

実物大ケーブルのクリープ・リラクセーション 試験およびニールセン橋の経時挙動予測

Full-size Creep and Relaxation Tests on Cables and
Prediction of Long Term Behavior of Nielsen Bridges

渡邊英一^{*}・橋本誠司^{**}・杉山功^{***}・杉井謙一^{****}・奥村勝良^{*****}

Presented herein is a series of long-term full-size tests on steel cables with 5 different combinations of the wire and anchorage that may be used for Cable-stayed bridges and Nielsen bridges. From these tests the visco-elastic constants of the test specimens such as creep coefficient and the relaxation coefficient are found to be explicitly determined with the use of the Laplace transform provided that the cables are assumed to be linearly visco-elastic. These results are used for example to predict the long-term behavior of several Nielsen bridges.

1. はじめに

近年、斜張橋やニールセン橋のようにケーブルロープを主要部材として用いる構造物が多く見かけられるようになった。しかしながらこれらに使用されるケーブルは弾性体ではなく時間依存的挙動、すなわちクリープ及びリラクセーションを起こすと考えられ、その挙動は橋梁自体の設計、維持管理に少なからぬ影響を及ぼすと考えられる¹⁾。

本研究ではこの観点に立って実験及び数値解析を通してニールセン橋のケーブル力、ケーブルひずみ、節点変位など設計、維持管理上重要な諸量の時間依存的挙動を解析することを目的としている。

まず実験は実物大ケーブルを用いて行うものとし、1～3年の長期にわたってそのクリープ・リラクセーション挙動を観察することにした。供試体としては5種類のケーブルタイプを用いており、これらはそれぞれ3種類のストランド（以下ストランド1～ストランド3と表す。これらは商品名としてはそれぞれPWS、LCR、New PWSと呼ばれている。）と3種類の定着形式（以下定着1～定着3と表す。定着2は亜鉛定着であり、定着1、定着3は商品名としてはそれぞれHAMソケット、NSソケットと呼ばれている。）の異なる組み合わせである。

次に、この実験で得られたデータをもとにバスケットハンドルタイプのニールセン橋についてその経時挙動に関する数値解析を行った。解法としては、まずケーブルを線形粘弾性体、ガーダー、アーチを弾性体と仮定する。対応原理、有限要素法を適用し、ラプラス像空間においてニールセン橋全体のつりあい式を作り、これを解くと像空間における離散化した解を得ることができる。この解は厳密解として求められるが離散化したデータとして得られるため数値ラプラス逆変換を適用することにより現空間における解を求めた²⁾。具体的な解析例として、まずある施工中の橋梁をモデル化し、そのケーブル力や節点変位の時間依存的挙動や

正員 Ph. D. 工博 京都大学教授 土木工学科；** 学生員 京都大学大学院工学研究科 修士課程；
*** 正員 阪神高速道路公団 第一建設部設計課長；**** 正員 神戸製鋼所 エンジニアリング事業部 鉄構
橋梁部課長；***** 正員 栗本鉄工所 鉄構技術開発部長

クリープ係数などを求めた。更に別の2橋についても同様な解析を行い、これら3通りのモデル橋について橋梁各部の荷重分担の割合とクリープ・リラクセーション挙動との相関関係について考察を行った。

2. クリープ・リラクセーション試験

2.1 試験方法

本試験で採用した方法は一定の荷重のもとでのひずみを計測する厳密な意味でのクリープ試験と、一定の強制ひずみのもとでの荷重を計測する厳密な意味でのリラクセーション試験との中間的な方法であり¹⁾、Fig-2.1に試験装置の全体図、寸法を示す。試験方法はまず、油圧ジャッキにより供試体の破断強度の約1/3に当たる約30tの張力を導入し、ソケット部のナットによりこれを周囲の4本の鋼パイプに定着し、張力を保持する。なお、反力は4本の鋼パイプで保持するものとし、計測するのはロードセルによるケーブルの張力、変位計によって計測されるケーブルのソケットからの抜け出し量、鋼パイプのひずみ、および温度である。

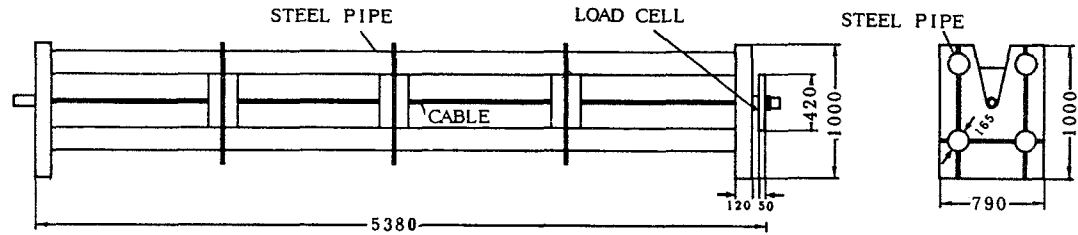


Fig-2.1 試験装置の全体図及び寸法

2.2 試験の原理

本試験ではケーブルを線形粘弾性体、鋼パイプを弾性体と仮定しているが、ケーブルの線形粘弾性モデルとして、Fig-2.2に示す3要素モデルを採用した²⁾³⁾⁴⁾。このモデルにおける応力 σ_c とひずみ ε_c の関係は次式のようなになる。なお、以後、添字Cはケーブル、Sは鋼パイプに関する諸量を表すものとする。

