

異形鉄筋用ネジ式継手の 適正な設計を支援するための研究



研究ノート

巽 昭夫*, 脇山 廣三**

A study to support the reasonable design of the screw-type coupler
of reinforcing deformed bar

Key Words : deformed bar, mechanical coupler, screw

1. はじめに

異形鉄筋を接合するネジ式継手は機械式継手と呼ばれ、すでに各種の方法があるが、この継手の性質がどうあるべきかを考えることから、はじめることにした。

鉄筋の接合部は先ず、接合部強さが鉄筋の引張り強さより強いことである。次に、接合部の剛性が鉄筋そのものの剛性に近いことが望まれる。

筆者らは、建築に高力ボルトが使用され始めた昭和30年代から、高力ボルトの研究を始め、素材の性質、ネジの基本的な機械的性質の研究を続けてきたことから、現在、一般に使われている粗雑な鉄筋のネジ接合よりも、一見、建設の現場接合にはそぐわないような高精度なネジ接合を採用すれば、結果としてカプラーのサイズを小さくした信頼性の高い接合部を作成可能であると考えた。この種の鉄筋の機械式継手は建設現場で使用されるもので、接合性

能の信頼性もさることながら、接合部分の製造および施工コストが競争力のあるものでなければならぬ。

この種の鉄筋の機械式継手に関しては、機械式継手及び圧着継手性能判定基準^{*1}が定められており、建築構造物に鉄筋の機械式継手を採用する場合には、この基準などが適用される。

この基準には、SA級A級B級C級の4種類が規定されており、設計で使用される計算方法や使用される箇所が限定されている。SA級はオールマイティと云えるものだが、開発の当初の使用目的からA級の機械式継手とした。A級の主な機械的性質で重要な項目は接合部強さが鉄筋の引張り強さより強いことと、接合部剛性が鉄筋そのものの剛性の90%以上であることである。

我々の考えた接合部は図1に示すようなもので、異形鉄筋の端部にはJISのねじがあり、その近傍はカプラーが移動出来るように、異形鉄筋の節部にネジを切ってある。



* Akio TATSUMI

1952年3月生
大阪大学工学部建築工学科卒業 (1974年)
大阪大学大学院工学研究科後期課程 単位取得退学 (1979年)
現在、一般社団法人 生産技術振興協会
執行理事・事務局長 工学博士
建築 高力ボルト接合
TEL : 06-6944-0604
FAX : 06-6944-0605
E-mail : seisan@maple.ocn.ne.jp



** Kozo WAKIYAMA

1935年1月生
大阪大学工学部構築工学科卒業 (1958年)
現在、大阪大学名誉教授 工学博士
TEL : 072-623-2547
FAX : 072-623-2547
E-mail : kozowaki@pearl.ocn.ne.jp

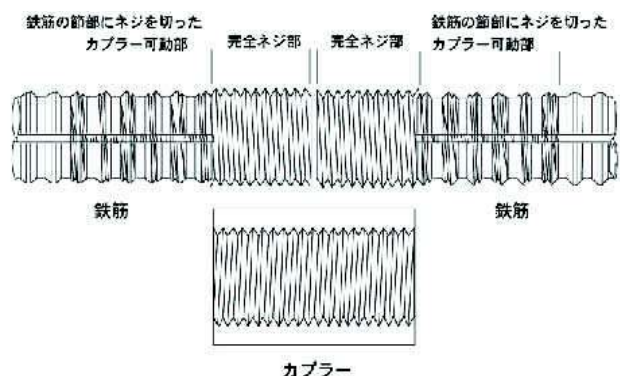


図1 異形鉄筋の継手

この継手は図2の取付け直前図のように、カプラーを回転させ片方の鉄筋の節にネジ切りされた部分まで移動させておいて、次に、対になる鉄筋にカプラーを逆に回転させて接合完了図の状態にする。

