

局所付着理論に基づいた付着喪失等価領域の数値解析

若築建設（株） 正会員 ○ 壹岐 直之
早稲田大学 フェロー 清宮 理

1. まえがき

ひび割れ幅を簡便に算定するための概念として、付着喪失等価領域 l_s がある。 l_s は鉄筋とコンクリート間に付着が無いと仮定した部分の長さであり、 l_s にひび割れ位置での鉄筋のひずみ ε_s^* を乗じることによってひび割れ幅が求められる。 l_s の値は文献¹⁾において種々の方法によって検討されており、 $l_s=200\text{mm}$ の一定値が提案されている。しかし、 l_s は部材の条件に依存する。 l_s は鉄筋とコンクリートとの付着特性の影響を受け、付着特性は部材の条件に左右されるからである。本報告は、筆者らが提案した局所付着応力関係式²⁾を用いて l_s を数値解析的に算定し、鉄筋径、かぶり、およびコンクリート圧縮強度が l_s に与える影響について考察したものである。

2. 付着喪失等価領域の解析方法

解析に用いた局所付着応力関係を式(1)に示す。この式は鉄筋径（D16,19）、コンクリート圧縮強度（20～40N/mm²）、コンクリートの断面積（ $\phi 15\sim 50\text{cm}$ ）、および境界条件（一軸引張実験、引抜実験、両側引抜実験）を要因とした付着実験の結果²⁾を基に、島らの提案式³⁾を拡張したものである。ここに、 τ : 付着応力[N/mm²], f_c' : コンクリートの圧縮強度[N/mm²], S_s : 鉄筋のすべり量[mm], S_c : コンクリートのすべり量[mm], D : 鉄筋径[mm], ε_s : 鉄筋ひずみ, f_t : コンクリート引張強度[N/mm²], $\bar{\sigma}_c$: コンクリート断面平均応力[N/mm²]である。

$$\tau = \frac{0.73 \cdot f_c' \cdot \left[\ln \left\{ 1 + 5000 \cdot (S_s - S_c) / D \right\} \right]^3}{1 + 10^5 \cdot \varepsilon_s \cdot \sqrt{f_t / (f_t - \sigma_c)}} \quad (1)$$

数値解析の流れを図-1に示す。解析方法は、鉄筋コンクリート部材を、鉄筋軸を法線とする断面要素に分割して解を求める一軸モデル法である。要素分割数は1000とした。解析要因は、鉄筋径:D13,D16,D19,D22, $f_c'=10,20,30,40\text{N/mm}^2$, かぶり: $c=50,75,100\text{mm}$ を組合せた48ケースとし、ひび割れ位置での鉄筋応力 σ_s^* を降伏応力まで変化させた。鉄筋はSD295A, ヤング係数 $E_s=200\text{kN/mm}^2$ とした。コンクリートはかぶりを半径とする円形断面で、 $f_t=0.23f_c'^{2/3}$, ヤング係数 $E_c=f_c'$ に応じて15,23,28,31kN/mm²とした。なお、コンクリート断面積を算定するための寸法を単に‘かぶり’と称するが、実構造物では、ひび割れに直交する鉄筋のかぶり、あるいは鉄筋間隔の半分のいずれか小さい方を意味する。

l_s の決定方法の概念を図-2に示す。文献¹⁾と同様に、ひび割れ位置でのすべり S^* を数値解析で求めた鉄筋とコンクリートのひずみの差の積分値として算定し、 l_s は S^* をひび割れ位置の鉄筋ひずみ ε_s^* で除したものと算定した。

