

合成構造物のクリープ・リラキゼーションに関する基礎的考察

福井高亨 校長 正員 丹羽 義次
 京都大学工学部 正員 渡辺 英一
 京都大学大学院 一ノ瀬 Luiza 伯子
 京都大学大学院 学生員 林 圭一

1 はじめに

プレストレストコンクリート構造物はもちろんのこと、ケーブルを用いた一部の構造物においては、クリープ・リラキゼーションのような長期的な挙動が起こるものと考えられる。本研究では、線形粘弾性体モデルを用いて数値逆ラプラス変換を応用することにより、このような現象を解析したので報告したい。数値解析の対象として、ニールセン橋とプレキャスト合成床版橋を取り上げた。

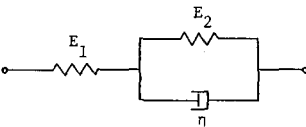
2 解析手法

まず、クリープ・リラキゼーションが生じる部分を図1のような3要素モデルを考え線形粘弾性体と

仮定し、その他の部分を弾性体と仮

定する。図1の3

図1. 3要素モデル



要素モデルにおいて、 $\bar{E}(s)$ をラプラス像空間における見かけのヤング率とすれば、

$$\bar{E}(s) = E_1 \frac{s + \mu}{s + \lambda}, \quad \mu = \frac{E_2}{\eta}, \quad \lambda = \frac{E_1 + E_2}{\eta} \quad \dots (1)$$

で与えられる。そこで、弾性体に対しては現空間において、粘弾性体に対してはラプラス像空間においてつり合い式を求めて、それらを像空間で合成すると合成構造物全体のつり合い式が得られる。ついで、得られた像空間の解を数値ラプラス逆変換することにより、現空間での解が求められる。

3 数値解析のための定式化

3.1 ニールセン橋

有限要素法により、線要素の剛性マトリックスは体積分により次式のようにになる。

$$[K_{ij}] = \left[\int_V B_{mi} \bar{D}_{mn}(s) B_{nj} dV \right] \quad \dots (2)$$

ここに、 $\bar{D}_{mn}(s)$ は主桁とアーチの弾性体に対してはヤング率 E 、ケーブルの線形粘弾性体に対しては、対応原理よりラプラス像空間におけるヤング率 $\bar{E}(s)$ をとる。

つぎに、主桁とアーチ、そしてそれらを結ぶケーブルの剛性マトリックスを像空間 s において合成すると、ニールセン橋全体のつり合い式は次式で表わせる。

$$\begin{Bmatrix} \bar{K}_{11}(s) \\ \bar{K}_{21}(s) \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{q}_1(s) \\ \bar{q}_2(s) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{P}_1(s) \\ \bar{P}_2(s) \end{Bmatrix} \quad \dots (3)$$

ここに、添字の1は主桁、2はアーチを表わし、 $\bar{K}(s)$ 、 $\bar{q}(s)$ 、 $\bar{P}(s)$ はそれぞれ剛性マトリックス、一般化変位、一般化力であり、 $\bar{K}_{12}$ 、 $\bar{K}_{21}$ はケーブルの粘弾性剛性である。

3.2 プレキャスト合成床版橋

合成橋の床版部分を粘弾性体、鋼桁部分を弾性体として、ラプラス像空間においてつり合い式、構成式、適合条件式を導く。

プレストレスを導入されたプレキャスト部分は、クリープにより軸収縮を起こすがこれを鋼桁と合成する場合、プレキャスト部分の応力状態は変化し、鋼桁部分には新

Yoshiji NIWA, Eiichi WATANABE, Luiza Hiroko ICHINOSE, Keiichi HAYASHI

しい応力が発生する。

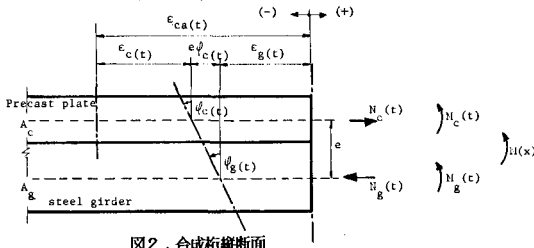


図2. 合成桁断面

このとき、プレキャスト部分の断面には軸方向引張力 $N_c(t)$ と曲げモーメント $M_c(t)$ 、鋼桁断面には、軸方向圧縮力 $N_g(t)$ と曲げモーメント $M_g(t)$ が生じていると考えられる。

