

(41) 低塔を有する200m合成斜張橋の 弾塑性挙動と終局強度

井尾 伸太郎¹・野上 邦栄²・奥井 義昭³・森園 康之⁴

¹学生会員 首都大学東京大学院 都市基盤環境学域 学生 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)
E-mail: io-shintarou@ed.tmu.ac.jp

²正会員 首都大学東京大学院 都市基盤環境学域 教授 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

³正会員 埼玉大学 工学部建設工学科 教授 (〒338-8570 埼玉県さいたま市下大久保255)

⁴正会員 株式会社社長 主任研究員 (〒305-0812 茨城県つくば市東平塚730)

斜張橋は吊橋と比較して、塔高比が高くなるため、自然条件への配慮の問題が考えられる。そのため、斜張橋の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、日本で合成斜張橋の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、昨今強い建設コストの縮減の要請がある中、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。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塔高を中央径間長の1/5としたモデルと切り替えて1/10と低くした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。

Key Words : cable-stayed composite girder bridge, ultimate strength, tower height, creep

1. 背景と目的

橋梁の建設を考えた場合、様々な橋梁形式が選択できるが、本研究では都市内湾岸部に斜張橋や吊橋といった吊形式橋梁を建設することを検討していく。しかし、都市内湾岸部では、地盤条件が非常に悪いなどの条件から吊橋の建設に必要となる巨大なアンカレイジを設置することは困難である。そこで、そのアンカレイジを不要とできる斜張橋の建設が適していると考えられる。しかし、斜張橋は吊橋と比べ塔高比(=桁上塔高/中央径間長)が大きくなるため、都市内において、空港近接時の航空制限の侵害や電波障害、または日照権の侵害、通風権の阻害などといった自然条件への配慮の問題が発生する。そのため、従来の塔高を有する斜張橋を建設できない可能性がある。すなわち、このような制約条件下において、その建設実現を可能にするには、これまでの塔高を切り替えて低くする必要がある。そこで、一つの代替案として最適塔高の約半分とした、すなわち吊橋の塔高と同程度(吊橋の最適塔高は中央径間長の1/10程度)の塔高を有する斜張橋が考えられる。

斜張橋は、1970年台前半までは、鋼製斜張橋の建設が盛んで、その後はPC斜張橋が増加の一端をたどった。

鋼構造案とコンクリート案の両案について競争入札が行われる北米では、PC斜張橋の発展により、鋼箱桁形式では落札することができなくなってしまった。そこで鋼構造案の代案として1980年、貨物船の衝突により落橋したSunshine-Skyway Bridgeの架け替え工事の入札において、合成斜張橋が提出された。結果としてわずかの差でPC斜張橋が採用されることになった。しかし、その後合成斜張橋がPC斜張橋と比較して経済的であるとして、相次いで落札され、建設された。また、1995年以降ではギリシャのRion-Antirion Bridgeなど20橋弱の合成斜張橋が建設された。このように、ここ数年、以前にまして合成斜張橋の建設が活発になり、海外では支間600mまでにおいて主流の構造形式となっているが、日本においては、合成斜張橋の建設は行われていない。

本研究では合成斜張橋に着目する。合成斜張橋は、鋼桁とコンクリート床版とを合成させた主桁を、斜めケーブルで支持した橋梁形式で、PC斜張橋に比べると死荷重を軽減でき、鋼製斜張橋に比べると鋼重を削減できる経済性に優れた構造である。今後、建設事業費縮減という大きな命題が課せられた日本において、斜張橋の経済性、合理性、施工性を向上させる重要性は高い。よって、本研究では都市内空間において経済性や安全性の面から

