

社会環境工学実験 構造・土質 4

I 型梁の曲げ載荷実験の手引き

実験の目的

本実験では、社会基盤構造物において主要な部材の一つである I 型鋼を対象として、弾性域および塑性降伏後を含めた変形域における曲げ載荷実験を行う。そして、弾性域における Bernoulli-Euler の初等梁理論の適用性の検証、および載荷実験で得られるたわみ特性や断面のひずみ分布から部材の曲げ剛性を推定し、作用応力度と許容応力度の関係に基づいて部材の安全性照査を行う基本手順を習得する。なお、グループによっては順番が前後するが、別途、**構造・土質 3**では、本実験に関連して、鉄筋の引張試験および RC 梁の曲げ載荷実験を実施し、同様に塑性降伏後の変形域を包含する部材の力学挙動について検討する。については、I 型鋼と RC 梁の両実験が終了した段階で、両者の力学特性の違いについて考察することを推奨する。

実験供試体

本実験では、**図-1**に示すような、SS400 材(設計における許容曲げ引張応力度 140N/mm^2)を用いた全長 1700mm の I 型梁を対象として、支間長 1500mm の条件で 3 点載荷を行う。

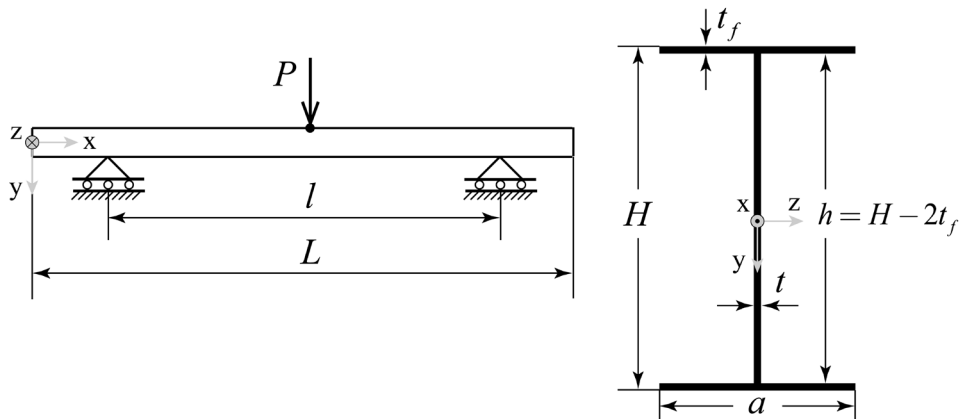


図-1 I 型梁の 3 点載荷 (左) と断面図 (右)

曲げ載荷実験前の準備

載荷実験に先立ち、下記の **1)**と **2)**を行うグループに分かれてそれぞれ事前計算、ひずみゲージの貼付作業等を行う。

- 1) 最初に、梁のフランジ幅 a 、フランジ厚 t_f 、ウェブ厚 t 、断面高 H 、ウェブ高 h (断面高とフランジ厚に基づいて算定)、支間長 l 、全長 L を計測し、**表-1**に記入した上で、下記の a)~c)について算定せよ。ただし、これらは最低限の計測項目であり、各自、断面 2 次モーメントに影響を与えると考えられる追加的な計測箇所があれば自由に計測してもよい。

表-1 I型梁の寸法

フランジ幅 a (全断面幅)	mm
フランジ厚 t_f	mm
ウェブ厚 t	mm
断面高 H	mm
ウェブ高 $h(h=H-2t_f)$	mm
支間長 l	mm
全長 L	mm

- a) I型梁の断面2次モーメント I を算定せよ.
- b) 載荷荷重 P が 4kN の場合について、スパン中央下面のひずみを初等梁理論に基づいて予想せよ。なお、構造力学の復習であるが、曲げによるひずみ ε は当該断面の曲げモーメント M 、鋼材の弾性係数 E 、中立軸を起点とした高さ方向の距離を y とすると、式(1)で与えられる。また、鋼材の弾性係数に $E=2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ を仮定してもよい(ただし、あくまでも実験前の予想に用いる値であり、実験レポートの作成時には、必ず振動実験に基づいて推定した弾性係数の値を用いること)。

$$\varepsilon = \frac{M}{EI} y \quad (1)$$

- c) 載荷荷重 P が 4kN の場合について、スパン中央のたわみ δ_b を初等梁理論に基づいて予想せよ。なお、構造力学の復習であるが、単純梁のスパン中央に集中荷重 P が作用した場合のスパン中央のたわみ δ_b は式(2)で算定できる。

