

# 極低温下での鉄筋の曲げ加工部における耐衝撃性

三浦 尚<sup>1</sup>・船本 浩二<sup>2</sup>・瀬戸 謙一郎<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 東北大学教授 工学部土木工学科 (〒980 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉)

<sup>2</sup>学生員 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (〒980 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉)

<sup>3</sup>正会員 工修 鹿島建設 技術研究所 (〒171 東京都調布市飛田給 2-19-1)

近年、LNGタンクなど極低温物質を取り扱う構造物にRCが用いられるようになってきている。本研究では極低温下においてRC供試体の両引張試験を行い、コンクリート部分に引張によるひびわれが発生する際、鉄筋に生じる衝撃を調べた。さらに、シャルピー衝撃試験機を用いて同程度の衝撃荷重を鉄筋単体の供試体に加え、破断温度を調べることで、極低温下での鉄筋の耐衝撃性を定量的に把握することを試みた。両引張試験の結果より、鉄筋に発生する衝撃は $-100^{\circ}\text{C}$ 付近で最も大きくなり、ひずみ速度が最大で $12\text{s}^{-1}$ 程度となることがわかった。また、極低温下での衝撃試験により、一般に用いられている異形鉄筋では曲げ加工部において十分な耐衝撃性が期待できないことがわかった。

**Key Words :** very low temperature, reinforcing bar, impact resistance, cold working, strain rate

## 1. はじめに

近年、コンクリートが低温下でも優れた性能を維持することが認められ、LNGタンクなど極低温物質を取り扱う構造物にRCが利用されるようになってきている。また、将来予想される超電導施設の冷却容器として、RCの利用が予想される。このような状況にあって、極低温下でのRCの性能に対する理解は未だ十分であるとはいえない。したがって、安全な構造物の設計及び建設、さらには予想される将来の需要の増加に対応できるよう、極低温下でのRC部材の物性を正確に把握することが必要であると考えられる。

コンクリートは常温においても脆性的に破壊する材料であるが、温度の低下とともに圧縮及び引張強度が増加し、剛性も大きくなるため、その破壊挙動は常温に比べてより脆性的となる<sup>1)</sup>。したがって、極低温下におけるRC部材の強度は常温に比べて向上するが、コンクリート部分が引張破壊した場合には、より衝撃的な荷重が鉄筋に加わり、鉄筋には大きなひずみ及びひずみ速度が発生する<sup>2)</sup>。一方、コンクリート中に埋め込まれる鋼材も温度の低下とともに降伏点及び引張強度は増加するが、その反面、延性及び韌性は減少し、耐衝撃性が著しく低下することが知られている。このため、鉄筋が脆性破壊する危険性があると考えられる。引張補強材としての鉄筋の破断は部材の瞬間的な崩壊を招く恐れがあるため、使用環境における鉄筋の耐衝撃性能に対して的確な判断が必要であると考えられる。

鋼材の耐衝撃性を低下させる因子として、低温や衝撃荷重以外にも、冷間加工などによって与えられた予ひずみによる加工硬化や冷間加工部での加工硬化後のひずみ時効硬化などが知られている<sup>3)</sup>。このため、極低温下での鉄筋の曲げ加工部ではさらに耐衝撃性が低下していると考えられる。また、実際の異形鉄筋では定着のためのふしが存在するため、ふしによる応力集中によって、ふしの付け根付近で鉄筋が破断することが知られている。

以上のことから本研究では、極低温下において鉄筋の曲げ加工部付近のコンクリートが引張破壊した場合を想定し、そのような状況での鉄筋の耐衝撃性について研究を行った。まず最初に、コンクリートの破壊状態及びコンクリートの引張破壊時に鉄筋に発生する衝撃の程度を調べるため、極低温下においてRC部材の両引張試験を行った。さらに、両引張試験によって得られた衝撃の程度を目安として、実際の異形鉄筋を冷間曲げ加工したものを供試体として用い、シャルピー衝撃試験機<sup>4)</sup>により、同程度の衝撃荷重を鉄筋単体を与える試験を行うことにより、温度・鉄筋に発生するひずみ速度・予ひずみによる加工硬化・ひずみ時効硬化及びふしによる応力集中が鉄筋の耐衝撃性に及ぼす影響について調べた。