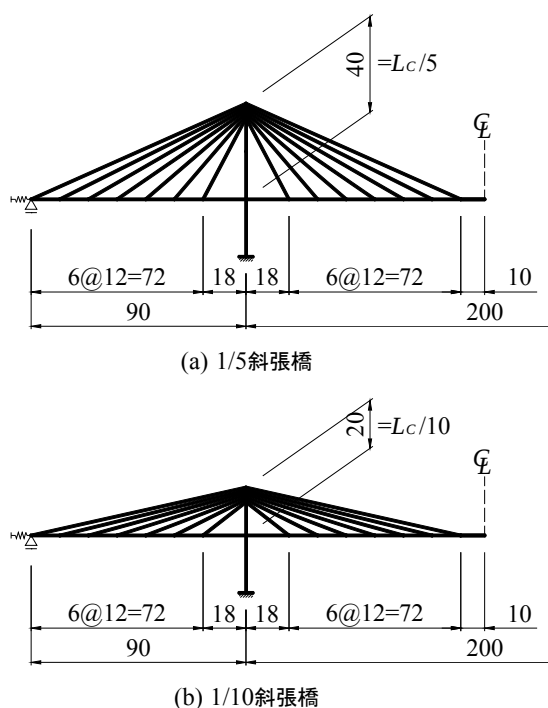


図-1 側面図[m]

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¹²⁾と考えられる。

このような背景に対し、これまでに著者らは都市型の吊形式橋梁の開発を目的に、中央径間長200mを対象として、塔高を中央径間長の1/5とした合成斜張橋(以後、1/5斜張橋と呼ぶ)および1/10とした合成斜張橋(以後、1/10斜張橋と呼ぶ)の試設計がなされ、それらの経済面からの適用性についての検討が行われた³⁾。

以上のことを踏まえ本研究では、塔高を吊橋と同程度まで低くした合成斜張橋に着目し、試設計結果から得られた中央径間長200mを有する1/5斜張橋及び1/10斜張橋について弾塑性有限変位解析を実行し、弾塑性挙動及び終局強度特性を明らかにする。

さらに、1/5斜張橋と1/10斜張橋の解析結果を比較し、低塔化が弾塑性挙動及び終局強度特性へもたらす影響及び終局強度に着目した場合の低塔型合成斜張橋の実現性について考察する。また、合成斜張橋の設計においてコンクリートのクリープ、乾燥収縮により終局強度が低下することが予想される⁴⁾ので、クリープ、乾燥収縮を無視した場合と考慮した場合の比較も実施する。

2. 基本条件

図-1に示すように、1/10及び1/5斜張橋の中央径間長 $L_c=200\text{m}$ と側径間 $L_s=90\text{m}$ の-span比は $L_s/L_c \approx 1/2$ 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。

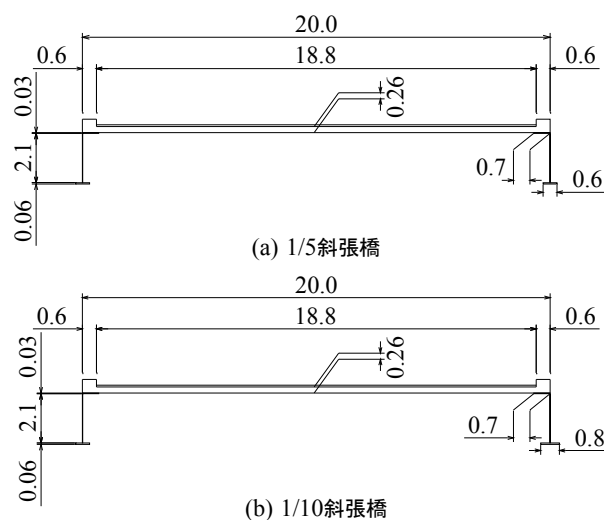


図-2 主桁断面[m]

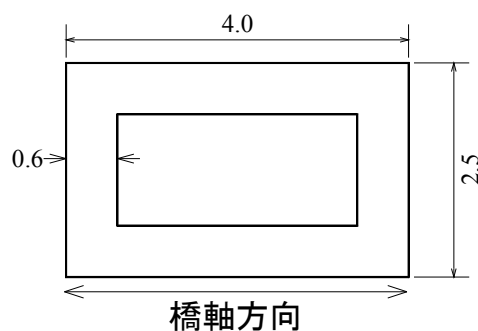


図-3 主塔断面[m]

