

京都大学大学院工学研究科 正会員 小野 紘一  
 京都大学大学院工学研究科 正会員 杉浦 邦征  
 京都大学大学院工学研究科 学生員 大島 義信  
 京都大学大学院工学研究科 学生員 ○前浦 義人

## 1. 研究目的

掘削工事現場においては現在、各種の計測技術を用いた安全管理がなされている。また、光ファイバには種々の利点があり、将来的に管理計測現場に普及するものと考えられる。現在当研究室において、光ファイバセンサを用いた変位計測システム FODD を提案し、実用化への検討を行っている。FODD においては、塩化ビニル管上のひずみを離散的に計測し、曲率を積分することで変位を算定している。このため変位測定精度向上には、離散データから精度良く変位を算定する必要がある。よって本稿では、種々の算定法による算定精度向上の検討、および開削トンネルにおける土留め壁変形計測へ適用した計測実験の報告を行う。

## 2. 変位変換の算定精度の向上に関する検討

離散的なひずみから変位を算定する場合、はじめに離散的なひずみを関数補間し、補間された連続関数を積分する方法を採用する。以下補間方法として、多項式近似とスプライン関数による方法の 2 つを検討する。

### 2.1 多項式による近似と評価

多項式を用いて補間を行う場合、多項式の次数が高くなれば振動現象を生じることに注意する必要がある。このため、適切な次数を決定するために AIC (赤池情報量規準) を用いた。AIC は以下の式により与えられる。

$$AIC = -2L_x + 2p \quad (L_x : \text{最大対数尤度} \quad p : \text{パラメータ数})$$

AIC が小さいほど良いモデル式と判断でき、最小の AIC を与えるモデル式を最良のモデル式であると特定できる。よってこの値が最小となる次数を用いて補間を行った。また観測誤差分散の値  $V_0$  は、 $10^{-10}$  に設定した。

### 2.2 スプライン関数による補間

スプライン関数は区間ごとに多項式を設定し、節点で隣り合う関数が滑らかに接続することを条件としている。初期条件として与えた始点の傾きは、その区間を直線近似したときの傾きである。ただしスプラインによる補間方法は、上述の多項式近似と異なり測定誤差を考慮できないので、測定誤差が大きい場合スムージングなどの方法により事前

### 2.3 算定実験

図 1 の供試体に対して中央で段階的に強制変位を与え、FBG センサによる測定を行った。また、供試体寸法および载荷状況、FBG センサ、変位計の測定位置も図 1 に示す。

まず実験で得られた測定データから離散した

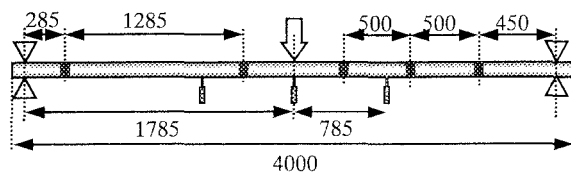


図 1 供試体概要

曲率データを  $n$  次の多項式で近似して、AIC による評価を行った。その結果を表 1 に示す。AIC により判断された多項式を用いて、算出した中央変位がそのステップにおける最大値を示しており、AIC の妥当性が確認された。また変位 10mm の時は 3 次関数が、変位 50mm の時は 2 次関数が最適である。一方スプライン関数として 3 次の多項式を用いた場合、算定結果が発散するという結果が得られているので、区間関数として 2 次を用いた。変位 10cm の場合の結果を、AIC による結果と共に図 2 に示す。これより、この場合はスプラインによる補間が優れていることがわかる。この実験の場合、ひずみすなわち曲率の分布形が三角形であり、