表-1 コンクリートの示方配合

Gmax (mm)	Slump (cm)	air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位置 (kg/m <sup>3</sup> )					圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
					W	C	S	G	AE		
20	11±1	4±0.5	50	38	165	330	663	1210	66	約230	約22

表-2 鉄筋の試験成績

鉄筋径	種類	機械的性質			化学成分 (%)				
		降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	C ×100	Si ×100	Mn ×100	P ×1000	S ×1000
D10	SD295	333	500	27	22	17	72	17	17
D22	SD345	382	559	20	21	20	112	38	31

表-3 供試体の断面寸法

鉄筋比 (%)	断面寸法 (b×h) (mm)	ノッチ寸法 (b×h) (mm)
0.18	240×240	240×40
0.35	160×160	160×20
0.52	130×130	130×15
1.48	80×80	80×10

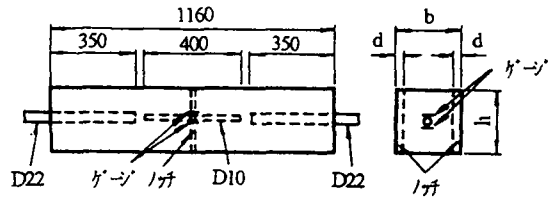


図-1 供試体の形状寸法

## 2. 両引試験<sup>5)</sup>

### (1) 実験概要

#### a) 供試体及び実験装置

供試体の作製に使用したコンクリートの材料として、セメントは市販の早強ポルトランドセメント、細骨材は宮城県大和産の山砂(比重 2.53)、粗骨材は宮城県丸森産の砕石(比重 2.86)、混和剤はA E減水剤を使用した。その配合を表-1 に示す。鉄筋は市販の横ふし異形鉄筋D10(SD345)と、引張治具としてD22(SD345)を使用した。その試験成績を表-2 に示す。

実験にはひずみ測定用供試鉄筋(D10)を埋め込んだ両引供試体を用い、供試体の断面寸法を変えることにより鉄筋比を変化させた。また、コンクリートの破断位置を限定するため、供試体中央部にはノッチを設けた。図-1 に両引供試体の形状寸法を、表-3 に各鉄筋比の断面寸法を示す。

#### b) 実験方法

実験は打設後供試体を水中養生した後、材令7日で行った。図-2 に示す載荷装置に供試体をセットした後、液体窒素を低温槽に噴射し供試体を徐々に(冷却速度 約20℃/時間)冷却し、試験温度で一定となったところでジャッキにより引張載荷した。供試体のコンクリート部分が破断したときの衝撃により鉄筋に生じるひずみは、鉄筋のふし間に極低温用のひずみゲージを貼り付け、動ひ

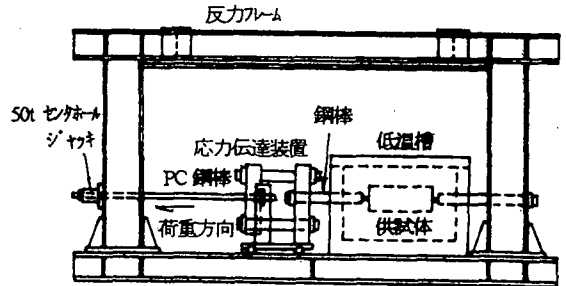


図-2 載荷装置

ずみ計を用いて測定した。

### (2) 結果及び考察

図-3 に実験の結果より得られた、試験温度と鉄筋に発生したひずみ速度との関係を示す。図中の曲線は鉄筋に生じるひずみ速度の温度に伴う変化の傾向を示したものである。ひずみ速度は、ひずみの変化をストレージスコープにより測定し、鉄筋に衝撃が加わってから破断するまでのひずみを時間で割った値を用いた。

