

# 移動荷重を用いた梁構造物の損傷同定

茨城県土浦土木事務所 正会員 細田 雄士  
 茨城大学工学部 フェロー 横山 功一  
 茨城大学工学部 正会員 田名部 菊次郎

## 1. まえがき

老朽化した構造物に対して、適切な健全度診断を行い、損傷を把握して様々な補修・補強工法によって補修等を行うことにより、構造物の長寿命化を図ることが、現在は構造物の維持管理においての重要な課題となっている。その際に重要な事は構造物の損傷箇所および損傷程度の同定と、現有する耐荷力、余寿命を的確に評価することである。さらに、その同定方法や評価方法は簡易で高精度なものであることが必要である。現在も目的や対象物に応じた様々な損傷同定法や評価法が開発されている。

本研究は橋梁構造物の損傷診断技術の一つとして、橋梁桁の損傷箇所および程度を、橋梁たわみの遠隔計測値と曲げたわみ理論を利用して検知・同定手法の可能性について検討する事を目的とする。

本報告では、損傷を有する矩形断面単純支持梁に集中移動荷重を載荷し、梁の集中荷重と変位の相反作用原理を適用し、たわみ計測値から仮想的に得られるたわみ曲線をもとに、梁の曲げ剛性  $EI$  を算出して損傷箇所及び損傷程度の同定可能性を実験的に検討した。

## 2. 移動荷重による損傷同定法

図1に示す単純梁に集中荷重が作用する時の、計測点  $n$  のたわみ角の変化量  $v_n$  は、 $v_n$  と  $v_{n-1}$  および  $v_{n+1}$  点を用いれば(1)式で表される。

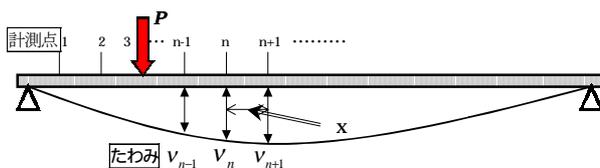


図1 荷重とたわみ

$$v_n'' = \frac{v_{n,n+1}' - v_{n-1,n}'}{\Delta x} = \frac{v_{n-1} - 2v_n + v_{n+1}}{\Delta x^2} \quad (1)$$

ここで、 $v_{n-1}$ 、 $v_{n+1}$  は計測点  $n$  の  $x$  間隔でとった両隣の点である。さらに、梁上の  $x$  点の  $v(x)$  と梁の曲げ剛性  $EI(x)$  及び曲げモーメント  $M(x)$  の関係は(2)式で表される。

$$v''(x) = -\frac{M(x)}{EI(x)} \quad (2)$$

梁の健全状態と損傷状態の曲げ剛性を、それぞれ  $EI_0$  と  $EI$  とするならば、

$$\begin{aligned} EI_0 - EI &= 0 && \text{損傷なし} \\ EI_0 - EI &> 0 && \text{損傷あり} \end{aligned}$$

として、損傷の有無を同定することができる。

また、単純梁の荷重とたわみに対して相反作用の定理を適用すると、載荷荷重に移動荷重を用いる事によって、1箇所のたわみの計測でも梁全長のたわみ計測と等価となる(図2)。これにより、たわみ計測点数を大幅に削減できる。

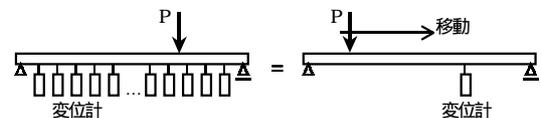


図2 移動荷重によるたわみの計測

## 3. 単純支持梁のたわみ計測実験

### 3-1. たわみ計測と損傷パターン

供試体は鋼製矩形断面梁  $5.0 \times 3.0 \times 400(\text{cm})$  を使用し、支点間隔は  $380(\text{cm})$  とした。たわみは計測容量  $50(\text{mm})$  変位計を3箇所 ( $50\text{cm}$ 、 $100\text{cm}$ 、 $150\text{cm}$ ) に設置し、 $1/1000\text{mm}$  まで計測した。移動荷重 ( $P=233\text{N}$ ) を左支点より  $30\text{cm}$  の位置から  $350\text{cm}$  の位置まで  $x = 10\text{cm}$  間隔で移動させ、その時々たわみを計測した(図1)。たわみ計測値を前述の(1)(2)式に代入し、縦弾性係数  $E$  は一定値 ( $2.1 \times 10^6(\text{kgf}/\text{mm}^2)$ ) とし、断面2次モーメント  $I$  を計算した。

