

拘束せん断層を有するはりのロスファクターに関する検討

山口大学工学部 正員○麻生稔彦
山口大学工学部 正員 會田忠義
山口大学工学部 伊藤健二

1. はじめに

拘束せん断層を有するはりは航空機等に用いられているが、既往の研究では主としてはりの全長に渡り拘束せん断層を設置した単純ばりが対象とされており、ロスファクターに与える拘束せん断層の設置位置や支持条件の影響についての研究はあまり見受けられない。そこで、本研究では拘束せん断層を有するはりの土木構造物への適用を想定し、はりの支持条件と拘束せん断層の設置位置がロスファクターに与える影響を検討した。

2. ロスファクターの解法

拘束せん断層を有するはりの概要を図-1に示す。①は高さ H_1 、長さ L の基本ばりであり任意の支持条件を持つものとする。②、③はそれぞれ高さ H_2 、 H_3 のせん断層および拘束層であり、基本ばりの左端より a の位置におかれ長さはいずれも p_a である。また、基本ばり、拘束層のヤング率を E_1 、 E_3 、せん断層のせん断弾性係数を G 、せん断層の材料損失係数を β とし、各層の幅は B で同一とする。解析にあたっては次の仮定を設ける。(i) せん断層のヤング率は

基本ばりに比べて小さく、せん断層の軸力の分担は基本ばり、拘束層に比べて無視しうほど小さい。(ii) 3つの層の z 方向変位 w は等しい。(iii) 基本ばり、拘束層のせん断変形は無視する。(iv) 各層の断面は変形後も平面が保持される。

図-1に示したはりのロスファクター η ($\delta = \pi\eta$, δ : 対数減衰率) は1周期中にせん断層が消費するエネルギーと、1周期中の全ひずみエネルギーの比として次式で与えられる。

$$\eta = \Delta E / 2\pi E \quad (1)$$

ここで、

$$\Delta E = 2\pi \left[\frac{1}{2} B G \beta H_2 \int_a^b |y|^2 dx \right] \quad b = a + p_a \quad (2)$$

$$E = \frac{1}{2} E_3 B H_3 \int_a^b \left| \frac{\partial u_3}{\partial x} \right|^2 dx + \frac{1}{2} E_1 B H_1 \int_0^L \left| \frac{\partial u_1}{\partial x} \right|^2 dx + \frac{1}{2} \frac{E_3 B H_3^3}{12} \int_a^b \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 dx + \frac{1}{2} \frac{E_1 B H_1^3}{12} \int_0^L \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 dx + \frac{1}{2} G B H_2 \int_a^b |y|^2 dx \quad (3)$$

また、図-1のサンドイッチ部分の力の釣り合いより基本ばりの軸方向変位 u_1 、拘束層の軸方向変位 u_3 および z 方向変位 w は以下の関係にある。

$$u_1 = -\frac{E_3 H_3}{E_1 H_1} u_3 \quad \frac{\partial^2 u_3}{\partial x^2} - R u_3 = R S T \frac{\partial w}{\partial x} \quad (4)$$

$$\text{ここで、} \quad R = \frac{G}{H_2} \left(\frac{1}{E_3 H_3} + \frac{1}{E_1 H_1} \right) \quad S = \frac{E_1 H_1}{E_1 H_1 + E_3 H_3} \quad T = \frac{1}{2} (H_1 + 2H_2 + H_3) \quad (5)$$

いま、基本ばりの n 次の振動モードを次式で仮定する。

$$w = A_1 \sin \lambda_n x + A_2 \cos \lambda_n x + A_3 \sinh \lambda_n x + A_4 \cosh \lambda_n x \quad (6)$$

ここで、 $A_1 \sim A_4$ および λ_n ははりの支持条件、振動次数により定まる定数

(6) を (4) に代入し、拘束層の両端で軸力が0となる境界条件を用いて u_1 、 u_3 が求められる。

また、せん断層のせん断ひずみ γ は次式で与えられる。

$$\gamma = \frac{1}{H_2} \left[u_3 - u_1 + \left(\frac{H_1}{2} + H_2 + \frac{H_3}{2} \right) \frac{\partial w}{\partial x} \right] \quad (7)$$

