

[98] 鉄筋ガス圧接部の低温特性に関する実験的研究

正会員 ○矢部 喜堂 (清水建設研究所)
大井 一郎 (日本圧接協会)

1 はじめに

鉄筋のガス圧接継手は、簡便かつ廉価で力学的性状に優れているため、通常の鉄筋コンクリート構造物では最も多用されている。しかし、現在LNG地下タンクの低温構造物には、ガス圧接継手は使用されず、専ら重ね継手または機械的継手を使用されている。これは、最近までガス圧接部の低温特性に関する資料が少なく、継手の低温下での力学的挙動が不明解であったことによるものである。

本研究は、ガス圧接継手の低温性能に及ぼす要因の影響を把握し、必要に応じて圧接施工法に工夫を施すことによって当該継手の低温性能の向上をはかり、LNG地下タンク等の低温構造物へのガス圧接継手の実用を可能とすることを目的としたものである。

2 実験計画

図-1に鉄筋ガス圧接部の低温特性に影響を及ぼすと考えられる要因を示す。本実験では、この中で特に影響の大きいと思われる要因を取上げ、実験計画法を用いてその影響を把握するために要因分析を行なうこととした。ここで取上げた要因と水準は表-1に示すとおりであり、これらの要因を表-2に示すように直交表L₉にわりつけた。各要因の水準の設定に当っては次のように考慮した。

1) 供試鉄筋 圧接部の低温性能は、鉄筋のフシの形状によっても影響を受けることが考えられるが、本実験ではこれを無視し、フシの形状を1種類とした。この同一フシ形状の条件下において市販の製品では鉄筋径と製法は不可分なため、実際に実験に供した鉄筋は組合せ要因(AB)として、

$$(AB)_1 = A_1 B_1, \quad (AB)_2 = A_2 B_1, \quad (AB)_3 = A_1 B_2$$

の3水準を設け、直交表にわりつけた。

これらの3水準の供試鉄筋は、いずれもB社製のSD35で、化学成分および機械的性質は表-3に示すとおりである。

2) ふくらみ幅 圧接部のふくらみの形状は応力集中を緩和す

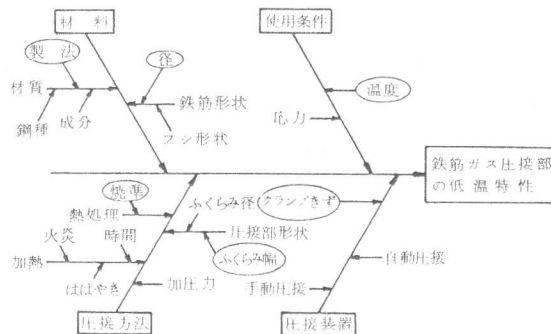


図-1 鉄筋ガス圧接部の低温特性に関する要因

表-1 要因と水準

要因	水準	1	2	3	4
A (鉄筋径)	D32	D51	-	-	-
B (製法)	高炉	電炉	-	-	-
C (ふくらみ幅)	1.2D	1.8D	2.4D	-	-
D (標準)	無	有	-	-	-
E (クランプ)	円形	ボール	くさび	-	-
F (温度)	室温	-50℃	-75℃	-100℃	-

表-2 要因のわりつけと繰返し数

要因No	(A B) (鉄筋)	C (ふくらみ幅)	D (標準)	E (クランプ)	F (温度)			
					室温	-50℃	-75℃	-100℃
1	D 32 高炉	1.2 D	無	円形	3	3	3	3
2	D 32 高炉	1.8 D	有	ボール	3	3	3	3
3	D 32 高炉	2.4 D	有	くさび	3	3	3	3
4	D 51 高炉	1.2 D	有	くさび	3	3	3	3
5	D 51 高炉	1.8 D	有	円形	3	3	3	3
6	D 51 高炉	2.4 D	無	ボール	3	3	3	3
7	D 32 電炉	1.2 D	有	ボール	3	3	3	3
8	D 32 電炉	1.8 D	無	くさび	3	3	3	3
9	D 32 電炉	2.4 D	有	円形	3	3	3	3

