

# 合成斜張橋のクリープ乾燥収縮、耐荷力性状に関する研究

建設構造研究室 田村 公伯  
指導教官 長井 正嗣  
岩崎 英治

## 1 まえがき

合成斜張橋は、海外では経済的な形式とされ建設例が多く、1956年のBuchenauer橋以来現在までに約60橋程度が建設され、とくにスパン400m以上の大型橋梁の例が多い。我が国では300mを超える長大斜張橋は鋼斜張橋に限定されてきた。また、ケーブル系橋梁はケーブルの高単価の問題もあってか、一般に高価であるとの認識が定着し、経済性の面でより一層の低コスト化に向けた努力が欠かせない。その対策として、合成斜張橋の建設が考えられるが、我が国では依然として建設例を見ない。この理由として、幾つかの技術的課題が未解明な点が挙げられる。

合成斜張橋の技術的課題としては、①合理的なケーブル定着構造の開発、②床版クラック対策、③コンクリートのクリープ・乾燥収縮による応力移行の把握、④耐風安定性の確保、⑤終局挙動、強度特性の解明などが挙げられる。本論文では、以上のうち③および⑤に着目した検討を行う。

具体的には、まずクリープ・乾燥収縮によりどの程度の応力移行が生じるかを明らかにする。次に、載荷方法の差異、すなわち架設をフォローして解析を行った場合と完成状態からクリープ乾燥収縮を考慮した場合のそれぞれについて、解析結果を比較する。そしてこれらのモデルを用いて耐荷力解析を行い、クリープ乾燥収縮および載荷方法が終局強度に与える影響を明確にする。最後に、桁高を変化させ、終局挙動および強度に与える影響について検討を加える。

## 2 計算モデルおよび計算方法

### 2.1 計算モデル

図-1にスパン150mモデルを示す。ケーブル吊形式はファンタイプ2面吊で、吊間隔は10mである。主桁は鋼I桁とコンクリート床版の合成断面であり、鋼桁材質は桁全域でSM490Y材を使用し

ている。塔は鉄筋コンクリート構造である。桁より上では断面①を、下では断面②を用いている。

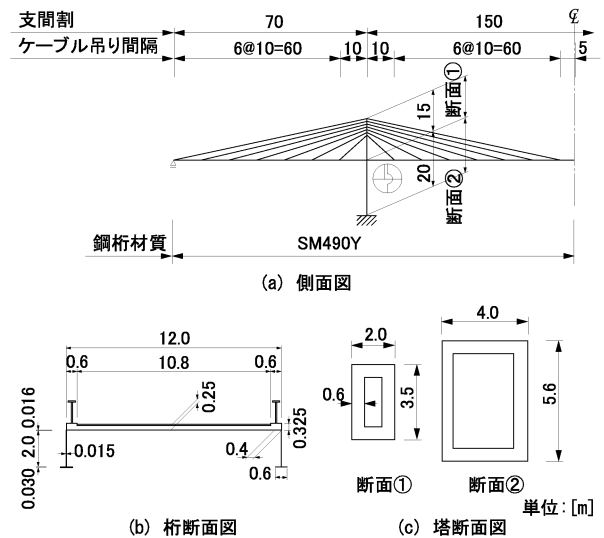


図 1: スパン 150m モデル

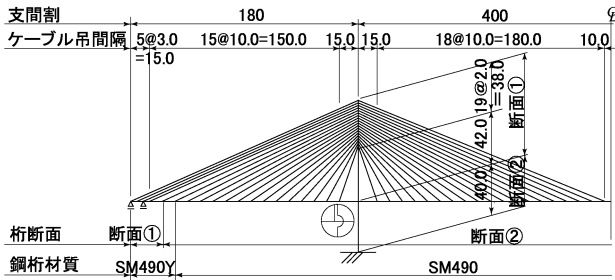
図-2にスパン400mモデルを示す。スパン150mモデルと同様に、ケーブル吊形式はファンタイプ2面吊で、吊間隔は10mである。主桁は鋼I桁とコンクリート床版を合成させた断面であり、桁端部において断面①を、その他の箇所では断面②を用いている。鋼桁材質は桁端部でSM490Y材を、その他の部分でSM490材を使用している。塔は鉄筋コンクリート構造である。桁より上では断面①を、下では断面②を用いている。

