

## 鉄筋に関する最近の技術の動向

池 田 尚 治\*

**概要** 現在では、価格の点で電炉鉄筋が大幅に普及し、高炉鉄筋のシェアは相当に小さくなっている。本稿は、このようない現実を踏まえて、鉄筋に関する最近の技術の動向について述べるものである。なお、本誌 Vol. 17, No. 7(1979年7月号)に鋼材の特集が組まれているので、重複をさけて執筆している。

**キーワード** : 鉄筋、高炉鉄筋、電炉鉄筋、維手、耐塩性鉄筋、極太径鉄筋、高強度鉄筋

### 1.はじめに

鉄筋コンクリート構造物の強度や韌性は、鉄筋にその多くを依存している。鉄筋は一般に、近代化された工場で良好な品質管理のもとに製造され、日本工業規格 JIS G 3112 等によって規格化されているため、建設材料として極めて高い信頼度を得ているものと思われる。これは鉄筋製造者の永年の努力の結果と思われ、我々建設関係にたずさわる者にとっては真に有り難いことである。鉄筋コンクリートの歴史は古く、既に 130 年の実績をもつものであるが、鉄筋に関して言えば、最近の 30 年間における進歩発展は著しいと言えよう。異形鉄筋の普及、高強度化、太径化、種々の継手法の開発等が鉄筋コンクリート構造物の進歩発展に大きく寄与しており、この流れは現在も続いている。しかしながら鉄筋は、商品として経済市況の影響を大きく受けることも事実であり、製造方法も大きく変化している。いかに優れた品質や性能の鉄筋を開発しても、それを用途として有効に活用できなければ、価格の安い通常の鉄筋に太刀打ちできないと言える。

現在、鉄筋は年間、我が国で約 1000 万 t 近くが生産されているが、その約 90% は価格の安い電炉鉄筋である。今まで、鉄筋に関する多くの技術開発が高炉メーカーによって行われ、現在も引き続いて行われているが、高炉鉄筋のシェアは約 10% に過ぎないのである。鉄筋に関する最近の技術動向を探るにあたり、まずこのことを念頭に置くことが必要であると思われる。

### 2. 鉄筋の製造方法および規格

鉄筋には、高炉メーカーの製造するいわゆる「高炉もの」と電炉メーカーの製造するいわゆる「電炉もの」がある。

\* いけだ・しょうじ／横浜国立大学教授 工学部建設学科  
(正会員)

主なものであるが、このほかに、鉄屑、市中発生の形鋼などを再圧延して製造する再生棒鋼がある。

鉄筋には、表面の平滑ないわゆる「普通丸鋼」と、表面に突起をつけた「異形鉄筋」とがあるが、現在では異形鉄筋が主流である。異形鉄筋が主流となったのは昭和 30 年代以降であって、その品質や異形の形状、製造技術の研究は、当初、高炉メーカーによって積極的に行われた。この時点では、鉄筋用の圧延素材として小形の鋼材を使用する必要があり、分塊圧延工場を持つ高炉メーカーが有利であった。

昭和 40 年代になると、電気炉製鋼設備と操業技術が大いに進歩し、また連続铸造技術の実用化が進み、分塊圧延の工程を経なくとも小形の鋼片（ビレット）を安価に製造することが可能となった。また、異形鉄筋として具備すべき性能は、圧力容器用鋼板などと比べてそれほど高いものが必要とされないので、圧延機も小型軽量のものを用いることができる。このようにして、電気炉と連続铸造による経済的な製造方法が確立し、今日の電炉鉄筋の大幅な普及を見るに至ったのである<sup>1)</sup>。現在、電気炉による普通鋼の生産は年間約 2000 万 t であるので、そのうちの約 4 割が異形鉄筋であることになり、異形鉄筋の占める割合は大きい。

高炉鉄筋は、鉄鉱石を原料とし、これを高炉で還元して銑鉄としたものを転炉で精錬して製造される。一方、電炉鉄筋は、スクラップ等を主原料として、電気炉で精錬して製造される。したがって両者は精錬の前までが異なるが、精錬以降はほぼ同じ工程で製造される。

電炉鉄筋の場合、原料として精選された鋼屑のみを用いれば極めて質の高い製品を造ることが可能であり、逆にプレス屑を多く使うと、銅や錫などが混入して品質が低下する。また、プレス屑を多く用いると能率が下がったり歩留りが悪くなるので、普通はプレス屑を 10% 以下に抑えているようである。精錬に際しては、銅やニッ

ケルの除去がむずかしく、クロム、錫も一部は鋼中に残留することになり、電気炉鉄筋には高炉鉄筋に比べて、一般に銅、錫、ニッケル、クロム等が多く残留することとなる。

表-1 に、製鋼炉における装入原料とその化学成分の例を示す。この表から、装入 t 当りの成分で比較すると、銅は電気炉の場合、高炉に比べて 25 倍も多いことがわかる。また、クロムやニッケルも、それぞれ 4 倍、10 倍と電気炉の場合が多い。

表-2 は、異形鉄筋の電気炉もの、高炉ものの化学成分の比較の例である。銅、クロム、ニッケルの成分比は、いずれも電気炉もの、高炉ものの原料における比率と全く同じであり、銅の場合には電気炉鉄筋は高炉鉄筋に比べて 25 倍も含有している。また、電気炉は転炉に比べて密度が低いので、窒素が鋼中に残りやすく、高炉ものの 2 倍程度の 50~100 ppm が鋼中に含まれる。