また、損傷は梁底部に切り欠きを設ける事とし、損傷位置、損傷程度(損傷長・損傷深さ)を変えた表1に示す4パターンとした。尚、パターン4は同定の難しさを考慮し、損傷深さは  $0.3(\text{cm})$  とした。

表1 損傷の位置・寸法

パターン	損傷位置 (cm)	損傷長 (cm)	損傷深さ (cm)	損傷部 I ( $\text{cm}^4$ )	健全部 $I_0$ 比 (%)
1	170	20.0	0.2	9.15	81.3
2	170	5.0	0.2	9.15	81.3
3	120	5.0	0.2	9.15	81.3
4	80	5.0	0.3	8.2	72.8

### 3-2. FEM解析による検討

たわみ計測実験を行うに先立ち、FEM解析によって4パターンの損傷同定の可能性の検討を行った。要素ははり要素とし、要素分割数は152、要素長は  $2.5(\text{cm})$ 、要素高さは梁高さ  $3(\text{cm})$  である。

従って、損傷部の要素数は損傷長 =  $5(\text{cm})$  では2要

Keyword: 損傷同定法、移動荷重、曲げ剛性、データ抽出間隔、2区間移動平均

連絡先: 茨城大学工学部都市システム工学科 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1

素、20 (cm)では8要素となる。さらに、損傷部の要素高さのみを損傷深さ分小さくした。その要素分割を図3に示す。

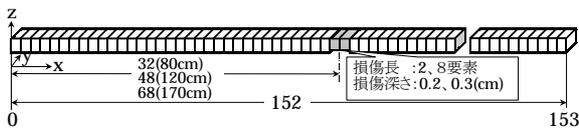


図3 FEM要素分割図

FEM解析では、データ有効桁数を多くすれば、支点付近のばらつきが生じるものの、全パターンの損傷位置・程度の同定が可能である。パターン1の抽出データ間隔が20 (cm)の例を図4に示す。

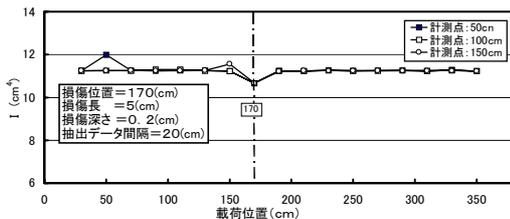


図4 損傷梁の断面二次モーメント分布(FEM)

### 3-3 データ処理方法

計測上あるいは実験上で含まれる誤差を考えると、データ処理によりこれらの誤差を除去しないと損傷同定は難しい事がFEM解析および予備実験によって明らかとなった。

従って、本研究では(1)同一条件でのたわみ計測のばらつき除去の為に複数回計測値の平均化処理、(2)損傷位置同定精度を向上する為にxの倍数のデータ抽出間隔の適用、(3)データの周期的異常変動の除去に効果を発揮する移動平均法の適用、などをデータ処理に利用して損傷同定精度を改善した。

### 4. たわみ計測実験結果

損傷の同定性を、次の3項目について検討した。

#### (1) 損傷位置の同定【パターン4】・【パターン3】

損傷位置の異なる2パターンで、データ抽出間隔を10、20、40 (cm)と変えて損傷位置の同定性を検討した。損傷位置120 (cm)は図5(a),(b),(c)に示す様に、抽出データ間隔を大きくするに従い同定が可能となる。しかし、80 (cm)では損傷位置の同定が難しい。

