

高張力異形三角鉄筋 (TRICON・トリコン) について (2)

株 式 会 社 神 戸 製 鋼 所

5. TRICON の試験結果

5.1 偏析試験

TRICON は 60 t の大容量の炉で精錬し、6 t の大形鋼塊に鑄造されるので、lot の均一性がよく、かつ最終成品までの圧延成形比は最大寸法の T38 (異形丸鋼の D38 相当) でも 400 以上のかなり高い値をもっている。このようにして製造された TRICON 60 について 1 チャージ (60 t) における各鋼塊間、鋼塊内の偏析状況をチェック分析ならびに鋼片圧延後の断面マクロ組織により調査した結果、偏析については実用上何ら差しつかえないことを確認した。図 7 はチェック分析による成分の偏析状況を示し、写 3 には鋼片断面のマクロ組織を示した。

供試材の決定分析値は表 5 に示す。

表 5 供試材の化学成文 (%)

種 別	C	Si	Mn	P	S
TRICON 60	0.25	0.30	1.51	0.024	0.022

5.2 曲ゲおよび曲ゲモドシ試験

TRICON は断面が三角形であるので、従来の丸い鉄筋に比べて方向性をもつことになる。特に鉄筋は施工上曲ゲ加工を行なうことがしばしばあるので、TRICON

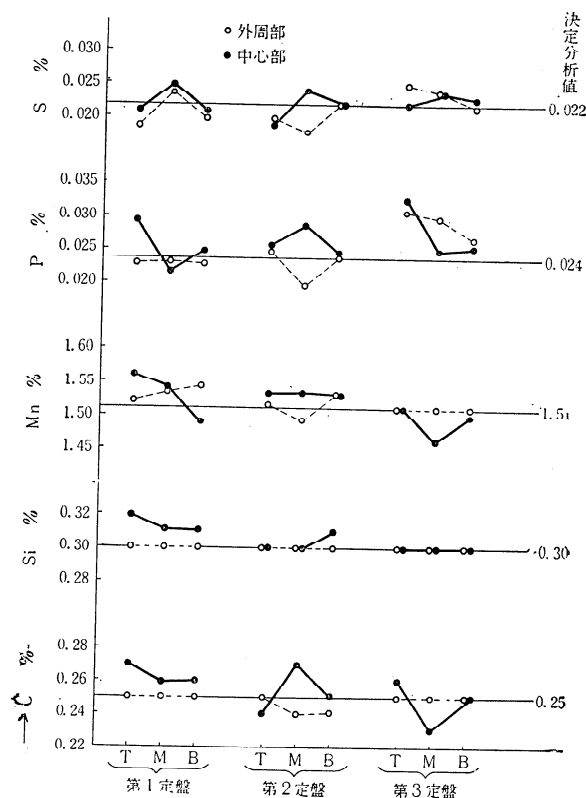


図 7 TRICON 60 の成分偏析状況

がその方向によりいかなる特性を示すかを試験した。

曲ゲ試験は、JIS Z 2248 (曲ゲ試験方法) に準じた

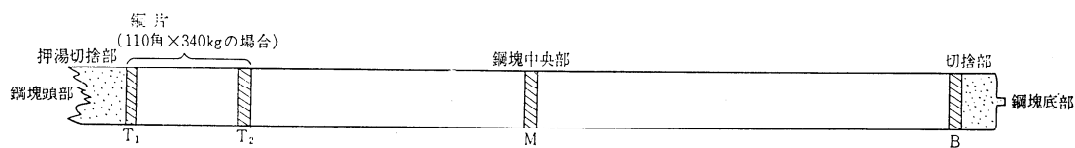
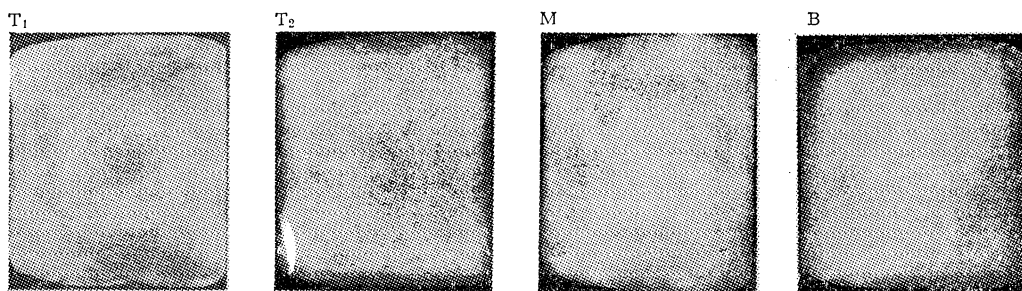