以上で、電気炉鉄筋と高炉鉄筋との製造方法の違いと、

それに伴う品質上の差異について述べた。鉄筋コンクリート構造物に用いられる鉄筋には、一般にそれほど高級な品質を要求することは必要ないことが多いので、あらかじめ定められた一定の水準が確保されていれば実用上十分である。

鉄筋としての一定の水準を規定したものに、日本工業規格の JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」(1985)がある。この規格は 1985 年に改正されたものであり、従来と異なる点がいくつかある。すなわち、SD 30 が A と B に分かれ、SD 30 A は従来とほぼ同様であるが、SD 30 B は化学成分の規定や機械的性質が従来の SD 30 と異なっており、機械的性質について言えば、降伏点が 30~40 kgf/mm<sup>2</sup> と限定された幅に入ることが規定されている。また、化学成分についても、SD 30 B の場合については、C, Si, Mn について規定されている。表-3 および表-4 に、JIS G 3112 の化学成分および機械的性質をそれぞれ示す。表-3 に見られるように、化学成

表-1 製鋼炉による装入原料とその化学成分の一例 (二上氏提供)<sup>1)</sup>

製 鋼 炉	装入原料	配 合 率 (%)	化 学 成 分 (%)								
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Sn
LD 転 炉 (高炉法)	溶 鋼 自家発生 肩	85 15	4.5 0.2	0.6 0.2	0.6 0.6	0.12 0.01	0.03 0.01	0.01 0.01	0.02 0.01	0.01 0.01	— —
	装入 t 当り kg	38.6	5.4	6.0	1.0	0.3	0.1	0.2	0.1	—	—
電 気 炉 (鉄くず電気炉法)	冷 鋼 鋼 肩	5 65	4.5 0.1	0.6 0.2	0.6 0.5	0.12 0.015	0.03 0.03	0.01 0.23	0.02 0.05	0.01 0.10	— 0.02
	ブ レ ス 肩	10	0.1	0.1	0.3	0.03	0.05	0.60	0.05	0.10	0.03
	ダ ラ イ コ 肩 自家発生 肩	15 5	0.2 0.2	0.2 0.2	0.4 0.5	0.02 0.025	0.06 0.03	0.20 0.28	0.25 0.10	0.10 0.10	0.04 0.02
	装入 t 当り kg	3.4	2.1	4.3	0.3	0.4	2.5	0.8	1.0	—	0.2

表-2 異形鉄筋 (SD 30) の化学成分の一例 (二上氏提供)<sup>1)</sup>

区 分	化 学 成 分 (%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Sn
高 炉 製 品	0.26	0.25	0.60	0.015	0.015	0.01	0.02	0.01	—
電 气 炉 製 品	0.26	0.25	0.60	0.030	0.030	0.25	0.08	0.10	0.02

注) 製鋼炉に表-1 のような装入物を装入した場合の製品の化学成分

### Recent Trends of the Technology of Reinforcing Bars

By Shoji Ikeda

Concrete Journal, Vol. 25, No. 2, pp. 6~13, Feb. 1987

**Synopsis** Reinforcing bars produced with an electric furnace are widely used in Japan and the share of reinforcing bars produced from a blast furnace has been lowered. This paper describes the recent technical trends of reinforcing bars considering above mentioned situation in this country. The new developments in splices of bars, corrosion-resistant bars, ultra large sized bars, high strength bars and etc, are discussed. Also, future scope of technical development in reinforced concrete is briefly stated.

**Keyword :** reinforcing bar, blast furnace, electric furnace, splice, corrosion-resistant bar, ultra large sized bar, high strength bar

表-3 化学成分 (JIS G 3112)

種類の記号	化 学 成 分 (%)					
	C	Si	Mn	P	S	C+ $\frac{Mn}{6}$
SR 24	—	—	—	0.050 以下	0.050 以下	—
SR 30	—	—	—	0.050 以下	0.050 以下	—
SD 30 A	—	—	—	0.050 以下	0.050 以下	—
SD 30 B	0.27 以下	0.55 以下	1.50 以下	0.040 以下	0.040 以下	—
SD 35	0.27 以下	0.55 以下	1.60 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.50 以下
SD 40	0.29 以下	0.55 以下	1.80 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.55 以下
SD 50	0.32 以下	0.55 以下	1.80 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.60 以下

分では Si が新たに規制値として登場し、機械的性質については、表-4 に見られるように、降伏点として、SD 30 B と同様に SD 35, SD 40, SD 50 の場合に上限と下限が定められている。これらのほか、曲げ試験の内側半径の規定、1 本の重量の許容差等が、従来のものと一部分異なっている。

この JIS G 3112 の規格は、鋼塊から熱間圧延によって製造される鉄筋について規定するものであって、電炉鉄筋、高炉鉄筋のいずれにも適用される。なお、この規格は多様な用途に用いられる鉄筋の標準的な品質の限度を示すものであるから、特殊な用途に用いる鉄筋の場合には、この規定とは別に必要な事項を定めることが必要である。

鉄筋の規格としては、このほか再生棒鋼を対象とした JIS G 3117 「鉄筋コンクリート用再生棒鋼」(1984) がある。再生棒鋼は、鋼材製造途上に発生する鋼材、市中発生の形鋼、矢板、船の外板等を材料とし、これを再圧延して製造される。再生棒鋼は、再生丸鋼として、直径が 6 mm, 9 mm, および 13 mm の 3 種類が規定されて

