

マッシブなコンクリートに埋め込む鉄筋の定着長算定式

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○堂内悠吾 正会員 田所敏弥

北武コンサルタント(株) 正会員 渡邊忠朋

1. はじめに

土木学会のコンクリート標準示方書(設計編)¹⁾(以下、示方書)では、マッシブなコンクリートに埋め込む鉄筋に対し、島ら²⁾による付着応力-すべり関係を用いて定着破壊を照査できる体系となっているが、煩雑な繰り返し計算が必要となる。本検討では、設計実務での簡易な定着破壊の照査を目的として、フーチングなどのマッシブなコンクリートに埋め込む柱や橋脚の軸方向鉄筋を対象とした定着長算定式の定式化を行った。

2. 定着長算定式の定式化

(1) 定式化の方法

図1に付着応力-すべり関係を用いた定着長の計算方法を示す。荷端の鉄筋の引張応力 σ_{sd} と鉄筋先端のすべり量 S_0 を設定する。付着応力-すべり関係を用いることにより、鉄筋先端から順にすべり量、付着応力、鉄筋応力を計算することで、荷端の鉄筋の引張応力が求まる。鉄筋の埋込み長をパラメータとして繰り返し計算を行い、荷端の鉄筋の引張応力が設定した応力 σ_{sd} と一致するときの埋込み長が、定着長となる。

本検討では柱や橋脚の軸方向鉄筋を対象とするため、鉄筋のひずみ硬化や鉄筋降伏後の付着特性を考慮した。ひずみ硬化域の鉄筋の応力-ひずみ関係および鉄筋の降伏後を考慮した付着応力-すべり-ひずみ関係は、島ら²⁾による提案モデルを、ひずみ硬化開始ひずみおよび鉄筋間隔による付着応力の低減は示方書¹⁾の算定式を用いることとした。荷端の鉄筋の引張応力 σ_{sd} は、渡邊³⁾による柱部材等を想定した座屈開始時の軸方向鉄筋の伸出し量と、島ら²⁾による付着応力-すべり-ひずみ関係から算定される荷端のすべり量が一致するときの応力とした。

(2) 鉄筋の引張力の設定

鉄筋降伏後のひずみ硬化域における荷端の鉄筋の引張応力を式(1)に示す。

$$\sigma_{sd} = f_{yd} + \alpha(f_{ud} - f_{yd}) \quad \text{.....式(1)}$$

ここに、 α ：ひずみ硬化を考慮するための係数

図2に付着応力-すべり-ひずみ関係から求められる荷端のすべり量と柱等を想定した座屈開始時の軸方向鉄筋の伸出し量 ϕ の関係を示す。検討に用いた材料強度や鉄筋中心間隔は、渡邊³⁾による実験の諸元を用いた。 $\alpha=0.2$ において両者が一致することから、 $\alpha=0.2$ とした引張応力 σ_{sd} を荷端の引張応力とした。図3にひずみ硬化域における引張応力を示す。