図 8 試験片採取位置



写 3 TRICON 60 の鋼片 (110°) 断面マクロ組織

が、曲ゲ方向は TRICON の場合三角形の頂点が曲ゲ外側にくる場合と曲ゲ内側にくる場合について行ないまた曲ゲの内側直径は、実際の施工においてフックをつける場合でも 3d (b は公称直径) 以下になることはありえないが、今回の試験ではさらに過酷な 1d まで行なった。

TRICON はかなり過酷な曲ゲ試験を行なっても、その方向にかかわらず、クラックは発生せず、実用上何ら支障ないものといえる。

また鉄筋として使用する場合、一度曲げた部分を元に曲げもどすことがあるが、一般に鋼材は冷間加工をうけた部分は硬度の増加、じん性の低下を示し、この傾向は加工後日時を経過するにしたがい強くなるのが通例である。TRICON の場合、このじん性低下の傾向がどの程度であるかを調べるため、正逆繰返し曲ゲ試験および曲ゲ時効性試験 (DIN 1045 方式) を行なった。

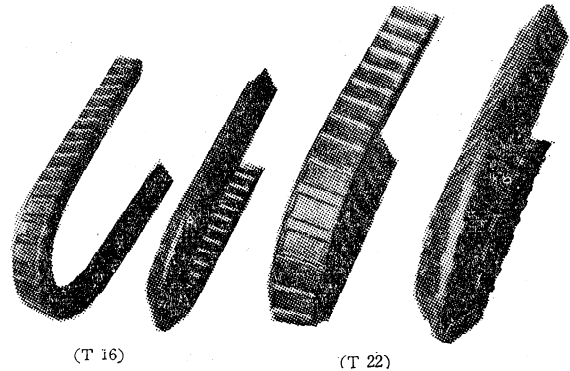
正逆繰返し曲ゲ試験は図 9 に示すごとく 180° で正方向、逆方向に繰返して曲ゲその都度表面特にフシの付け根に発生するクラックを綿密に観察した。その試験結果は表 7 にまとめた。

TRICON は繰返し曲ゲを行なっても、曲ゲ方向にかかわらず、そのじん性は従米の異形丸鋼と同等もしくは

表 6 TRICON の曲ゲ試験結果

種 別	曲ゲ方向	曲 ゲ 内 側 直 径			
		4 d	3 d	2 d	1 d
TRICON 55	頂点外側	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
	頂点内側	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
TRICON 60	頂点外側	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
	頂点内側	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○

