# 論文 高強度異形鉄筋を緊張材として用いるプレテンション部材の定着お よび付着性能評価に関する研究

菅田 昌宏\*1

要旨:高強度の異形鉄筋をプレテンション部材の緊張材として用いれば、ひび割れ分散用鋼材としての機能 を兼用できるので、総鋼材量の削減により合理的なプレストレスト鉄筋コンクリート(PRC)構造の実現が 可能である。しかし、異形鉄筋を緊張材として用いる場合は通常のPC鋼材と異なり、鋼材の付着性能が高い ため、緊張材定着領域での付着割裂破壊のリスクが増大する。本論文ではプレテンション部材を対象に、緊 張材(異形鉄筋)の定着長さおよび最大付着応力度に及ぼす緊張材径、かぶり厚さ、導入緊張応力度、コン クリート強度の影響を調べ、PRC部材定着部の性能を評価するための基礎資料を提供することを目的とする。 キーワード:高強度異形鉄筋、緊張、プレテンション部材、緊張材定着領域、定着長さ、最大付着応力度

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート部材における鉄筋の高強度化は,部 材終局強度の向上や鋼材量の削減,配筋密度の緩和など の大きなメリットがあるものの,常時荷重下では高強度 鉄筋に見合った高い鉄筋応力を許容すると,ひび割れ幅 やたわみが増大して耐久性や居住性能を阻害するといっ た問題があるため,高い材料強度を活用することができ ない。そこで,大野・鈴木らは,プレテンション部材を 対象として,高強度の異形鉄筋そのものを緊張し常時荷 重下でのひび割れ幅やたわみを制御する手法を包括的に 研究している<sup>例えば1,2)</sup>。この手法では,ひび割れ分散性に 富む異形鉄筋を緊張材として兼用するので,合理的に PRC 部材を設計し,製造・施工することが可能となる。

高強度異形鉄筋を用いて、プレテンション方式により コンクリートにプレストレスを確実に与えるためには、 部材端部における異形鉄筋(緊張材)の定着領域での性 状把握が重要となる。日本建築学会プレストレストコン クリート設計施工規準・同解説<sup>3)</sup>(以下, PC 規準という) では、PC 鋼より線など各種の PC 鋼材を用いた場合の定 着長さを推定する手法が各種示されているものの、異形 鉄筋を緊張材として用いた場合の定着長さは示されてい ない。

そこで金ら<sup>40</sup>は, 異形鉄筋を緊張材として用いる場合 の定着長さを, 断面が  $120 \times 120$ mm で, 長さが 1300mm のコンクリートプリズムの中心に鉄筋が配置された試験 体による両引き付着実験から得られた  $\tau$ -S (付着応力— 相対すべり)関係を用いて,付着解析により推定する手 法を提案している。ここで金ら<sup>40</sup>は,鉄筋が引張力を受 けて細くなる状況下での両引き付着実験で得られた $\tau$ -S関係が,緊張材端部での緊張力が解放されて鉄筋が太く なる状況下での緊張力導入時の **r**-S 関係とほぼ同等で あることを実験結果によって示すとともに、その理由を 「異形鉄筋ではふしによる機械的作用が支配的であるた めである」と説明している。本研究においても鉄筋の引 き抜き試験によって得られた付着特性が、異形鉄筋を緊 張材として用いる場合の、緊張力導入時における定着領 域の性状把握にも適用できるとする。

他方,寄特ら<sup>5</sup>は,かぶり厚さを変えた両引き試験の 結果から,異形鉄筋の τ-S 関係が,かぶり厚さと鉄筋径 の影響を受け,鉄筋径が大きくなると付着強度は小さく なり,かぶり厚さが大きくなるほど付着強度が大きくな ることを示している。

先述した,金らによる手法の実験範囲は,鉄筋径 D16, D19 (SD295, 490), コンクリート強度 25, 48N/mm<sup>2</sup>, 緊張材応力度 196, 392 N/mm<sup>2</sup> である。近年では,空間 活用の効率化を目指して,より大きなスパンあるいはよ り大きな荷重に対して設計が可能となるような技術のニ ーズが高まっており,材料の高強度化や太径鋼材の利用 が進みつつある。このように緊張材の高強度化や太径化 によって,部材設計や生産の合理化が可能になる一方で, 部材端部緊張材定着領域での負荷が増大し付着割裂破壊 のリスクが増大するので,同部位の設計や性能評価を広 範なパラメータで行える手法の開発が必要である。

