



特集記事・4

我が国の社会インフラを支える鉄鋼材料

高機能鉄筋棒鋼とその周辺技術

High-performance Reinforcing Bars and their Peripheral Technologies

JFE 条鋼 (株)
技術部
主監
小松喜美
Yoshimi Komatsu

JFE 条鋼 (株)
技術部
主任部員
小林日登志
Hitoshi Kobayashi

JFE 条鋼 (株)
鉄筋・構造技術グループ
グループマネージャー
猪砂利次
Toshitsugu Inosako

JFE 条鋼 (株)
鉄筋・構造技術グループ
主任部員
丸山 透
Tooru Maruyama

JFE 条鋼 (株)
鉄筋・構造技術グループ
主任部員
木上貴夫
Takao Kigami

JFE 条鋼 (株)
鉄筋・構造技術グループ
主任部員
山田直人
Naoto Yamada

JFE 条鋼 (株)
水島製造所 品質保証室
室長
萩原 浩
Hiroshi Hagihara

1 はじめに

我が国で鉄筋コンクリート造が初めて採用されたのは20世紀初頭であり、当時の鉄筋には丸鋼や角鋼が使われていた¹⁾。一方、現在主流となっている異形鉄筋が使われ出したのは1940年代からである。さらに、1970年代後半になると構造物の高層化、大型化の進展に伴い、コンクリートの高強度化が始まり、施工会社各社で鉄筋コンクリート造の研究開発が活発に行われるようになった。そして、1980年代に入ると、超高層建築物の耐震性能の更なる向上や施工の合理化を目的として、高機能鉄筋や高強度コンクリートが実用化されるようになってきた。

一方、鉄筋同士を繋ぐ継手工法に関しても、鉄筋コンクリート造の創生期には重ね継手中心であったものが、圧接継手、溶接継手、機械式継手など多岐に渡る継手工法が並行して開発され、施工管理、品質管理に関する要求レベルも年々高まってきている。

本稿では、当社の高機能鉄筋棒鋼としてのねじ節鉄筋・高強度鉄筋や機械式継手・定着板の開発経緯、および機械式継手の品質管理手法、各種施工事例を紹介し、これらの開発商品の普及に向けての活用法を展望する。

2 高機能鉄筋棒鋼とその周辺技術

鉄筋の特殊な継手としてねじ節鉄筋を用いた機械式継手が採用され始めたのは、1970年代に大型橋梁の橋脚主筋で、そ

の優れた施工性、経済性から広く認識されるようになった。その後、1980年代に原子力発電所本体で採用されるようになり、熱を与えない継手で良品質となることから現在でも使用されている。更に、建築分野で普及する契機となったのは、1988年度から1993年度まで5ケ年間、旧建設省が行った総合技術開発プロジェクト「鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発」(New RC総プロ)²⁾で、機械式継手がPCa工法、先組工法の主要な継手として選定されたことが大きい。このNew RC総プロの成果が、現在の継手や高強度鉄筋に影響を与えている。

また、煩雑な配筋の緩和のため、曲げ定着の代替として開発されてきたのが機械式定着板である。

定着板も1970年代から開発が始まり、New RC総プロでの検討もあり採用されるようになってきた。日本建築センター評定や日本建築総合試験所(GBRC)の建築技術性能証明を各社が取得するようになった。GBRCでは実験を指導し、共通の指針を作成し、適用範囲を拡げてきており、その流れが2012年からの建築構造技術支援機構(SABTEC)につながっている。

当社でも、旧川崎製鉄や旧日本鋼管(共に現JFEスチール)の頃から、機械式継手、機械式定着、高強度鉄筋、靱性保証型鉄筋の開発を行ってきており、それぞれ、日本建築センター評定、建築構造技術支援機構(日本建築総合試験所)評価、国交省大臣認定等を取得している。

以下にその概要を述べる。

2.1 ねじ節鉄筋

2.1.1 概論

ねじ節鉄筋は異形棒鋼の節をねじ形状としたもので、専用のカプラーなどを使用することにより機械的な接合（機械式継手）の適用が可能である。また、専用の定着プレートを使用することで機械式定着の適用が可能である（写真1）。