試験条件によっては、コンクリート破断時の衝撃によ

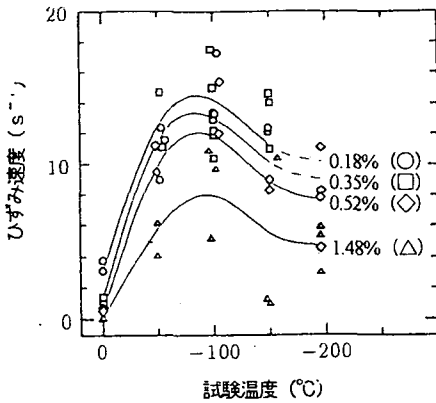


図-3 試験温度と鉄筋のひずみ速度

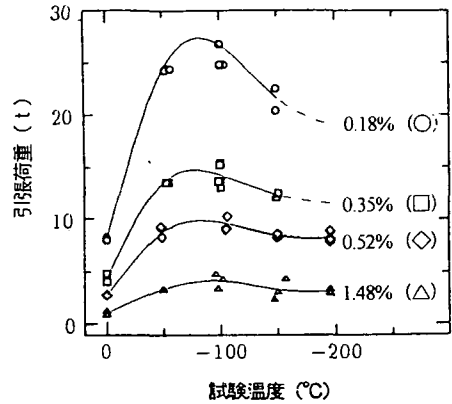


図-4 試験温度と引張荷重

りひずみ測定用鉄筋が破断したものもあり、その破断面は鉄筋のふしの付け根においてみられた。したがって、測定されたひずみ速度の値は鉄筋中に発生するひずみのおよその値を示していると考えられる。図-3より、鉄筋に発生するひずみ速度は常温から $-100^{\circ}\text{C}$ までは温度低下に伴い増加し、 $-100^{\circ}\text{C}$ 付近でピークに達し、それ以下の温度では逆に減少する傾向を示している。また、鉄筋比が減少することによって鉄筋に発生するひずみ速度が増加しているが、鉄筋比が0.52を越えるとひずみ速度の増加の割合が小さくなっていることがわかる。

本研究では、曲げを受けるコンクリートの引張部付近を取り出したと考えて実験を行っており、実際の構造物での鉄筋の配置等を考慮すると、鉄筋に発生するひずみ速度の値としては、鉄筋比0.52及び1.48におけるものが目安の値として適当であると考えられる。したがって、本研究では試験によって得られた、コンクリートが引張破壊する際に鉄筋に発生するひずみ速度の最大値として、 $12\text{s}^{-1}$ 程度を提案する。

鉄筋のひずみ速度の変化の傾向について調べるために、コンクリートの破断時の引張荷重との関係について検討を行ってみた。図-4に、試験温度とコンクリート破断時の引張荷重との関係を示す。鉄筋に発生するひずみ速度と同様、引張荷重も常温から温度の低下に伴い増加し、 $-100^{\circ}\text{C}$ 付近でピークに達し、その後は減少する傾向を示している。したがって、コンクリート破断時に鉄筋に発生するひずみ速度は、コンクリートが引張破壊した際に鉄筋に加わる荷重の大きさに大きく影響されると考えられる。

### 3. 鉄筋衝撃試験

#### (1) 実験概要

##### a) 供試体及び実験装置

鉄筋の種類による耐衝撃性の違いを調べるため供試体用鉄筋として、製造元の異なる4種類の横ふし異形鉄筋D25(SD295, SD345)と1種類の非磁性波形異形鉄筋D25(SD345)を使用した。それらの鉄筋の試験成績を表-4に示す。

鉄筋供試体には実物の異形鉄筋を図-5に示すような形に種々の曲げ内半径で冷間曲げ加工したものを使用した。

衝撃試験機には、 $50\text{kgf}\cdot\text{m}$  ASTM シャルピー衝撃試験機ASCI-50を図-6のように改良して使用した<sup>6)</sup>。鉄筋供試体に適当なひずみ速度と最大ひずみを与えるため、滑車ごしにおもりを取り付けてハンマーの重量調節を行った。

##### b) 実験方法

本研究が想定している状況は、RC構造物において鉄筋の曲げ加工部周辺のコンクリートに引張破壊が生じ、鉄筋の曲げの内側に衝撃的な軸方向の引張力が発生する場合である。

先の両引試験などによって、コンクリートの引張破壊時に鉄筋に発生するひずみのおよその値が得られている。これらの値を参考にして、本実験では鉄筋に与える衝撃力としてシャルピー衝撃試験機の振り上げ角を $40^{\circ}$ 、 $50^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ の3種類とした。ハンマーの重量調節のため試験機に取り付けたおもりは $12.5\text{kg}$ である。鉄筋に発生するひずみは両引試験と同様、ふしとふしの間にひずみゲージを貼り付けて動ひずみ計を用いて測定した。温度の低下及び加工硬化による鉄筋のヤング率の変化は荷重の衝撃性の増加によるヤング率の増加に比べて小さい<sup>7)</sup>ことと、鉄筋のひずみ及びひずみ速度に及ぼす曲げの影響は十分に小さいという予備実験の結果とから、ひずみの測定は振り上げ角ごとに常温においてまっすぐな鉄筋によって測定し、その荷重条件におけるひずみの値の目安として考えた。各鉄筋のそれぞれの振り上げ角におけるひずみ速度と最大ひずみの値を表-5に示す。

