

高強度異形鉄筋について

佐藤 益 弘*

On High-Strength Concrete Reinforcing Steel Bars.

Masuhiko SATO.

I. 緒 言

近時建築材料の発達はめざましいものがあり、軽量鉄骨、非金属材料、とくに合成樹脂、非鉄合金などの使用は年々増大し、その用途も多岐にわたっている。しかしながらもつとも大量に、とくに大建築物に採用される建築様式として、鉄筋コンクリート構造は、現在なお斯界

に君臨する建築様式の一つである。

鉄筋コンクリート構造は元来 Table 1 の特長と欠点とを有するが使用鉄筋を軟鋼丸鋼から異形丸鋼(軟鋼)にさらに高強度(降伏点)異形丸鋼へと切替え進めることによつてそれらの利点はますますその効果を発揮し、欠点はしだいに軽減せられている。

そこで異形鉄筋、とくに高強度異形鉄筋に注目してそ

Table 1. 鉄筋コンクリート構造の利点と欠点

利 点	欠 点
1. 材料が比較的安価 2. 材料の採取、入手、運搬が容易 3. 耐震性が大* 4. 耐火性が大* 5. 耐久性が大 (構造の一体性)* 6. 有効内容積が大*	1. 自重が大きい (鋼構造物の10倍) 2. 施工が粗雑になりやすい 3. ヒビ、ワレを生じやすい 4. 改造、とりこわしが困難 5. 型枠を要する 6. 音の反響が大

(註) * 印は高張力異形丸鋼の使用により大いに改善される。

Table 2. 関東震災(大正 12 年:1923) による東京旧市内の建物の構造別被害率¹⁾

の発達と現況ならびに将来を論じてみたいと思う。

構 造	被害棟数	全 棟 数	被害率(%)
木 造	35802	326231	11.0
鉄筋コンクリート	67	589	11.2
鉄 骨 造	10	74	13.5
レンガ造	398	485	82.1
石 造	1414	1693	83.5

II. 歴 史

鉄筋コンクリート構造は仏人 MONIER が 1867 年、植木鉢に用いて特許をとつたのに始まり¹⁾しだいに建築部門に応用されるようになり、わが国では明治37年(1904年)以来導入され大正 12 年の関東震災を期として独自の発展をとげて来た。Table 2 には関東震災における

Table 3. わが国における異形鉄筋に関する法規の推移

年 度	法 規 名	鋼 種	長期許容応力 (kg/cm ²)		
			引 張	圧 縮	付 着
昭25. 11. 16	建築基準法施行令	丸 形 丸 鋼 異 形 丸 鋼	1600	1600	7 10
昭28. 12. 5	建設省告示 No.1467	異形 丸鋼	SSD39 1800 SSD49	1600 1800	7/100 Fc で かつ ≤14.7
昭35. 2. 23	建設省告示 No.221	SS49, SSD49 SRB49, SRD49	2000	2000	

(註) Fc: コンクリート4週圧縮強度 (kg/cm²)

* 尼崎製鉄株式会社中央研究所

Table 4. 各 国 鉄 筋 規 格 一 覧

鋼種	国名	規格	鋼種記号	化 学 成 分 (%)						引張強さ (kg/mm ²)		
				C	Mn	Si	P	S	その他			
規 格	日 本	JIS G3101	SS 39				≦0.06	≦0.06		39~53		
			SS 49				≦0.06	≦0.06		49~63		
		JIS G3110	SSD 39				≦0.07	≦0.07		39~53		
			SSD 49				≦0.07	≦0.07		49~63		
	ア メ リ カ	ASTM A-15	S.G				≦0.05			38.7~52.7		
			I.G				≦0.05			49.2~63.3		
			H.G				≦0.05			≧56.2		
			S.G				≦0.05			38.7~52.7		
		ASTM. A-408	I.G				≦0.05			49.2~63.3		
			H.G				≦0.05			≧56.2		
			S.G							38.7~52.7 49.2~63.3 ≧56.2		
	イ ン ギ ス	ASTM. A-431					≦0.05			≧70.3		
										≧63.3		
		ASTM. A-432					≦0.05			≧63.3		
									≧56.3			
ASTM. A-94			<0.40		>0.20	≦0.06	≦0.05	Cu は指定 あれば >0.20	56.3~66.8			
ASTM. A-82						≦0.05			>56.3			
イ ン ギ ス	BS 548			<0.30			<0.06	<0.06	Cu は指定 あれば <0.6	直径 d <9.5 <25.4 <38.1 <50.8 <63.5 >63.5	— 58.3~67.7 58.3~67.7 58.3~67.7 58.3~67.7 58.3~67.7	
		軟 鋼 中抗張力 高抗張力									<9.5 <25.4 <9.5 <25.4 <9.5 <25.4	— 44.1~52 >52.0 51.2~59.8 >58.3 58.3~67.7
		BS 968			<0.23	<1.8	<0.35	<0.06	<0.06	協定により Cu <0.6 Ni <0.5 Cr <0.08	<9.5 <19.1 >19.1	55.1~64.6 55.1~64.6 52.0~61.4
		BS 1144								角 棒 1 本 扱 丸 棒 2 本 扱	<9.5 ≧9.5 <9.5 ≧9.5	>56.2 >49.2 >44.4 >44.4