ねじ節鉄筋の圧延は専用ロール孔型を使用し、呼び名毎の最適設計とすることで節寸法やねじピッチを造り込み、カプラーへの嵌合性と継手性能を保証している。現在は10社程度のメーカーがねじ節鉄筋を製造しており、製造されている規格（種類の記号）としてはJIS G3112に規定されたSD295A～SD490と国土交通大臣認定による高強度材USD590A～USD685B及びUSD980が有る。USD980以外は基本的にアズロールで製造されており、呼び名D13～D51までが全て直棒で製造されている。

当社で製造している鉄筋棒鋼の規格（種類の記号）及びサイズ（呼び名）の一覧を表1に示す。ねじ節鉄筋の製造は水島

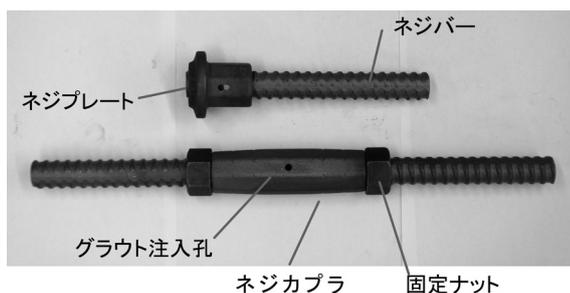


写真1 ねじ節鉄筋と機械式継手および機械式定着に使用する付属品例（呼び名D22）
（注）グラウト材は未注入

製造所及び豊平製造所で行っており、ほとんどの規格とサイズを網羅している。なお、高強度鉄筋及び呼び名D13、D16、D51の製造は水島製造所のみである。

2.1.2 機械式継手

ねじ節鉄筋を用いた機械式継手は、ねじ節と嵌合する接続金具（カプラー）を用いて2本の鉄筋を繋ぎ、カプラーと鉄筋をグラウトなどで固定することが基本原理である。固定方法や施工形式により、いくつか種類があり（表2）、適用対象や要求される性能により使い分けられている。

無機グラウト固定式は高い耐火性能が要求される建築用に適用されることが多く、有機グラウト固定式は無機グラウト固定式より施工が簡便であることから、耐火性能の要求が比較的緩い土木物件に多く適用されている。また、トルク固定式はナットや鉄筋を一定以上のトルクで締めこむことで固定するもので、グラウトを用いないため、施工は更に簡便であるが固定力に制約が有り、呼び名D29以下で適用されている。

代表例として図1に無機グラウト固定式機械式継手の概要図を示す。無機グラウト固定式の場合は、鉄筋を嵌合後、ナット

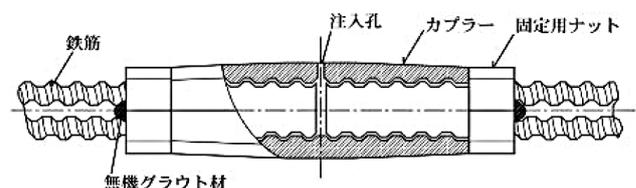


図1 無機グラウト固定式 機械式継手

表1 当社で製造中の鉄筋棒鋼一覧

分類	種類の記号	呼び名											
		D10	D13	D16	D19	D22	D25	D29	D32	D35	D38	D41	D51
JIS G3112	SD295A	○	●	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SD345	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	SD390	/	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	SD490	/	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
高強度 (大臣認定)	USD590B	/	/	/	/	/	/	/	●	●	●	●	/
	USD685A	/	/	/	/	/	/	/	●	●	●	●	/
	USD685B	/	/	/	/	/	/	/	●	●	●	●	/
	JH785	○	○	○	/	/	/	/	/	/	/	/	/

凡例 ●：ねじ節と一般節 ○：一般節のみ -：製造可能（製造無し） /：製造対象外

表2 ねじ節鉄筋を用いた機械式継手の分類

施工形式	標準	固定方法		
		無機グラウト	有機グラウト	トルク固定式
形式	標準	●	●	○
	打継	●	●	○
	PCa	○	○	-

凡例 ○：該当継手有り ●：該当継手有り（当社も有り）

トにより鉄筋とカプラーを仮固定してから無機グラウトを注入して完全固定するが、これはグラウトが硬化するまでの間に振動等で隙間が出来て、継手性能が低下することを防止するためである。有機グラウトは硬化時間が短いことと、鉄筋やカプラーに対する付着性が高いことから有機グラウト固定式では、基本的にナットは不要である。

