

破断現象を含む鉄筋の弾塑性解析モデルの構築

Development of Elasto-plastic Analysis Model for Reinforcing Rod including Fracture Behavior

○新藤辰典¹, 堀川真之², 田嶋和樹³, 白井伸明³

Tatsunori Shindo¹, Masayuki Horikawa², Kazuki Tajima³, Nobuaki Shirai³

Abstract: Most of school facilities in Japan have been used over 40 years, and thus it is an urgent issue to repair them and extend their lifespan. It was pointed out in the past study that the cross section of ties would be decreased 50% in area with its corrosion over 20 years, and finally it might lead to fracture. In this paper, an elasto-plastic analysis model, being able to express the fracture behavior with corrosion of steel bars, was developed. The model made feasible to pursue brittle fractures and post-peak stress drops by assuming a suitable distribution of the cross section of bar along its length. It will be needed to investigate the distribution of steel corrosion in detail in future.

1. はじめに

文部科学省は平成 25 年 3 月に「学校施設の老朽化対策について」¹⁾を公表した。その背景には第二次ベビーブームを契機として一斉に整備された鉄筋コンクリート(以下, RC)造の校舎が一斉に更新時期を迎える事情がある。厳しい財政状況の中で効率的に学校施設の維持管理をするためには, RC 造校舎の老朽化・長寿命化対策を施す必要がある。このような背景の下, 本研究では RC 造建物の耐久性に影響を及ぼす要因として鉄筋腐食に着目した²⁾。既往の研究³⁾では, せん断補強筋の腐食が RC 部材の耐力に影響を与えることが指摘されている。せん断補強筋は主筋と比べて鉄筋径が細いことや, 主筋の外側に位置し, かぶりコンクリートに近接しているため, 外的要因による腐食の影響が主筋と比較して大きいことが考えられる。

本研究の最終目標は, FEM により鉄筋が腐食した RC 造校舎の耐久性能を評価することである³⁾。本報では, 腐食による断面積分布が鉄筋の応力度一ひずみ度関係に与える影響を要素解析により確認し, 断面欠損を有する鉄筋の引張試験を解析対象として, 解析モデルの妥当性を確認する。

2. 断面欠損を有する鉄筋の解析モデル

要素解析の概要を Fig1 に示す。検討に用いる鉄筋は D10 とし, 全長を 5 つに分割した。鉄筋の構成則は Multi-linear モデルとし, 鉄筋の破断現象のモデル化を試みた。降伏応力までは弾性剛性とし, 2 次勾配は初期剛性の 1/100 とした。最大応力時のひずみは全体変形の 2%とし, 対応する応力を最大応力とした。また, 破断後の挙動を表す 3 次勾配は, 最大応力時ひずみの 1.5 倍で応力を負担しなくなるように仮定した。荷重は変位制御により頂部に引張変位を強制的に与えた。非

線形反復解析法には Newton-Raphson 法を採用した。なお, 解析には汎用解析コード DIANA9.4.3⁴⁾を用いた。

Fig-2 に設定した断面積分布を示す。解析では, 節点に断面積を入力し, 節点間の断面積分布は線形に変化する。最小断面は, 断面減少率が 50%になるように設定した。Fig-3 に解析結果を示す。なお, 応力度は算出した解析結果を公称断面積で除すことで求めた。降伏お

