ストランドを軸方向鋼材に用いた杭部材の鋼材比についての考察

鹿島建設㈱　正会員　○黒岩育子　　フェロー　山野辺慎一
東日本旅客鉄道㈱　正会員　滝沢　聡　　正会員　加藤精亮

1．はじめに

低空頭・狭隘地における場所打ち杭の施工性を改善するため，杭の軸方向鋼材にストランド（PC 鋼より線）を用いた伸縮可能な鉄筋かごが開発されており [1]，実構造物にも適用されている [2]．一般に，RC 部材の設計における構造細目に，軸方向鋼材の最小鉄筋比（全軸方向鉄筋比 p_t，引張鉄筋比 p_t）の規定があるが，本工法では軸方向鋼材に高強度のストランドを用いることから，通常の RC 部材に比べ軸方向鋼材比が小さくなるため，これらの規定の背景や目的について考察し，本工法における最小鋼材比を提案した．

写真－1 ストランド鉄筋かご

2．全軸方向鋼材比 p_t に関する規定

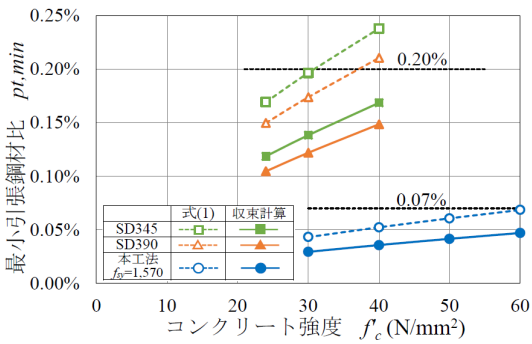
全軸方向鋼材比の最小値は，コンクリート部材のいかなる断面に対しても，コンクリートの収縮や温度によるひび割れを有害でない範囲に抑える必要があることから設けられている規定であり，一般に，コンクリート断面積の 0.15%とされている．コンクリートのひび割れ幅は鉄筋の強度には依存しないことから，ストランド杭においてもそのまま適用して良いと考える．

3．矩形断面の引張鋼材比 p_t に関する規定

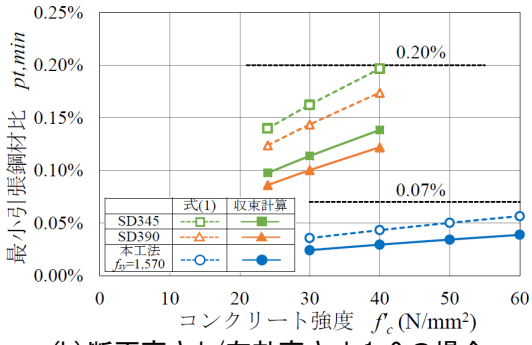
曲げモーメントに対する RC 部材の挙動は，通常，曲げひび割れの発生，軸方向鉄筋の降伏を経験した後，鉄筋に十分な塑性変形が生じ，圧縮縁のコンクリートが終局ひずみに達して，破壊に至る．引張鋼材比 p_t に関する規定は，こうした RC 部材としての曲げ性状を付与する必要から，軸方向鋼材のうち曲げに寄与する引張鋼材に対して設けられた規定である．

通常強度の鉄筋（SD345 等）と通常強度のコンクリート（設計基準強度 30N/mm² 程度以下）の条件では，軸方向引張鋼材比 p_t を 0.2%以上とすれば，ひび割れ発生モーメント M_c よりも降伏モーメント M_y が大きくなるため，これを最小値と規定している．

この規定は，軸方向鉄筋とコンクリートの強度に依存することから，高強度コンクリートや高強度の鉄筋を用いる場合には，別途検討する必要がある．本工法においては，通常強度の鉄筋に比べ高強度のストランドを使用することから，鋼材比をさらに小さくできると考えられる．



(a) 断面高さ h/有効高さ d=1.1 の場合



(b) 断面高さ h/有効高さ d=1.0 の場合

図－1 M_y>M_c となる最小引張鋼材比（矩形断面）

矩形断面の単鉄筋断面においては，ひび割れ発生モーメント M_c よりも鉄筋の降伏モーメント M_y が大きくなるための条件は，コンクリートの引張強度 f_{ct}=0.23f_c'$^{2/3}$ と降伏曲げモーメントの計算式から比較的容易に求められるが，計算の過程において収束計算が必要なことから，最小引張鋼材比を式(1)で求めてよいとされている [3]．

$$p_{t,min}=0.058(h/d)^2(f'_c{}^{2/3}/f_{sy}) \quad \cdots \quad 式(1)$$

ここで，h：断面高さ，d：有効高さ，f'_c：コンクリート強度(N/mm²)，f_{sy}：軸方向鋼材の降伏強度(N/mm²)．

キーワード　ストランド，場所打ち杭，鉄筋かご，最小鋼材比
連絡先　〒107-8502　東京都港区赤坂 6-5-30　鹿島建設㈱土木設計本部　TEL 03-6229-6658

© Japan Society of Civil Engineers

図－1 に式(1)による計算例(破線)と収束計算で M_c=M_y の条件から正確に求めた結果(実線)を示す. なお, 計算には断面寸法におけるかぶりの大きさが影響するため, 比較的小さな断面高さでかぶりが相対的に大きい h/d=1.1 (a)とした場合，および断面高さが大きいことを想定した h/d=1.0 (b)とした場合について計算した.