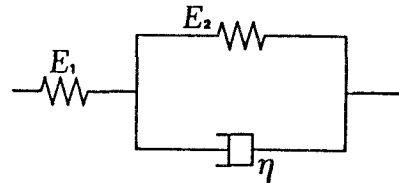


Fig-2.2 3要素モデル

$$\dot{\sigma}_c + \lambda \sigma_c = E_1 (\dot{\varepsilon}_c + \mu \varepsilon_c) \quad \dots (2.1)$$

ここに $\mu = E_2 / \eta$; $\lambda = (E_1 + E_2) / \eta$; $E_1, E_2 : (\text{kg}/\text{m}^2)$ $\eta : (\text{day} \cdot \text{kg}/\text{m}^2)$

(2.1)式をラプラス変換することにより、ラプラス像空間sにおける弾性係数 $\bar{E}_c(s)$ は次のようになる。

$$\bar{E}_c(s) = \frac{\bar{\sigma}_c(s)}{\bar{\varepsilon}_c(s)} = E_1 \frac{s + \mu}{s + \lambda} \quad \dots (2.2)$$

ここに $\bar{\sigma}_c(s)$ と $\bar{\varepsilon}_c(s)$ はそれぞれ $\sigma_c(t)$ と $\varepsilon_c(t)$ のラプラス変換を表す。

つぎにケーブルの引張力 $P(t)$ は初期張力 P_0 、リラクセーション係数 α 、時間特性を支配するパラメータ κ を用いて次のように表されるものとする。なお、 $P(t)$ は引張を正にとっている。

$$P(t) = P_0 [\alpha + (1 - \alpha) \exp(-\kappa t)] \quad \dots (2.3)$$

式(2.3)をラプラス変換し、式(2.2)を用いると、 $\bar{\varepsilon}_0(s)$ は次のようになる。

$$\bar{\varepsilon}_0(s) = - \frac{P_0 (s + \lambda) (s + \alpha \kappa)}{E_1 A_0 (s + \mu) (s + \kappa) s} \quad \dots (2.4)$$

ここに A_0 はケーブルの断面積である。また Δs を初期張力を導入したときのソケット部のナットの移動量とすると、ケーブルひずみ $|\varepsilon_0(t)| (= P(t)/A_0 E_0(t))$ 、 $E_0(t)$ はケーブルの弾性係数と鋼パイプのひずみ $\varepsilon_s(t) (= P(t)/A_s E_s)$ 、ただし、 A_s は鋼パイプの断面積、 E_s は鋼パイプの弾性係数)の関係は次のようになる。

$$|\varepsilon_0(t)| + \varepsilon_s(t) = \Delta s / L = \text{const} \quad \dots (2.5)$$

ここで L は供試体の全長である。次に、式(2.5)をラプラス変換して式(2.4)に代入し、 $\bar{\varepsilon}_s(s) = \bar{P}(s) / (E_s A_s)$ であることを考慮すれば、以下の条件式を得る。

$$\mu = \alpha \kappa, \quad \kappa = \frac{\lambda + \mu \frac{E_1 A_0}{E_s A_s}}{1 + \frac{E_1 A_0}{E_s A_s}} \quad \dots (2.6)$$

また、式(2.6)を式(2.4)に代入し、これをラプラス逆変換することにより、時間領域におけるひずみ $\varepsilon_0(t)$ として次式を得る。

$$\varepsilon_0(t) = \varepsilon_{00} [\beta + (1 - \beta) \exp(-\kappa t)] \quad \dots (2.7)$$

$$\text{ここに} \quad \varepsilon_{00} = - \frac{P_0}{E_1 A_0}, \quad \beta = \frac{\lambda}{\kappa}$$

一方実験により、任意の時刻 t_i ($i=1 \sim n$)に対して無次元化された軸力 $p_i = P(t_i)/P_0$ と無次元化されたひずみ $q_i = \varepsilon_0(t_i)/\varepsilon_{00}$ が求められる。そして定数の同定を行うために、得られたデータに対してそれぞれ式(2.3)と式(2.5)を用いて最小二乗法を適用すればよい。その同定法の詳細については他の文献に譲る¹⁾。

これによって α と κ の値の同定を行うと、式(2.6)より λ 、 μ が逆に求められることになる。

3. 実験の経過及び考察

本試験では供試体として5本のケーブルを用いており、以下それぞれをケーブルタイプ1～ケーブルタイプ5で表す。それらは冒頭に述べたようにそれぞれ3種類のストランドと3種類の定着形式の異なる組み合わせであり、そのストランドの種類、定着形式、力学的諸量等はTable-3.1に示す通りである。

実験を開始して以来約24カ月が経過したが実験は順調に進んでおり、Fig-3.1～Fig-3.3は縦軸にケーブル張力をとっており、ケーブルタイプ1～ケーブルタイプ5のリラクセーションの様子を示したものである。ここで張力の値はロードセルの値をそのまま使用している。つぎにFig-3.4～Fig-3.6は縦軸にケーブルのひずみをとったものでケーブルタイプ1～ケーブルタイプ5のクリープの様子を表している。ここで縦軸のひ

