

I - A286

ケーブルを用いた鋼橋のクリープ・リラクゼーションの解析プログラムの構築

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 川・サ・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解析プログラムを、構築した。

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・リラクゼーション挙動を表現する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。同様にして、 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 に示す解析モデル(model A)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、本プログラムの検定を行った。その際、節点 2 の水平方向変位と時間との関係性を求め、厳密解と比較した。それらの結果を、Fig. 4 に示す。同図によると、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。

Key Words: ケーブル, 粘弾性, 経時挙動

連絡先: 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 Tel. 06-6605-2735 Fax. 06-6605-2765

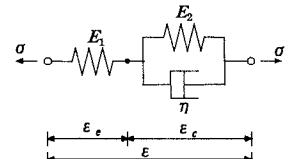


Fig. 1 線形粘弾性挙動を呈する3要素モデル

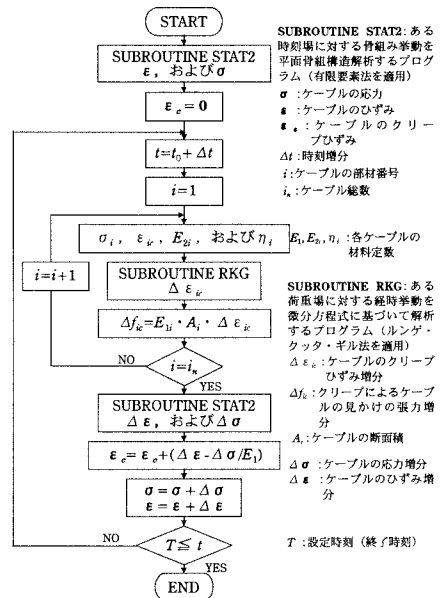


Fig. 2 本解析プログラムのフロー・チャート

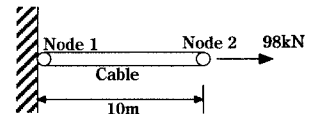


Fig. 3 ケーブル単体の解析モデル

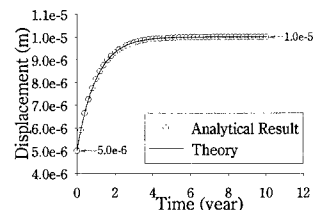


Fig. 4 ケーブル単体の時刻にわたる Node2 の水平方向変位

5. 斜張橋の経時挙動解析への応用 Fig. 5 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. 6 に示す解析モデルに対して数値解析を行った。その際、特性の異なる3つのケーブルを設定し、それぞれに対して解析を行った。各ケーブルの粘弾性係数³⁾を、Table 1 に示す。

Table 1 各ケーブルの粘弾性係数

部 材	E_1 (N/mm ²)	E_2 (N/mm ²)	η (year · N/mm ²)	ケーブルの種別
ケーブル A	1.60×10^5	4.04×10^8	4.90×10^7	PWS
ケーブル B	1.61×10^5	7.94×10^7	3.75×10^7	LCR
ケーブル C	1.93×10^5	7.22×10^8	3.37×10^7	SPWC

各ケーブル単体の特性を知るために、Fig. 3 のモデルに対し、ケーブルの粘弾性係数をそれぞれのものに入れ換え、節点 2 に集中荷重を 980kN 作用させた場合の数値解析を行った。その結果を、Fig. 7 に示す。同図によると、各ケーブルの特徴として、ケーブル A は、初期変位が大きいものの、比較的短い時間で変位が収束する。ケーブル B は、ケーブル A と同様に初期変位が大きく、かつ収束までの時間も長く、変化量も大きい。一方、ケーブル C は、初期変位も小さく、短時間で収束し、初期変位から収束変位までの変化量も小さい。

そして、主桁の形状変化、節点 38 の経時変化、およびケーブル 47 の張力の経時変化を、Fig. 8、Fig. 9、および Fig. 10 にそれぞれ示す。これらの結果は、各ケーブルの特性をよく反映しており、維持管理をする上で、経時変化を最も小さく、速やかに収束させるケーブル C が、最良のケーブルであるといえる。

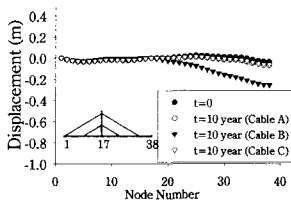


Fig. 8 主桁の形状変化 (10年経過後)

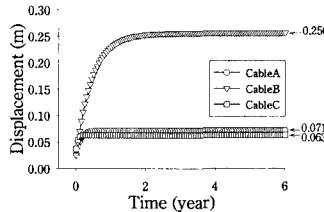


Fig. 9 節点38の鉛直下向きの変位の経時変化

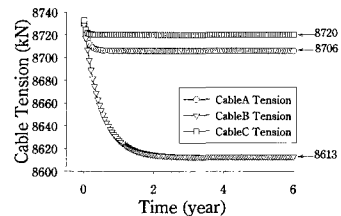


Fig. 10 ケーブル47の張力の経時変化

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）、本解析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、できるだけ短くすることが望ましい。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、まったく基礎的なものである。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改良する必要がある。

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) 渡邊英一 他：実物大ケーブルを用いたクリープ・リラクゼーション試験，構造工学論文集，Vol.36A，土木学会，pp.51-61，1990年3月