図－1 より，式(1)による最小引張鋼材比はいずれの条件においても収束計算による値の約 1.4 倍であり，かなり安全側に設定されていることがわかる．また，鉄筋が SD345 でコンクリート強度が 40N/mm^2 のような組合せにおいては 0.24%以上が必要との計算結果になり，一般に適用される 0.2%の値は，必ずしも満足されていないが，それ以外のケースにおいては，概ね，カバーされていることがわかる．ただし，収束計算により正確に求めれば，0.2%の規定はかなり安全側であるといえる．

本工法のような高強度の軸方向鋼材を使用する場合の最小引張鋼材比 p_t を 0.07%と設定すれば，通常強度の鉄筋を用いる場合と同程度の余裕を確保できる．

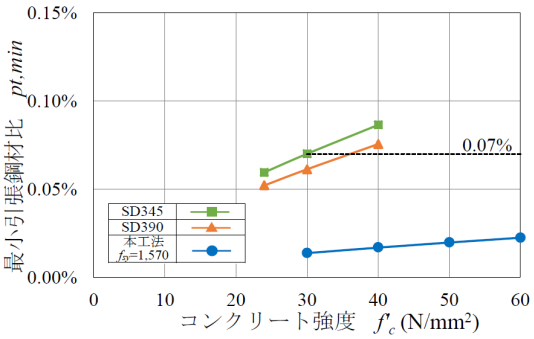
4．円形断面における引張鋼材比 p_t

引張鋼材比 p_t は，矩形断面においては有効断面積 bd に対して断面の引張側に配置される軸方向鉄筋比であるが, 杭においては軸方向鉄筋が円周上に等間隔で配置されるため，便宜上，1/4 周（90°範囲）の軸方向鉄筋を引張鉄筋として算定している．

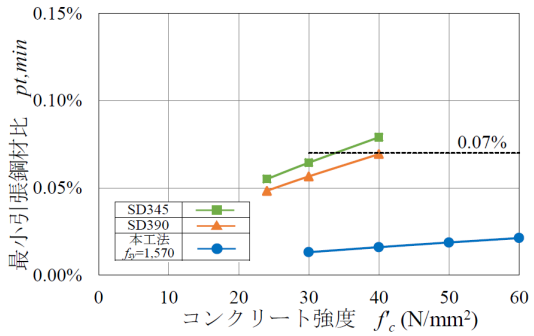
杭のような円形断面では, 通常の諸元において中立軸は断面のかなり圧縮縁側にあり，1/4 周（90°範囲）よりもはるかに多量の軸方向鉄筋が引張鉄筋となる．さらに，中立軸は鋼材比が低いほど圧縮縁に近づくことから, ストランド場所打ち杭工法における最小引張鋼材比 p_t は, 0.07%とすれば, 十分安全であるといえる．

なお, 円形断面における引張鋼材比 p_t を上記の値とした場合, 全軸方向鋼材比 p_t は 4 倍の 0.28%となるから，コンクリートの収縮や温度によるひび割れが有害でない範囲に抑えるための全軸方向鋼材比の最小値 p_t>0.15%は，自動的に満足される．

参考に，円形断面に対しても，収束計算により M_c=M_y の条件から引張鋼材比 p_t（全軸方向鋼材比 p_t の 1/4）を正確に求め，**図－2** に示す．ここでも，比較的小径の杭を想定した軸方向鋼材の配置径 D_s と杭径 D の比を D_s/D=0.75 (a)とした場合と，大口径杭を想定した D_s/D=1.0 (b)とした場合について計算した．



(a) 鉄筋配置径/杭径=D_s/D=0. 75 の場合



(b) 鉄筋配置径/杭径=D_s/D=1. 0 の場合

図－2 M_y>M_c となる最小引張鋼材比(円形断面)

中立軸比は 0.4～0.2 程度で, 全軸方向鋼材の大半が引張鋼材であるため，本工法の最小引張鋼材比 p_t を 0.07%とすれば十分安全であることがわかる．

5．おわりに

RC 部材としての軸方向鋼材の最小量について，規定の背景や目的について整理し，ストランドを用いた円形杭部材の最小鋼材量について提案した．今後は，他の構造細目についても充実させていきたい．

謝辞：本検討の成果は，鉄道 ACT 研究会のストランド場所打ち杭工法の技術資料に反映された．委員会各位に，紙面を借りて謝意を表する．

参考文献

1) 山野辺慎一，河野哲也，中井督介：ストランドを軸方向鋼材に用いた場所打ち杭における伸縮式鉄筋かごの機構とその特性，土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造), Vol.74,No.3,207-217,2018
2) 鈴木健一，加藤精亮，堀田智弘，川村大士，山野辺慎一，加納暢彦：ストランド場所打ち杭工法の実構造物への適用，土木学会第73回年次学術講演会，VI-1022,2018
3) 土木学会：コンクリート標準示方書2017年制定[設計編]，pp.342-343

© Japan Society of Civil Engineers