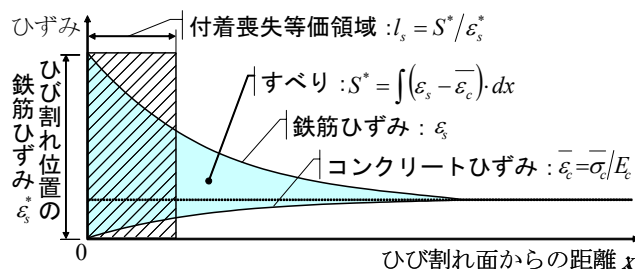
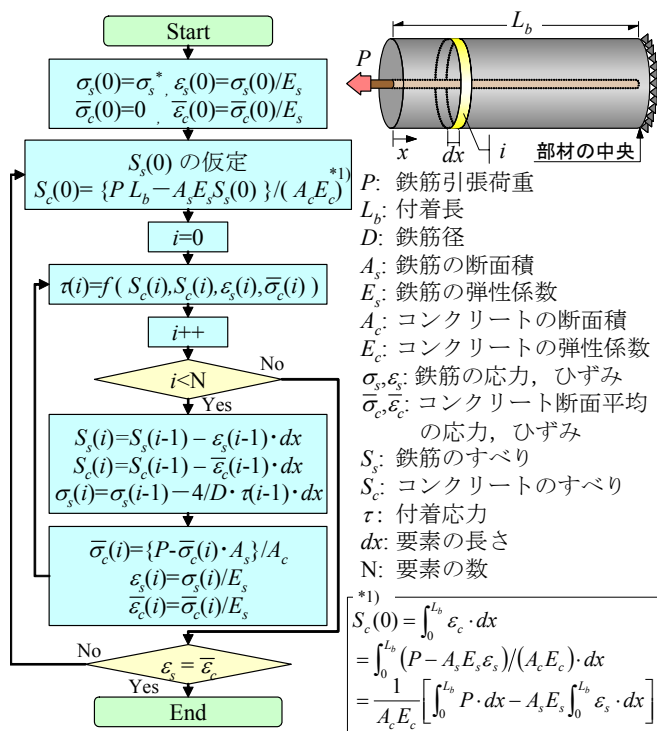


図-2 付着喪失等価領域の決定方法

キーワード 付着喪失等価領域, ひび割れ幅, 局所付着応力, 数値解析

連絡先 〒153-0064 東京都目黒区下目黒2-23-18 若築建設（株）技術研究所 TEL:03-3492-0556

3. 解析結果および考察

数値解析の結果を図-3に示す。数値解析においてコンクリート断面平均応力が引張強度を超えた場合は、その荷重以降は示していない。本解析での付着喪失等価領域： l_s の範囲は38～135mmであり、文献¹⁾での一軸モデルを用いた検討結果の30～100mm程度よりは若干大きく、同文献¹⁾で提案値200mmよりは小さな値であった。また、 l_s はかぶりに関わらず $\sigma_s^* > 50 \text{ N/mm}^2$ 以上では同一の直線とみなせること、 l_s は σ_s^* の増加に伴って増加し、鉄筋径が大きいほど、コンクリート圧縮強度が低いほど l_s の増加する割合は大きいことが判った。つまり、鉄筋径が大きい場合やコンクリート圧縮強度が低い場合など、付着応力が弱くなる条件では l_s が大きくなるといえる。

$c=100\text{mm}$ 、 $\sigma_s^*=100\text{N/mm}^2$ における付着喪失等価領域： l_s と、鉄筋径： D およびコンクリート圧縮強度： f_c' との関係を図-4および図-5に示す。 l_s は、鉄筋径に比例し、コンクリート圧縮強度の-0.5乗に比例することが判った。

以上の解析ではすべりを鉄筋ひずみとコンクリートの断面平均ひずみとの差の積分とした。しかし、ひび割れが生じた部材でのコンクリートのひずみは、鉄筋に近いほど大きく、コンクリート表面では平均ひずみよりも小さい²⁾。つまり、図-3に示した付着喪失等価領域を用いて算定したひび割れ幅は、断面平均でのひび割れ幅を意味するものであり、コンクリート表面で計測されるひび割れ幅よりも小さく算定される。そこで、すべり： S^* の算定においてコンクリートのひずみを無視した場合が付着喪失等価領域がとりうる最大値と考え、 $l_s' = \int \varepsilon_s \cdot dx / \varepsilon_s^*$ として解析を行った。その結果を図-6に示す。 l_s' の範囲は47～406mmであり、 l_s の1.3～4.5倍となった。

l_s' と l_s の比が大きくなるのは鉄筋径が大きいかぶりが小さい場合、つまり付着応力が弱くなる場合であること、 l_s'/l_s と鉄筋径/かぶりの関係は、図-7に示すようにコンクリート圧縮強度や鉄筋径に関わらず、ほぼ同一の曲線上にあることが判った。

4. まとめ

- 1) 本解析条件での付着喪失等価領域： l_s は、38～135mmであった。
- 2) l_s は鉄筋径に比例し、コンクリート圧縮強度の-0.5乗に比例する。
- 3) すべりの算定でコンクリートひずみを無視した場合の付着喪失等価領域： l_s'