### 2.2 材料構成則

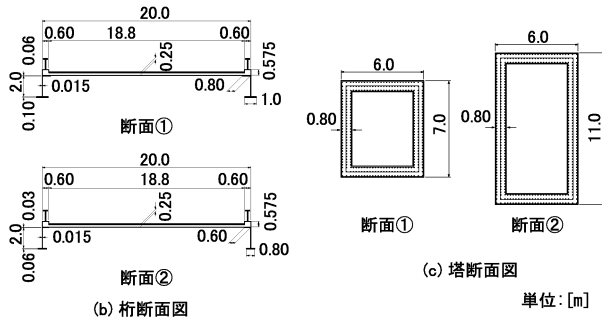
図-3に材料構成則を示す。鋼桁および鉄筋にはバイリニアモデルを、ケーブルにはトリリニアモデルを、コンクリートは2次放物線モデルを、それぞれ用いている。

### 2.3 クリープ乾燥収縮の予測式

クリープ乾燥収縮の予測式には阪田式を用いた。床版にプレキャストコンクリートを用いることか



(a) 側面図



(b) 桁断面図

(c) 塔断面図

単位: [m]

図 2: スパン 400m モデル

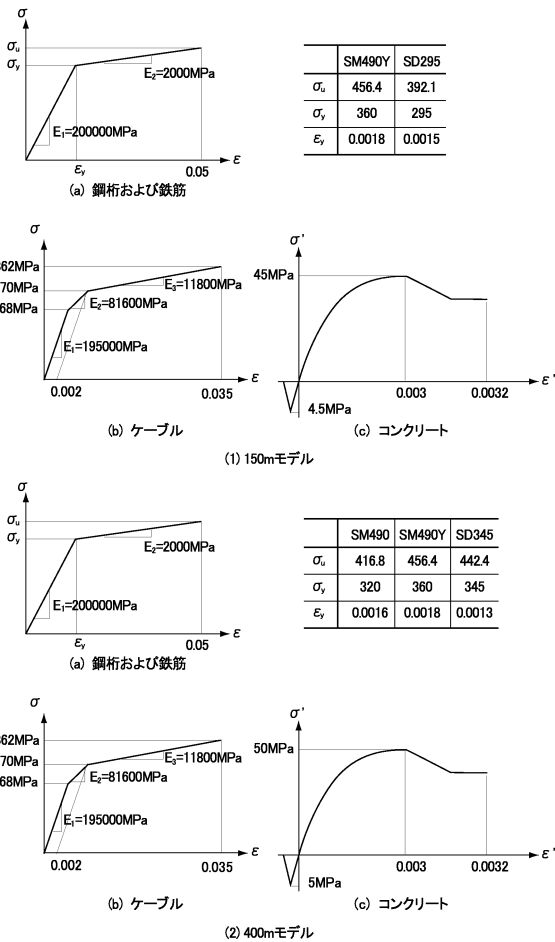


図 3: 構成則

ら、クリープ係数  $\Phi_\infty$  を 1.1, 最終乾燥収縮度  $\varepsilon_{s,\infty}$  を  $100\mu$  とした.

$$\Phi = \Phi_\infty \left[ 1 - \exp(-0.09t^{0.6}) \right] \quad (1)$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{s,\infty} \left[ 1 - \exp(-0.108t^{0.50}) \right] \quad (2)$$

## 2.4 載荷方法

クリープ乾燥収縮の考慮方法として, ①クリープ乾燥収縮を考慮しない, ②完成状態からクリープ乾燥収縮を考慮, ③架設ステップをフォローするの3ケースを考えた. ①ではクリープ乾燥収縮および架設ステップは考慮しない. ②ではクリープ乾燥収縮のみを考慮し, 架設ステップは考慮しない. ③ではクリープ乾燥収縮および架設ステップの双方を考慮する. これらをまとめたものを表-1に示す.

表 1: 載荷方法

Case	Creep&Shrinkage	Erection
①	×	×
②	○	×
③	○	○

## 2.5 耐荷力解析

耐荷力解析は, まず死活荷重状態を作成し, その死活荷重に比例する等分布荷重を桁に載荷する方法とした. この際の比例定数を本文では荷重倍率と定義する.