カプラーは主に鋳物で作られ、①使用する鉄筋の最大強度に対し安全率を考慮しても破断しない機械的性質と断面寸法、②継手性能を満足する節形状と鉄筋嵌合長さ を元に設計されている。カプラーの中央部には穴が開けられており、専用注入器具を用いてグラウト剤を注入する。無機グラウトはセメント系充填固化剤で、一般に粉末状態で缶に詰めて供給され、所定量の水を添加してミキサーで攪拌してから、注入用カートリッジに充填して使用する。有機グラウトは2液混合型のエポキシ樹脂系充填固化剤で、充填時にノズル内で混合されるため事前調整が不要で無機グラウトよりも施工が簡便である。

機械式継手は以下の特徴をもつために、継手の品質向上、工期短縮のメリットが大きく、近年、建築及び土木の様々な物件で採用が増えている。

- ① 特殊技能が不要で、簡単な講習により誰にでも施工でき、品質のバラツキが少ない。
- ② 熱を加えないため、鉄筋の材質劣化が無い。
(特に高強度材で顕著)
- ③ 天候に左右されず施工が可能であるため、継手品質の向上および工期短縮のメリットが大きい。

2.1.3 機械式定着板

定着板については、建築向けには、GBRC建築技術性能証明取得に始まりSABTEC評価につながり、現在に至っている。定着金物も下記判定基準³⁾によるSABTEC評価取得金物となっている。

判定基準①：定着筋母材の規格引張強さ以上の引張力を受けても損傷しないこと。

判定基準②：定着筋が仕口面で長期および短期許容引張応力度に達しても、それぞれ定着筋と定着金物との嵌合部に有害なすべりが発生しないこと。

(原則、一方向引張試験 $\delta s \leq 0.3\text{mm}$)

また、土木向けには、土木学会指針において、軸方向鉄筋、横方向鉄筋それぞれの実験手順が示されており、それに従った試験を第三者試験機関で進めている。

当社では、ねじ節鉄筋と嵌合するタイプの機械式定着板の開発を行ってきている。適用範囲が広く、理論に裏打ちされ

た最先端の指針に基づき、検定計算サポートや建築現場での配筋チェックのサポート等を実施している。

2.2 高強度鉄筋

2.2.1 概論

高強度鉄筋は、JIS G3112で規定されているSD490を超える強度のものを指し、国土交通大臣認定(法第37条第二号)によりその性能と品質を保証されている。これは、New RC総プロにおいて開発と試作が行われ規格案が作られたもので、柱及び梁の主筋用としてUSD590A～USD685B及びUSD980、せん断補強筋としてUSD785及びUSD1275が製造されている。また、近年は新たにせん断補強筋用として、降伏強度を685N/mm²としたUSD685が登場している。

現在は20社近いメーカーが大臣認定を取得しており、降伏強度785N/mm²までの製品は基本的にアズロール、それを超えるものは熱処理を行うことで製造されている。直棒で製造されるものが多いが、せん断補強筋用のUSD785及びUSD685の一部とUSD1275はコイル材である。

高強度鉄筋は圧接などの加熱による機械的性質の劣化が大きいため、主筋用はねじ節鉄筋で製造されるものが多く、一般節(横節)の場合もスリーブジョイントを適用するなど、基本的には接合方法として機械式継手が採用されている。せん断補強筋は溶接閉鎖型が多く使用されており、アプセットバット溶接又はフラッシュバット溶接が適用されるが、その溶接品質の管理は厳格に行われている。

2.2.2 当社の高強度鉄筋

表3に当社で製造している高強度鉄筋の一覧とその機械的性質を示す。主筋用としてUSD590B～USD685Bの3種を呼び名D32～D41の範囲で製造しており、せん断補強筋用としてJH785を呼び名D10～D16の範囲で製造している。

主筋用の高強度鉄筋は一般節(横節)とねじ節があり、ねじ節については無機グラウト固定式の機械式継手(BCJ評定-RC0443-02)及び機械式定着(SABTEC評価12-01R2)の適用

表3 高強度鉄筋の機械的性質

種類の記号 (大臣認定番号)	降伏点 又は耐力 (N/mm ²)	引張 強さ (N/mm ²)	降伏比 ¹⁾ (%)	降伏棚の 歪み度 ²⁾ (%)	伸び (%)	曲げ性 半径 ³⁾ x 角度
USD590B (MSRB-0088)	590～650	738 以上	80 以下	1.4 以上	12 以上	2D x90°
USD685A (MSRB-0089)	685～785	806 以上	85 以下	1.4 以上	10 以上	2D x90°
USD685B (MSRB-0093)	685～755	856 以上	80 以下	1.4 以上	10 以上	2D x90°
JH785 (MSRB-0096)	785 以上	930 以上	-	-	8 以上	1.5D x180°

