

# 教室

## コンクリート技術の歴史

### 第9回

# 鉄筋の高強度化・ 太径化への歩み

池田尚治\*

## 1. はじめに

鉄の丸棒は、17世紀には西欧で圧延した帶鉄を細切りにして造り始めていたようである。やがて明治時代(1868~1912年)になって、日本に官営の製鉄所が造られ、圧延した鋼の丸棒(棒鋼)がわが国でも造られるようになった。鉄筋は丸棒の一種であり、丸棒の製造のほうは鉄筋コンクリートの誕生より前であることは当然のことである。棒鋼は鉄筋コンクリート構造物の発達のなかの主要な役割を担っており、今や鉄鋼の生産のなかでの棒鋼の主役は異形鉄筋となっている。

ここでは、鉄の丸棒から進化した近年の鉄筋について過去を振り返って、その高強度化と太径化を中心について述べることとする。

## 2. 鉄筋の製造

西欧に約1世紀遅れてわが国で官営の八幡製鉄所ができたのは明治34年(1901年)であり、棒鋼の生産が開始された。同社の明治35年度における鋼材の生産量は約2万4000tで、そのうち丸鋼は620tであった。当時は生産の主力が軌条であり、また、生産量の約40%が自社用であった。しかし、当時は輸入鋼材のほうが安価で国産の5倍近い鋼材が海外から輸入されていた<sup>1)</sup>。

鉄筋コンクリート構造物用の棒鋼も、当初は輸入品が用いられたが、明治43年(1910年)に神戸に建設された鉄筋コンクリート造建物には、八幡製鉄所製造の丸鋼と山形鋼とが用いられた記録があり、その頃から国産の鉄筋が使われ始めたものと思われる。

鉄の丸棒は、17世紀には圧延された帶鉄を細切り機で切って造っていたが、1766年にJ. Purnellが丸棒

や船釘などの圧延機の特許をとって以来、1783年のH. Cortのパドル圧延法、1792年のJ. Wilkinsonの蒸気機関による圧延法の開発などを経て、1800年代には鉄の丸棒の近代的製造が始まった。わが国で官営の八幡製鉄所ができた時代には、すでに鋼の時代に入っており、したがってそこでは、当初から鋼の丸棒(棒鋼)が生産されたのである。

丸鋼棒が鉄筋コンクリートの鉄筋として用いられるようになると、丸鋼棒とコンクリートとの一体性が認識されるようになって、異形鉄筋が考案された。

異形鉄筋は1880年代の後半に、アメリカのThatcherが考案し、サッチャーバーとして市販されたのが最初である。Lanthom教授考案のランサム式角捩鉄筋やジョンソン式異形鉄筋も製造され、異形鉄筋が急速に普及した。図-1にこれらの鉄筋の形状を示す。

わが国の異形鉄筋は、大正初期にはアメリカから輸入されたものを用いていたが、大正12年(1923年)の関東大震災では、異形鉄筋を用いて工事中であった東京の内外ビルが崩壊したことにより、異形鉄筋の使用に疑問が持たれ、以降は第2次大戦の終了後まで異形鉄筋は用いられなかった。アメリカでは1906年のサンフランシスコ地震のときに、異形鉄筋を用いて建てられた建物が、耐震性に優れていたとの評価を受けたことと対照的な結果となったのである。



図-1 初期の異形鉄筋の例

\* 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）

当時輸入された異形鉄筋は、アメリカンコンクリートスチール社のハブマイヤバー、コルゲイティッドバー社の各種バー、トラストコンクリートスチール社のカーンバーおよびリップバーなどであった。明治 44 年(1911 年)に着工された横浜の吉田橋の鉄筋コンクリート工事は、カーンバーを使用した大規模土木工事の最初といわれている<sup>2)</sup>。なお、吉田橋は明治 2 年(1869 年)に日本初の鉄トラス橋として当初架けられたものである。

