	t	1976	1976
	鋼桁	t	1452	1538
	塔	t	2226	1717
	ケーブル関連	t	301	391
	合計	t	1753	1930

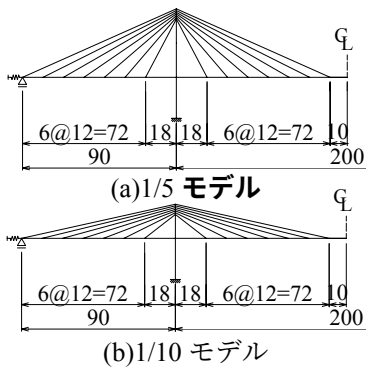


図 1: 斜張橋側面形状[m]

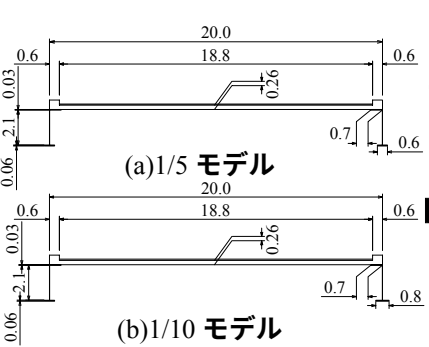


図 2: 主桁断面[m]

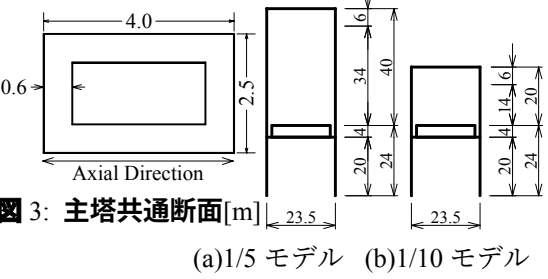


図 4: 主塔形状[m]

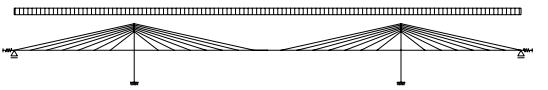


図 5: 活荷重載荷条件

キーワード 合成斜張橋, 終局強度, 塔高, クリープ

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 TEL 042-677-1111

荷重条件は、死荷重(D)とケーブルプレストレス(PS)が作用する初期状態に対し、図5に示す活荷重満載とした常時荷重(D+L)を漸増荷重させる。したがって、 $\alpha(D+L)$ となる。ここに、 α は荷重倍率であり、初期状態のD+PSを1と考えることにより新たに全荷重倍率として $\beta=\alpha+1$ と定義する。また、クリープ、収縮を考慮した荷重方法は、DとPSが作用した状態に対しクリープ、収縮による応力移行解析を行った状態を初期状態とする。

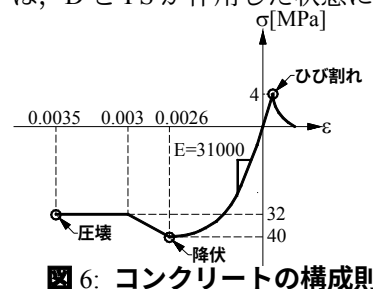


図6: コンクリートの構成則

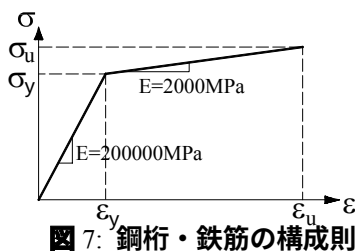


図7: 鋼桁・鉄筋の構成則

表2: 鋼桁・鉄筋の値

	SM490Y	SD345
σ_y	360MPa	345MPa
σ_u	456.4MPa	442.4MPa
ε_y	0.0018	0.0013
ε_u	0.05	0.05

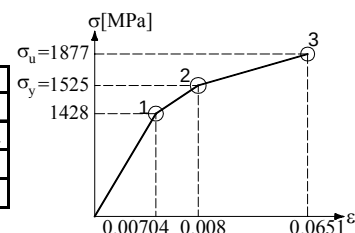


図8: ケーブルの構成則

3. 解析結果

1/5 モデル及び 1/10 モデル斜張橋に対して全要因(クリープ、収縮)を無視した場合と考慮した場合の弾塑性有限変位解析を実行した。図9は、両モデルの支間中央部主桁の鉛直変位に着目した荷重-変位曲線を示す。1/5 モデルは塔基部の塔コンクリートのひび割れ→支間中央部の鋼桁降伏→支間中央部のコンクリート床版のひび割れ→ケーブル降伏の順に、1/10 モデルは塔基部の塔コンクリートのひび割れ→支間中央部の鋼桁降伏→支間中央部のコンクリート床版のひび割れ→塔位置の鋼桁降伏の順に終局を向かえる。また、両モデルともコンクリート床版・塔コンクリート・塔鉄筋はいずれも降伏及び圧縮強度に達することはなかったが、1/5 モデルのみケーブルが降伏し、クリープ、収縮を無視した場合と考慮した場合では終局を向かえるまでの挙動に差は見られなかった。