表-4 鉄筋の試験成績

鉄筋	種類	機械的性質			化学成分(%)				
		降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	C ×100	Si ×100	Mn ×100	P ×1000	S ×1000
No.1	SD295	352	570	26	24	21	80	32	45
No.2	SD345	406	581	25	25	23	111	32	37
No.3	SD345	398	566	24	22	20	72	29	25
No.4	SD345	392	588	23	27	10	77	30	30
非磁性鉄筋	SD345	403	824	65	34	49	2086	28	1

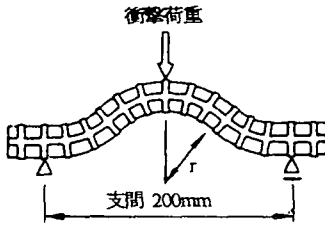


図-5 鉄筋供試体

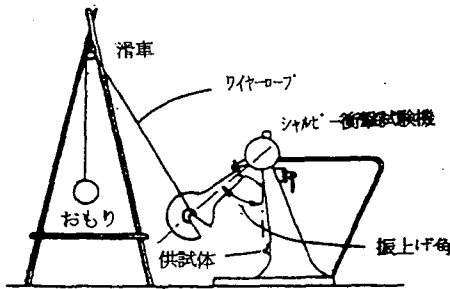


図-6 衝撃試験機

表-5 鉄筋に発生するひずみ速度及び最大ひずみ

鉄筋	振上げ 角度	ひずみ速度 (s <sup>-1</sup> )	最大ひずみ (μ)
No.1	40°	1.4	3000
	50°	3.0	5400
	60°	7.0	17200
No.2	40°	2.5	2900
	50°	4.1	5600
	60°	11.1	9200
No.3	40°	1.3	3300
	50°	3.3	7500
	60°	5.8	12900
No.4	40°	1.5	3600
	50°	3.0	8500
	60°	7.0	19900
非磁性鉄筋	40°	1.3	2700
	50°	3.3	4800
	60°	4.2	6900

また、鉄筋の破断は、鉄筋の曲げ加工部の内側から発生することが明らかにされている<sup>3)</sup>。これらのことを考慮して、本研究では図-5の供試体に矢印の方向から衝撃荷重を加え、曲げ加工部の内側に曲げモーメントによる衝撃的な引張応力を発生させることにより、極低温下での鉄筋の耐衝撃性について検討を行った。

冷間曲げ加工による加工硬化の影響を評価するため、各鉄筋ごとに数種類の曲げ内半径の供試体を用意し、冷間曲げ加工によって与えられる予ひずみの量を変化させて実験を行った。各鉄筋ごとに用意した曲げ内半径の種類を表-6に示す。予ひずみ量は試験に用いた鉄筋と同径の丸鋼を各曲げ内半径で曲げ加工した際に曲げの内側に与えられる予ひずみの量により表している。供試体の支持間隔は試験機の大きさから200mmとした。鉄筋供試体の冷却は試験機に着脱式の冷却槽を取り付け、供試体をセットした後、液体窒素を冷却槽に噴射して行った。温

表-6 各鉄筋の曲げ内半径

鉄筋	曲げ内半径
No.1	2, 3, 5, 6, 10 φ
No.2	2, 3, 5, 6 φ
No.3	2, 3, 4, 5, 6 φ
No.4	2, 2.5, 3, 5, 6 φ
非磁性鉄筋	1.1, 2 φ

