

極低温下で使用される鉄筋の曲げ加工部における耐衝撃性

東北大学 学生員○船本 浩二

東北大学 正会員 三浦 尚

東北大学 小野 力

1. はじめに

低温下における鉄筋コンクリートにおいては、コンクリートは温度の低下とともに引張及び圧縮強度が増加するため、常温に比べてより脆性的に破壊する。また、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、延性や靱性が低下するため、衝撃値は低下する。したがって、低温下で鉄筋コンクリート部材に引張によるひびわれが発生した場合、常温に比べて衝撃的な荷重が鉄筋に加わり、鉄筋には大きな歪速度が発生する。このとき鉄筋は低温・高歪速度という脆性破壊しやすい条件下にあるため破断する危険性がある。さらに冷間加工によって予歪を与えられた曲げ加工部では加工硬化の影響により衝撃値が著しく低下するため、このような破壊が発生しやすいと考えられる。また、冷間加工された部分では歪時効硬化の影響により時間の経過とともに靱性が低下することが知られている。

以上のことから本研究では、鉄筋コンクリート部材に引張によるひびわれが生じた際に鉄筋に発生するのと同程度の歪及び歪速度を鉄筋単体に与え、温度・予歪量・歪速度・加工硬化・歪時効硬化などの因子が鉄筋の耐衝撃性に及ぼす影響について調べた。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び試験装置

供試体として D25 の横ふし異形棒鋼 SD345 を使用し、その機械的性質と化学成分を表-1 に示す。供試体は異形鉄筋を図-1 に示すような形に種々の曲げ内半径で曲げ加工したものを用いた。試験装置には 50kgf・m ASTM 型 10° 衝撃試験機を図-2 のように改良して使用した。

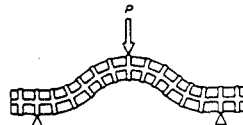


図-1 鉄筋供試体

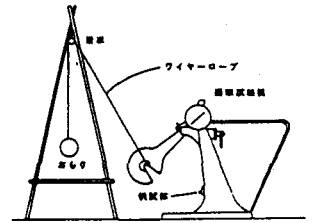


図-2 衝撃試験機

表-1 鉄筋の試験成績

機械的性質			化学成分 (%)				
降伏点	引張強度	伸び	C	Si	Mn	P	S
40kgf/mm ²	60kgf/mm ²	23%	0.27	0.10	0.77	0.03	0.03

表-2 歪速度と最大歪

振り上げ 角度	歪速度 (s ⁻¹)	最大歪 (μ)
40°	1.5	3600
50°	3.0	8500
60°	7.0	19900

2.2 実験方法

冷間加工による加工硬化の影響を評価するため、供試体には曲げ内半径が 2φ、2.5φ、3φ、5φ、6φ の 5 種類のものを使用した。また、鉄筋に加える衝撃荷重としてハンマーの振り上げ角は 40°、50°、60° の 3 種類に設定した。各振り上げ角において鉄筋に発生する歪速度と最大歪の値を表-2 に示す。冷却の最低温度は -196℃ とし、温度設定の幅は温度制御の精度から 5℃ 間隔とした。各条件下の鉄筋が破断する温度を調べるため、試験は -196℃ から行い、徐々に温度を上げていき、破断がみられた最高温度をその条件下での破断温度とした。歪時効硬化の影響を評価するため、室温に 45 日、90 日及び 1 年放置した供試体と、時効温度 100℃ で 1 時間及び 1.5 時間時効硬化させた供試体を各曲げ内半径について試験し、冷間加工直後に試験した供試体の結果と比較を行った。また、歪時効硬化による破断温度の上昇と限界値を調べるため、曲げ内半径 2φ の供試体について、時効温度 100℃ で時効時間を変化させたものを試験した。

3. 実験結果及び考察

冷間曲げ加工直後の鉄筋について各曲げ内半径によって鉄筋に与えられる予歪量と破断温度の関係を表わしたグラフを図-3 に示す。また、各ハンマー振り上げ角ごとに歪時効硬化の影響を表わしたグラフを図-4～図-6 に、曲げ内半径 2φ の供試体の時効温度 100℃ での破断温度の変化について表わしたグラフを図-7 に示す。図-3 において各振り上げ角で予歪量の増加とともに破断温度の上昇がみられ、予歪量と破断温度の間にはほぼ線形な関係がみられる。また、ハンマーの振り上げ角が増すにしたがって、すなわち荷重がより衝撃的になるにしたがって破断温度が上昇している。図-4～図-6 では、いずれの振り上げ角におい

ても至時効硬化による破断温度の上昇がみられる。室温に放置したもの、時効温度 100℃のものでも時効時間が長いものほど破断温度の上昇は大きく、上昇量は予歪量の大きいものほど大きい傾向がある。

