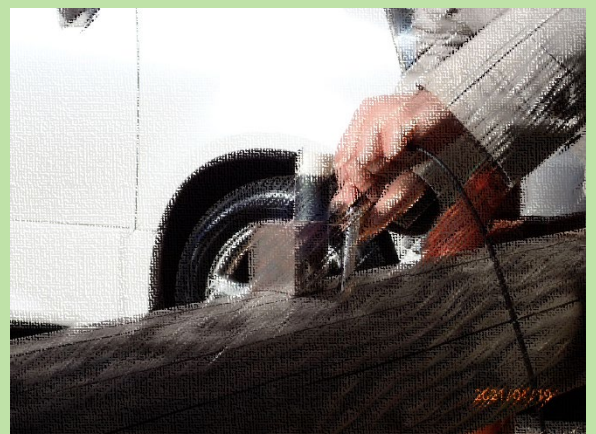


質量付加振動法による 新しい 木製ガードレール点検法



適用範囲

本パンフレットでは、木製防護柵(木製ガードレール)横梁のヤング係数を簡単に推定する方法を紹介しています。

ポイント

横梁の取り外し不要！
重量測定不要！
叩くだけ！



簡単に
ヤング係数を推定

【解説】

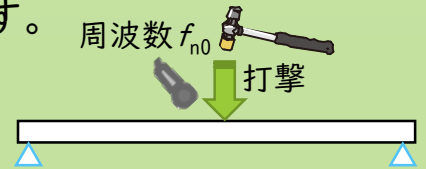
質量付加振動法とは

質量付加振動法は、検査対象に対する振動計測において、対象への質量付加前後の共振周波数の変化から質量を推定できる方法です。以下にその原理を示します。

両端自由条件における梁を打撃した場合(図1) に得られる共振振動数 f_{n0} は、以下の(1)式で表すことができます。

$$f_{n0} = (1/2\pi)(m_{n0}/l)^2(EI/\rho A)^{1/2} \quad \dots (1)$$

ただし、 f : 共振周波数, n : 振動次数, 0 : 錘なし,
 m : 定数 = 4.73 (1次の場合), l : 試験体長さ,
 E : ヤング率, I : 断面2次モーメント, ρ : 密度, A : 断面積



一方、梁に錘を付加した梁の打撃した場合(図2) は共振周波数 f_n が低下し、以下の(2)式で表すことができます。

$$f_n = (1/2\pi)(m_n/l)^2(EI/\rho A)^{1/2} \quad \dots (2)$$



ここで、錘の有無によらず梁の寸法、密度、ヤング率は不変であることから、上記振動数の比(f_n/f_{n0})を用いると、梁の質量 m_n は以下の(3a)式で求めることができ、とくに1次振動数を用いた場合、(3b)式で表すことができます。

$$m_n = (f_n/f_{n0})^{1/2} \quad \dots (3a)$$

$$m_1 = 4.73(f_1/f_{10})^{1/2} \quad \dots (3b)$$

また、両端自由振動条件における梁の振動数方程式は、以下の(4)式で表すことができます。

$$(\cos m_n \cosh m_n - 1) - (\mu m_n/2) \{ (\cos a m_n \cosh a m_n + 1)(\sin b m_n \cosh b m_n - \cos b m_n \sinh b m_n) + (\cos b m_n \cosh b m_n + 1)(\sin a m_n \cosh a m_n - \cos a m_n \sinh a m_n) \} = 0 \quad \dots (4)$$

μ : 質量比 (錘/試験体, 錘質量は測定)
 a ($a + b = 1$): 錘位置 (端部: 0 or 1, 中心: 0.5)

上記(4)式において、質量比 μ についての式に整理し、式(3b)を代入すると質量比 μ が得られます。得られた μ と錘の質量の実測値から梁の質量を求めることができます。

