

1 まえがき

鉄筋コンクリート構造物の耐久性、使用性を確保するには、ひびわれ幅の制御が重要である。これまで、曲げひびわれについては多くの研究がなされ、多くの提案式もある。しかし、せん断ひびわれについては鉄筋応力、かぶり、鉄筋間隔などの要因に加え、ウェーブ幅、せん断支間比 a/d 、スターラップ間隔、傾斜、ひびわれ角度など多くのパラメータが考えられ、ひびわれ幅を定量的に把握するにはいたっていない。本研究では、土木学会RC示方書（1986年）¹⁾にもりこまれている曲げひびわれ幅算定式をもとに、前述の要因を考慮してせん断ひびわれ幅算定式を導き、適用性を検討したものである。

2 せん断ひびわれ幅算定式

文献1)では、曲げひびわれ幅 w の算定は式(1)のように最大ひびわれ間隔と平均ひずみの積で示している。

$$w = k_1 \{ 4c + 0.7(c_0 - \phi) \} (\sigma_{se}/E_s + \varepsilon_g) \quad (1)$$

ここに、 c ：かぶり、 c_0 ：鉄筋間隔、 σ_{se}/E_s ：平均ひずみ、 ε_g ：コンクリートの乾燥収縮、クリープによるひびわれ幅の増加を考慮した数値、 k_1 ：鋼材の付着性状の影響を表す定数であり、ここでは ε_g, k_1 のあつかいは省略する。

せん断ひびわれ幅算定式は、図-1のような関係から導いた。かぶりはウェーブ幅を考慮し、ウェーブ中心からスターラップまでの距離とかぶりの平均とした（式(2)）。鉄筋はひびわれ面を角度 $(\alpha + \beta)$ で横ぎっており、鉄筋間隔、径は式(3)、(4)で表わした。

$$c = (b/2 - \phi)/2 \quad (2)$$

$$c_0 = s \sin \alpha / \cos(\alpha + \beta - \pi/2) \quad (3)$$

$$\phi = \phi \cos(\alpha + \beta - \pi/2) \quad (4)$$

ここに、 α, β ：部材軸とスターラップ、ひびわれのなす角度、 b ：ウェーブ幅、 s ：スターラップ間隔。式

(2)～(4)を式(1)のひびわれ間隔の項に代入すれば、図-1 ひびわれ幅算定方法

せん断ひびわれのひびわれ間隔 l は式(5)となる。

$$l = b + 0.7s \sin \alpha / \cos(\alpha + \beta - \pi/2) - 2.7\phi \cos(\alpha + \beta - \pi/2) \quad (5)$$

一方、ひびわれ間の鉄筋の長さ ls は式(6)となり、このときの鉄筋の伸び Δl は式(7)となる。

$$ls = l / \sin(\alpha + \beta) \quad (6)$$

$$\Delta l = ls \cdot \bar{\varepsilon} \quad (7)$$

$\bar{\varepsilon}$ は、スターラップの平均ひずみであり、文献1)より式(8)で与えられる。

$$\bar{\varepsilon} = (V_s - V_c) s / [A_w \cdot z (\sin \alpha + \cos \alpha)] \quad (8)$$

ここに、 V_s ：せん断力、 V_c ：コンクリートの分担するせん断力、 A_w ：1組のせん断補強鉄筋の断面積、 z ：圧縮合力の作用点から引張り鉄筋図心までの距離。ところで、せん断ひびわれの開く角度は a/d との関係が強く²⁾、せん断ひびわれ幅 w は式(9)となる（図-2）。

$$w = \Delta l \cos(\beta - \gamma) \quad (9)$$

ここで、 γ ：せん断ひびわれの開く方向 $\gamma = \tan^{-1}(d/a)$ 。

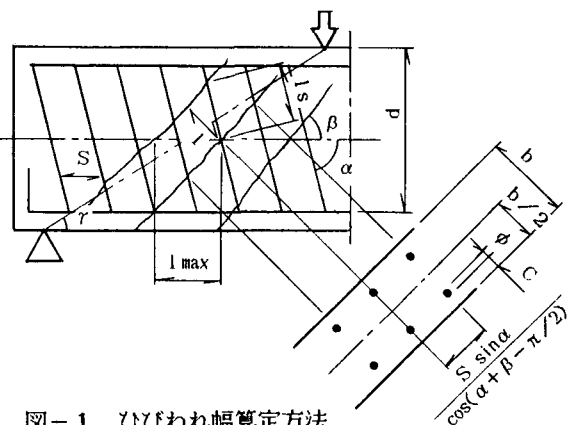
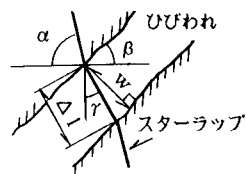


図-2
スターラップの伸び
とひびわれ幅の関係



3 提案式の適合性

提案式の適合性を検討するため図-3、表-1の供試体の載荷実験をおこなった。実験はスターラップの径、鉄筋比、傾斜を変化させ、スターラップのひずみ、せん断ひびわれ幅（ひびわれ幅測定値の補正 $w = w' \cdot \sin(\beta + \delta)$ 、 w' :測定値、 δ :部材軸となすひびわれ幅測定角度）、ひびわれ角度、ひびわれ間隔を測定した。

