

極低温下における連続繊維補強材の耐衝撃性

東北大学 学生員 ○ 鹿内 英登

東北大学 正 員 岩城 一郎

東北大学 フェロー 三浦 尚

1. はじめに

近年、超電導技術の発展により、液体窒素によって冷却可能である -196°C において超電導が得られる見通しがついてきている。この技術が実用化されればリニアモーターカーや電力貯蔵システムなどに関連する構造物が安価に建設されると思われる。この様な極低温下におかれる構造物に鉄筋コンクリート（以下、RCと記す）が用いられた場合、コンクリートは温度低下に伴い強度が増加し、破壊はより脆性的になる。そのため極低温下ではRC構造物に引張りひび割れが生じる場合、常温時と比べ鉄筋に衝撃的な荷重が作用し、鉄筋に大きなひずみやひずみ速度が発生する。こうしたことから、補強材である鉄筋の耐衝撃性が問題となり、この点については当研究室においてすでに研究が進められ、文献1）に報告されている。

一方、超電導施設は高い磁場が発生することがあり、これらの問題の解決策として、非磁性・弱磁性といった特性を持つ連続繊維補強材が適していると思われる。しかし、このような施設に連続繊維補強材を用いるためには極低温下における連続繊維補強材の耐衝撃性を調べるが必要となってくる。そこで、本研究では連続繊維補強材を極低温にさらして衝撃を与え、その際に生じたひずみ速度・最大ひずみと連続繊維補強材が引張破断を起こしているかどうかを関連づけ、極低温下における連続繊維補強材の耐衝撃性について検討を行った。

2. 実験概要

本研究では丸棒の炭素繊維（以後炭素繊維1）を1種類と、らせん状の表面加工をしている異形丸棒の炭素繊維（以後炭素繊維2）1種類の計2種類の連続繊維補強材を用いた。サイズは直径8mm、長さ150mmに統一した。

衝撃力はコンクリート衝撃試験機を改良し製作した落錘式衝撃試験機を用いて加えた。供試体の設置状況を図1に示す。試験に際して、供試体のスパンは135mm、ハンマー質量は0.5kgから2.5kg、ハンマー落下高さはハンマー質量に応じて20cmから270cmの範囲で変化させた。温度条件は常温と極低温（ -196°C ）の2種類を設定し、各温度条件で衝撃が加わった時に生じたひずみ速度と最大ひずみを測定し、その際の連続繊維補強材の破断状況から連続繊維補強材の耐衝撃性に与える温度の影響を調べることにした。ただし、検討に用いたひずみ速度は、衝撃後1ms間に生じるひずみ量をその時間で除した値とした。尚、供試体の衝撃の加わる位置に緩衝材として硬質ゴムを図1に示すように巻き付け、ハンマーの刃による直接的な損傷の影響を取り除いた。予備試験の結果、破断を引き起こすよりも小さな衝撃を加えたときに生じるハンマー落下高さとひずみ速度、最大ひずみの関係に良い相関がみられたため、両者の近似式を設定し破断時のひずみ速度及び最大ひずみの推定に用いた。供試体の冷却に際しては、落錘式衝撃試験機の供試体設置部に冷却槽を設置し、供試体を試験可能な状態にセットした後、液体窒素を噴霧して冷却した。連続繊維補強材の冷却速度はおよそ $-1.5 \sim -2^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ とした。温度管理は槽内3カ所と温度測定用の供試体1本の温度を測定し、 -196°C に達した後試験を行った。

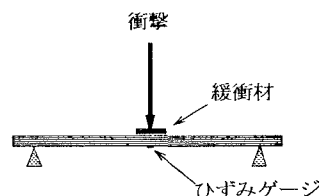


図1 供試体の設置状況

また、ひずみ速度が耐衝撃性へ与える影響を考察するために、衝撃試験と同様の供試体の設置条件で、連続繊維補強材に静的に载荷した場合の破断時に生じるひずみ量も炭素繊維2について測定した。

以上の条件で供試体に衝撃を与え、その際の供試体の破損状況を“破断せず”“破断微妙”“破断”の3段階に分けて整理し、温度及び最大ひずみとひずみ速度が連続繊維補強材の耐衝撃性に与える影響を調べた。

