

V-14

反曲点を有するRCはりの有限要素解析

北海道大学大学院 学生員 真田 修
 北海道大学工学部 正 員 古内 仁
 北海道大学工学部 正 員 上田 多門
 北海道大学工学部 正 員 角田 与史雄

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物において、ラーメン構造あるいは連続ばりのように支間に反曲点がある場合のせん断挙動は複雑となる。これらの構造物のせん断耐力の評価に対しては、マクロ的な研究がほとんどであり、部材の変形、応力状態あるいは斜ひびわれの性状等に着目した研究は皆無に等しい。本研究は、RC構造部材の挙動解明の研究用に開発された鉄筋コンクリート構造物解析用有限要素プログラム「COMM2」¹⁾を用いて、反曲点を有するはりの挙動を調べたものである。解析の対象としたはりは、昨年度行われた実験²⁾のうちせん断スパンの異なる2体の供試体で、破壊に至るまでのせん断性状について検討を行った。

2. 有限要素解析の概要

2-1 概要

有限要素解析に使用したプログラムは「COMM2」である。このプログラムによる計算は、平面応力状態で、有限要素法を用いて行われている。ひびわれ進展領域は引張軟化と骨材のかみあわせの両方を含めたリンク要素を使用している。供試体の要素分割は、実験によって観察されたひびわれを基に行う。また、ひびわれに接しないコンクリート要素は、分散ひびわれモデルを用いた要素としているが、ひびわれに接する要素は分散ひびわれの生じない要素とする。解析結果は、各要素の主応力軸ひずみ、ひびわれ開口変位、およびすべり変位として得ることができる。

2-2 入力データ

「入力データ」は、「節点データ」、「要素データ」、「荷重データ」、「制御データ」の4種類である。「節点データ」にはx座標、y座標、ならびにx、y方向での境界条件を入力した。要素データでは大別して3タイプの要素に分類した。1つは「コンクリートと鋼の要素」2つめは「ボンドリンク要素」、3つめは「クラックリンク要素」である。「コンクリートと鋼の要素」では、使用した各材料の強度や種類、供試体の

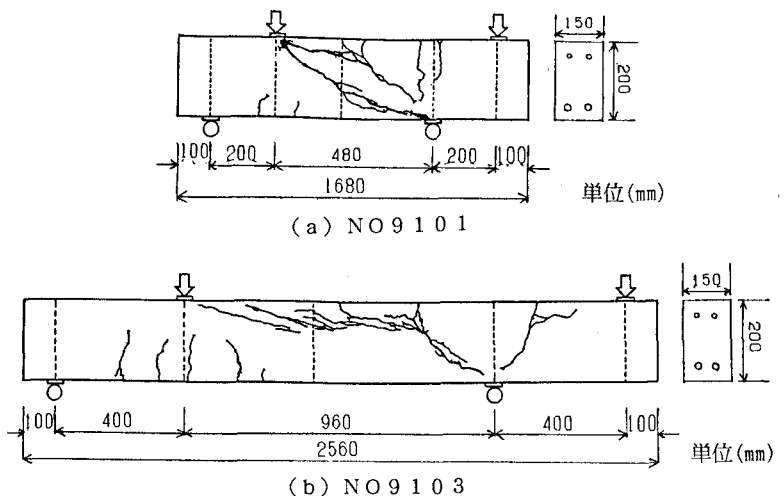


図-1 供試体

Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Beams with a Inflection Point
 by Osamu SANADA, Hitoshi FURUUTI, Tamon UEDA, and Yoshio KAKUTA

厚さ、さらに要素節点番号を入力データとした。要素は8節点4側面要素を使用した。

「ボンドリンク要素」では、コンクリート要素ならびに鋼要素の節点番号、コンクリートの圧縮強度、棒の直径と本数、さらにリンク要素の角度を入力データとした。「クラックリンク要素」では節点番号、供試体の厚さ、コンクリートの圧縮強度、クラック面の角度を入力データとした。「制御データ」では、ガウス点の数、繰り返しの最大を入力データとした。荷重データとしては、「荷重制御」によるデータを入力し、計算の繰り返しの最大の回数は30回とした。

解析を行った供試体は、図-1に示す2体のほりでNO9101は、比較的せん断スパンの短いほりで、斜びびわれが正の曲げモーメント側と負の曲げモーメント側に発生して破壊に至ったものである。

NO9103は、せん断スパンが長く、負のモーメント側の斜めびびわれだけで破壊に至ったものである。

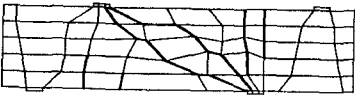
これらの破壊状況を参考に、曲げびびわれおよび斜めびびわれを理想化して要素分割を行った(図-2参照)。