おり、再生異形棒鋼として、D 6, D 8, D 10, D 13 の 4 種類が規定されている。このように、再生棒鋼は細物の鉄筋のみであり、生産量も少ない。

以上に述べたように、現在我が国で生産されている鉄筋の約 9 割がスクラップを原料とした電炉鉄筋なのであり、資源のリサイクルに貢献している。言い換えれば、鉄筋コンクリート構造物の強靭性は、今やス

クラップを原料として精錬された電炉鉄筋によって大部分が支えられているのである。

### 3. 鉄筋の伸び能力

鉄筋コンクリート部材が曲げ終局破壊するときに要求される鉄筋の靭性は、鉄筋の降伏ひずみの 20 倍もあれば一般に十分であろう。それゆえ、降伏ひずみを 0.2% とすれば、部材の靭性として要求される鉄筋の伸び能力は 4% 程度でも十分である。しかしながら JIS 規格では、鉄筋の機械的性質として、SD 30 A の場合、2 号試験片に準じたものとして 16% 以上の伸び能力を要求している。伸びの計測は試験片の平行部の伸びではないので概には言えないが、鉄筋コンクリート部材の性能から要求される伸び能力よりは相当に高い値が材料の性能として要求されている。この大きな理由としては、鉄筋がしばしば曲げ加工されて使用されるからである。すなわち、鉄筋の曲げ加工は常温で鉄筋の塑性的性質を利用して行われているので、低品質の鉄筋が使われて曲げ加工部分に亀裂が生ずるようになると、鉄筋コンク

表-4 機械的性質 (JIS G 3112)

種類の記号	引 張 試 験				曲 げ 試 験	
	降伏点又は 0.2% 耐力 kgf/mm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ kgf/mm <sup>2</sup> (N/mm <sup>2</sup> )	試験片	伸び* (%)	曲げ角度	内側半径
SR 24	24 以上 (235) 以上	39~53 (382~520)	2 号 3 号	20 以上 24 以上	180°	公称直径の 1.5 倍
SR 30	30 以上 (294) 以上	45~61 (441~598)	2 号 3 号	18 以上 20 以上	180°	径 16 mm 以下 径 16 mm を超えるもの 公称直径の 1.5 倍 公称直径の 2 倍
SD 30 A	30 以上 (294) 以上	45~61 (441~598)	2 号に準ずるもの 3 号に準ずるもの	16 以上 18 以上	180°	D16 以下 D16 を超えるもの 公称直径の 1.5 倍 公称直径の 2 倍
SD 30 B	30~40 (294~392)	45 以上 (441) 以上	2 号に準ずるもの 3 号に準ずるもの	16 以上 18 以上	180°	D16 以下 D16 を超えるもの 公称直径の 1.5 倍 公称直径の 2 倍
SD 35	35~45 (343~441)	50 以上 (490) 以上	2 号に準ずるもの 3 号に準ずるもの	18 以上 20 以上	180°	D16 以下 D16 を超え D41 以下 D51 公称直径の 1.5 倍 公称直径の 2 倍 公称直径の 2.5 倍
SD 40	40~52 (392~510)	57 以上 (559) 以上	2 号に準ずるもの 3 号に準ずるもの	16 以上 18 以上	180°	公称直径の 2.5 倍
SD 50	50~64 (490~628)	63 以上 (618) 以上	2 号に準ずるもの 3 号に準ずるもの	12 以上 14 以上	90°	D25 以下 D25 を超えるもの 公称直径の 2.5 倍 公称直径の 3 倍

注) \* 異形棒鋼で、寸法が呼び名 D32 を超えるものについては、呼び名 3 を増すごとに本表の伸び値からそれぞれ 2% 減ずる。ただし、減ずる限度は 4% とする。

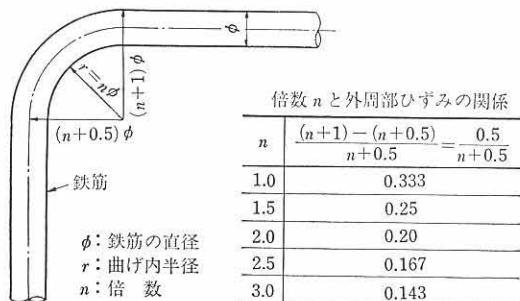


図-1 鉄筋の曲げ加工による外周部のひずみ

リート構造物の安全性は大幅に低下する。ここでは、鉄筋の曲げ加工部にいかに大きなひずみが生ずるかを示してみる。

図-1 に、鉄筋がその直径の  $n$  倍の内半径で曲げられたときの変形の状態と、そのときのひずみの値を示す。ただし、ここでは単純に考えて鉄筋断面の中心には軸ひずみが生じないとしているが、実際のひずみの状態も軸力が加わらないので、ほぼこの仮定に近いものと思われる。図-1 から、鉄筋の中心線の長さは曲げ加工前後で変化しないとしているので、これを基準として、たとえば  $1/4$  円を考えて鉄筋の外周の長さは  $(n+1)\phi \times \pi/2$ 、鉄筋中心線の長さは  $(n+0.5)\phi \times \pi/2$  であるから、曲げ内半径が  $n\phi$  で曲げられたときの鉄筋外周部のひずみは、両者の差を後者で割った値、すなわち  $0.5/(n+0.5)$  となる。ここで、 $\phi$  は鉄筋の直径である。図-1 中の表から明らかなように、曲げ内半径が鉄筋直径に等しい場合、すなわち  $n=1$  のときには鉄筋の外周部の引張ひずみは 33.3% に達するが、 $n=2$  の場合にはその値が 20% となる。

