

I-416

斜張橋の経時挙動予測のための
ケーブル・ソケットの定数同定に関する研究

三菱重工業(株) 正員 梅只 功 京都大学工学部 正員 渡邊英一
 京都大学工学部 正員 杉浦邦征 神戸製鋼(株) 正員 杉井謙一
 大阪市建設局 正員 亀井正博 大阪工業大学工学部 正員 栗田章光

1. はじめに

近年、その力学的合理性、経済性、美観等の理由から、斜張橋が数多く建設されている。一方では、そこに用いられるケーブルは弾性体ではなく、時間依存体としてクリープ・リラクセーションを起こすことが知られるようになってきた。斜張橋は高度にバランスされた高次不静定構造物であることもあり、そのクリープが橋梁全体に与える影響は無視できないと思われる。本研究ではこのような斜張橋の合理的な設計、維持管理にとって有益な情報の一つと考えられるケーブルの時間依存特性を明らかにすることを目的とする。

2. 実物大ケーブルの長期引張試験

供試体は、表-1に示す6タイプで、ケーブル素線として完全平行タイプと、弾性係数を低下させない程度のよりを施した疑似平行タイプの2種を用い、またソケットとしては、表に示す3種を用いた。導入軸力はいずれも破断強度の33%とした。試験方法については、文献を参照されたい。

試験結果をケーブル素線のクリープ挙動(図-1)と、ソケットの抜け出し挙動(図-2)とに分離して示す。ソケットの抜け出し量はケーブル定着長で無次元化している。図-1より、破断強度の低いタイプについては、完全平行・疑似平行に関わらず同様の経時挙動が得られており、ほぼ100日でクリープ挙動が終了しているのが分かる。これに対し、導入軸力を大きくした高強度タイプ(タイプ1)については、他と比べて4倍近いクリープ量となっており、また、800日を経た後もクリープ挙動が持続しているのが分かる。図-2より、ソケットの抜け出し量は、亜鉛鍍込タイプ、エポキシ樹脂と亜鉛銅合金を混合したもの、エポキシ樹脂と亜鉛および鋼球を混合

表-1 試験ケーブルの様式および破断強度

タイプ	ケーブル素線	ソケット	破断強度 (GPa)
1	完全平行	亜鉛鍍込	1.76
2	完全平行	亜鉛鍍込	1.51
3	完全平行	エポキシ樹脂+亜鉛+鋼球	1.57
4	疑似平行	エポキシ樹脂+亜鉛+鋼球	1.57
5	完全平行	エポキシ樹脂+亜鉛銅合金	1.57
6	疑似平行	エポキシ樹脂+亜鉛銅合金	1.57

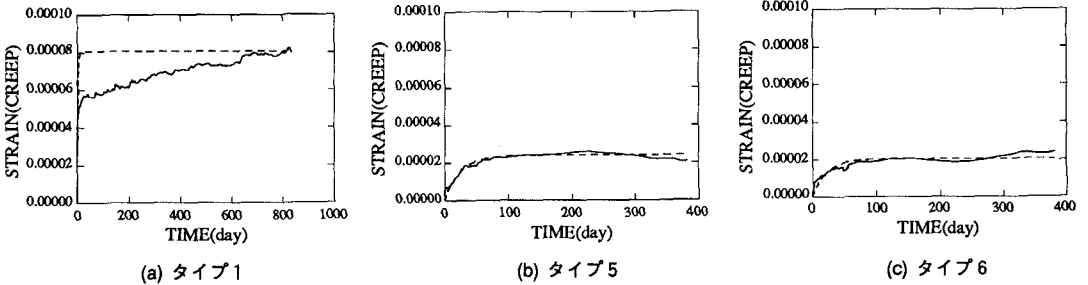


図-1 ケーブルのクリープ挙動 (実線: 実験値、破線: 3要素モデルによる予測値)

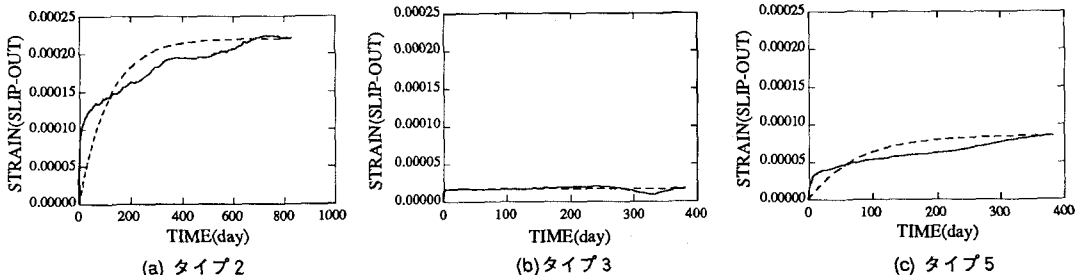


図-2 ソケットの抜け出し挙動 (実線: 実験値、破線: 3要素モデルによる予測値)