従って、ラプラス像空間におけるつり合い式、適合条件式、構成式は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} \bar{N}_c(s) &= -\bar{N}_g(s) \\ \bar{M}_c(s) + \bar{M}_g(s) - \bar{N}_c(s)e &= \frac{M(x)}{s} \\ \bar{\epsilon}_c(s) &= \bar{\epsilon}_g(s) \\ \bar{\epsilon}_{ca}(s) &= \bar{\epsilon}_g(s) - \bar{\epsilon}_c(s) - \bar{\epsilon}(s)e \\ \bar{\epsilon}_c(s) &= \frac{\bar{M}_c(s)}{\bar{E}_c(s)I_c}, \quad \bar{\epsilon}_g(s) = \frac{\bar{M}_g(s)}{\bar{E}_g(s)I_g} \\ \bar{N}_c(s) &= \bar{D}_c(s)\bar{\epsilon}_c(s), \quad \bar{N}_g(s) = \bar{D}_g(s)\bar{\epsilon}_g(s) \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

ここに、添字のCはプレキャスト部分、gは鋼桁部分を表わし、 $\bar{N}(s)$ 、 $\bar{M}(s)$ 、 $\bar{\epsilon}(s)$ 、 $\bar{E}(s)$ はそれぞれ、軸方向力、曲げモーメント、曲率、ひずみである。なお、 $\bar{\epsilon}_{ca}(s)$ は合成を無視したときのプレキャスト部分のひずみである。

(4)式の8元1次連立方程式を解くことにより、ラプラス像空間における解を求めることができる。又これを数値ラプラス逆変換することにより現空間での解が得られる。

4. 数値解析例

ニールセン橋は、生浦大橋について解析を行なった。生浦大橋の寸法は以下に示す通りである。又プレキャスト合成床版橋の具体的な形状寸法等は当日詳しく発表する。

Span : 195 m
Arch rise : 28 m
Slab width : 8.25 m
Dead load : 10.62 t/m
Arch cross-section : 990mm x 1800mm
Girder cross-section : 990mm x 1200mm("I")
Cable : FWS - 127 (24.94 cm²)

[生浦橋の寸法]

なお、3要素モデルの粘弾性定数には、表1に示されている値を採用した。

表1. 粘弾性定数

	E_1	E_2	η	μ	ρ	λ	TT
ニールセン橋	1.6×10^{10} (kgf/cm ²)	3.2×10^{10} (kgf/cm ²)	2.95×10^{11} (kgf/cm ² ·yr)	0.10847	2	0.16271	8.2188 (yr)
プレキャスト合成橋	3.0×10^5 (kgf/cm ²)	3.0×10^5 (kgf/cm ²)	3.0×10^7 (kgf/cm ² ·day)	0.01	1	0.02	100 (day)

$$\mu = E_2/\eta, \quad \rho = E_2/E_1, \quad \lambda = (E_1 + E_2)/\eta, \quad TT = \eta/E_2$$

つぎに、解析結果の一例を示す。図3はニールセン橋のケーブルのひずみの経時的な変化を示すものであり、図4はプレキャスト合成床版橋のコンクリート部分のひずみの経時的な変化を実験結果と比較したものである。

なお、大阪市大の中井 博教授ならびに春本鐵工所には多大のお世話になりました。

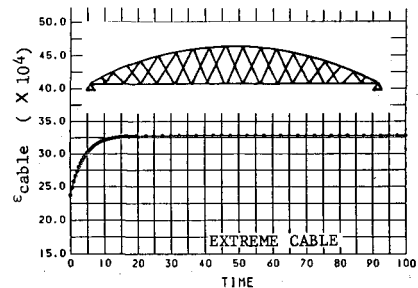


図3. ケーブルのひずみ-時間曲線

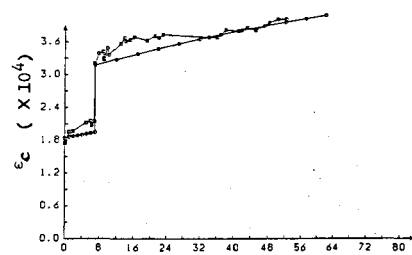


図4. コンクリート床版の軸方向ひずみ-時間曲線