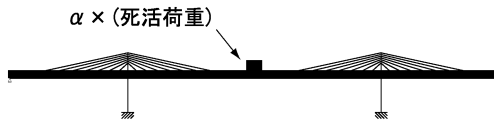


図 4: 作用荷重

## 3 クリープ乾燥収縮の影響

### 3.1 スパン 150m モデル

図-5に塔位置コンクリート床版上縁応力の経時変化を示す. 縦軸は応力を, 横軸は材齢を示している. 同図より, 完成状態から考慮した場合の材

齢 90 日において-7.88MPa の応力が生じていること、時間の経過に伴い応力は減少する傾向にあり材齢 1090 日では-5.50MPa であることがわかる。また、材齢が 1000 日以後では架設ステップをフォローした場合と完成状態から考慮場合ではほとんど差がなく、クリープ乾燥収縮により 2.3MPa の応力移行が生じていることがわかる。

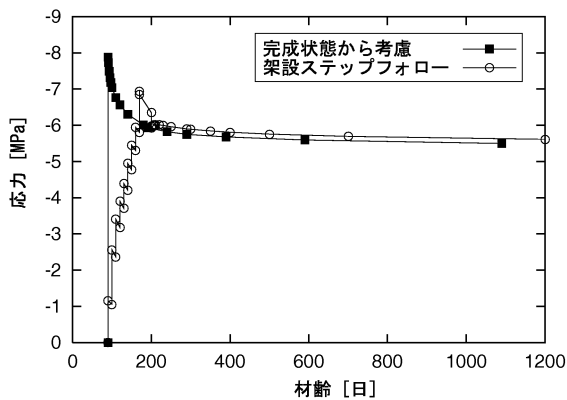


図 5: 塔位置コンクリート床版上縁応力の経時変化

図-6 に塔位置鋼桁下縁応力の経時変化を示す。図の表示方法は図-5 と同様である。同図より、完成状態から考慮した場合の材齢 90 日において-49.4MPa の応力が生じていること、時間の経過に伴い応力は増加する傾向にあり材齢 1090 日では-110MPa に達していることがわかる。また、材齢が 1000 日以後では架設ステップフォローと完成状態から考慮場合の間に大きな差は存在せず、クリープ乾燥収縮により 60MPa の応力移行が生じていることがわかる。

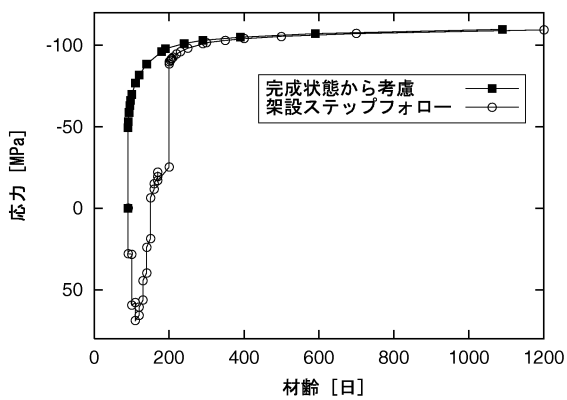


図 6: 塔位置鋼桁下縁応力の経時変化

図-7, 図-8 にコンクリート床版上縁および鋼桁下縁の橋軸方向応力分布を示す。縦軸は応力を、横軸は桁端からの距離を示している。同図より、応力移行量は塔位置付近にて最大となること、また載荷方法に起因する応力分布の差異は小さいことがわかる。

