

V-252 高温下に曝される鉄筋コンクリートのひびわれ面におけるせん断伝達特性

電力中央研究所 正会員 ○ 石田 博彰
電力中央研究所 正会員 金津 努

1. まえがき

原子力発電所の原子炉格納容器、炉心支持構造、1次・2次系配管支持構造等の鉄筋コンクリート構造施設は、高温に曝されることを想定して設計されており、現行の設計法には、コンクリートが曝される温度の制限値と温度荷重を考慮することが規定されている。本研究は、100℃を超える高温に曝される鉄筋コンクリートのひびわれ面におけるせん断伝達特性を把握するために、既報に引き続き¹⁾ Mattockタイプ試験体により間接一面せん断試験を行った結果をとりまとめたものである。

2. 実験概要

試験体のせん断断面は15×30cmで、面積は約450cm²である。試験要因は、せん断面の鉄筋比(p)、直交応力(σ_N)、温度(θ)の3つである。表-1に示すように要因の水準を変え、計36試験体について試験を実施した。試験時のコンクリートの圧縮強度は約560kgf/cm²である。骨材の最大寸法は20mmで、使用した鉄筋はSD35規格のD19である。

表-1 試験要因

鉄筋比(p)	1.27% 2.55% 3.82% (2D19), (4D19), (6D19)
直交応力(σ _N) (引張応力を正)	0 kgf/cm ² , -10 kgf/cm ² , 5 kgf/cm ² , 10 kgf/cm ²
温度(θ)	常温, 100℃, 200℃

試験では、せん断面にひびわれを導入した後せん断面に直交応力を導入し、1時間に20℃の速さで試験温度まで加熱した。試験温度を2日間保持した後に載荷試験を行った。せん断面の直交応力はクリープ試験用のバネを用いて導入し、加熱中・載荷中に直交応力が変化しないように制御した。

測定項目は、せん断面のひびわれ幅の開きとずれ変位および鉄筋のひずみである。また、試験体の温度は22か所に埋込まれた熱電対によって所定の温度であることを確認した。

3. IST剛性とひびわれ幅

図-1は単位長さのずれ変位を与えるために必要なせん断応力(IST剛性)とひびわれ幅の関係を示している。この図から、IST剛性とひびわれ幅の関係の実験値は双曲線状に分布し、直交応力、鉄筋比、温度条件に拘らず次に示す同一の式(回帰式)により表わせることが判る。

$$K_{IST} \cdot W = 160$$

(K_{IST}: IST剛性, W: ひびわれ幅, 160: 実験定数)

既往の研究では、fc'が約230kgf/cm²の時定数は36²⁾、fc'が約400kgf/cm²の時定数は61³⁾という報告があり、圧縮強度に依存するものと考えられる。しかし、本実験では、fc'が約560kgf/cm²で、高温度

下でのfc'の低下があるにも拘らず定数は160であった。このことは、ひびわれ面を介する高温下のせん断伝達特性を考える場合、常温での圧縮強度を用いて解析した方がよいことを示唆している。

4. せん断荷重とひびわれ幅・ずれ変位

せん断面の直交応力が0 kgf/cm²で鉄筋比が1.27%の場合のせん断荷重とひびわれ幅の関係を図-2に示す。

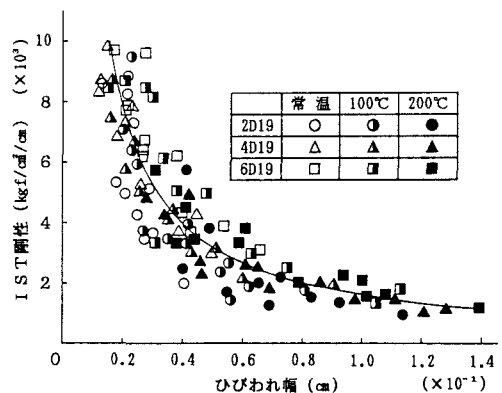


図-1 IST剛性とひびわれ幅の関係

ひびわれ幅が急激に増加する最大せん断荷重以降の軟化領域では、せん断荷重—ひびわれ幅関係の測定が難しいため、高温の試験結果は得ることができなかった。この図から、高温になると最大せん断荷重時のひびわれ幅が大きくなるのは、載荷前のひびわれ幅の相違と載荷中の剛性の低下が原因であると考えられる。載荷前のひびわれ幅の相違は、加熱中にひびわれ幅が変化するため、加熱前は約 0.1mm でひびわれ幅は全ての試験体でほぼ同じであるが、加熱後は温度条件が高い程大きくなっている。載荷中の剛性の低下は、高温下では鉄筋とコンクリートの付着性能が低下し、このために鉄筋がぬけ出しやすくなっているためであると思われる。最大せん断荷重時のひびわれ幅は、常温 0.42mm、100℃ 0.74mm、200℃ 1.02mm であった。

