

## I-B 164 複数の拘束せん断層を装着したはりの損失係数に関する検討

山口大学工学部 学生員○榊田智子

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

## 1. まえがき

土木構造物の減衰性を向上させるために、拘束せん断層を用いたサンドイッチばりの利用が有効であると考えられる。これまでの研究により単純ばり、1次振動の場合には、はりの全長にわたり拘束せん断層を装着するよりも、部分的に装着したほうが高い損失係数となる場合があると報告されている。そこで本研究では、拘束せん断層を部分的にはりに装着した場合および拘束せん断層を複数に分割して装着した場合の損失係数を、支持条件、振動次数を変化させて検討した。

## 2. 拘束せん断層を複数装着した場合の損失係数の解法

拘束せん断層を基本ばりに複数（ $n$ 個）装着した場合のサンドイッチばりの概要図を図-1に示す。①は高さ $H_1$ 、長さ $l$ の基本ばりである。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 $a_n$ の位置に置かれ、長さはいずれも $(b_n - a_n)$ である。また各層の幅はいずれも $B$ で同一とし、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 $\eta_c$ とする。解析にあたっては次の仮定を設ける。

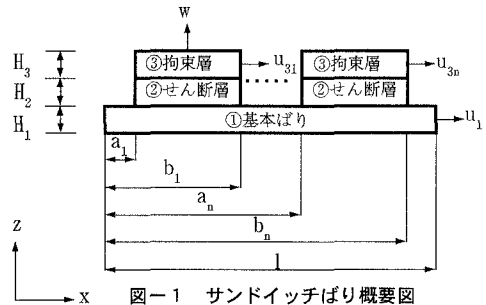


図-1 サンドイッチばり概要図

（1）第2層のヤング率は第1層、第3層に比べて小さく、第2層には軸力は生じない。（2）3つの層の $z$ 方向の変位 $w$ は等しい。（3）第1層、第3層のせん断変形は無視する。図-1に示したはりの損失係数 $\eta$ は全ひずみエネルギーの1周期中の最大値に対するせん断層で消費されるひずみエネルギーの比として次式で表される。

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta E_i}{2\pi \sum_{i=1}^n E_i} \quad (1)$$

ここで、

$$\sum_{i=1}^n \Delta E_i = 2\pi \left\{ \frac{1}{2} B G H_2 \eta_c \sum_{i=1}^n \int_{a_i}^{b_i} |\gamma_i|^2 dx \right\} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n E_i = \frac{1}{2} E_3 B H_1 \sum_{i=1}^n \int_{a_i}^{b_i} \left| \frac{\partial u_{3i}}{\partial x} \right|^2 dx + \frac{1}{2} E_1 B H_1 \sum_{i=1}^n \int_{a_i}^{b_i} \left| \frac{\partial u_{1i}}{\partial x} \right|^2 dx + \frac{1}{2} \frac{E_3 B H_1^3}{12} \sum_{i=1}^n \int_{a_i}^{b_i} \left| \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right|^2 dx + \frac{1}{2} \frac{E_1 B H_1^3}{12} \int_0^l \left| \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right|^2 dx + \frac{1}{2} G B H_2 \sum_{i=1}^n \int_{a_i}^{b_i} |\gamma_i|^2 dx \quad (3)$$

（1）式を用いて損失係数を求めるため（2）、（3）式中のはりの $z$ 方向の変位 $w$ 、基本ばり、拘束層の軸方向変位 $u_1$ 、 $u_3$ 、せん断層のせん断ひずみ $\gamma$ が必要となる。そこで、はりの $n$ 次の振動モードを次式で仮定する。

$$w_n = A_1 \sin \lambda_n x + A_2 \cos \lambda_n x + A_3 \sinh \lambda_n x + A_4 \cosh \lambda_n x \quad (4)$$

ここで $A_1 \sim A_4$ および $\lambda_n$ ：はりの支持条件、振動次数による定まる定数

（4）式を用いることにより、サンドイッチ部分の力のつり合いから $u_1$ 、 $u_3$ 、 $\gamma$ は次式で与えられる。

$$u_1 = -\frac{E_3 H_2}{E_1 H_1} u_3 \quad u_3 = c_1 \cosh \sqrt{Q} x + c_2 \sinh \sqrt{Q} x + x_1 \sin \lambda_n x + x_2 \cos \lambda_n x + x_3 \sinh \lambda_n x + x_4 \cosh \lambda_n x \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{1}{H_2} \left\{ u_3 - u_1 + \left( \frac{H_1}{2} + H_2 + \frac{H_3}{2} \right) \frac{\partial w}{\partial x} \right\} \quad (6)$$

ここで  $Q = \frac{G}{H_2} \left( \frac{1}{E_1 H_1} + \frac{1}{E_3 H_3} \right)$   $c_1, c_2$ ：拘束層の両端で軸力が0となる境界条件、 $x_1 \sim x_4$ ：はりの支持条件、振動次数により定まる定数

