

変位抑制装置における性能確認試験支援について

松本英敏, 戸田善統

環境建設技術系

1 はじめに

地震国日本において、既設橋梁にレベル2地震動による動的解析を実施すると、既設水平反力分散支承は許容せん断ひずみを超える場合がある。そこで本試験は、既設支承を取替えることなく、ゴム沓部品の破断を防止するために別途設ける変位抑制装置を提案しており、性能確認試験を支援したので報告する。

2 試験概要

2.1 試験体

試験体の構造は、上沓のくさび部位を下沓のバネ部材が通過することで橋梁の橋軸方向に抵抗力を発生させ変位を抑制する機構となっている。

今回発生する最大発生水平力 F は次式により表わす。

$$F_i = 2 \frac{k(\tan \theta \pm \mu) \tan \theta}{(1 + \mu \tan \theta)} x_i \quad (1)$$

k はコイルバネ定数 (N/mm), θ は上沓のくさび角度 ($^\circ$), μ はすべり材の摩擦係数, x は試験機変位である。今回の試験では、片振幅は 75mm, すべり材摩擦係数 μ は 0.1 である。

2.2 試験条件

性能確認試験は、変位抑制装置の変位-荷重曲線を求め、理論解が式(1)より計算されるので比較した。図2の履歴曲線は、 $k=400\text{N/mm}$, $\theta=15^\circ$, $\mu=0.1$, 片振幅 $x=75\text{mm}$ の1例である。計測はアクチュエーターの荷重, 変位, シリンダーバネの左右の変位, 左右それぞれ2ヶ所のひずみ, くさびの相対変位の合計9個である。試験条件として、くさび角度 θ を $10^\circ, 15^\circ$ の2ケースに関して実施した。加振波は sin 波と三角波2ケース, 周波数は6ケースである。確認を含めた標準試験を加えると合計で34ケースの試験を行う。

3 試験結果

平成26年1月24日に変位抑制装置公開実験があった。KABSE 橋梁支承の改善と補強に関する研究分科会のメンバーが来訪されての公開試験となった。図3はその一例である。

実験と理論解(赤線)が良く合っていることが伺える。今後は他のケースについても試験する予定である。

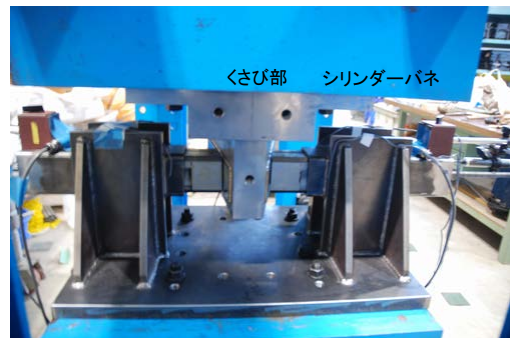


図1 変位抑制装置

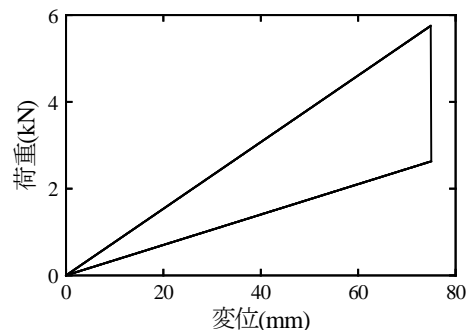


図2 試験体履歴曲線図(理論解)

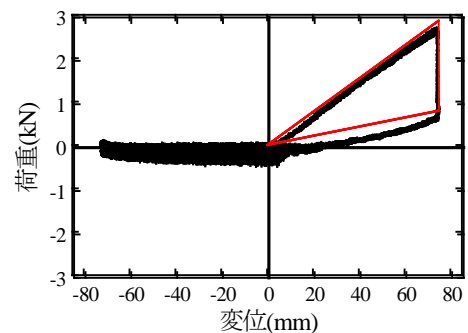


図3 試験体履歴曲線(実験)