本研究では、このような背景の下、高強度異形鉄筋を プレテンション部材の緊張材として使用する、横補強筋 が無い場合の、同定着領域の緊張材定着長さ、最大付着 応力度を4つのパラメータ(コンクリート強度、緊張材 として用いる異形鉄筋の径、かぶり厚さ、緊張材応力度) を広範に設定し、後述する六車ら<sup>6,7),8)</sup>の手法を用いて算 定する。本研究の最終目標は、上述した算定結果を基に

\*1 (株) 竹中工務店技術研究所 新生産システム部 主席研究員 博士 (工学) (正会員)

してプレテンション部材の緊張材定着領域における設 計・評価手法の基礎資料を得ることである。

#### 2. 緊張力導入時の定着領域性能評価フロー

緊張材定着領域の性能評価項目は二つある。一つ目の 評価項目は,緊張力が定着領域で,コンクリートとの付 着を介して確実に伝達できる十分な定着長さを有してい るかどうかである。十分な定着長さを確保できていない, 部材長さの短いプレテンション部材は,所要のプレスト レスを導入することが困難となり、部材としての必要な 力学性能を発揮することができなくなる。なお,前出の PC 規準<sup>3</sup>には,部材長さが定着長さの4倍以上必要であ る理由が示されている。

二つ目の評価項目は、部材端定着領域で、部材性能を 大きく劣化させるような付着割裂破壊が生じないように することである。先に述べたように近年ではコンクリー トの高強度化が進み、スレンダーでかつ高い耐力を有す る部材が増えている。このような部材では過密配筋とな りやすいので、これを避けるためにより高強度の鋼材、 より太い径の鋼材を使用する傾向がみられる。このよう に, 高強度で径の太い鋼材を使用する場合は, 付着割裂 破壊が生じやすくなる。付着割裂破壊が生じると、必要 な緊張力を保持できなくなるとともに、生じたひび割れ による耐久性への影響が懸念されるので十分な注意が必 要となる。図-1は、上述した緊張材定着領域の性能評 価フローを示したものである。定着領域の性能評価は, 部材設計(断面設計)が終了した後に以下の手順で実施 する。まず、部材長さが緊張材必要定着長さの4倍以上 であることを確認する。ここでの必要定着長さならびに

その定着長さに対して生じる最大付着応力度は,後述す るように緊張材周辺のコンクリートが割裂しないという 前提の下で算出された値である。よって,この最大付着 応力度が,当該部位の付着割裂強度以下であることを別 途に確認しなければならない。



図-1 定着領域の性能評価フロー

異形鉄筋定着領域の付着割裂強度は,先述したように, ふしの機械的作用が付着性能を支配するため,後述する 引き抜き力が作用する異形鉄筋の付着割裂強度推定法に よって評価できると仮定する。

#### 3. 定着長さの算定法

前出の金ら<sup>40</sup>は、プレテンション部材の緊張材緊張力 導入時の付着に対して、鉄筋を引き抜く場合と同様の付 着基本微分方程式(1)が成り立つことを示している。よ って、 $\tau_x \in S_x$ の関数として表すことができれば、適切な 境界条件を用いて同式を解き、材軸(x)方向の $\tau_x$ , $S_x$ 分布を得ることができる。しかしながら、バイリニアの  $\tau-S$ 関係以外では式(1)を解くことが困難であるため、後 述する本研究での付着解析では逐次計算法<sup>60,0,9)</sup>を用い る。なお,式(1)の誘導は前出の文献<sup>60</sup>に詳述されている。

$$\frac{d^2 S_x}{dx^2} = \frac{1+np}{E_s A_s} \varphi \cdot \tau_x \tag{1}$$

記号

 $S_x: x$ 位置での緊張材とコンクリートのすべり変位  $E_{ss}E_c:$ 緊張材・コンクリートのヤング係数, $\tau_x: x$ 位置 の付着応力度, $\varphi:$ 緊張材の周長, $n=E_s/E_c$ , $p=A_s/A_c$  $A_s:$ 緊張材断面積, $A_c:$ コンクリート断面積

