

CFRP ロッドで補強したコンクリート梁の曲げ終局強度の算定方法  
 (その2) 算定結果が曲げ終局強度を低く評価した原因

Method for Calculating the Ultimate Flexural Strength of Concrete Beams Reinforced with CFRP rods  
 (Part 2) Causes of Low Evaluation of Flexural Ultimate Strength by The Calculation Results

○矢幡悠<sup>2</sup>, 新田真麻<sup>1</sup>, 田嶋和樹<sup>3</sup>, 長沼一洋<sup>3</sup>

Yu Yahata<sup>2</sup>, Martha Nitta<sup>1</sup>, Kazuki Tajima<sup>3</sup>, Kazuhiro Nagamuna<sup>3</sup>

Abstract: The purpose of this study is to establish a method for calculating the ultimate strength in bending of concrete beams reinforced with CFRP rods. Murakami pointed out that the calculation methods of AIJ and JSCE for the ultimate strength in bending cannot evaluate the ultimate strength in bending and that the FRP rods may fail at ultimate failure if the amount of tensile reinforcement bars is small. Therefore, Murakami proposed a new method for calculating the ultimate strength in bending. In this paper, the validity of the proposed method for calculating the ultimate strength in bending is discussed.

1. はじめに

本報(その2)では、FEM 解析結果と村上<sup>1)</sup>による算定結果の比較を行い、前報(その1)で示した村上による曲げ終局強度の算定結果が実験結果を低く評価した原因について検討する。また、コンクリート強度をパラメータとした FEM 解析を行い、コンクリート強度の違いが村上による曲げ終局強度の算定結果に及ぼす影響について考察する。

2. 実験を対象とした算定結果と解析結果の比較

前報に示した通り、引張補強筋ひずみ度の算定結果は実験結果および解析結果と良好な関係を示した。したがって、引張補強筋合力 T の算定結果は妥当であると言える。そのため、算定結果が曲げ終局強度を低く評価した原因として、応力中心間距離に着目する。

Fig.1 に曲げひび割れ後の応力中心間距離の推移、Fig.2 に村上による算定結果の引張補強筋合力 T の推移を示す。なお、FEM 解析による応力中心間距離の評価は、荷重に対する曲げモーメント M を引張補強筋合力 T で除した値とした。Fig.1 より、FEM 解析結果による応力中心間距離は、荷重の増加に伴って直線的に減少する。一方、算定結果の場合、圧縮強度時のひずみより少し大きい  $\epsilon_{cu} = 0.003$  を仮定した土木学会による曲げ終局強度を超えると、応力中心間距離の減少が顕著となる。そのため、算定結果は解析結果よりも曲げ終局強度を低く評価したと考えられる。ただし、村上による算定結果では、応力中心間距離が減少しても断面に生じる曲げモーメントは減少しない。これは、Fig.2 に示す通り、引張補強筋合力 T が増加しているためである。

移、Fig.4 に曲げ終局強度時の圧縮応力度分布を示す。Fig.3 より、圧縮縁コンクリートのひずみ  $\epsilon$  が圧縮強度時のひずみより大きくなると、軟化が進行し、圧縮縁コンクリートの負担応力が小さくなる。また、Fig.4 より、コンクリートの圧縮軟化挙動を表現するために破壊エネルギーを考慮した FEM 解析結果では、算定結果

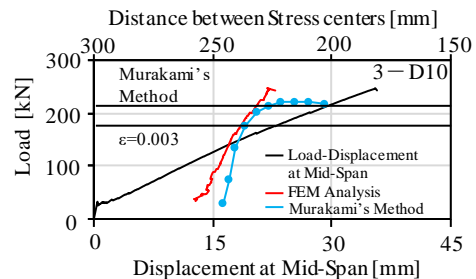


Fig.1 Change in Distance between Stress Centers

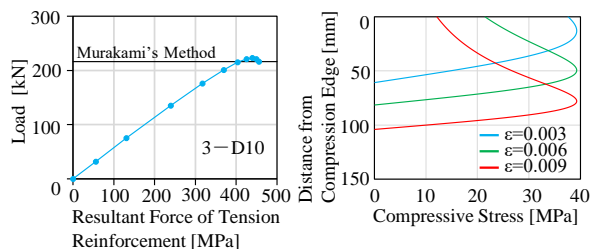


Fig.2 Change in Resultant Force of Tension Reinforcement

Fig.3 Change in Compressive Stress Distribution

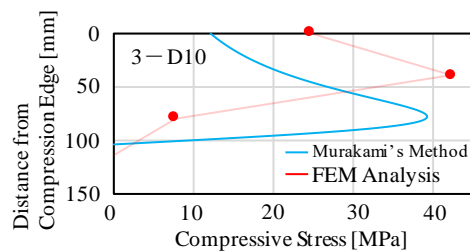


Fig.4 Compressive Stress Distribution at Ultimate Strength

Fig.3 に村上による算定結果の圧縮応力度分布の推

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

よりも圧縮縁コンクリートの負担応力を維持している。そのため、圧縮軟化が進行する領域においては、村上の手法では圧縮合力作用位置が内側に移動しやすく、FEM 解析結果ではそれが大きく変化しないことから、応力中心間距離の評価に違いが生じたと考えられる。