Table-3.1 各供試体の種類、及び力学的諸量

	cable type-1	cable type-2	cable type-3	cable type-4	cable type-5
ケーブル長	5.414m	5.452m	5.433m	5.433m	5.416
ケーブル様式	ストランド1 ($\phi 5 \times 37$)	ストランド1 ($\phi 5 \times 37$)	ストランド2 ($30 \phi 6$)	ストランド2 ($30 \phi 6$)	ストランド3 ($\phi 5 \times 37$)
ソケット様式	定着1	定着2	定着1	定着2	定着3
断面積(cm^2)	7.265	7.265	6.05	6.05	7.265
破断強度(tonf)	114	114	81.4	81.4	118
初期導入張力(tonf)	31.2	27.0	23.4	21.4	25.7

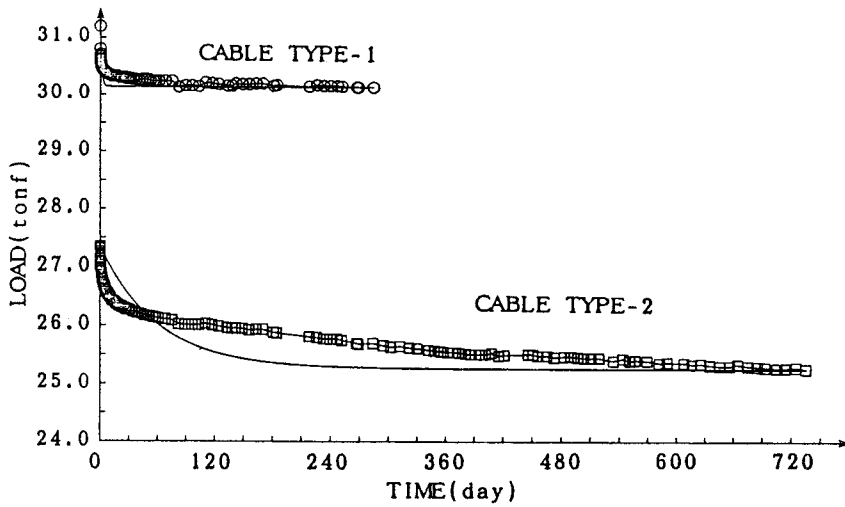


Fig-3.1 ケーブル力の経時変化（ケーブルタイプ1、2）

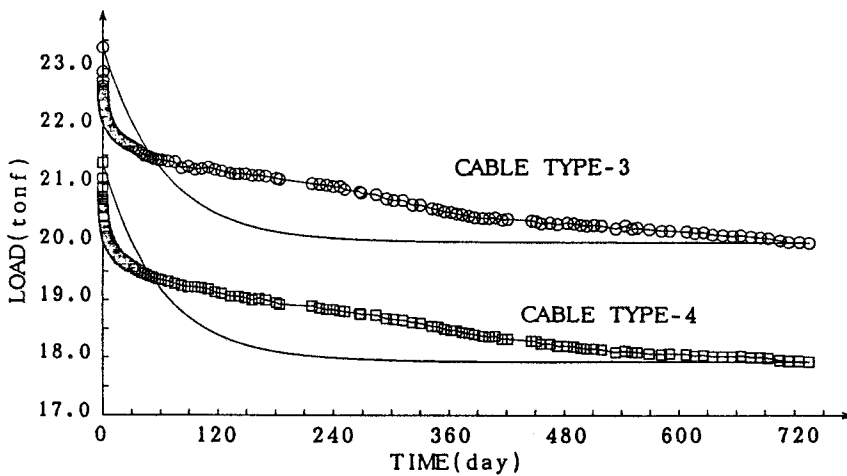


Fig-3.2 ケーブル力の経時変化（ケーブルタイプ3、4）

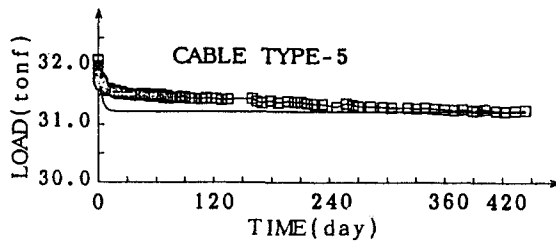


Fig-3.3 ケーブル力の経時変化（ケーブルタイプ5）

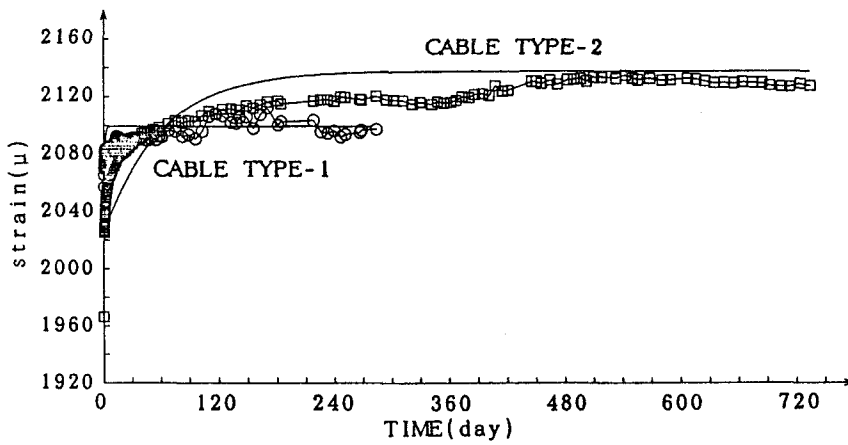


Fig-3.4 ケーブルひずみの経時変化（ケーブルタイプ1、2）

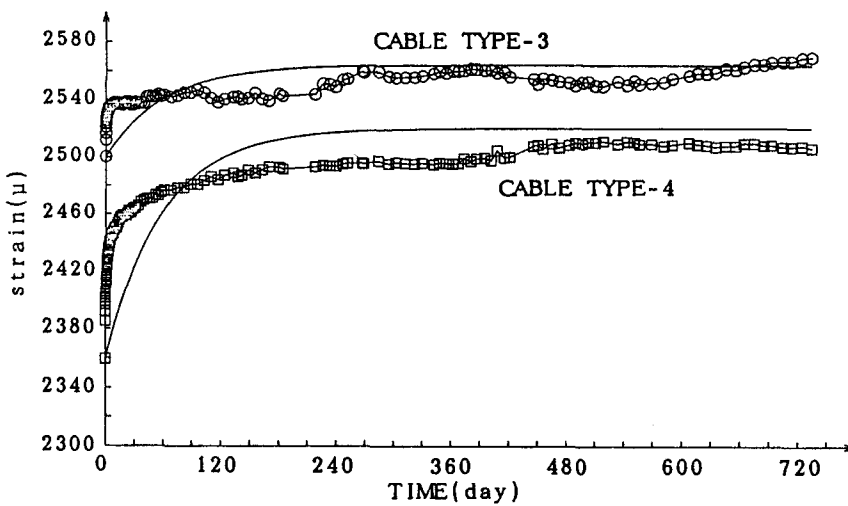


Fig-3.5 ケーブルひずみの経時変化（ケーブルタイプ3、4）

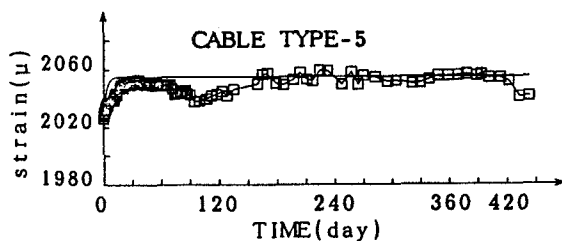


Fig-3.6 ケーブルひずみの経時変化（ケーブルタイプ5）

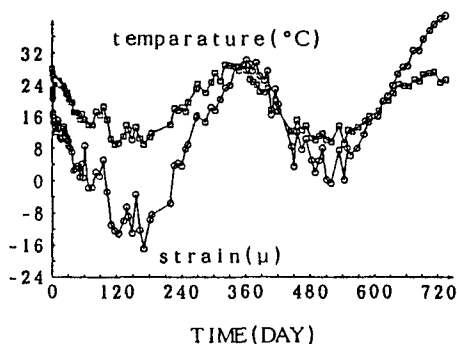


Fig-3.7 ひずみゲージの値の季節変動
（ケーブルタイプ2）