図-2は、定着領域における  $S_x$ (緊張材のすべり変位) と付着応力度  $\tau_x$ の軸方向分布を模式的に示したものであ る。理論的には、 $x=\infty$ で  $S=\tau=0$  となるが、六車ら<sup>の</sup>は、 相対すべり S がゼロに近いある有限値になれば定着完了 とみなしてよく、その値として 0.01mm 程度が適切であ ると述べている。また、定着完了点(x=l 点)以降で、 付着応力がほぼゼロとすると、緊張材とコンクリートの ひずみが等しくなり、その応力は各軸剛性に応じて分配 されるので、式(2)によって表すことができる。





$$P_{sl} = \frac{np}{1+np} P_{so}, \quad P_{cl} = \frac{1}{1+np} P_{so}$$
(2)

記号

*P<sub>sl</sub>*: 定着完了点の緊張力, *P<sub>so</sub>*: 初期緊張力 *P<sub>cl</sub>*: 定着完了点のコンクリート断面圧縮力

逐次法による付着解析  $^{(0,7),8)}$ では,所与の $\tau-S$ 関係を 用い,付着応力度が一定と見なせる微小な区間 (区間 i, 区間長さ $\Delta x$ )を考えて,隣接する微小区間 (i+1)の緊 張力  $P_{s,i+1}$ を式(3)によって計算する。さらに,変形適合 条件である式(4)を用いて ( $P_{c,i}$ :区間 i のコンクリート圧 縮力),定着完了点 ( $S_{I}=0.01$ mm)から材端に向かって順 次計算してゆき,緊張力  $P_{s,i+1}$ が  $P_{so}$ に等しくなった時の xが定着長さとなる。

$$P_{s_{\perp}i+1} = P_{s_{\perp}i} + \tau_i \cdot \Delta \mathbf{x} \cdot \boldsymbol{\varphi} \tag{3}$$

$$S_{i+1} = S_i + \frac{1}{2} \Delta x \left\{ \frac{P_{s,i} + P_{s,i+1}}{E_s A_s} - \frac{P_{c,i} + P_{c,i+1}}{E_c A_c} \right\}$$
(4)

### 4. 付着応力度-すべり関係

# 4.1 付着強度 Tmax

上述した手法を用いて定着長さ等を算定するために は、適切な $\tau$ -S関係を与えなければならない。同関係に 関する既往の研究は多くあり、多数の推定式が提案され ている。島ら<sup>90</sup>は、マッシブなコンクリートに埋め込ま れた鉄筋の引き抜き実験を行い、定着長さが十分に長い 場合の $\tau$ -S関係を式(5)のように誘導している。同式に よれば、付着強度は $0.9\sigma_B^{23}$ となるので、この値が鉄筋の 取り得る最大の付着強度であると考えることとする。

$$\tau(S) = 0.9\sigma_{R}^{\frac{2}{3}}(1 - e^{-40(\frac{S}{D})^{0.6}})$$
(5)

記号

 $\sigma_{B}$ : コンクリート圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

D:緊張材(高強度異形鉄筋)の直径(mm)

前出の寄特ら<sup>5</sup>は、かぶり厚さ*C*と、鉄筋径*D*をパラ メータとして、横補強筋のないコンクリートブロックを 用いて実験を行い、付着強度に対するコンクリート圧縮 強度  $\sigma_B$ の比を*C*と*D*の関数として定量化している。し かし、本研究では付着強度の最大値を  $0.9\sigma_B^{23}$ と考えるこ とから、 $\sigma_B^{2/3}$ で寄特ら等の実験データを再整理する。

図-3は、かぶり厚さ Cに対する鉄筋径 Dの比を横軸 に取って  $\tau_{max}/\sigma_B^{2/3}$ の値を示したものである。寄特ら<sup>5)</sup>は、 鉄筋径 Dが小さいほど付着強度は大きくなると述べてい るが、同図に併記する金ら<sup>4)</sup>の実験結果も含めると、鉄 筋径 Dの影響は明確とはいえないことから、同関係を式 (6)によって表すこととした。なお、寄特ら<sup>5)</sup>は、定着長 さが比較的短い試験体を用いた実験によって結果を誘導 しているので、今後の課題として、定着長さが長い場合 の実験によって式(6)の検証を行う必要がある。また、図 -3 に示されていない太径鉄筋についての実験による検 証も必要である。さらに、横補強筋が存在するコンクリ ート断面では、その拘束効果によって見かけの C/D 値が 大きくなり、付着強度が向上すると推測されるが、この ような効果の把握についても今後の課題である。

$$\tau_{\rm max}/\sigma_B^{\frac{2}{3}} = 0.1(\frac{c}{D}) + 0.2$$
 (6)



