

# 論 說 報 告

第 27 卷 第 6 號 昭和 16 年 6 月

## 構 造 用 D 鋼 の 適 性 試 験 に 就 て

正會員 工學博士 田 中 豊\*  
正會員 沼 田 政 矩\*\*

**内容梗概** 本文は Mn の含有量 1.2% の所謂低 Mn Ducol 鋼の橋梁用材としての適性を試験する爲め、昭和 15 年度に行つた試験の経過報告である。上記の如き低 Mn D 鋼を選んだ理由は、其の熔接性に關する試験を重要視した爲めである。試験方法としては必ずしも従來の規格等に拘泥せず、之に依つて何等かの新資料を得んことを期した。

### 目 次

- |               |                 |
|---------------|-----------------|
| 1. 緒 言        | (1) 衝合熔接の引張試験   |
| 2. 試 材        | (2) 曲げ試験        |
| 3. 母材試験       | (3) 側面隅肉熔接の引張試験 |
| (1) 曲げ引張試験    | (4) 收縮歪試験       |
| (2) 有孔試片の引張試験 | 5. 疲 勞 試 験      |
| (3) 打釘試片の引張試験 | 6. 結 語          |
| 4. 熔 接 試 験    |                 |

### 1. 緒 言

大正 13 年構造用 D 鋼が平賀讓博士に依つて、本邦の技術界に紹介せられてから、筆者の一人(田中)は其の直後の使用者の一人として、之に深き關心を持つて居つた。偶、現時局下に於ける鋼材節約に資する爲め、此の種の鋼材に關する研究が重要視せられ、日本學術振興會第 19 小委員會の委員長である恩師倭國一博士並に關係各位の特別なる厚意に依り、昨年(昭和 15 年)構造用 D 鋼(強 53~54 kg/mm<sup>2</sup>)並に比較鋼材として構造用軟鋼(強 46~48 kg/mm<sup>2</sup>)の試料(厚 12 mm の鋸)を提供せられた。目下、筆者等は、これ等の試料に就き、其の適性に關する試験を續行中であるが、此の機會に於て今日迄に行つた試験の結果を報告して参考に供せんとするものである。

これらの試験は主として、日本學術振興會の援助に依つたものである。附記して、深甚なる敬謝の意を表す。尙、本試験の實施に當り、帝大土木教室の加藤茂君及び鐵道省研究所の倉知芳市君の勞を煩はしたことが尠くない。記して感謝の意を表す。

### 2. 試 材

本試験に使用した D 鋼並に軟鋼は、何れも公稱厚 12 mm の鋸で、其強弱並に化學性分は、次の如きものである。

標準引張試験 (JES 第 1 號試験片  $W=50$  mm,  $t=12$  mm) の結果

試片番號	斷面積 (mm <sup>2</sup> )	D 鋼		伸 %
		降伏點 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強 (kg/mm <sup>2</sup> )	
S-3	580.3	33.6	52.8	24.0
S-4	585.2	33.5	53.1	26.7
平 均		33.6	53.0	25.4

\* 東京帝國大學教授

\*\* 鐵道省大臣官房研究所第四科長

		軟	鋼		
M-2	609.9	29.1	46.4	28.0	
M-3	615.0	28.3	46.2	30.0	
平均		28.7	46.3	29.0	

化学性分（日本製鐵の指示に依る）百分率

	C	Si	Mn	P	S	Cu
D 鋼	0.22	0.18	1.20	0.027	0.038	約 0.2
軟 鋼	0.21	—	0.51	0.042	0.024	—

構造用 D 鋼に於ける Mn の含有量は 1.5~1.8% を通例とする。米國の橋梁顧問技師 Moisseiff 等は、(Mn + Si) < 2.0% なるべきことを主張して居る。又筆者の一人が曾て、永代（大正 15 年開通）、清洲（昭和 3 年開通）の兩橋に使用した國産 D 鋼（川崎造船所製造）の Mn 含有量は 1.4~1.6% と指定した。今回試材として特に低 Mn D 鋼を選んだのは、其の熔接性に關する試験を重要視したからである。

熔接用電極棒。熔接試験に使用した電極棒は一貫して、GEW 22 (4 mm φ) であつて、其の化学性分百分率は次の如きものである。

	C	Si	Mn	P	S	Cu
心 線	0.17	0.04	0.46	0.02	0.03	0.12
熔 渣 鋼	0.17	0.14	0.46	0.02	0.02	0.13