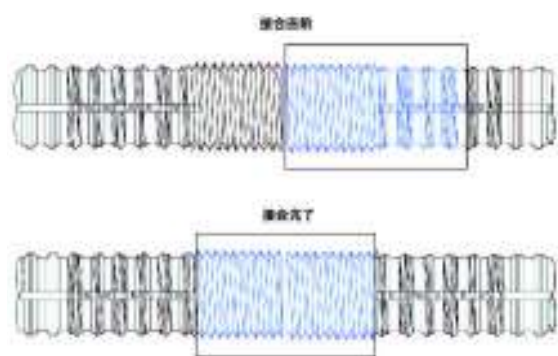


図2 接合手順

このような継手の強度・剛性設計をするためには、カプラーの長さ直径などの寸法が力学性能にどう影響するかを明らかにする必要がある。このためには、鉄筋の直径毎に、ネジのサイズ、カプラーの長さ・直径を変数とした多数の実験をするか、FEM解析によることが考えられる。

最近のFEMソフトは材料非線形に対応し、大変形問題を解析でき、接触面の摩擦を考慮し、ネジなどに関して精度の良い解析が可能であるので、解析で継手の機械的性質を明らかにすることとした。

2. カプラーとナットのネジ山応力分担率について

鉄筋継手（鉄筋とカプラーのセット）とボルト・ナットのセットでは、ネジ山の応力の分担状態が異なることをFEM解析で計算した結果を示す。今回のFEM解析では、すべて通常は安全側のねじ接触面の摩擦はなしとしている。

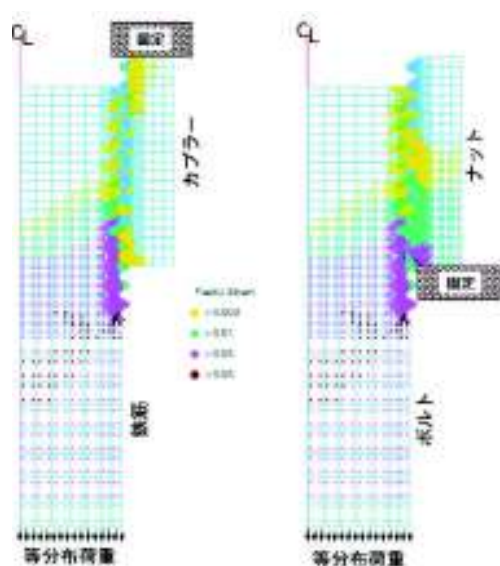


図3 鉄筋とカプラー・ボルトとナットのセットの塑性化状態

図3は、鉄筋・カプラー・ボルト・ナットの素材の降伏点が同一で、カプラー断面積／鉄筋断面積とナット断面積／ボルト断面積がそれぞれ1.2で、軸部に引張り荷重を降伏点の1.1倍加えた場合の各部の応力状態を示しており、鉄筋とボルトの軸部は降伏し、塑性化しているが、カプラーの塑性化は少なく、ナットは少し応力集中部分の一部が塑性化していることを示している。

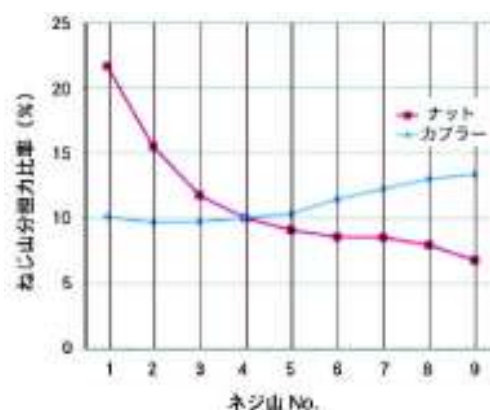


図4 ナットとカプラーのネジ山分担力率

次に、図4にそれぞれのネジ山のかかる応力の分担率を計算して、グラフ化して示している。

ねじ山No.は噛合っているねじの下から番号付けしている。ボルトとナットのセットに力を加えた場合にはナット底面側のネジ山に非常に偏ったネジ山分担力が生じるが、鉄筋とカプラーの場合には、分担力が均一化され、全てのネジ山に比較的均等に力が働くので全ネジが有効に働くことが予想される。