(注) 1) 「降伏比」は「降伏点又は0.2%耐力」を「引張強さ」で除したもの。
2) 「降伏棚の歪み度」は規格降伏点又は0.2%耐力の上限値を異形棒鋼の実S-Sカーブが通過する時の歪値
3) D: 公称直径

が可能である。

せん断補強筋は曲げ加工時の振れ低減を考慮した4条リブの横節形状で製造しており、設計施工指針 (SABTEC 評価15-01) 及び溶接継手評定 (SABTEC 評価15-04) を取得している (写真2)。

2.2.3 強度と靱性 (伸び) の両立について

高強度鉄筋 (USD590B~USD685B) においては、強度と靱性 (伸び) の両立が重要である。特に主筋用に使用される USD685B 等では、RC 構造物のせん断破壊防止のため降伏点又は0.2%耐力の上限⁴⁾ 及び降伏棚の歪度が規定されており、降伏点を明瞭に出現させ、かつ強度を高めるためフェライト量を出るだけ多く保ちながら、析出強化と結晶粒微細化による強化を併用して特性を達成している。具体的には、①C、Mnの添加量を適切に抑制する、②低温圧延により結晶粒微細化を図る、③Nb、Vの添加により析出強化と結晶粒微細化を図る、といった手法が用いられている。

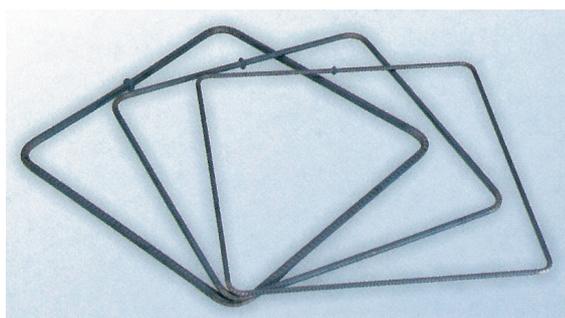


写真2 高強度せん断補強筋

図2に水島製造所において製造しているUSD685B D41ねじ鉄筋の引張試験チャート例及び機械的性質のヒストグラム例を示す。化学成分及び圧延条件を適切にコントロールすることにより、明瞭な降伏点と高く安定した伸びを実現し、各特性のパラツキを小さく管理することが出来ている。

せん断補強筋用の高強度鉄筋 (JH785) に関しては、降伏点又は0.2%耐力の上限及び降伏棚の歪度が不要であることと、製造される呼び名の範囲がD10~D16と細いことが主筋用と異なる。

一方で溶接閉鎖型への適用から、溶接性を考慮した成分設計と圧延条件の設定を行う必要がある。このため、直棒で製造される降伏点又は0.2%耐力 $\geq 785\text{N/mm}^2$ クラスまでのものでは、主筋用の高強度鉄筋と基本的に同様の技術を適用可能であるが、主筋用と比較して①C、Mnの添加量をより低目とする、②低温圧延による結晶粒微細化の効果をより積極的に活用する、といった手段により要求特性を達成している。

一方、コイル材で製造されるものは、仕上圧延機を出た後の水冷及び風冷による組織コントロールが可能であることから、直棒と異なりベイナイト組織による組織強化を活用しているものが多い。C添加量は直棒のものより更に低く設定されており、CrやBなどの焼入れ性を高める元素を添加することで、断面全体を安定したベイナイト組織にするとともに、溶接による熱影響で溶接部の強度が低下することを抑制している。

図3に水島製造所において製造しているJH785 D13高強度せん断補強筋用棒鋼 (直棒) の引張試験チャート例及び機械的性質のヒストグラム例を示す。化学成分及び圧延条件を最適化することで、高強度と高い伸び特性の両立を実現している。