### 3. 解析結果

先に示した解析法を用いて拘束せん断層を基本ばりに複数装着した場合の損失係数の検討を行った。解析モデルの諸元を表-1に示す。諸元では形状を示すパラメータ $H_2/H_1=0.5$ 、 $H_3/H_1=0.2$ となり、基本ばりと拘束層の弾性係数比 $E_3/E_1=1.0$ となる。ここで、解析では $\alpha = G(L/H_1)^2/E_3$ で定義される無次元量 $\alpha$ をパラメータとし、本研究では表-2に示す $\alpha$ について検討した。以下に支持条件をピンビンとした場合について示す。まず、拘束せん断層が基本ばりを覆う割合（被覆率 $\zeta$ ）による損失係数 $\eta$ の変化の度合いを $\alpha$ を変化させて調べた。結果を図-2に示す。この図より、 $\alpha$ の値によっては拘束せん断層を基本ばりに部分的に装着したほうが全長にわたって装着するよりも $\eta$ が大きくなっている。したがって拘束せん断層をはり全長にわたって装着した場合に、この拘束せん断層を分割して装着すればより大きな $\eta$ が得られるのではないかと考えられる。そこではり全長にわたって装着した拘束せん断層を等分割した場合の $\eta$ の変化を図-3に示す。ここで、分割数1は拘束せん断層をはり全体に装着した場合である。図より1次モードでは分割数が3のときに $\eta$ が最も大きくなり、分割数が増加すると $\eta$ が減少している。しかし3次モードでは1次モードのように $\eta$ が極値をとるような傾向は認められない。また、3次モードでは分割数が1と3の場合に $\eta$ の値が等しくなっている。この現象をひずみエネルギーから考察するために $\alpha=5.0$ の場合の結果を図-4に示す。 $\eta$ の変化と比較すると伸びひずみエネルギーよりも大きいときは $\eta$ は増加し、逆の場合は減少しており、これらが交わる付近で $\eta$ が最大値をとっていることがわかる。

＜参考文献＞S. MARKUS : DAMPING MECHANISM OF BEAMS PARTIALLY COVERED BY CONSTRAINED VISCOELASTIC LAYER, ACTA TECHNICA CSAV, No. 2, pp179-194, 1974

| 表-1 解析モデル諸元          |                       |
|----------------------|-----------------------|
| 基本ばりの長さ $l$ (m)      | 2.000                 |
| 基本ばりの厚さ $H_1$ (m)    | 0.010                 |
| 基本ばりの幅 $B$ (m)       | 0.100                 |
| 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) | $2.06 \times 10^{11}$ |
| 拘束層のヤング率 $E_3$ (Pa)  | $2.06 \times 10^{11}$ |
| せん断層の材料損失係数 $\eta_g$ | 0.300                 |

| 表-2 せん断弾性係数 |                     |
|-------------|---------------------|
| $\alpha$    | せん断弾性係数 (Pa)        |
| 0.1         | $5.150 \times 10^5$ |
| 0.5         | $2.575 \times 10^6$ |
| 1.0         | $5.150 \times 10^6$ |
| 5.0         | $2.575 \times 10^7$ |
| 10.0        | $5.150 \times 10^7$ |

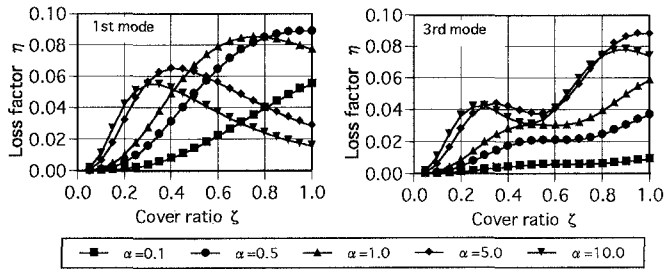


図-2 被覆率の影響

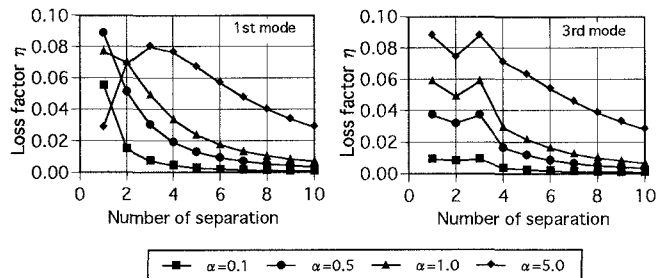


図-3 複数装着した場合の影響

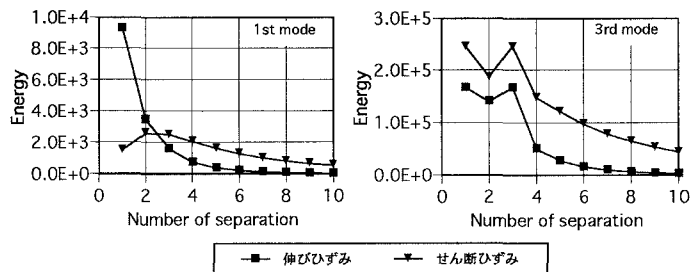


図-4 エネルギーの変化