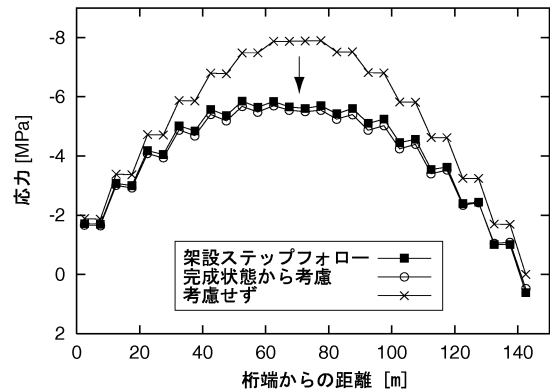


図 7: コンクリート床版上縁橋軸方向応力分布

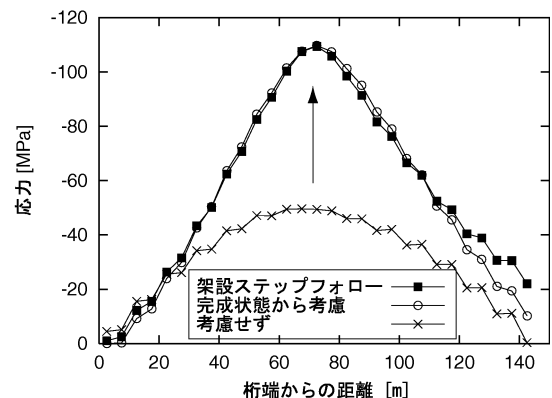


図 8: 鋼桁下縁橋軸方向応力分布

図-9 に荷重倍率-支間中央鉛直変位関係を示す。縦軸は死活荷重倍率を、横軸は支間中央の鉛直変位を示している。同図より、完成状態から考慮した場合の終局荷重倍率は 1.70、架設ステップを考慮した場合のそれは 1.72 であり、両者の差は小さいことがわかる。それに対し、クリープ乾燥収縮を考慮しない場合のそれは 1.94 であり、クリープ乾燥収縮を考慮した場合と比較して終局強度を 13% 過大に評価していることがわかる。

図-10 に終局時変形モード図を示す。同図より、載荷方法にかかわらず、最下段ケーブル付近にて桁断面が降伏し、桁が折れ曲がるような状態で終局に至っていることがわかる。

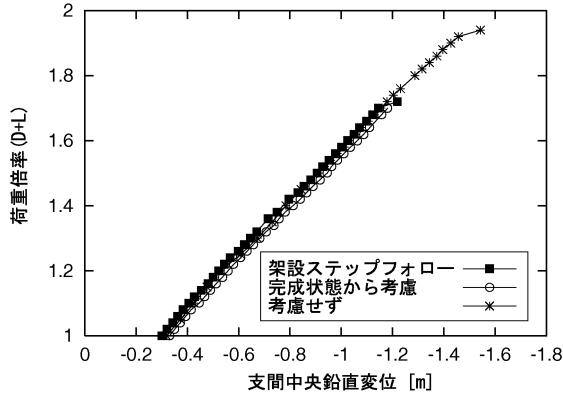


図 9: 荷重倍率-変位関係図

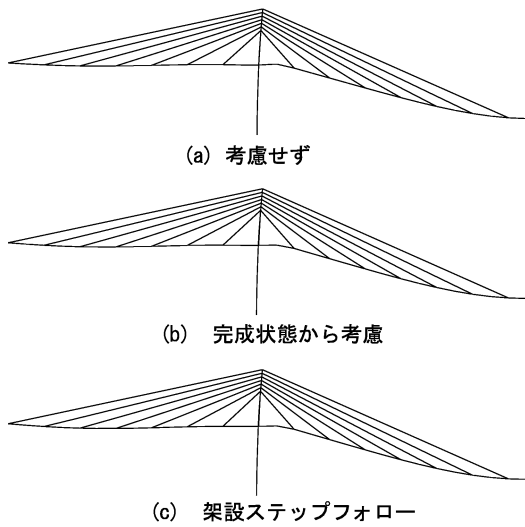


図 10: 終局時変形モード図 (スパン 150m モデル)

### 3.2 スパン 400m モデル

図-11, 図-12 に塔位置コンクリート床版上縁, 鋼桁下縁応力の経時変化を示す. 図の表示方法は図-5 と同様である. 同図より, クリープ乾燥収縮によりコンクリートで 2.2MPa, 鋼桁下縁で 57MPa の応力移行が生じていることがわかる. また, 材齢 1000 日以後では荷重方法による差異は小さいことがわかる.

図-13, 図-14 にコンクリート床版上縁および鋼桁下縁の橋軸方向応力分布を示す. 図の表示方法は図-7 と同様である. 同図より, 応力移行量は塔位置付近にて最大となること, また荷重方法による応力分布の差異は小さいことがわかる.