鉄筋を曲げ加工する際に、曲げ内半径が小さいといふに大きなひずみが生ずるかが、のことからもよくわかる。鉄筋は直角に曲げたり、 $180^\circ$  に曲げて半円形フックを加工したりすることが極めて多いので、曲げ加工する場合の曲げ内半径の規定を定めることは極めて重要である。したがって、鉄筋の降伏後の伸びも、これに対応して大きな値であることも要求される。

鉄筋の伸び能力は試験片の形状や試験方法によっても異なるが、JIS G 3112 に規定された異形鉄筋で最も広く用いられている SD 30 A の場合、規定では 2 号試験片に準ずる場合の伸びとして 16% 以上であり、かつ、この鉄筋は鉄筋の公称直径の 2 倍の曲げ内半径で  $180^\circ$  に曲げた部分の外側に亀裂が生じてはならないことが規定されている。

図-1 の表の値から、この場合の曲げた部分の外側のひずみは 20% であり、前述の引張試験による 16% の伸びより大きい値である。これは、軸引張の場合、破断部付近のくびれを生ずる部分が 1 か所であるのに対し

て、曲げの場合には一様に曲げ変形するため、最大ひずみも大きくなることによるものであると思われる。

いずれにしても、曲げ加工を行う場合には、規定された曲げ内半径よりも大きな半径で加工を行わないと鉄筋の曲げ加工部に亀裂が生ずる恐れのあること、および、鉄筋の材質としては単に引張強度や韌性が大きいだけではだめで、大きな塑性変形性能をもつことが必要なのである。

以上に述べたように、鉄筋の伸び能力の規定値は鉄筋の曲げ加工時に要求される伸びひずみの値より小さい場合が多いので、鉄筋には、伸び能力のほかに、破断時の絞りの性能も要求されていることになる。JIS G 3112 が鉄筋の伸び能力の試験のほかに曲げ能力も規定していることは大いに意味のあることであり、溶接性、圧接性を除けば、JIS の規格を満足する鉄筋は、高炉もの、電炉もののいずれにかかわらず、一般の鉄筋コンクリート構造用の材料として十分な性能をもっていると言える。

#### 4. 鉄筋に関する技術の動向

鉄筋の使用者の立場から最近の鉄筋の技術に関する動きを概観してみると、D 51 のような太径鉄筋の普及、塩害防止を対象としたエポキシ樹脂塗装鉄筋<sup>2)</sup>やステンレス製鉄筋の誕生、自動ガス圧接継手やエンクローズ溶接継手、圧着継手、ねじふし鉄筋継手等に見られる鉄筋継手の開発と普及<sup>3), 4)</sup>、異形 P C 鋼棒をスパイラルとしたフープ筋工法などがある。鉄筋とは言えないかも知れないが、鋼纖維補強コンクリート用の鋼纖維やカーボン纖維も、コンクリートの補強材として使われ始めている。

また、現在実用化を進めているもの、開発中のものとして、D 57, D 64 等の極太径鉄筋<sup>5)</sup>、耐塩性鉄筋<sup>6), 7)</sup>、鉄骨と類似な使用方法をねらった極太異形棒鋼<sup>8)</sup>、高強度鉄筋などがある。

これらの技術開発は高炉メーカーが中心になって行っているものが多く、高炉メーカーとしては、付加価値の高い新しいタイプの鉄筋を造り出して鉄筋の需要の拡大を図っているようであり、電炉メーカーは、主として既存のタイプの鉄筋を対象として製造技術の改善を図っているように見受けられる。これは既存のタイプの鉄筋のシェアの大部分が電炉鉄筋であることとも関連する。

鉄筋の価格は景気の状態に大きく左右され、大幅に価格が下落することがある。また、同じ JIS 規格を満足しながら、高炉ものと電炉ものとでは価格に相当の開きがある。これに加えて、円高の影響で海外から安い鉄筋が入荷しているようであり、鉄筋メーカーにとっては困難な状況にあると言える。技術開発の目標の一つはコストダウンであるが、適正な利潤を上げてのコストダウ

ンでない限り次の発展は望めないのであり、あまりに鉄筋の市況が下落することは、鉄筋の品質確保と今後の進歩の点から考えると憂慮すべき点である。

通常の鉄筋の価格が大幅に低下すれば、多少の付加価値のある鉄筋を開発しても経済の原則に抗することはできず、普及することは極めて困難である。この点が鉄筋の発展の泣き所と思われる。これを解決するには、鉄筋コンクリート構造全体から見た構造上の有用性、経済性を追求する方向に進むことではないかと考える。

このような観点に立って、最近開発された個々の鉄筋に関する新しい技術を眺めてみる。

#### (1) 耐塩性、耐久性を考慮した鉄筋

コンクリート中に塩分が進入して鉄筋を錆びさせることがあるので、種々の対策を考えられている。

エポキシ樹脂塗装鉄筋は、鉄筋の表面にエポキシ樹脂

表-5 土木学会「鉄筋継手評価指針」

##### (1) 静的耐力性能

継手の静的耐力性能は、以下の 1), 2), 3) に区分する。ただし、軸方向剛性を評価する場合、母材の軸方向剛性の値を  $1.9 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  以下としてはならない。