降伏点 (kg/mm ²)	伸び(%) G.L=8d 又は 8"	曲 げ 試 験			備 考	
		直 径	曲げ角度	内側直径		
≥24 ≥30	20 16		180° 180°	3・0d 4・0d	一般構造用 丸 鋼	
≥24 ≥30	18 14		180° 180°	3・0d 4・0d	鉄筋コンクリート 用異形丸鋼	
≥23・2 ≥28・1 ≥35・2	≥985/TS かつ ≥20 ≥914/TS かつ ≥16 ≥773/TS	<3/4" ≥3/4" ≥3/4"	180° 180° 180° 90°	1・0d 2・0d 4・0d	コンクリート補強用 丸 鋼 コンクリート補強用 異 形 丸 鋼	
≥23・2	≥844/TS かつ ≥16	≥1 >1 <3/4"	180°	2・0d 3・0d 4・0d		
≥28・1	≥773/TS かつ ≥12	≥1 >1 <3/4"	90°	3・0d 4・0d 5・0d		
≥35・2	≥703/TS	<3/4" ≥1 >1	90°	4・0d 5・0d 6・0d		
≥23・2 ≥28・1 ≥35・2	≥13 ≥10 ≥7					コンクリート補強用 特大異形丸鋼 (43~57 mm φ)
≥52・7	<3/4": ≥7・5 ≥7/8": ≥7・5~5・0	3/8~5/8" 3/4~7/8" 1~11/8"	90°	4・0d 5・0d 6・0d		コンクリート補強用 高張力棒鋼
≥42・2	≥1426/TS	3/8~5/8" 3/4~1" 1 ¹ / ₈ ~1 ³ / ₈ "	90°	4・0d 5・0d 6・0d	同 上	
>31・6	>16	≤3/4" 3/4~1 1~1 ¹ / ₄ " >1 ¹ / ₄ "	180°	1・0d 1・5d 2・0d 2・5d	構造用シリコン鋼	
>0・8×TS	—	≤7・6mm >7・6mm	180°	1・0d 2・0d	コンクリート補強用 冷間引抜鋼線	
— — >30・7 >36・2	— — >18 >18 >18 >18 >18	— — ≤25・4 >25・4	— — 180° 180°	— — 2・0d 3・0d	橋梁および一般建築 用高張力構造用鋼	
— — >30・7 >36・2	>16 >20 >14 >18 >14 >18	— — ≤25・4 >25・4	— — 180° 180°	— — 2・0d 3・0d	コンクリート補強用 圧延棒鋼および引抜 硬化鋼線	
>33・1 >33・1 >29・9	>14 >18 >18	≤25・4 >25・4	180° 180°	2・0d 3・0d	橋梁および一般建築 用高張力溶接構造用 鋼	
>49・2 >42・2 >38・0 >38・0	>12 >14 >12 >14	≤25・4 >25・4	180° 180°	2・0T 3・0T	コンクリート補強用 冷間振り棒鋼	

鋼種	国名	規格	鋼種記号	化 学 成 分 (%)						引張強さ kg/mm ²				
				C	Mn	Si	P	S	その他					
規 格	ド イ ツ	DIN 1045 (1952年) および DIN 488	I							直 径 34~50 ≦18 50~62 >18 50~64 ≦18 ≧50 >18 ≧50 ≦18 ≧50 >18 ≧50				
			II _a											
			II _b											
			III _a											
			III _b											
			IV _a											
			IV _b											
			鋼 連	ソ	国定規格 5781-53	平 炉	0.28~ 0.37	0.50~ 0.80	0.12~ 0.25		<0.050	<0.050	Cr <0.3 Ni <0.3 Cu <0.3	50~53 54~57 58~62
						転 炉	0.17~ 0.30	0.50~ 0.80	0.12~ 0.25		<0.085	<0.065		50~53 54~57 58~62
					7314-55	平 炉	0.20~ 0.29	1.20~ 1.60	0.6~0.9		<0.05	<0.05	—	≧60
0.16~ 0.23	1.00~ 1.50	0.4~0.8					<0.05	<0.05	—	≧50				
0.20~ 0.29	1.20~ 1.60	0.6~0.9					<0.05	<0.05	{Cr Ni <0.3 Cu	≧60				
0.26~ 0.35	1.20~ 1.60	0.6~0.9					<0.05	<0.05	Cr 0.6~0.9	≧90				
転 炉	0.14~ 0.23	1.20~ 1.60				0.6~0.9	<0.075	<0.055	—	≧60				
	0.14~ 0.23	1.20~ 1.80				0.4~0.9	<0.075	<0.055	{Cr Ni <0.3 Cu	≧60				
0.18~ 0.28	1.20~ 1.60	0.4~0.7			<0.075	<0.055	—	≧60						
							—	≧55						
		<0.14	0.40~ 0.80	0.25~ 0.5	<0.075	<0.055	Cr 0.4~0.7	≧46						
スデ エ ー ン														
商 用 鋼	スデ エ ー ン	Kam- Steel	Kam 40											
			Kam 50 Kam 60											
	オリ ー ス ト ヤ	Torstahl	Tor 40						>50					
			Tor 50 Tor 60											
デ マ ク ン ー	Tentor													
イ ギ リ ス	Tentor							直 径 < 9.5 ≧56.3 <25.4 ≧49.2 >25.4 ≧49.2						

降伏点 (kg/mm ²)	伸び(%) G.L=8d, G.L=10d 又は 8''	曲 げ 試 験			備 考
		直 径	曲げ角度	内側直径	
>22	>18		180°	2 d	コンクリート用鋼Ⅰ種
>36	>20		180°	2 d	コンクリート用鋼Ⅱ種
>34	>18		180°	2 d	(圧延まま)
>36	>14		45° 曲げ 30分煮沸後 22.5° 曲戻	7 d	特殊コンクリート用鋼 (冷間加工)
>42	>18		180°	2 d	コンクリート用鋼Ⅲ種
>40	>18		180°	2 d	(圧延まま)
>42	>8		45° 曲げ 30分煮沸後 22.5° 曲戻	7 d	特殊コンクリート用鋼 (冷間加工)
>40	>16				コンクリート用鋼Ⅳ種 (圧延まま)
>50	>8				特殊コンクリート用鋼 Ⅳ種 (冷間加工)
直 径 <40 ≧40	≧28 ≧27			3 d	鉄筋コンクリート構造 物補強用熱延炭素鋼
	≧17 ≧16 ≧15				(6~90mm φ)
<40 ≧40	≧28 ≧27			3 d	
≧40	≧14		90	3 d	鉄筋コンクリート構造 物補強用熱延低合金鋼
≧30	≧20		90	3 d	
≧40	≧14		90	3 d	
≧60	≧6		45	5 d	
≧40	≧14		90	3 d	
≧40	≧14		90	3 d	
≧40	≧14		90	3 d	
≧40	≧14		90	3 d	
≧33	≧15		—	—	
直 径 ≧18 18~30	≧40 ≧38				
35.9~40.1 >59.8					直径 <15.9 なること
直径 <18 >18 >50 >60	>42 >40				
>49.9					
≧49.2 ≧42.2 ≧42.2	>12 >14 —				