3. カプラーの機械的性質の影響

鉄筋とカプラーが同一の有効断面積を持つ場合にカプラーの降伏点を変化させて継手の塑性歪みの状態や荷重変形関係をFEM解析で求めている。

カプラーの降伏点／鉄筋の降伏点の比Rを0.9～1.7まで変化させている。形状寸法は鉄筋D22の場合のものである。解析で用いた鉄筋の降伏点は350N/mm²であり、それらを表1に示す。

表1 カプラー降伏点 / 鉄筋降伏点

カプラー Yp (N/mm ²)	315	350	385	420	600
R	0.9	1.0	1.1	1.2	1.7

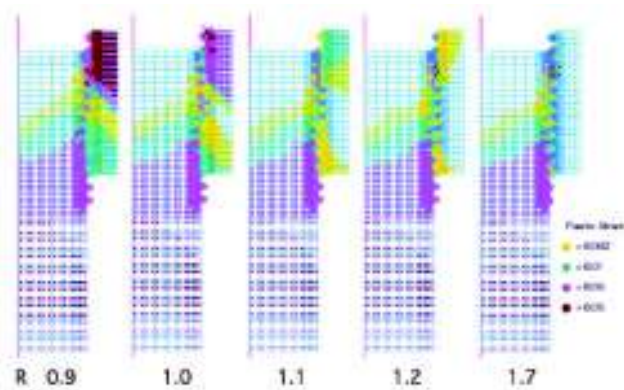


図5 カプラー降伏点/鉄筋降伏点を0.9～1.7に変化させた場合の塑性状態の比較

図5は、鉄筋の降伏点の1.14倍の引張り荷重を与えた場合の継手断面の降伏状態の比較であり、Rが1.2以上ならば、カプラー断面の塑性化部分の領域も小さく塑性量は0.2%以下で、カプラーはほぼ弾性状態であることがわかる。

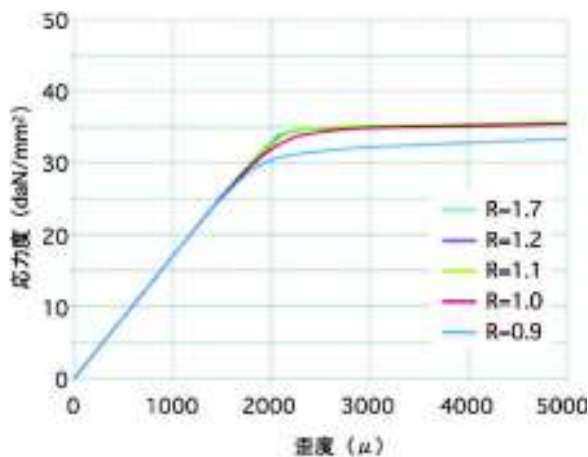


図6 カプラー降伏点と継手剛性の関係

図6はカプラーの降伏点/鉄筋の降伏点の比Rを同様に0.9～1.7まで変化させた場合の継手の引張り荷重（鉄筋の応力度）と継手の伸び（継手の長さで除して歪度評価）関係をグラフで表している。

このグラフからわかるように、Rが0.9では明らかに、降伏点に近い荷重で、接合剛性は低下しRが1.0でも若干その傾向が見られるが、1.1を上回れば、継手の変形性状は、鉄筋の性質で決まることになる。

カプラー断面積が鉄筋の断面積より大きいこの継手では、Rが1.1以上であれば、継手の変形性状は鉄筋の性質に支配される。実際に採用されるカプラーの材料は、圧造品もしくは引抜き材であり、圧造

品では降伏点 600 N/mm^2 、引抜き材のカプラーではそれを上回る降伏点をもっており、接合耐力・接合剛性に関して、上位の性能を有することが推定される。

4. 噛合いネジ山数と継手剛性

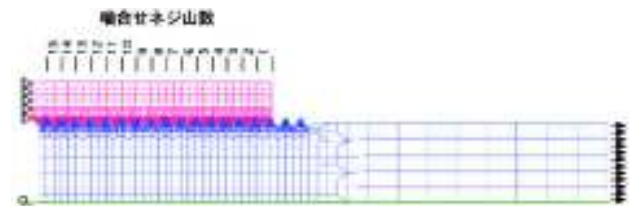


図7 噛合いネジ山数の解析モデル

このモデルで、噛合いネジ山数をねじ山の接触面定義を用いて、噛合いネジ山7～15まで変化させてFEM解析し、噛合いネジ山ごとに引張り応力度と歪み度の関係を求め、グラフ化したのが図8である。

