

大阪市立大学工学部 正 員 北田俊行 大阪市立大学工学部 正 員 山口隆司
 大阪市立大学工学部 正 員 中井 博 (株)日本工業試験所 正 員 ルイ・ザ・伯子・一ノ瀬
 大阪市立大学工学部 学生員 城岡正和

1. まえがき 斜張橋やニールセン橋に用いられているケーブル、および、その定着部は、時刻の経過とともに、初期ひずみが増加してゆくクリープ、および初期応力が低減してゆくリラクゼーションを引き起こす。そこで、本研究では、このような粘弾性挙動に起因する橋梁全体の变形、および応力の経時挙動を考慮できる構造解析プログラムを構築した。その際、ある時刻場における構造解析を有限要素法で、また、ある荷重場における経時挙動を差分法で定式化した。

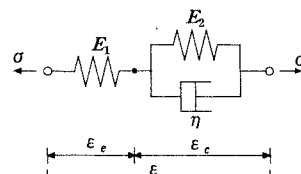


Fig. 1 線形粘弾性挙動を呈する3要素モデル

2. ケーブルの粘弾性体へのモデル化 ケーブルのクリープ・リラクゼーションの挙動の最も簡単なモデルとしては、Fig. 1 に示すバネ要素とフォークト要素とが直列に結合した線形粘弾性 3 要素モデルが対応する。ここで、 E_1 、および E_2 は各バネ要素のヤング係数を、また η はダッシュポットの粘性係数である。このモデルの構成則は、次式で表される。

$$\frac{d\epsilon_c}{dt} = -\frac{E_2}{\eta} \epsilon_c + \frac{\sigma}{\eta} \quad (1)$$

3. 解析プログラムの構築 ある時刻場に対する平面骨組構造解析プログラムは、文献 1) をもとにして、それにプレストレス力の導入や、座標系などの変更を行った。また、ある荷重場に対する数値積分については、文献 2) のルンゲ・クッタ・ギル法を用いた。本プログラムのフロー・チャートを、Fig. 2 に示す。まず、SUBROUTINE STAT2 によって、時刻 t_0 における構造解析を行う。つぎに、式(1)に SUBROUTINE RKG を適用することによって、時刻 $t_0 + \Delta t$ の時の各ケーブルのクリープによるひずみ増分 $\Delta \epsilon_{ic}$ を、求める。そして、クリープによる各ケーブルの見かけの張力増分 Δf_{ic} を求め、SUBROUTINE STAT2 に荷重ベクトルとして代入して構造解析を再び行う。その結果から、 Δf_{ic} による各ケーブルの応力増分 $\Delta \sigma_i$ とひずみ増分 $\Delta \epsilon_i$ とを、求める。同様に、 Δt 時間ごとに解析を繰り返し、終了時刻まで演算を繰り返す。

4. 本解析プログラムの検定 Fig. 3 に示すケーブルの応力が一定のモデル(model A)と、Fig. 4 に示すケーブルの応力が変化するモデル(model B)とに対して本プログラムを適用し、時間ステップを 0.1year にとって数値解析し、本プログラム

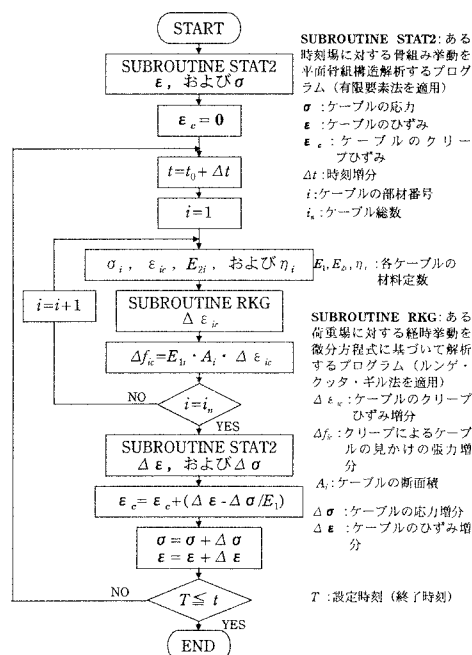


Fig. 2 解析プログラムのフロー・チャート

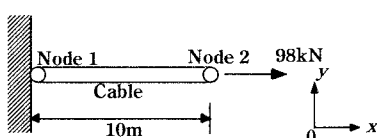


Fig. 3 解析モデル(model A)

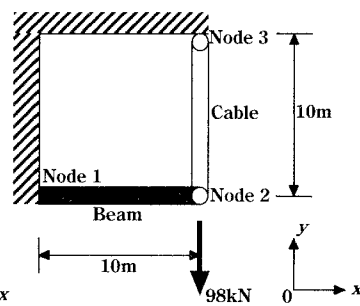


Fig. 4 解析モデル(model B)

Toshiyuki KITADA, Hiroshi NAKAI, Takashi YAMAGUCHI, Luiza H. ICHINOSE, Masakazu SHIROOKA

