

V-121 Fモードひびわれの数値解析とそのパソコンプログラム

埼玉大学工学部 学生員 ○石井賢史
 機関組技術研究所 正会員 吉川弘道
 名古屋大学工学部 正会員 田辺忠顕

1. 数値解析の手順

本文は、併報[1]にて提示した、ひびわれ界面の力学挙動(Fモードひびわれ)に関する解析モデルを用い、その数値解析を実行するための計算フローについて示し、数値シミュレーションおよび実験結果との比較を行う。

計算方法は、変位制御による増分計算を実施し、そのときの応答値 $d\tau_{nt}^c$ 、 $d\sigma_n^c$ を求めるもので、図-1の計算フローに従って処理する。このため、文献[1]にて導出した増分型構成方程式(4) および表-2の基本4係数を用いる。

まず、①諸係数の設定、②解析条件と③初期値の入力によって計算条件が決まる。(r_n はひびわれ界面直交方向の拘束バネ定数、 r_t は接線方向のそれを表す)。次に、④基本4係数(接線係数)と⑤剛性マトリックス[F]を各ステップ毎に更新する(この中には、 K_0 と q を求解するための反復繰返しが含まれる)。そして、⑥与えた増分変位に対する応答増分応力を算出し、⑦前ステップまでの値に重ね合わせ、④～⑥を所定量まで繰返す。最後に、⑨図化処理と⑩プリント出力を行う。

使用機器として、PC-9801Eを用い、200ステップの計算(倍精度)を行った場合、所要計算時間は、約8分であった。

(図中の記号については、[1] 参照)

2. 数値シミュレーションおよび実験結果との比較

上記の計算手順に従い、4種の異なる境界条件下の数値シミュレーション、および Millard, Johnson [2] によるひびわれ面のせん断実験結果と比較し、各々図-2および図-3に示した。

図-2は、ひびわれ界面直角方向の境界条件として、(a) 変位 δ_n 一定、(b), (c) 弾性バネによる拘束、(d) 応力 σ_n^c 一定、の4ケースを設定し、強制変位 $\delta_t = 0 \sim 2 \text{ mm}$ を与えたときの、応答値 τ_{nt}^c 、 σ_n^c を示したものである。(本例は、コンクリート強度 $f_c = 30 \text{ MPa}$ 、骨材の最大寸法 $D_a = 16 \text{ mm}$ を想定している。) また、パラメーターとして、(a) ～ (c) では初期ひびわれ幅 δ_{n0} 、(d) では定垂直応力 σ_n^c を用いている。同図のパラメトリック・スタディーは、通常観測される実験結果を定性的によく表現し、さらに、境界条件の違いによる応答値(せん断応力、垂直応力)への影響を明瞭に示していると判断される。

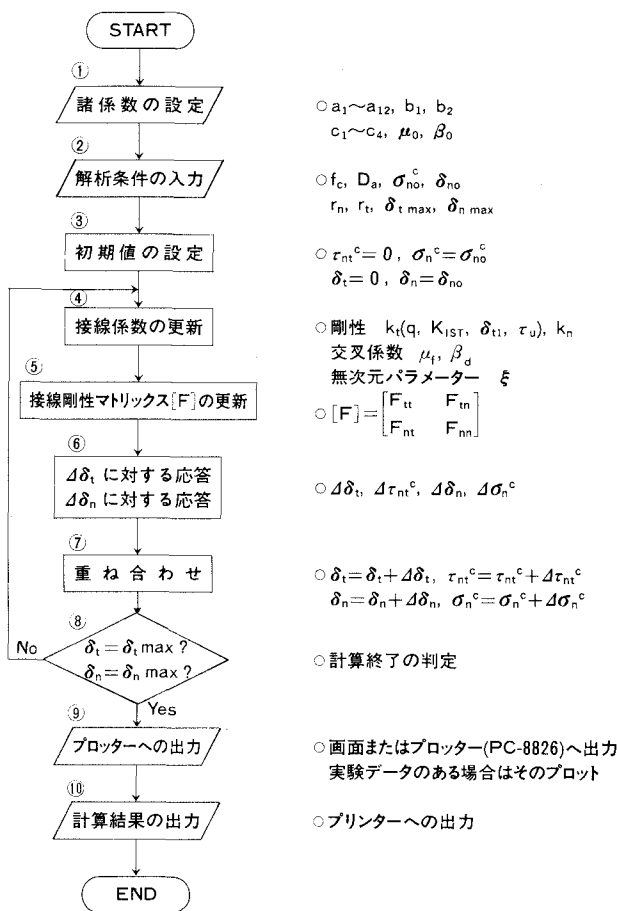


図-1 Fモードひびわれの数値解析フロー
 (変位制御による増分重ね合わせ法)