異形鉄筋を用いた内外ビルが崩壊した理由は、(a) 鉄筋の定着が不十分であった、(b) 柱・はり接合部が不適切な設計であった、などがおもな原因と考えられるが、異形鉄筋自体の材質も、丸鋼鉄筋に比べて伸び能力の点等で相当に劣っていたことなどの理由で、崩壊の原因が異形鉄筋の使用に帰せられたものと思われる。

第 2 次大戦の終了後、わが国では異形鉄筋の引合いが海外から鉄鋼会社に寄せられたことから、わが国でも異形鉄筋が製造されるようになった。昭和 24 年(1949 年)には愛知製鋼㈱が異形鉄筋の生産を本格的に開始して、駐留していたアメリカ軍や被占領中の沖縄で使用された。当時の異形鉄筋は、ASTM 規格で製造されたので、大正時代に輸入して使用された旧来の異形鉄筋に比べてコンクリートとの付着性能が大いに改善された。このような状況のもとで昭和 26 年(1951 年)には日本鉄鋼連盟内に研究会が組織され、異形鉄筋の試作と規格の検討とが開始された。

昭和 28 年(1953 年)には、ようやく異形鉄筋に関するわが国の規格が制定され、昭和 30 年以降急速に異形鉄筋がわが国で普及することとなったのである。

現在、鉄筋はわが国で年間約 1 000 万 t 近くが生産されている。このうちの 9 割以上が、鋼くずを原料として電炉によって精錬され製造されている。鉄鉱石を原料とする高炉メーカーによる鉄筋(高炉鉄筋)の生産は、1 割にも満たないのである。この点を考えると、鉄筋は資源のリサイクルを巧みに活用している製品であるといえる<sup>3)</sup>。なお、昭和 43 年(1968 年)には高炉鉄筋の比率は約 30 % であった<sup>1)</sup>。

### 3. 鉄筋規格の変遷

わが国における工業製品の規格の標準化は、大正 10 年(1921 年)の工業品規格統一調査会によって始まり、大正 14 年(1925 年)に JES 20 号「構造用圧延鋼材」が初めて制定された。そのなかで鋼板や形鋼は SS 39 が規定されたが、鉄筋コンクリート用棒鋼は SSC 39 として規定された。これは現在の SR 235 にほぼ相当する。その後、この JES は昭和 13 年(1938 年)に JES 430 号「一般構造用鋼材」に改められた。この規格は、一般構造用鋼材として SS 34, SS 41 および SS 50 などを定

めたもので、鉄筋コンクリート用棒鋼としては特別な規定はなかった。

戦後になって新しい規格として JIS(日本工業規格)が設定されることとなり、JIS G 3101 「一般構造用圧延鋼材」が昭和 27 年(1952 年)に制定された。このなかに鉄筋コンクリート用棒鋼として SS 39 および SS 49 が規定されたのである。これと同時に JIS G 3107 「再生棒鋼」が新しく規定された。さらに、昭和 28 年(1953 年)には JIS G 3110 「異形丸鋼」が制定され、SSD 39 および SSD 49 の規定のほかに、再生異形丸鋼 SRD 39 および SRD 49 もこのなかで規定された。

当時の異形鉄筋の生産はアメリカへの輸出を中心であったために、ASTM 規格にも適合するものであり、寸法は D 10~D 38 であった。

これらの規格は、昭和 39 年(1964 年)の JIS G 3112 「鉄筋コンクリート用棒鋼」および昭和 44 年(1969 年)の JIS G 3117 「鉄筋コンクリート用再生棒鋼」へと発展してきた。昭和 39 年の JIS G 3112 では熱間圧延棒鋼として SR 24 および SR 30 の普通丸鋼、熱間圧延異形棒鋼として SD 24, SD 30, SD 35, SD 40 および SD 50 が規定され、材質の名称も規格降伏点を kgf/mm<sup>2</sup> で表わすようになった。また、冷間加工異形棒鋼として SDC 40 および SDC 50 が新しく規定された。

