

サンドイッチばりの損失係数におよぼす部分被覆効果

山口大学工学部 学生員○榎田智子

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。しかし、対象とするはりを覆う拘束せん断層の長さおよびその最適位置については明確にされていない点が多い。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の損失係数を求め、最も大きな損失係数を与える条件について検討した。

2. 拘束せん断層を部分被覆した場合の損失係数の解法

拘束せん断層を基本ばりに部分被覆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 の位置に置かれ、長さはいずれも $(b-a)$ 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 η_c とする。解析にあたっては次の仮定を設ける。(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 η 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。

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

ここで、

$$\Delta E = 2\pi \left\{ \frac{1}{2} B G H_2 \eta_c \int_a^b |\gamma|^2 dx \right\} \quad (2)$$

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

(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 γ 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 λ_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 、 γ は次式で与えられる。

$$u_1 = -\frac{E_3 H_3}{E_1 H_1} u_3, \quad u_3 = c_1 \cosh \sqrt{Q} x + c_2 \sinh \sqrt{Q} x + x_1 \sin \lambda_n x + x_2 \cos \lambda_n x + x_3 \sinh \lambda_n x + x_4 \cosh \lambda_n x \quad (5)$$

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

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

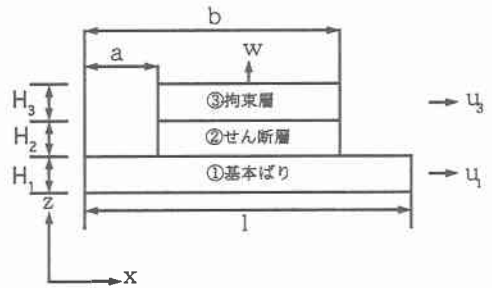


図-1 サンドイッチばり概要図

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部分被覆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ー $H_2/H_1=0.5$ 、 $H_3/H_1=0.2$ 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 α をパラメーターとした。 α の定義中、せん断弾性係数 G 以外のパラメーターは固定し、本研究では表-2に示す α について検討した。以下に支持条件をピンーピン、固定-自由とした場合について示す。

拘束せん断層が基本ばりを覆う割合（被覆率 ζ ）による損失係数 η の変化を α を変化させて調べた。結果を、ピンーピンについては図-2、固定-自由については図-3に示す。ここで、ピンーピンは基本ばりの中央より、また固定-自由は固定端より徐々に ζ を増加させ最終的にはり全長にわたって被覆する（ $\zeta=1.0$ ）ように ζ を変化させた。ピンーピン、固定-自由ともに1次モードでは $\alpha \geq 1.0$ の場合に拘束せん断層を基本ばりに部分被覆したほうが全被覆するよりも η が大きくなっている。この傾向は2次モードについても同様であった。またいずれの支持条件でも3次モードでは $\alpha \geq 5.0$ の場合に部分被覆した場合の η が最大値をとっているが、このときの被覆率はほぼ全被覆に近い。4次モードでは支持条件によらず全被覆の場合に η は最大となる。これは高次の振動次数では基本ばりの曲率の大きい部分が多くなるため全被覆した場合に η が大きくなるためと考えられる。この現象をひずみエネルギーの変化から考察するために $\alpha=5.0$ の場合のエネルギーの変化の様子をピンーピンについて図-4に示す。 η の変化と比較すると伸びひずみエネルギーがせん断ひずみエネルギーよりも小さいときは η は増加し、伸びひずみエネルギーがせん断ひずみエネルギーよりも大きいときは η は減少し、交わるころでは η が極値をとる。固定-自由についても同様の結果が得られた。

<参考文献>S.MARKUS:DAMPING MECHANISM OF BEAMS PARTIALLY COVERED BY CONSTRAINED VISCOELASTIC LAYER, ACTA TECHNICA CSAV, No.2, pp.179-194, 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)	2.06×10^{11}
拘束層のヤング率 E_3 (Pa)	2.06×10^{11}
せん断層の材料損失係数 η_6	0.300

表-2 せん断弾性係数

α	せん断弾性係数(Pa)
0.1	5.150×10^5
0.5	2.575×10^6
1.0	5.150×10^6
5.0	2.575×10^7
10.0	5.150×10^7

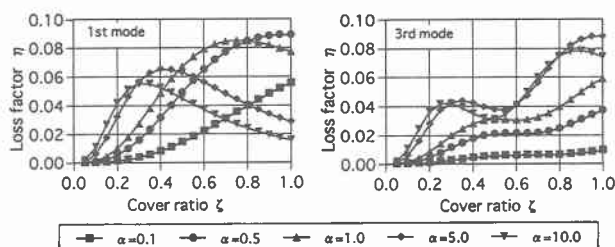


図-2 被覆率の影響（ピンーピン）

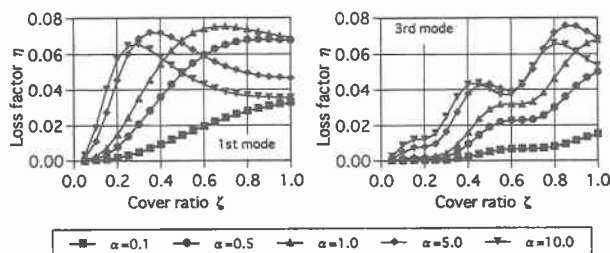


図-3 被覆率の影響（固定-自由）

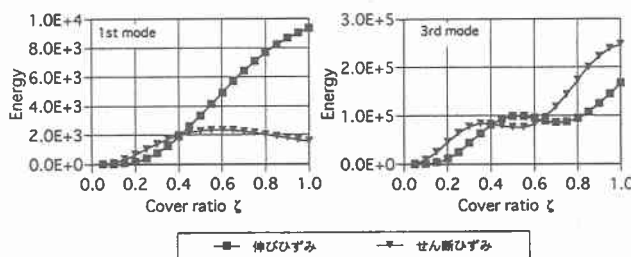


図-4 エネルギーの変化（ピンーピン）