

[129] RC はり・柱の JCI 選定試験体の非線形解析

正会員 野口 博 (千葉大学工学部)

正会員 ○増田 昭浩 (千葉大学大学院)

1. はじめに

昭和58年10月に、日本コンクリート工学協会(JCI)の鉄筋コンクリート(RC)構造のせん断解析に関するコロキウム¹⁾で紹介された解析モデル検証用選定試験体²⁾のうち、二羽と吉岡が選定を担当したはりと柱のマイクロ理論用の試験体の解析結果について報告する。先のコロキウムでの解析結果を検討し、主に破壊経過に重点を置いて実験結果と比較検討を行うことにした。

なお、本解析で利用した解析モデルの概要は文献³⁾に述べてあるので省略する。

2. はりの解析結果

(1) ミクロデータ (その1)

この試験体は、断面が20X10cm、せん断スパン比(a/d)が3.5のせん断補強筋のない矩形はりである。実験では荷重が4.7tfとなった時に斜めひびわれが急激に進展し、斜め引張破壊が生じている。

図-1に示したように、解析と実験の荷重-たわみ曲線は4tf近くまではほぼ対応した。しかし、解析では斜めひびわれがなかなか開口せず、結局荷重が5.6tfに達した時に斜めひびわれが全体にわたって開口した。

そこで以下のように改良を行い、もう一度解析を行った。

- * クラックリンクの初期のバネ剛性を変化させ、荷重段階を変更した。
- * せん断ひびわれは従来と同じく、引張強度に達した際に剛性を低下させ、同時にクラックリンクの力を解放する。
- * 曲げひびわれについては引張強度に達してもクラックリンクの力を解放せず、剛性だけを低下させ、後にひずみが300 μ に達した時にリンクの力を解放する。

その結果、斜めひびわれが以前より早めに開口しだし、結局、荷重が5.1tfに達した時に、ひずみ軟化はまだ始まっていないが、斜めひびわれが全体にわたって開口し、それ以降変形が大きく進んだ。だが実験での4.7tfよりははまだ高めであった。

(2) ミクロデータ (その2)

この試験体は、断面が22.9X7.6cm、せん断スパン比が1.0のせん断補強筋のない典型的なディープビームである。実験では荷重が21.8tfに達した時にコンクリートが圧壊してせん断破壊している。

解析では、荷重が14tfに達した時に斜めひびわれ付近のコンクリートがひずみ軟化し始め、その後荷重の増加

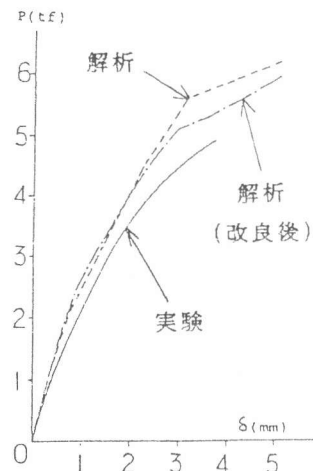


図-1 荷重-たわみ曲線

(その1)

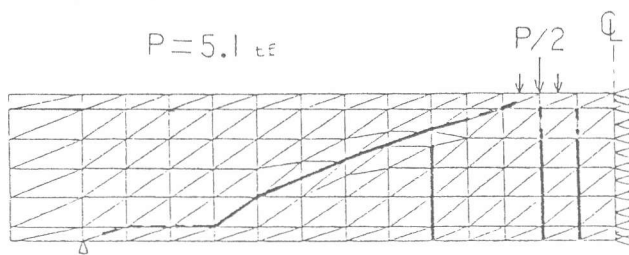


図-2 ひびわれ状況(その1)

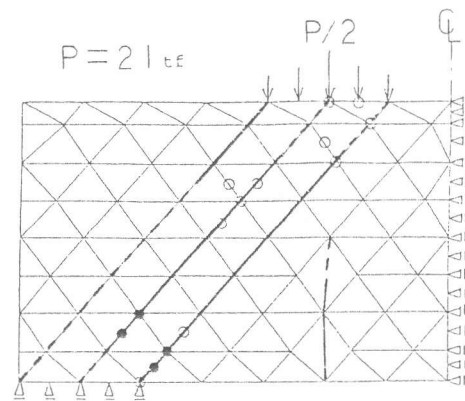


図-3 ひびわれ・圧壊状況(その2)

○ ひずみ軟化 ● 圧壊

に伴い、斜めひびわれに沿ってひずみ軟化は徐々に進展した。荷重が19tfに達すると、図-3に示すように、3本の斜めひびわれのうち右側の2本がほぼ全体にわたって開口し、さらに支点付近で圧壊が生じ始めた。それ以降コンクリートの圧壊が進展し、変形が急増した。

解析による耐力は実験よりやや低いが、図-4に示す荷重-たわみ曲線と破壊モードは概ね対応した。

(3) ミクロデータ (その3)

この試験体はせん断補強筋のあるT型ばりで、断面は35X15cm(スラブ7.5X30cm)、せん断スパン比は3.5である。実験では荷重が26.3tfとなった時に斜めひびわれがはりの上縁に貫通して、せん断破壊している。