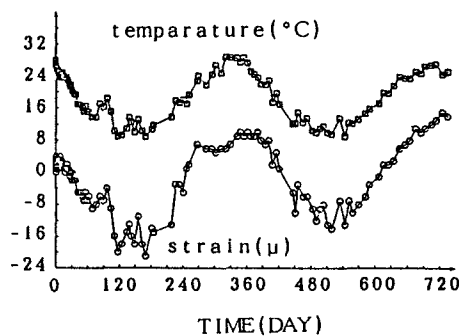


Fig-3.8 ダミーゲージの値の季節変動

ずみの値を支配するものはひずみゲージと変位計の値すなわちそれぞれ鋼パイプのひずみとソケットからの抜け出し量であるが、両者とも温度に依存して値が変動することが明らかになっている。Fig-3.7はケーブルタイプ2についてひずみゲージの値の初期値からの変動と温度との相関関係を示したものであるが、季節変化の影響が特に顕著になっている。他のケーブルタイプについても同様の傾向が認められる。そこで温度補正の具体的な方法として、ダミーゲージの値を用いて補正を行った。Fig-3.8にダミーゲージの値の初期値からの変動と温度との相関を示す。また変位計の値についても零点移動の式をもとに補正を行った。

Fig-3.1、Fig-3.4を見ればわかるようにケーブルタイプ1についてはリラクセーション、クリープともに約20日で収束したと見なすことができる。そこで実験開始後約9カ月をもってケーブルタイプ1の計測は終了し、新たにケーブルタイプ5（ストランド3、定着3）の計測を行っている。ここで、ストランド3とは直径5mmの垂鉛めっき鋼線を平行に集束しながら引張強度および弾性係数を低下させない程度のピッチでケーブルに撚りを加え、ケーブル表面に工場で防食加工した後、両端を定着3で加工したものである。また、定着3は垂鉛銅合金とエポキシ樹脂を用いた新しい定着形式のソケットである。

また、Table-3.2にはケーブルタイプ1～ケーブルタイプ5の計測値をもとに同定された結果としての粘弾性定数の値を示す。これをみれば各供試体のクリープ量は主に定着形式に依存していることがわかる。これは装置の剛性が高いため、ケーブルとしての見かけのクリープはおもにソケットからの抜け出しで支配されているからであろう。また、クリープ係数は定着1で1.014～1.026であるのに対し、定着2では1.055～1.069と、定着2の方がクリープ挙動が顕著である。また定着2を有するケーブル（ケーブルタイプ2とケーブルタイプ4）は共に400日付近から二次的なクリープ挙動が観測される。