図-15 に荷重倍率-支間中央鉛直変位関係を示す. 図の表示方法は図-9 と同様である. 同図より, 完成状態から考慮した場合の終局荷重倍率は 2.12,

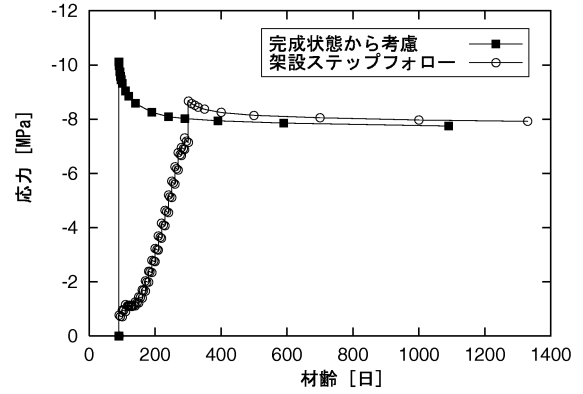


図 11: 塔位置コンクリート床版上縁応力の経時変化

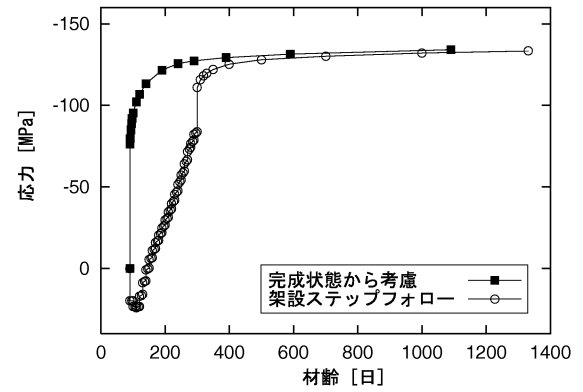


図 12: 塔位置鋼桁下縁応力の経時変化

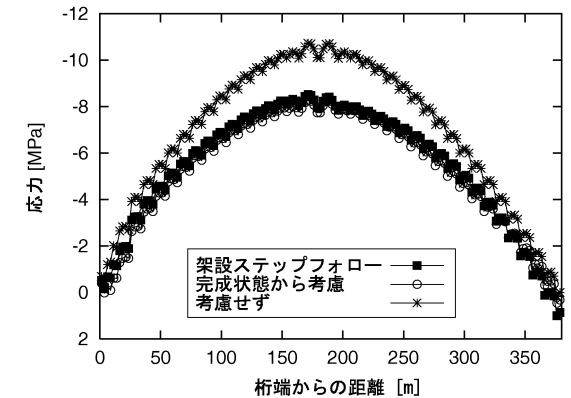


図 13: コンクリート床版上縁橋軸方向応力分布

架設ステップを考慮した場合のそれは 2.13 であり, 両者の差は小さいことがわかる. それに対し, クリープ乾燥収縮を考慮しない場合のそれは 2.51 であり, クリープ乾燥収縮を考慮した場合と比較して終局強度を 18% 過大に評価していることがわかる.