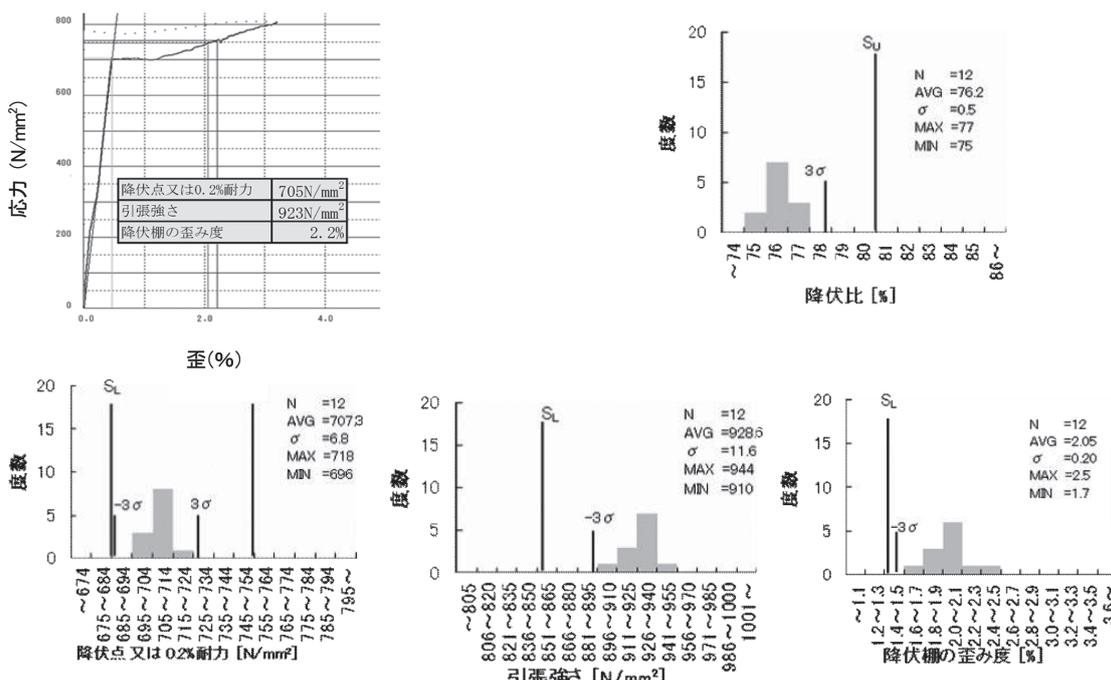


図2 当社のUSD685B D41ねじ鉄筋の機械的性質例

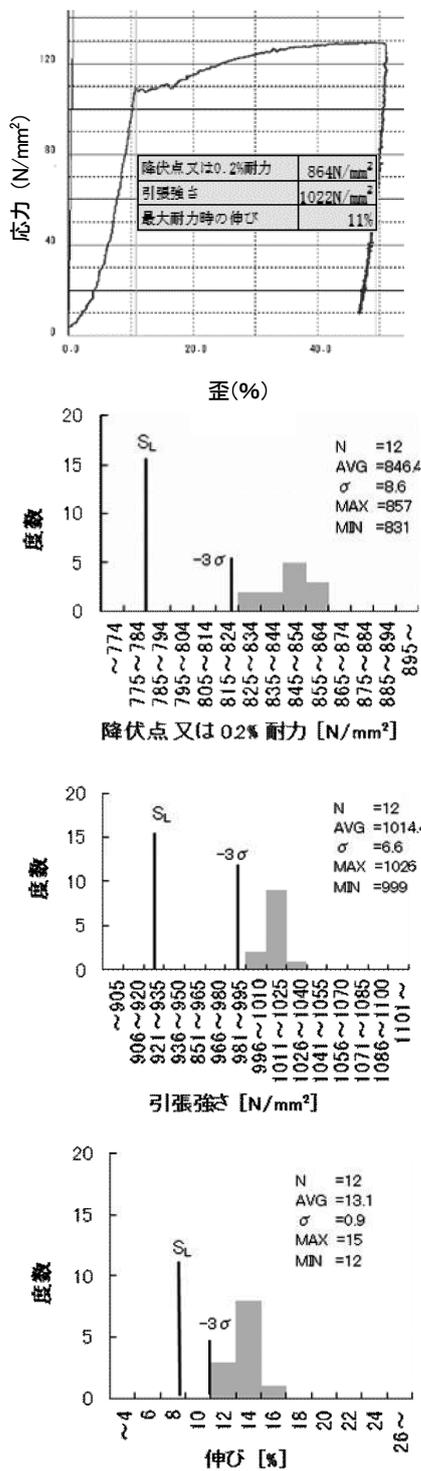


図3 当社のJH785 D13高強度せん断補強筋用鉄筋の機械的性質例

2.2.4 機械式継手の高強度対応

高強度鉄筋の機械式継手においては、付加される応力が高くなることに伴ったカプラーの破壊防止、および継手性能を満足させるため、以下の対応が必要になる。

- ① カプラーの高強度対応
- ② グラウト材の高強度化
- ③ 鉄筋とカプラーの嵌合状態の最適化

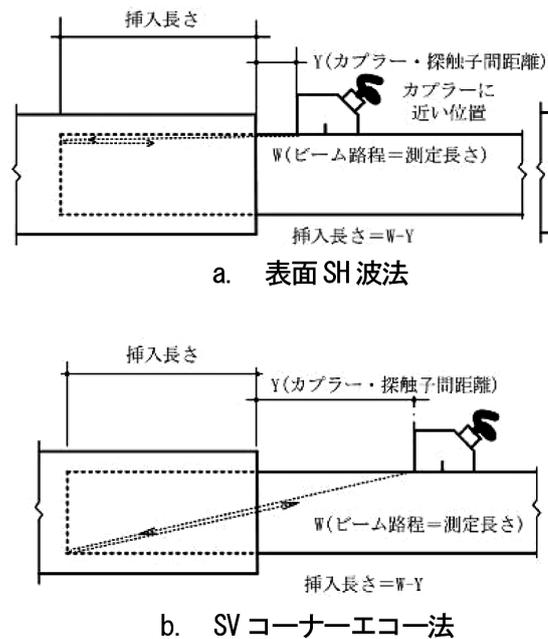


図4 機械式継手の鉄筋挿入長さの超音波測定試験方法⁵⁾

当社では機械式継手の高強度対応として、①カプラーの高強度対応に関しては、従来品の材質がFCAD1200であったものをFCAD1400に強度アップするとともに、USD685B鉄筋の実績最大強度を考慮した断面寸法設計とすることにより対応を行った。なお、最も高い応力が掛かるカプラー中央部以外は、肉厚を減らすことなどでカプラー重量を従来品の+10%程度に留め、施工時の作業負荷軽減を図っている。

また、A級継手性能を満足させるため、②グラウト材の高強度化に関して従来品より強度を20%アップした新しい高強度無機グラウト材を開発し、③鉄筋とカプラーの嵌合状態の最適化として鉄筋の節形状とカプラーの節形状をそれぞれ見直すとともに、ねじピッチの誤差を小さくすることで鉄筋節とカプラー節の接触性向上を行った。

