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带鉄を細切りにされており、18世紀に法制改革（1868〜1912年）になって、日本において製鉄所が造られ、圧延した鋼丸棒（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、丸棒の製造の枠組みとして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しており、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、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を中心に述べることとする。

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てのは明治34年（1901年）であり、棒鋼の生産が開始された。この年は明治35年度における鋼材の生産量が約2万4,000 tで、そのうち丸鋼は620 tであった。当時は生産の主力が鉄条であり、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。

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丸鋼コンクリート構造物には、八幡製鉄所製造の丸鋼と山形鋼が用いられた記録があり、その後から国産の鉄筋が使われ始められたとされる。

鉄の丸棒は、17世紀には圧延された帯鉄を細切り機で切っているが、1766年にH. Cortのバルド圧延法、1792年にJ. Wilkinsonの蒸気機関による圧延法の開発を経て、1800年代には鉄の丸棒の近代製造が始まった。わが国で官営の八幡製鉄所ができる時期には、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ったとき、丸鋼棒とコンクリートとの一体性を考慮するようになって、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、サッチャーとして市販されたのが最初である。Lanthorn教授考案のラントハム式角鋼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ー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、以降は大戦の終戦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築物が、耐震性に優れていたとの評価を受けたことから対照的で、異形鉄筋が再考されることになった。

* 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）

図-1 初期の異形鉄筋の例

Vol. 31, No. 4, 1993. 4 —96—
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ッタンシーパー、コルゲイシーパー社の各種バー、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な土木工事の最初といわれている。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の崩壊した理由は、（a）鉄筋の断面が不十分であった。特に直径、（b）柱・梁接合部が不適切な設計であった。などが要因と考えられる。異形鉄筋自体の材質も、丸鋼鉄筋に比べて伸び能力が劣る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ることから、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）には愛知製鉄所が異形鉄筋の生産を本格的に開始して、製造していたアメリカ軍や独占清の使用で使用された。当時の異形鉄筋は、ASTM規格で製造されたもので、大正時代に輸入して使用された旧来の異形鉄筋に比してコンクリートとの付着性が強いために改善され、この様な状況のもとで昭和26年（1951年）には日本鉄鋼連盟に研究会が発足され、異形鉄筋の試作と規格の検討が開始された。

昭和28年（1953年）には、ようやく異形鉄筋に関わるわが国規格が制定され、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。これのうちの9割以上が、鋼板を原料として電解によって鍍鋼されて製造されている。鉄鉱石を原料とする高炉製鉄による鉄筋（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。なお、昭和43年（1968年）には高炉鉄筋の比率は約30％であった。

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）の工業製品規格統一調査会によって始まり、大正14年（1925年）にJIS 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、鉄筋コンクリート用棒鋼はSS 40と規定された。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 340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定としてJIS（日本工業規格）が制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が規定されたものである。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「異形鉄筋」が制定され、SSD 39およびSSD 49の規定のほかに、再生異形鉄筋SRD 39およびSRD 49も指定されて規定された。

当時の異形鉄筋の生産はアメリカへの輸出が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/mm²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。

昭和39年のJIS G 3112では、寸法がD 6〜D 41へと拡大されることとともに降伏点が40 kgf/mm²および50 kgf/mm²の高張力異形棒鋼が規定され、鉄筋の高強度化と太径化が進められるようになった。

昭和50年のJIS G 3112の改正では、あまり製造された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の変更点は、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とに区別したこと、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従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えられたのである。すなわち、従来のSD 30はN/mm²表示での降伏点値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（従来の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有効な破壊モードの選択が可能となるに、降伏点の上限値を規定したSD 30 B（現在のSD 295 B）が登場し、従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

| 再生鋼材 | 鉄筋コンクリート用再生棒鋼 | 異形丸鋼 | 鉄筋コンクリート用棒鋼 | 一般構造用圧延鋼材 | 参考
| --- | --- | --- | --- | --- | ---
| JIS G 3107 | JIS G 3117 | JIS G 3110 | JIS G 3112 | JIS G 3101 |

| 再生鋼材 | 鉄筋コンクリート用再生棒鋼 | 異形丸鋼 | 鉄筋コンクリート用棒鋼 | 一般構造用圧延鋼材 | 参考
| --- | --- | --- | --- | --- | ---
| JIS G 3107 | JIS G 3117 | JIS G 3110 | JIS G 3112 | JIS G 3101 |