表-3 供試鉄筋の化学成分および機械的性質

鋼種	製法	サイズ	化学成分 (%) *1											機械的性質 *2			
			C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Sn	V	Ni	Al	C ₆₀ Mn ₆	降伏点 (kgf/mm ²)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)
SD35	高炉	D32	0.26	0.31	1.44	0.029	0.038	0.020	0.04	0.008	0.010	0.035	0.007	0.500	39.5	61.5	31.5
		D51	0.27	0.26	1.36	0.025	0.032	0.043	0.05	0.008	0.006	0.045	0.011	0.497	37.6	59.1	31.3
	電炉	D32	0.27	0.25	1.19	0.038	0.050	0.036	0.35	0.024	0.010	0.100	0.005	0.468	39.5	62.8	27.0

出 *1 チェック分析結果 *2 3体の平均値

るため、出来るだけなだらかであることが望ましいと考えられる。本実験では、圧接部のふくらみ径は通常の圧接の場合と同程度に約 1.5 D (D は呼び名) とし、ふくらみ幅を 3 水準とした。

3) 焼準 圧接部の材質は、圧接のままでは結晶組織が粗大化しているが、焼準を行なうことによって細粒化が図れる。本実験では焼準の有・無の 2 水準とし、焼準有をダミーとして直交表にわりつけた。

4) クランプ 図-2 に示すように圧接器に鉄筋をクランプする場合、従来の治具では鉄筋表面にクランプきずが生じ、これを起点に脆性破断を生じ易くなる。本実験では新しく考案したクランプ治具も含めて写真-1 に示す 3 水準とした。

5) 温度 LNG 地下タンクの設計温度を考慮し、室温から -100℃ までの 4 水準とし、直交表の外側因子としてわりつけた。実験の繰返し数は、各温度とも 3 回とした。

3 焼準による圧接部の材質変化の確認試験

3.1 焼準方法 圧接部の結晶組織の細粒化を目的とした焼準の実用的な方法として、圧接用のパーナーを用いて次の 2 方法による冶金的性状の相違を比較することとした。

① 圧接部の温度が 400℃ 程度に空冷した時点で再び 800℃ 程度まで加熱し、徐冷する。(N1 法)

② 圧接部の温度が空冷により室温まで冷却した後、再び 800℃ 程度まで加熱し、徐冷する。(N2 法)

3.2 硬さ測定および顕鏡 焼準の有無のそれぞれについて図-3 に示す位置における硬さ分布および結晶組織を D32 の場合について図-4 および写真-2 に例示する。これから明らかなように、焼準によって圧接部の硬さは母材部と同程度にすることができ、圧接部の結晶組織の細粒化をはかることができる。この効果については、上記焼準の 2 方法による差異は認められない。従って、本実験における圧接部の焼準方法は、施工上簡便な後者の方法によることとした。

4 継手低温引張試験

4.1 試験体の形状寸法 図-5 に試験体の形状寸法を示す。素材試験体、継手試験体とも全長 200 cm とし、所要試験寸法を 30 cm とし、その両端は高周波焼入れを行なって強度アップをはかった。これは試験体の供試部分以外での破断を防止するよう工夫したものである。