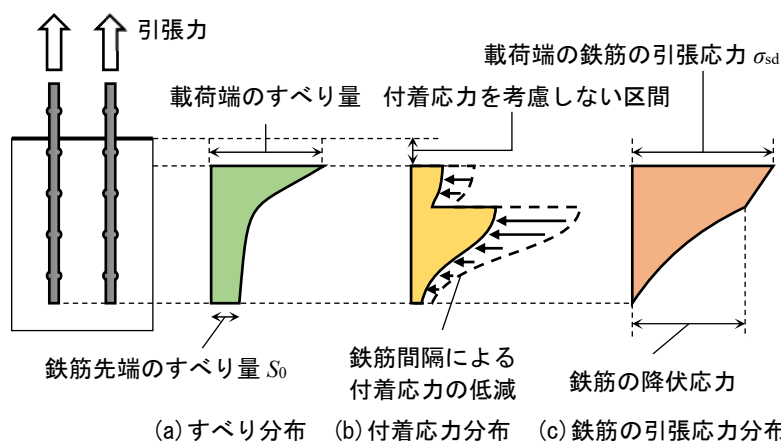


図1 付着応力-すべり関係を用いた定着長の計算方法

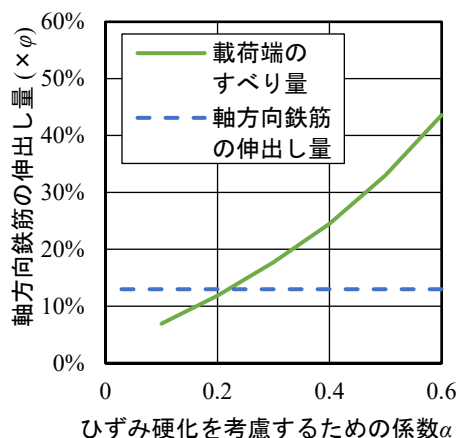


図2 軸方向鉄筋の伸出し量

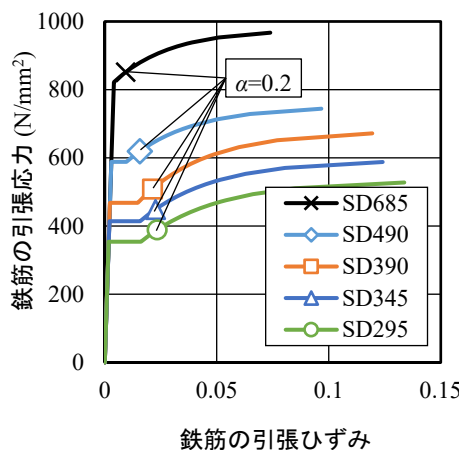


図3 鉄筋の引張応力-引張ひずみ

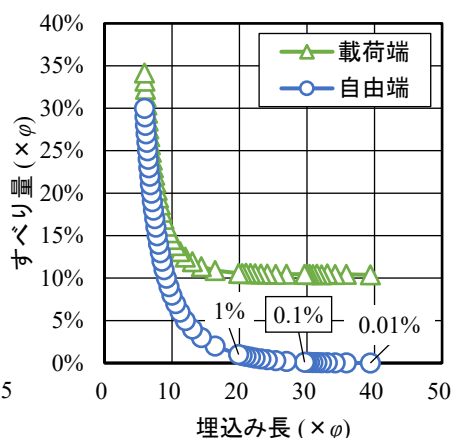


図4 すべり量と埋込み長の関係

キーワード コンクリート, 鉄筋, マッシブ, 定着長

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 Tel:042-573-7281

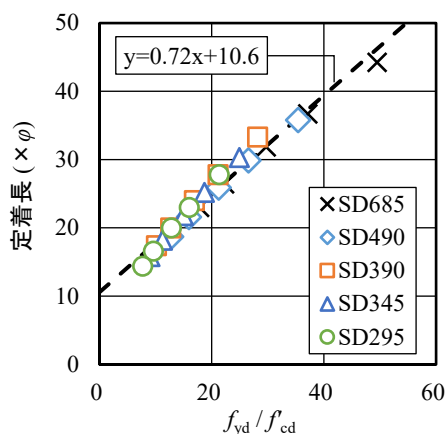


図5 定着長と材料強度の関係

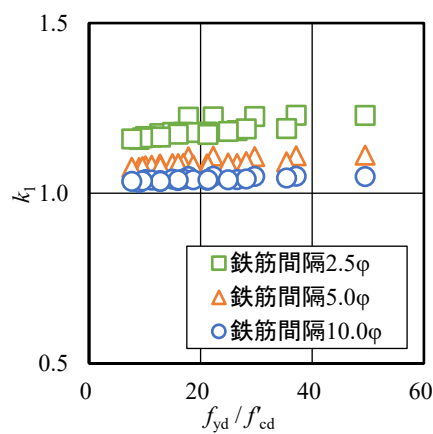


図6 鉄筋間隔による定着長の低減と材料強度の関係

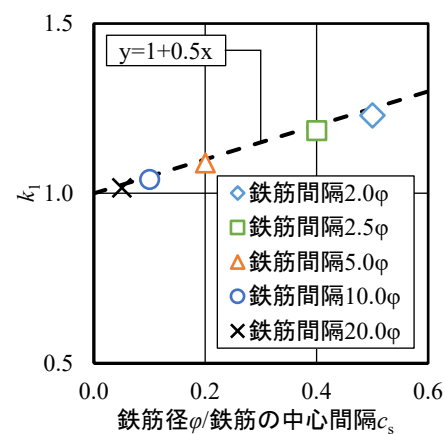


図7 鉄筋間隔による定着長の低減と鉄筋間隔の関係

(3) 鉄筋先端のすべり量の設定

鉄筋の埋込み長をパラメータとして、鉄筋の埋込み長と載荷端のすべり量の関係から、十分に定着されているとみなせる鉄筋先端のすべり量 S_0 を設定する。図4に一例として、コンクリートの圧縮強度 24N/mm^2 、鉄筋種別 SD390、鉄筋間隔 5ϕ (ϕ : 鉄筋径) のときの鉄筋のすべり量と埋込み長の関係を示す。なお、材料修正係数、安全係数は、 $\rho_m=1.2$ 、 $\gamma_s=1.0$ 、 $\gamma_c=1.3$ 、 $\gamma_a=1.0$ とした。図4より、鉄筋が十分に定着されているとみなせる鉄筋先端のすべり量として、鉄筋先端のすべり量 S_0 を鉄筋径の 0.1% とした。

(4) 材料強度の影響

材料強度の影響を考慮するため、材料強度と定着長の関係を求めた。材料強度として、コンクリートの圧縮強度 $18\sim 50\text{N/mm}^2$ 、鉄筋種別 SD290～SD685 とし、鉄筋間隔は十分に大きいものとした。図3に示す鉄筋の引張応力-ひずみ関係を用いて、引張力を作用させた。ひずみ硬化を考慮するための係数 α が 0.2 、鉄筋先端のすべり量 S_0 が鉄筋径 0.1% になる鉄筋の埋込み長を求め、これを定着長 l_d とした。図5に、定着長 l_d と鉄筋とコンクリートの材料強度の比 f_{yd}/f_{cd} の関係を示す。鉄筋間隔が十分に大きい場合、定着長 l_d と材料強度の比 f_{yd}/f_{cd} は、線形関係であることがわかる。これより、鉄筋間隔が十分に大きい場合の鉄筋の定着長 l_d は、式(2)として算定できる。