度が十分安定した後、素早く冷却槽を取り外し試験を行った。

それぞれの試験条件において鉄筋が破断する温度を調

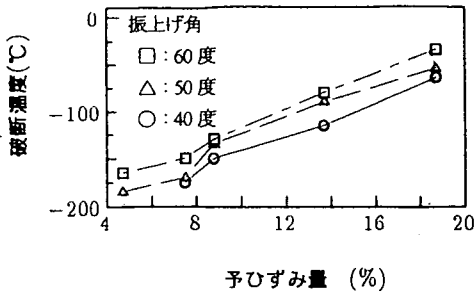


図-7 予ひずみ量と破断温度の関係 (No. 1 の鉄筋)

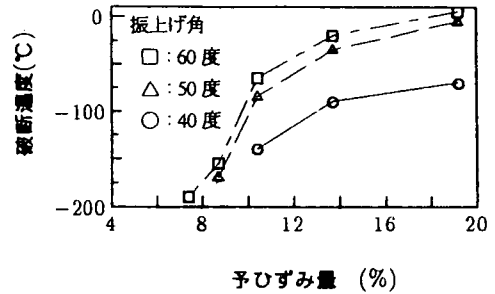


図-9 予ひずみ量と破断温度の関係 (No. 3 の鉄筋)

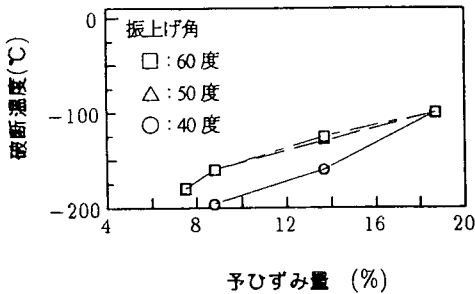


図-8 予ひずみ量と破断温度の関係 (No. 2 の鉄筋)

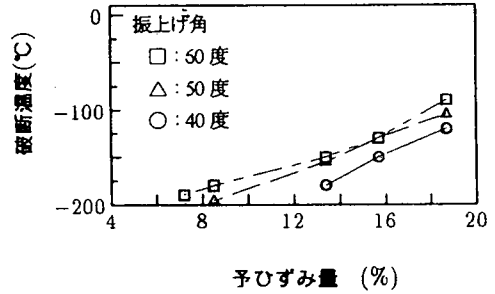


図-10 予ひずみ量と破断温度の関係 (No. 4 の鉄筋)

べるため、 $-196^{\circ}\text{C}$ から試験を行い、徐々に試験温度を上げていった。試験温度の幅は温度制御の精度から  $5^{\circ}\text{C}$ 間隔とし、破断の見られた最高温度をその試験条件における破断温度とした。

### c) ひずみ時効の条件

ひずみ時効硬化による鉄筋の耐衝撃性の変化を調べる実験を No. 4 の鉄筋を用いて行った。ひずみ時効後の鉄筋の破断温度と冷間曲げ加工直後の鉄筋の破断温度とを比較することにより、ひずみ時効硬化による鉄筋の耐衝撃性の低下を評価した。ひずみ時効硬化させた供試体は、室温に 45 日、90 日及び 1 年間放置したものと時効温度  $100^{\circ}\text{C}$  で 1 時間及び 1.5 時間時効硬化させたものを用意して、冷間曲げ加工直後の供試体と同じく、5 種類の曲げ内半径について破断温度を求めた。また、ひずみ時効硬化による破断温度の上昇の傾向とその限界値を調べるために、曲げ内半径  $2\phi$  の供試体について、時効温度  $100^{\circ}\text{C}$  で時効時間を 0~48 時間まで変化させて試験を行った。

## (2) 実験結果及び考察

### a) 冷間曲げ加工による予ひずみの影響

図-7~図-10 にそれぞれの種類の鉄筋の、冷間曲げ加工によって与えられる予ひずみ量と破断温度との関係のグラフを示す。これらのグラフにおいて、No. 1~No. 4 のすべての鉄筋について予ひずみ量が増加するのにもなると破断温度が上昇しており、予ひずみ量の増加により

耐衝撃性が低下することが確認された。

今回の実験では、No. 1, 2, 4 の鉄筋においては、予ひずみ量と破断温度の間にはほぼ線形な関係が見られた。しかし、No. 3 の鉄筋では予ひずみ量の増加にもない破断温度が著しく上昇する範囲があり、最も条件が厳しい曲げ内半径  $2\phi$ 、振り上げ角  $60^{\circ}$  の条件における破断温度は  $+5^{\circ}\text{C}$  にまで上昇した。このことは No. 3 の鉄筋が加工硬化により脆化しやすいことを示している。この理由として、No. 3 の鉄筋は炭素の量が少ないにも関わらず強度が大きく、他の不純物が含まれているとも考えられる。また、No. 3 の鉄筋では破断が起る鉄筋のふしの付け根において小さな気泡がみられ、応力集中の程度が他の鉄筋と異なっていた可能性も考えられる。

