

V-214 100℃を超える高温に曝される鉄筋コンクリートのせん断特性

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

電力中央研究所 正会員 遠藤達巳

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、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。100℃を超える高温に曝される鉄筋コンクリートの挙動特性については、はり部材の曲げ特性が既往の研究で明らかにされつつあるが¹⁾、せん断特性についてはほとんど研究されていない。そこで、本研究は、高温下での鉄筋コンクリートのせん断特性を把握することを目的として、Push-off タイプの試験体を用いて間接一面せん断試験を行い、その結果について考察したものである。

2. 実験概要

試験体は図-1に示すもので、せん断面の面積は約450cm²である。試験要因は、せん断面の鉄筋比(p)、せん断面に直角方向に作用する圧縮応力(σ_N)、せん断面の温度(θ)の3つとした。(表-1参照)コンクリートの目標圧縮強度は400kgf/cm²であり、骨材の最大寸法は20mmである。鉄筋は、SD35のD19を使用した。試験体は脱型後1ヶ月間湿空養生し、その後気中放置した。試験時の材令は約6ヶ月である。

試験は、予めせん断面にひびわれを入れた状態で、パネルヒーターによってせん断面が所定の温度に達するまで1時間に20℃の割合で加熱し、その温度を2日間保持した後に破壊まで徐々に载荷を行った。圧縮応力の導入は、ひびわれ導入の後に行った。また、クリープ試験用パネを用い、加熱中および载荷中に圧縮応力(σ_N)が変化しない様に制御した。

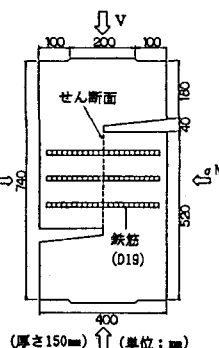


図-1 せん断試験体

表-1 試験要因

鉄筋比(p)	1.27% (2D19), 2.55% (4D19), 3.82% (6D19)
圧縮応力(σ_N)	0 kgf/cm ² , 10 kgf/cm ²
温度(θ)	常温, 100℃, 200℃

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、ひびわれ幅とずれ変位は、予め試験体に埋込んだ4本のボルトに変位計を取付けて測定し、その平均値を実験値とした。また、試験体が所定の温度に達したことを確認するために、熱電対を22ヶ所に埋込み、温度を測定した。

3. 実験結果および考察

図-2は、最大せん断応力をコンクリートの圧縮強度の1/2乗で除した値(せん断強度比: $\tau/\sqrt{f_{c'}}$)とせん断面に直角に作用する圧縮応力($p\sigma_s - \sigma_N$)との関係を示したものである。図中の実線は山田の実験により求められたものであり²⁾、常温の試験体のデータ(白ヌキ印)はこの直線によく一致している。高温下の試験体は常温と比較するとせん断強度比が小さくなっているが、

100℃と200℃の相違はあまり見られない。グラフ上の実験値の勾配がみかけ上の摩擦係数を表わすものとするれば、本実験結果の範囲においては、高温下では摩擦係数は少し小さくなる傾向にある。なお、図中にプロット

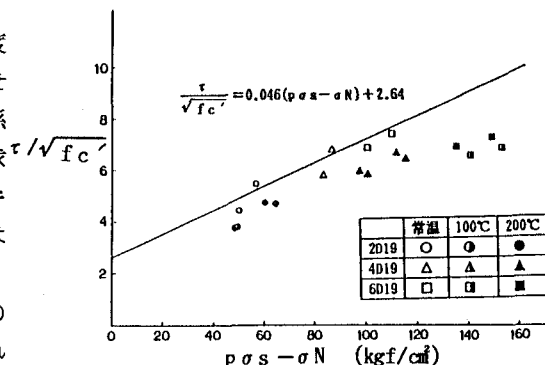


図-2 せん断強度比とせん断面に作用する応力の関係

した100℃、200℃のデータは全てコンクリート、鉄筋の高温下での材料物性を考慮したものである。

図-3は $\sigma N = 0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合のせん断荷重と載荷時のひびわれ幅の関係を示している。図から判る様に、常温に比べて200℃の試験体は最大せん断荷重が約10%程度小さくなっているが、100℃と200℃の試験体はほとんど同じ値であった。また、最大せん断荷重直前までひびわれ幅はほとんど増加しない。破壊時（最大荷重時）のひびわれ幅をひびわれ導入時、昇温時、載荷時のひびわれ幅の総和として算出すると、鉄筋比に拘らず常温0.43mm、100℃は0.75mm、200℃は0.93mmとなり、温度が高くなるにしたがって値が大きくなった。常温下では、最大荷重時のひびわれ幅は骨材の最大寸法が20mmの場合、コンクリート強度や鉄筋比に関係なく0.4mm（予めひびわれありの場合）であると言われており²⁾、本実験結果もそれを裏付けている。高温になるとこの値が大きくなるという理由については、高温に曝されるとせん断面の状態が変化する等が考えられるが、現在のところ明らかではない。