4.2 低温引張試験方法 図-6 に低温引張試験装置を示す。試験体の冷

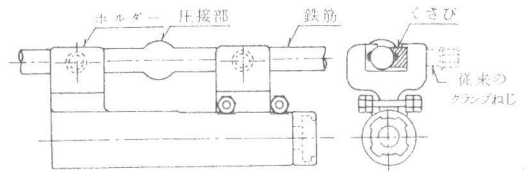


図-2 圧接器

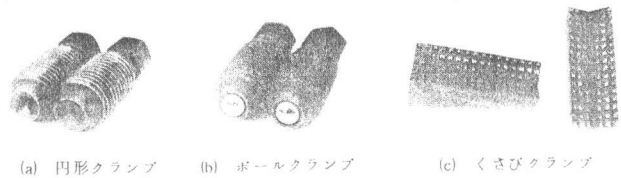


写真-1 圧接器のクランプ治具

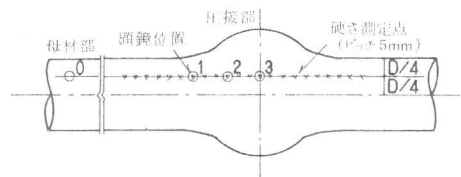


図-3 硬さ測定点および顕鏡位置

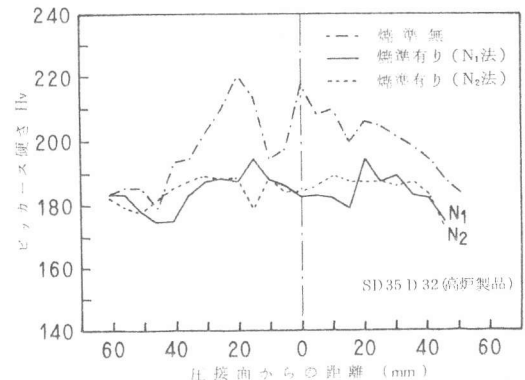


図-4 圧接部の硬さ分布

鉄筋種別	焼準の有無及び方法	母材部			
		0	1	2	3
D32 高炉	焼準無				
	焼準有 (N1法)				
	焼準有 (N2法)				

写真-2 母材部および圧接部の結晶組織

却は、液体窒素を低温槽内に噴霧し、ファンによってこれを攪拌して出来る低温雰囲気で行なった。各試験温度における試験体の供試部分の温度分布は均一で、所定の試験温度に対して±2℃の精度である。荷重は静的引張とし、破断後の伸びを測定するため素材試験体、継手試験体とも検長を280mmとした。

4.3 継手試験体の作成 継手試験体は、前述表-2に示す要因の組合せによって作成した。圧接に当っては、ふくらみ幅を大きくするためにバーナーの揺動幅を大きくとる必要性から手動圧接法を採用した。

5 実験結果および考察

5.1 要因分析 本実験における継手の低温引張試験結果を表-4に示す。継手の引張強さに関する分散分析結果は表-5に示すとおりである。本実験では、一次要因における一次誤差(ダメージ間誤差)が大きく、二次誤差に対して有意となるため、一次要因、二次要因はそれぞれの誤差に対して別々に検定した。その結果、一次要因ではいずれの要因も強い有意性が認められない。

しかし、その中でも主効果E(クランプ)が比較的效果が大きい。また、二次要因では主効果F(温度)および(A B)(鉄筋種)とF(温度)、E(クランプ)とF(温度)との交互作用が有意となる。図-7にはこれらの有意要因の効果の推定を示した。以下に分散分析結果をふまえて各要因ごとに考察を加える。

1) 主効果(A B)(鉄筋)に関しては、分散分析結果では有意であるとは言えないが、主効果(A B)を参考までにA(径)、B(製法)に分解すると、Aの効果が大いことが推測される。即ち、太径鉄筋は細径に対して脆性的な破断傾向を示すこと

を表わしているものと思われる。

2) 主効果C(ふくらみ幅)およびD(焼準)についても有意とは言えない。焼準に関して材質確認試験では十分に治金的効果はあるものの、継手の引張強度に関しては必ずしも効果があるとは言えない。