なお、鉄筋は、コンクリート要素の節点と一致する箇所要素を分割し、ボンドリンク要素で節点を結合した。また、表-1に両供試体のコンクリート圧縮強度、使用した鉄筋の降伏強度、および破壊荷重を示し、表-2に工学単位と国際単位との単位換算を示す。

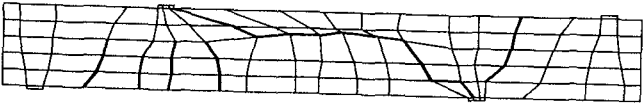
3. 解析結果

3-1 破壊荷重および破壊形式

今回の解析では、荷重制御(載荷点において荷重値を段階的に入力する)による方法をとったので明確な破壊荷重を得ることはできなかった。しかし、図-3および図-4に示すように荷重-変位曲線から、およその最大荷重値を推察することができる。図はそれぞれ2つの載荷点の変位を表したものであるが、両者とも大きな曲線を描き、非線形性を示す。NO9101では載荷点AとB、NO9103では載荷点Bが大きく変位している。これらの図から、NO9101は最大荷重が28.0(tonf)付近、NO9103は22.0(tonf)付近であると思われる。また、破壊に近づく要因となったのは、各要素の応力値を調査した結果、NO9101、NO9103ともに、負の最大曲げモーメント位置である右側の支点付近において、コンクリート要素、鉄筋要素がそれぞれの材料強度に達していることがわかった。このことから、いずれのほりにおいても解



(a) NO9101



(b) NO9103

太線：クラックリンク

図-2 要素分割

表-1 圧縮強度、主鉄筋降伏強度および破壊荷重

No.	コンクリート 圧縮強度 (kgf/cm ²)	主鉄筋 降伏強度 (kgf/cm ²)	破壊荷重 (tonf)
9101	285.0	3767.0	28.6
9103	350.0	3767.0	18.0

表-2 単位換算表

工学単位	国際単位
N/m ²	P
kgf/9.8m ²	(パスカル)

析上は、右側支点付近の曲げ破壊であることが推定される。実験上では、両方の供試体とも負の最大曲げモーメント位置である右側支点付近において終局曲げモーメントに達してはなく、斜めひびわれによるせん断破壊であるのに対して、解析上で曲げ破壊に至ったのは有限要素解析において急速なせん断ずれによる破壊モードをもたないためである。そのため、解析上ではせん断破壊（主に斜引張破壊）を生じさせる荷重に達しても破壊せず、鉄筋の降伏あるいはコンクリートの圧壊によって耐力を失うことになる。

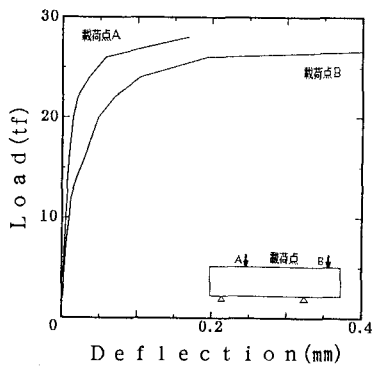


図-3 NO9101 荷重-変位曲線

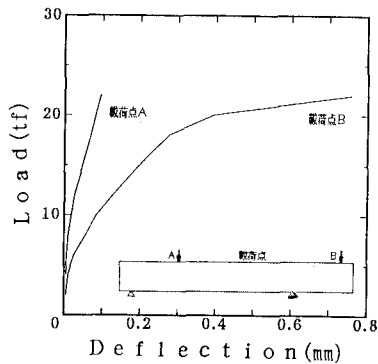


図-4 NO9103 荷重-変位曲線

3-2 主応力とひびわれの進展

図-5および6は、はりの側面における解析上の主応力とひびわれの進展を左側に、同じ荷重値による実験でのひびわれ図を右側に示した。解析上の主応力はそれぞれ実線で引張応力を、破線で圧縮応力を表した。