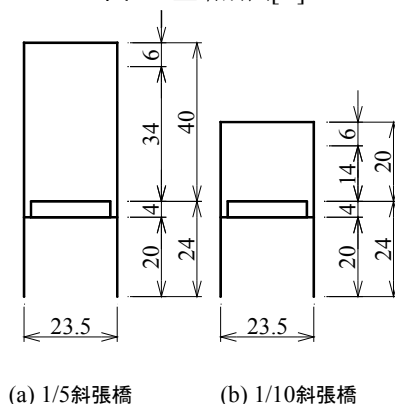


図-4 主塔形状[m]

主桁断面には、図-2に示すプレキャストRC床版+鋼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($\sigma_c=1000\text{N/mm}^2$)を使用している。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。

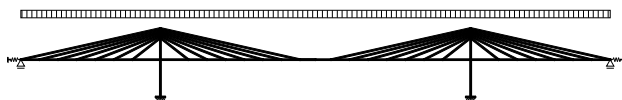


図-5 活荷重載荷条件

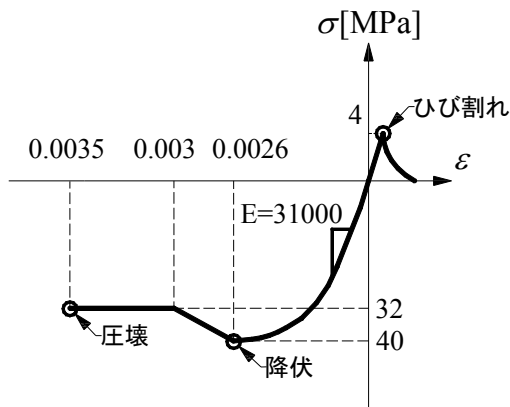


図-6 コンクリートの構成則

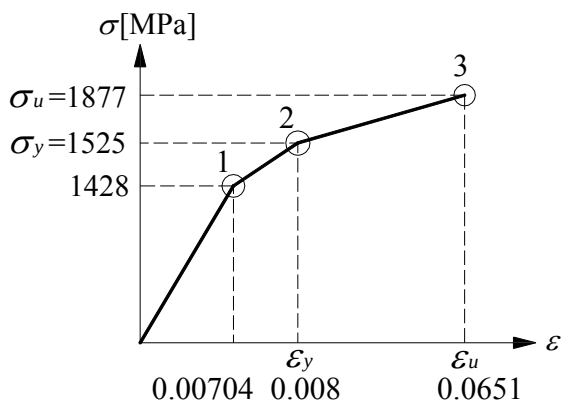


図-7 ケーブルの構成則

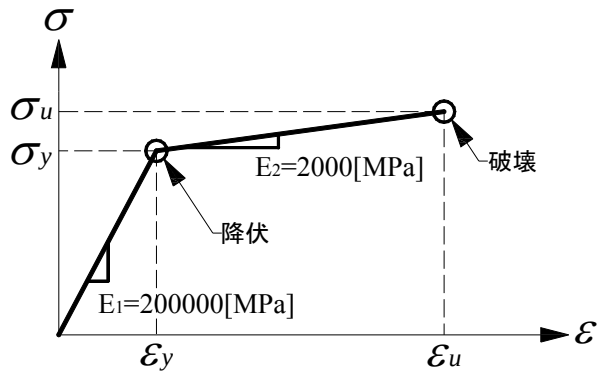


図-8 鋼桁・鉄筋の構成則

表-1 鋼桁・鉄筋の値

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

表-2 断面諸元

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
	換算板厚 t_u, t_l, t_w	mm	700×30, 2100×12, 600×60
	材質(床版)		40N/mm ²
	材質(鋼桁)		SM490Y
	断面積	m ²	0.91
	曲げ剛性	m ⁴	0.44
塔	断面寸法	m	2.5×4.0
	壁厚	mm	600
	材質(コンクリート)		40N/mm ²
	材質(鉄筋)		SD345
	断面積	m ²	6.36
	曲げ剛性	m ⁴	11.0
ケーブル	断面積	mm ²	5,349~10,198
	外径	mm	106~147
概算重量	RC床版	t	1976
	鋼桁	t	1452
	塔	t	2226
	ケーブル関連	t	301
	合計	t	1753

荷重載荷条件は、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)を漸増載荷させる。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、収縮を考慮した載荷方法は、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。構成則はコンクリートには放物線型、バイリニア型(図-6)、ケーブルにトリリニア型(図-6)、鋼桁及び鉄筋にバイリニア型 (図-8、表-1)、を採用している。以上の基本条件の下に決定された断面諸元が表-2 である。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。

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.

