

RC 梁のひび割れ開口幅からの内部鉄筋応力の推定

Estimation of rebar-force from the COD profile of an RC beam

北海道大学大学院工学研究科
北海道大学大学院工学研究科
北海道大学大学院工学研究科

正 員 松本 高志 (Takashi Matsumoto)
○学生員 佐藤 圭太 (Keita Sato)
F 会員 林川 俊郎 (Toshiro Hayashikawa)

1. 概要

わが国における社会基盤構造物は、いわゆる高度経済成長期に数多く整備され、その充実が図られてきた。そのため、供用開始から 35～45 年経過した今日では、多くの構造物が壮年期を迎えつつあるのが実情である。およそ 10～15 年後には多くの橋梁が供用後 50 年を数え、今後適切な維持管理を欠くことがあれば老朽化により本来の機能を失う恐れもあり、また崩壊等による事故の危険性もある。

また今日、RC 構造物における内部鉄筋の物理的並びに機械的な評価はメンテナンス及びヘルスマニタリングの面から重要とされてきている。近年の資本投資の効率性に対する市民意識の向上や、社会資本への投資余力の減少なども相まって、既存の社会資本の有効利用と維持管理が重要となっており、また効率的な維持管理計画を行うには、構造物の損傷や劣化状態を把握する必要がある。近年整備された構造物には、経年劣化等による内部破壊等の微小な情報を得るために、光ファイバーなどのセンサーを構造物の主要な位置に埋め込んでいるものもある。しかしながら、現在そのような構造物はいまだ少数であり、実際の検査ではひび割れ幅やひび割れ長さからの単位面積当たりのひび割れ面積のみしか記録していないのが実情である。

本研究ではひび割れ開口幅(Crack Opening Displacements, COD)を用いた逆解析により、内部鉄筋応力の推定を行うことで、ひび割れ検査の高度化を図り、非破壊検査への適用を目指すものである。

2. 解析手法

2.1 順解析

本研究はひび割れ開口幅より、内部鉄筋によるひび割れの架橋応力を求めることを目的としている。そのため、まず COD 値の取得を行う。取得には順解析及び画像解析を行う。順解析では荷重条件等を設定した解析により理論 COD 値を算出する。理論ひび割れ開口幅は以下のように得られる。

$$u(x) = \frac{4(1-\nu^2)}{E_c} \int_0^a \int_0^a G(x', a', b) [\sigma(x') - f(x')] dx' G(x, a', b) da' \quad (1)$$

ここで、 $u(x)$ はひび割れ開口幅、 $\sigma(x)$ は外力によるひび割れ進展応力、 $f(x)$ は鉄筋による架橋応力、また E_c 及び ν はコンクリートのヤング率とポアソン比、 a はクラック長、 b は梁の深さ、 $G(x, a, b)$ は重み関数である。

また、画像解析ではスリットを入れ、クラックが所定の位置に発生するように作成した供試体にクラックを発生させ、デジタル顕微鏡を走査することにより画像を撮影し、COD 値を取得する。本研究では上記二つの取得方法によって得られた COD 値を用いた逆解析を行い、理論値と実験値について考察を加えるものである。

2.2 逆解析

次に、(1) 式により求められた理論 COD 値を用いた逆解析を行う。具体的には鉄筋の入っていない場合の COD 値から実際に発生した COD 値を引くことで、鉄筋の応力による COD 値を求め、そこから架橋応力を算出する。

しかしながら、逆解析を行うにあたって実際には不適切(ill-posed)である問題が多い。そのため本研究ではチホノフ正則化法(Tikhonov Regularization Method)を用いて適切でない問題を近似し、逆解析を行っている。

既往の研究^{1)~3)}においては実際に行った画像解析により取得した COD 値を用いているが、本研究では順解析によって得られた理論 COD 値に正規分布によるランダムノイズを加えることにより作成した擬似実験データを用いた解析を行う。これにより後に行う画像解析からの逆解析の精度を向上させることを目指す。また、既往の研究により実験データをそのまま逆解析に用いることはノイズ等の影響で波形の乱れが生じ、解析を行うにあたって不適切であることがわかっている。そのため、本研究では最小二乗法を用いた多項式近似を行い、ひび割れ輪郭の平滑化を行うこととする。

