

日本大学大学院 学生員 ○子田 康弘
日本大学工学部 正会員 原 忠勝

1. はじめに

本研究は、補強筋がせん断面に任意の角度で配置された場合のせん断伝達性状について、X線造影法によるひび割れ性状から塑性論的なアプローチによるせん断耐力について検討したものである。ここでは、Push-off試験にX線造影を併用し、せん断伝達作用下のひび割れ性状を観察し、せん断面の性状が変位の不連続場の形成に類似な挙動を示すことに着目した。また解析に際しては、上界定理を適用し、有効係数の代わりに、コンクリートの強度式に着目した破壊基準を用いたものである。

2. 実験の概要

実験では、図-1に示すように、Push-off型試験体による間接一面せん断試験を行い、ひび割れ検出のためX線造影法を併用したものである。せん断面は $280 \times 70 \text{ mm}$ で、せん断補強筋にはSD295A相当のD10 ($f_y = 352 \text{ N/mm}^2$, $f_t = 500 \text{ N/mm}^2$)を用いた。

実験条件はせん断面と補強筋の交角とし、これを $\theta = 50^\circ$, 90° , 130° の3種類に変化させた。また図-2に示すように、せん断面の補強筋量は一定とし、D10を3本配置 ($\rho = 1.2\%$) し、X線造影剤の注入孔（直径2mm）の有無も条件とし、計6体について実験を行った。コンクリートには、 $G_{\text{max}} = 20 \text{ mm}$ のレディーミクストコンクリートを用い、試験日材齢の圧縮強度は $f'_c = 27.5 \text{ N/mm}^2$ 、また引張強度は $f_t = 2.97 \text{ N/mm}^2$ であった。

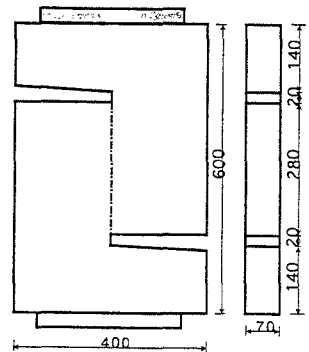


図-1 試験体形状

3. 実験結果

X線造影法により得られたせん断面のひび割れについて、初期ひび割れ発生時のものを図-3に、また最大荷重時のものを図-4に示した。初期ひび割れ発生時のせん断面のひび割れは、連続したものではなく、部分的に発生し、斜めに伸展する傾向を示した。

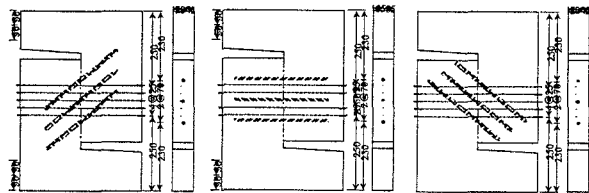


図-2 せん断補強筋の位置

さらに荷重を増加させると、これら断続的に発生した斜めのひび割れが繋がり、最大耐力時には、せん断面全域のひび割れへと伸長していく様子が観察された。

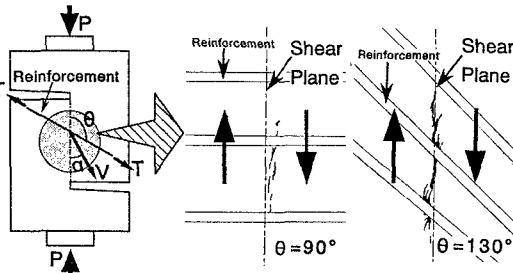


図-3 初期ひび割れ

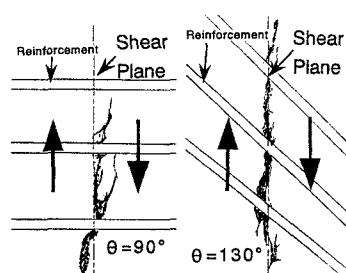


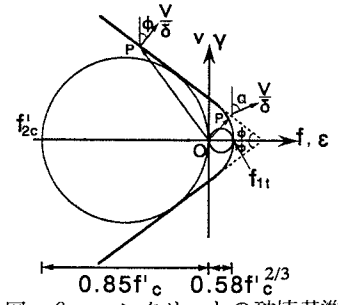
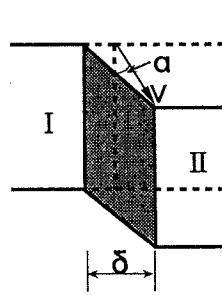
図-4 最大荷重時のひび割れ