は、 l_s の1.3～4.5倍であり、 l_s'/l_s と鉄筋径/かぶりの関係は一つの曲線で表せる。

参考文献

- 1) マスコンクリートの温度応力研究委員会:温度ひび割れ幅算定方法についての提案,日本コンクリート工学協会,1992.9
- 2) 壹岐,清宮:コンクリートの軸方向応力を考慮した異形鉄筋の局所付着特性,土木学会論文集, No.676, pp.65～76, 2001.5
- 3) 島 弘, 周 礼良, 岡村 甫: マッシュなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着応力-すべり-ひずみ関係,土木学会論文集, No.378, pp.165～174, 1987.2

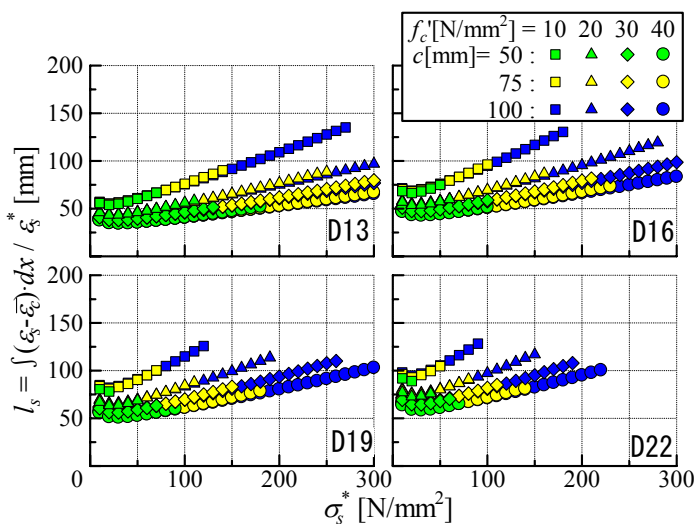


図-3 付着喪失等価領域： l_s の解析結果

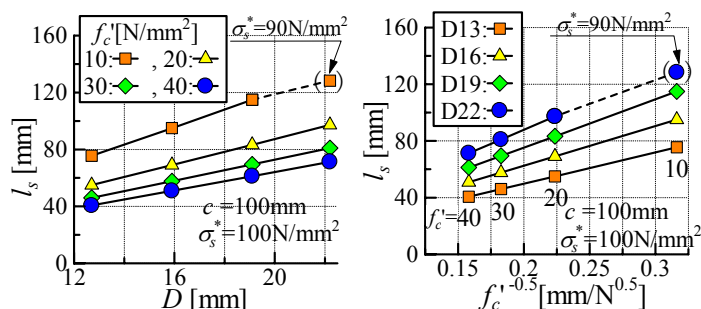


図-4 l_s と鉄筋径の関係

図-5 l_s と f_c' の関係

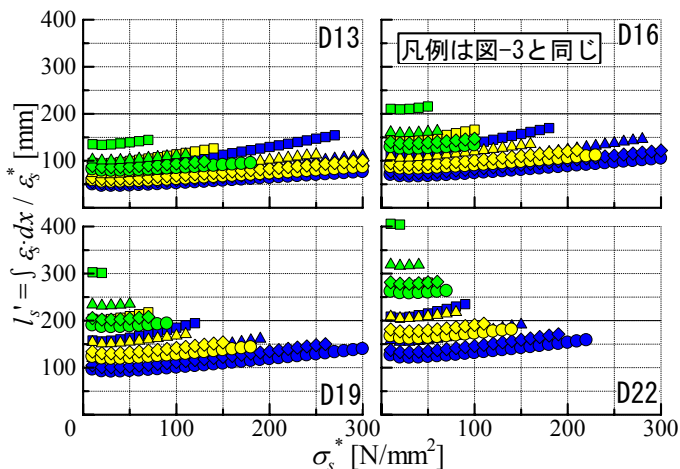


図-6 コンクリートひずみを無視した場合： l_s' の解析結果

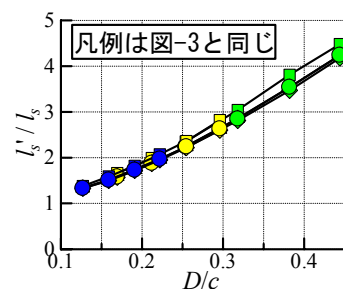


図-7 l_s'/l_s と D/c の関係