さらに No. 3 の鉄筋においても、極低温下では予ひずみ量と破断温度との間に線形な関係が見られるが、温度の上昇にともない、予ひずみ量の増加による破断温度の上昇が小さくなっていく。

また、荷重の衝撃の程度が鉄筋の耐衝撃性に及ぼす影響についてみると、No. 1~No. 4 のいずれの鉄筋においても、ハンマーの振り上げ角、すらわちひずみ速度が大きくなると破断温度は上昇している。また、各荷重条件において予ひずみ量と破断温度との傾きはほぼ一定であり、与えられる外力の衝撃の程度によって予ひずみ量と破断温度の関係線は平行にシフトすることがわかる。

以上のことから、極低温下における予ひずみの影響に

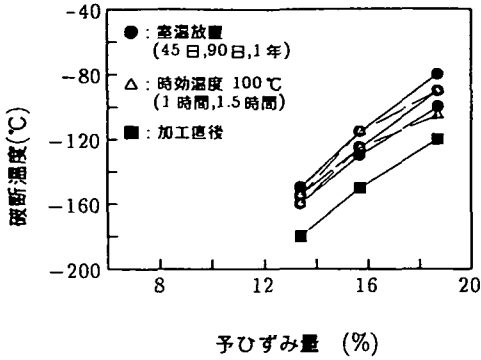


図-11 ひずみ時効による破断温度の変化  
(ハンマー振上げ角 40度)

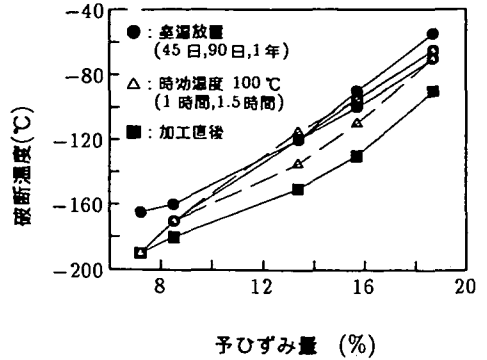


図-13 ひずみ時効による破断温度の変化  
(ハンマー振上げ角 60度)

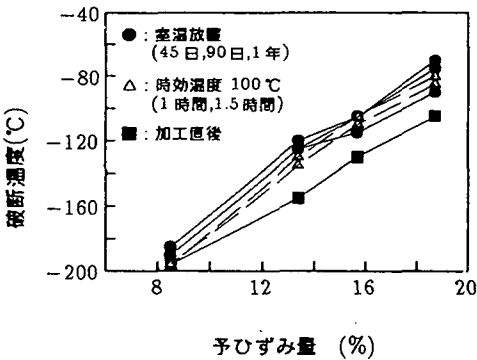


図-12 ひずみ時効による破断温度の変化  
(ハンマー振上げ角 50度)

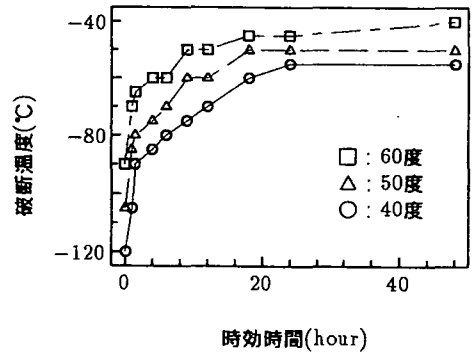


図-14 2φでの破断温度の上昇(No. 4の鉄筋)

ついて次のようなことがわかった。極低温下において、予ひずみ量と破断温度との関係及び予ひずみ速度の増加による破断温度の上昇量は、鉄筋の種類、例えば品質や表面形状の違いなどによってそれぞれ異なる。予ひずみ量と破断温度との関係は、一般の鉄筋では曲げ内半径  $2\phi$  までの範囲ではほぼ線形となる。しかし、曲げ加工による加工硬化の影響を大きく受ける鉄筋では、予ひずみ量の増加にともない破断温度がかなり高い温度まで上昇するために、予ひずみ量の大きい部分で破断温度の上昇が頭打ちになる。