この昭和 39 年の JIS G 3112 では、寸法が D 6~D 41 へと拡大されたこととともに降伏点が 40 kgf/mm<sup>2</sup> および 50 kgf/mm<sup>2</sup> の高張力異形棒鋼が規定され、鉄筋の高強度化と太径化とが進められたのである。

昭和 50 年の JIS G 3112 の改正では、あまり製造されなかった冷間加工異形棒鋼が削除され、新たに太径鉄筋である D 51 が規定された。

これらの変遷については、表-1 にその概要を示す。

最近における JIS G 3112 のおもな改正点としては、昭和 60 年(1985 年)の改正において降伏点の上限値の規定の有無で鉄筋の品質に差をつけ、SD 30 で A と B とに区分したこと、および昭和 62 年(1987 年)の改正で国際単位系への移行を進め、SI 単位を併記および採用して從来からの材質の呼び名も変更するようにしたこと、などが挙げられる。これらによって、鉄筋の機械的性質の表現は、平成 3 年(1991 年)1 月 1 日より SI 単位系に全面的に切り替わったのである。すなわち、從来の SD 30 は N/mm<sup>2</sup> 表示での規格降伏点が名称にも用いられるようになって SD 295 に呼び替えられた。

SD 295(從来の SD 30)は、異形鉄筋としてもっとも広く用いられてきたものであるが、終局限界状態における構造物の好ましい破壊モードの選択が可能なように、降伏点の上限をも規定した SD 30 B(現在の SD 295 B)が登場し、從来のように降伏点の下限のみを定

表-1 鉄筋コンクリート用棒鋼に関する日本工業規格とその変遷<sup>1)</sup>

めたものが SD 30 A (現在の SD 295 A) として区別された。また、1985 年の改正では、SD 30 B と同様に SD 35, SD 40 および SD 50 についても降伏点の上限が規定された。

鉄筋の化学成分については、1985 年の改正で SD 30 B 以上の鉄筋について C, Mn および Si の量が P, S および C+Mn/6 (SD 30 を除く) の量の規定に加えて定められている。Si の規定はそれまでになかったものである。

表-2～4 に JIS G 3112-1987 における鉄筋の種類および記号、化学成分、および機械的性質を表わす表のうち平成 3 年 (1991 年) 1 月 1 日より適用されたものを示す。

#### 4. 鉄筋の高強度化

わが国で最初に鉄筋として規定された丸鋼の強度は、3 章で述べたように、JES 20 号 (1910 年) で降伏点 24 kgf/mm<sup>2</sup> 以上、引張強度 39 kgf/mm<sup>2</sup> 以上と定められた。1952 年には、SS 39 のほかに SS 49 が定められ、普通丸鋼として降伏点が 30 kgf/mm<sup>2</sup> 以上のものが登場した。翌 1953 年には異形鉄筋として SSD 39 および SSD 49 が規定され、後者の異形鉄筋が広く用いられる

表-2 種類および記号 (平成 3 年 1 月 1 日から適用)  
(JIS G 3112-1987)

区分	種類の記号	
	SI 単位	(参考) 従来単位
丸 鋼	SR 235	SR 24
	SR 295	SR 30
異 形 棒 鋼	SD 295 A	SD 30 A
	SD 295 B	SD 30 B
	SD 345	SD 35
	SD 390	SD 40
	SD 490	SD 50

表-3 化学成分 (平成 3 年 1 月 1 日から適用)

(JIS G 3112-1987)

種類の記号	化 学 成 分 %					
	C	Si	Mn	P	S	C+ $\frac{Mn}{6}$
SR 235	-	-	-	0.050 以下	0.050 以下	-
SR 295	-	-	-	0.050 以下	0.050 以下	-
SD 295 A	-	-	-	0.050 以下	0.050 以下	-
SD 295 B	0.27 以下	0.55 以下	1.50 以下	0.040 以下	0.040 以下	-
SD 345	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 390	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 490	0.32 以下	0.55 以下	1.80 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.60 以下