1. 制定（昭27.11.25）
   - SRB 34
   - SRB 39
   - SRB 49

2. 废止（昭34.4.18）
   - (JIS G 3111 へ切替え)

3. 制定（昭31.4.11）
   - SRB 34
   - SRB 39
   - SRB 49
   - 伊波山形鋼

### 参考
- 一般構造用圧延鋼材規格の変遷

1. 日本標準規格
   - (i) 製造（管、線材）用圧延鋼材
     - JES 20号（決定、昭43.12.31）
     - SS 39 A B: 棒、形、平、板
     - SSR 39 A B: 鉄筋コンクリート用棒鋼
   - (ii) 一般構造用圧延鋼材
     - JES 430号（決定、昭40.12.31）
     - SS 39 A B: 棒、形、平、板
     - SS 50: 棒のみ

2. 臨時日本工業規格
   - 一般構造用圧延鋼材
     - 臨JES 281号（決定、昭17.6.22、改昭19.10.23）
     - SS 00
     - SS 00 X
     - SS 34
     - SS 34 X
     - SS 41
     - SS 41 X
     - SS 50
     - SS 50 X: 棒のみ

3. 日本金属規格
   - 一般構造用圧延鋼材
     - JES 金属301号（決定、昭23.6.25）
     - SS 34
     - SS 41
     - SS 50: 棒のみ

4. 日本工業規格
   - 一般構造用圧延鋼材
     - JIS G 3101（制定、昭27.11.25）
められたものが 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 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、JIS 30 号 (1910 年) で降伏点 24 kgf/mm² 以上、引張強度 39 kgf/mm² 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/mm² 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、後の異形鉄筋が広く用いられるようになった。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 の場合は降伏点が 30 kgf/mm² 以上、引張強度が 63 kgf/mm² 以上となり、高張力鋼が鉄筋コンクリート用棒鋼にも導入してきたのである。

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 2100 kgf/cm² 程度に制限されている。また、主鉄筋として大きな引張応力度が発生するとコンクリートがひびわれが顕著に発生し、鉄筋コンクリートのせん断耐力や耐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かった。

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、それほど期待されていないが、高張力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ことがある。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ので、今後一層の高強度鉄筋の登場を期待される。

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、そのなかで最大径のものとして D 38 が規定されていたので、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ものである。このように JIS に

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)

<table>
<thead>
<tr>
<th>区 分</th>
<th>種類 の 記号</th>
<th>SI 単位</th>
<th>従来 単位</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>丸 鋼</td>
<td>SR 235</td>
<td>SR 24</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>SR 295</td>
<td>SR 30</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>異 形 棒 鋼</td>
<td>SD 295 A</td>
<td>SD 30 A</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>SD 295 B</td>
<td>SD 35</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>SD 345</td>
<td>SD 40</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>SD 490</td>
<td>SD 50</td>
<td></td>
</tr>
</tbody>
</table>

表-3 化学成分（平成3年1月1日から適用）
(JIS G 3112-1987)

<table>
<thead>
<tr>
<th>種類の記号</th>
<th>C</th>
<th>Si</th>
<th>Mn</th>
<th>P</th>
<th>S</th>
<th>C+Mn/6</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>SR 235</td>
<td>--</td>
<td>--</td>
<td>--</td>
<td>0.05以下</td>
<td>0.05以下</td>
<td>--</td>
</tr>
<tr>
<td>SR 295</td>
<td>--</td>
<td>--</td>
<td>--</td>
<td>0.05以下</td>
<td>0.05以下</td>
<td>--</td>
</tr>
<tr>
<td>SD 295 A</td>
<td>--</td>
<td>0.55以下</td>
<td>1.50以下</td>
<td>0.04以上</td>
<td>0.04以下</td>
<td>--</td>
</tr>
<tr>
<td>SD 295 B</td>
<td>0.27以下</td>
<td>0.55以下</td>
<td>1.60以下</td>
<td>0.04以下</td>
<td>0.04以下</td>
<td>0.50以下</td>
</tr>
<tr>
<td>SD 345</td>
<td>0.27以下</td>
<td>0.55以下</td>
<td>1.80以下</td>
<td>0.04以下</td>
<td>0.04以下</td>
<td>0.55以下</td>
</tr>
<tr>
<td>SD 490</td>
<td>0.32以下</td>
<td>0.55以下</td>
<td>1.80以下</td>
<td>0.04以下</td>
<td>0.04以下</td>
<td>0.60以下</td>
</tr>
</tbody>
</table>
表-4 機械的性質（平成3年1月1日から適用）

