

V-543

極低温下における鉄筋の曲げ加工部の耐衝撃性

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

ＬＮＧの普及や液体窒素温度下での超電導実現の見込みなどから、ＲＣ構造物が極低温下で使用される機会が今後増大するものと考えられる。したがって、極低温下での利用に十分耐えられるような構造物を設計するため、そのような環境下での鉄筋コンクリートの物性について正しく把握する必要がある。

極低温下においてコンクリート及び鉄筋は温度の低下とともに、圧縮及び引張強度が増加し、靱性が低下するため破壊はより脆性的になることが知られている。特に鋼材における耐衝撃性の低下は著しく、冷間加工により予歪を与えられた部分ではその傾向が顕著であることが知られている。そのような冷間加工部では時間の経過とともにさらに耐衝撃性が低下することも知られている。したがって、極低温にさらされるＲＣ部材では、一般の設計で期待されているような鋼材の延性が得られず、鉄筋が破断する危険性があると考えられる。

このようなことから、本研究ではＲＣ部材にひびわれが発生した場合に、鉄筋に発生する範囲の衝撃荷重<sup>1)</sup>を極低温下で鉄筋単体に与え、温度、衝撃荷重、予歪量、歪時効などが極低温下での鉄筋の耐衝撃性に及ぼす影響について調べた。

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 <sup>2</sup> | 60kgf/mm <sup>2</sup> | 23% | 0.27     | 0.10 | 0.77 | 0.03 | 0.03 |

2. 実験概要

2.1 使用材料及び試験装置

供試体には D25の横ふし異形棒鋼 SD345を使用した。鉄筋の機械的性質及び化学成分を表-1に示す。供試体には図-1に示すような形に冷間曲げ加工したものを使用した。試験装置として 50kgf・mASTMシャルピー<sup>2)</sup>衝撃試験機を図-2に示すように改良して使用した。

2.2 試験方法

予歪量による耐衝撃性の低下を調べるため、曲げ内半径は 2φ、2.5φ、3φ、5φ、6φの 5種類を用意した。衝撃荷重はハンマーの振り上げ角 40°、50°、60°の3種類とした。各振り上げ角ごとに鉄筋に発生した歪速度を表-2に示す。試験は冷却した鉄筋に図-1の矢印の方向から衝撃を加え、破断状況を調べることで行った。冷却最低温度を-196℃、試験温度間隔を 5℃とし、破断の見られた最高温度を破断温度とした。歪時効硬化の影響を調べるため、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と比較を行った。また、歪時効硬化による破断温度の上昇の傾向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。

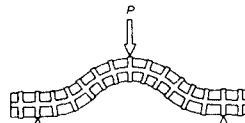


図-1 鉄筋供試体

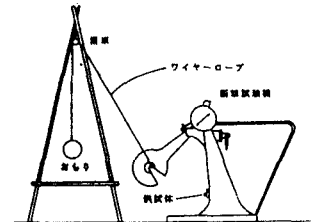


図-2 衝撃試験機

表-2 歪速度と最大歪

| 振り上げ<br>角度 | 歪速度<br>(s <sup>-1</sup> ) | 最大歪<br>(μ) |
|------------|---------------------------|------------|
| 40°        | 1.5                       | 3600       |
| 50°        | 3.0                       | 8500       |
| 60°        | 7.0                       | 19900      |

3. 試験結果及び考察

ハンマーの各振り上げ角ごとに冷間加工で与えられた予歪量と破断温度の関係を表わしたグラフを図-3～図-5に示す。また、時効温度 100℃で時効時間を 0～48時間で変化させた供試体及び室温に放置した供試体の時効時間と破断温度の関係を表わしたグラフを図-6に示す。

図-3～図-5のいずれのグラフにおいても予歪量の増加にともない破断温度は上昇し、それらの間にはほぼ線形な関係が見られた。また、各グラフを比較すると、同じ予歪量であってもハンマーの振り上げ角が大きいくほど、すなわち鉄筋に発生する歪速度が大きいくほど破断温度が高いことがわかる。