ようになった。1964 年の JIS G 3112 では SD 24, SD 30, SD 35, SD 40, SD 50 の異形鉄筋が規定され、とくに SD 50 の場合では降伏点が 50 kgf/mm<sup>2</sup> 以上、引張強度が 63 kgf/mm<sup>2</sup> 以上となり、高張力鋼が鉄筋コンクリート用棒鋼にも登場してきたのである。

しかしながら、鉄筋コンクリートは、供用限界状態において、ひびわれ幅の制限が必要であり、この点から供用時の鉄筋応力度の上限は 2 100 kgf/cm<sup>2</sup> 程度に制限されている。また、主鉄筋に大きな引張応力度が生じるとコンクリートにひびわれが顕著に発生し、鉄筋コンクリート部材のせん断耐力や韌性に悪影響を与えることとなる。このため、高強度の異形鉄筋は、あまり使用されることなく現在に至っている。したがって、わが国では 1964 年以降に鉄筋の高強度化は、規格のうえで図られていない。

引張主鉄筋の高強度化は、曲げ部材の場合には以上に述べたように、それほど得策でないが、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できるのである。また、鉄筋コンクリート柱の耐震性の向上を図る方法として、軸方向鉄筋とフープ筋の両方に高強度鉄筋を用いると効果が大きいものと思われる所以、今後一層の高強度鉄筋の登場が期待される。

#### 5. 鉄筋の太径化

鉄筋の太径化は、異形鉄筋とともに進んできたものといえる。1964 年の新しい JIS G 3112 では、呼び名による直径が 41 mm の太径鉄筋 (D 41) まで規定された。さらに、1975 年の改正で D 51 が加えられた。わが国で異形鉄筋が最初に規定されたのは、1953 年の JIS G 3110 であるが、そのなかでは最大径のものとして D 38 が規定されていた。このように、わが国では、JIS の規定の最初の段階から相当な太径の異形鉄筋が規格で定められ、その普及に貢献したのである。このように JIS に

表-4 機械的性質（平成3年1月1日から適用）

(JIS G 3112-1987)

種類の記号	降伏点または 0.2%耐力 N/mm <sup>2</sup>	引張強さ N/mm <sup>2</sup>	引張試験片	伸び* %	曲げ性		
					曲げ角度	内側半径	
SR 235	235以上	380~520	2号	20以上	180°	公称直径の1.5倍	
			3号	24以上		径16mm以下	公称直径の1.5倍
SR 295	295以上	440~600	2号	18以上	180°	径16mmを超えるもの	公称直径の2倍
			3号	20以上		D16以下	公称直径の1.5倍
SD 295 A	295以上	440~600	2号に準じるもの	16以上	180°	D16を超えるもの	公称直径の2倍
			3号に準じるもの	18以上		D16以下	公称直径の1.5倍
SD 295 B	295~390	440以上	2号に準じるもの	16以上	180°	D16を超えるもの	公称直径の2倍
			3号に準じるもの	18以上		D16以下	公称直径の1.5倍
SD 345	345~440	490以上	2号に準じるもの	18以上	180°	D16を超えるもの	公称直径の2倍
			3号に準じるもの	20以上		D51	公称直径の2.5倍
			2号に準じるもの	16以上		2号に準じるもの	公称直径の1.5倍
SD 390	390~510	560以上	3号に準じるもの	18以上	180°	3号に準じるもの	公称直径の2.5倍
			2号に準じるもの	12以上		3号に準じるもの	D25以下
SD 490	490~625	620以上	3号に準じるもの	14以上	90°	D25を超えるもの	公称直径の2.5倍
			2号に準じるもの	12以上		D25を超えるもの	公称直径の3倍

\* 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を増すごとに表-4の伸び値からそれぞれ2%減じる。ただし、減じる限度は4%とする。