3. 解析モデル

本研究ではひび割れが発生している単純梁を考える。図-2 に解析モデルを示す。ここで、 F は鉄筋の応力、 h はコンクリートのかぶり、 a はひび割れ長さとなっている。また、40x10x10cm の矩形、また、鉄筋は 2 本が平行に入っているものとし、かぶりは 3.2cm とする。普通ポルトランドセメントを用いたものを仮定し、10x20cm のシリンダー試験における圧縮強度は 30MPa、また鉄筋は直径が 6mm で、降伏応力は 345MPa となっている。

4. 順解析

今回行った解析では 8cm 幅の載荷板をスパンの中央にセットし、そこに 2t の集中荷重を作用させたものとする。

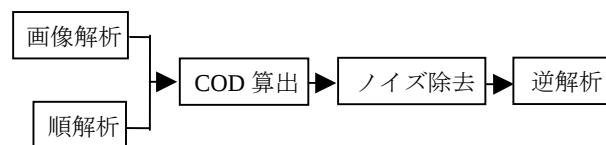


図-1 フローチャート

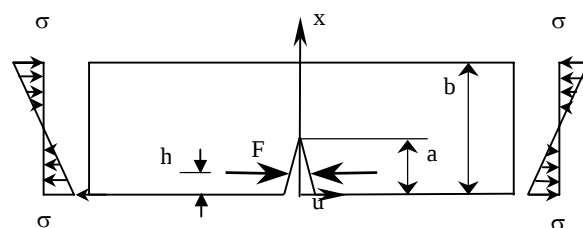


図-2 解析モデル

今回行った解析では得られた理論 COD 値に平均、及び分散を調整した正規分布によるランダムノイズを加えた擬似実験データを作成し、それを最小二乗法により多項式近似したものを解析に使用した(図-3、4)。ここで正規分布の平均は0、分散は0.005とした。この値を用いたのは、分散値を変えて解析を重ねた結果、既往の実験の画像解析のひび割れ輪郭に近い結果が得られたのがこの値だったためである。既往の解析より、それらの擬似実験データによる逆解析では、架橋応力やそのピーク位置に理論応力値や応力発生位置とのずれが生じていた(図-5)。このずれはひび割れ輪郭における両端のノイズによるものと考えられたため、今回はひび割れ輪郭の両端を直線に近似したものを比較対象として解析を行うこととする。

5 逆解析

擬似実験ひび割れ輪郭における両端のノイズを直線に近似したものを使用して逆解析を行う。図-6に結果を示す。

結果を見ると、鉄筋応力値、及び応力発生位置の改善が見られた。特に両端におけるノイズが緩和されたことで、鉄筋位置の特定が容易になっている。しかしながら図-6における COD プロット内において、円で囲われている位置において不連続になっていることがわかる。これは両端を直線に近似する際の問題で、一度両端の値を抽出し、直線に近似した後に再び結合しているためである。そのため、その不連続点において応力値に急な変化が起こっている。このことから鉄筋応力値には、COD 値のみではなく、変化率も関係していると考えられる。

6. まとめ

以上のように、本研究はひび割れ開口幅を用いた逆解析による RC 梁の内部鉄筋応力の推定を行うことで、ひび割れ検査の高度化を図り、非破壊検査への適用性に関して考察を加えたものである。

今回行った解析結果より、COD 値における両端のノイズが結果に大きな影響を与えていることがわかった。また、図-6における二つの不連続点より、逆解析における鉄筋応力の算出には変化量だけではなく変化率も大きな影響を与えていることを示した。その他に、COD 値から読み取れる、鉄筋があるであろうと考えられる位置に、理論解と擬似実験データの間で差が見られることから、それが応力発生位置、ひいては応力に影響を及ぼしていると考えられる。この点については今後解析を重ねる必要があるだろう。