図-3 は最大せん断荷重時のずれ変位とひびわれ幅の関係を示している。図より最大せん断荷重時にはずれ変位とひびわれ幅がほぼ等しくなっている事が判る。5. せん断強度比とせん断面の拘束応力

せん断強度比 $(\tau/\sqrt{f_c'})$ ； τ ：最大せん断応力、 f_c' ：コンクリートの圧縮強度）とせん断面の拘束応力 $(p\sigma_s - \sigma_N)$ の関係を図-4 に示す。但し、 f_c' としては、常温下のコンクリートの圧縮強度を用いている。

図より判る通り、高温の試験体は常温よりもせん断強度比が小さくなっているが、100℃と 200℃の相違は明確には認められなかった。常温および高温のデータを直線に回帰すると各々以下に示す式となった。

$$\tau/\sqrt{f_c'} = 0.045(p\sigma_s - \sigma_N) + 2.34 \quad (\text{常温})$$

$$\tau/\sqrt{f_c'} = 0.029(p\sigma_s - \sigma_N) + 2.54 \quad (100^\circ\text{C} \cdot 200^\circ\text{C})$$

相関係数は常温が0.956、100℃と200℃が0.929であった。常温下の式は既往の報告による式にほとんど一致し、100℃を超える高温下では、常温に比較してせん断強度比が10～20%小さくなることが確認された。

【参考文献】

- 1) 石田博彰他：100℃を超える高温下に曝される鉄筋コンクリートのせん断特性、土木学会第43回年次学術講演概要集第V部 pp.476～477 (1988)
- 2) 山田一字：面内力を受ける鉄筋コンクリートのせん断伝達機構および耐力、変形に関する実験的研究、東京大学博士論文
- 3) 遠藤達巳他：鉄筋コンクリートの動的せん断伝達特性および動的付着特性に関する実験的研究、電力中央研究所研究報告、U88005 (1988)

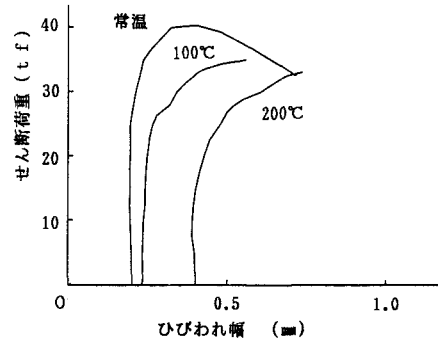


図-2 せん断荷重とひびわれ幅の関係 ($\sigma_N = 0 \text{ kgf/cm}^2$, $p = 1.27\%$)

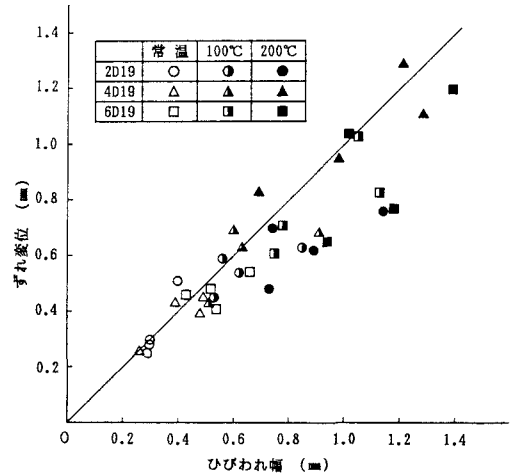


図-3 ずれ変位とひびわれ幅（最大せん断荷重時）

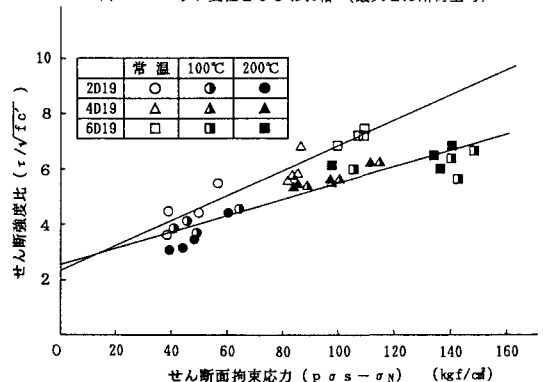


図-4 せん断強度比とせん断面拘束応力の関係