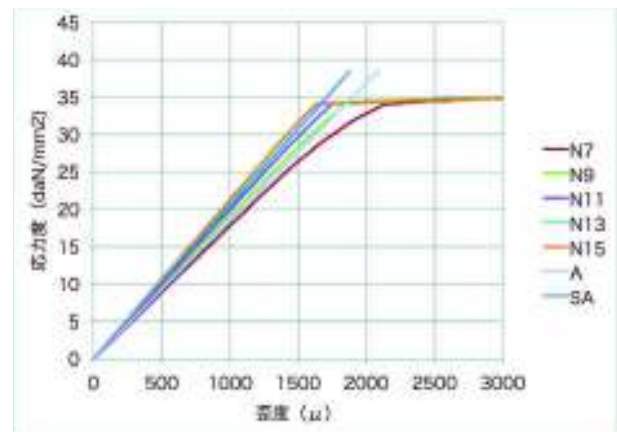


図8 噛合いネジ山数と継手剛性の関係

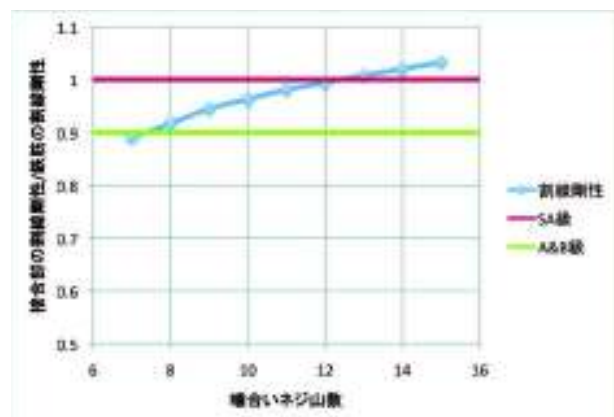


図9 噛合いネジ山数と割線剛性の関係

図8にはN7,N9---N15の噛合いネジ山数に対応した応力度-歪度曲線が示されており、A、SAの直線はその級での弾性域での必要勾配を表している。

図9は、噛合いネジ山数と鉄筋の降伏点の7割荷重時の割線剛性の関係をグラフで表しており、噛合いネジ山数を増やせば、接合部の剛性が顕著に増やせることがわかる。6項で検討するカプラーの直径を増すことと、比較すればその意味の違いは明らかである。

すなわち、一山増やすごとに剛性は2%程度増加するが、カプラーの直径を実用範囲でいくら増やしても2%程度の増加しか期待できない。

5. ネジピッチの継手剛性に及ぼす影響

同一の噛合せ長さを持つ継手でネジのピッチの異なる場合に、継手剛性がどのように変化するかを調べるため、D16鉄筋に直径24mmのカプラーとセットにし、M17ネジで噛合せ長さ L_n を12mmの場合に、噛合いねじ山数 N とネジピッチ P を($N=12$, $P=1.0$ mm)、($N=8$, $P=1.5$ mm)、($N=6$, $P=2.0$ mm)の3つの組み合わせの図10に示すモデルについて解析した。

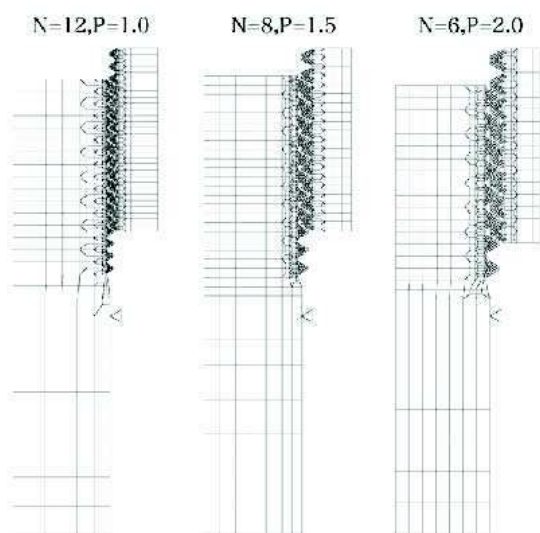


図10 ネジピッチ影響調査モデル

解析した結果、このモデルの軸応力度と伸びの関係は図11に示すようなもので、継手の降伏強さは変わらないが、弾性域の勾配はピッチが2倍になった場合4%程度低下する。ピッチは作業性から決められることが多いと思われ、剛性を変えるためにあ