熔接作業は横河橋梁製作所東京工場に依頼し、直流 120~130 A、電弧電壓 25 V に依つた。

### 3. 母材試験

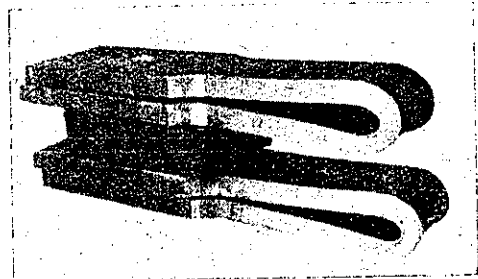
#### (1) 曲げ引張試験

JIS 第 1 號試験片 (W=50 mm, t=12 mm) を使用し、圖-1 に示す如き常溫曲げ試験を行ひ、何れも屈曲部の外表面に異状なきことを認めた。

然る後、次の要領に依り、曲げ引張り試験を行つた。即ち試片を一旦或る角度に曲げ之を眞直に直して引張試験を行つた。

常溫曲げ引張試験。前記同様の試片を使用し直徑 20 mm の刺壓に依り 60 度曲げ、更に之を平面加壓に依りて眞直となし、其の引張試験を行つた。其の結果は次の如くであつて破斷は歪硬化の爲め屈曲部外に起り、伸は減少するが靜力強には大なる影響を與へないことを認めた。

圖-1. 上-軟鋼, 下-D鋼



	試片番號	斷面積 (mm <sup>2</sup> )	降伏點 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 %
D 鋼	S-32	581.4	33.5	52.8	24.6
軟 鋼	M-32	612.3	33.5	50.5	21.4

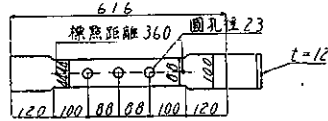
加熱曲げ引張試験。同様の試片を使用し、約 850°C と思はるゝ加熱状態に於て、直角に曲げ、一旦常溫に復するを待ち、更に加熱して眞直となして引張試験を行つた。其の結果は次の如くであつて、破斷は屈曲部に起り伸も著るしく減少するが、靜力強には著るしき變化がないことを認めた。

	試片番號	斷面積 (mm <sup>2</sup> )	降伏點 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)
D 鋼	S-9	583.5	36.0	53.1	16.5
	S-10	588.0	36.4	52.5	17.0
	平均		36.2	52.8	16.8
軟 鋼	M-9	597.4	28.8	47.1	19.5
	M-10	584.0	29.5	48.3	19.5
	平均		29.2	47.7	19.5

(2) 有孔試片の引張試験

本試験は圖に示す如き試片に於て、パンチに依る孔明けとドリルに依る孔明けとの影響を比較する爲めに行つたものである。其の引張試験の結果は表-1の如くである。

表-1. 有孔試片引張試験



鋼種	穿孔別	試片番號	純断面積 (mm <sup>2</sup> )	降伏點 (kg/mm <sup>2</sup> )	引張強 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)
D 鋼	ドリル	SO-1	743.7	43.7	53.8	7.3
		SO-2	728.9	37.7	55.2	7.9
		SO-3	730.9	34.9	55.1	8.2
		平均		38.8	54.7	7.8
	パンチ	S-7	750.7	35.9	51.5	5.8
		S-21	772.7	35.6	52.6	6.3
		S-22	768.2	35.1	52.4	6.0
平均		35.5	52.2	6.0		
軟鋼	ドリル	MO-1	774.0	30.4	47.4	7.6
		MO-2	794.7	34.0	48.0	6.3
		MO-3	758.7	34.9	51.5	6.2
		平均		33.1	49.0	6.7
	パンチ	MO-4	768.0	32.6	45.6	3.6
		MO-5	774.0	36.8	43.2	4.1
		MO-6	759.9	32.3	42.3	3.6
		平均		33.9	43.7	3.8

此の成績に依り、孔明け工はドリルに依るのが有利であり、其強並に伸率の増大することを知る。又、此の程度の加工に依りて D 鋼が何等の劣性を示して居らぬことが認められる。

(3) 打鋸試片の引張試験

前項と同様の試片に打鋸して引張試験を行つた。打鋸は通例約 900~1000°C に鋸を加熱して施工する。従つて、此の場合の熱影響、鋸打機に依る壓力、鋸の收縮影響、鋸幹の孔壁に與ふる壓力等の影響が考へられるが、これ等は一括して、試片の引張強に影響を及ぼすべきである。

試験結果は表-2 並に圖-2 の如くであつて、前項同様ドリルに依る孔明け効果がパンチに比して顯著であること及び D 鋼に對する鋸の熱影響も大差なきことを認めた。

圖-2.