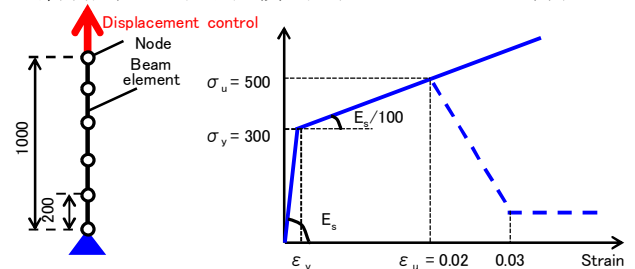


Fig-1 Element Distribution and assumed stress-strain relationship

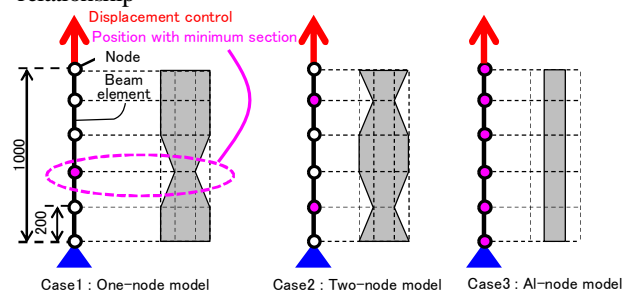


Fig-2 Distribution of nodes with minimum section along length

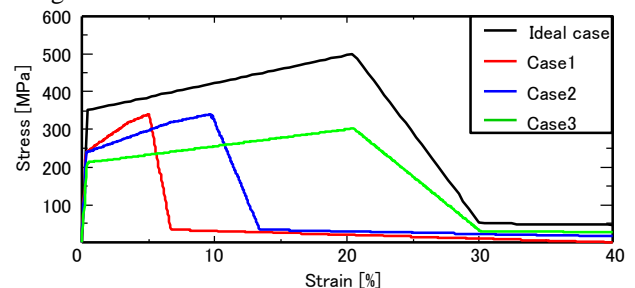


Fig-3 Strain versus strain relationship

1 : 日大理工・院(前)・建築 2 : 日大理工・院(後)・建築 3 : 日大理工・教員・建築

よび最大強度はモデルにより異なっており、特に Case1 は極めて脆性的な破壊を示した。これは、最小断面位置にひずみが集中したためであり、断面積分布の影響を考慮することにより鉄筋の強度ならびに変形性能の低下を表現できると考えられる。

3. 鉄筋の引張試験に基づく妥当性の確認

金久保らの鉄筋の単調引張試験⁵⁾を解析対象に、解析モデルの妥当性を確認する。使用した構成則は Fig-1 に示したとおりであり、降伏・最大応力とその時のひずみは実験値とした。Fig-4 に、実験で切削した 2 本の鉄筋の断面積分布と、解析における仮定を示す。Case1 および Case2 は実状に即した断面積分布の仮定であるが、断面欠損の程度の変態を変えている。また、Case3 では、最小断面位置を含めて断面積分布に対応するような直線を仮定した。解析結果を Fig-5 に示す。Case1 と Case2 を比較すると、断面欠損をより局所的に表現した Case2 の方が変形性能の低下が顕著である。一方、実際の断面欠損状況に近い Case1 では、実験結果と同等の変形性能が得られた。したがって、断面欠損をモデル化するには、断面欠損の状況を的確にモデル化する必要がある。また、Case3 では、実験において確認された変形性能の低下を表現することができなかった。今後の検討が必要であるが、極めて局所的な断面欠損が鉄筋の変形性能を左右する可能性が考えられる。

本研究では、鉄筋腐食に伴うせん断補強筋の破断が RC 構造物に与える影響を解析的に評価することを目指している。これまでの検討において、鉄筋の断面積分布を考慮することにより、鉄筋の変形性能の低下を表現できることは確認できたが、構造物レベルの解析において、梁要素を用いて鉄筋の断面積分布をモデル化することは解析コストの増加につながる。そこで、鉄筋の断面減少は考慮せず、鉄筋単体の解析結果から得られた応力度-ひずみ度関係を構成則として入力した解析を行った(Fig-6)。その結果、断面積分布を仮定したものと同等の結果が得られ、簡易的に鉄筋腐食により低下した鉄筋の力学的性能をできると考えられる。

5. まとめ

鉄筋の破断挙動を含む応力度-ひずみ度関係を構築し、局所的な断面欠損をモデル化することにより、鉄筋の変形性能の低下を表現することができた。さらに、解析結果から得られる鉄筋全体の応力度-ひずみ度関係を鉄筋の構成則として適用することにより、構造物レベルの解析においても簡易的に鉄筋の破断挙動を表現できることを確認した。