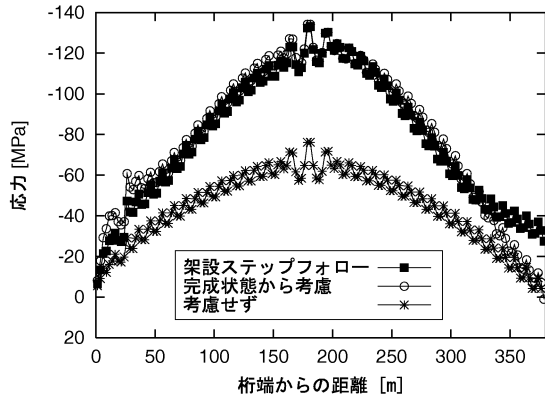


図 14: 鋼桁下縁橋軸方向応力分布

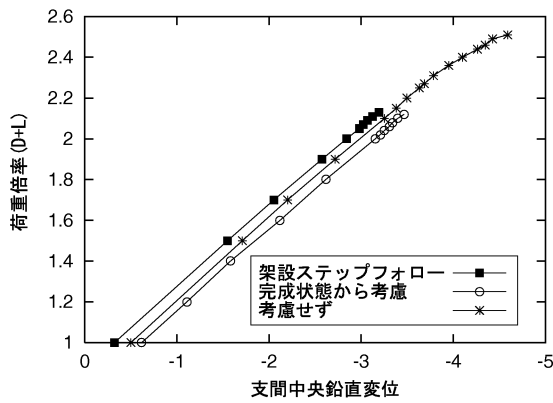


図 15: 荷重倍率-変位関係図

表 2: 追加モデル

スパン [m]	桁高 [m]	
150	1.5	2.0
400	2.0	2.5

図-16 に終局時変形モード図を示す。同図より、  
 載荷方法にかかわらず、塔位置の桁が折れ曲がるように変形し、終局状態に至っていることがわかる。

#### 4 終局挙動および強度特性

終局挙動および強度を明らかにするために、スパン 150m モデルには桁高 1.5m モデルを、スパン 400m モデルには桁高 2.5m モデルをそれぞれ追加し、耐荷力解析を行った。

##### 4.1 スパン 150m モデル

図-17 に桁高が終局強度に与える影響を示す。図の表示方法は図-9 と同様である。同図より、桁高

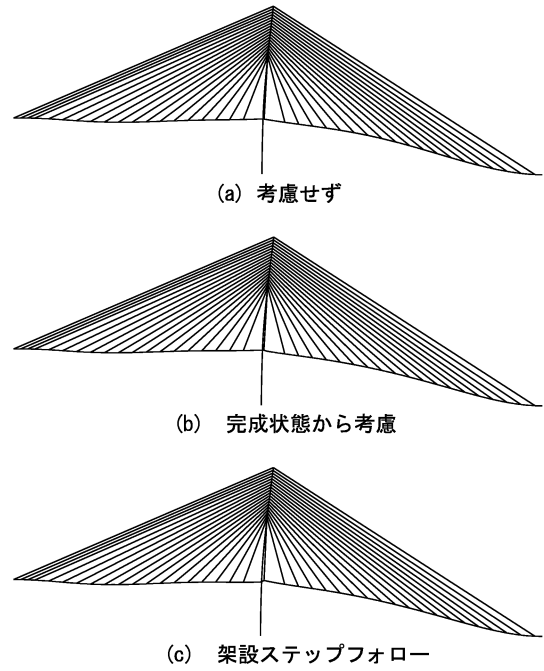


図 16: 終局時変形モード図 (スパン 400m モデル)

1.5m の終局荷重倍率は 1.74、桁高 2.0m の終局荷重倍率は 1.72 であり、終局強度は桁高の影響を受けないことがわかる。

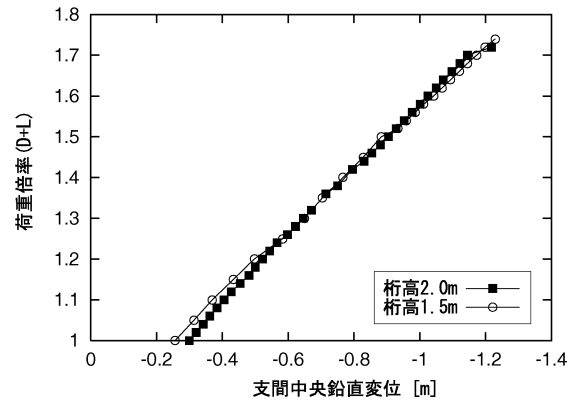


図 17: 桁高が終局強度に与える影響 (スパン 150m モデル)

図-18 に終局時変形モードを示す。同図より、桁高 1.5m モデルでは塔位置の桁が折れ曲がるように変形し終局に至っていることがわかる。桁高 2.0m モデルでは、最下段ケーブル付近において桁が折れ曲がるように変形していることがわかる。