2.3 継手センサー

機械式継手では、ねじ節鉄筋をカプラーに螺合した後、カプラーに設けられたグラウト注入孔からグラウト材を注入することによってねじ節鉄筋を固定する。このような機械式継手において、ねじ節鉄筋のカプラー内への挿入長さが短すぎると機械式継手の強度が低下するため、その検査方法が規定されている。

外観検査として挿入マークの位置確認で鉄筋の挿入長さを担保する方法や、超音波測定を用いた日本鉄筋継手協会規格JRJS 0003 (機械式継手の鉄筋挿入長さの超音波測定試験方法及び判定基準)に規定されている「表面SH波法」または「SVコーナーエコー法」により鉄筋のカプラー内への挿入長さを確認する方法⁵⁾等がある (図4)。

また、ねじ節鉄筋をカプラーに挿し込んだ後グラウト材を注入する前に、簡便な手段で効率良くかつ精度良くねじ節の先端同士の間隔を測定する測定装置および測定方法も提案されている。

このような継手センサーの一例としては、当社が提案している「計測用センサーをグラウト注入孔から挿入し、その計測用治具がねじ節鉄筋の先端に接触した時にねじ節鉄筋の先端を検出することによって電流が流れて、ブザーや電灯が作動するような構成になっている内部測定センサー」や、「計測用治具をグラウト注入孔から挿入し、ねじ節鉄筋の先端とグラウト注入孔の距離を測定できる内部測定治具」⁶⁾ などがある (写真3)。

