

石川県土木部 正山 岸 勇
佐藤工業 島田 俊一
金沢大学 正 松浦 義徳

1. まえがき

レールの如き長大はりには動的外力が作用したとき、そのはりには曲げ波が発生する。この曲げ波の発生と伝播に関しては理論的にも、実験的にもかなりの部分が解明されている。しかし曲げ波の反射状況については、未だに十分に解明されていない。本研究は、その反射状況を実験的に追求したものである。実験は、自由端および固定端における反射を対象として実施した。

2. 理論計算

衝撃の作用によるはりの振動の主なものは、曲げモーメントによる振動であり、曲げ作用だけ考えたときはりの基礎微分方程式は以下になる。

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{W}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$$

これより、Jones, R.P.Nが自由端に衝撃が加わった時の近似解として、次の式を与えている。

$$M = -Px \left[1 - ZC(Z) + \sqrt{\frac{Z}{\pi Z}} \sin Z \right]$$

ここで、 $Z = \frac{x^2}{4t} \sqrt{\frac{W}{EI}}$ 、 C はフレネル積分であり、 $C(Z) = \int_0^Z \frac{\cos \psi}{\sqrt{2\pi\psi}} d\psi$ のように定義される。理論計算には上式を用いた。

3. 実験方法

まず曲げ波の伝播形態を明らかにするために、はりを両端自由の条件が満たされるようにつるして、はりの一端に衝撃を加え、それによって各測定点において発生するひずみを、抵抗線動的ひずみ測定器で増幅、模倣現象波形を電氣的に再現したものを、一旦データーレコーダーに録音した後、電磁オシログラフでオシロペーパー上に記録させた。

なお、実験材として長さ140cm、重量28.5g/cm、断面1.175cm×1.65cm、断面二次モーメント0.428cm⁴、弾性係数2.1×10⁶kg/cm²のSteelを選んだ。また、ストレインゲージの位置は、長さ140cmのはりに、衝撃端より10cm間隔に13点を選定した。

次に、実験材として前述のSteelを用いて両端自由の条件が満たされるようにして、はりの一端に衝撃を加え、各測定点におけるひずみを測定した。なお測定点として、長さ140cmのはりでは、衝撃端より10cm(A₁)、25cm(A₂)、70cm(A₃)、130cm(A₄)を、長さ280cmのはりでは、衝撃端より10cm(A₅, A₇)、25cm(A₆, A₁₀)、70cm(A₇)、130cm(A₈, A₁₁)、150cm(A₁₂)を選んだ。また、一端自由、他端固定の実験としては、はり、鋼板で十分に締めつけ、はりの自由端に衝撃を加え、各測定点におけるひずみを測定した。使用したはり、両端自由の時と同様のSteelを用い、長さ140cmとし、測定点は衝撃端より10cm(C₁)、

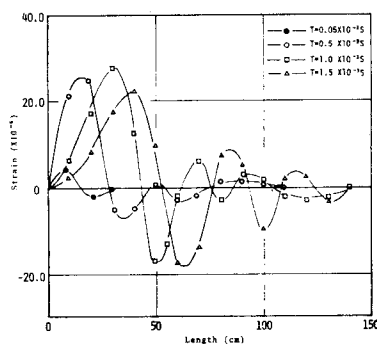


図-1) 伝播形態

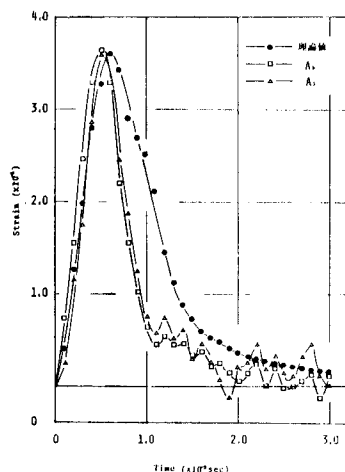


図-2) 理論値と実験値の比較

25cm(C₂), 70cm(C₃), 130cm(C₄)の4点を選んだ。なお、この時のひずみ波形に対する較正值は 100×10^{-6} である。

4. 実験結果

曲げ波の伝播形態の実験記録をまとめたものが図-1(1)である。測定時間として、 $T = 0.05 \times 10^{-3} \text{sec}$, $0.5 \times 10^{-3} \text{sec}$, $1.0 \times 10^{-3} \text{sec}$, $1.5 \times 10^{-3} \text{sec}$, $2.0 \times 10^{-3} \text{sec}$, $2.5 \times 10^{-3} \text{sec}$, $3.0 \times 10^{-3} \text{sec}$ 経過したときとそれぞれ求めてある。これにより伝播形態が明らかになった。