(注) ○全く異常なし ●軽微なクラック発生 ●クラック発生



写 4 TRICON の曲ゲ状況

それ以上の値を示している。

一方、鉄筋としての時効ぜい性によるキレツの発生状態を調べるために、ドイツ鉄筋コンクリート委員会の暫定規準に規定する試験方法により曲ゲモドシ試験を行な

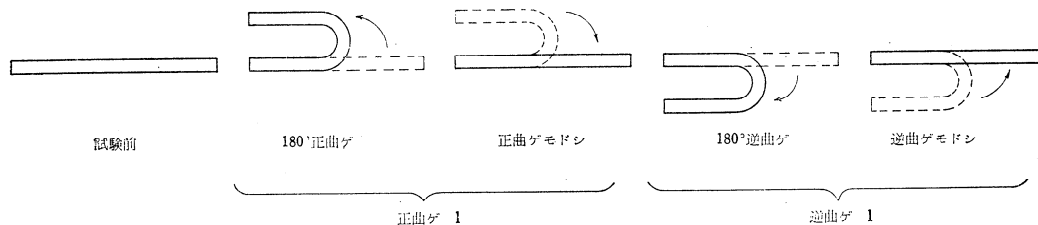


図 9 正逆繰返し曲ゲ要領

表 7 正逆繰返し曲ゲ試験結果

曲ゲ回数	別 種 曲ゲ角度	SSD 39	SSD 49	TRICON 55		TRICON 60	
				※ 頂点外側	※※ 頂点内側	※ 頂点外側	※※ 頂点内側
正 曲 ゲ 1	180° 曲 ゲ	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
	曲 ゲ モ ド シ	● ● ●	● ● ●	○ ○ ●	○ ○ ●	○ ○ ●	○ ● ●
逆 曲 ゲ 1	180° 逆 曲 ゲ	● ● ●	● ● ×	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●
	曲 ゲ モ ド シ	● ● ●	× × ×	● ● ●	● ● ●	● ● ×	● × ×
正 曲 ゲ 2	180° 曲 ゲ	× × ×		● ● ×	● ● ×	× × ×	×
	曲 ゲ モ ド シ			× ×	× ×		
逆 曲 ゲ 2	180° 逆 曲 ゲ						
	曲 ゲ モ ド シ						

(備考)

- 異常なし
●細微なクラック発生
●小割れ
●大割れ
×破断
- ※ 正曲ゲ 1 の時三角の頂点が外側にあるもの
※※ 正曲ゲ 1 の時に三角の頂点が内側にあるもの

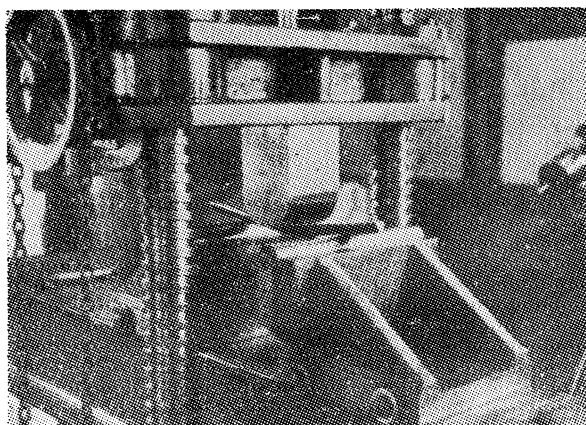


写真5 曲ゲモドシ試験装置

った。試験方法は試験片の公称直径の7倍のRをもつ曲げ金具に沿って試験片を45°の角度に曲げ、曲げられた試験片を沸騰水中で30分間加熱した後、室温まで冷却し、つぎに20°30'だけ反対方向に曲げもどして試験片の表面におけるキレツの有無を判定するもので、TRICONは、曲げ方向のいかにかわらずすべてキレツその他の欠陥は見当らないことが確認された。

5.3 溶接試験

鉄筋の使用に当って溶接は不可欠のものであり、特に最近の溶接技術の進歩により、鉄筋の溶接継手は配筋組立時あらゆる箇所に用いられる。TRICONの溶接性を調べるためガス圧接およびフラッシュバット溶接を行ない、鉄筋として何ら支障のないことを確めた。

5.3.1 ガス圧接

ガス圧接は日本ガス圧接K.K.に依頼し、従来の異形

表8 ガス圧接材の試験結果（圧接のまま）

種 別	継ぎ方	※ 降伏点	※ 引張強サ	※ 伸ビ	※ 曲ゲ 180°, 4d
TRICON 55	頂点を合 わせた場 合	98	99	83	異常なし
		101	100	88	〃
		99	102	88	〃
	頂点を喰 い違わせ た場合	101	99	83	〃
		98	100	88	〃
		97	97	88	〃
TRICON 60	頂点を合 わせた場 合	100	98	85	〃
		97	99	83	〃
		102	100	83	〃
	頂点を喰 い違わせ た場合	101	100	87	〃
		97	100	83	〃
		98	98	83	〃

