

國立中央大学 正会員 周 健捷

早稲田大学 正会員 依田 照彦

早稲田大学 正会員 堀井健一郎

1. まえがき

斜張橋に使用されるケーブルは、単に設計荷重に耐えるだけでなく十分な疲労強度を持ち、長期変動荷重による疲労に耐えなければならない。変動荷重を受けるケーブルの信頼性解析では、通常、活荷重の不規則性と応力振幅との関係を求めて、将来の応力振幅を推定し、マイナーの累積被害則によって損害の確率を求めるという手法がとられている。〔本報告では、台湾でのPC斜張橋－光復大橋－を例に、実橋の交通荷重調査を行い、活荷重の確率統計的特性を求め、長期変動荷重を受けるケーブルの信頼性解析を実施し、疲労設計法の確立に向けての資料を提供することを目的としている。〕

2. 解析方法

本報告で利用した疲労に対する信頼性解析の方法はつぎのとおりである。

(1) 斜張橋のケーブルの影響線を、トラス、はりなどの構造要素を使用して有限要素法により求める。(2) 車種を7種類に分け、実橋において交通調査を行い、車種の混入率、車頭間隔などの確率モデルを作成する。(3) 車両活荷重を橋梁に作用させ、ケーブル応力の時刻履歴曲線を求める。次にRainflow Counting Methodを利用して応力振幅の頻度分布を計算し、適切な応力の分布関数を定める。(4) 将来の交通量を推定し、文献1)に見られる「振幅数・台数比」 α を使用して、将来の応力振幅の頻度を推定する。(5) ケーブルの疲労寿命を算定するためのS-N曲線の確率モデルを Birkenmaierの確率モデル²⁾を基に設定する。(6) マイナーの累積被害則により疲労損傷の確率を求め、信頼性解析を行う¹⁾。

3. 結果及び考察

3-1. 光復大橋のケーブルの影響線解析

光復大橋は門型のラーメンの主塔を持ち、ケーブルが放射状に張られた、四径間のPC斜張橋である。全長402m、内側の二径間とともに134mで、主塔と主桁は一体構造とみなせる。二本二面のケーブルで主桁を吊りあげ、一本のケーブルは14本のストランドよりなり、各ストランドは12本の直径12.7mmのPC鋼より線で構成されている。ケーブルは直径30cmの鋼パイプに収められ、14本のストランドの内、10本が塔頂を貫き、主桁に固定され、その他の4本は塔頂に固定されている。影響線解析の結果を図1に示す。

3-2. 橋面の交通調査

橋面を走行する車の車頭間隔、車種などを調査した結果、車種の平均混入率は乗用車、小型トラック、大型バス、中型トラック、大型トラック、セミトレーラー、フルトレーラーの順でそれぞれ88.75, 5.42, 4.79, 0.79, 0.18, 0.05, 0.03 %であり、平均車重はそれぞれ1.5, 5.5, 8.0, 12, 19, 31, 37 トンであった。図2に車頭間隔の分布図を示す

3-3. ケーブルの応力振幅の算出

調査データを基に24時間連続、四車線の車列をシミュレーションして、その車列を橋梁に作用させ、ケーブル応力の時刻履歴曲線を得た。乗用車と大型車との混入率と平均車頭間隔を変えたときの様子を見るために、中型トラック、大型トラック、大型バスの混入率を固定し、大型車の混入率を2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 30 %の8 ケースについて変化させ、平均車頭間隔についても15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 mと変化させ、四車線6000台の車をシミュレートさせた。図3に応力振幅の分布図を示す。図4に平均車頭間隔、大型車混入率と振幅数台数比 α 、応力振幅分布関数のパラメータ λ との関係図を示す。