以上により図-1のロスファクターが得られる。

3. 解析結果

先に示した解析法を用いてロスファクターに与えるはりの支持条件と拘束せん断層の設置位置の影響について検討した。解析モデルの概要を表-1に示す。表-1のモデルについて支持条件をピンピン、固定-固定、固定-自由、固定-ピンとし、粘弾性層が基本ばりを覆う割合(被覆率 ξ)を変化させロスファクター η を求める。各支持条件とも左端より徐々に被覆し、最終的にはり全体を覆う($\xi=1$)ように ξ を変化させ η を求めた。図-2にその結果を示す。図-2より支持条件、振動次数によらず、 ξ が0.2以下では η は非常に小さく、その後の ξ の増加につれ η も増加していることがわかる。特にいずれのばりについても1次振動の η が大きくなっている。しかし、固定-自由では、はり全体を覆った場合($\xi=1$)に2次振動における η が最も大きくなっている。また、支持条件で比較すると、両端単純支持で支持した場合の1次振動における η が非常に大きい。

図-2はいずれのばりについても左端から被覆した場合の結果であるが被覆の進行による影響を検討するために、ピンピン、固定-固定については中央より左右対称に、固定-自由、固定-ピンについては右端から被覆した場合の結果を図-3に示す。図-2と図-3を比較すると、同じ被覆率においてもその被覆位置により η が異なることがわかる。特に左右の支持条件が違えば、固定-自由、固定-ピンの場合には、右端から被覆した場合と左端から被覆した場合とではその傾向が大きく異なる。以上の結果より、支持条件、振動モードにより最適な被覆位置があるものと考えられる。

<参考文献>

Lall, A. K. et. al. : Damping analysis of partially covered sandwich beams, J. Sound and Vibration Vol.123 No.2, pp.247-259, 1988

表-1 解析モデル諸元

基本ばりの長さ L (m)	2.0
基本ばりの厚さ H ₁ (m)	0.010
せん断層の厚さ H ₂ (m)	0.005
拘束層の厚さ H ₃ (m)	0.002
基本ばりのヤング率 E ₁ (Pa)	2.06×10 ¹¹
拘束層のヤング率 E ₃ (Pa)	2.06×10 ¹¹
せん断層のせん断弾性係数 G (Pa)	4.90×10 ⁹
せん断層の材料損失係数	0.30

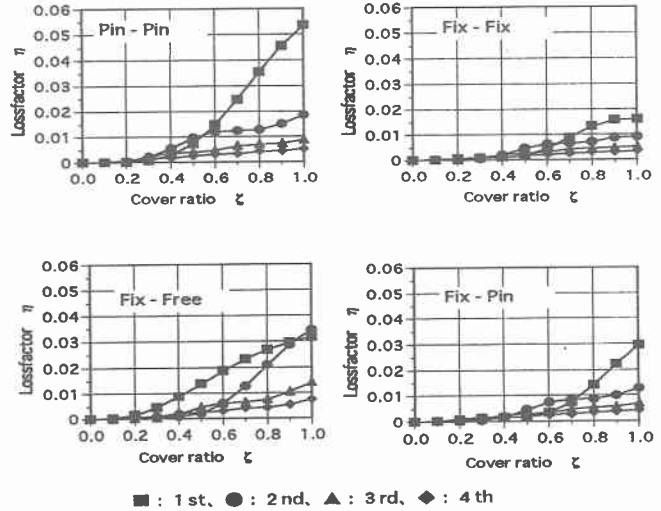


図-2 ロスファクター解析結果(左端より被覆)

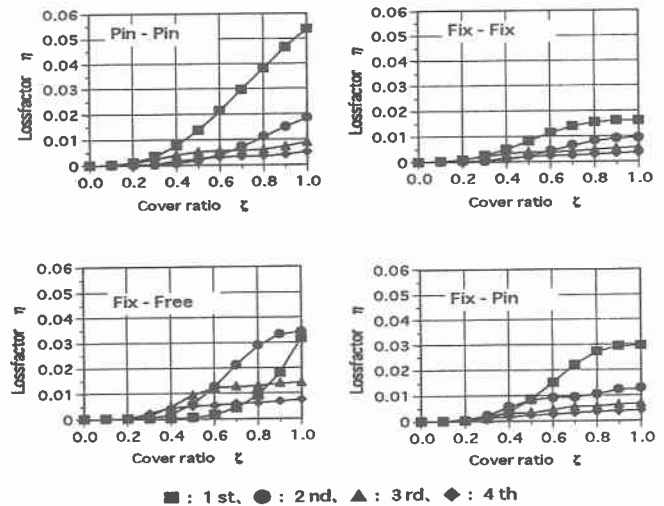


図-3 ロスファクター解析結果(右端または中央より被覆)