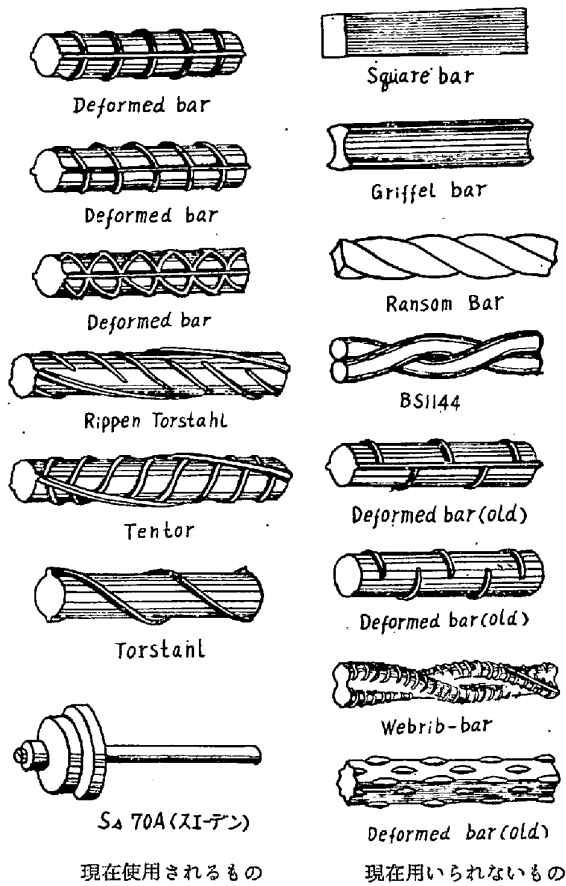


Fig. 1. 異形鉄筋のさまざま

建物の構造別被害状況を示した。

一方使用する鉄筋とコンクリートとの付着性をよくするために約 50 年前から鉄筋表面に各種の突起を付けたり棒鋼を 1 本ないし 2 本換ることが考案され (Fig. 1) 第 2 次大戦中鉄筋コンクリート船の実用化に関連してアメリカで大研究が行なわれ 1949 年にいわゆる deformed bar の規格が制定された。これとは別にスウェーデンでも研究が進められ、アメリカとほぼ同様な形状をもつ異形丸鋼が規格化せられた。(1942年)⁷⁾ ソ連でも同様な形状を規定している。

話はもどるが大正 12 年(1923年)の関東震災のさい、当時の異形鉄筋とアメリカ式设计法により建築された内外ビルの崩壊が注目をひき、鉄筋コンクリート構造の優位性は認められながら、異形鉄筋は設計法の責を負つて姿を消してしまい以来異形鉄筋の使用は、わが国では昭和 26 年 (1951年) にいたるまで行なわれなくなつてしまった。

しかし異形鉄筋には以下に示すような特長を有するのでその使用が考慮せられ、昭和 28 年には JIS G 3110 「異形丸鋼」の制定をみ、建築法規上でも、Table 3 のとおりその優遇使用がしだいに確固なものとなつて来て

いる。

III. 現用鉄筋の種類

Table 4 には各国で現用せられる鉄筋の規格を総括した^{8)~10)}がこのうちアメリカではコンクリート鉄筋協会が推奨している関係もあつて ASTM 規格の Intermediate grade (JIS SSD 49 に相当) が主に使用され、また 6mm φ 以上の鉄筋は全て ASTM 異形丸鋼である。

ドイツでは Table 4 の I 種と III 種の使用が相半ばしているといわれる。またオーストリアで第 2 次大戦中に使用された鉄筋量の 87% は降伏点 40~60 kg/mm² のものであつた⁹⁾。このように諸外国では古くから高強度鉄筋の使用が盛んであつたに対し、わが国では昭和 35 年 2 月やつと高強度に見合う許容応力が認可せられ SSD 49 材が実用の緒についたかぶりである。しかしコンクリート強度は年々向上を示して来たし (Fig. 2)、今後は現場的にも安定した高いコンクリート強度が保証されつつあるので、これを有利に用いるためには、さらに高強度の鉄筋の登場が希望せられているところである。

高強度の鉄筋として実用せられるものの形状と高力法を Table 5 にまとめてみた。

鉄筋の高力法としては、成分調整、冷間加工、の他に温間加工や焼入焼戻しも考えられるが、現在実用せられているのは前 2 者であり、焼入焼戻し鉄筋はソ連において研究せられてはいる⁹⁾。

Table 5 にて成分調整系は炭素鋼系が主であるが最近わが国には低合金鋼系の溶接性にも優れたものが出ている。

冷間引抜鋼線はアメリカにて 1921 年規格制定されたもので道路床などに用いられている。冷間振り鉄筋は冷間加工鉄筋の主流をなすもので、イギリスにては 1943 年版 BS 1144 に角形 1 本振り、丸形 2 本振り鉄筋が規格