$$l_d = (0.7 \times f_{yd}/f_{cd} + 11) \times \phi \quad \text{式 (2)}$$

(5) 鉄筋間隔の影響

鉄筋間隔の影響を考慮するため、2.(4)で検討した材料強度に加え、鉄筋の中心間隔をパラメータとして定着長 l_d を求めた。鉄筋の中心間隔は $2\sim 20\phi$ とし、示方書に示された鉄筋間隔による付着応力の低減を考慮して定着長 l_d を求めた。図6に鉄筋間隔による付着応力を低減しない定着長と低減後の定着長比 k_1 を示す。 k_1 は材料強度によらず概ね一定となった。図7に示した k_1 と鉄筋径 ϕ と鉄筋間隔 c_s の比の関係は、線形関係であることがわかる。これより、マッシブなコンクリートに埋め込む鉄筋の定着長は、式(3)および式(4)により算定できる。

$$l_d = k_1 \times (0.7 \times f_{yd}/f_{cd} + 11) \times \phi \quad \text{式 (3)}$$

$$k_1 = 1 + 0.5 \times \phi/c_s \quad \text{式 (4)}$$

ここに、 l_d : マッシブなコンクリートに埋め込む鉄筋の定着長、 f_{syd} : 鉄筋の設計引張降伏強度、 f_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度、 ϕ : 定着する鉄筋の直径、 k_1 : 鉄筋間隔に関する係数、 c_s : 鉄筋の中心間隔

3. おわりに

本検討では、フーチングなどのマッシブなコンクリートに埋め込む柱や橋脚の軸方向鉄筋を対象とした定着長算定式を提案した。なお、本検討で提案した鉄筋の定着長算定式の適用範囲は、コンクリートの圧縮強度 $18\sim 50\text{N/mm}^2$ 、鉄筋種別 SD290～SD685、鉄筋の中心間隔 2ϕ 以上であり、実務上、問題のない適用範囲と考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：2017年制定 コンクリート標準示方書（設計編），2018.3
- 2) 島弘，周礼良，岡村甫：異形鉄筋の鉄筋降伏後における付着特性，土木学会論文集，No.378/V-6，213-220，1987.2
- 3) 渡邊忠朋，谷村幸裕，瀧口将志，佐藤勉：鉄筋コンクリート部材の損傷状況を考慮した変形性能算定手法，土木学会論文集，No.683/V-52，31-45，2001.8