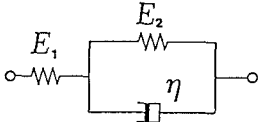
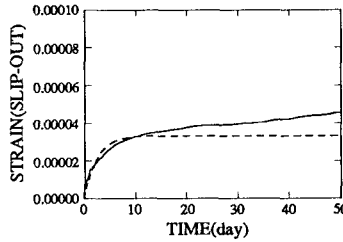
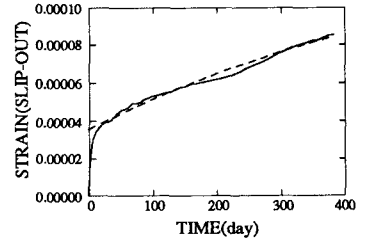


図-3 線形3要素粘弾性モデル



(a) 3要素モデルによる短期予測



(b) 修正3要素モデルによる長期予測

図-4 ソケット(タイプ5)の経時挙動

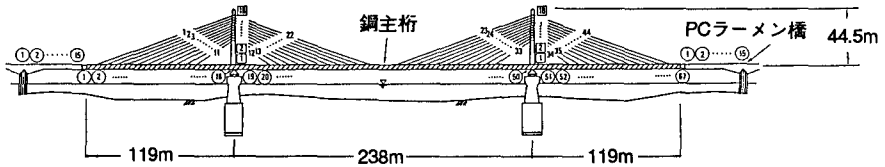
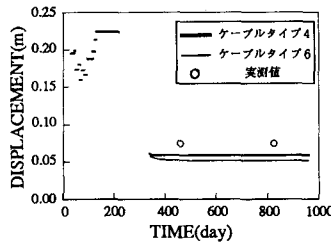


図-5 モデル橋の概要

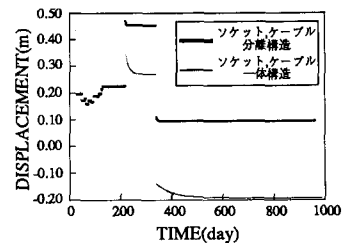
したものの順に小さくなる事が分かる。特に、エポキシ樹脂と亜鉛および鋼球を混合したタイプは、抜け出し量が小さい上、初期の抜け出しを完了した後はほとんど抜け出し量が増えず、優れた特性を有する。

3. 数学モデル

次にこれらの時間依存特性を図-3に示す線形3要素粘弾性モデルで評価する。このモデルは時間に関してラプラス変換すると一般の弾性体と同様に扱えるため、構造解析時において有利となる。図-1、図-2に本モデルによる同定曲線を破線で示した。長期にわたってクリープまたは抜け出し続けるものに関しては、本モデルでは精度よく評価出来ない。そこで、経時挙動を短期予測と長期予測の2種類にわけて評価する方法を考えた。架設段階を対象とした短期的な経時挙動を評価する際には、図-4(a)に示す様に必要な期間のみについて3要素モデルで近似してやれば良好な近似曲線が得られる。長期的な予測をする際には、3要素モデルの粘弾性部のひずみ挙動が $\epsilon = \bar{\epsilon}(1 - \alpha e^{-\lambda t})$ で表されると仮定する。なお、通常の3要素モデルでは、 $\alpha = 1$ となる。図-4(b)に示す様に、本モデルによって良好な近似曲線が得られることがわかる。



(a) ケーブルタイプ4・6



(b) ケーブルタイプ1

図-6 主桁中央(節点31)のキャンパー変化

本モデルによる同定曲線を破線で示した。長期にわたってクリープまたは抜け出し続けるものに関しては、本モデルでは精度よく評価出来ない。そこで、経時挙動を短期予測と長期予測の2種類にわけて評価する方法を考えた。架設段階を対象とした短期的な経時挙動を評価する際には、図-4(a)に示す様に必要な期間のみについて3要素モデルで近似してやれば良好な近似曲線が得られる。長期的な予測をする際には、3要素モデルの粘弾性部のひずみ挙動が $\epsilon = \bar{\epsilon}(1 - \alpha e^{-\lambda t})$ で表されると仮定する。なお、通常の3要素モデルでは、 $\alpha = 1$ となる。図-4(b)に示す様に、本モデルによって良好な近似曲線が得られることがわかる。

4. 橋梁全体の経時挙動解析

本実験で得られた実験値に基づき、架設段階を考慮した橋梁全体の経時挙動解析をラプラス変換を利用した有限要素法により行った。図-5にモデル橋の概要を、図-6に解析結果の一例を示す。図-6(a)より、ソケットの抜け出し量の違いがキャンパー変化の違いとなって表れているのが分かる。また、図-6(b)はソケットの抜け出しとケーブルのクリープを分離せずに扱った場合との比較を示す。キャンパー変化において30cm近い誤差があらわれており、両者を分離することの重要性が分かる。

5. まとめ

ケーブル・ソケットの長期引張試験を行い、ケーブル素線・ソケットの時間依存特性には、短時間でクリープおよび抜け出しを終えるタイプと、長期間にわたりクリープおよび抜け出し続けるタイプがあることを確認した。後者のタイプは線形3要素粘弾性モデルでは良好な近似がおこなえないが、これを短期予測と長期予測の2つに分けることで精度良い評価が可能になることを示した。また、同実験結果をもとに斜張橋の経時挙動の全体解析を行い、ソケットの抜け出しとケーブルのクリープを分離して扱う必要性を指摘した。

(文献) 渡邊英一、亀井正博、井下泰具、中出取：構造工学論文集、Vol. 36A、pp.51-61(1990)