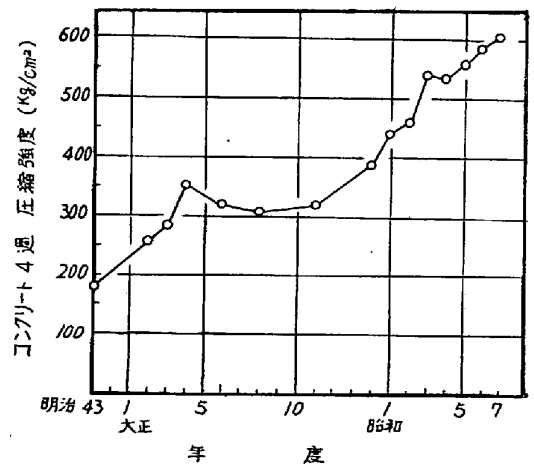


Fig. 2. コンクリート強度の推移¹⁾

Table 5. 実用鉄筋の形状と高力法

形状	高力法	成分調整	冷間加工			
			引 抜	引 張	振 り	引張+振り
丸 鋼	鋼	JIS;SS 39,41	ASTM, A 82, BS 785	S _s 70A (スウェーデン)	BS 1144	—
角 形 鋼	鋼	—	—	—	BS 1144	—
リブ付異形丸鋼	鋼	—	—	—	Torstahl (オーストリア)	—
リブ+斜めフシ付異形丸鋼	鋼	JIS;SSD 39,49 ASTM, A 105 " A 305	—	—	Rippen- Torstahl (ドイツ)	Tentor (イギリス, デンマーク)
リブ+横フシ付異形丸鋼	鋼	JIS;SSD 39,49 ASTM, A 105 スウェーデン規格	—	—	(ドイツで禁止)	—

化され 1957 年には振り+引張り型の Tentor bar にもその規格が適用された。ドイツでは 1955 年版 DIN に 2 種の冷間加工鉄筋を規定し、さらに 1959 年 6 月にはフシ付振り鉄筋 Rippen Torstahl (Isteg stahl) にも承認を与えるにいたっている。

Torstahl はオーストリアにて誕生¹⁰⁾し、独、仏にてても実用せられているもので Rippen Torstahl はこれに斜めフシを付けてコンクリートとの付着性の向上を図つたものである。なお横フシ異形丸鋼を振り加工したものは曲げ加工にてフシによる亀裂が生じやすいので用いられていない。

スウェーデンの S_s 70A は特殊な存在で Fig. 1 のごとく引張加工と同時に終端にアンカーを具えた鉄筋である。

これらの鉄筋の多くが降伏点 35kg/mm² 以上、40kg/mm² 以上のものであり中には DIN 1045-IV や ASTM A431 のごとく 50~52.7kg/mm² 以上のものさえ規格化され実用されているのが今日の情勢である。

わが国では鉄鋼メーカーの製造態勢は、おいおい整いつつあるが建築法規上 SSD 49 (降伏点 30kg/mm²) 以上の高級鉄筋の使用上の優遇が与えられていないのが高強度鉄筋登場の一つの障害となつているのは残念である。

IV. 高強度異形鉄筋の利点と所要性質

高強度異形鉄筋を用いるときにはつぎの利点が得られる。

(1) 鋼材が節約になる。

1 例を示すと Table 6³⁾ のとおりで丸鋼(SS 39) の代りに異形丸鋼 (SSD 49) を使えば約 20% の鋼材が節約になる。

これは、高力化による許容応力のひき上げおよび異形

Table 6. 高強度異形鉄筋使用による使用鋼材重量比³⁾

使用部	鋼種		
	SS 39	SSD 39	SSD 49
は り	1.00	0.95	0.81
柱	1.00	0.98	0.85
基礎	1.00	0.73	0.73
計	1.00	0.94	0.82

丸鋼にすることによるフックの不要などによりもたらされる利益で SSD 49 以上の高強度鉄筋の使用が法規的に公認せられるとさらに節約量は大となるう。

(2) コンクリート量が節約できる。

部材によつては鉄筋量を減らさず高強度鉄筋を用いたときには材丈を 20% 減らし得る。それだけ建造物は軽量になり有効内容積を増すことができる。

(3) 新しい設計ができる。

たとえばはりやスラブのスパンを広くとれるようになる。

(4) 施工が簡単になる。

異形鉄筋はコンクリートとの付着力が大きいので太径にして本数を減らしたり終端フックなしに施工できるので曲げ加工費が少なくなりコンクリートも打ち込みやすくなる。

(5) 異形鉄筋とすることによりコンクリートとの一体化が確実となり耐震、耐久性のある構造にできる。

以上の利点を発揮するため、つぎの諸性質が高強度鉄筋に要求される。

(1) 降伏点または耐力が高いこと。これは後述するように建築設計上は全て降伏点を基に鋼材の許容応力が定められるからである。この点冷間加工法は目的にかなつた高力化方法である。

(2) 曲げ加工、曲げ戻しにより亀裂を生じないこと。

異形鉄筋であつてもつぎの場合には曲げ加工を避けることができない。

(i) 長尺物の舟積その他輸送、運搬のさい
(ii) 建築途上一時的に横向きに曲げないとその後の作業の妨げになるとき。

(iii) 建築法規の定める個所に使う鉄筋

丸鋼では末端は全てフックをつけて定着することになつてゐるが異形丸鋼でも柱の出隅部分、はり、床版および屋根版の下側部分、煙突には必ずフックをつけることになつてゐる。

以上のうち(i)(ii)には曲げ戻し作業が必然的に付随する。(iii)においても予定角以上曲げてしまい、後、曲げ戻して規定角としたりする場合には、曲げ戻しを伴うことになる。また、まったく過失から曲げてしまうこともある。然も以上の曲げ加工は大低屋外で行なわれつぎに曲げ戻すまでに相当の時間が経過する。したがつて低温における曲げ戻し靱性や時効性が問題となつてくる。