#### 4.2 *τ*−S関係

前節で述べたように島ら<sup>9</sup>は、定着長さが十分に長い 場合の  $\tau$ -S 関係を式(5)で表している。本研究では、プ レテンション部材の緊張材定着領域の定着長さを算定す るという観点から、定着長さが十分に長い場合の $\tau$ -S 関 係である式(5)の関数形状が適用できるものと考えて、式 (7)によってこれを表すこととする。

$$\tau(S) = (0.1(\frac{C}{D}) + 0.2)\sigma_B^{\frac{2}{3}}(1 - e^{-40(\frac{S}{D})^{0.6}})$$
(7)

但し,  $0.1(\frac{C}{D}) + 0.2) \le 0.9$ 

金ら<sup>4)</sup>は,両引き試験 5 体(断面 120×120mm×長さ 1300mm)の結果から得られた  $\tau$ -S 関係を完全弾塑性の 2 折れ線を用いてフィッティングし,同折れ線の剛性 Kと降伏付着強度  $\tau_v$  (=0.9 $\tau_{max}$ )を数値化して示している。





そこで、これらの実験結果と式(7)による推定曲線とを比較し、式(7)による  $\tau-S$ 関係と実験結果との適合性を調べることとした。それらの結果は、 $\mathbf{2}-4$  (a) ~ (e) に示すように、式(7)による  $\tau-S$ 関係推定曲線は実験結

果と,(e)のケースを除いておおむね適合していることか ら,以下に示す付着解析では式(7)を用いることとする。

# 5. 付着ーすべり逐次解析の精度

前章までに述べた手法を用いて,付着ーすべり逐次解 析結果の考察を6章で行うが,本章では,まず解析結果 を実験結果と比較し推定精度を検証する。図-5 は金ら <sup>4)</sup>が実施した高強度異形鉄筋をプレテンション部材の緊 張材に用いる場合の緊張力導入実験<sup>4)</sup>で得られた緊張材 定着長さと,逐次解析による同推定値とを比較した結果 である。同図によれば,推定値は実験値をおおむね±25% の精度で推定することができる。なお,金らが定義した 定着長さは,緊張力が式(2)に示した  $P_{sl}$ の 95%となる点 としている。一方,本研究で用いている定着長さは,相 対すべり S が 0.01mm となる点である。本解析結果から 得られる  $P_{sl_95\%}$ 点の定着長さは,S=0.01mm 点の定着長 さの 95%程度と僅かに短い値であった。よって,同図に は定着長さの定義の違いによる差異が含まれる。



## 6. 付着-すべり逐次解析ならびに考察

# 6.1 解析パラメーター

解析パラメータの一覧を表-1 にまとめて示す。コン クリート圧縮強度は、PRC 指針<sup>10)</sup>でプレテンション部材 として許容されている最小値の 30 から 90 (N/mm<sup>2</sup>) ま でとし、緊張材として用いる異形鉄筋の径は D16~35 の 範囲とした。緊張材のかぶり厚さは、PC 規準で規定され ている最小かぶり厚さ 50mm から 100mm までとした。 また、緊張材の初期緊張応力度は、SD785 の適用を想定 し最大 700 (=785×0.9 $\Rightarrow$ 700 N/mm<sup>2</sup>) と設定した。

なお,解析では,鉄筋の断面が呼び径を直径とする真 円であるとして断面積と周長を算出しており,コンクリ ート断面は金ら<sup>40</sup>の手法に準拠して 90,000 (mm<sup>2</sup>) とし た。また,逐次計算での刻み幅は 0.1 (mm) として計算 を行った。ただし 70 (N/mm<sup>2</sup>) を超えるコンクリート強 度,D32 を超える鉄筋に対する実験は行われていないの で今後の実験による検証が必要である。

項目	範囲
コンクリート圧縮強度, $\sigma_B$	$30 \sim 90 \ (N/mm^2)$
緊張材のかぶり厚さ, C	$50 \sim 100 \ (mm)$
緊張材(異形鉄筋)径, D	16,22,29,35 (mm)
緊 張 材 の 緊 張 応 力 度 ,	$100 \sim 700 (N/mm^2)$