図-4、5にスターラップのひずみ、ひびわれ間隔を示す。提案式と比較のためCEB³⁾の計算結果を示した。ひずみは式(8)がほぼ一致している。ひびわれ間隔は、両式とも実測値よりもわずかに大きい。

ひびわれ幅の実測値と計算値の比較は図-6~8のとおりである。提案式は、鉄筋間隔が大きくひびわれ幅の大きい供試体や、傾斜スターラップによりひびわれの小さいときにはCEBより適合性がよい。それらの中間ではCEBのほうが適合性はよいが、大きいちがいはない。提案式は、広範囲の諸元においてCEBより適合性がよいと考えられる。

<参考文献> 1) 土木学会：コンクリート標準示方書・設計編,1986 2) 吉田,丸山,向井,橋本：鉄筋コンクリートはりのせん断性状に関する一考察,第8回コンクリート工学年次講演会論文集,1986 3)CEB-FIP: CEB-FIP MODEL CODE FOR CONCRETE STRUCTURES,1978

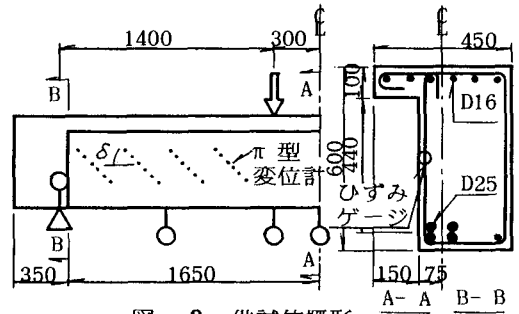


図-3 供試体概形

表-1 せん断補強鉄筋の種類

供試体	種類	傾斜角 (度)	間隔 s (cm)	鉄筋比 p_w (%)
A	D10	90	12.2	0.78
B	D6	90	5.4	0.78
C	D13	90	21.6	0.78
D	D10	90	8.6	1.11
E	D10	90	18.2	0.52
F	D10	45	17.2	0.78

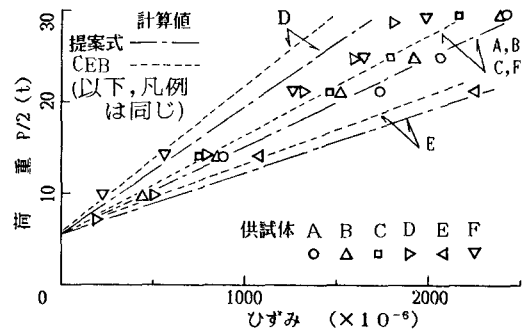


図-4 スターラップのひずみ

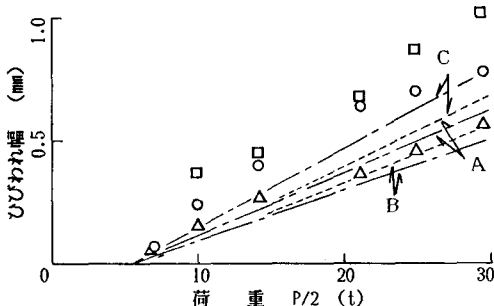


図-6 提案式との比較（鉄筋径の変化）

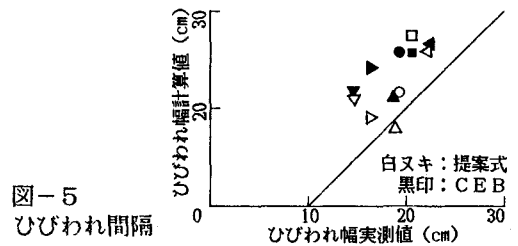


図-5 ひびわれ間隔

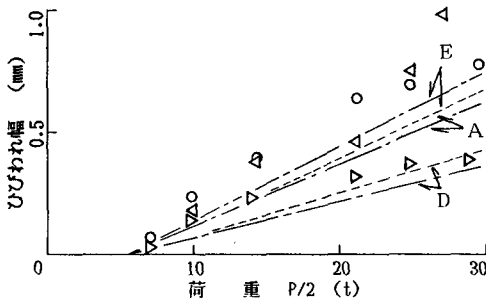


図-7 提案式との比較（鉄筋比の変化）

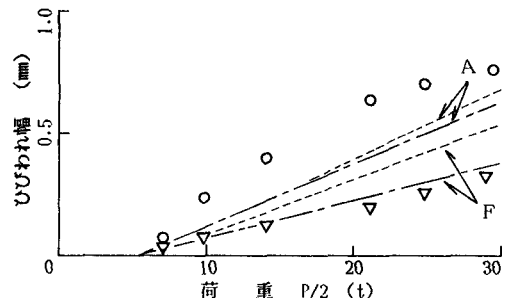


図-8 提案式との比較（スターラップの傾斜）