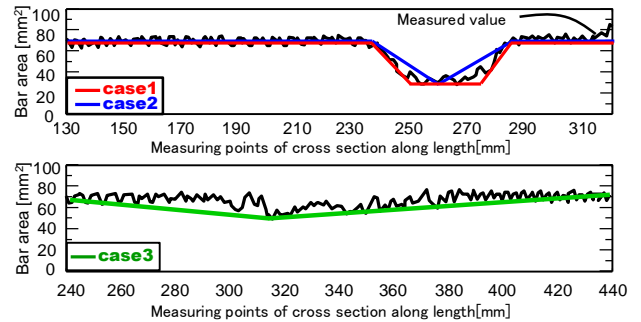


Fig-4 Assumed distribution of cross section along length

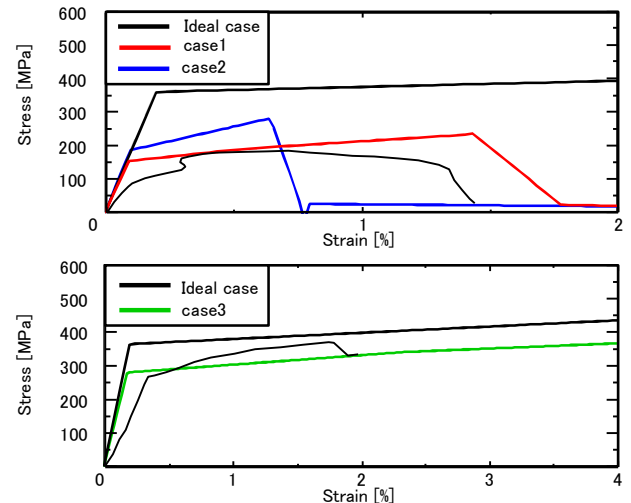


Fig-5 Comparison Stress versus Strain relationship

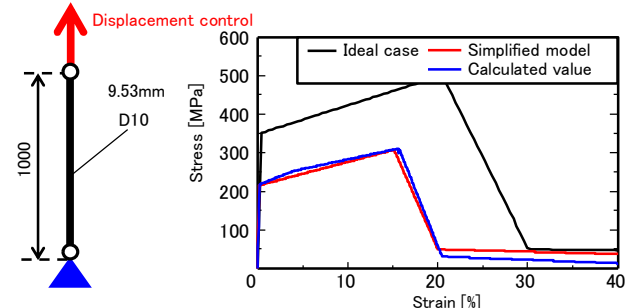


Fig-6 Illustration of simplified model and calculated value

6. 参考文献

- [1] 文部科学省：「学校施設の老朽化対策について」，2013.3
- [2] 堀川真之，秋山洋輔，新藤辰典，田嶋和樹，白井伸明：「FEMを用いた鉄筋が腐食した RC 部材及び構造物の構造性能評価」，日本建築学会大会学術講演会梗概集，pp471-476，2013
- [3] 佐藤吉孝，服部篤史，山本貴志，宮川豊章：「RC 部材中におけるせん断補強筋の腐食がせん断耐荷特性に与える影響」，土木学会第 57 回年次学術講演会，pp273-274，2002
- [4] TNO Building and Construction Research, 2010：DIANA Foundation Expertise Center for Computational Mechanics: DIANA Finite Element Analysis User's Manual,
- [5] 金久保利之，大屋戸理明，齋藤祐哉，八十島章，山本泰彦「鉄筋の腐食を模擬した RC 柱の構造性能に関する研究 (その 1) 切削鉄筋の力学的性状」，土木学会第 61 回年次学術講演会，pp529-530，2006

【謝辞】

本研究の一部は科学研究費補助金(基盤研究(C),代表者：白井伸明)の助成を受けて行われたものである。