図-10のように終局時には, 鋼桁の下フランジが降伏し, 降伏した位置で桁が折れ曲がるように変形した. これより終局状態が鋼桁の降伏に支配されていることがわかる. 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にはなかったが, 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.

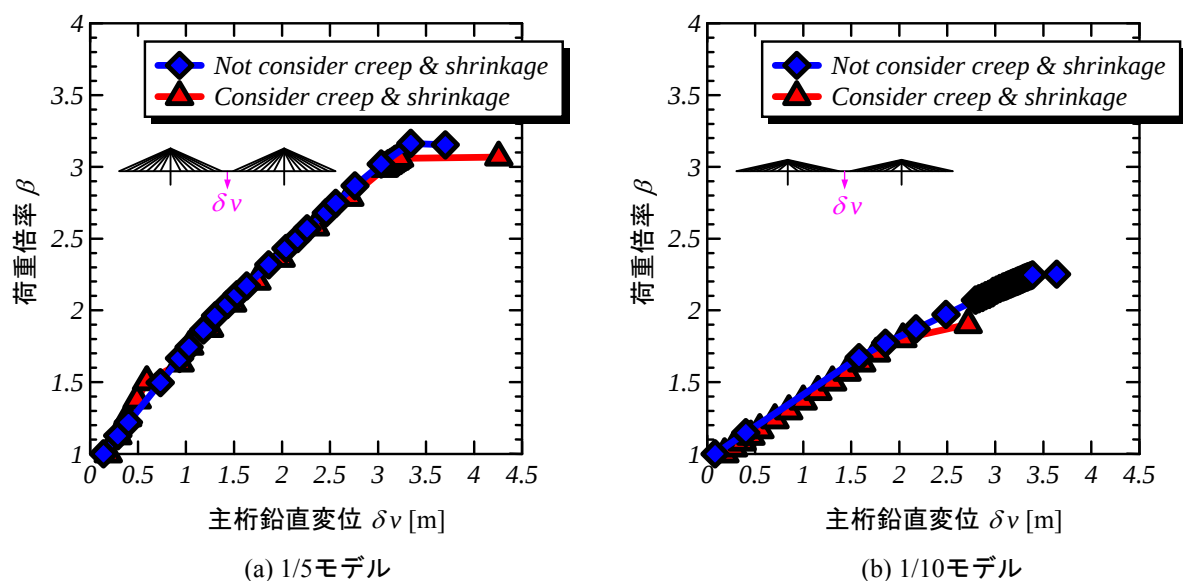


図-9 荷重-変位曲線

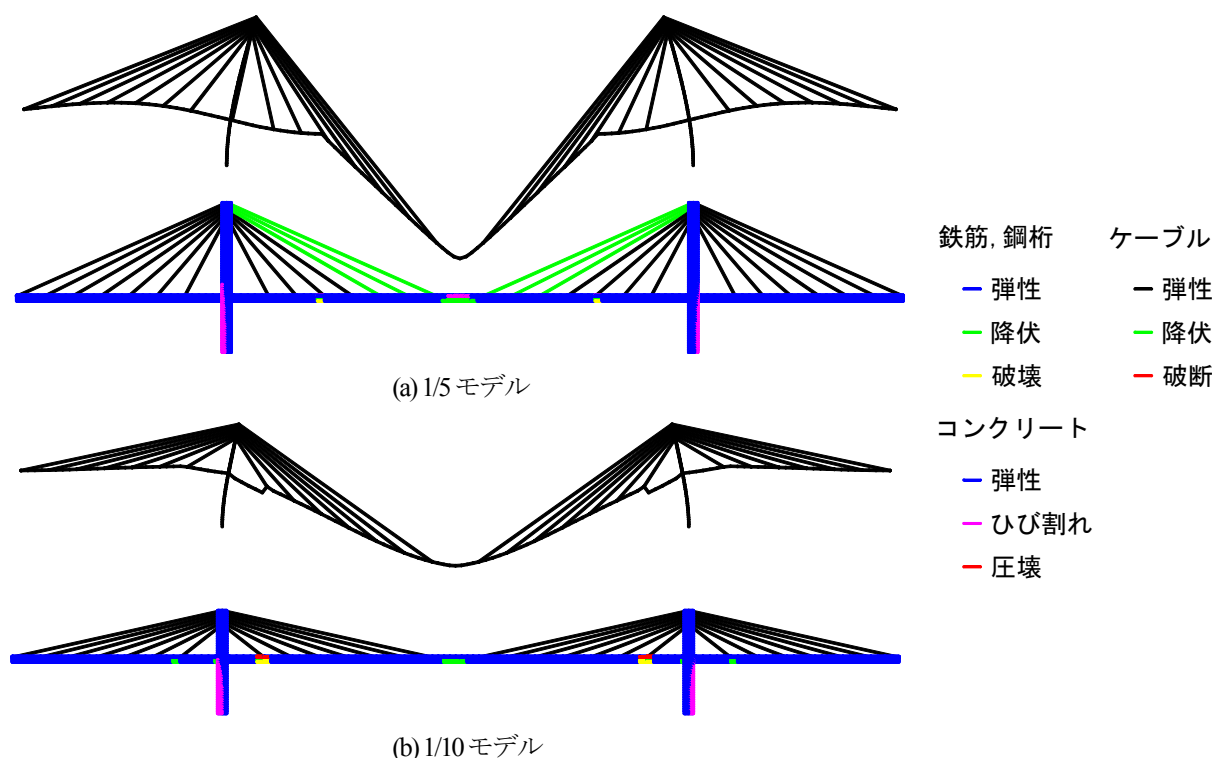
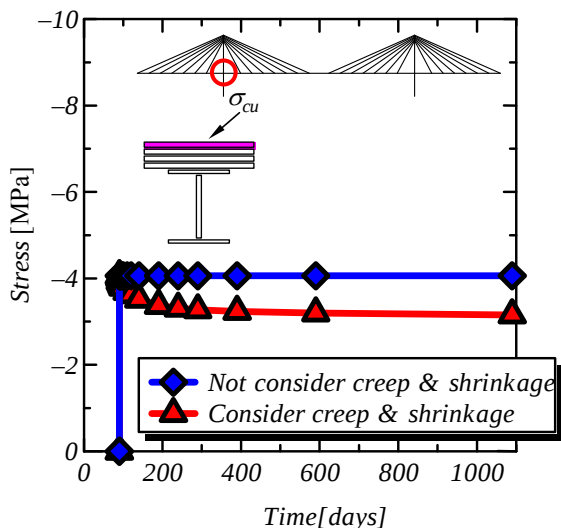


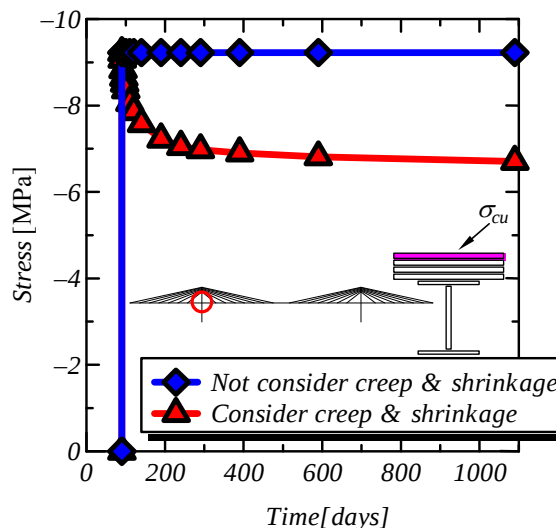
図-10 終局時の各部材の降伏・ひび割れ状況(クリープ・収縮を考慮した場合)