4 パラメータ推定法

そこで、次に示す非線形最小二乗法によるパラメータの推定を試みた。推定式(2)を解くだけである。

$$\begin{bmatrix} \sum_i \left(\frac{\partial F_i}{\partial k} \right)^2 & \sum_i \left(\frac{\partial F_i}{\partial k} \frac{\partial F_i}{\partial \mu} \right) \\ \sum_i \left(\frac{\partial F_i}{\partial k} \frac{\partial F_i}{\partial \mu} \right) & \sum_i \left(\frac{\partial F_i}{\partial \mu} \right)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta k_0 \\ \delta \mu_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_i \frac{\partial F_i}{\partial k} R_i \\ \sum_i \frac{\partial F_i}{\partial \mu} R_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

ただし、 F は式(1)で表わされ、その他は

$$\begin{aligned} \frac{\partial F_i}{\partial k} &= \frac{2 \tan \theta (\tan \theta \pm \mu)}{(1 + \mu \tan \theta)} x_i \\ \frac{\partial F_i}{\partial \mu} &= \frac{2k \tan \theta \{ (\pm 1)(1 + \mu \tan \theta - (\tan \theta \pm \mu) \tan \theta) \}}{(1 + \mu \tan \theta)^2} x_i \\ R_i &= F_i - 2 \frac{k(\tan \theta \pm \mu) \tan \theta}{(1 + \mu \tan \theta)} x_i \end{aligned} \quad (3)$$

となる。初期値は $k_0=400\text{N/mm}$, $\mu_0=0.1$ とした。これを収束条件が $1/10,000$ になるまで、プログラムして繰り返した。

5 パラメータ推定結果

次に、式(1)で示される理論解と今回の実験値を比較したところ、図4に示されるように完璧には一致してないことが判る。そこで式(2)の非線形最小二乗法により、パラメータ推定を試みた。その結果が図5である。今回のデータは比較的良好で、3回で収束した。図4の赤線に比べて青線がより実験値に近いことが判る。この結果からコイルのバネ定数は $k=341.4\text{N/mm}$ 、すべり材の摩擦係数は $\mu=0.1176$ となった。

つまり、実験においては何らかの影響でコイルバネの製造値より約15%低減しており、摩擦係数もほんの少しだが小さく見積もっていた可能性がある。実験の精度等を含めて検討すべき課題といえる。今後は、その他のケースについても更に有益な結果が得られるような検証を行いたい。

このような実験並びに解析の機会をいただいた、自然科学研究科松田泰治教授に感謝致します。

参考文献

T.R.マッカーラ, 三浦 功, 田尾陽一, 計算機のための数値計算法概論, サイエンス社

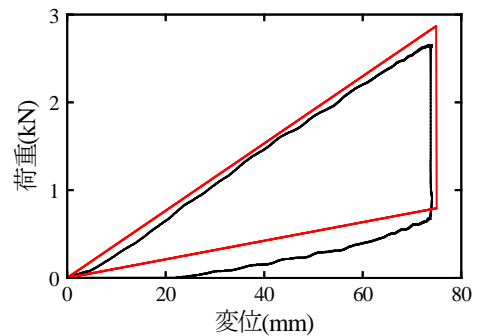


図4 実験値と理論値

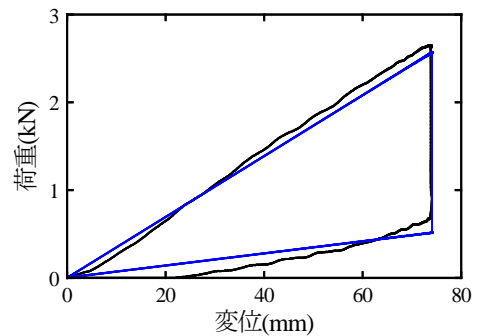


図5 実験値と推定値