(3) コンクリートとの付着強度が大なること。

高強度鉄筋ほどコンクリートとの一体性が確保されねばならない。丸鋼では降伏点 30 kg/mm^2 以上となると付着力が不足する。異形鉄筋では付着力がよいため応力がかかつた場合、コンクリートの亀裂を分散し、大きな亀裂を生じない特長がある。大きな亀裂ができるとそこから水分が浸入して鉄筋を錆びさせる危険がある。なお異形鉄筋は丸鋼の2倍以上の付着力を有するのが普通である。

(4) 耐火性のあること

建築界での耐火性とは火災温度: $1000 \sim 1200^\circ\text{C}$ にさらされて構造物が破壊せぬことをいい、鉄筋コンクリート構造では幸いコンクリートが耐火性に富むため、コンクリートの被りの下の鉄筋は $450 \sim 500^\circ\text{C}$ 程度の耐火性が必要とせられる。後述するように、この点では成分調整系鉄筋に利がある。

(5) 溶接、ガス圧接性

最近の鉄筋施工には、継手鋼材の節約と乱尺材の活用をはかるため溶接やガス圧接工法がよく用いられる。高強度鉄筋のごとくコスト高のものには、さらに溶接、圧接継手が適用されようが、そのさい十分な溶接性と接合部の強度が求められる。この点冷間加工系鉄筋にはなお検討の余地があるといわれる¹⁰⁾。

つぎにこれらの所要性質と法規との関係について述べることにする。

V. 高強度異形鉄筋と建築法規

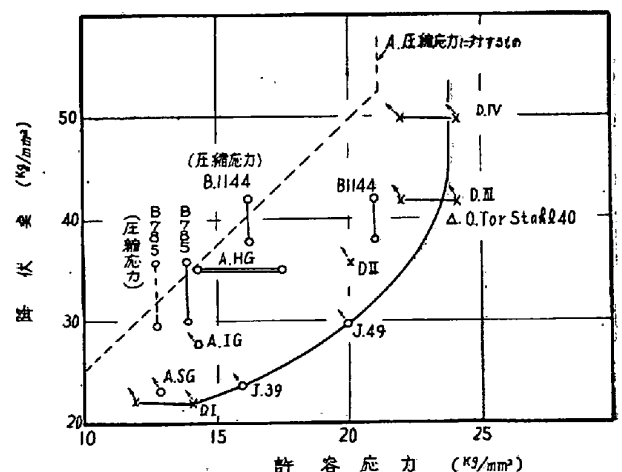
(1) 鉄筋の降伏点と許容応力

Table 4 に示した各国鉄筋の許容応力を一括すると Table 7 のとおりになる。アメリカの高強度鉄筋 ASTM A431, 432 については規格制定が 1959 年であるためか許容応力値は明かにされていないが、これらは終局強度設計法により使用されるものと考えられる。これらの鉄筋の最低降伏点と許容応力の関係を図示すると Fig. 3 のとおりになる。

ドイツ、アメリカ、イギリス、日本の規格値を比較するとドイツは許容応力を広範囲な鋼について規定しており、この4カ国中では最高の許容応力を認めており、日本は範囲が狭いが大体ドイツの傾向に似た基準で許容応力を規定している。したがつて日本において降伏点 >35 、 >40 、 $>50 \text{ kg/mm}^2$ なる高強度鉄筋の使用が許される場合でも、Fig. 3 の実線からそう外れることはないと考えられる。アメリカは概して許容応力が低く、お国柄鋼材節約が余り問題にならないようである。イギリスはドイツ、日本、アメリカの中間的存在である。

Fig. 3 から降伏点 35 kg/mm^2 以上の高強度鉄筋の許容応力推定値を求めると Table 8 のごとくになり、わが国における将来の法規の改正もこの線から余り隔ることはないと考えられる。なお降伏点 $>45 \text{ kg/mm}^2$ の鉄筋については、終局強度設計法の適用が有利とされ、現在開発されつつある。

以上のごとく法規上から高強度鉄筋は降伏点 30 kg/mm^2



記号: 最初の文字は国別

A: アメリカ, B: イギリス

D: ドイツ, J: 日本, O: オーストリア

その他の文字は Table 7 参照

Fig. 3. 各国の鉄筋の許容応力と降伏点 (規格)との関係。

Table 7. 各国の建築法規による鉄筋の許容応力 (kg/cm²)