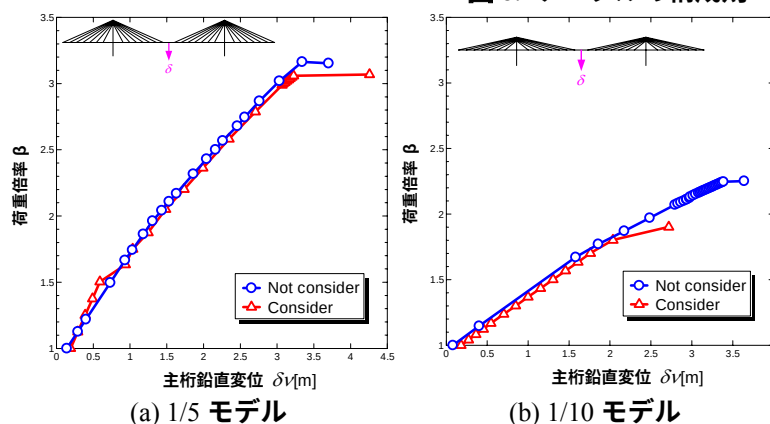


図9: 荷重-変位曲線

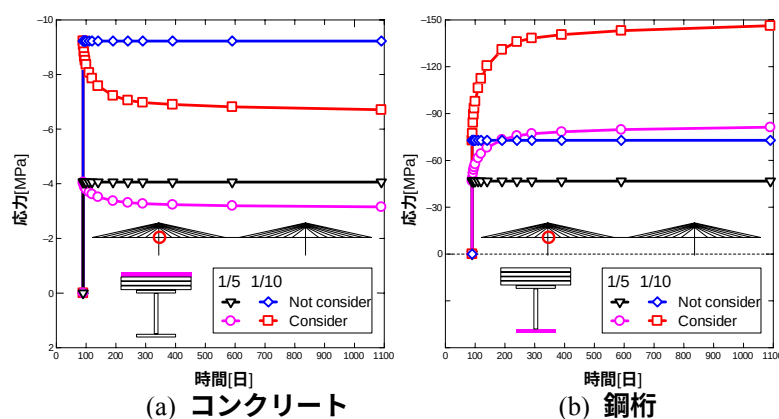


図10: タワー位置の応力の時間変化

最後に、終局時の荷重倍率をまとめたのが表3

である。終局時の荷重倍率は、1/5 モデルにおいてクリープ、収縮の考慮の有無の影響は小さく大きな差は見られなかったが、1/10 モデルにおいてクリープ、収縮の考慮の有無における荷重倍率は1/5 モデルと比べて大きく低下した。この理由として、桁に発生する応力及び応力移行量の差が挙げられる。図10(a)は塔位置のコンクリート床版上縁応力、図10(b)は塔位置の鋼桁下フランジ応力の時間変化を示す。両図から1/10モデルは1/5モデルと比較して、発生する応力と応力移行量が多いことがわかる。

4. 考察

低塔化およびクリープ、収縮の影響により、終局時倍率が減少するが、両モデルとも終局時倍率 1.90 以上を有しており、十分な終局強度を確保している。よって低塔を有する合成斜張橋の建設実現の可能性が期待できる。

参考文献

1) (社)日本橋梁建設協会:鋼橋の概要, 1996. 2)野上, 気仙, 山沢, 森園, 長井:中央径間長400mおよび600m鋼斜張橋の低塔化が終局強度に与える影響, 構造工学論文集 Vol.53A, 2007. 3) N.Yoshida, K.Nogami, H.Iwasaki and Y.Morizono:Ultimate Strength of Steel cable-stayed bridges with tower Height of 1/10 and 1/5 of center span length, Proceedings CE2008, Kenya, 2008. 4)奥井, 長井, 秋山:合成斜張橋におけるクリープ・収縮による応力移行と終局強度に与える影響, 構造工学論文集 Vol.49A, 2003. 5) (社)土木学会:コンクリート標準示方書(設計編), 1996

表3: 両モデルの終局時倍率

モデル	クリープ・収縮	
	無視	考慮
1/5	3.16	3.07
1/10	2.25	1.90