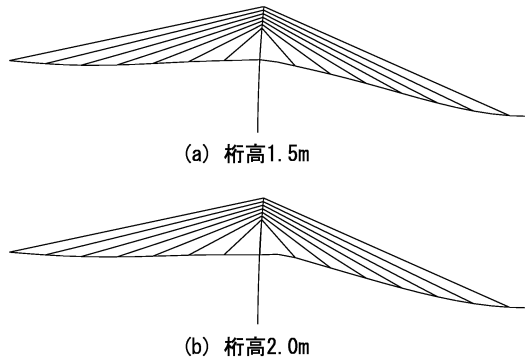


図 18: 桁高が終局時変形モードに与える影響 (スパン 150m モデル)

#### 4.2 スパン 400m モデル

図-19に桁高が終局強度に与える影響を示す。図の表示方法は図-9と同様である。同図より、桁高 2.0m の終局荷重倍率は 2.13、桁高 2.5m の終局荷重倍率は 2.04 であり、桁高 2.5m の終局強度は桁高 2.0m のそれをやや下回っていることがわかる。

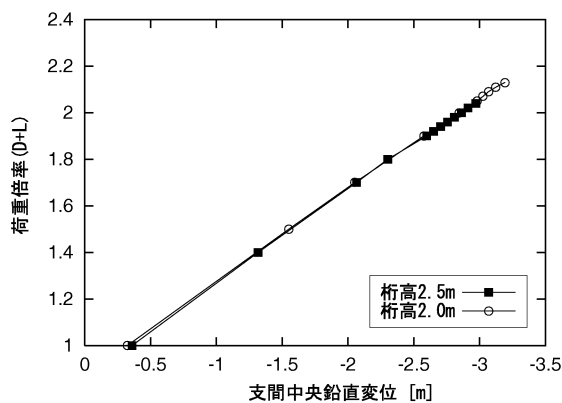


図 19: 桁高が終局強度に与える影響 (スパン 400m モデル)

図-20に終局時変形モードを示す。同図より、桁高にかかわらず塔位置の桁断面が降伏し、桁が折れ曲がるように変形し終局に至っていることがわかる。

## 5 結論

本研究で得られた結論は以下のとおりである。  
クリープ乾燥収縮の影響

- スパン 150m モデルの応力移行はコンクリート 2.3MPa, 鋼桁 60MPa である。

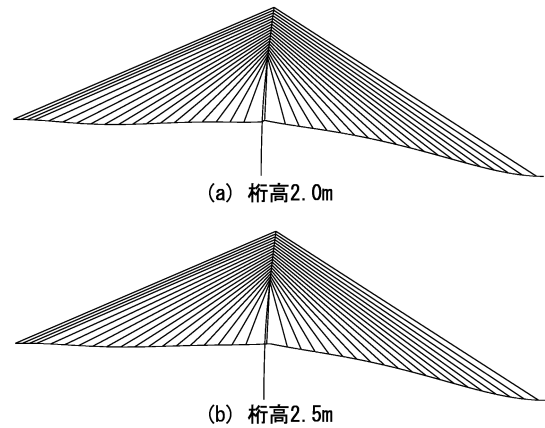


図 20: 桁高が終局時変形モードに与える影響 (スパン 400m モデル)

- スパン 400m モデルの応力移行はコンクリート 2.2MPa, 鋼桁 57MPa である。
- クリープ乾燥収縮を無視すると耐力を 13% ~18% 程度過大評価する。
- クリープ乾燥収縮を完成時から考慮する場合と架設ステップをフォローする場合の最終応力移行量の差は小さい。

#### 終局挙動, 強度

- 塔位置の鋼桁下フランジが降伏し、降伏域が断面内に広がり終局状態となる。
- 終局強度 (荷重倍率) は桁高の影響をあまり受けず、終局挙動, 強度は材料の非線形性に支配される。

今後は、ケーブル安全率をパラメータとして解析を行い、その挙動を検討する必要があると考えられる。

#### 参考文献

- [1] 長井正嗣, 奥井義昭, 岩崎英二: 合成斜張橋の動向と技術的課題, 橋梁と基礎, Vol35, No.11, pp.27-34, 2001.11
- [2] 新井田勇二: 斜張橋主桁の弾塑性挙動の解明と安定照査法の確立, 長岡技術科学大学修士論文, 1999.2
- [3] 長井正嗣, 井澤衛, 中村宏: 斜張橋の基本計画設計法, 森北出版, 1997.11