えて変えるようなことはされないが、この事象は知っておく必要はあるだろう。

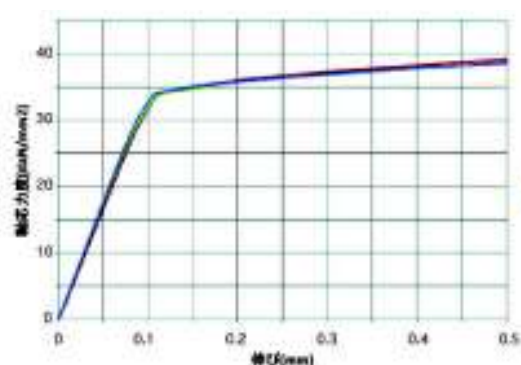


図11 ネジピッチと軸応力度-伸びの関係

6. 鉄筋継手のカプラー有効面積と鉄筋の有効断面積比の継手剛性に及ぼす影響

この解析は鉄筋継手のカプラー有効面積と鉄筋の有効断面積比はあまり継手剛性に影響がないだろうと推定されていたが、あえてそれを証明するために解析されたものである。

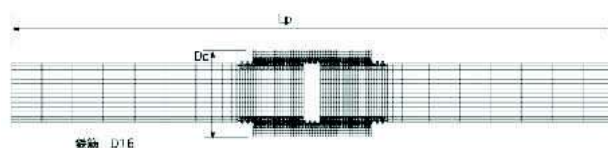


図12 解析モデル図

表2 カプラー有効断面積と鉄筋有効断面積比 R_c

カプラー直径 D_c (mm)	22.0	22.6	23.2	23.4	24.0	24.6
R_c	0.90	1.00	1.10	1.15	1.26	1.50

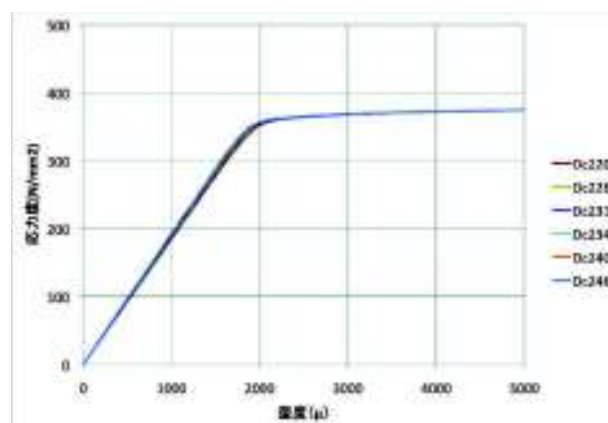


図13 カプラーの直径と接合部の応力度-歪度の関係

この解析では平行して行われた実験と比較のため、鉄筋はSD345 D16 で降伏点 370.9 N/mm^2 、丸カップラー（冷間圧造）は降伏点 538.0 N/mm^2 、ネジはM17.0 で行われた。

図12のような解析モデルでカップラーの直径を22.0～24.6（カップラー／鉄筋面積比：0.9～1.50）変化させて、長さ測定の検定長を168 mmで両端に引張り荷重を加えた場合、応力度と歪み度の関係は図13のように、あまり変化がみられない。

また、A級継手では、継手の鉄筋の降伏時の7割に至るまでの応力度-歪み度の勾配が鉄筋の9割以上であることが要求されているが、図14に見られるように、実設計で採用されるカップラー／鉄筋面積比：1.10～1.30（図中の空色）の範囲では継手剛性／鉄筋剛性は通常の実験のバラツキの程度（1～2%）の変化しか見られない。