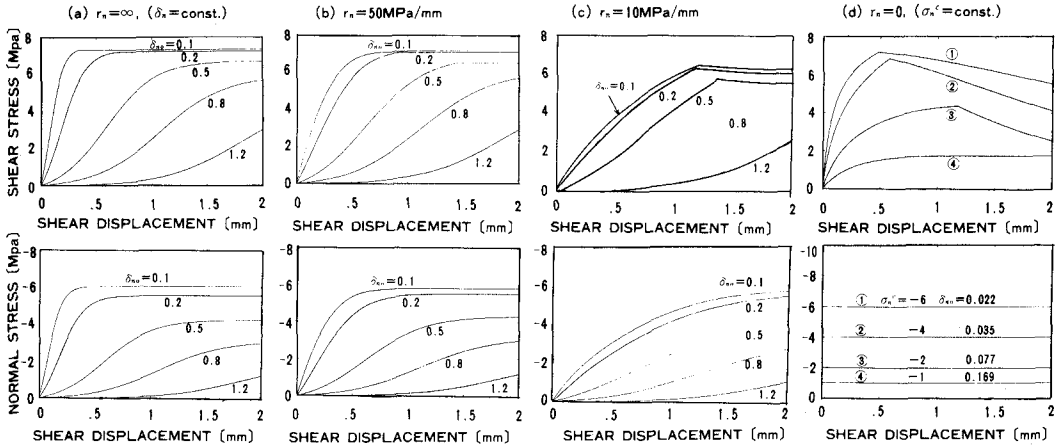
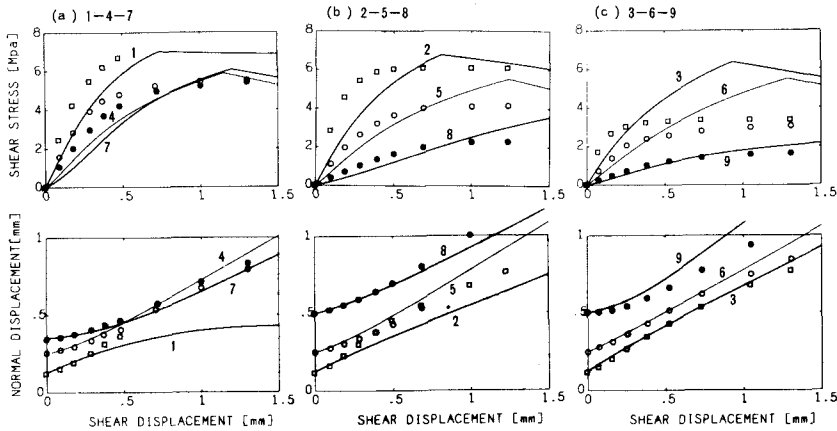


図-2 4種の境界条件下におけるひびわれ界面の力学挙動（数値シミュレーション）

(a) δ_n 一定、(b),(c) 弾性バネによる拘束、(d) σ_{nc} （圧縮応力）一定

図-3は、ひびわれ直交方向に埋設鉄筋を有する供試体による直接せん断実験(Millard, Johnson[2])に、解析値を併記し比較したものである。同図の実験は、鉄筋量(2#08, 2#12, 2#16)および初期ひびわれ幅(0.125, 0.25, 0.50mm)をパラメータとする9種の実験結果で、これを□○●にて記し、解析値を実線で示した。（詳細な条件については同図下の付表参照）。本実験は、界面の力学4量($\tau_{nt}^0, \sigma_n^0, \delta_t, \delta_n$)全てが測定されている貴重な実験であるが、図-3では、せん断すべり δ_t に対する、せん断応力 τ_{nt}^0 （同図上段）とひびわれ幅 δ_n （同図下段）の変化を9供試体に示した。図-3より、初期ひびわれ幅や拘束鉄筋剛性の影響を知ることができるとともに、著者らの提案手法に基づく解析値もこれによく追従している。



Analytical Condition

ξ	a_{12}	c_1	c_3	Initial crack width δ_{no} (mm)			Concrete
0.5	0.245	1	0.5	□ 1 : 0.125	□ 2 : 0.125	□ 3 : 0.125	$f_c = 30 \text{ Mpa}$ $D_n = 16 \text{ mm}$
				○ 4 : 0.25	○ 5 : 0.25	○ 6 : 0.25	
				● 7 : 0.35	● 8 : 0.50	● 9 : 0.50	

図-3 埋設鉄筋を有する直接せん断実験 (Millard, Johnson 1985) との比較

<参考文献> [1] 吉川・田辺；ひびわれ界面の力学挙動（Fモードひびわれ）に関する解析モデル、土木学会第41回年次学術講演会、昭61.11, [2] Millard・Johnson; Shear Transfer in Cracked Reinforced Concrete, Magazine of Concrete Research, March, 1985, pp 3 ~15.