<table>
<thead>
<tr>
<th>種類の記号</th>
<th>降伏点または0.2%耐力 N/mm²</th>
<th>引張強さ N/mm²</th>
<th>引張試験片</th>
<th>伸び*%</th>
<th>曲げ角度</th>
<th>内側半径</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>SR 235</td>
<td>235 以上</td>
<td>380～530</td>
<td>2号</td>
<td>20以上</td>
<td>180°</td>
<td>公称直徑の1.5倍</td>
</tr>
<tr>
<td>SR 295</td>
<td>295 以上</td>
<td>440～600</td>
<td>2号</td>
<td>18以上</td>
<td>180°</td>
<td>公称直徑の1.5倍</td>
</tr>
<tr>
<td>SD 295 A</td>
<td>295 以上</td>
<td>440～600</td>
<td>2号 または3号</td>
<td>16以上</td>
<td>180°</td>
<td>公称直徑の1.5倍</td>
</tr>
<tr>
<td>SD 295 B</td>
<td>295～390</td>
<td>440 以上</td>
<td>3号 または3号</td>
<td>18以上</td>
<td>180°</td>
<td>公称直徑の1.5倍</td>
</tr>
<tr>
<td>SD 345</td>
<td>345～440</td>
<td>490 以上</td>
<td>3号 または3号</td>
<td>18以上</td>
<td>180°</td>
<td>公称直徑の1.5倍</td>
</tr>
<tr>
<td>SD 390</td>
<td>390～510</td>
<td>560 以上</td>
<td>2号 または3号</td>
<td>16以上</td>
<td>180°</td>
<td>公称直徑の1.5倍</td>
</tr>
<tr>
<td>SD 490</td>
<td>490～625</td>
<td>620 以上</td>
<td>3号 または3号</td>
<td>14以上</td>
<td>90°</td>
<td>公称直徑の2.5倍</td>
</tr>
</tbody>
</table>

* 異形棒鋼で、寸法が呼び名D 45を越えるものについては、呼び名3を増えることに表-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（D 45に相当）およびNo. 18（D 57に相当）鉄筋を規定し、それまでのNo. 11鉄筋（D 35に相当）から大幅な太径化を図り現在に至っている。

国際コンクリート委員会では、1974年に「太径鉄筋 D 51を用いる鉄筋コンクリート構造物の設計指針（案）」を発表し、JIS G 3112-1975におけるD 51の規定と相まって太径鉄筋の普及が図られたことが観察され、さらに1991年には、国際コンクリート委員会では「太径ねじ込み鉄筋 D 57およびD 64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、鋼太径鉄筋の適用方法等についての指針を示した。

鉄筋の太径化が進むにつれて、太径の鉄筋が鉄骨鉄筋コンクリートの鉄筋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当に異なってくるものと考えられる。このような点においての実績を踏んでいて、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太さな構造物に用いられている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＝く橋、旧名同西橋）では、主鉄筋としてφ 45 mmの丸鋼鉄筋が大々的に用いられ、その役割を果たしたものであり、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、鉄筋が腐食する場合があり、また、コンクリートのびわび部でも、鉄筋が腐食する可能性がある。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300μm程度に塗装したもので、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・施工指針および規格を作成し、1986年にコンクリートラブライブラリー50号としてこれを刊行した。

また、耐塩鉄筋として、鉄筋部分中にニッケルやタンスゲンを添加した鉄筋も開発されているが、これらについては指針や規定はまだ定められていない。

鉄筋の維手については、土木学会コンクリート委員会で、1992年に「鉄筋維手指針」を発表し、続いて1994年にエンクロース維手を対象として「鉄筋維手指針（その2）」を発表した。これらはコンクリートライブラリー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に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、大内俊司氏の著作『小形棒鋼概論』その他の貴重な資料を参照させていただいた。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：太径ねじり試験，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