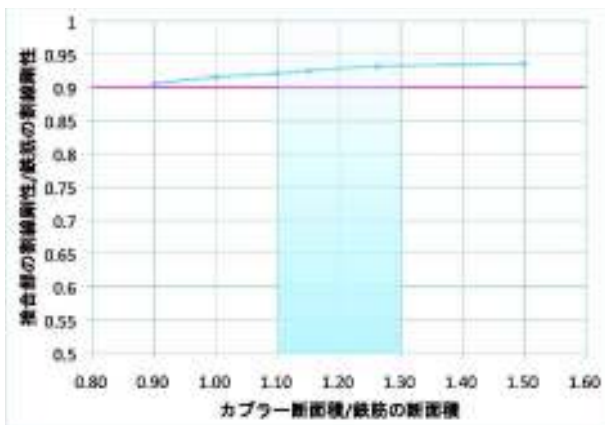


図14 カップラー外径変化させた時の0.7 σ_{yo} 割線剛性

これらのことから、継手強さが鉄筋の強さを上回るような継手では、カップラーの有効断面積が継手剛性に及ぼす影響は非常に少ないことがわかる。

7. 機械式継手性能判定基準に定められた検長（標点距離）に関連する事柄

「継手単体の試験で、剛性、変形、ひずみ量等を求める時の検長は、特定検長とする。ただし、特定検長が50cmより短い場合は、50cmを限度として特定検長より、長い検長で試験してよい。」と定められている。ここで云う特定検長はカップラー長に鉄筋径または40mmを加えた長さの大きい方と決められているが、カップラーが短い場合には、検長の測定器取り付け困難になる場合があるので、50cm限度の規定を採用し、特定検長より長くすることが普

通である。

「」で定義された規定は、剛性定義を曖昧にしているが、実験を行う時の現実的な対応であると考えられる。

この基準では、検長に関する伸びから剛性評価する場合、継手部も鉄筋の断面積で構成されているものとして、ヤング係数のディメンジョンで評価する見かけのヤング係数を採用しており、SA級では、継手の剛性／鉄筋の剛性が1.0以上であること、A、B級では0.9以上であることと定められている。

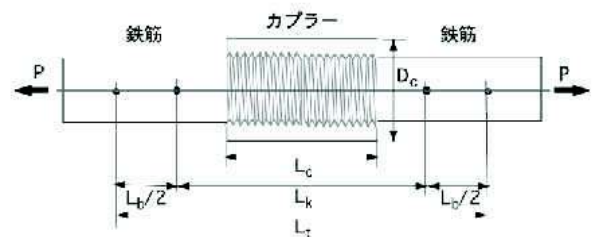


図15 引張り試験体の検長の変化

図15のような試験体の区間長さ、断面積、伸び、見かけのヤング係数の記号を下表で示す。

区間長さ	L_k	L_b	L_t
断面積	A_b^*	A_b	A_b^*
伸び	δ_k	δ_b	δ_t
見かけのヤング係数	E_k	E_b	E_t

A_b^* は断面積を A_b と見なすことを示している。また、この継手の場合、剛性 E_b は鉄筋のヤング係数（ $E_o = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ）そのものである。

試験体に引張力 P が働いた場合、 L_k 、 L_b 、 L_t に関するそれぞれの伸びは下式で表され、

$$\delta_k = \frac{P L_k}{A_b E_k} \quad \delta_b = \frac{P L_b}{A_b E_b} \quad \delta_t = \frac{P L_t}{A_b E_t}$$

かつ、 $\delta_t = \delta_k + \delta_b$ であるから、上の3つの式を代入して整理して、 E_t を求めると

$$E_t = \frac{E_k E_b L_t}{E_b E_k + E_k L_t}$$

すなわち、 L_k に関する剛性 E_k が既知である場合、検長が L_b だけ大きくなった場合には、この式で L_t に関する剛性 E_t が計算できる。検長が短くなった

場合は L_b に負の数値を与えればよい。

図 15 に示す鉄筋の機械式継手、鉄筋径 D16 で、ネジ径 M17、カプラー寸法 ($D_c = 24$, $L_c = 33$) の場合に、検長 $L_k = 6 \times 16 = 96\text{mm}$ で、 $E_k = 1.80 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$ であることが解析で得られているとすれば、この場合、検長の変化量 L_b を与えて新しい検長 L_t に関する剛性 E_t を求めることが出来る。