表-3 終局時の荷重倍率 β

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

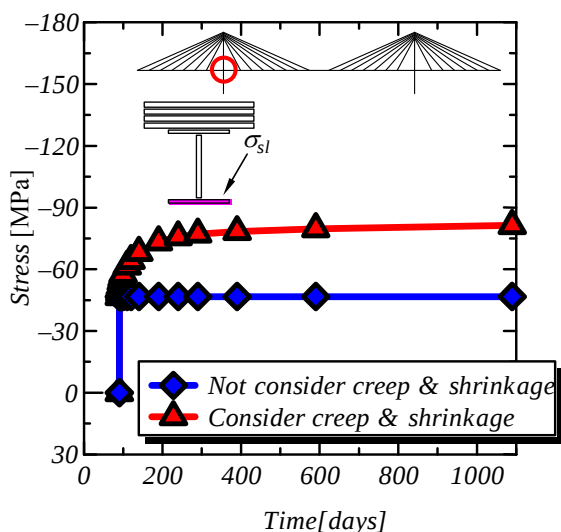


(a) 1/5model

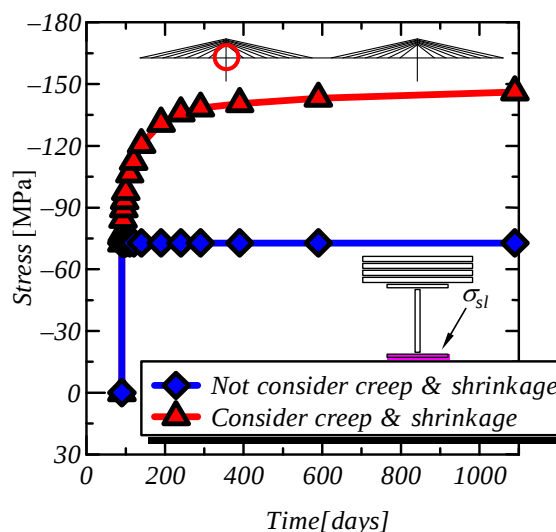


(b) 1/10model

図-11 タワー位置のコンクリート応力の時間変化



(a) 1/5model



(b) 1/10model

図-12 タワー位置の鋼桁応力の時間変化

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。

図-11は両モデルにおける塔位置のコンクリート床版上縁応力、図-12は両モデルにおける塔位置の鋼桁下フ

ランジ応力の時間変化を示す。1/10モデルでは、クリープ・収縮を考慮することで、終局時の荷重倍率は約15% (2.25→1.90) に低下した。クリープ・収縮を考慮した場合の終局時荷重倍率を1/5モデルと1/10モデルで比較すると、3.07から1.90に低下している。この理由として、クリープ・収縮を無視した場合および考慮した場合の1/10モデルに発生している応力が1/5モデルと比べて増加

していることが挙げられる。また、1/10モデルのクリープ・収縮を考慮することによる応力変化量は、1/5モデルと比較して大きいことも理由のひとつとして挙げられる。

4. 考察

本研究で、低塔化が200m合成斜張橋の終局強度へもたらす影響を明らかにした。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。特に、1/10モデルの終局時荷重倍率は、クリープ・収縮を考慮することで2.25から1.90へ低下する。

両モデルとも終局時荷重倍率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) 野上, 気仙, 山沢, 森園, 長井: 中央径間長 400m および 600m 鋼製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.
- 2) 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.
- 3) 松原, 野上, 山沢, 古澤: 長大吊橋 RC 主塔の橋軸直角方向面内における耐荷力特性, 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集, 2007.
- 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

Elasto-plastic behavior and ultimate strength of 200-meters cable-stayed composite girder bridge with low tower

Shintarou IO, Kuniei NOGAMI, Yoshiaki OKUI and Yasuyuki MORIZONO

In the cable-stayed bridges, the ratio between the central span length and the tower height is higher compared to suspension bridges. So, we have various problems of the environmental consideration. Therefore, tower height of cable-stayed bridge models is lowered from 1/5 of central span length. Also, cable-stayed composite girder bridges aren't constructed in Japan. However, they are excellent in the economy and ease of construction.

Nowadays there is a requirement of strong cost reduction. At urban bay areas, it's very useful that explore the possibilities of construction of cable-stayed composite girder bridges with low tower fulfillment. So, in this study, the center span of cable-stayed composite girder bridges is 200-meters. Their models whose tower height is lowered 1/10 of central span length are applied. We clear cable-stayed composite girder bridges with the lower tower have enough ultimate strength.