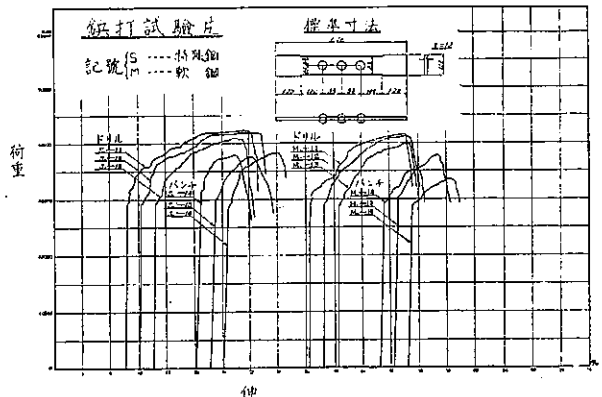
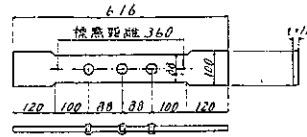


表-2. 試打鉄片引張試験



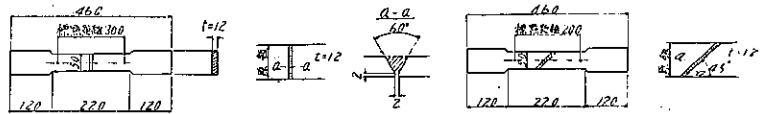
D 鋼							軟 鋼						
穿孔別	試片番號	純斷面積	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	引張強 kg/mm <sup>2</sup>	伸		穿孔別	試片番號	純斷面積	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	引張強 kg/mm <sup>2</sup>	伸	
					mm	%						mm	%
ドリル	S-11	755.8	42.3	54.9	26.20	7.4	ドリル	M-11	801.0	37.5	51.8	22.30	6.4
	S-12	743.5	39.7	55.7	26.84	7.5		M-12	786.9	37.5	51.9	22.15	6.2
	S-13	792.6	37.6	50.8	23.82	6.6		M-13	773.4	37.5	51.6	18.95	5.3
	平均		39.9	53.8		7.1		平均		37.5	51.8		6.0
パンチ	S-14	803.5	39.2	46.5	13.90	3.9	パンチ	M-14	804.8	36.7	43.3	13.70	3.9
	S-15	707.3	42.4	52.5	17.47	4.9		M-15	787.7	38.1	47.2	14.88	4.1
	S-16	730.4	39.7	51.7	18.17	5.0		M-16	750.6	37.2	42.6	12.59	3.5
	平均		40.4	50.2		4.6		平均		37.3	44.4		3.8