さて、リラクセーション量はおもにストランドの種類に依存しており、ストランド1で3.4%～7.6%であるのに対し、ストランド2では14.3%～16.1%となっており、ストランド2のほうがリラクセーション挙動

Table-3.2 粘弾性定数の同定値

	ケーブルタイプ1	ケーブルタイプ2	ケーブルタイプ3	ケーブルタイプ4	ケーブルタイプ5
ρ	21.65	7.013	5.066	3.648	24.04
α	0.966	0.924	0.857	0.839	0.972
β	1.014	1.055	1.026	1.069	1.013
κ	0.759	0.0167	0.0163	0.0167	0.336
μ	0.733	0.0154	0.0140	0.0140	0.327
λ	0.770	0.0176	0.0167	0.0178	0.341
η	5.48×10^{11}	9.10×10^{12}	5.80×10^{12}	4.17×10^{12}	1.47×10^{11}
T	1.363	64.84	71.57	71.56	3.058

 κ, μ, λ ; 1/day η ; day·kg/m

T; day

は顕著である。これはストランド1はその素線がただ束ねられただけであるのに対し、ストランド2では素線が撚りあわされた構造となっており、素線のクリープ・リラクセーションに加え、撚りに起因する構造的なクリープ・リラクセーションが発生するからであると考えられる。以上よりこの4本の中ではストランド1、定着1の組み合わせが最もクリープ・リラクセーションが少ないという結果が得られた。ただし、ストランド2ではこのような構造伸びを事前に除去するためプレストレッシングとして破断強度の約45%の荷重下で5分間保持することが通常行われている。

つぎにケーブルタイプ5であるがまず、リラクセーション量は2.8%とストランド1と同程度である。またケーブルとしてのクリープ係数であるが、定着2に近い性質を有するソケットであるにもかかわらず見かけ上は1.013と非常に少ない値になっている。定着3においてはストランド製作時、予めプレコンプレッションと称してソケットの後方より亜鉛コーンをストランドの破断強度の約45%に相当するプレス荷重で約30分かけて押し込む処理を行っているため、クリープ挙動の一部は計測開始までにすでに終わっており、Fig-3.6はその後に続いて起こるクリープ挙動であると解釈できる⁵⁾。一方ケーブルタイプ1～ケーブルタイプ4に対してはプレコンプレッションを行わず、供試体を試験機にセットした時点でストランドの破断強度の33%に相当する引張荷重を導入し、5分間保持した。このようにケーブルタイプ5はクリープ・リラクセーション共に見かけ上は非常に少ないが、ケーブルタイプ1～ケーブルタイプ4とは試験条件が異なるため、ストランド3、定着3自体のクリープ・リラクセーション性能の優劣については断定すべきではないであろう。

4. ニールセン橋への適用

冒頭に述べたようにニールセン橋の経時挙動解析をあるモデル橋（以下モデル橋1と表す）を例にとり行った。解析法としてはまずケーブルを3要素モデルで表される線形粘弾性体、ガーダー、アーチリブを弾性体と仮定する。次に対応原理を用いてラプラス像空間において有限要素法を適用し、ガーダー、アーチリブ、ケーブルのつりあい式をつくる。そしてそれらを静的に合成すると像空間におけるつりあい式を得るのでこれを解けば、像空間における離散化された厳密解を得ることになる。そこで極限值定理を用い、精度に注意して数値ラプラス逆変換を行うことにより現空間における解を求めた²⁾。

Fig-4.1にモデル橋1の概形、及び有限要素解析の際の分割図を示す。このモデル橋は左右対称構造を有しており、ケーブルタイプ2に対応するストランド1、定着2の組み合わせが用いられているが、仮に他のケーブルタイプを用いていたならばどうなったかも試算してみた。ケーブルの粘弾性定数は実験で得られたデータをそのまま用いた。すなわち、異なるストランドと定着を用いた場合の5種類の結果が得られている。

Fig-4.2にケーブルタイプ2を用いた場合の各節点の節点変位と節点変位のクリープ係数を示す。また現空

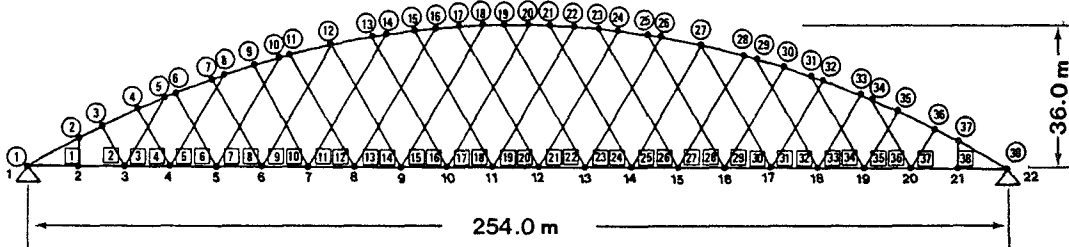


Fig-4.1 モデル橋1の概形

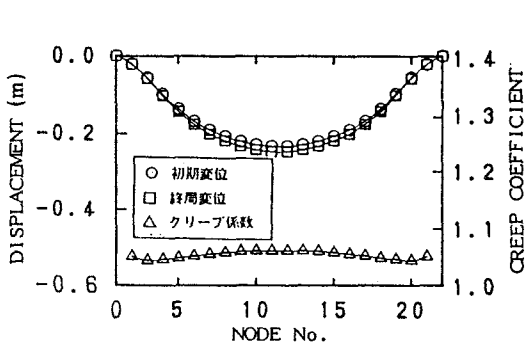


Fig-4.2 節点変位とクリープ係数
(ケーブルタイプ2)