$$\delta_b = \frac{Pl^3}{48EI} \quad (2)$$

- 2) 本実験では、同日に合計4グループが同一寸法の異なるI型梁の曲げ載荷実験を行う。各グループについて、図-2に示す、I) スパン中央の1点、およびII) 片側(通路側)の支点から $l/6$ 点、 $l/3$ 点、 $2l/3$ 点、 $5l/6$ 点のうちのいずれか1点の合計2点に関して、当該位置のたわみおよび当該位置における断面のひずみを図-3に示すような5枚のひずみゲージにより計測する。

- a) ひずみゲージ5枚を所定の位置に貼付せよ(上下フランジにおけるひずみゲージは、必ず内側に貼付する)。
- b) ひずみゲージを貼付したI型钢を載荷試験機の所定の位置に設置した後、当該グループが担当する2点の鉛直変位を計測できるように、接触式変位計を設置せよ。

曲げ载荷実験の手順と計測項目

- 1) 载荷荷重を準静的に漸増させていき、1)で予想した载荷荷重 $P=4\text{kN}$ の場合について、スパン中央下面のひずみおよびたわみを確認する。
- 2) その後も荷重を漸増させ、部材の変形の状況をよく観察する。ある程度塑性変形が進んだ段階で除荷して実験終了とする（塑性域では、载荷荷重の増加量が鈍くなることを参考にする）。

通路側

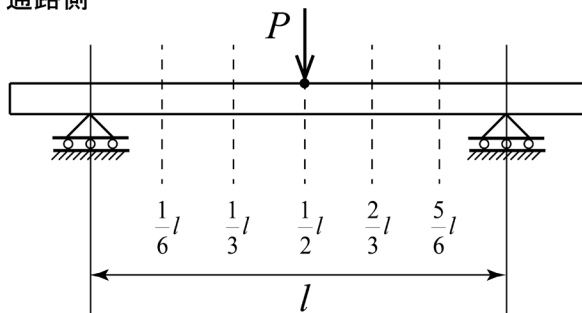


図-2 载荷点とひずみ、たわみの計測位置

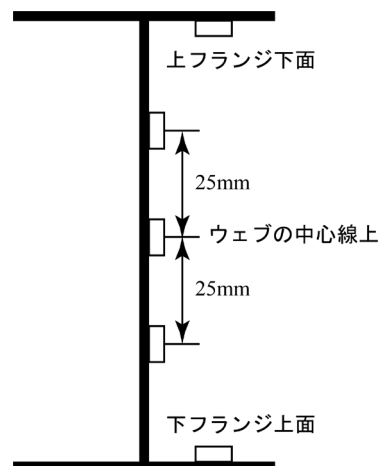


図-3 ひずみゲージの貼付位置

実験データの取得

ガイダンス時に配布した資料にも記載されている以下の URL にアクセスして、実験データを取得すること。また、必要な補足事項についても掲載するので、適宜、参照すること。

http://www.mm.civil.tohoku.ac.jp/2019_experiment_No.4/a.html

実験レポートの提出締切・場所と考察項目

実験レポートは、振動実験の内容も含めて、翌週月曜日(月曜日が休日の場合は火曜日)の 13:00 までに、人間・環境系教育研究棟 4 階 401 号室の材料力学研究室入口の提出箱に提出すること。

なお、本実験のレポートを作成する段階で、構造力学の知識が不確かな場合には、よく復習をしてからレポートの作成に取り組むこと。「必ず、算出過程(文字式を含めて)を明記すること」

特に、他の実験でも単位換算等の間違いが多く見られている。下記の表に基本的な注意点をまとめるので、**レポートの最後に必ず下記の表を書き写し、全ての項目について「はい」になっていることを確認してから、レポートを提出すること(全て「はい」と自己確認されていないレポートは受理しない)。**

レポート提出前の自己確認表
(レポートに必ず書き写し、自己確認をすること)