1) 静的引張試験による継手の強度および軸方向剛性が次の値を満足する継手とし、これを A 級とする。

強度：母材の規格降伏点の 135% 以上または母材の規格引張強さ以上。

軸方向剛性：母材の規格降伏点の 70% の応力に対し、軸方向剛性が母材以上、および母材の規格降伏点の 95% の応力に対し、軸方向剛性が母材の 90% 以上。

残留変形量：母材の規格降伏点の 95% の応力を載荷後、同 2% 以内に除荷したときの残留変形量が 0.3mm 以下。

2) 上記の試験による継手の強度および軸方向剛性が次の値を満足し、かつ 1) に該当しない継手とし、これを B 級とする。

強度：1) と同じ。

軸方向剛性：母材の規格降伏点の 70% の応力に対し、軸方向剛性が母材の 90% 以上、および母材の規格降伏点の 95% の応力に対し、軸方向剛性が母材の 70% 以上。

残留変形量：母材の規格降伏点の 95% の応力を載荷後、同 2% 以内に除荷したときの残留変形量が 0.3mm 以下。

3) 上記の試験による継手の強度および軸方向剛性が次の値を満足し、かつ 1), 2) に該当しない継手とし、これを C 級とする。

強度：母材の規格降伏点以上。

軸方向剛性：母材の規格降伏点の 50% の応力に対し、軸方向剛性が母材の 90% 以上、および母材の規格降伏点の 95% の応力に対し、軸方向剛性が母材の 50% 以上。

残留変形量：規定せず。

##### (2) 高応力繰返し耐力性能

下限を母材の規格降伏点の 2% 以下、上限を母材の規格降伏点の 95% とした応力で静的に 30 回の繰返し載荷を行った場合、30 回目の載荷によって生じた最大変形量と原点とを結ぶ勾配が第 1 回目の載荷時の勾配の 85% 以上ある場合、その継手は、一般に高応力繰返し耐力性能を有する継手とする。

##### (3) 高サイクル繰返し耐力性能

継手部の疲労試験の結果、200 万回の繰返し載荷に対する全振幅強度が  $10 \text{ kg/mm}^2$  以上であり、かつ残留変形量が 0.2mm 以下の場合は、その継手は通常の場合、高サイクル繰返し耐力性能を有する継手とする。試験は(付)「鉄筋継手部の疲労試験方法(案)」に示す方法によって行うものとする。ただし、200 万回を超える繰返し載荷が予想される場合、および特に疲労の影響が大きい場合には、それに対応して評価を行いうものとする。

の被膜を  $200 \mu$  程度の厚さで静電着色したものです、耐久性の優れた鉄筋である。土木学会コンクリート委員会では、これに関する指針や規準を作成し、コンクリートライブラリー 58 号として昭和 61 年に刊行している<sup>2)</sup>。我が国における使用実績はまだわずかであるが、冬期に路面の凍結防止剤を散布する道路橋床版等では、今後多く用いられるものと思われる。

耐塩鉄筋としては、鉄筋の成分自体を耐塩性とする研究も進められており、鉄筋成分中に 3.5% のニッケルと 0.012% のタンゲステンを添加した鉄筋の耐塩性の向上が報告されている<sup>3)</sup>。また、クロムを 1.78% 添加した鉄筋の耐塩性の向上についても報告されている<sup>4)</sup>。錆びない鉄として日常使われているステンレス鋼は耐塩性にも当然ながら優れており、これを用いたステンレス異形鉄筋が市販されている。

亜鉛めっき鉄筋も、耐塩性を目的として開発され、土木学会から指針が刊行されているが、コンクリート中の亜鉛めっき鉄筋の挙動についての好ましくない報告もあって賛否が分かれている。

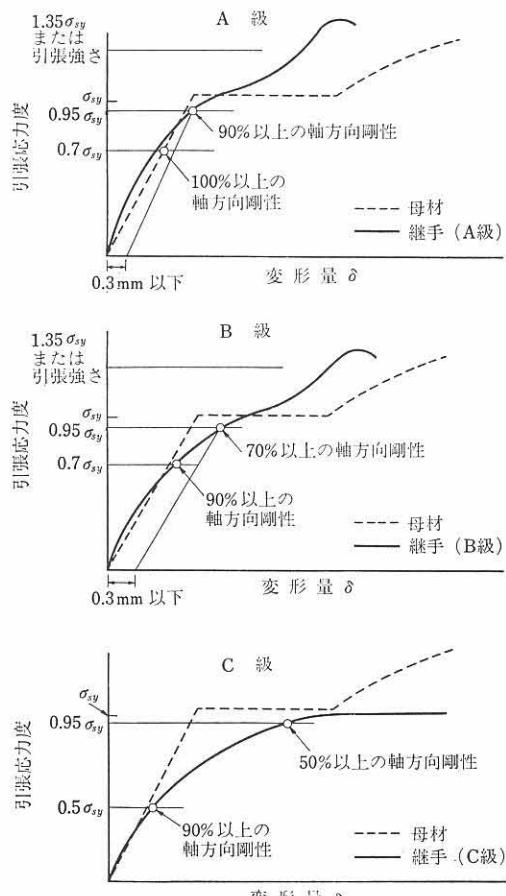


図-2 継手の静的性能の概要図(土木学会)