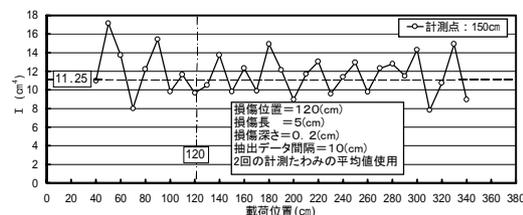


図5(a) 損傷梁の断面二次モーメント分布

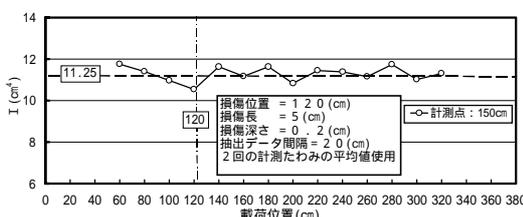


図5(b) 損傷梁の断面二次モーメント分布

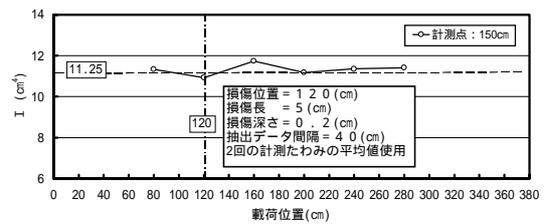


図5(c) 損傷梁の断面二次モーメント分布

#### (2) 複数回計測の平均化処理【パターン2】

3回の計測値に平均化処理を行なう事により、ばらつきの除去が可能となる。全計測点で170 (cm)の損傷を同定ができるパターン2の場合を図6に示す。しかし、損傷より右側の非たわみ計測範囲と両支点付近ではばらつきが除去できないので、たわみ計測点のバランス化が必要である事が明らかとなった。

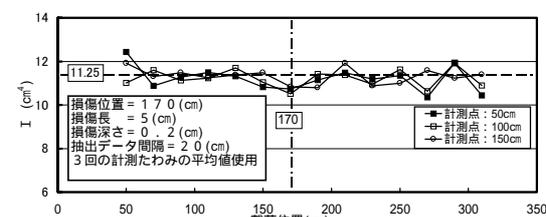


図6 損傷梁の断面二次モーメント分布

#### (3) 損傷程度の同定

##### 【パターン2】・【パターン1】

同損傷位置で損傷長の異なる2パターンの比較により、損傷程度の同定性の検討を行った。損傷程度の同定には、損傷部のデータ抽出間隔が小さいことが必要だが、図7(a),(b)と表-1の計算値( $I=9.15\text{cm}^4$ )との比較で明らかとなった。

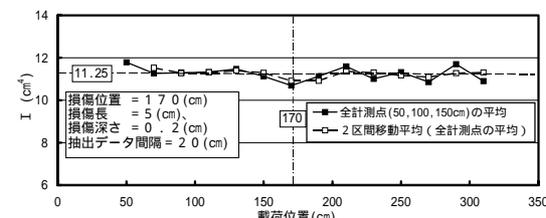


図7(a) 損傷梁の断面二次モーメント分布

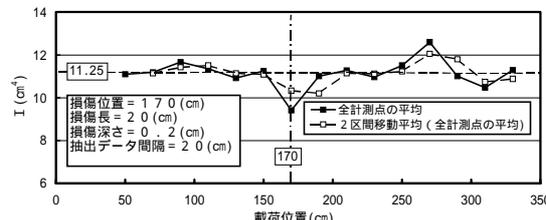


図7(b) 損傷梁の断面二次モーメント分布

### 5. 結論

損傷位置の同定には、計測データ間隔の数倍の間隔でのデータ抽出が有効である。

損傷程度の同定は、データ抽出間隔を密にすると精度が向上する。

たわみ計測値の不確定誤差要因の除去には、たわみの複数回計測の平均化処理が有効である。

支点近傍の損傷同定は、たわみ計測値が小さいこととばらつきの影響を受ける。