国名	法規	鋼種	コンクリート強度	許容応力			備考
				引張	圧縮	曲げ	
日	建築基準法施行令 (昭和 32.10.4) 建設省告示 (昭 35.2.23)	SSD 39 SRD 39 SSD 49 SRD 49 普通鋼材*	>90 >90 >90	1600 2000 1400	1600 2000 1400	1600 1400	* 施行令第 94, 98 条によると住居地域以外の地域では、降伏点 35 kg/mm ² 以上の鋼材は、この数値によらなくても良い。
	建築学会基準 (昭 33.11)	SS49, SSD39 SRB39, SRD39 SS49, SSD49 SRB49, SRD49 普通鋼材		1600 2000 1400	1600 2000 1400		
本	土木学会基準 (昭 31 年)	SS39, SS41 SSD39 SS49, 50 SSD49 丸 鋼	>200 >200 >200	1400 1600 1400			左以外の鋼材については責任技術者の指示と試験を要す。
イギリス	BS. CP114 (1957)	BS 785 軟 鋼*		1406 1265 2109	1265 1125 1617	(剪断) 1410	棒径 ≤ 38・1 mm)* 軟鋼以外については降伏点 > 38・1 mm) の 1/2, かつ 2100 以下 ³⁾ .
ドイツ	DIN 1045 488 (1952) (1959)	I II III III _b IV	120 160 225 300 160 225 300 160 225 300 160 225 300			1200 1400 1400 1400 2000 2000 2000 2200 2400 2400 2400 2400 2400 2200 2400 2400	コンクリート用鋼第 I 種 コンクリート用鋼第 II 種 コンクリート用鋼第 III 種 コンクリート用鋼第 III _b 種 (冷間加工) コンクリート用鋼第 IV 種
アメリカ	ACI 318・51 および ASA A89・1 (1951)	ASTM H.G. ASTM I.G ASTM S.G		1760 ~1406 1406 1265	AST Mの最 小降伏 点の40 %かつ ≤2109		コンクリート補強用ビレット鋼棒鋼 } の硬級 コンクリート補強用軌条鋼棒鋼 } コンクリート補強用車軸鋼棒鋼 } コンクリート補強用冷間引抜鋼線 } コンクリート補強用ビレット鋼棒鋼 } の中級 コンクリート補強用車軸鋼の棒鋼 } コンクリート補強用ビレット鋼 } の構造用級 コンクリート補強用車軸鋼 }
スウェーデン	標準規格	Kam 40 Kam 50		1760 ~2180 2390 ~2950			
オーストリア	オーストリア・ コンクリート協 会の答申(1950)	Torstahl 40 Torstahl 60 軟鋼 I 種 St37		2400 3500 1400			

(註) 1. 部材によっては、以上の数字未満のことがある。
2. スウェーデン、オーストリアの資料は規格原本によるものではない、

Table 8. 降伏点 35 kg/mm^2 以上の鉄筋に対する許容応力推定値

最低降伏点 (kg/mm^2)	35	40	45	50
推定許容引張応力 (kg/cm^2)	2200	2300	2400	2400

mm^2 までは現在でも十分優遇されているが Fig. 3 の世界的な情勢からも降伏点 35 kg/mm^2 以上の、高強度鉄筋の法規的背景をもつての登場も近いものと信じる。

(2) 鉄筋の許容付着応力

コンクリートと鉄筋との付着強度は、コンクリート圧縮強度、鉄筋形状、鉄筋の太さ、鉄筋の強度などに依つて変化する。コンクリート圧縮強度が大なるほど、鉄筋の直径が小なるほど、付着強度は大となり、また異形棒鋼は平滑丸鋼よりも大である。この付着強度の大小は、鉄筋を部材支点到に埋込み定着する長さや、鉄筋の重ね継

手の長さにも関連がある。

各国建築法規による許容付着応力度を Table 9 に示す。

各国とも許容応力度はコンクリート強度ないしはコンクリート配合比と関連づけて示しているのをこれを統一して見るため図示したのが Fig. 4 である。ただし、イギリス規格はコンクリート配合比だけしか示していないのでこれを資料¹¹⁾からコンクリート4週圧縮強度に換算した。

Table 9 および Fig. 4 によると丸鋼に対する規定では各国とも大差はないが異形丸鋼に対する評価は区々であることがわかる。イギリスは 1947~48 年頃の旧形異形丸鋼に対する値が 1957 年度にはまだ改つておらないため、異形丸鋼に対する評価がきわめて低い。

アメリカは最高の付着応力度を許容しておりわが国はこれにつぐ、何れにせよ Table 9 最右項に示すとおり異形丸鋼としては丸鋼の 1.7~2.3 倍の付着強度が認められているわけで、現在市販のフシ付実用鉄筋は、ほと

Table 9. 各国法規の丸鋼と異形丸鋼の付着応力度

国名	法規	コンクリート, 部材	付着応力度 (kg/cm^2)			
			丸鋼 (P)	異形丸鋼 (D)	D/P	
日	建築基準法施行令 (昭 33 年)	$F_c > 90$	7	—	2.1	
	建設省告示 No. 1467 (昭 33 年)		—	$7/100 F_c$ かつ ≤ 14.7		
	建築学会基準 (昭 33 年)	曲げ材一般 曲げ材上筋 定着継手	$6/100 F_c$ $4/100 F_c$ かつ ≥ 7 $4/100 F_c$	$10/100 F_c$ $7/100 F_c$ $7/100 F_c$	1.7 1.8 1.8	
本	土木学会 (昭 33 年)	$F_c = 120 \sim 140$	5	10	2.0	
		140~160	5.5	11		
		160~180	6	12		
		180~200	6.5	13		
		200~240	7	14		
240~	8	16				
イギリス	イギリス規格実施要綱 CP114 (1957)	公称混合比				
		1:1:2	平均部分	10.6	13.2	1.3
			部分	15.5	19.3	
		1:1½:3	平均部分	9.5	11.8	1.1
	部分	14.1	17.6			
1:2:4	平均部分	8.4	10.6	1.2		
	部分	12.7	15.8			
ドイツ	DIN 1045	$F_c = 120$ 160 225 300	4 5(26mm ϕ 以下の場合, 付) 6(着応力度の計算は不要) 8			
アメリカ	ACI (1951) ($F_c \text{ max.} = 352$)	一般 二方向定着 上げ筋	$0.045 F_c$ $0.036 F_c$ $0.03 F_c$	$0.10 F_c$ $0.08 F_c$ $0.07 F_c$	2.2 2.2 2.3	