3. 結果と考察

炭素繊維 1、及び 2 の最大ひずみ・ひずみ速度との破断の関係を常温と-196℃をあわせてそれぞれ図 2、3 に示す。ここで、データを整理するにあたり、最大ひずみの測定できないデータに関しては、破断を引き起こすよりも小さな衝撃時に得られたひずみ速度と最大ひずみの関係から両者の近似直線を引き、その近似式と実際に測定されたひずみ速度をもとに最大ひずみを推定するものとした。また、-196℃においては、常温と極低温で生じるひずみ速度に違いがあまりない²⁾ということがわかっているため、常温で得られた結果から極低温下におけるひずみ速度と最大ひずみを推定しその値をプロットした。また、炭素繊維 2 について静的載荷試験によって得られた破断の際のひずみ量の値も併せて図 3 にのせる。

常温において行われた静的な載荷試験によって炭素繊維 2 に関しては、最大ひずみが 18000～21000 の間で破断することが示された。

図 2 より炭素繊維 1 についてはひずみ速度が 7～11 (1/s) の範囲において常温、極低温に関わらず最大ひずみが約 18000、もしくはひずみ速度の増加に伴い、若干小さな最大ひずみの値で破断しているような傾向が示された。

図 3 より炭素繊維 2 に関しても、常温、極低温ともにひずみ速度が 4～9 (1/s) の範囲内において炭素繊維 1 と同様に 18000 弱の最大ひずみで破断している。さらにこの値は静的な載荷試験による値ともそれほど違いがない。

これらの常温と極低温における破断直前に生じたひずみ速度と最大ひずみとの破断状況の関連を見てみると、今回用いた炭素繊維に関しては表面加工の状態に関わらず、温度低下によっても破断の際のそれらの値に大きな違いは見られないことから、温度低下が炭素繊維の耐衝撃性への影響は少ないと言えるのである。

静的に載荷した場合とを比べてみると、破断直前に生じた最大ひずみの量はひずみ速度が増加しても、静的な場合とはほとんど違いが見られなかった。また、本実験の衝撃の範囲内ではひずみ速度の増加により、若干小さな最大ひずみの値で破断しているような傾向が示された。

4. まとめ

本研究によって得られた結果をまとめると次の通りである。

- 1, 常温と極低温での破断の際に炭素繊維に生じるひずみ速度と最大ひずみの傾向が変わらない。つまり、炭素繊維を用いた連続繊維補強材では、温度低下による耐衝撃性の影響は少ないと言える。
- 2, 本実験の範囲内では衝撃時に生じる最大ひずみが破断に大きく関与しており、ひずみ速度による影響はわずかに確認された程度である。

参考文献

- 1) 三浦 尚・船本 浩二・瀬戸 謙一郎：極低温下での鉄筋の曲げ加工部における耐衝撃性，土木学会論文誌，V-34，pp. 15-21，1997.
- 2) 鹿内 英登・岩城 一郎・三浦 尚：極低温下における連続繊維補強材の耐衝撃性に関する基礎的研究，土木学会第 52 回年次技術講演会講演概要集 第 V 部，pp. 502-503，1997

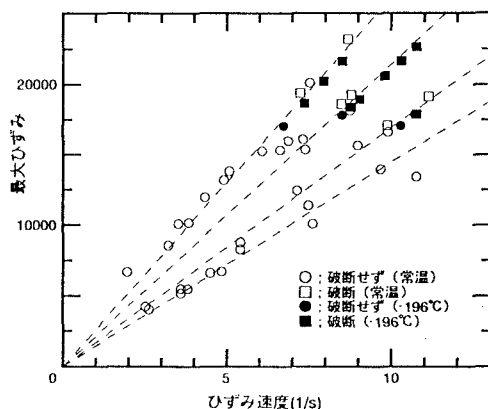


図 2 炭素繊維 1 のひずみ速度(1ms)・最大ひずみと破断の関係 (常温，-196℃)

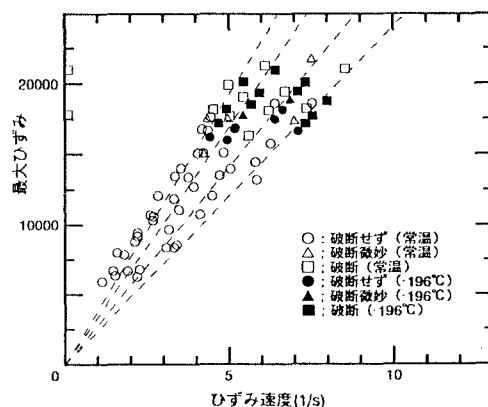


図 3 炭素繊維 2 のひずみ速度(1ms)・最大ひずみと破断の関係 (常温，-196℃)