

弾塑性解析による鉄筋腐食膨張圧の推定

金沢大学大学院 学生員 ○八島 明生

金沢大学工学部 正 員 梶川 康男

1. まえがき

鉄筋コンクリートは、耐久性と経済性に優れていることから、広い範囲の構造物に使用されている。しかし近年、鉄筋コンクリート構造物の耐久性に関する問題が取り上げられるようになってきており、鉄筋腐食やアルカリ骨材反応に代表されるような、早期劣化による被害は少なくない。鉄筋腐食については、曲げひびわれ箇所の鉄筋が腐食する場合と、腐食による体積膨張が、かぶりコンクリート部分の軸方向ひびわれ（以下、縦ひびわれ）を引き起こす場合と大きく2通りに分けられる。特に後者の場合、体積膨張による腐食膨張圧やひびわれ状況を外部より測定することはかなり困難である。そこで、本報告は、角本等の研究¹⁾及び昨年の研究報告³⁾に引き続き、ひびわれ状況の把握、腐食膨張圧の推定を解析的に行った。

2. 解析方法

腐食膨張挙動モデルは、腐食生成物層をモデル化し、それに体積ひずみを与える方法を用いた¹⁾。腐食生成物をモデル化するにあたり、対象となる腐食深さが極めて小さいため通常の要素では数値的に不都合が生ずる。そこで本研究では、山田等の提案した接合要素²⁾を拡張した層要素を用いた。

図-1に解析対象とした鉄筋コンクリートモデルを示す。解析は対称性を考慮して全断面の1/2に対して行った。(a)は鉄筋要素、腐食生成物要素、および付着要素、(b)はモルタル要素の分割図である。鉄筋は直径1.6cmの円形と仮定し、腐食生成物要素は解析対象の腐食重量減に応じた厚さで鉄筋内に組み入れた。付着要素はモルタル要素と腐食生成物要素の間に0.1mm幅で配置した。また、ひびわれの判定条件には、最大主応力が引張強度に達するとひびわれが発生するもの（以下、type A）と、最大主応力が引張強度に達すると完全塑性状態となり最大主ひずみが 200μ に達するとひびわれが発生するもの（以下、type B）と、最大主ひずみが 300μ に達するとひびわれが発生するもの（以下、type C）の3種類を用いた。解析は膨張率を順次増加させて行った。

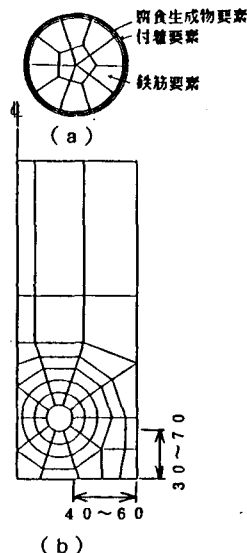


図-1 有限要素分割

3. 結果と考察

ひびわれ状況の解析結果の一例を図-2、図-3に示す。これは、縦ひびわれ発生時のひびわれ状況である。図-2にはひびわれ判定条件を統一し、かぶり厚の違うものを示してある。卓越したひびわれはどれも鉄筋間方向、底面方向、側面方向に伸びているが、縦ひびわれ発生場所は底面かぶり厚と側面かぶり厚の小さい方に入っている。また、縦ひびわれはそれぞれ腐食膨張率2.1、2.7、2.7で発生している。このことから、最小かぶり厚が縦ひびわれ発生時の膨張率に大きく影響しているということがわかる。

図-4に実験³⁾で観測されたひびわれ状況を示す。この供試体の断面寸法は150mm×200mmで、底面かぶり厚30mm、側面かぶり厚40mmである。実験結果においても、卓越ひびわれ箇所や縦ひ

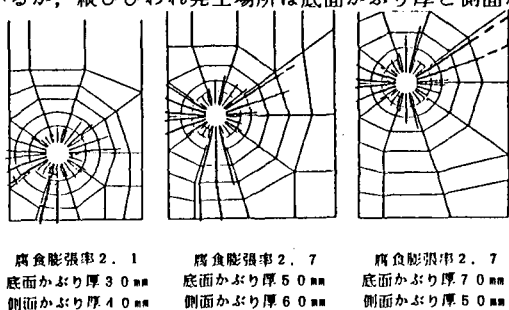


図-2 ひびわれ状況（解析結果）

びわれ発生箇所については、解析結果と同様なことがいえる。図-3には、かぶり厚を統一し、ひびわれ判定条件の違うものを示してある。ひびわれ状況に関してはどのタイプも図-2と同様なことがいえるが、ひびわれ進展速度は、type A が比較的速く、type C が遅くなっている。