区間的に補間を行うスプラインの方が優勢であるためであると考えられる。

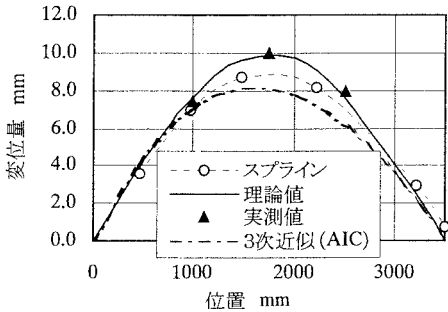


図2 室内実験結果

表1 多項式による中央算定変位

|    | 実測 10mm |      | 実測 50mm |       |
|----|---------|------|---------|-------|
|    | AIC     | 算定変位 | AIC     | 算定変位  |
| 1次 | 24.202  | 6.99 | 38.46   | 37.11 |
| 2次 | 26.253  | 7.24 | 24.847  | 47.24 |
| 3次 | 22.705  | 8.26 | 34.964  | 44.05 |
| 4次 | 25.349  | 8.18 | 38.171  | 43.45 |

### 3. FODDの掘削現場への適用

今回、FODDを適用した土留め壁による掘削工事は阪神高速道路公団の北須磨工区におけるトンネル工事に伴うものであり、最終掘削深度11.5mのグランドアンカーを用いた大規模掘削工事である。FODDを背面地盤のH鋼より1mの位置に設置した。FODDの設置位置を図3に示す。

1次掘削（GL2m）後にAICにより最適と判断された2次式による近似、スムージングを行っていないデータおよび2回行った後のデータに対して2次のスプライン近似を用いた算定変位と傾斜計による測定変位を図4に示す。

FBGセンサが密に設置されている部分では比較的精度よく合っている。一方、地表面付近は測定間隔が広がっていることもあり、誤差の影響を受けやすくなっているため、誤差を考慮できないスプライン関数による近似が大きく影響を受けたものと考えられる。しかし、誤差処理としてスムージングを行った結果、より傾斜計の値に近づいており、多項式による近似と遜色ない精度となっている。また、掘削初期段階であったため、それほど変位が発生しておらず、誤差の影響が大きくなったことも算定誤差を生じさせた一因と考えられる。

### 4. まとめ

(1)多項式による近似を用いる際には、AICにより観測誤差を考慮して、最適な次数の近似式を決定することができる (2) 本研究で採用したスプラインによる積分法は、3次式補間の場合、対象とする関数により発散現象を生じることが分かった。また関数の安定性と測定精度を考えると2次式による補間が最適であると思われる。(3)現場試験からの測定結果不十分のため、変位計の精度の検証を行うには、5次掘削まで待つ必要があるが、現段階で傾斜計との比較を行った結果FBGセンサの間隔が短い区間ではかなりの精度で変位を測定できることがわかった。またスムージングを施せば、スプラインによる方法でも精度を確保できる可能性があることがわかった。

**参考文献：**小野紘一、大島義信、森田真幸ら：光ファイバーによるひずみと変位の計測、最新の地盤計測技術に関するシンポジウム発表論文集、地盤工学会関西支部、45-48, 1999.12

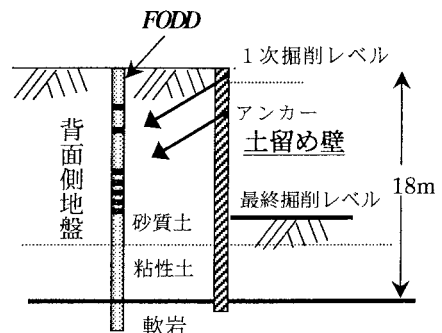


図3 現場試験概要

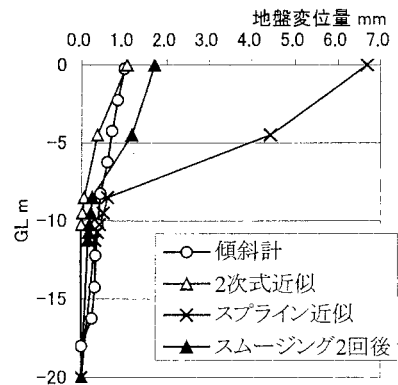


図4 一次掘削後の測定変位