(註) F_c : コンクリート週圧縮強度

Table 10. 各国の法規, カタログによるコンクリート鉄筋の曲げ条件

国名	鉄筋の規格	鋼種	母材試験 ($d = 9.6 \sim 16\text{mm } \phi$)	建築上標準				備考		
				土木学会		建築学会			建設省告示	
日本	JIS G3101	SS39 丸鋼	D=3d 180°	>3d	>5d	180° >3d	90° >3d	折曲 >6d	180° —	d < 13 mm ϕ 圧延まま
	JIS G3110	SS49 "	D=4d 180°	>5d	"	3~8d 4~8d	3~8d 4~8d	>6d >8d	—	
	JIS G3110	SSD39 異形丸鋼	D=3d 180°	>5d	"	>4d	—	>6d	>4d	
	JIS G3110	SSD49 "	D=4d 180°	>5d	"	>4d	—	>8d	>4d	
ドイツ	DIN 1045 (1952)	コンクリート用鋼 第 I 種	D=2d 180°	>2.5d						圧延まま
		II	D=2d 180°	>5d	>10d					
		III	D=2d 180°	>5d (d > 40mm)						
		II 異形	D=7d 45° 曲げ後30分間水中煮沸し 225° 曲戻し	(d < 26) では			建築監督所の承認があればフックなしでよい。			冷間加工
III "		>2.5d		>15d						
イギリス	BS 785	軟中鋼 抗張力		BS 1478 : 1948 により丸鋼では 180°フック } 90°フック } とも $\geq 2d$					圧延まま	
	BS 1144	冷間振り	D=2T 180°	丸鋼以外は設計者が決定する。						T 最大寸法
アメリカ	ASTM A-15	丸鋼	構造級 中級 硬級	D=1d 180° D=2d 180° D=4d 180°	180°フック 90°フック		{ d < 25mm ϕ D=6d { d \geq 25mm ϕ D=8d	{ D=7d { D=8d	圧延まま	
		異形丸鋼	構造級 中級 硬級	D=2d 180° D=3d 90° D=4d 90°	原則としてフックを要しない。					圧延まま
	ASTM A-431	異形丸鋼	高張力	D=4d 90°					圧延まま	
	ASTM A-432	形鋼	"	D=4d 90°					圧延まま	
イギリス	カタログ	Tentor bars	BS 1144を満足	$\geq 3d$, 曲げ戻しは不可。					冷間振り	

Table 11. 日本, ドイツにおける鉄筋の接合法

		ドイツ		日本***
		圧延まま I, II _a , III _a , IV _a	冷間加工 I _b , III _b , IV _b	圧延まま
溶接	突合せ抵抗溶接	○ 80%*	○ 70%	} 接手効率 100%以上の方法を用いる。不十分なときは接手有効断面積を 80% に評価。
	アーカ溶接	×	×	
重ねアーカ溶接	?	○ 要許可**		
ガス圧接	×	×		
	突合せ電弧肉盛溶接	?	?	
特殊	ネジ嵌合接合	○	×	
普通	重ね継手	○	○	○

(註) ○印: 可 ×印: 不可

* 評価断面積/素材断面積 ** 各地域の監督所の許可を要する¹⁰⁾

*** 土木学会標準示方書 123 条による¹³⁾。

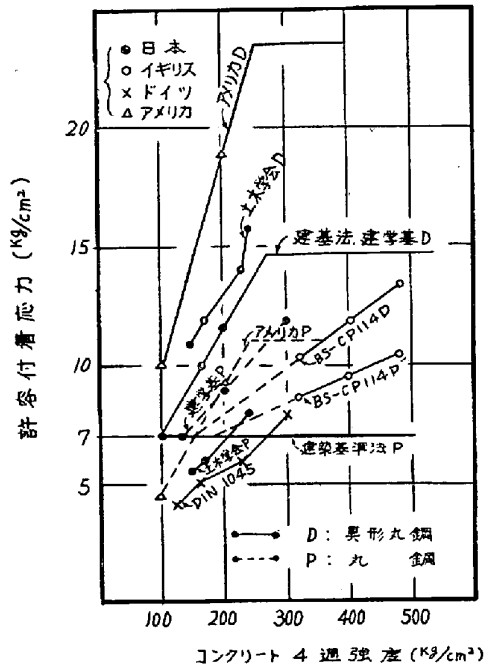


Fig. 4. 各国における鉄筋の許容付着応力

んど全てこの性質を満足している。

(3) 鉄筋と曲げ性質

各国の鉄筋に対する曲げ条件を Table 10 に示す。Table 10 に示したとおり、一般に各国とも異形鉄筋は原則としてフックを要しないことになっており、フックを付ける場合でもその曲げ条件は丸鋼よりもゆるい条件である。また一般に母材試験よりも、ゆるい条件でフックを付けることを規定している。

フシ付冷間加工鉄筋では、曲げ戻しのさい、時効硬化に伴って、フシの根に亀裂を生じやすい¹²⁾ので DIN では時効後曲げ戻しの母材試験を規定している。また同じく冷間振り鉄筋の Tentor bar はそのカタログにて曲げ戻しは不可と断っているほどである。しかし、冷間加工鋼でも形状を選べば、この点は十分実用に耐えるものである。

(4) 鉄筋の接合法

日本では建築基準法、同施行令、建設省告示および建築学会基準には継手の溶接を制限する字句はなく、土木学会標準示方書に Table 11 に示した制限が設けられている¹³⁾。したがってこれが日本における一般的傾向と見なすことができよう。それに依ると、接合法そのものには何等制限を設けず、その接合効果だけに接手効率 100%以上という制約をつけている。この傾向は日本では従来圧延ままの棒鋼しか使用されなかつたことと、この分野における研究が進んでいないためと考えられる。

一方ドイツでは、圧延まま棒鋼と冷間加工棒鋼とを区別して継手方法を規定している。それに依ると冷間加工棒鋼は、圧延まま棒鋼に比べ一般に溶接継手に対する条件が厳しく、公認せられている突合せ抵抗溶接でもその継手の有効断面積の比は圧延まま棒鋼の 80% に対し 70% に留まる。それは冷間加工棒鋼の強度が溶接部にて低下することを考慮したもので実験結果では引張強さは母材の 97.4%、降伏点は 96.2%、伸び 76.7% となつたという報告もある¹⁰⁾、が未だ圧倒的な説得力はもつていないようである。そこで溶接後継手箇所を振り直して強度の低下を防ぎ均一性を保持する方法などが考案せられている¹⁰⁾が実用的には仲々面倒な問題である。またオーストリアでは、突合せ抵抗溶接で接合部直径が、公称直径の 1.25 倍以上のときは、継手効率 100% を認め、冷間加工鋼に他の溶接法をも認めるという日本に似た情勢にある¹⁰⁾。