## (2) 鉄筋の継手

鉄筋が太径化、高強度化したことから多くの継手工法が開発され、実用に供されている。

土木学会では、多種類の鉄筋継手の性能評価と設計・施工の基本を示した指針を定めるとともに、委託された種々の継手工法の設計・施工指針を定めている<sup>3), 4)</sup>。

土木学会が定めた鉄筋継手の性能評価の概要は表-5 のとおりである。また、これを図示したものが図-2 および図-3 である。

建築の分野では、日本建築センターが同様な鉄筋継手性能判定基準を定めており、表-6 がその概要である。これらの性能基準は、現在我が国で実用化されているほとんどのすべての鉄筋継手工法の性能を判定する基準とし

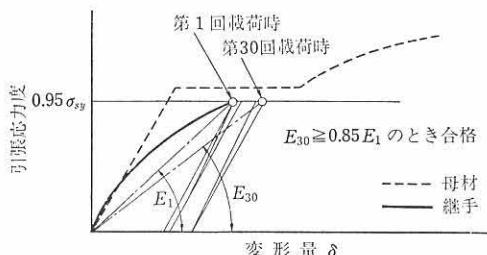


図-3 高応力繰返し耐力性能の概要図（土木学会）

て広く用いられている。

鉄筋の継手には、重ね継手とともに、ガス圧接継手が広く用いられている。ガス圧接継手は、太径鉄筋の実用化に伴って還元炎によるガス圧接法が確立し、また、自動ガス圧接装置も開発されて実用に供されている。しかしながら、ガス圧接継手の性能は、鉄筋径、鉄筋の材質、継手作業員の技量等に大きく影響される。日本圧接協会では、ガス圧接作業員の技量資格検定試験を行ってガス圧接継手の品質の確保を図っているが、さらに、ガス圧接継手部の超音波探傷検査の技量資格検定試験を実施して、ガス圧接継手の品質管理が十分に行えるように努めている<sup>5)</sup>。

超音波探傷法は、ガス圧接部のフラット破面等の欠陥をよく検出できるので、この検査方法を採用すれば、ガス圧接継手の品質を著しく向上させることができる。

## (3) 極太径鉄筋

鉄筋の材質上の問題が特になれば、D 51 を超える太径鉄筋を用いても、鉄筋コンクリート構造物は力学的に成立する。鉄筋が太径化すれば、コンクリートに生ずるひびわれ幅も一般に鉄筋直径にほぼ比例することから、その点が問題にはなるが、大型構造物の場合には、鉄筋を太径化することによって施工の合理化が相当に図

表-6 単体試験の性能判定基準（日本建築センター）

	S A 級	A 級	B 級	C 級
1) 一方向引張試験	強 度 $\sigma_b \geq 1.35\sigma_{yo}$ または $\sigma_{bo}$			$\sigma_b \geq \sigma_{yo}$
	剛 性 $0.7\sigma_{yo}E \geq E_0$ かつ $0.95\sigma_{yo}E \geq 0.9E_0$	$0.7\sigma_{yo}E \geq 0.9E_0$ かつ $0.95\sigma_{yo}E \geq 0.7E_0$	$0.5\sigma_{yo}E \geq 0.9E_0$ かつ $0.95\sigma_{yo}E \geq 0.5E_0$	$0.5\sigma_{yo}E \geq 0.9E_0$ かつ $0.7\sigma_{yo}E \geq 0.5E_0$
	韌 性 $\epsilon_u \geq 20\epsilon_y$ かつ $0.04$	$\epsilon_u \geq 10\epsilon_y$ かつ $0.02$	$\epsilon_u \geq 5\epsilon_y$ かつ $0.01$	—
	すべり量 $\delta_s \leq 0.3 \text{ mm}$	$\delta_s \leq 0.3 \text{ mm}$	—	—
2) 一方向繰返し試験 $(0.95\sigma_y \sim 0.02\sigma_y)$ (30回繰返し)	強 度 $\sigma_b \geq 1.35\sigma_{yo}$ または $\sigma_{bo}$			—
	剛 性 $30_cE \geq 0.85 \times 1_cE$	$30_cE \geq 0.5 \times 1_cE$	$30_cE \geq 0.25 \times 1_cE$	—
	韌 性 $\epsilon_u \geq 20\epsilon_y$ かつ $0.04$	$\epsilon_u \geq 10\epsilon_y$ かつ $0.02$	$\epsilon_u \geq 5\epsilon_y$ かつ $0.01$	—
3) 弾性域正負繰返し試験 $(0.95\sigma_y \sim 0.5\sigma_y)$ (20回繰返し)	強 度 $\sigma_b \geq 1.35\sigma_{yo}$ または $\sigma_{bo}$			—
	剛 性 $20_cE \geq 0.85 \times 1_cE$	$20_cE \geq 0.5 \times 1_cE$	$20_cE \geq 0.25 \times 1_cE$	—
	すべり量 $20_c\delta_s \leq 0.3 \text{ mm}$	$20_c\delta_s \leq 0.3 \text{ mm}$	—	—
4) 塑性域正負繰返し試験	強 度 $\sigma_b \geq 1.35\sigma_{yo}$ または $\sigma_{bo}$			—
	すべり量 $2\epsilon_y$ ↑ $-0.5\sigma_y$ 4回繰返し $5\epsilon_y$ ↑ $-0.5\sigma_y$ 4回繰返し	$4_c\epsilon_s \leq 0.5\epsilon_y$ (かつ) $4_c\delta_s \leq 0.3 \text{ mm}$	$4_c\epsilon_s \leq \epsilon_y$ (かつ) $4_c\delta_s \leq 0.6 \text{ mm}$	—
		$8_c\epsilon_s \leq 1.5\epsilon_y$ (かつ) $8_c\delta_s \leq 0.9 \text{ mm}$	—	—
				—