1. 有効数字を意識して計算を行い、結果をまとめたか？	はい・いいえ
2. 単位およびオーダーを揃えて計算を行い、妥当な値となっていることを検証したか？	はい・いいえ
3. 荷重－変位関係を適切に図化したか？(横軸は、ラベルとせずに正しく図を描いたか？)	はい・いいえ
4. 図のキャプションは図の下、表のキャプションは表の上としたか？	はい・いいえ
5. 図中の軸ラベルを明示し、単位も書いたか？	はい・いいえ
6. 単位・記号のフォントは統一したか？ 特に、上付き添え字で書いてあるか？【例えば, (×)mm ² → (○)mm ² 】	はい・いいえ
7. 指定された全ての必須事項について取り組み、単位を明記して結果をまとめ、特徴について考察を行ったか？	はい・いいえ

■必須事項(応用事項を含めて 100 点満点, 必須事項だけでは 80 点満点である)

- 1) 振動実験で得られた鋼の弾性係数 E および計測した断面寸法から得られた断面 2 次モーメント I に基づいて、弾性域における曲げ剛性 EI を算定せよ。なお、必ず算定過程も書くこと。
- 2) 縦軸に載荷荷重, 横軸にスパン中央の変位をとり、実験で得られた荷重－変位関係を描け。図中には、弾性限界点を印として明示すること。さらに、弾性域のみにおいて、1)で求めた弾性域における曲げ剛性 EI を用いて、実験で計測した載荷荷重に対する式(2)を用いた変位の算定値も合わせて直線として描くこと。その上で、弾性域における変位の実験値と算定値の整合性について考察せよ。
- 3) 初等梁理論において、断面高さ方向のひずみ分布の傾きは曲率を意味し、それは式(1)より、 M/EI で求められ、 M の値も、荷重と梁の諸元から分かる。載荷荷重が 4kN, 8kN, 12kN の 3 つのケースについて、縦軸に I 型鋼の図心からの距離, 横軸にひずみをとり、スパン中央のひずみ分布を描き、断面高さ方向 5 点のひずみ分布の傾きが M/EI であることに基づいて、弾性域における曲げ剛性 EI を推定せよ。加えて、この値を 1)で算定した曲げ剛性 EI と比較し、両者の推定精度について考察せよ。
- 4) 上記 1), 3)において異なる 2 つの方法で評価した曲げ剛性 EI に基づいて、載荷荷重 12kN に対応する引張縁の曲げ引張応力度を算定し、SS400 材の断面高 $H=100\text{mm}$ 以下の場合の作用引張応力度が許容曲げ引張応力度 140N/mm^2 以下に収まっているか否かを検討せよ。
- 5) 弾性域を超えた範囲のスパン中央変位の大きさを 3 つ各自で選定し、縦軸に I 型鋼の図心からの距離, 横軸にひずみをとり、スパン中央のひずみ分布を描き、弾性域を超えた場合のひずみ分布の特徴を 3)の結果も参考にしながら考察せよ。
- 6) 2)の弾性限界点においては、圧縮縁・引張縁が降伏している。弾性限界点における作用曲げモ

ーメントを用いて，使用した鋼材の降伏強度を推定せよ．

- 7) 弾性域における剛性と除荷時の剛性のそれぞれを算定し，両者の関係について考察せよ．なお，ここでの剛性は，荷重－変位関係の傾きである点に注意すること．
- 8) スパン中央の点以外に各自のグループが担当した計測位置について，初等梁理論に基づいて，弾性域におけるたわみを載荷荷重 P ，支間長 l ，曲げ剛性 EI を用いた関係式として導け（構造力学の復習であり，結果だけでなく，計算過程が分かるように書くこと）．その上で，振動実験で得られた鋼の弾性係数および計測した断面寸法から得られた断面 2 次モーメントに基づいて，荷重－変位関係の推定値を算定し，その直線を図示せよ．さらには，当該位置において載荷実験で得られた変位と荷重の関係を合わせて描き，比較して考察せよ．

■応用事項

余力がある場合には，以下の課題にも取り組むこと．

- 1) 断面内において，曲げによる圧縮側も引張側も降伏した状態における曲げモーメントは全塑性モーメントと呼ばれ，鋼材の降伏強度が重要なパラメータとなる．必須課題 6)の結果および今回の実験結果に基づいて，全塑性モーメントを推定せよ．
- 2) 全グループのスパン中央以外の計測結果と各自のグループのスパン中央の計測結果を用いると，合計 5 断面における荷重－ひずみ関係がある．載荷荷重 8kN 程度の任意の荷重に着目し，5 断面のひずみ分布の傾きから，必須事項 3)の方法に基づいて曲げ剛性 EI を推定し，表にまとめ，曲げ剛性 EI の整合性について考察せよ．

参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編，2012.