

せん断補強鉄筋の曲げ加工部のせん断破断に関する研究

群馬工業高等専門学校 学生会員 ○多胡 昇平
群馬工業高等専門学校 正会員 田中 英紀

1. はじめに

近年, コンクリート内部に配置された鉄筋がコンクリートのアルカリ骨材反応による内部膨張により, 外方向への力を受け鉄筋がせん断破断するといったケースが多く確認されている(写真-1 参照)¹⁾. 鉄筋破断の多くはせん断補強鉄筋の直角に曲げられた曲げ加工部に見られている²⁾. 同加工部での鉄筋破断は曲げ加工に伴う塑性変形による強度低下が原因であると考えられる. また, せん断補強鉄筋は圧縮鉄筋の座屈防止や, 主筋に発生する応力を構造物全体へ伝達するなど重要な役割を担っている. 鉄筋が破断すると, 構造物全体の耐力低下やコンクリート表面の剥離などが発生する. そこで, 本研究ではせん断補強鉄筋の強度低下を定量的に求めることを目的とする.



写真-1 曲げ加工部でのせん断破断例

2. 試験概要

2. 1 使用材料

本研究で使用した材料を表-1 に示す.

2. 2 試験方法

本研究は図-1 に示す①曲げ加工試験と②せん断破断試験の二通りの実験で構成される.

曲げ加工試験方法は支点間距離 400mm の中央点荷重とし, 荷重速度 1(mm/s)で鉄筋が直角になるよう曲げ加工する(写真-2 参照). 但し, 異形棒鋼の節を処理せずに荷重すると鉄筋が滑る際に支点部で節が引っ掛かり, 正確な応力 - ひずみ曲線が得られないためこれを処理する必要がある.

せん断破断試験は, せん断補強鉄筋曲げ加工部をせん断面とする簡易的なコンクリート供試体を用いて, 鉛直方向へ荷重することで縁切りした破断面に沿った力により鉄筋をせん断破断させるという試験方法である(写真-3 参照).

3. 試験結果

3. 1 曲げ加工試験結果

曲げ加工試験で得られた結果を図-2 に示す.

3. 2 せん断破断試験

コンクリートにひび割れが発生したが, 内部の鉄筋はせん断破断した. 次項写真-4 にコンクリートから取り出した鉄筋を, 次頁図-3 にせん断試験で得られた結果を示す. 但し, ひずみゲージは鉄筋の破断前に断絶し, 測定不能になってしまったため測定できた範囲までを示すものとする.

表-1 使用材料

種類	記号	径	備考
異形棒鋼	SD295	D10 (公称直径: 9.53mm)	せん断補強鉄筋に使用
異形棒鋼	SD295	D16 (公称直径: 15.9mm)	主鉄筋に使用
銅パイプ		内径 14.5mm	曲げ加工試験の支点処理に使用
硬質塩化ビニール板			せん断破断面に使用

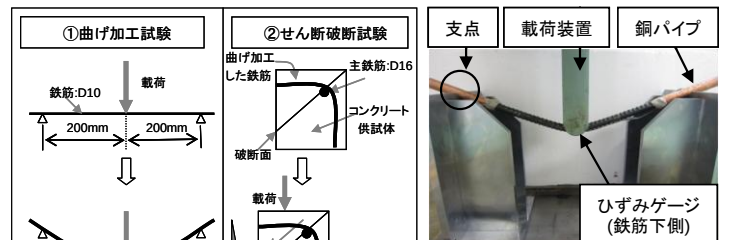


写真-2 曲げ加工試験状況

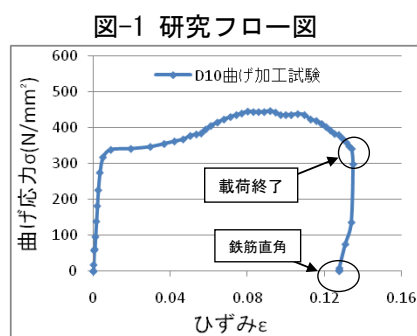


図-2 曲げ加工試験結果

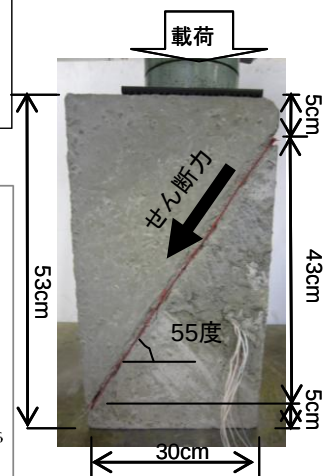


写真-3 せん断試験供試体

キーワード せん断補強鉄筋, 曲げ加工, アルカリ骨材反応, せん断破断, 弾塑性

連絡先 〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町 850 群馬工業高等専門学校 TEL 027-254-9184 E-mail: htanaka@cvt.gunma-ct.ac.jp

3. 3 相当応力と相当塑性ひずみ

本研究では鉄筋の曲げ加工開始からせん断破断までを統一した指標で評価するため、塑性変形開始から破断までの挙動を追従していく必要がある。そこで、相当応力と相当塑性ひずみという以下に示す式(1),(2),(3)を用いて計算し、得られたグラフを図-4に示す^{3),4),5)}。さらに、D10引張試験結果が得られなかったため、参考として同材質のD13引張試験結果も示し、後述する強度低下の比較資料として用いる⁶⁾。但し、相当塑性ひずみは全ひずみ理論を用いて計算し、式(2)は引張試験と曲げ試験の比例定数算出に適用したものである。