備考 ※上表の降伏点、引張強サ、伸ビ母材値に対する圧接材値の割合、すなわち継手効率(%)で表示した。

丸鋼と同様な条件のもとで実施した。接合部のふくらみは一辺の長さがもとの三角形一辺の長さの約1.3倍となるようにした。

圧接は、TRICONの三角頂点を合わせた場合と、喰い違わせた場合について実施し、引張試験（圧接したままのもの、圧接後接合部を中心に全側に同一距離の平行部を旋削したもの）および曲ゲ試験（圧接のまま）を行なった。表8にその試験結果を示す。

5.3.2 フラッシュバット溶接

90kVA、220kVAの容量をもつフラッシュバット溶接機を用いてTRICONの溶接を行ない、引張り試験および曲ゲ試験を実施した。溶接条件は同じ寸法の丸鋼とほぼ同一とし、ガス圧接同様頂点を合わせた場合、頂点を喰い違わせた場合について試験を行なった。

これらの試験結果からわかるように、引張試験において圧接材はいずれも母材部で破断し、強度では100%の継手効率を示した。また曲ゲ試験ではいかなる継ぎ方、曲げ方向でも異常は認めなかった。

5.3.3 圧接部の組織および硬度分布

鉄筋の施工時に広く用いられるガス圧接について接合部の熱影響度を顕微鏡組織ならびにビッカースカタサにより調査した。圧接部を含む中央縦断面の組織変化は、圧接部は過熱により結晶粒は粗大化する傾向を示すが、

ガス圧接材（圧接のまま）

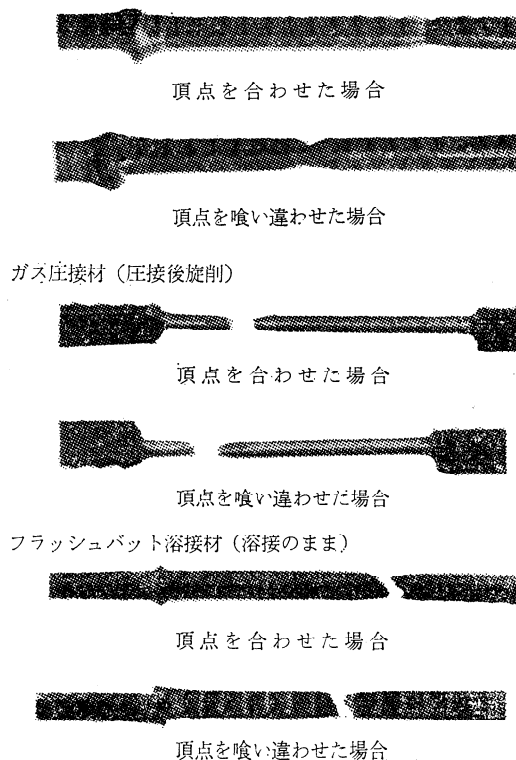


写真6 圧接材の引張試験片

表 9 ガス圧接材の試験結果 (圧接後旋削)

