

清水建設㈱研究所 正会員 ○ 塩屋 俊幸

〃 〃 〃 岡田 武二

1. まえがき

荷重の集中や形状の変化が存在する場合、その近傍において応力集中が生ずる。応力集中箇所も他の箇所と同様に、使用状態、終局状態に対する安全性と場合によっては変形性能（靱性等）を検討する必要がある。応力集中箇所に対する設計法としては、定量的な値が与えられていない場合は用心鉄筋が配置され、何らかの方法で応力状態が明らかにされた場合は許容応力度設計法的な取り扱いがなされてきており、ひびわれ発生以後のひびわれ進展状況、変形性能等についての検討はほとんどなされていない。本報告は、種々の応力集中のうち断面変化のある部材が曲げを受けた場合について二次元弾塑性有限要素法による解析を行ない、ひびわれ幅におよぼす変断面の角度の影響、ひびわれ幅に対する鉄筋の補強効果について調べたものである。

2. 数値解析の手法¹⁾、モデル化、解析ケースについて

コンクリート材の要素は三角形定歪要素とした。構成方程式としては主応力方向を異方性軸とするような直交異方性によるモデルを採用し、応力-歪関係は材料の一軸応力-歪関係に基づいて定めた。非線形解析法はいわゆる step-iteration 法と呼ばれるもので 1 step ごとに修正 Newton-Raphson 法により収束計算を行ない、step 間は荷重増分法とした。ひびわれは主応力のうち少なくとも 1 つが引張の場合、主ひずみが限界ひずみを越える場合に引張主応力方向に垂直な面にひびわれが生ずるとした。ひびわれが生ずると解放すべき弾性ひずみエネルギーは内部応力に等価な要素節点力に置換し、ひびわれ発生後の要素は発生方向の剛性を零とした。またひびわれ発生後のひびわれ面に作用するせん断力は骨材のかみあいによって伝達されるが、ひびわれ発生前のように全て伝達される訳ではない。

本解析ではひびわれ発生後のせん断剛性を半分に落として解析した。圧縮破壊は、2 軸圧縮破壊実験結果とよく一致するように八面体応力仮説を修正して用い、圧縮破壊後は要素の剛性を零とした。

鉄筋及び P C 鋼材は棒要素とし、応力-歪関係は Bi-linear 型で与えた。

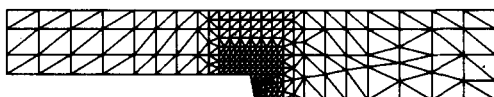
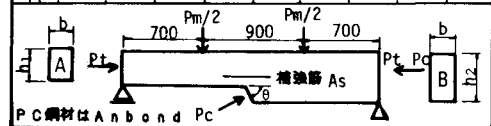
解析は全 11 ケース行ない、内訳を表-1 に示す。解析に用いた要素分割の一例 ($\theta = 80^\circ$) を図-1 に示す。

3. 解析結果と考察

数値解析手法、モデル化などの解析上の手法の妥当性を確認するために、前報²⁾の実験結果と今回の解析結果を比較した。その結果は図-2~5 に示すとおりでたわみ、ひびわれ幅、コンクリートの最大圧縮曲げ歪、補強鉄筋歪等すべて実験結果とよく一致しており、本解析手法が妥当なものであると判断し以下各パラメータに対する考察を行なう。

表-1 解析ケース一覧

Case	θ (°)	Pt (ton)	Pc (ton)	Pm (ton)	h1 (cm)	h2 (cm)	b (cm)	As (cm ²)	p 100As h ₁ h ₂
1	80	40	16	0-22	30	42	24	0	0
2	"	"	"	"	"	"	"	1.43	0.20
3	"	"	"	"	"	"	"	2.58	0.40
4	"	"	"	"	"	"	"	4.28	0.59
5	"	"	"	"	"	"	"	5.70	0.79
6	"	"	"	"	"	"	"	7.13	0.99
7	0	0	0	"	"	30	"	0	0
8	30	"	"	"	"	42	"	"	"
9	60	"	"	"	"	"	"	"	"
10	80	"	"	"	"	"	"	"	"
11	90	"	"	"	"	"	"	"	"

図-1 要素分割の一例 ($\theta = 80^\circ$)