日本でもガス圧接工法に依るとき元の径の 1.2 倍以上の接合部径を求めている¹⁴⁾が、ドイツでは同国の鉄筋コンクリート委員会(この委員会が DIN 1045 を作成した)が圧延まま、冷間加工鋼を問わず、ガス圧接法はアーク溶接とともにその使用を認めていない現状にある¹⁰⁾ことは注目に値する。

以上のごとく普通の重ね継手を用いる場合には成分調整、冷間加工両鋼にて優劣は生じないが鋼材節約をもたらすため、今後益々利用せられるであろうガス圧接、抵抗溶接法を用いる場合には継手の強度変化の少ない点では成分調整鋼が、継手の硬化性の小なることでは冷間加工鋼が優るものと考えられる。ただしガス圧接法によれば硬化性の点では、成分調整鋼も問題がなくなる¹⁵⁾。

VI. 結 言

コンクリート補強用としての異形鉄筋の発達と現状について述べたが、異形鉄筋は、法規上も優遇されており降伏点 $\geq 30 \text{ kg/mm}^2$ クラスまでは、SSD 49 として十分利用の道が開けている。

しかし欧米での鉄筋規格と建築法規では、さらに高強度の鉄筋が有利な条件の下に、その使用が認められており、鋼材を経済的に利用する事の必要性からも、高強度異形鉄筋の使用が法規的に認められる事が望まれる。

高強度鉄筋としての成分調整系と冷間加工系とは、それぞれ米、独の流れを汲むものであるが、これらはおのおのの長所を活用しながら、今後の建築材料として、ともに将来を担うものと信じられる。

(昭和35年12月寄稿)

文 献

- 1) 坂 静雄: 鉄筋コンクリート学教程, p. 1, 9, 24
 - 2) 小倉弘一郎: 鉄筋コンクリート構造の諸問題, p. 195
 - 3) 小倉弘一郎: 異形鉄筋コンクリート設計法, p. 3, 8, 30
 - 4) ASTM. A-15, 408, 431, 432, 94, 82
 - 5) GEORG, WÄSTLUND: Jr. of A.C.I. 30 (1959) 12 p. 1237~1250
 - 6) DIN. 1045 (1952)
 - 7) 武藤 清, 小倉弘一郎: 異形鉄筋コンクリートに関する研究 (昭29年6月)
 - 8) Economy in the Use of Building Materials: Allgemeine Bauzeitung. Nr. 217, Oct. 11th., 1950
 - 9) E. S. TOVPENETS 他: Stal, 4 (1959) p. 364
 - 10) CHRISTIAN BREDE: Beton und Stahlbeton, 52 (1957), Nr. 8, s. 1~6
 - 11) コンクリート標準配合表: 関西生コンクリート懇話会, 昭 32 年
 - 12) WERNER LÜCKERATH: Stahl und Eisen 77 (1957), 1, s. 11~15
 - 13) 土木学会: 土木学会制定コンクリート標準示方書解説, 昭 33, p. 115
 - 14) 建設省技術研究所: 鉄筋のガス圧接仕様
 - 15) Welding Handbook, 1951, p. 173
- (文献 775 ページよりつづく)
- Gas chromatographic determinations of hydrogen in cast iron. J. KASHIMA, et alius...51
 Scientific Papers of the Institute of Physical and Chemical Research 54 (1960) 4
 Role of pressed density in the sintering of ferrite. T. YAMAGUCHI...394
 東北大学選鉱製錬研究所彙報 16 (1960) 2
 微粉鉄鉱石の焼結について. 三本木貢治, 他...101
 鉄-硫黄-珪素合金の真空熔解に関する実験.
 白石 裕, 他...127
 名古屋工業技術試験所報告 10 (1961) 4
 溶鋼と耐火物との反応 (第6報) 蓑輪 晋, 他...230
 運輸技術研究所報告 11 (1961) 2
 鋼の平面曲げ疲労強度におよぼす平均応力の影響.
 葭原和典, 他...25
 熱管理 13 (1961) 3
 平炉の排煙・集塵設備について. 竹村頼二...32
 一 会社刊行誌 一
 八幡製鉄所技術研究所研究報告 28 (1960) 1
 熔鉱炉の能率向上に関する研究. 辻畑敬治
 神戸製鋼 11 (1961) 2
 フェライト系低温用鋼材について. 金田次雄...85
 FCS, KFS 快削鋼について (第2報) 裏川康一...111
 東洋鋼鉄 8 (1959) 1, 2
 ラジオアイソトープによるアルカリ残留の研究.
 宮本 安, 他...29
 18 l 缶(5 ガロン缶)の輸送割れについて (第2報)
 大山太郎, 他...35
 冷間圧延リムド鋼板の調質圧延効果ならびにレベラー効果とその時効による機械的性質の変化について.
 (1, 2 報) 肥後実男, 他...49
 電気製鋼 32 (1961) 1
 Feedex sleeve 各種新製品の实用化試験.
 酒井桑三郎, 他...2
 鉛快削鋼の切屑の挙動について. 伊藤哲朗...10
 Alnico 5 磁石の時効による硬度変化とその機構.
 加藤哲男...18
 日立評論 43 (1961) 4
 カントレコーダによる鋼中Wの定量について.
 河合重徳, 他...568
 耐火材料 (1961) 86
 製鋼鍋用キャストブル. 宮武和海, 他...23