4. 熔 接 試 験

(1) 衝合熔接の引張試験

試片の形状寸法は第1号試験片に準じ、熔接は直角及び45度の斜熔接V形とし裏付けを行ひ餘盛は削り取り平面となした。其の引張試験成績は次表-3 如くである。

表-3. 衝合熔接静力引張試験



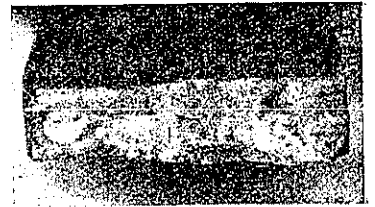
V形裏付け付の溶接片の引張試験に用いる材料はG.L.W.ZZ

鋼 種	熔接角度	試片番號	斷 面 積 (mm <sup>2</sup> )	降 伏 點 (kg/mm <sup>2</sup> )	引 張 強 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)	摘 要
D 鋼	直 角	S-5	585.0	29.3	48.3	14.85	熔 接 破 断
		S-7	589.3	* 28.1	* 39.2	3.99	"
		S-8	571.7	30.3	47.6	9.77	"
		S-12	531.1	34.8	48.3	4.50	"
		平 均		30.6	48.1		* 平均に除外
軟 鋼	直 角	M-8	588.6	30.2	50.0	16.77	熔 接 破 断
		M-12	591.1	30.0	47.8	15.72	"
		M-13	598.4	* 31.8	* 39.6	3.16	"
		M-18	582.0	31.9	48.5	6.12	"
		平 均		30.7	48.8		* 平均に除外
D 鋼	45°	SS-11	557.0	36.1	55.1	20.0	母 材 破 断
		SS-12	556.3	35.2	54.7	21.5	"
		SS-13	556.2	35.4	54.8	19.0	"
		SS-15	578.7	35.0	53.9	20.0	"
		平 均		35.4	54.6	20.1	
軟 鋼	45°	MS-11	582.3	33.7	49.6	21.5	熔 接 端 に て 破 断
		MS-12	584.6	28.7	47.8	19.0	母 材 破 断
		MS-13	577.7	28.6	47.7	21.0	"
		MS-15	592.5	30.1	47.0	22.0	"
		平 均		30.3	48.0	20.9	

此の結果、直角溶接試片の溶接強は實用上充分であるが、溶接部で破断せるものが多く、且つ試片の破断面に大形の銀点 (fish-eye) を生じて居つたものが2個あつた。圖-3 は其の一例で直径約7mmの銀点を示す。此の場合D鋼と軟鋼との差は顯著でないことを示して居るが之は溶着鋼の強の不足に依るものとも考へられる。

斜溶接試片は何れも試片に直角に破断した。溶接線に添ふ、破断を避けるには、斜溶接を採用した方が有利であることは、此の場合にも認められた。

圖-3. MR-13 試片



(2) 曲げ試験

前項直角溶接試片と同様の試片を使用して圖-4に示す如き曲げ試験を行つた結果は表-4の如くであつた。

圖-4.

本試験、伸率、圖中の全部90度=曲げ圖示、測定位置、點、伸、測定、龜裂、生、れ、龜裂、幅、除、其、平均値、取、り、(試験片、直寸保持)

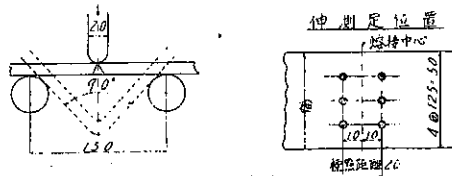


表-4.

曲げの方向	D 鋼			軟 鋼		
	試片番號	伸 (%)	備 考	試片番號	伸 (%)	備 考
V 下 向 き	S-23	20.7	良	MR 15	22.5	龜 裂
	S-27	18.6	"	MR-17	26.7	"
	S-33	16.6	"	MR 25	26.0	良
	平 均	18.7		MR-26	16.9	龜 裂
	平 均	18.7		平 均	23.0	
V 上 向 き	S-18	15.4	龜 裂	MR-18	21.5	龜 裂
	S-22	11.2	"	MR-16	23.5	良
	S-28	20.7	良	MR-27	19.9	龜 裂
	平 均	15.6		MR-28	18.5	"
	平 均	15.6		平 均	20.9	

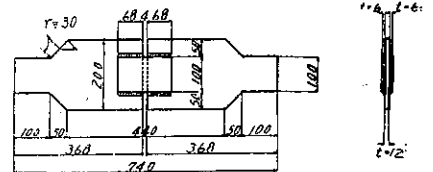
即ち軟鋼はD鋼に比し龜裂の發生が顯著であつて、不良の結果を示して居る。其の一原因としては溶接部に氣泡發生の確率がD鋼に比して大なることが認められた。

(3) 側面隅肉溶接の引張試験

圖-5に示す如き試片に依つて、引張試験を行つた。其の成績は表-5の如く、又試片の破断状態は圖-6及圖-7の如くである。

此の結果並に試片の破壊状態を觀察するに、軟鋼試片は總て添接銀が破断し、D鋼試片は溶接部並に添接銀が略同時に破断状態に達して居る。而して添接銀の強の計算値と實驗値とを比較して見ると次の如くである。

圖-5.