の検定を行った。応力一定モデルに関しては節点 2 の水平方向変位と時間の関係を、また応力変動モデルに関しては節点 2 の鉛直下方向変位と時間の関係を求め、厳密解と比較した。それらの結果を、Fig. 5、および Fig. 6 に示す。これらの図より、解析結果と厳密解とがよく一致しており、本プログラムは、有効であることがわかる。

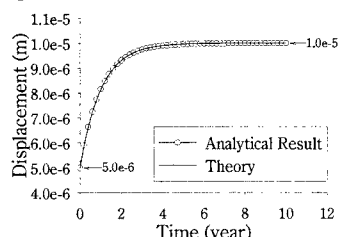


Fig. 5 時刻にわたる節点2の水平方向変位(model B)

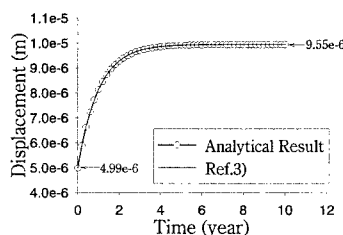


Fig. 6 時刻にわたる節点2の鉛直下方向の変位(model B)

5. 斜張橋の経時挙動解析への応用 Fig. 7 に示す斜張橋の解析モデルを設定し、本プログラムを用いて経時挙動の解析を試みた。ただし、構造物の対称性を考慮して Fig. 8 に示す解析モデルに対して数値解析を行った。ここで、ケーブルの粘弾性定数は、 $E_1=1.61 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、 $E_2=7.94 \times 10^7 \text{ N/mm}^2$ 、および $\eta=3.75 \times 10^7 \text{ year} \cdot \text{N/mm}^2$ とした。そして、主桁の形状変化、節点 38 の変位の経時変化、およびケーブル 48 の張力の経時変化を、求めた。それらの解析結果を、Fig. 10, Fig. 11, および Fig. 12 に示す。これらの図によると、約 2 年で最終状態に至り、節点 38 は 0.256m だけたわみ、またケーブル 48 の張力は約 200kN も減少することがわかる。

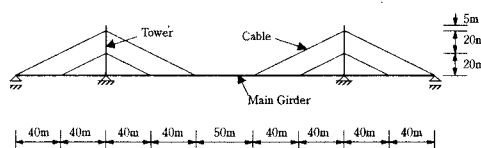


Fig. 7 斜張橋の解析モデルの構造諸元

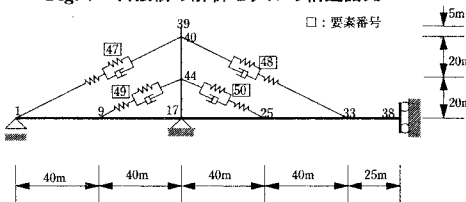


Fig. 8 解析モデル (対称性を考慮)

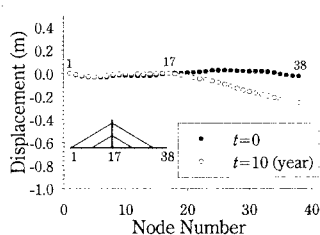


Fig. 10 主桁の形状変化 (10年経過後)

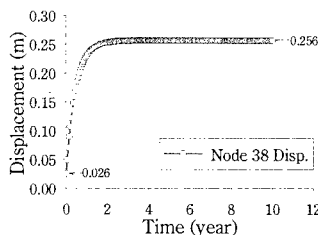


Fig. 11 節点38の鉛直下向きの変位の経時変化

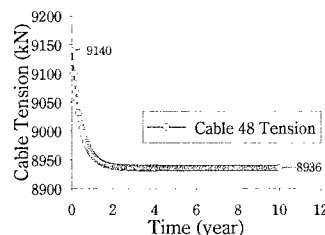


Fig. 12 ケーブル48の張力の経時変化

6. まとめ 本研究で得られた結論、および今後の課題を示すと、それらは、以下のとおりである。

- 1) クリープや、リラクゼーションの特性が明らかであれば（ある関数として定義できれば）、本プログラムを適用することにより、2次元解析であるものの、経時挙動の解析が可能である。
- 2) 本プログラムは、経時挙動を増分法で解析している。そのため、時間増分の間に、応力は、変化しないものと仮定している。したがって、時間間隔は、できるだけ短くとることが望ましい。ちなみに、本数値解析によると、最終状態に至るまでの時刻の 100 分の 1 程度を、時間間隔にとることが望ましい。
- 3) 本研究で構築したプログラムは、まったく基本的なものである。そこで、今後は、3次元構造物への拡張や、各種の境界条件に対応できるようにする必要がある。

参考文献 1) 藤谷義信：パソコンで解く骨組の力学，丸善，1993年3月。 2) 国井利泰 他：FORTRAN 数値計算とプログラミング，共立出版，1978年3月。 3) 丹波寛夫：複数の粘弾性要因を有する斜張橋の経時挙動解析，京都大学修士論文，京都大学大学院工学研究科土木工学専攻，1996年。