### 3. コンクリート強度の影響

コンクリート強度をパラメータとし、曲げ終局強度の算定結果と解析結果の比較を行う。ここでは、コンクリート強度を 18~60 MPa とする。Fig.5 に曲げ終局強度-コンクリート強度関係、Fig.6 にコンクリート強度毎の曲げ終局強度時の算定結果と解析結果の比を示す。Fig.5 より、全体的に算定結果が解析結果を下回る傾向が確認できる。また、Fig.6 より曲げ終局強度の算定結果は解析結果の 8 割程度であり、低強度領域で算定結果と解析結果との差が大きくなっている。Fig.7 に  $F_c = 18 \text{ MPa}$  の時の荷重-たわみ関係を示すが、算定結果が曲げ終局強度を過小評価している。

前報(その1)において引張補強筋ひずみ度の算定結果が実験結果および解析結果と良好に対応することを示したが、コンクリート強度が異なる場合については確認できていない。Fig.8 に曲げ終局強度時の引張補強筋ひずみ度の算定結果/解析結果-コンクリート強度関係を示す。引張補強筋ひずみ度の算定結果は解析結果の 9 割以上であり、良好な関係を示した。したがって、引張補強筋合力  $T$  の算定結果の妥当であると言える。

Fig.9 に曲げ終局強度時の応力中心間距離-コンクリート強度関係を示す。コンクリート強度が低強度領域において、算定結果と解析結果の応力中心間距離の差が大きくなっており、曲げ終局強度の差を大きくした原因であると考えられる。Fig.10 に曲げ終局強度時の圧縮応力度分布を示す。引張補強筋に CFRP ロッドを用いているため、引張鉄筋合力  $T$  が一般的な鉄筋の場合と比べて大きい。そのため、Fig.10 より、コンクリート強度が低い場合、算定結果では圧縮領域が広がっており、中立軸が下がることで引張鉄筋合力  $T$  と釣り合うことになる。2章で述べたように、圧縮軟化が進行すると応力中心間距離が小さくなるため、圧縮軟化が進行しやすい低強度のコンクリートほど応力中心間距離が小さくなりやすく、解析結果との差が広がったと考えられる。したがって、コンクリートの圧壊のような非線形性が強い破壊が生じる場合、平面保持仮定や Popovics 式による圧縮挙動のモデル化を適用することについては、その適用範囲について検討する必要がある。併せて、中立軸が材軸を超えて引張となる領域に存在するなど (Fig.10)、実現象とは異なる挙動が生じ

ることについてもより詳細な検討が必要である。

### 4. まとめ

コンクリート強度をパラメータとして、曲げ終局強度に関する FEM 解析結果と村上の算定結果による比較を行った。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 圧縮軟化の進行により、算定結果と解析結果の応力中心間距離に差が生じ、算定結果は曲げ終局強度を低く評価した。
- (2) コンクリート強度が低い場合、村上による算定手法では、応力中心間距離を過少評価する傾向が見られ、その原因として平面保持仮定や圧縮挙動のモデル化が挙げられる。

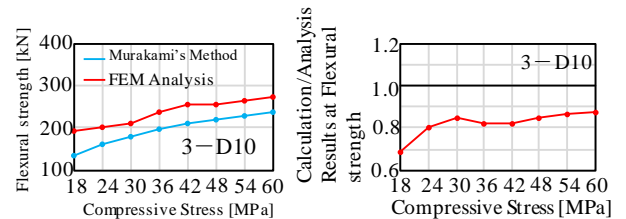


Fig.5 Change in Flexural Strength Fig.6 Comparison of Analysis and Calculation

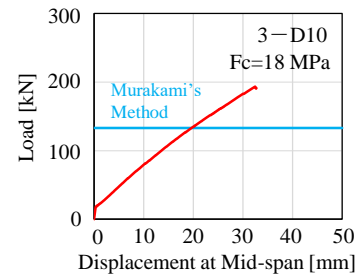


Fig.7 Load-Displacement at Mid-Span Relationship

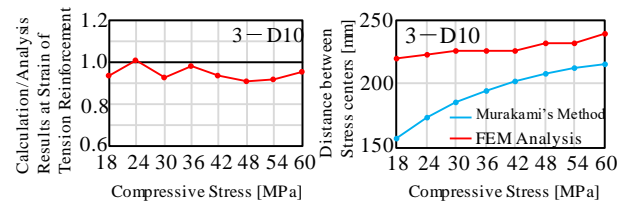


Fig.8 Comparison of Analysis and Calculation Fig.9 Change in Distance Between Stress Centers

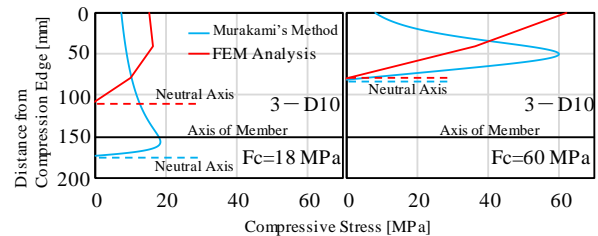


Fig.10 Compressive Stress Distribution at Flexural Strength

### 参考文献

- [1] 村上聖:連続繊維補強コンクリート梁の曲げ終局限界点の算定, 日本建築学会技術報告書, Vol. 30, No. 75, pp. 791-796, 2024