	計算値 (t)	實驗値 (t)	實驗値/計算値
D 鋼	63.6	45.5	0.72
軟 鋼	55.2	40.8	0.74

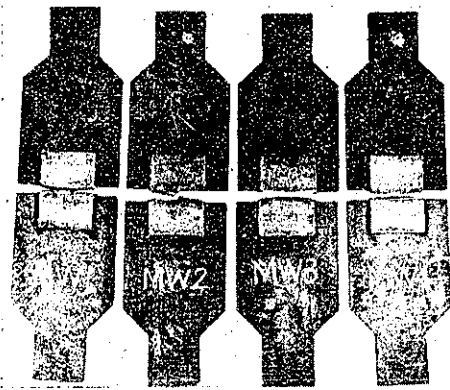
表-5.

鋼種	番 號	熔接断面 (mm <sup>2</sup> )		添板断面 (mm <sup>2</sup> )		引 張 強、			摘 要
		喉厚×長	抵抗断面	幅×厚	断面積	kg	熔 接 (kg/mm <sup>2</sup> )	添 板 (kg/mm <sup>2</sup> )	
D 鋼	SW-1	$\frac{6}{\sqrt{2}} \times 68 \times 4$	1153.3	100×6×2	1200.0	47 820	41.5	39.8	表添板裏熔接切断
	SW-2	"	"	"	"	*38 670	*33.5	*32.2	添板切断
	SW-3	"	"	"	"	46 150	40.0	38.5	表裏熔接切断
	SW-4	"	"	"	"	45 020	39.0	37.5	"
	SW-5	"	"	"	"	43 900	38.0	36.6	"
	平均	"	"	"	"		39.6	38.1	* 平均に除外
軟 鋼	MW-1	$\frac{6}{\sqrt{2}} \times 68 \times 4$	1153.7	100×6×2	1200.0	41 230	35.7	34.4	添板破断
	MW-2	"	"	"	"	40 860	35.4	34.0	"
	MW-3	"	"	"	"	41 120	35.7	34.2	"
	MW-4	"	"	"	"	39 880	34.6	33.2	"
	MW-5	"	"	"	"	41 030	35.6	34.2	"
	平均	"	"	"	"		35.4	34.0	"

圖-6.



圖-7.



即ち、此の場合の添接板の有効率は約 70% と考へて大差ない。又 D 鋼に於ける熔接剪断強と添接板の有効率とが略同等であることより次の様な考察がなされる。

破壊試片の寫眞(圖-6)で明なる如く、D 鋼試片の剪断破壊は添接板の兩側で起つて居る。剪断面積は此の場合  $A_{fw} = 68 \times 6 \times 4 = 1632 \text{ mm}^2$  であるから、平均剪断強を實驗の結果に依り 45 とすれば、熔接の平均剪断強  $\tau_w = \frac{45000}{1632} = 28 \text{ kg/mm}^2$  となる。然るに、直角衝合熔接試験の結果、熔着鋼の平均引張強  $\sigma_w = 48 \text{ kg/mm}^2$  であるから  $\frac{\tau_w}{\sigma_w} = \frac{28}{48} = 0.57$  が得られる。弾性理論に依る  $\tau$  と  $\sigma$  との比は 0.58 と謂はれて居るが、此の試験の如き破壊試験時に於ける平均強の比が、上記 0.58 に近似して居ることは興味ある結果と考へる。側面隅肉熔接部に於ける應力分布は、弾性理論的考察に依り拋物線函數的不均等分布をなすものと認められて居るが、極強の計算には、或る程度迄、均等分布の假定を採用して大過なきものと考へられる。

此の試験に使用した試片は前述の如く、其の熔接を側面隅肉に限定し、前面隅肉熔接を併用しなかつた。これが爲め、上述の如き考察が容易になされ、且つ、試片の破壊後に於ける、添接板端部の曲り歪が約 2 mm であることを知ることが出来た。筆者等は他の試験結果に依つて、徑 22 mm 鉄の單剪断破壊時に於ける剪断面の入り歪量は約 2 mm なることを知つたから、此の種の添接板に併用せられた鉄又はボルトは其の設計並に施工適切なるときは相當效果的に協力作用をなすべきことを認めた。

以上、種々なる事項を附記したが、要するに D 鋼の熔接は其の静力強に於ては必ずしも不充分ではないが、其

の破断が溶接部に起り易き事實は、D 鋼が軟鋼に比して溶接性の劣つて居ることを示すものと認めざるを得ない。此の事實は衝撃に對しても稍劣性を示すものではないかと思はれる。