3 高機能鉄筋の施工事例と普及に向けての展望

3.1 高機能鉄筋の施工事例

写真4に地下構造物の施工事例を示す。

地下側壁の打継ぎ部分の縦方向主筋継手を機械式継手とすることで、継手施工の省力化と短工期施工を実現している。

写真5に柱梁接合部の施工事例を示す。

梁主筋端部を機械式定着板による直線定着とすることで、柱梁接合部内の過密配筋の解消とコンクリートの充填性向上による品質の改善に貢献している。

3.2 高機能鉄筋の普及に向けての展望

最適な経済性を追い求めるニーズを構築物の地下部と地上部に分けた時、前者の方が構造躯体をシンプルにした時のコ

ストパフォーマンスが高い。前述した製品群を既往の工法と複合的に組み合わせることで、そのニーズに真正面から応えることができると考えられる。

図5に、地下部のシンプル化に欠かせない、各部に対する各製品群の活用法と効果について示す。



写真4 地下構造物への機械式継手の適用例 (土木)



写真5 柱梁接合部への定着板の適用例 (建築)



a. 内部測定センサー



b. 内部測定治具

写真3 継手センサーの一例

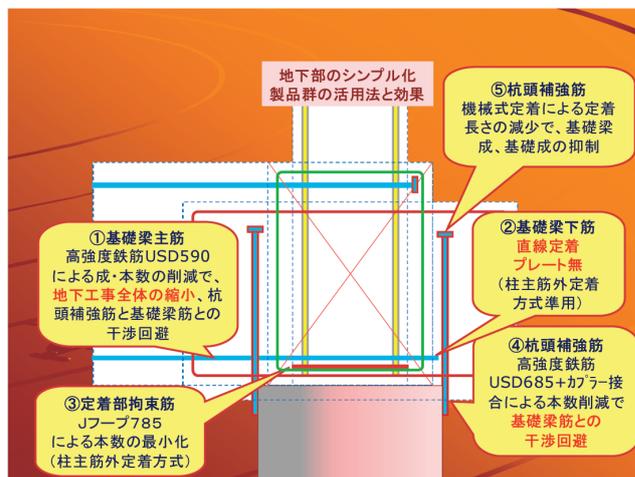


図5 地下部のシンプル化と製品群の活用法と効果

高機能鉄筋の活用により、以下の効果が見込まれる。

- ①基礎梁主筋をUSD590とし、基礎梁主筋本数および基礎梁成の減少により、地下の工事量を縮減する。
- ②基礎梁主筋を機械式定着とし、下端筋の基礎内直線定着により、折曲げ上げによる配筋干渉を解消する。
- ③柱主筋を機械式定着とし、定着部拘束筋を高強度せん断補強筋Jフープ785により、枚数を適正化する。
- ④杭頭補強筋の種類をUSD685とし、補強筋本数削減により配筋干渉を低減する。
- ⑤杭頭補強筋USD685を機械式定着とし、定着長さを縮小することで基礎梁成を抑制する。

これらの活用法の内、④、⑤の実施例を以下に示す。

杭頭補強筋として高強度鉄筋USD685を適用したものである。設計当初のSD490を適用する場合に比べて、鉄筋数量が減少し材料費トータルで約2%のコストダウンを達成、前述した高強度鉄筋の優れた機械的性質も評価され、実工事への採用となったものである。

また、高強度化により杭頭補強筋に使用する鉄筋の本数を約20%削減できたことで、基礎梁主筋との干渉を減らすことができ、鋼管杭とカップラーとの溶接も含めた配筋施工の省力化による工期短縮とコストダウンを達成している。

4 おわりに

当社が取り組んできた高機能鉄筋、機械式継手等の開発経緯や品質管理手法について紹介した。

今後も建設現場のニーズに即した商品開発、改良に取り組み、施工現場でより扱いやすい、施工品質確保の容易な高機能鉄筋棒鋼製品により、個別製品だけでなく施工性の向上や省力化につながる工法提案といった、その製品の機能を最大化させるような取組みを継続してゆく所存である。

以上

参考文献

- 1) 普通鋼電炉工業会：普通鋼電炉のあゆみ、(2007)
- 2) 日本建築学会：高強度コンクリートの技術の現状、(2009)
- 3) 建築構造技術支援機構：SABTEC機械式定着工法設計指針、(2014)
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型設計指針・同解説、(1999)
- 5) 日本鉄筋継手協会規格：JRJS 0003：2015（機械式継手の鉄筋挿入長さの超音波測定試験方法及び判定基準）、(2015)
- 6) JFE条鋼HP：継手治具センサー、
<http://www.jfe-bs.co.jp/ds/sensor>

(2016年8月31日受付)