ここで、  
 $\sigma_{yo}$  : 母材の規格降伏点（または耐力）  
 $\sigma_{bo}$  : 母材の規格強度  
 $\epsilon_u$  : 接合鉄筋のすべりひずみ  
 $\epsilon_s$  : 接合鉄筋の終局ひずみ  
 $E_0$  : 母材の規格降伏点の 70% の応力における母材の割線剛性  
 $0.5\sigma_{yo}E$ ,  $0.7\sigma_{yo}E$ ,  $0.95\sigma_{yo}E$  : それぞれ  $0.5\sigma_{yo}$ ,  $0.7\sigma_{yo}$ ,  $0.95\sigma_{yo}$  の応力における接合鉄筋の割線剛性  
 $1_cE$ ,  $20_cE$ ,  $30_cE$  : それぞれ 1 回目, 20 回目, 30 回目の加力時の  $0.95\sigma_{yo}$  の応力における接合鉄筋の割線剛性  
 $4_c\epsilon_s$ ,  $8_c\epsilon_s$  : それぞれ 4 回目, 8 回目の加力における接合鉄筋のすべりひずみ  
 $4_c\delta_s$ ,  $8_c\delta_s$  : それぞれ 4 回目, 8 回目の加力における接合鉄筋のすべり変形

れる場合もあるものと思われる。鉄筋の太径化が進めば、それに伴って太径鉄筋に適した継手法も開発することが必要となる。ある程度以上太径化する場合には溶接継手が有利になるものと思われるが、小型の機器を開発すれば、機械式継手もある程度は適用性があるものと思われる。

現在実用化が進められている D 64 程度までの鉄筋では D 51 の鉄筋の延長上で考えて特に差し支えないものと思われるが、今後どこまで太径化する必要があるのか、また、鉄筋コンクリート用の補強材としてどの径までが限度なのかは不明である。

鉄筋の太径化の進んだ姿としては、現在用いられている鉄骨鉄筋コンクリート構造が、一つの目標として浮かんでくる。このような観点から、「ULD バー」と称される極太棒鋼（公称径 50～160 mm）をラチス材によってトラス状に組み立てて使用する方法は興味のある工法である<sup>10)</sup>。この種の工法がその特徴を發揮するようになれば、鉄筋の太径化の方向が鉄筋コンクリートの新しい発展を生んだことになるものと思われる。

鋼纖維補強コンクリートは、言わば鉄筋の細径化であり、極太径鉄筋は逆に太径化であるから、鉄筋コンクリートにおける鋼材補強の方法が多様化していると考えれば、構造技術者にとって構造設計の自由度がますます大きくなっていると言えよう。

#### (4) 高強度鉄筋

JIS 規格に SD 50 が登場してから久しいが、実際に SD 40, SD 50 クラスの高強度鉄筋の使用は、ごくわずかか、ほとんどないものと思われる。これは、鉄筋コンクリートにおける使用状態でのひびわれ幅の制約に主として関係するものであって、使用状態で鉄筋に約 2 000 kgf/cm<sup>2</sup> 以上の引張応力度が生ずると、コンクリートのひびわれ幅が鉄筋の耐久性上好ましくない大きさとなるからである。このほかには、主鉄筋に常時大きな引張応力度が生じていると、コンクリートにひびわれが顕著に発生し、これが鉄筋コンクリート部材としてのせん断耐力や韌性にも悪影響を及ぼすこととなる。

なお、鉄筋の構造細目は、その多くが経験に基づいて定められているもので、フックの形状等は、高強度鉄筋に対して改めて検討することが必要である。

引張主鉄筋の高強度化は、曲げ部材の場合には前述の理由でそれほど効果がないが、高強度鉄筋をフープ筋やスターラップに使用すると、部材のせん断耐力を大幅に増大させることが可能である。異形 P C 鋼棒をスパイラル状にしてフープ筋とした使用方法は、このような使用方法の示唆を与えている<sup>10)</sup>。

鉄筋コンクリート柱の耐震設計を行うに際し、軸方向鉄筋とフープ筋の両方に高強度鉄筋を用いれば、降伏点

の低い鉄筋を用いる場合に比べて柱の強靭性は相当に向かうものと思われる。このような使用方法の検討も望まれる。

#### (5) 施工の合理化

工事現場での施工の合理化の方策として、鉄筋をあらかじめ工場で、ある程度の大きさのブロックに組み立てる方法が開発されている。土木の分野では、部材寸法が大きいことが多いので、このような方法の活用は限られるが、建築工事の場合には、同一の形状の部材を多く用い、かつ寸法もそれほど大きくないので、この種の合理化は今後大いに進められるものと思われる。