3-4. ケーブルの信頼性解析

ケーブルの信頼性解析を行う場合には、橋梁の将来の交通量の推定が不可欠である。光復大橋の交通調査によれば、現在の交通量は約55000 台/日で、その附近の台北大橋の交通量は約63000 台/日である。E級の道路設計基準（設計車速40km/hr）では四車線で66000 台/日と規定している。台湾の道路の交通量の増加率は年10%程度と推定できるので、光復大橋の最大交通量は66000 台/日を上限値としておけば良いことが分かる。したがって、供用期間中に通過する車の総台数は 2.3×10^9 台と推定できる。供用期間100 年間に大型車の混入率が5～35%に変化すると仮定する場合には図4より α をほぼ一定値の0.16におき、1.5～0.7に変化する λ の値を100 年間、直線的に変化させ、累積損傷の大きさDの確率密度関数 $f_D(y)$ 、超過確率関数 $G_D(y)$ を計算し、疲労損傷確率を求めた。図5に計算例を示す。図6は車列の組成が変化する場合の作用する応力振幅回数 $n(\sigma)$ と破断回数 $N(\sigma)$ との関係である。以上の図より、ケーブルの損傷確率は 1×10^{-6} のオーダーであることが確認できる。

4. あとがき

本報告は、台湾でのPC斜張橋—光復大橋—を例とし、橋面の交通調査の資料をもとにケーブルの信頼性解析を行ったものである。その結果、ケーブルの損傷確率は 1×10^{-6} 以下であることがわかった。この値は通常考えられている損傷確率に比べて十分小さな損傷確率である。実際に使用されているケーブルの疲労実験結果がなかったため、既往の文献をもとにS—N曲線を決定したが、小さな損傷確率が得られた原因の一つになっている可能性がある。今後の課題としたい。

謝辞：本報告はNational Science Council, R.O.C. 科学研究補助金（NSC76-0410-E008-05）の援助を受けた。記して、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 牧野文雄、小松定夫、岡田好彦、久保雅邦：変動活荷重を受けるケーブルの疲労に対する信頼性評価手法、土木学会論文集, No. 362/I-4, 1985. 10.
- 2) Birkenmaier, M. and Narayanan, R. (長井洋訳)：太径高強度斜張ケーブル疲労強度、橋梁, Vol. 10, No. 1, 1983. 1.

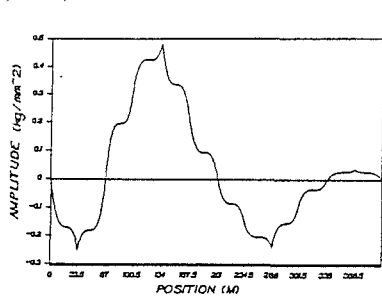


図1・光復大橋ケーブルの影響線

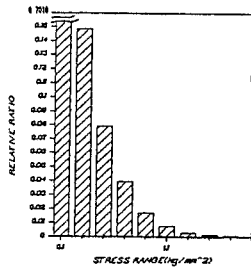


図3：応力振幅の頻度分布図

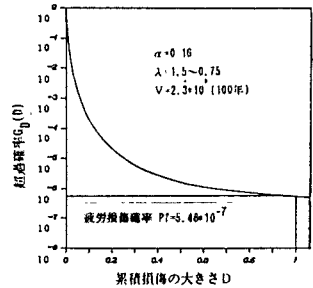


図5：累積損傷の大きさDと超過確率との関係

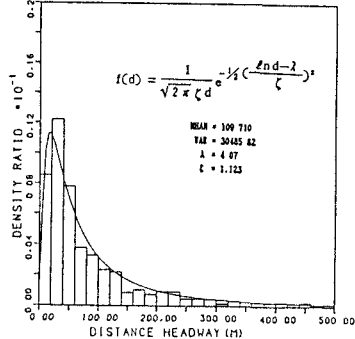


図2・車頭間隔の分布図

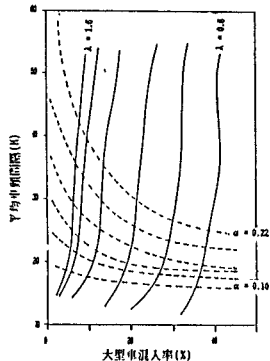


図4：平均車頭間隔、大型車混入率と損傷数台数 λ 、応力振幅分布関数のパラメータ α との関係

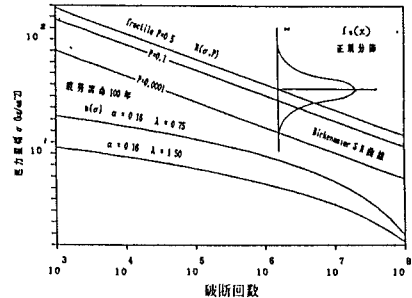


図6：車種混入などを変化させた場合のケーブル破断回数 $N(\sigma, P)$ と応力振幅 σ との関係