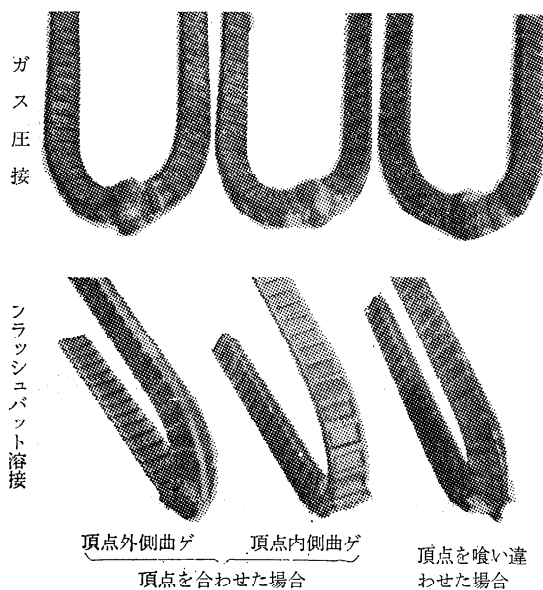
種 別	試験材	降伏点 kg/mm ²	引張強サ kg/mm ²	伸ビ %	曲 ゲ 180°, 4d
TRICON 55	母 材	40.2	60.2	24.9	異常なし
		40.4	60.6	26.7	〃
	旋削材	42.9	62.4	20.6	〃
		43.2	63.4	21.3	〃
TRICON 60	母 材	44.3	63.5	24.5	〃
		44.9	63.8	26.0	〃
	旋削材	44.7	64.4	19.5	〃
		45.9	64.6	20.4	〃

備考 降伏点, 引張強サ, 伸ビに関し母材は公称の値を, また圧接旋削材は実測の数値をそれぞれ用いた。

表10 フラッシュバット溶接材の試験結果 (溶接のまま)

種 別	継ぎ方	降伏点	引張強サ	伸ビ	曲 ゲ 180°, 4d
TRICON 55	頂点を合 わせた場 合	100	98	84	異常なし
		101	100	83	〃
		98	98	88	〃
	頂点を喰 い違わせ た場合	98	98	90	〃
		97	98	83	〃
		101	100	85	〃
TRICON 60	頂点を合 わせた場 合	97	101	82	〃
		98	100	88	〃
		100	100	84	〃
	頂点を喰 い違わせ た場合	102	98	80	〃
		100	100	85	〃
		99	98	82	〃

備考 上表の降伏点, 引張強サ, 伸ビは継手効率 (%) で表示した。



写 7 圧接材の曲ゲ試験片

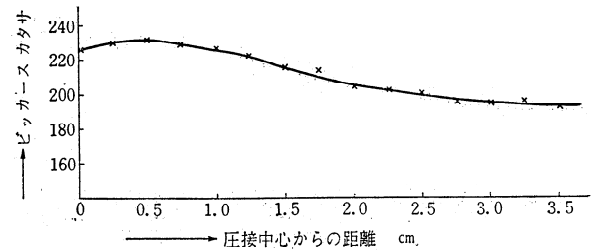


図10 ガス圧接材の硬度分布 (TRICON 60)

その範囲は狭く, また図10の硬度変化も少ない。

5.4 疲労試験

TRICON は断面形状が三角形であるので, 繰返し応用がかかった場合, 異形丸鋼と比べかなり異った様相を示すことが想像される。これを確かめるため同一組成, 同一強度をもつ異形丸鋼を作って比較材とし, 電磁共振式疲労試験機にかけてその疲労特性を調べた。試験に供した TRICON, 異形丸鋼の機械的性質は表11に示す。

表11 供試材の機械的性質

種 別	公 称 断面積 mm ²	降伏点 kg/mm ²	引張強サ kg/mm ²	伸 ビ %
TRICON 55	198	42.0	98.0	25.7 A
TRICON 60	198	44.8	63.4	25.3 B
異形丸鋼 55	198	43.1	61.8	25.4 B
異形丸鋼 60	198	44.6	64.6	24.8 A

疲労試験結果は図11, 表13に示すごとく, TRICON の耐疲労性は同一引張強サの異形丸鋼の場合と比較してすぐれた疲労強度を示し, TRICON 55 で 1.6 倍, TRICON 60 で 1.5 倍程度高い疲労強度が認められた。この理由としては, 異形丸鋼においては横フシのツケ根の隅角部がノッチ効果となるに対して TRICON の場合は, 最も疲労に対して弱点となるはずの三角形の頂点に相当する部分には, 縦リブが貫通しているからである。