#### b) ひずみ時効硬化の影響

ひずみ時効硬化による耐衝撃性の低下を調べた実験の結果を図-11～図-14に示す。図-11～図-13はそれぞれのハンマーの振上げ角ごとに、各ひずみ時効条件での予ひずみ量と破断温度の関係を表したものであり、図-14は曲げ内半径  $2\phi$  の供試体で、時効温度  $100^\circ\text{C}$  で時効時間を  $0\sim 48$  時間まで変化させて試験したものの時効時間と破断温度の関係を表したものである。

図-11～図-13中のいずれの時効条件においても、図-7～図-10に示した冷間加工直後の結果と同様、予ひずみ量の増加にともない破断温度は上昇し、それら間にはほぼ線形な関係がみられた。また、いずれのグラフにおいても、ひずみ時効硬化により破断温度の上昇が見られ、室温に放置したもの、時効温度  $100^\circ\text{C}$  のものの両方で時効時間の増加とともに破断温度が上昇した。破断温度の上昇量は予ひずみ量の大きいものほど大きく、室温放置1年の供試体では、曲げ内半径  $2\phi\sim 3\phi$  では  $25\sim 40^\circ\text{C}$ 、 $5\sim 6\phi$  では  $10\sim 25^\circ\text{C}$  上昇した。

図-14からいずれの振上げ角においても、時効時間の増加にともない破断温度が上昇することがわかる。破断温度の上昇量は時効時間が長くなるにつれて小さくなり、時効温度  $100^\circ\text{C}$  では時効時間24時間程度で頭打ちがみられた。その際の破断温度の上昇量は  $50\sim 65^\circ\text{C}$  であった。室温に放置した場合でも時効時間が長くなることによって、同程度の破断温度の上昇が起こるものと考えられる。破断温度の上昇の頭打ちの原因として、時効硬化による

表-7 非磁性鉄筋の破断温度

曲げ内半径	振 上 げ 角		
	40°	50°	60°
1.1 φ	×	-196	-190
2 φ	×	×	×

×は-196°Cでも破断せず

耐衝撃性の低下が限界に達したことが考えられる。

#### c) 非磁性鉄筋の耐衝撃性

本研究では、将来の超電導施設におけるRCの利用の可能性も考慮しているため、そのような構造物での使用が予想される非磁性鉄筋についての試験も行った。非磁性鉄筋の衝撃試験の結果を表-7に示す。試験の結果、示方書に規定されている最小曲げ内半径の2φでは、-196°Cまでの範囲において、どの衝撃力に対しても破断はみられなかった。

非磁性鉄筋の耐衝撃性を調べるため、さらに曲げ内半径を小さくして実験を行った結果、表中に示すように1.1φにおいて破断がみられた。したがって、非磁性鉄筋は極低温下においても十分な耐衝撃性を維持するといえる。この原因として、非磁性鉄筋は他の鉄筋と比べて、耐衝撃性を向上させるMnの含有量が20.9%と約30倍であり、逆に靱性を低下させるSの含有量が0.001%と約30分の1と極端に少なく、また常温での伸びが65%と非常に大きいことが挙げられる。

#### d) 鉄筋の種類による耐衝撃性の相違

今回試験を行った鉄筋は、非磁性鉄筋を除いて機械的性質及び化学成分がほぼ類似した材料であったが、4種類の一般用鋼材においても耐衝撃性の傾向にかなりの違いがみられた。このような結果が生じた原因として以下のことが考えられる。1) 曲げ加工はベンダーを用いて行ったが、実際に破断が起こるふしの付け根において、ふし形状の違いから予ひずみの集中する程度が異なる。2) ふし形状及び表面の品質の違いにより、ふしでの衝撃力による応力集中の程度が異なる。その他にも、工場における圧延の方法など種々考えられるため、このような鉄筋の表面形状と耐衝撃性の関係については定性的には言っても定量的には簡単に求めることはできない。したがって使用に当たっては、それぞれの鉄筋についてあらかじめ実験によってこのことを確かめることが必要であると考えられる。