1年間放置したものでは曲げ内半径2φ〜3φでは25〜40℃、5φ〜6φでは10〜25℃の破断温度の上昇がみられた。図-7に示した時効温度 100℃での破断温度の上昇は、いずれの振り上げ角においても時効時間の増加とともに大きくなるが、時効時間が24時間程度で破断温度の上昇に頭打ちがみられた。これは時効硬化による鉄筋の耐衝撃性の低下が限界に達したと考えられるが、破断温度が-40〜-55℃という高温に達したため温度が鉄筋の耐衝撃性に及ぼす影響が小さくなったためでもあると思われる。また、いずれの条件においても鉄筋の破断面はほとんどがふしの付け根でみられたが、これはふしの付け根における応力集中によるものと考えられる。

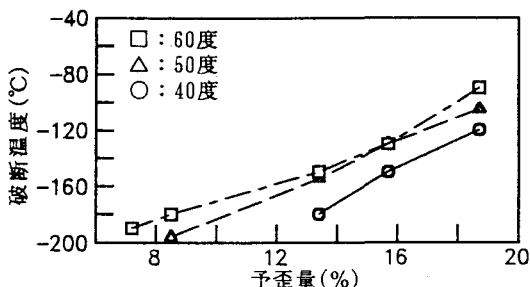


図-3 加工直後の鉄筋における予歪量と破断温度の関係

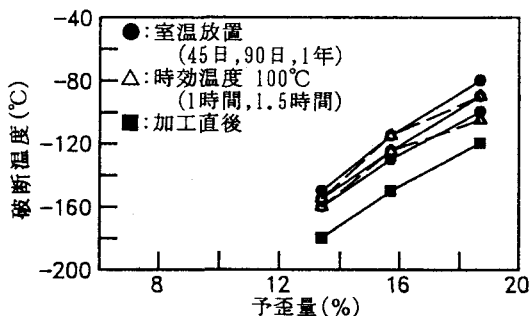


図-4 振り上げ角 40度における予歪量と破断温度の関係

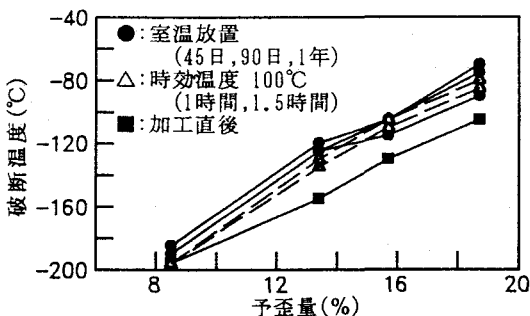


図-5 振り上げ角 50度における予歪量と破断温度の関係

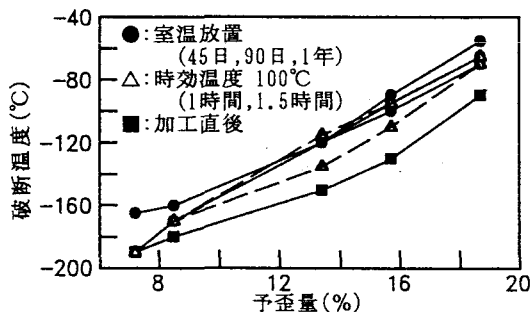


図-6 振り上げ角 60度における予歪量と破断温度の関係

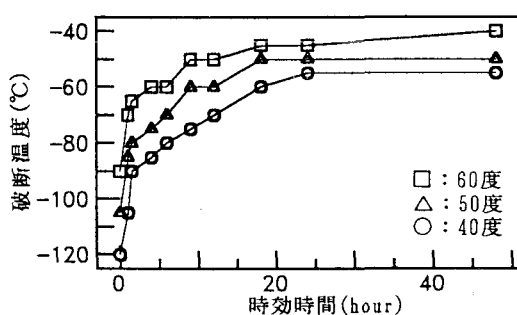


図-7 時効温度 100℃での破断温度の変化

4. 結論

- 1) 今回試験した鉄筋では、曲げ内半径 2φまでの範囲においては予歪量と破断温度の間には、ほぼ線形な関係がみられ、予歪量が大きくなるほど、また荷重がより衝撃的になるほど破断温度は高くなる。
- 2) 冷間曲げ加工によって予歪を与えられた部分では、時効硬化の影響によって時間の経過とともに耐衝撃性が低下し、破断温度は上昇する。
- 3) 時効温度 100℃で至時効硬化させたものでは、破断温度の上昇は時効時間24時間程度で頭打ちがみられ、その上昇量は50〜65℃であり、破断温度は-40〜-55℃にまで達した。
- 4) 極低温にさらされる引張を受けるコンクリート部材中の鉄筋の曲げ内半径は、その鉄筋の性質・さらされる温度・至時効硬化の影響等を考慮して定める必要がある。