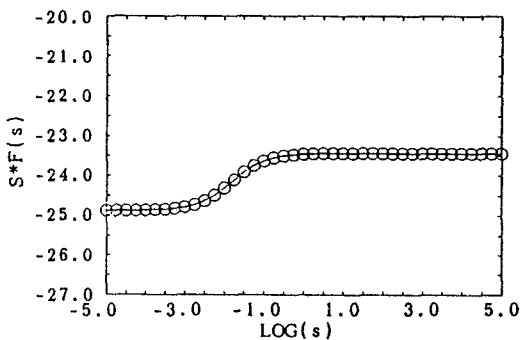


Fig-4.3 節点10の節点変位の
像空間における解

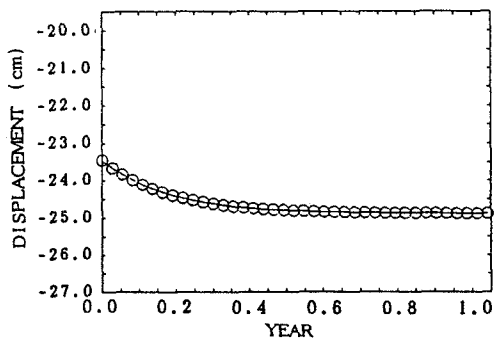


Fig-4.4 節点10の節点変位の経時変化

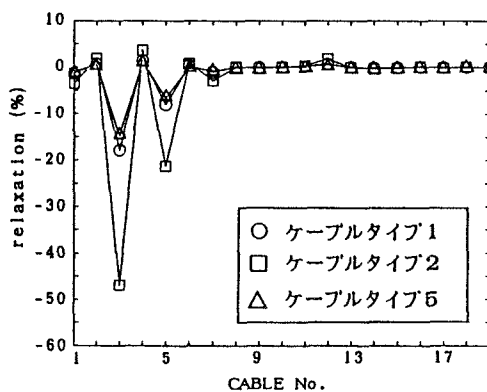


Fig-4.5 ケーブルのリラクセーション量
(ケーブルタイプ1, 2, 5)

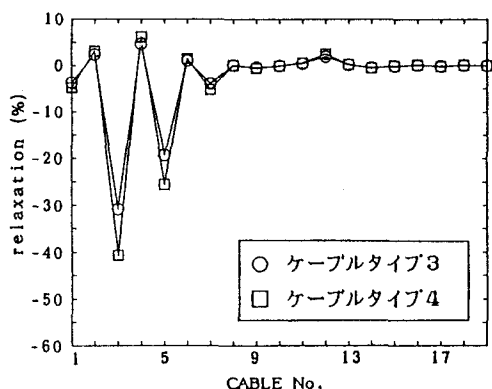


Fig-4.6 ケーブルのリラクセーション量
(ケーブルタイプ3, 4)

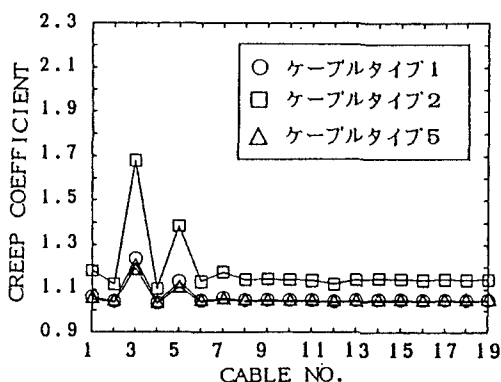


Fig-4.7 ケーブルのクリープ係数
(ケーブルタイプ1, 2, 5)

間における解を $f(t)$ 、ラプラス像空間における解を $\bar{f}(s)$ とすると節点10の節点変位の $\log s - s \cdot \bar{f}(s)$ 曲線をFig-4.3に示し、これを逆変換して得られた現空間における経時変化をFig-4.4に示す。

さらに、Fig-4.5、Fig-4.6にモデル橋1について各ケーブルのケーブル力の弾性解に対するリラクセーション量(%)を示す。ここではストランド1系統のケーブル(ケーブルタイプ1, 2, 5)を用いた場合とストランド2(ケーブルタイプ3, 4)を用いた場合の2通りの解析結果を示している。またケーブル力は減少する方を正にとっており、負値はケーブル力が増加していることを表す。またFig-4.7、Fig-4.8には各ケーブルのケーブルひずみのクリープ係数を示すが、ここでもストランド1系統のケーブルを用いた場合とストランド2を用いた場合の解を示す。

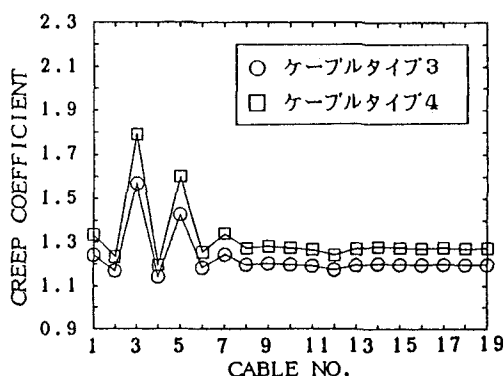


Fig-4.8 ケーブルのクリープ係数
(ケーブルタイプ3, 4)