### 5. 今後の展望

鉄筋は現在、鋼材の中でおそらく最も安価な材料であろう。これは製造方法に関する今までの技術の蓄積によってもたらされたもので、建設関係にたずさわる者はもちろんのこと、構造物の利用者にとっても有り難いことである。技術開発の一つの目標は、前にも述べたとおり製品のコストダウンであるが、現在用いられている品質の鉄筋について今後さらに大きくコストダウンを図ることは極めて困難であると思われる。本来、技術というものは、発展して初めて存続できるものと考えられる。今後の鉄筋の発展について考える場合、その方向を明確にしておくことが重要であると思われる。ここでは筆者の私見を述べてみたい。

まず、今後の鉄筋の発展を考えるには、鉄筋のみに着目して考えるのでなく、現在の鉄筋コンクリート構造物の問題点の把握と今後の発展を対象として、その中で鉄筋の果たす役割を追求することが必要である。帶鉄筋やスターラップを中心とした高強度鉄筋の活用による鉄筋コンクリート部材の強靭化、コンクリート部材のプレキャスト化に対応した高強度鉄筋のプレテンション化等、鉄筋コンクリートの高品質化を進め、鉄筋コンクリート構造物全体としての経済性、合理性を追求すれば、高品質の鉄筋が活用されることとなり、鉄筋価格の調落や品質の低下も避けられるものと思われる。

鉄筋の太径化については、継手の施工も含めた工事の合理化による経済性の追求や、架設鋼材を兼ねた鉄骨鉄筋コンクリートの鉄骨的な使用方法等の方向が考えられる。太径鉄筋の使用におけるひびわれ幅の問題の解決法としては、耐久的な細径鉄筋を用いたメッシュ筋との併用や、パーシャルプレストレスによる設計方法等も考えられる。

耐久的な鉄筋の活用に関しては、かぶりを小さくした思い切った薄い部材の開発を考えるのもよいと思われる。

鉄筋の大半がスクラップを精錬した電炉鉄筋であるこ

とを考えると、ガス圧接継手や溶接継手のような金属結合による継手の場合にはスクラップの内容が時代と共に変わるので、継手としての品質確保のために、今後共、引き継ぎ技術の改良が必要である。電炉鉄筋メーカーとしても、鉄筋の品質の向上に努めるとともに、鉄筋の利用技術や新しいタイプの鉄筋の開発の研究を今後大いに進めることが必要である。また、高炉メーカーも、引き継ぎ鉄筋に関する技術開発を進めて欲しい。

## 6. おわりに

本誌の17巻7号(1979年7月号)はコンクリート構造用鋼材の特集号であり、その中に鉄筋に関する多くの技術的、力学的内容が述べられている。それゆえ、鉄筋に関する基礎的事項<sup>11)~13)</sup>はここでは述べていないので、ご関心のある方はぜひそちらを参照していただくこととして、ここでは、現在の鉄筋の置かれている立場を中心として、私見をまじえて述べた。

本稿執筆にあたっては、東伸製鋼㈱の二上菱氏、住友金属工業㈱の飯村修氏、㈱神戸製鋼所の山本孝一氏から貴重な資料のご提供やご示唆をいただいた。ここに記して深甚の謝意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) 二上 菱：電炉鉄筋棒鋼のできるまで、土木施工，Vol. 26, No. 1, 1985.1
- 2) 土木学会エポキシ樹脂塗装鉄筋に関する研究小委員会：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針(案)，コンクリートライブラリー，No. 58, 昭61.2
- 3) 土木学会鉄筋継手工法小委員会：鉄筋継手指針、コンクリートライブラリー，No. 49, 昭57.2
- 4) 土木学会鉄筋継手工法小委員会：鉄筋継手指針(その2)－鉄筋のエンクローズ溶接継手－、コンクリートライブラリー，No. 55, 昭59.9
- 5) 唐津敏一・永井義規・山田 紘：極太径(D57, D64)ネジフシ異形鉄筋のひびわれ分散性状、日本建築学会昭和59年度大会(関東)学術講演会梗概集, pp. 1855~1856
- 6) 島田春夫・木村輝夫・早稻田孝・榎原義明：耐塩鉄筋のコンクリート劣化防止性能、第8回コンクリート工学年次講演会論文集, pp. 137~140, 昭61
- 7) 唐津敏一・永井義規・佐藤一雄：耐塩性鉄筋の耐食性について、日本建築学会昭和58年度大会(北陸)学術講演会梗概集, pp. 223~224
- 8) 小林洋一・森本精洋・飯村 修・柳本泰伴：極太異形棒鋼鉄骨を用いたSRCはりの力学特性、土木学会合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp. 211~216, 昭61.9
- 9) 日本圧接協会編：建設技術者のための圧接工学ハンドブック、技報堂出版, 1984.5
- 10) 福原正志・黒正清治：鉄筋コンクリート部材における高強度せん断補強鉄筋の補強効果に関する実験研究、日本建築学会論文報告集, No. 320, pp. 12~20, 昭57.10
- 11) 藤井 学：鉄筋コンクリート用棒鋼、コンクリート工学, Vol. 17, No. 7, pp. 21~25, 昭54.7
- 12) 小倉弘一郎・矢部喜堂：鉄筋の接合、同上, pp. 41~50
- 13) 谷余士雄：諸外国におけるコンクリート補強用鋼材、同上, pp. 87~97