今後の予定としては、図-6における不連続点の解消などによる、より高精度での解析を目指したい。また、実際に行った実験により取得された COD 値を使用した解析を行い、本研究の有効性、実用性等を検証することが必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) I. M. Nazmul, T. Matsumoto : High resolution COD image analysis for health monitoring of reinforced concrete structures through inverse analysis, pp4-25, 2006
- 2) I. M. Nazmul, T. Matsumoto : Determination of steel stress in reinforced concrete structures from crack opening profile, pp2-8, 2003
- 3) I.M. Nazmul, T. Matsumoto : Regularization of inverse problems in reinforced concrete fracture, pp13-16, 2005
- 4) 堤正義 : 逆問題の数学、共立出版, pp27-29, 2000

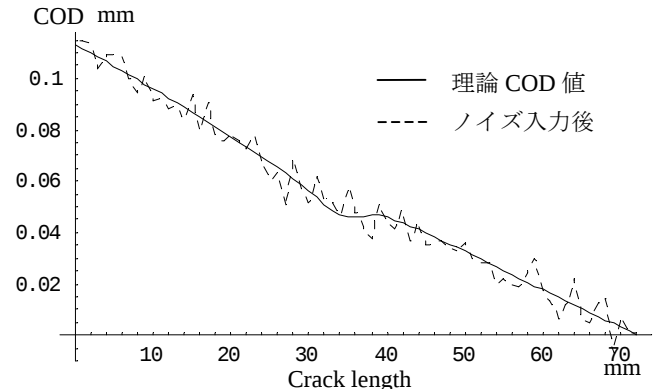


図-3 理論 COD 値とノイズ入力後の COD 値

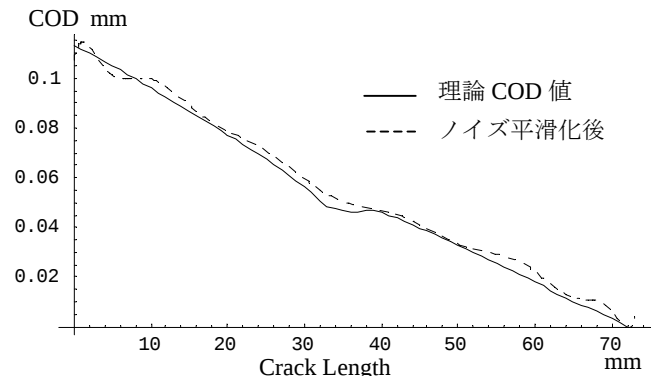


図-4 ノイズ平滑化後の COD 値

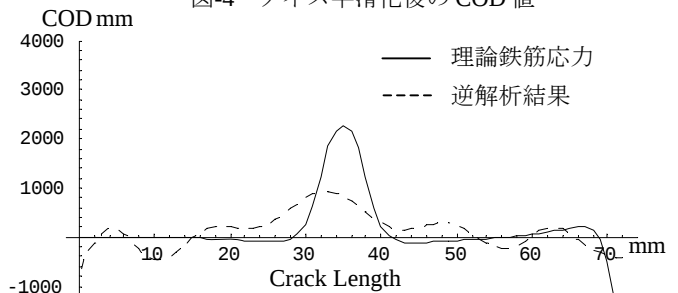


図-5 逆解析結果

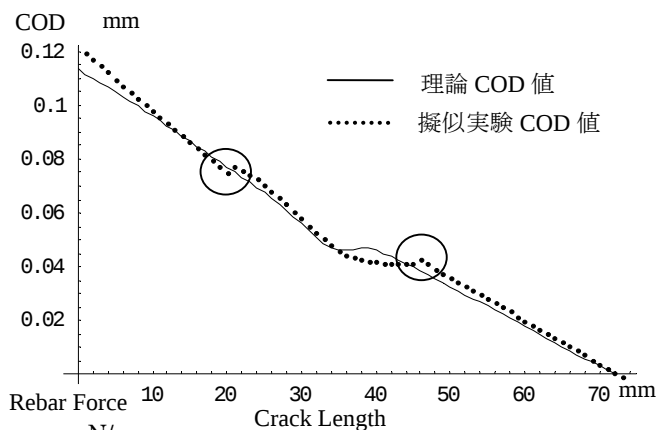


図-6 両端を直線に近似した COD 値およびそれを用いた逆解析結果