5. 解析結果の考察

まず、Fig-4.2に示すとおり、節点変位、クリープ係数とも最大値をとるのはスパン中央付近であり、最大節点変位は約25cm、クリープ係数の最大値は約1.06と予想される。また、Fig-4.4をみれば、節点10の節点変位のクリープ挙動は約0.7年で収束することがわかる。

次に、Fig-4.5、Fig-4.6のリラクセーション特性をみるとそれぞれ使用したケーブル、定着の特性がよくでている。ケーブル力の減少の最大値はケーブルタイプ4を用いた場合約6%、増加の最大値はケーブルタイプ2を用いた場合にケーブル2において約47%にもなる。ただ、この斜材ケーブルは初期張力が約18tonfと他の斜材ケーブルに比べ非常に少ないので、増加率が見かけ上大きくなっていることを付記しておく。一方ケーブルタイプ5を用いたときにはケーブル力の変化は小さく、十分にプレコンプレッションを行えば基

本的に定着2に近い性質を有する定着であってもリラクセーション特性が改善されるという示唆を与えている。またケーブル力の変化の最大値が予想されるのはいずれのケーブルタイプを用いた場合でも両端支点付近であり、スパン中央付近ではケーブル力の経時挙動は安定していることがわかる。

次にFig-4.7、Fig-4.8をみればケーブルのクリープ係数はケーブルタイプ4を用いた場合にケーブル2において最大約1.8にもなることがわかる。ただ、さきにも述べたようにこのケーブルは初期張力が約18tonfという特異なケーブルであることを付記しておく。また1本1本のケーブルについてみるとクリープ係数が多いケーブルはケーブル力の増加量は大きく、クリープ係数が小さいケーブルはケーブル力の増加量が小さいかもしくは減少する傾向にある。そしてこの傾向はケーブルの番号順に交互に並んでいることに気づく。

数値解析は他にも2つのモデル橋について行っており、同様に各々のケーブルタイプを用いた場合の結果が得られている。これらのモデル橋を以下、それぞれモデル橋2、モデル橋3と表す。モデル橋2、モデル橋3の概形をFig-5.1、Fig-5.2に示す。

また、斜張橋について相対剛比 γ というパラメータが次式で提案されており⁶⁾、これを流用し各モデル橋について計算を行い、クリープ・リラクセーション挙動との相関関係を調べた。

$$\gamma = \frac{E_c \sum (A_i / L_i) \sin^2 \theta_i}{E_g I_g / L^3} \quad \dots (5.1)$$

ここに、 L_i :各ケーブルの長さ、 E_c :ケーブルの弾性係数、 A_i :各ケーブルの断面積、
 θ_i :各ケーブルの傾斜角、 E_g :ガーダーの弾性係数、 I_g :ガーダーの断面二次モーメントである。

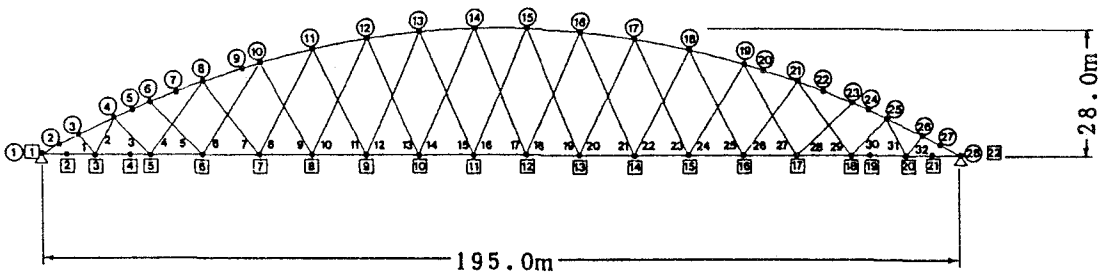


Fig-5.1 モデル橋2の概形

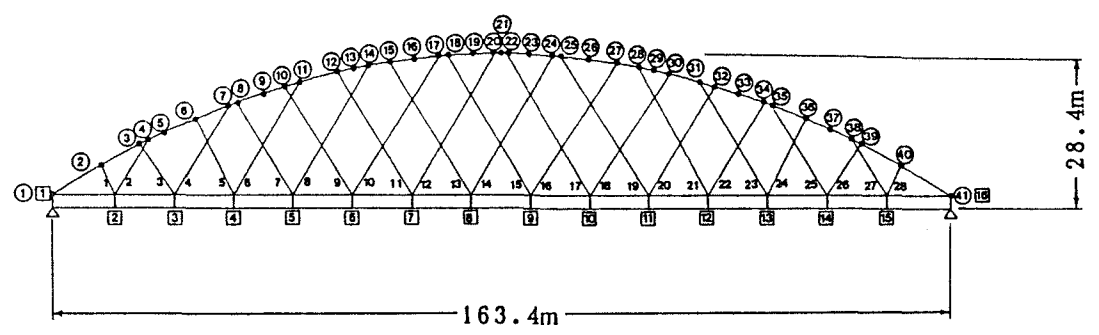


Fig-5.2 モデル橋3の概形

相対剛比 γ はガーダーとケーブルの荷重分担の割合を示しており、この値が大きいくほどケーブルによる荷重の分担の割合が大きくケーブルに対する依存度が高い橋であるといえる。ケーブルタイプ2を用いた場合の各モデル橋の相対剛比 γ とケーブルひずみのクリープ係数の最大値およびケーブル力の減少率の最大値(%)との関係をFig-5.3に示す。この図をみる限りでは相対剛比およびリラクセーション量との間には明確な相関関係は見受けられないが、これはケーブルのクリープ・リラクセーション挙動は相対剛比 γ のみによって規定されているわけではなく、ケーブルの本数、張り方など他の力学的な要因にも依存しているからであると思われる。つまりFig-4.1、Fig-5.1、Fig-5.2を