表-1 解析パラメーターの一覧

## 6.2 定着長さについて

図-6 は、かぶり厚さ *C* およびコンクリート強度  $\sigma_B$ が定着長さに及ぼす影響を調べるために、鉄筋は D35、 $\sigma_{so}$ は 500 として、*C* と  $\sigma_B$  を変化させた場合の解析結果を示 したものである。同図(a)によれば、定着長さ *l* を鉄筋径 *D* で除した値は、かぶり厚さ *C* が大きくなるにしたがっ てほぼ直線的に減少する。また図-6(b)は、*l/D* に対する コンクリート強度  $\sigma_B$  の影響を調べたもので、 $\sigma_B$  が大きく なるにしたがって *l/D* は指数関数的に漸減する。例えば、 通常の梁部材で一般的と考えられるかぶり厚さ 70 (mm) の場合を考えると、D35、 $\sigma_{so}$ 500 に対してその定着長さ は、 $\sigma_B$ 30 で 46*D*、 $\sigma_B$ 60 では 31*D*、 $\sigma_B$ 90 では 25*D* となる。 図-1 に示したフローによれば、部材長さは定着長さの 4 倍以上必要であるため、上述したケースでの最小部材 長さは、 $\sigma_B$ 30 で 184*D* (=6440 mm)、 $\sigma_B$ 60 では 124*D* (=4340 mm)、 $\sigma_B$ 90 では 100*D* (=3500 mm) となる。



# 6.3 最大付着応力度ならびに付着割裂破壊について

図-7は、最大付着応力度  $\tau_{max}$ に及ぼす  $C \ge \sigma_B$ の影響 を示したものである。 $\tau_{max}$ は、かぶり厚さ Cおよびコン クリート強度  $\sigma_B$  が大きくなるに従って比例的に大きく なる傾向を示している。同図らによれば、D35 かつ  $\sigma_{so}$ 500 に対して、かぶり厚さ 70 (mm) の場合、その最大付着 応力度は、 $\sigma_B$ 30 で 3.8、 $\sigma_B$ 60 では 5.9、 $\sigma_B$ 90 では 7.5 (N/mm<sup>2</sup>) となる。

さて、2 章で述べたように上述した最大付着応力度は 緊張材周辺のコンクリートが割裂破壊を生じないという 条件の下で算出された値である。よって、付着割裂破壊 が生じるかどうかを日本建築学会の鉄筋コンクリート構 造計算規準・同解説<sup>11)</sup>に示された付着割裂強度推定式に 準拠する式(8)を用いて判定する。

判定に際して,梁幅を 300 (mm) とし, 2本の D35 が 配置されていると想定して W=0 とすれば,式(8)より  $\sigma_B$ 30,  $\sigma_B$ 60, $\sigma_B$ 90 に対して付着割裂強度  $\tau_{bu}$ はそれぞれ 2.0, 2.9, 3.5 (N/mm<sup>2</sup>) となるため,上記の  $\tau_{max}$ よりも小さな値と なって付着割裂破壊が生じる結果となる。そこで,ロー D13@60 の横補強筋を配置すると  $\tau_{bu}$ は,それぞれ 4.5, 6.4, 7.8 (N/mm<sup>2</sup>) となって付着破壊を防止することが可 能となる。ただし,本検討手法の適用性については今後 の実験による検証が必要である。

$$\tau_{bu} = (0.094(\frac{C' + W}{D}) + 0.131)\sqrt{\sigma_B}$$
(8)

 $W = 80A_{st}/sN$ (横補強筋の効果を示す項) 記号

 τ<sub>bu</sub>: 付着割裂破壊強度 (N/mm<sup>2</sup>), N:緊張材本数
 s: 横補強筋間隔 (mm), A<sub>st</sub>: 横補強筋全断面積 (mm<sup>2</sup>)
 C': 緊張材最小かぶり厚さの3倍と緊張材あき寸法の 小さいほうの値 (mm)

# 6.4 鉄筋径および初期緊張応力度の影響について

図-8 (a) ~ (d) は、かぶり厚さを 70 (mm) と固定 し、鉄筋径 D と初期緊張応力度  $\sigma_{so}$ を変化させた時の定 着長さ径比 I/D を、横軸にコンクリート強度を取って示 したものである。同図らによれば、D と  $\sigma_{so}$ が同じであ れば、定着長さ比はコンクリート強度が大きくなるに従 って、指数関数的に漸減しており、この傾向は何れの Dと  $\sigma_{so}$ の組合せに対しても同様である。