3) 主効果E(クランプ)はかなりの効果が期待できる。即ち、新しく考案したクランプ治具の有効性の高いことが確認できる。

4) 主効果F(温度)については、-50℃までは温度の低下に伴って強度上昇を示すが、それ以下の温度域になると脆

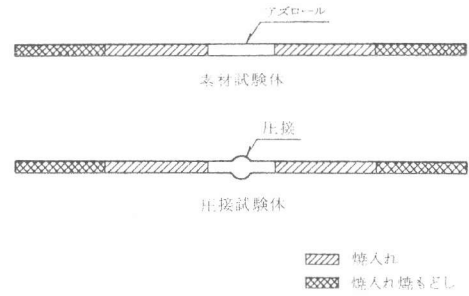


図-5 試験体の形状寸法

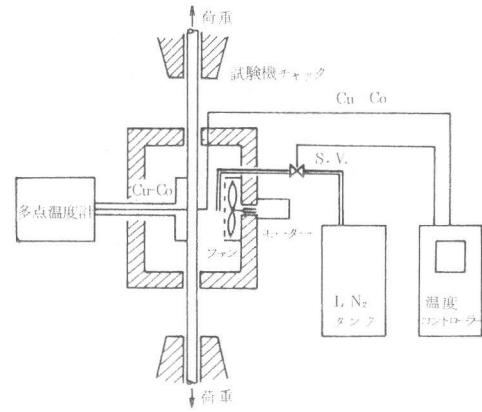


図-6 低温引張試験装置

表-4 継手低温引張試験結果

要因 No.	(A B) (鉄筋)	C (ふくらみ幅)	D (焼準)	E (クランプ)	F (温度)							
					室温		-50℃		-75℃		-100℃	
					引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)	引張強さ (kgf/mm ²)	伸び (%)
1	D32高炉	1.2 D	無	円形	65.0	18.3	75.9	18.2	77.4	16.6	59.1	2.3
					63.1	19.3	72.7	16.2	77.4	16.4	55.4	0.4
					64.3	19.8	72.7	15.6	54.5	1.9	54.9	1.1
2	D32高炉	1.8 D	有	ボール	62.8	18.1	73.2	15.1	74.5	15.1	56.7	0.9
					63.0	20.0	73.2	15.1	75.5	16.1	53.6	0.4
					62.8	13.5	74.2	15.2	74.9	15.9	81.1	14.0
3	D32高炉	2.4 D	有	くさび	63.5	17.9	77.6	14.5	77.2	15.7	81.1	13.5
					64.3	15.5	77.2	15.1	79.6	14.5	81.8	9.4
					62.7	14.4	75.5	15.1	77.1	15.9	80.5	7.0
4	D51高炉	1.2 D	有	くさび	61.4	21.0	71.3	23.0	68.3	7.4	75.0	20.8
					62.4	21.1	68.8	22.4	67.6	6.2	74.5	15.0
					61.4	18.9	69.3	20.4	67.1	6.9	69.6	6.7
5	D51高炉	1.8 D	有	円形	61.2	22.3	64.1	4.9	48.6	1.2	53.3	0.1
					61.7	20.8	52.8	3.6	49.8	0.5	51.3	0.5
					61.7	21.9	69.6	19.3	48.3	0.8	53.3	0.5
6	D51高炉	2.4 D	無	ボール	62.2	17.1	69.6	18.4	49.3	1.0	54.0	1.3
					61.7	17.2	67.6	4.9	50.1	14.1	53.8	2.0
					62.9	13.9	44.4	1.1	53.8	2.0	54.3	1.4
7	D32電炉	1.2 D	有	ボール	57.5	3.3	76.6	17.0	78.1	16.4	84.6	16.5
					68.4	11.8	75.9	18.1	78.9	14.7	59.8	1.6
					70.5	16.8	74.8	17.5	80.5	19.8	86.3	16.9
8	D32電炉	1.8 D	無	くさび	68.9	16.2	80.5	16.5	80.3	15.5	83.9	14.4
					67.5	15.8	80.5	17.1	64.8	3.2	61.9	2.0
					66.5	12.2	78.4	17.0	78.9	17.0	83.6	16.1
9	D32電炉	2.4 D	有	円形	65.9	13.4	48.5	1.0	49.4	0.2	52.9	0.4
					68.7	15.2	47.3	1.2	51.0	0.4	54.3	1.0
					65.0	5.5	49.4	1.1	57.3	2.3	53.8	0.6

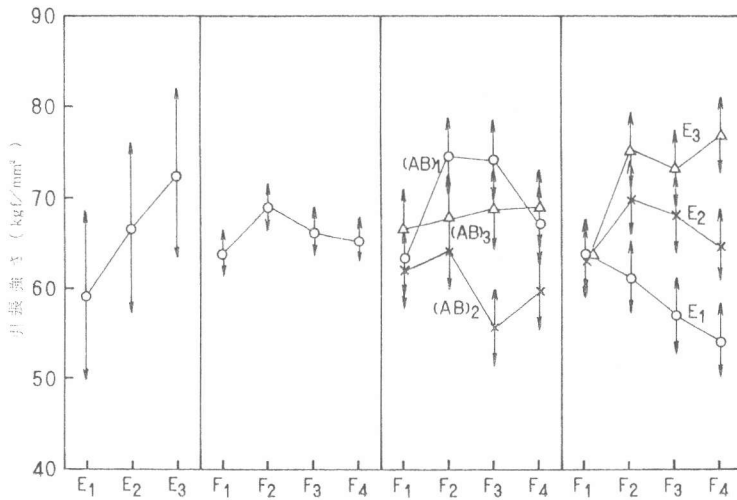


図-7 要因効果の推定

性破断を生じ易くなるが、常温強度と同程度になる。

5) 交互作用 $(AB) \times F$ に関しては、太径 D51 $(AB)_2$ は D32 $(AB)_1$, $(AB)_3$ に比べて低温下での強度低下が大きいことが認められる。