キーワード：せん断伝達・X線造影法・ひび割れ性状・変位の不連続場

〒963 郡山市田村町徳定字中河原1 TEL & FAX 0249-56-8721

4. セン断伝達力に対する検討

せん断伝達面では、図-3、4に示したように、初期に発生した微細な斜めひび割れによって、あたかもせん断面上に局所的なひび割れ領域が形成されるような性状を示すことがX線造影によって観察された。このことは、せん断伝達作用下におけるコンクリートには、せん断面上に局所的な塑性領域が形成されるような性状となることを示しているように思われる。



このことより、せん断伝達力の検討には、せん断面には変位の不連続場が形成されると仮定（図-5）し、上界定理によるせん断伝達力を求めることとした。また算定式の誘導に際しては、有効係数を用いなくて、コンクリートの最大主圧縮応力度 f_{2c} を圧縮強度 f'_c の0.85倍、最大主引張応力度 f_{11} に $2/3$ 乗則が成立するとし、図-6に示すコンクリートの破壊基準を用いた。

塑性仕事の釣り合いは、図-7に示すような力と変位の方向より求めた。これより、本実験の力学的鉄筋比 β_y におけるせん断強度比 (v/f'_c) は、 $\alpha = \phi$ の条件で、次式のようになる。

$$\frac{v}{f'_c} = \frac{0.85(1 - \sin \phi)}{2 \cos \phi} - \beta_y \cos \theta + \beta_y \tan \phi \sin \theta$$

$$\frac{0.85(1 - \sin \phi) - 2 \frac{0.58 f'_c{}^{2/3}}{f'_c} (1 + \sin \phi)}{2 \sin \theta} \leq \beta_y < \frac{0.85(1 - \sin \phi)}{2 \sin \theta}$$

$$\beta_y = \frac{A_s \cdot f_y}{b h \cdot f'_c} : \text{力学的鉄筋比} \quad \phi : \text{内部摩擦角 } 37^\circ$$

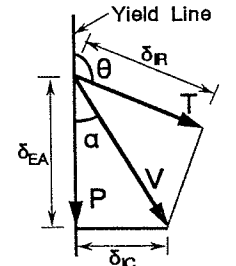


図-7 力と変位の方向

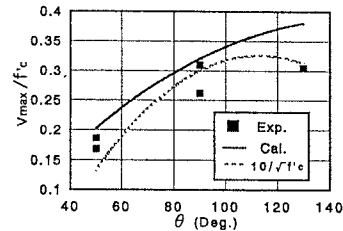


図-8 計算値と実験値を比較

上式による計算結果と実験結果を比較したものが図-8である。また比較のため、上式にExner¹⁾の応力-ひずみ関係を弾塑性モデルによる有効係数を用いた場合の計算値も示した。本算定式は、 $\theta = 50^\circ$ 、 90° の場合若干大きめであるが、実験結果とほぼ一致する傾向を示した。しかし交角が大きい $\theta = 130^\circ$ の場合、実験値が計算結果を大きく下回る結果となった。これは、交角が大きい場合、ダウエル作用により、終局強度に至る前にコンクリートの軟化が生じて、本算定式では考慮されていないためと思われる。

5. まとめ

本研究は、補強筋がせん断面に対して任意の角度で配置されている場合のせん断伝達性状について、X線造影法によるひび割れ性状から塑性論的なアプローチによるせん断耐力について検討を行った。

- (1) X線造影法を併用したPush-off試験では、せん断面上に微細な斜めひび割れによる局所的なひび割れ領域が見られ、これが塑性的な性状の誘因となっているように思われる。
- (2) このことより、せん断伝達強度の解析には塑性論的な手法が妥当と考え、上界定理による算定式を導いた。従来、塑性論的な手法では有効係数を用いられているが、ここでは、コンクリートの終局圧縮強度、および引張強度に $2/3$ 乗則による破壊規準を仮定した。この結果、せん断面と補強筋の交角が $\theta = 90^\circ$ 以下の場合、実験結果の傾向とほぼ一致した。しかし交角が大きい場合、有効係数を用いる方法に比べて、計算値は実験値を大きく上回った。
- (3) このことより今後は、斜めひび割れに平行な方向の強度低下とコンクリートの軟化について検討し、算定式に適応させたい。

【参考文献】

- 1) Exner, H.: On the Effectiveness Factor in Plastic Analysis of Concrete, *ibid*, pp.35-42, 1979.