次に示す図-9は、上記と同様に、かぶり厚さを70(mm) と固定し、鉄筋径 D と初期緊張応力度  $\sigma_{so}$  を変化させた 時の緊張材最大付着応力度  $\tau_{max}$  を示したものである。同 図らによれば、D と  $\sigma_{so}$  が同じであれば、 $\tau_{max}$  はコンク リート強度が大きくなるに従って、ほぼ直線的に漸増し ており、この傾向は何れのD と  $\sigma_{so}$  の組合せに対しても 同様である。また、図-8 および図-9 から分かるよう に、緊張応力度  $\sigma_{so}$  が大きくなるに従って、定着長さ比 および  $\tau_{max}$  は増大する。



## 7. まとめ

本研究の成果は以下のとおりである。

- 1)高強度異形鉄筋を緊張材とするプレテンション部材定 着領域の  $\tau-S$  関係を、コンクリート強度  $\sigma_B$ と緊張材 径 D ならびに、同かぶり厚さ C をパラメーターとする 新たな推定手法によって提案し、限られた試験体数で はあるが、実験結果とよく適合することを示した。
- 2)付着解析によって得られた定着長さ推定値と実験結果 との比較を行い,限られた試験体の範囲ではあるが, 概ね±25%程度の精度であることを示した。
- 3)コンクリート強度 σ<sub>B</sub>,緊張材(異形鉄筋)径 D,緊張 材かぶり厚さ C,緊張材応力度 σ<sub>so</sub>を変化させた逐次法 による付着解析を行い,緊張材の定着長さおよび最大

付着応力度を算定してその一部を示すとともに付着 割裂破壊に対する検討例を示した。定着長さはかぶり 厚さCが大きくなると漸減し,逆に最大付着応力度は, かぶり厚さCが大きくなると漸増することを示した。

## 謝辞

本論文を執筆するに当たり、大阪大学名誉教授の大野 義照先生には有益なご助言ならびにご指導を頂きました。 また、PC工学会"高強度鉄筋緊張 PRC の研究と設計指 針の作成委員会(大阪大学名誉教授鈴木計夫委員長)"の 委員各位には多大なご協力を賜りましたので、ここに記 して謝意を表します。

## 参考文献

- 鈴木計夫,大野義照,白井敏彦:高強度鉄筋を用い てプレストレスを導入した PRC はりの曲げ性状,コ ンクリート工学年次論文報告集,9-2、pp.489-490,1987
- 2) 尚自端,大野義照,鈴木計夫,鳥居洋:高強度鉄筋 を用いてプレストレスを導入した PRC 合成梁の長 期ひび割れ幅及びたわみ,日本建築学会大会学術講 演梗概集,C-2,構造IV,1998.7
- 日本建築学会:プレストレストコンクリート設計施 工規準・同解説, 1998.11
- 4) 金普漢,大野義照,鈴木計夫,松本吾郎:プレストレストコンクリート緊張材として用いた異形鉄筋の定着長さ(その1,その2),日本建築学会大会学術講演梗概集,C-2,構造IV,1995.7
- 5) 寄特隆宏,檜貝勇,斉藤成彦:異形鉄筋の付着応力 ーすべり関係に及ぼすかぶり厚と鉄筋直径の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.2, 2005
- 6) 六車熙,森田司郎,富田幸次郎:鋼とコンクリートの付着に関する基礎的研究I-(I),日本建築学会論文報告集,No.131,1967.1
- 六車熙,森田司郎,富田幸次郎:鋼とコンクリートの付着に関する基礎的研究I-(II),日本建築学会論文報告集,No.132,1967.2
- 8) 森田司郎,角徹三:繰返し荷重下における鉄筋とコンクリート間の付着特性に関する研究,日本建築学会論文報告集,No.229,1975.3
- 9) 島弘,周礼良,岡村甫:マッシブなコンクリートに 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,V-6,1987.2
- 10) 日本建築学会:プレストレスト鉄筋コンクリート
  (Ⅲ種 PC) 構造設計・施工指針・同解説,2003
- 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同 解説,2010