6) 交互作用 $E \times F$ に関しては、くさびクランプ (E_3) の有効性が明らかである。

5.2 破断性状 各試験体の破断性状を分類すると、①延性破断、②脆性破断 (i) クランプきずからの破断、ii) 圧接部からの破断、iii) ロールきずからの破断) に分けられる。図-8 に本実験における各クランプごとの脆性破断の発生本数を示す。円形またはボールクランプの場合、脆性破断はすべてクランプきずから発生しているが、くさびクランプの場合には、クランプきずからの破断は少ない。このようにくさびクランプは圧接部の低温性能に対してきわめて重要なポイントと言えよう。

5.3 工程平均の推定 以上の知見より、圧接器のクランプ治具としてくさびを使用することを前提として、他の要因については不利な水準を取上げ、圧接部の工程平均の推定を行なった結果を図-9 に示す。本実験の範囲内では -100°C までのガス圧接継手の引張強さは、ほぼ JIS 規格引張強さを満足すると考えられる。

6 まとめ

本報告は、鉄筋のガス圧接部の低温特性に関する主な要因について実験計画法を用いて分散分析したものである。その結果、継手に及ぼす影響の大きい要因を明らかにすることが出来た。しかし、さらにフシ形状の問題は残されたままであり、今後の検討が必要である。また、鉄筋表面の切欠きずからの脆性破断の問題もあり、鉄筋の材質選定方法の検討も重要な課題として残されている。

最後に、本研究の遂行に当っては、社団法人日本圧接協会の援助を得た。また、よき協力者であった故人須山忠市氏 (懶須山工業所) に謝意を表します。

〔参考文献〕

- 1) 高野, 横川, 平沢, 岩瀬: 自動ガス圧接による鉄筋の接合に関する研究, 土木学会論報 Vol. 299 7 1980
- 2) 沼崎: 異形鉄筋の母材および継手の低温強度特性, 建築技術 No. 339 11 1979

表-5 引張強さに関する分散分析結果

要因	r	S	V	Fo	S'	ρ (%)
(AB)	2	1820.38	910.19	5.06		
A	(1)	1614.1	1614.1	44.02		
B	(1)	58.5	58.5	1.60		
C	2	926.09	463.05	2.57		
D	1	4.11	4.11			
E	2	3200.98	1600.49	8.90	2841.30	23.4
e_1	1	355.56	355.56			
◎印グループ (e_1)	(2)	(359.67)	(179.84)		3465.82	28.5
F	3	358.23	119.41	3.26	226.86	2.0
(AB) × F	6	830.37	138.39	3.77	567.63	5.0
A × F	(3)	366.52	122.17	3.33		
B × F	(3)	333.92	111.31	3.04		
C × F	6	545.84	90.97	2.48		
D × F	3	225.17	75.06			
E × F	6	1263.02	210.50	5.74	1043.00	8.6
e_2	3	170.40	56.80			
◎印グループ (e_2)	(6)	(395.57)	(65.93)			
e_3	72	2464.74	34.23			
(e_3)'	(78)	2860.31	(36.67)		3956.20	32.5
T	107	12164.89			12164.89	100.0

クランプ	温度	本数								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
円形	RT									
	-50°C									
	-75°C									
ボール	RT									
	-50°C									
	-75°C									
くさび	RT									
	-50°C									
	-75°C									

図-8 クランプ別の脆性破断本数

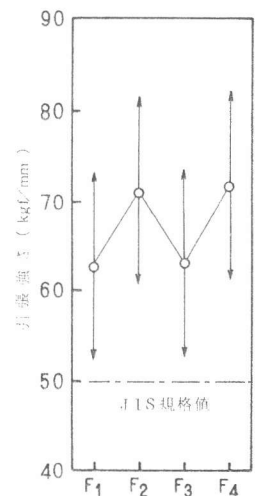


図-9 工程平均の推定