この場合、図-5に示すように荷重が21tfまでは、実験と解析の荷重-たわみ曲線はほぼ対応しているが、解析では荷重が21tfに達した時に載荷点付近でひずみ軟化が始まり、それ以降解析での変形は実験値をやや上回った。そして解析では荷重が25tfに達した時にひびわれの開口が上縁まで進み、また載荷点付近で圧壊が生じ、それ以降変形がさらに大きくなった。せん断補強筋(スターラップ)も25tfで1本降伏し、さらに26tfでもう1本が降伏した。

図-6に示す荷重-スターラップ平均応力曲線についても、ひずみ軟化が始まる21tfより以前は、解析は実験とほぼ同様な傾向を示した。

(4) ミクロデータ (その4)

この試験体は、断面が32X19cm、せん断スパン比2.78で、45度の折曲鉄筋によりせん断補強されているものである。実験では荷重が34.1tfに達した時に載荷点付近のコンクリートが広い範囲にわたって圧壊し、斜めひびわれが上縁に貫通して、せん断破壊した。

図-7に示すように解析と実験の荷重-たわみ曲線はよく一致している。解析では荷重が30tfに達した時に載荷点付近でひずみ軟化が始まった。さらに荷重が35tfになると引張鉄筋が降伏したが、斜めひびわれは中央付近が開きせず、まだ貫通していない。

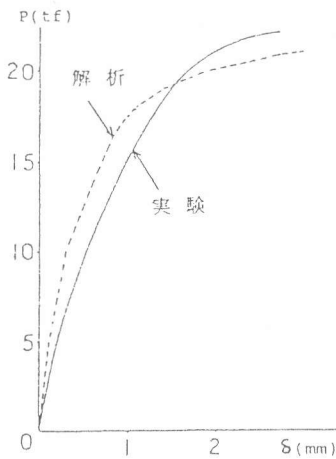


図-4 荷重-たわみ曲線(その2)

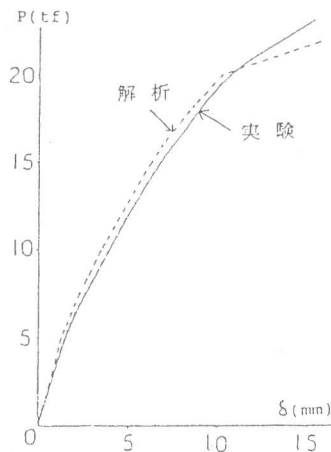


図-5 荷重-たわみ曲線(その3)

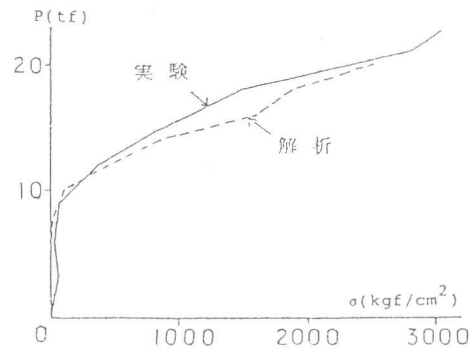


図-6 荷重-スターラップ平均応力曲線(その3)

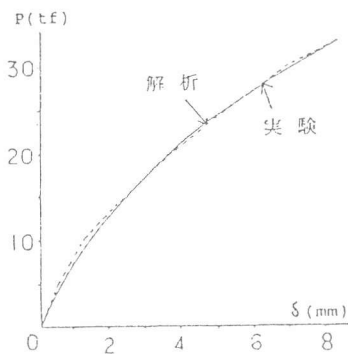


図-7 荷重-たわみ曲線
(その4)

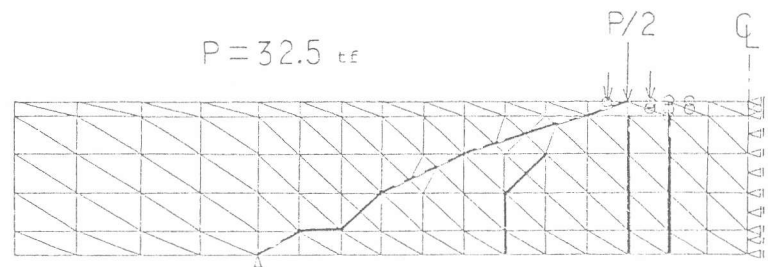


図-8 ひびわれ・圧壊状況(その4)
○ ひずみ軟化

3. 柱の解析

表-1に試験体の諸元を示し、4体の特徴及び破壊モード²⁾を以下に述べる。

No.1: せん断スパン比が小さく、せん断補強筋量が少ない。曲げ降伏する前に斜張力破壊した。

No.2: 引張鉄筋量が多く、せん断補強筋量は少ない。曲げ降伏後すぐにせん断引張破壊した。

No.3: 引張鉄筋量が多く、せん断補強筋量も多い。そのためNo.2のようなせん断引張破壊が起こらず、付着割裂破壊が生じた。

No.4: 引張鉄筋量が少なく、軸方向力が非常に高い。圧縮側のコンクリートの圧壊後は耐力が低下し始め、主筋の座屈が生じて著しく強度が低下し、曲げ破壊した。

(1) 解析対象とした試験体のモデル化³⁾

図-9に要素分割図を示す。No.2は対称性を考慮して全体の1/2を解析対象とした。鉄筋は配筋図をもとに、実験と対応させて配置した。付着はボンドリンクを用いて表現し、付着特性は部位別に次のような位置により変化させた。