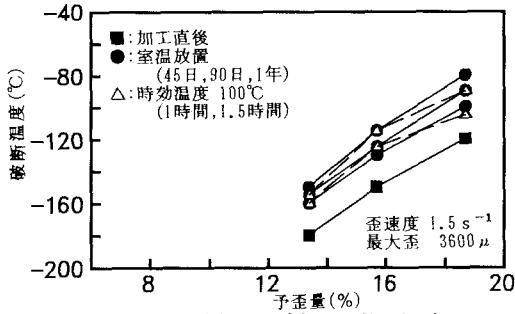


図-4 振り上げ角 40度における  
予歪量と破断温度の関係

いずれのグラフにおいても、歪時効硬化により破断温度に上昇が見られた。室温に放置したもの、時効温度 100°C のもののいずれにおいても時効時間の増加とともに破断温度が上昇した。歪時効硬化による破断温度の上昇量は予歪量の大きいものほど大きく、室温放置 1 年間のものでは曲げ内半径 2~3φ の供試体では 25~40°C、5~6φ の供試体では 10~25°C 上昇した。

図-6から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、時効時間 100°C のものは時効時間が 24 時間程度で頭打ちが見られた。その際の破断温度の上昇量は 50~65°C で、室温に放置したもの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と予想される。破断温度の頭打ちの原因として、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°C と高温に達しているため、鉄筋にはかなりの延性が回復していることも考えられる。

また、いずれの条件での破断状況を見ても、破断面は鉄筋のふしの付け根付近に限定していたが、これはふしによる応力集中によるものと考えられる。

#### 4. 結論

- 1) 今回試験した鉄筋では、予歪量と破断温度の間にはほぼ線形な関係が見られた。また、破断温度は予歪量、荷重の衝撃性、時効時間の増加にともない増加することが確認された。
- 2) 時効時間 100°C で歪時効硬化させた供試体では、時効時間 24 時間程度で破断温度の上昇に頭打ちが見られ、その上昇量は 50~65°C であり、破断温度は -40~-55°C に達した。室温に放置したものでも時効時間の増加により同程度の上昇が起こるものと考えられる。
- 3) 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許容曲げ内半径は、その鉄筋の性質・さらされる温度・歪時効硬化の影響等を考慮して定める必要がある。

#### 参考文献

- 1) 早川博之・三浦 尚・堀 宗朗：極低温下においてコンクリート破断時の衝撃が鉄筋に及ぼす影響、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.466-467、1991

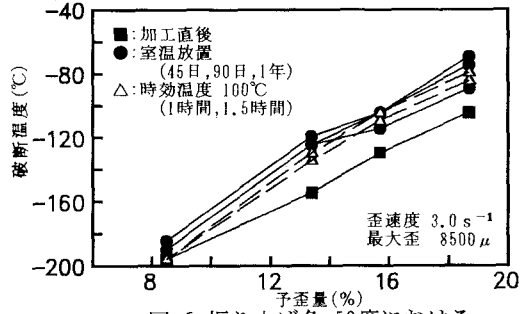


図-5 振り上げ角 50度における  
予歪量と破断温度の関係

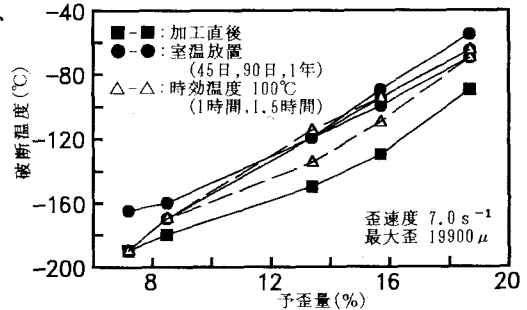


図-6 振り上げ角 60度における  
予歪量と破断温度の関係

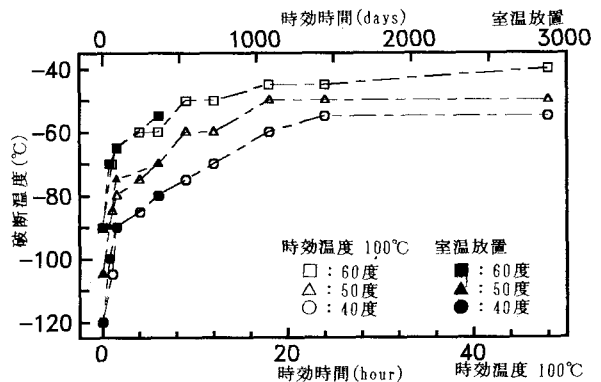


図-7 歪時効硬化による破断温度の変化