(4) 收縮歪試験

丸形試片を使用して溶接に依る收縮歪試験を行つた。本試験に使用した試片の形状並に標準寸法は 圖-8 の如きものである。

圖-8. (A)

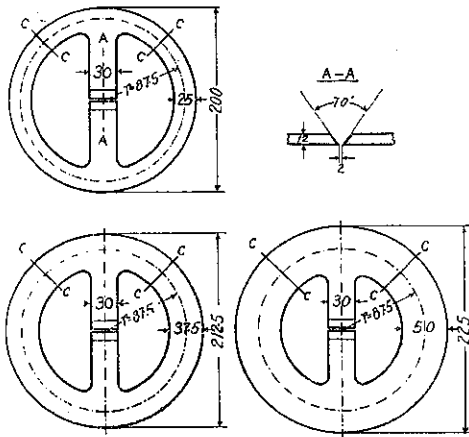
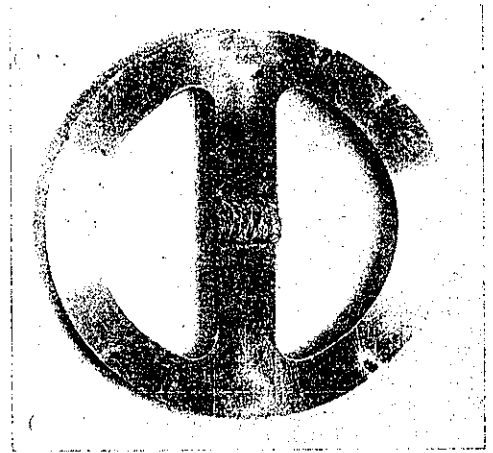


圖-8. (B)



歪量は、試片の溶接前後に於ける縦方向の環の中心線の直径の變化 ( $\Delta d$ ) を測定し、之を 圖-9 に示す如く圖示し、環の幅 ( $B$ ) の零なる點に相當する歪量を以て、此の場合の標準收縮歪量を求めた。即ち此の結果厚 12 mm の軟鋼の標準歪量は  $-0.76$  mm であつて、D 鋼の歪量も大差ないことを知つた。

此の様な試片を使用することに依り、環境條件が彈性的に明であること、従つて、溶接環を C-C にて切斷して、更に直径の變化を測定することに依りて、幹部に作用して居る潛應力に依る歪を測定し、之を理論的に求めた計算値と比較することも出来る。又之に依つて、環の幅の大なるときは、幹部に可塑性歪を起すことも知ることが出来る。此れ等の問題に關する解法其の他に就ては、他の機會に報告することとし茲には省略する。

5. 疲勞試験

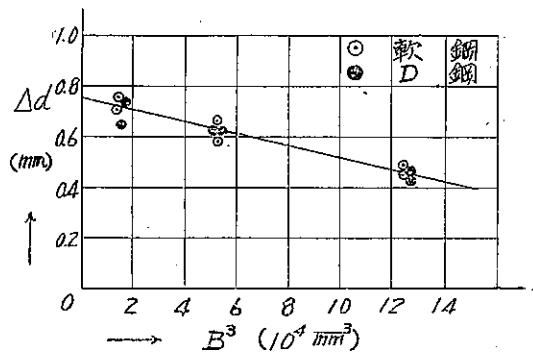
疲勞試験は、先づ有孔試片に就て兩種鋼材の比較を行ひ、次に有孔試片を對象として、衝合溶接試片に就て試験を行つた。

試験装置は筆者(田中)の考案した支間 4 m の小型装置(東大土木教室備付)を使用し、試片の形状寸法並に試験結果は 圖-10 に示す如くである。

此の試験は装置にも尙不完全な所があり、應力は引張繰返しのみに限られて居る様な次第で、疲勞強の絶対値を求むるには相當の考慮を必要とする。然し乍ら、疲勞強の比值を求むるには此の程度の試験でも實用的に充分であると考へる。