おける当初からの鉄筋の太径化の方向は、多分に諸外国の規定の影響を受けたからであると考えられる。アメリカでは、ASTMが1957年に臨時規格によってNo.14(D45に相当)およびNo.18(D57に相当)鉄筋を規定し、それまでのNo.11鉄筋(D35に相当)から大幅な太径化を図り現在に至っている。

土木学会コンクリート委員会では、1975年に「太径鉄筋D51を用いる鉄筋コンクリート構造物の設計指針(案)」を公表し、JIS G 3112-1975におけるD51の規定と相まって太径鉄筋の普及が図られることとなった。

1991年には、土木学会コンクリート委員会では「太径ねじふし鉄筋D57およびD64を用いる鉄筋コンクリート構造物の設計施工指針(案)」を定め、極太径鉄筋の適用方法等についての指針を示した<sup>4)</sup>。

鉄筋の太径化がこのように進んでくると、太径の鉄筋が鉄骨鉄筋コンクリートの鉄骨の役割と比較されることとなる。そこで、配筋方法などの設計施工方法が従来からの鉄筋コンクリートにおける方法と相當に異なってくるものと考えられる。このような点についての実績を積んだうえで、今後の太径化の方向が示されるものと思われる。

なお、太径鉄筋は普通丸鋼でも大規模な構造物に用いられていたことに留意する必要がある。昭和16年(1941年)に竣工した北海道の十勝大橋(鉄筋コンクリートゲ

ルバーげた橋、旧名河西橋)では、主鉄筋としてφ45mmの丸鋼鉄筋が大々的に用いられ、その役割を果したのであり<sup>5)</sup>、鉄筋の許容応力度を低く抑えれば、普通丸鋼鉄筋でも太径鉄筋の使用が可能なことを示したものと思われる。

## 6. 関連する事柄

コンクリート中に塩分が浸入すると、鉄筋が錆びる場合があり、また、コンクリートのひびわれ部でも、鉄筋が錆びることがある。エポキシ樹脂塗装鉄筋は、鉄筋の表面にエポキシ樹脂を厚さ200μm程度に静電気着塗装したもので、鉄筋の耐久性を大幅に改善できる。

土木学会コンクリート委員会では、これに関する設計・施工指針や規準を作成し、1986年にコンクリートライブライアリ-58号としてこれを刊行した。

また、耐塩鉄筋として、鉄筋成分中にニッケルやタンゲステンを添加した鉄筋も開発されているが、これらについての指針や規定はまだ定められていない。

鉄筋の継手については、土木学会コンクリート委員会で、1982年に「鉄筋継手指針」を公表し、統いて1984年にエンクローズ継手を対象として「鉄筋継手指針(その2)」を公表した。これらはコンクリートライブライアリ-49号および55号としてそれぞれ刊行されている。

## 7. おわりに

鉄筋の高強度化の行く手にはPC鋼材が存在し、鉄筋の太径化の行く手には鉄骨が存在する。鉄筋コンクリートの概念も、超高強度コンクリートの出現や鋼コンクリート複合構造の発展に伴って、大きく変化していくものと思われる。

本稿は、コンクリート技術の歴史の一環として、鉄筋の高強度化と太径化を中心とした最近の鉄筋に関する情報まで含めて概説したものである。

本文の執筆に際しては、大内俊司氏の著わした『小形棒鋼概論』その他の貴重な資料を参考させていただいた。ここに深甚なる謝意を表する次第である。

### 〈参考文献〉

- 1) 大内俊司：小形棒鋼概論、毎日新聞社、1977
- 2) 田村浩一・近藤時夫：コンクリートの歴史、山海堂、1984
- 3) 池田尚治：鉄筋に関する最近の技術の動向、コンクリート工学、Vol. 25, No. 2, pp. 6~13, 1987. 2
- 4) 池田尚治・辻 幸和：太径ねじふし鉄筋D 57およびD 64の研究開発の現状、コンクリート工学、Vol. 30, No. 4, pp. 13~23, 1992. 4
- 5) 横道英雄：コンクリート橋、技報堂出版、1962