## 4. まとめ

現在、極低温下で使用される鉄筋に対する特別な規定はなく、現状の示方規定に基づいて鉄筋が使用されているわけであるが、極低温下における鉄筋の耐衝撃性を調べた結果、一般の鉄筋は極低温下において必ずしも十分な耐衝撃性を保持するとはいえないことがわかった。以下に本研究の範囲において得られた結果を要約する。

(1) 両引試験において、試験を行った鉄筋比の範囲で

は、コンクリート部分が引張破壊する際に鉄筋に発生するひずみ速度は-100°C付近で最大となり、その値は $12s^{-1}$ 程度であった。また、鉄筋に発生するひずみ速度はコンクリートの引張破壊時の荷重と密接な関係があることがわかった。

(2) 極低温下において、鉄筋に与える予ひずみの量と鉄筋が破断する温度との間にはほぼ線形な関係があるが、破断温度が高くなると予ひずみの増加による破断温度の増加は頭打ちになる。また、鉄筋に与える荷重の衝撃の程度の変化により破断温度は変化するが、予ひずみと破断温度との間に関係は鉄筋において一定となる。

(3) ひずみ時効硬化により鉄筋の耐衝撃性は時間の経過とともに低下する。最終的な破断温度の上昇量は、今回試験を行った鉄筋では時効温度100°Cにおいて時効時間24時間以降で50~65°Cであった。常温においても最終的に同程度の上昇が起こるものと考えられる。

(4) 今回試験した非磁性鉄筋については、曲げ内半径までの範囲において、極低温下においても十分な耐衝撃性を保有することが確認された。

(5) 極低温下に鉄筋コンクリート部材を使用する際には、実験により鉄筋の耐衝撃性をあらかじめ調べ、使用環境に応じて使用する鉄筋を選定したり、鉄筋の許容曲げ内半径を制限する必要がある。

なお、本研究は、文部省科学研究費補助金(試験研究B)によって行われたものである。

## 参考文献

- 1) H.W.reinhardt: Loading rate, temperature and humidity effects, *Fracture Mechanics Test Methods RELIM Report 5*, S.P.Shah and A.Carpinteri, Chapman and Hall, pp.199-230, 1991
- 2) 三浦 尚・村野清一郎・伊藤 円: 極低温下におけるコンクリートの破壊衝撃が鉄筋に及ぼす影響, セメント技術年報, vol. 38, pp. 437-440, 1984
- 3) 瀬戸謙一郎・三浦 尚・堀 宗朗: 極低温下における曲げ加工された鉄筋の耐衝撃性に関する研究, コンクリート工学会年次論文報告集, vol. 14, 日本コンクリート工学会, pp. 889-894, 1992
- 4) 日本金属学会・日本鉄鋼協会編: 鉄鋼材料便覧
- 5) 富川大海: 金属材料工学, 応用機械工学全書 5, 森北出版, 1977
- 6) 遠藤正文・三浦 尚・堀 宗朗: 低温下で使用される鉄筋の耐衝撃性に関する研究, 平成2年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, pp. 468-469, 1991
- 7) Willman C. Leslie: *The Physical Metallurgy Of Steels*, McGraw-Hill, 1981
- 8) 三浦 尚・妹島淳也: 極低温下における鉄筋の重ね継ぎ手性状に及ぼす横方向鉄筋の性質の影響, コンクリート工学会年次論文報告集, vol. 5, 日本コンクリート工学会, pp. 385-388, 1983

(1995. 4. 25 受付)

## IMPACT RESISTANCE ABILITY IN BENDED POINT OF REINFORCING BARS AT VERY LOW TEMPERATURE

Takashi MIURA, Koji FUNAMOTO and Kenichirou SETO

Reinforcing concrete has been used as the material of storage tanks for very low temperature materials such as liquefied natural gas. In this paper, first, for measuring the straining rate in reinforcing bars following the tensile failure of concrete, we pulled at both ends of reinforcing concrete specimens at very low temperature. Second, we measured the breaking temperature at the cold bended point of reinforcing bars with Charpy Impact Testing Machine.

According to the two tests in such condition, the following conclusions may be drawn 1)the straining rate occurred ppin reinforcing bars was about  $12s^{-1}$  at about  $-100^{\circ}C$  when the reinforcing ratio is below 1.48. 2)In bended point of ordinary reinforcing bars, impact resistance can't be expected enough at very low temperature.