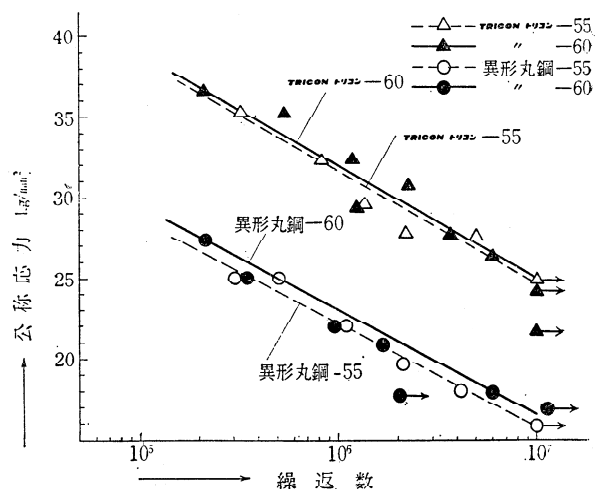
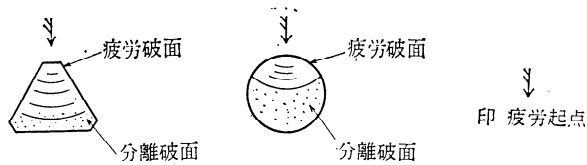


図11 疲労試験結果

備考(1) 破断位置



TRICON の場合 異形丸鋼の場合

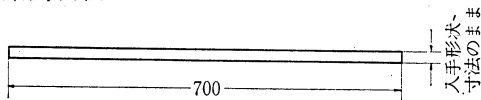
- (2) 試験片の共振状態における最大応力 (kg/mm^2)
 2×10^6 回転, ならびに 1.0×10^7 回転での疲労強度を推定

表13 疲労試験結果

種 別	引張強サ σ_B kg/mm^2	疲労強度 σ_W kg/mm^2	疲 労 強度比	疲 労 限度比 σ_W/σ_B
TRICON 55	59.0	25.0	1.6	0.42
TRICON 60	63.4	25.0	1.5	0.39
異形丸鋼 55	61.8	16.0	1.0	0.26
異形丸鋼 60	64.6	17.0	1.0	0.26

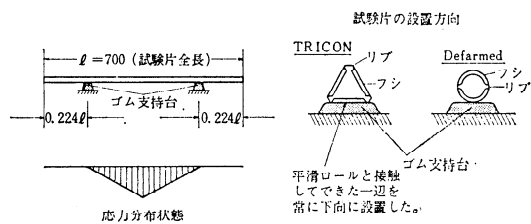
表12 試験条件

試験機：東京衡機製電磁共振型疲労試験機
 試験機容量：最大応力約60 kg/mm^2
 応力条件：両振共振振動（平面曲げ応力条件）
 繰返し速度：TRICON 55、60 の場合145-150 cycle/s
 異形丸鋼55、60の場合 137-140 cycle/s
 疲労限の推定： 1.0×10^7 回転での疲労強度を推定
 試験片：圧延のまま
 試験片形状寸法：



試験片直径 TRICON, 異形丸鋼共に呼び径 16 mm (公称直径15.9 mm, 公称断面積198 mm^2) のもの試験片全長700mm 一定

試験片取付要領：



応力計算式：

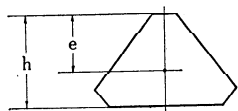
- 1) 試験片の共振状態における最大応力 (kg/mm^2)

イ) TRICON の場合

$$\sigma_{\max} = 29.23 \frac{IEa}{Z\ell^2} = 14.6a$$

I = 慣性モーメント (e)Z = 断面係数 (h)E = ヤング率
(21,000 kg/mm^2)

a = 振幅 (mm)

 ℓ = 試験片全長 (700mm)

ロ) 異形丸鋼の場合

$$\sigma_{\max} = 14.61 \frac{Eda}{\ell^2} = 9.9556a$$

d = 試験片公称直径15.9mm

- 2) 1.0×10^7 回転での時間強度で推定