また、太線は解析上のひびわれの進展を表している。

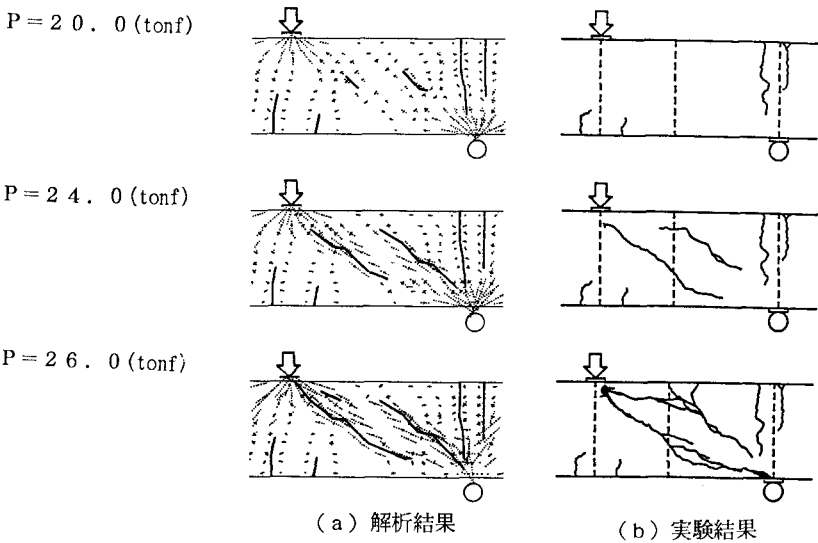


図-5 NO9101のはり側面における主応力とひびわれの進展

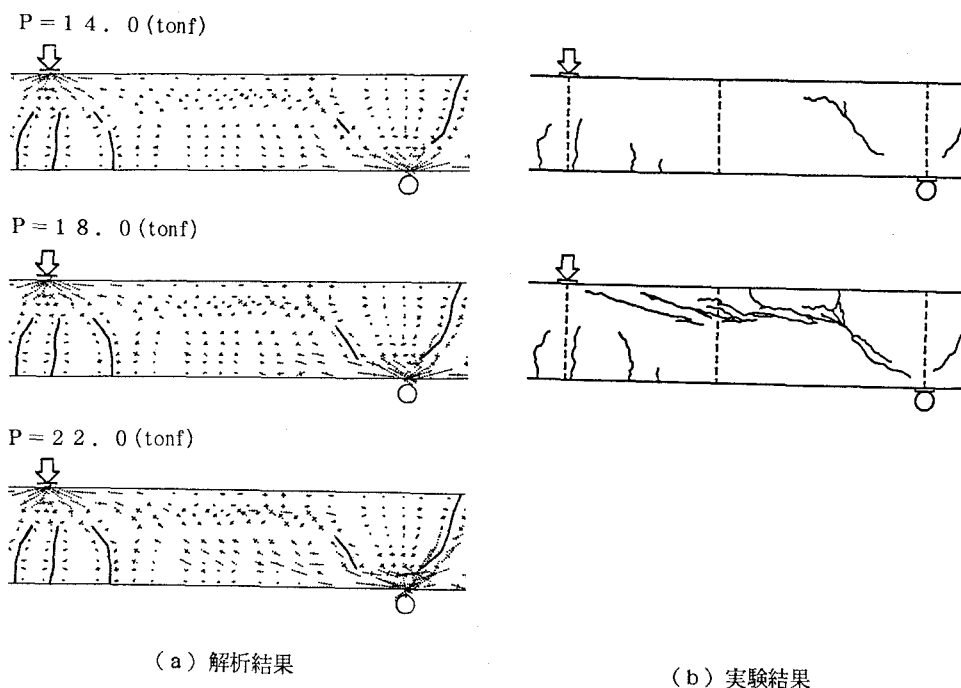


図-6 NO9103のはり側面における主応力とひびわれの進展

供試体NO9101は、実験上の斜めひびわれ発生が22.0(tonf)付近であり、解析上とはほぼ一致しており、また $P=24.0$ (tonf)でのひびわれ進展状況が一致している。しかし、破壊直前の $P=26.0$ (tonf)では、実験上では各々の斜めひびわれがほぼ載荷点と支点に到達しているが、解析上では進展していない。また、主応力からわかるように、斜めひびわれが発生しても直ちに破壊にいたらないのは、斜めひびわれにはさまれたゾーンにおいて圧縮斜材が形成され、タイドアーチの役割をしていることがうかがえる。

供試体NO9103は、実験上の斜めひびわれ発生が10(tonf)程度であり、解析とは一致していない。さらに、実験では発達したひびわれによる斜引張破壊で終局に至っているが、解析上の斜めひびわれは荷重が増加しても進展はほとんどない。また、主応力についても斜めひびわれ発生による変化はほとんどみられないようである。

4. まとめ

今回の解析により、せん断破壊を再現することは出来なかったが、供試体NO9101において、斜めひびわれの進展状況、ひびわれ発生に伴う主応力の変化を破壊直前までとらえることができた。

参考文献

- 1) 前川 宏一、二羽 淳一郎、岡村 甫：鉄筋コンクリート用解析プログラム「COMM2」
RC構造のせん断問題に対する解析的研究に関するコロキウム論文集、1983.10
- 2) 山崎 聡介、古内 仁、上田 多門、角田 与史雄：反曲点を有し正負鉄筋比の異なる断面のRCはりにおけるせん断耐力について、土木学会北海道支部論文報告集第48号、p901-904、1992.2