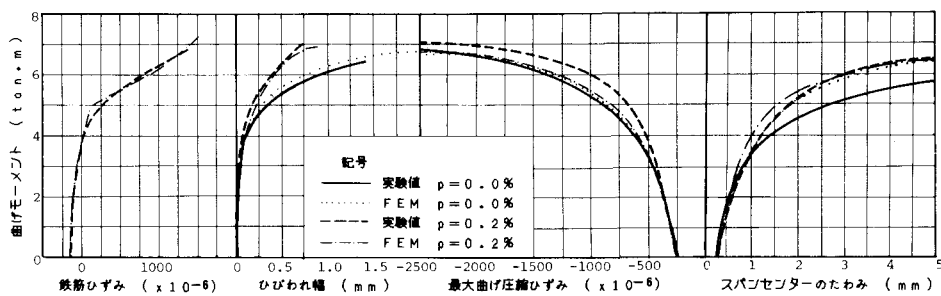


図-2 実験値と解析値の比較

図-3, 4は隅角部の角度 θ を変化させた場合(Case 7~11)の弾性域における端部プレストレス P_T による隅角部圧縮主応力 σ_2 の応力集中度, 曲げ載荷重 P_M による隅角部引張主応力 σ_1 の応力集中度を示したものである。いずれの場合も $\theta \geq 60^\circ$ では応力集中度の変化は少なく, $\theta = 0 \sim 60^\circ$ では θ によって大きく影響を受け, $\theta = 60 \sim 90^\circ$ での影響は少ない。

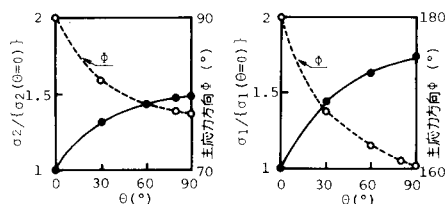


図-3 P_t による σ_2 図-4 P_m による σ_1

図-5は, θ を変化させた場合の隅角部ひびわれ幅を比較したものである。 θ の大きい程ひびわれ拡幅が早い, 全体の挙動にはほとんど差がなく, θ の大小はひびわれ拡幅にはほとんど影響がないといえる。

図-6は, 補強筋によって隅角部のひびわれ幅がどの程度制御できるかを調べたものである。隅角部のひびわれ幅は, 中間プレストレス P_c の影響により一様断面部材の場合より早く拡幅するが, 破壊時に近づくときほとんど差がなくなる。補強筋はひびわれ幅が0.1mm程度になるころから効果を現わしているが, これは, 補強筋のかぶりを3cmとしたため, 補強筋位置まで, まだひびわれが伸びていないためである。Case2($p=0.2\%$)は一様断面部材($\theta=0^\circ$)がひびわれ発生する荷重での隅角部の引張合力に相当する補強筋を配置したものであるが, この程度の補強でひびわれ幅は大幅に改善され一様断面部材とほぼ同程度のひびわれ幅となる。Case3~6($p=0.4 \sim 0.99\%$)の間ではひびわれ幅はさほどの変化はないこと, 図-7に示すように $p=0.4\%$ では曲げモーメント $M=5.6 \text{ ton}\cdot\text{m}$ が作用するとA断面のひびわれの方が優勢となっていることから, 本試験体でのひびわれ制御には $p=0.4\%$ 程度が最適な鉄筋量であり, それ以上の鉄筋を配置してもひびわれ幅を制御には無意味である。

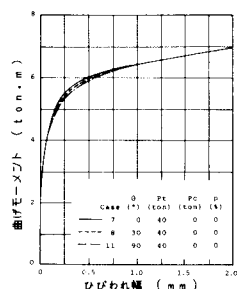


図-5

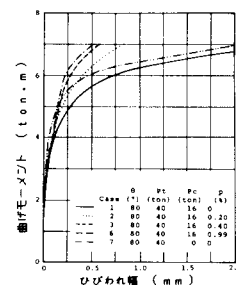


図-6

4. あとがき

変断面を有するPC部材が曲げを受ける場合のひびわれ幅は変断面の角度にはほとんど影響ない。変断面部のひびわれを制御する最適な鉄筋量を定めるにはもっと多くのケース・スタディが必要であるが, 必要以上に補強筋を配置してもひびわれ幅制御に対する効果は少ない。

(参考文献) 1) 磯畑脩「コンクリート構造体の直交異方性力学モデルとその適用性について」日本建築学会論文報告集, 第265号

2) 塩屋, 岡田「PC中間定着部のひびわれ及び破壊モーメントについて」

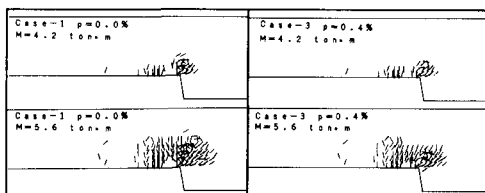


図-7 ひびわれ状況