また、ひずみ波形の出現時刻と衝撃作用点からの距離を考えると、伝播速度は、約 $2.3 \times 10^4 \text{cm/sec}$ であることがわかった。また、反射後の伝播速度も同様にして求めると、反射前と同じ値であった。各地点ごとに較正值を用い補正を行なったものが図-2(2)である。この A_1 と A_2 のひずみ波形は、ほぼ相似した形を与えている。これにより、はりの長さには無関係であるといえる。また、理論計算より求めた値を併記したが、実験値にかなり近い値を与えている。図-3(3)でも同様のことがいえる。

5. (4)自由端での反射

($A_4 - A_8$)のひずみ波形は自由端での反射の影響を示している。これと A_{12} のひずみ波形を比較したものが図-4(4)である。これにより、二つのひずみ波形は横軸に関して対称な図形となっている。これより、($A_{11} - A_{12}$)と A_4 のひずみ波形を比較したものが図-5(5)である。二つのひずみ波形には、ほぼ一致がみられる。

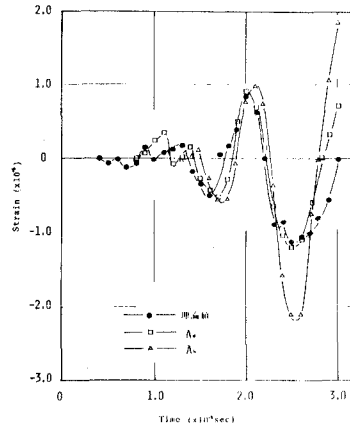


図-3 実験値と理論値の比較

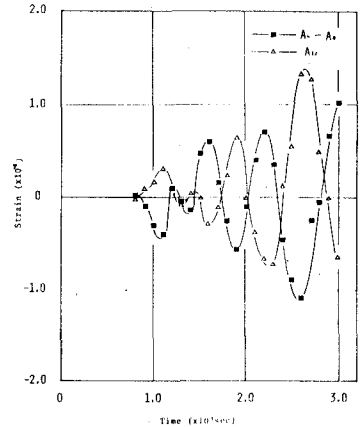


図-4 ($A_4 - A_8$)と A_{12}

(4)固定端での反射

($C_4 - A_8$)のひずみ波形は固定端での反射の影響を示している。これと A_{12} のひずみ波形を比較したところ、ひずみ値には多少のちがいがみられるもののほぼ相似な波形を与えている。そこで($A_{11} + A_{12}$)と C_4 のひずみ波形を比較したものが図-6(6)である。この図より、二つの波形はほぼ相似な波形を与えひずみ値の差は、反射点におけるエネルギーの伝播によるものと思われる。

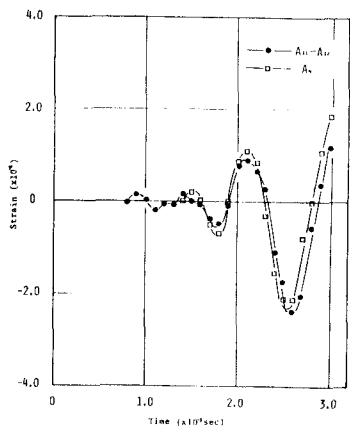


図-5 ($A_4 - A_8$)と A_2

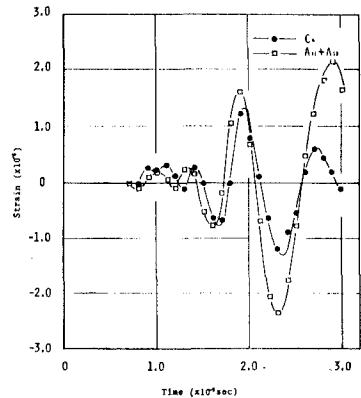


図-6 ($A_{11} + A_{12}$)と C_4

6. まとめ

はりに衝撃を加えた時に曲げ波が発生し、その伝播するひずみ波形の概要、自由端および固定端での反射状態を明らかにすることができた。すなわち、自由端ではモーメントが零となるように反射し、固定端では、モーメントが倍増して反射することが明らかになった。