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad \dots\dots(1)$$

$$\varepsilon_x = \left(\frac{2}{3}\sigma_x\right) + \frac{1-2\nu}{E}\left(\frac{1}{3}\sigma_x\right) + \left(\frac{2}{3}\sigma_x\right)\lambda \quad \dots\dots(2)$$

$$\varepsilon_{eq} = \frac{2}{3}\sigma_{eq}\lambda \quad \dots\dots(3)$$

σ_{eq} : 相当応力, σ_x : 引張(曲げ)応力

τ_{xy} : せん断応力, ε_x : 引張ひずみ

G : せん断弾性係数, E : 弾性係数, ν : ポアソン比

λ : 比例定数, ε_{eq} : 相当塑性ひずみ

4. 考察

全ひずみエネルギーとは、鉄筋の加工開始から破断までの相当応力 - 相当塑性ひずみ曲線により作られる面積であり、D13引張試験結果から 70.6N/mm^2 であった。また、D10曲げ加工試験によって求められた曲げ加工による消費ひずみエネルギーは 51.2N/mm^2 であった。この二つの結果からD13と比較しても、D10の曲げ加工による強度低下をひずみエネルギーで評価すると、鉄筋外縁部で少なくとも70%程度はひずみエネルギーが曲げ加工により消費されていることが分かった。本研究から、せん断補強鉄筋の曲げ加工部は直線部と比較すると強度が低下していることが確認でき、それを考慮することの重要性を認識することができた。

5. おわりに

本研究では直接試験することが困難な鉄筋のせん断破断試験をコンクリート供試体の使用により間接的に試験することの可能性を見出すことができた。しかし、以下のことが今後の課題として挙げられる。

- ① D10以上の鉄筋径でも鉄筋がせん断破断できるように供試体を改良すること。
- ② 鉄筋がせん断破断するまでの挙動を追えるようにすること（供試体及びひずみゲージコーティングの改良）。

参考文献

- 1) 土木学会 コンクリート委員会/アルカリ骨材反応対策小委員会：アルカリ骨材反応による鉄筋破断が生じた構造物の安全性評価(中間報告)，土木学会誌，Vol.88，2003，No.9，pp.83-84
- 2) 土木学会：アルカリ骨材反応対策小委員会報告書-鉄筋破断と新たな対応-，2005，I編 pp.1-78.
- 3) 葉山益次郎：大学課程 塑性学と塑性加工(第2版)，1969，pp.23-44
- 4) 益田森治，室田忠雄：改訂 工業塑性力学，1980，pp.37-107
- 5) 社団法人 日本塑性加工学会 編：例題で学ぶはじめての塑性力学，2009，pp.1-73
- 6) 田中英紀，その他：報告 鉄鋼スラグ水和固化体を用いたRC構造部材の力学特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，2008，No.3，pp.283-288

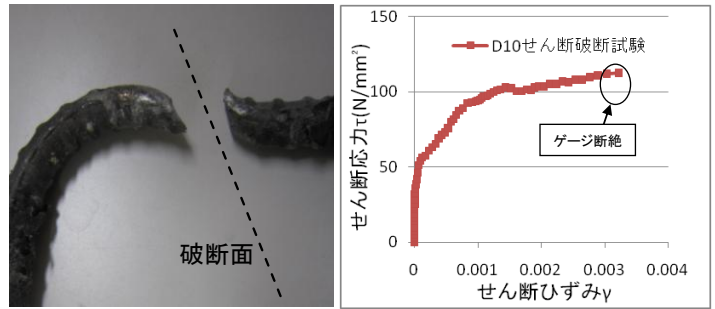


写真-4 鉄筋の破断状況

図-3 せん断破断試験結果

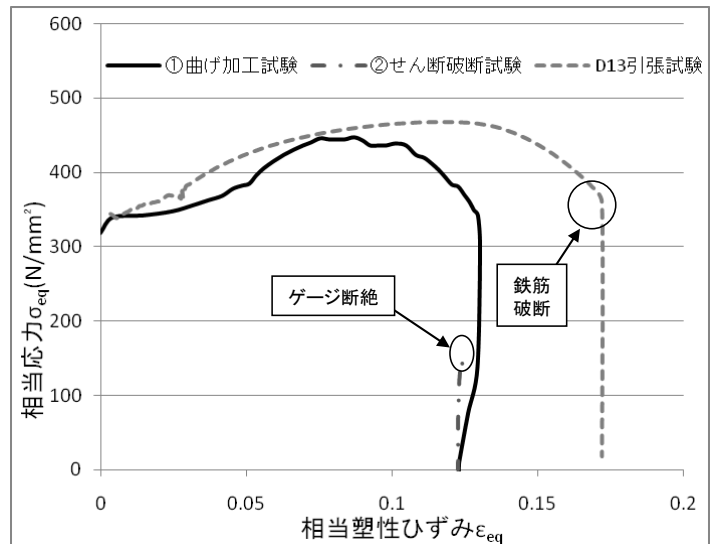


図-4 相当応力-相当塑性ひずみ曲線