$\sigma N = 0 \text{ kgf/cm}^2$ の場合のせん断荷重とずれ変位の関係を図-4に示す。ひびわれ幅の場合（図-3）と比較すると、高温下でのせん断荷重に対するずれ変位の増加が大きい。これは載荷前のひびわれ幅の大きさととの相関が考えられ、載荷前のひびわれ幅の大きい試験体ほどずれ変位の増加が大きい様である。昇温時のひびわれ幅の増加量は、100℃で0.07mm、200℃で0.21mmであった。また、最大荷重時のずれ変位は、常温の試験体が0.42mm、100℃は0.64mm、200℃は0.85mmとなり、いずれの場合もひびわれ幅とほぼ同じ値であった。

図-5には、単位長さのずれ変位を与えるために必要なせん断応力（I.S.T剛性と呼ぶ）とひびわれ幅の関係を示した。但し、この場合のひびわれ幅はひびわれ導入前から最大荷重時までのひびわれ幅の総和である。図から判る様に、I.S.T剛性とひびわれ幅は、多少ばらつきはあるものの、鉄筋比（ p ）、圧縮応力度（ σN ）、温度（ θ ）に関係なくほぼ双曲線上に分布している。このことは、100℃、200℃という高温下においてもI.S.T剛性とひびわれ幅の関係は常温下の双曲線の延長上で考えてもよいことを示していると思われる。

今後、せん断面と直角方向に引張応力を作用させた場合の実験を行う予定である。

【参考文献】

- 1) Kanazu, T., High Temperature Concrete, 1986 EPRI/CRIEPI Joint Study Report, September, 1987.
- 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

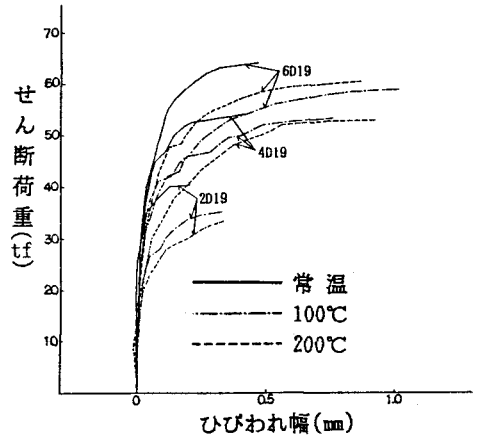


図-3 せん断荷重とひびわれ幅の関係（ $\sigma N = 0 \text{ kgf/cm}^2$ ）

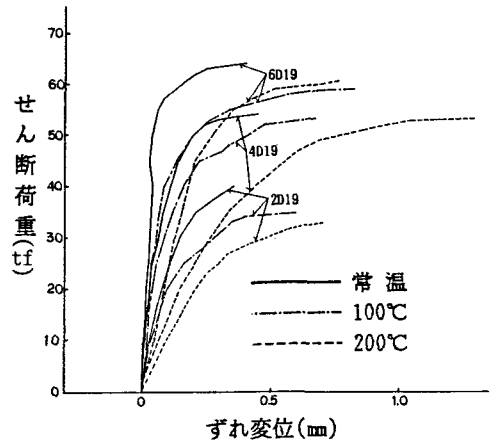


図-4 せん断荷重とずれ変位の関係（ $\sigma N = 0 \text{ kgf/cm}^2$ ）

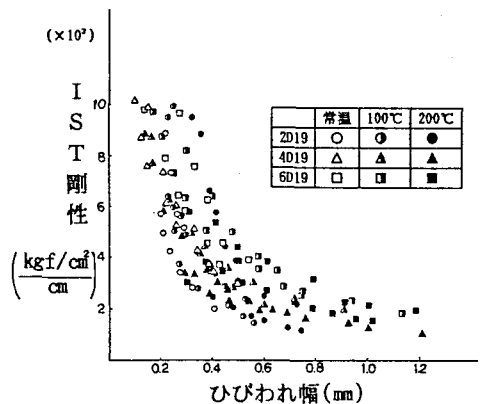


図-5 I.S.T 剛性とひびわれ幅の関係