みればわかるように各モデル橋について1本のケーブルが他のケーブルと交差する数は、モデル橋1では3本であるのに対し、モデル橋2では1本、モデル橋3では2本であり、また L/f (L :スパン長、 f :アーチライズ)の値はモデル橋1で7.05、モデル橋2で6.96、モデル橋3では5.82とそれぞれ異なっている。このように3つのモデル橋の幾何学的形状の相違も大きくクリープ・リラクセーション挙動に影響を及ぼしているものと解釈できるがこれらのパラメータの影響度について今後調べる必要がある。

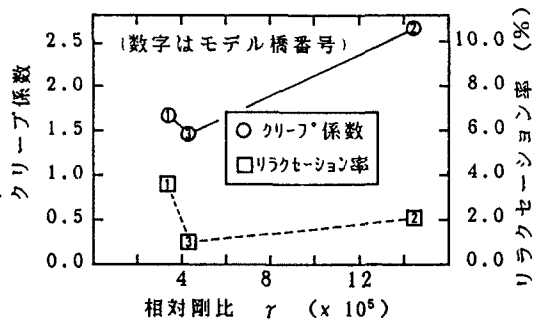


Fig-5.3 相対剛比 γ とクリープ係数およびリラクセーション量

6. 結論および今後の課題

本研究では、実物大ケーブルロープによる実験結果及び有限要素法による数値解析を通して、ニールセン橋の経時的挙動に重点をおいて、基礎的考察を行った。以下その結論を述べる。

- (1) 実験では5種類の実物大ケーブルについて長期間の引張試験を行い、そのクリープ・リラクセーションの様子を観察した。その結果、ストランド、及び定着の種類によってクリープ・リラクセーション特性は著しく異なることが明らかになった。また、ケーブルタイプ5のように十分にプレコンプレッションを行った場合には良好なクリープ・リラクセーション特性を期待できることがわかる。
- (2) 数値解析は、スパン長約250mのニールセン橋を取り上げて、ケーブルタイプ2を想定し、これに対して引張り試験によって同定された粘弾性定数を用いて行った。その結果節点変位のクリープ係数が最大約1.06という推定結果が得られた。また、ケーブル力の増加は約47%という高い値が得られたがこのケーブルは初期張力が小さいため、増加率が見かけ上大きく計算されることがわかった。それに対してケーブルタイプ1および5を用いた場合、ケーブル力の増加の最大値はそれぞれ、18%と15%という推定値が得られた。
- (3) 3つのモデル橋についてクリープ・リラクセーション挙動とその橋梁各部の荷重分担の割合の相関関係を調べるため相対剛比 γ とケーブル力の減少率、クリープ係数との相関関係について調べた。両者の間には明確な相関関係はみられなかったが、これは各モデル橋の幾何学的形状パラメータ等の差異による影響が複雑にからみあっていることによる。今後、これらの影響について詳細なパラメトリック解析を含む研究が必要に思われる。

- (4) ケーブル長は長期試験に大きな影響を及ぼすものと考えられる。しかし、いろんな長さのケーブル供試体を用いていちいち試験するのは大変なことである。本研究ではソケットを含んだケーブル全体を1つの粘弾性体として取り扱ったため、本試験法により同定される粘弾性定数はケーブル長に依存しないという解析結果が得られた。厳密には素線自体のクリープとソケットからの抜け出しを別個に取り扱って、ケーブル長の影響を考慮にいれた定数同定を行うのがよいと思われるので、実際にその手法も考案した。しかしその手法による解析結果とケーブル長を考え補正するなどの実橋への応用についてはまだ検討の段階であるので今回言及することは省略した。今後この点について更に詳細な研究が望まれる。

7. 謝辞

本研究の遂行に当り阪神高速道路公団工務部の吉川紀設計課長には有益など意見を頂戴した。また、神鋼鋼線工業株式会社および東京製鋼株式会社にも多大のお世話になった。記して感謝の意を表する次第である。

8. 参考文献

- 1) E. Watanabe et al: Full-size Creep and Relaxation Tests on Steel Cables, Int. Nat. Conf. Cable-Stayed Bridges, Bangkok, 951-962 (1987).
- 2) E. Watanabe et al: Creep Analysis of Prestressed Concrete Cable-Stayed Bridges, Int. Nat. Conf. Cable-Stayed Bridges, Bangkok, 645-656 (1987).
- 3) Y. Niwa, H. Nakai, E. Watanabe, I. Yamada: On Long-Term Behavior of Cables in Cable-Stayed Bridges, Proc. of JSCE, No. 368 (1986).
- 4) 中井博・渡辺英一・竹中裕文・林圭一: プレキャストコンクリート床版成桁のクリープ・リラクセーションに関する基礎的考察、構造工学論文集、Vol 33A, 235-298 (1987).
- 5) 社団法人土木学会: 関門橋工事報告書, 520-528 (1977).
- 6) 長大鋼橋研究委員会: 斜張橋の実績調査報告 (1982).

(1989年10月12日受付)