また、(1)式あるいは(2)式から、梁の両端自由条件下における動的たわみヤング係数を求めることができます。

点検方法

用意するもの

□ハンマー

□錘（1.3kg程度）

□両面テープ

□FFTアナライザ※1

※1 打撃音を収録・周波数分析ができるもの

□メジャー※2

※2 打撃点および錘の位置測定用

作業手順

1. ボルトを緩める



2. 叩く・周波数測定



3. 錘を貼る



4. 叩く・周波数測定



質量比（錘の質量／横梁の質量）

横梁の中央に錘を載せて打撃した場合

		錘がない場合の打撃による一次共振周波数 [Hz]																			
		200	199	198	197	196	195	194	193	192	191	190	189	188	187	186	185	184	183	182	181
錘を載せた場合の打撃による共振一次周波数 [Hz]	180	0.186	0.175	0.164	0.153	0.142	0.132	0.122	0.112	0.102	0.093	0.083	0.074	0.065	0.056	0.048	0.040	0.031	0.023	0.015	0.008
	181	0.174	0.163	0.152	0.141	0.131	0.121	0.111	0.101	0.092	0.083	0.074	0.065	0.056	0.048	0.039	0.031	0.023	0.015	0.008	
	182	0.162	0.151	0.140	0.130	0.120	0.110	0.101	0.091	0.082	0.073	0.064	0.056	0.047	0.039	0.031	0.023	0.015	0.008		
	183	0.150	0.139	0.129	0.119	0.110	0.100	0.091	0.082	0.073	0.064	0.055	0.047	0.039	0.031	0.023	0.015	0.007			
	184	0.139	0.128	0.119	0.109	0.100	0.090	0.081	0.072	0.064	0.055	0.047	0.039	0.031	0.023	0.015	0.007				
	185	0.128	0.118	0.108	0.099	0.090	0.081	0.072	0.063	0.055	0.047	0.038	0.030	0.023	0.015	0.007					
	186	0.117	0.108	0.098	0.089	0.080	0.072	0.063	0.055	0.046	0.038	0.030	0.022	0.015	0.007						
	187	0.107	0.098	0.089	0.080	0.071	0.063	0.054	0.046	0.038	0.030	0.022	0.015	0.007							
	188	0.097	0.088	0.079	0.071	0.062	0.054	0.046	0.038	0.030	0.022	0.015	0.007								
	189	0.088	0.079	0.070	0.062	0.054	0.045	0.038	0.030	0.022	0.015	0.007									
	190	0.078	0.070	0.061	0.053	0.045	0.037	0.030	0.022	0.015	0.007										
	191	0.069	0.061	0.053	0.045	0.037	0.029	0.022	0.014	0.007											
	192	0.061	0.053	0.045	0.037	0.029	0.022	0.014	0.007												
	193	0.052	0.044	0.037	0.029	0.022	0.014	0.007													
	194	0.044	0.037	0.029	0.022	0.014	0.007														
	195	0.036	0.029	0.021	0.014	0.007															
	196	0.029	0.021	0.014	0.007																
	197	0.021	0.014	0.007																	
	198	0.014	0.007																		
	199	0.007																			

計算例)

錘の附着位置：中心(α=0.5)

錘質量：1.28189kg

横梁直径：197mm，長さ：1978.5mm

一次共振周波数（錘なし）：191.65Hz

一次共振周波数（錘あり）：185.12Hz

→質量比：0.055（192（上）と185（左）の交点）

質量推定値 = 1.28189 ÷ 0.055 ≒ 23.3kg

質量実測値：24.68kg（推定値／実測値=1.05）

ヤング係数の計算

横梁の推定質量と公称寸法から密度の推定値が、以下の式からヤング係数推定値が計算できます。

$$E_{\text{推定値}} = \left(\frac{2\pi \times \text{一次共振周波数}^2 \times \text{公称長さ}^2}{\sqrt{\text{断面二次モーメント} \times \frac{2}{\text{断面積}}}} \right)^2 \times \text{密度}$$

※一次共振周波数：錘を載せずに叩いたときの実測値

※円形断面梁の断面二次モーメント = π × (直径)⁴ / 64

測定手法に関する補足

➤ 錘の形状およびその固定法について

- 本手法では付加した錘と防護柵横梁とが完全に一体化して振動することを前提としています。錘の形状は横梁に密着するような、例えば底面を横梁の曲率に合わせた曲率にする等されるのが好ましいです。また、錘と横梁の固定には強力両面テープあるいはビスで固定するようにしてください。

➤ 錘の位置と打撃点について

- 解説で示した式では錘の位置を変数で指定できるようになっていますが、可能な限り梁中央部を打撃することをお勧めします。また、打撃点も梁中央部（錘を叩いてもよい）とすることで一次共振周波数が測定しやすくなります。

➤ FFTアナライザについて

- 打撃による振動を音として収録し、共振周波数成分が表示できる機能があれば、専用の機器に限らず、スマートフォンのアプリやPC用フリーソフト等を使用することも可能です。

本資料の作成にあたって使用した文献を以下に示します。
より詳しく知りたい方はご参照ください。

- Y. Kubojima et.al.: Application of the vibration method with additional mass to timber guardrail beams, Journal of Wood Science, 64:767-775(2018)
- 久保島吉貴：重量測定を行わずに木材の重量，密度およびヤング率を求めるための振動試験方法 — 曲げ振動 —，木材工業，74(8)，P.330-334(2019)
- 財団法人日本道路協会：車両用防護柵標準仕様・同解説（2004）
- 「木製道路施設の耐久設計・維持管理指針策定のための技術開発」研究チーム：木製防護柵・遮音壁の耐久設計と維持管理指針（案），森林総合研究所第2期中期計画成果10（林業・木材利用-3）（2010）

質量付加振動法による 新しい 木製ガードレール点検法

発行：令和3年3月31日

編集・執筆

運営費交付金プロジェクト「土木分野における木材の利用技術の高度化」木製ガードレール横梁劣化診断チーム（原田真樹、久保島吉貴、桃原郁夫）

問合せ先

029-829-8377（相談窓口）

※本成果は、国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所運営費交付金プロジェクト「土木分野における木材の利用技術の高度化」における成果の一部です。