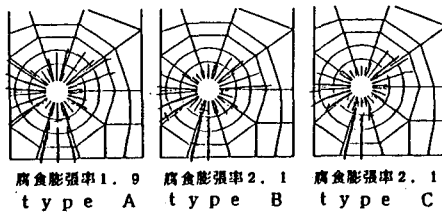


図-3 ひびわれ状況(解析結果)

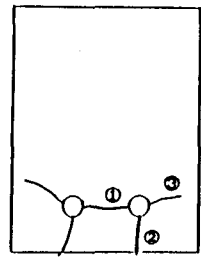


図-4 ひびわれ状況
(実験³⁾結果)

図-5は、底面かぶり厚30mm、側面かぶり厚40mmのケースにおける、縦ひびわれ発生時(腐食膨張率2.1)および、その直前(腐食膨張率1.9)の場合の、鉄筋周辺での鉄筋表面に対して垂直方向のモルタルの応力分布である。ひびわれ発生によって応力開放が生じているので、この応力分布の平均応力を膨張圧とした。

このように解析より得られた膨張圧と膨張率との関係図を図-6に示す。(a)は図-2のケース、(b)は図-3のケースにおける関係図である。膨張圧のピークは最小かぶり厚が小さいほど低く、塑性域が広いほど高くなっている。しかし、縦ひびわれ発生以降をみるとどの場合もほぼ一定の値(100kgf/cm²程度)を示している。

---△--- 腐食膨張率 1.9
—□— 腐食膨張率 2.1

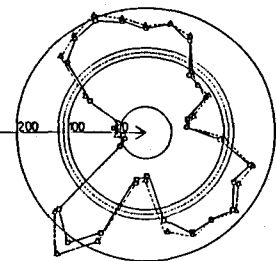


図-5 応力分布

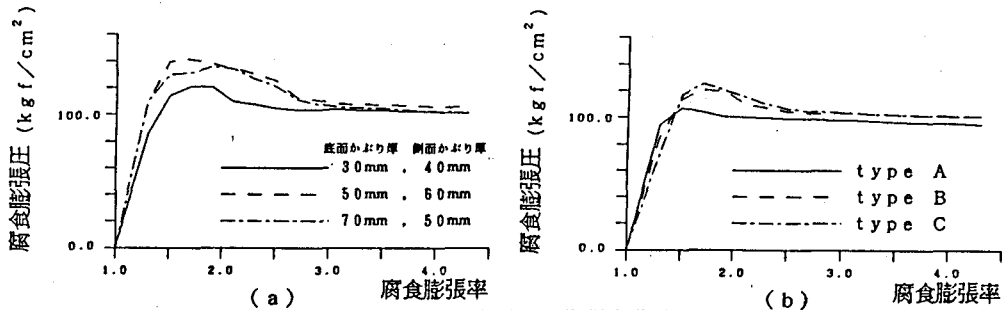


図-6 膨張圧-膨張率曲線

図-5のように求めた縦ひびわれ発生時の膨張圧の推定結果を表-1に示す。この表からも縦ひびわれ発生時の膨張圧は100 kgf/cm²程度ということが出来る。

表-1 膨張圧の推定結果

単位: kgf/cm²

底面かぶり厚(mm)	30	30	30	50	70	70	70
側面かぶり厚(mm)	40	50	60	60	60	40	50
type A	100	101	103	108	109	108	109
type B	108	107	106	112	115	109	111
type C	112	110	108	114	117	113	115

以上、本報告は、はりの切断面について平面的にひびわれ状況の把握と膨張圧の推定を行ったが、今後はこれを立体的にとらえ、鉄筋コンクリート構造物の膨張挙動解析を進めて行く予定である。

参考文献 1) 角本・梶川・川村; コンクリート中の鉄筋腐食による膨張挙動の弾塑性解析とその適用性, 土木学会論文集, 第402号, 1989. 2) 山田・江沢; 接合要素とその有限要素解析における応用, 生産研究, 31巻, 6号, 1979. 3) 八島・梶川; コンクリート中の鉄筋腐食による膨張圧の推定, 土木学会第44回年次学術講演会講演概要集5, V-271, 1989.