検長を変化させた場合の継手の剛性 E_t を鉄筋の剛性 E_o で除した値を図 16 に示す。この図から、検長 96mm で行った試験で、継手の剛性が鉄筋の剛性の 0.88 倍であった場合、検長を 25mm ほど増やすことによって A 級の必要条件の 0.9 以上にすることが可能であり、試験で許容されている最大検長 500mm では 0.97 程度になることがわかる。また、ある検長で継手剛性比 1.0 を上回っていた場合には検長を伸ばせば、逆に見かけの剛性は低下し、1.0 に近づくことになる。このようなことを承知の上で、この試験に臨む必要がある。

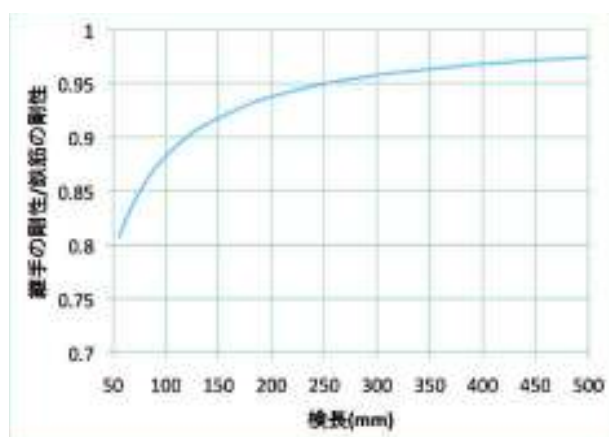


図 16 検長と継手の見かけの剛性の関係

8. まとめ

継手強さが鉄筋強さを上回り、継手を含む検長に対する剛性が、鉄筋の剛性の 9 割を越えるようにするには、ネジ長さ・カプラー寸法を下記のようなことに配慮して定める必要がある。

(1) 継手強さが鉄筋強さを上回る条件

$${}_c\sigma_y \times A_c > \alpha \times {}_b\sigma_y \times A_b \text{ である。}$$

A_c : カプラーの有効断面積

A_b : 鉄筋の有効断面積

${}_c\sigma_y$: カプラーの降伏点 ${}_b\sigma_y$: 鉄筋の降伏点

SD: 鋼材の強さの標準偏差 α : 安全率

$\alpha = (1+3SD)$ 程度に安全をとることにすれば、通常鋼材の場合 SD は 5% 以内なので、 α は 1.15 となる。予想される使用鋼材はカプラーの方が鉄筋より高強度と予想されるが、同じであるとすれば、 $A_c > 1.15 A_b$ を満たすようにすればよい。

但し、製作誤差 (5% 程度) を考慮にする必要がある。

(2) ねじの強さと剛性

過去に提案した単純なねじ強さの式*2を用いたり、一般的なボルト・ナットの場合、ネジ抜けしない条件として不完全ネジ部を含めたネジ長さがボルト径の 80% 程度あればよいことが知られている。

継手を含む検長に対する剛性が、鉄筋の剛性の 9 割を越えるようにするには、この報告書の 4 項の図 9 からわかるように、鉄筋径 19 の場合、有効なネジ長さ (ピッチ 2×8 以上) すなわち、鉄筋径の 85% 以上、100% 程度が望まれる。

すなわち、必要なネジ長さは強さよりも剛性で要求されるネジ長さで定める必要がある。

(3) その他の影響因子

ネジピッチは 4 項に検討したように、ネジ長さ同一の場合、小さなピッチの方が剛性に有利であるが、その差は僅かである。また、実使用範囲のカプラー直径の変化に対して剛性の変化はわずかである。

これらのことは鉄筋の機械式 (ネジ) 継手の設計の指標になると考える。

参考文献

- *1 国土交通省住宅局建築指導課等監修 建築物の構造関係技術基準解説書 2007 年版
- *2 日本建築学会論文報告集 第 69 号 昭和 36 年 10 月 鷲尾健三、脇山広三