即ち 圖-10 に依つて有孔試片の疲勞強は此の場合、D 鋼は軟鋼に比して約 6% 大で溶接試片の強は何れも一般に有孔片に比して大である。

圖-9. 溶接による  $\Delta d$  と  $B^3$  との關係



溶接試片に於ける應力繰返回数  $N=10^4$  以下で破断したものは、例外なく其の溶接部の小気泡から疲労破面が發達して居る。又完全な溶接試片と思はれるものは  $N=2 \times 10^5$  以上に達しても破断しない。中には遂に試片の端部から破断したのもあつた。これ等の結果から、気泡が存在せず且つ此の試片の如く盛金を削り取つた試片の疲労強は、有孔試片に比して一般に大であると考へられる。

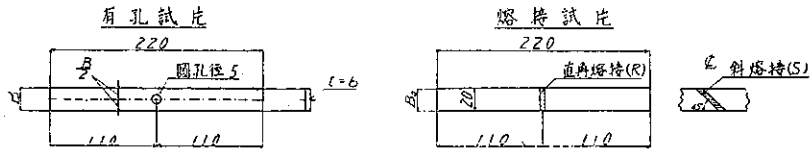
溶接片に於けるD鋼と軟鋼との比較は、此の試験の結果では未だ明確でないが、軟鋼の方が稍大の様で

圖-11. 應力測定記録の一例



圖-10.

引張繰返荷重 2650~550<sup>kg</sup> (速: 繰返速  $\approx 1133$  sec)



○:MF 軟鋼 ..... ▲:MW  
 ⊙:SF 特殊鋼 ..... ⊙:SW

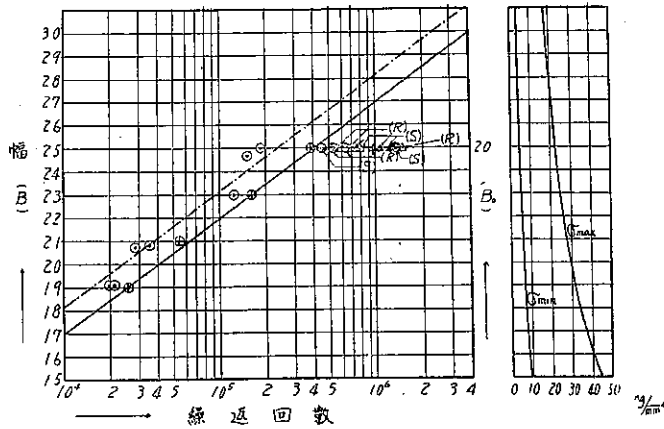


圖-12. 有孔片破断面の一例

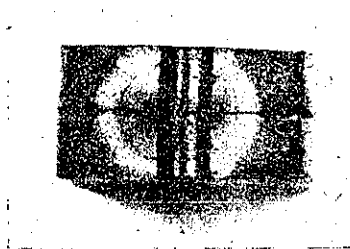
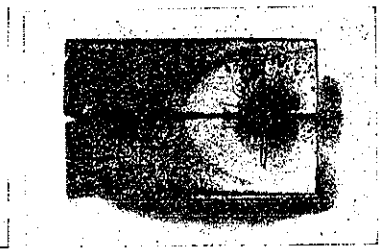


圖-13. 溶接片破断面の一例



ある。

實際問題として、気泡の絶無な溶接を施工することは極めて困難である。又盛金を完全に削り取り、切り欠きの影響を皆無となすことも容易でない。故に實際に即する爲めには、寸法の相當に大なる試片に就て、これ等の影響を試験することが肝要である。此の種の試験に於てこそ試片の寸法の影響が特に重要性を有すること認めざるを得ない。

6. 結 語

本報告は昭和 15 年度より續行中の試験の経過報告である。従つて、茲に全般的結論を求めんとすることは、固より尙早であるが、今日迄に行つた前記の試験結果に就て判断すれば、次の如くである。(1) Mn の含有量 1.2% 程度の所謂低 Mn D 鋼は鉄結構造用鋼としては好適なる材料と認むることが出来る。(2) 溶接構造用鋼としては、此の種の D 鋼にありても之を軟鋼と同一視することは稍困難である。D 鋼の溶接部の強は實用上差支ない程度に大であるが、溶接棒、溶接法等に関する多少の考慮を必要とする。(3) 溶接の疲労試験は更に大形試片に就て試験し、気泡の影響、切り欠きの影響等に関する試験を行ふ必要がある。