① 定着部分

② ひびわれ面

③ 標準部分(ひびわれのない部分で①②以外を指す)

以上の位置のバネ定数を表-2に示す。

(2) 破壊経過

諸現象発生荷重を表-3に示す。解析結果は対応する実験結果と比較しながら検討した。

No.1: 解析では13.5tfで中央のせん断補強筋が降伏し、16.0tfで圧壊が生じて終局に至りせん断圧縮破壊した。実験では12.1tfで斜張力破壊しており、解析での耐力はやや高めで破壊モードの一致はみられなかった。

No.2: 14.0tfでせん断ひびわれが発生してから変形が進み、22.0tfでひびわれ面を横切るせん断補強筋が降伏して23.0tfでせん断破壊した。耐力は実験にほぼ一致した。

No.3: 解析では10.0tfで圧壊が生じ、12.5tfで引張主筋が降伏して曲げ破壊した。終局時の柱内のボンドリンクをみると45%が付着破壊しており、No.1,2,4の0%,14%,20%に比べ非常に多い。実験では付着割裂破壊が顕著であり付着劣化が進行した点では対応するが、解析ではボンドリンクの破壊による付着のそう失が生じており、異形鉄筋特有のフシの割り裂きによる付着破壊を忠実に表現していない。

No.4: 実験・解析ともひびわれの発生はNo.3に比べ遅く、せん断ひびわれはみられない。解析では5tfで圧壊が生じ、12tfで圧縮側主筋が降伏して曲げ圧縮破壊した。破壊モードは一致したが、耐力はやや低めであった。

(3) 荷重-変形曲線

図-12に荷重-変形曲線を示す。

表-1 試験体諸元

specimen	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4
b × D (cm × cm)	25×25	20×20	25×25	25×25
M/Qd	1.16	2.23	2.33	2.33
N (tf)	18.2	16.0	16.4	87.5
N/bD (kgf/cm ²)	29.1	40.0	26.3	140.0
reinforcing bar	3-D13	3-D13	3-D16	3-D10
hoop	2-4φ	2-6φ	2-6φ	2-6φ
P _c (%)	0.61	0.95	0.96	0.34
P _w (%)	0.068	0.26	0.57	0.79
F _c (kgf/cm ²)	212	184	240	241
E _c (×10 ⁵ kgf/cm ²)	2.09	2.14	2.30	1.72
F _t (kgf/cm ²)	18.3	20.4	16.6	20.3
E _s (×10 ⁵ kgf/cm ²)	1.90	-	2.26	2.12
σ _y (kgf/cm ²)	4000	4730	3950	4458
E _{s1} (×10 ⁵ kgf/cm ²)	2.03	-	2.13	2.07
σ _{y1} (kgf/cm ²)	3807	3330	4545	3804

1:reinforcing bar; 2:hoop

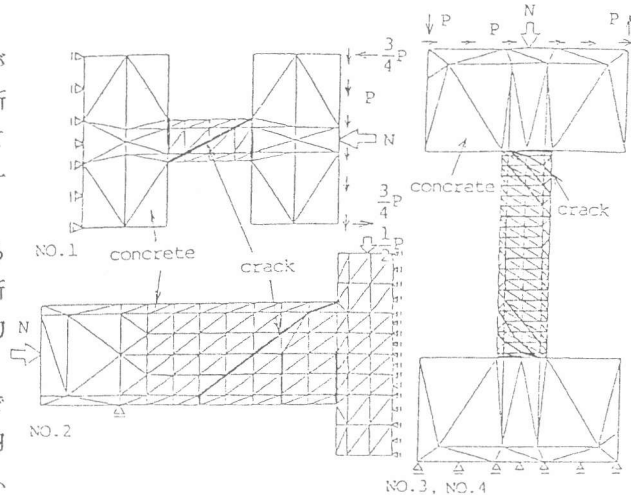


図-9 要素分割図

表-2 解析で用いた付着特性

	E _{1B3} (kgf/cm ³)	E _{2B3} (kgf/cm ³)	τ _y (kgf/cm ²)	τ _{max} (kgf/cm ²)
定着部分	10000	1000	999	999
ひびわれ面	8000	400	20	50
標準部分	8000	400	25	60

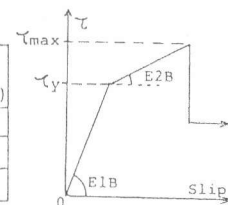


表-3 諸現象発生荷重 (): 解析

	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4
曲げひびわれ	3.0(5.0)	4.0(3.0)	4.0(3.0)	9.4(9.0)
斜めひびわれ	12.1(10.0)	7.0(9.5)	8.5(8.0)	- (-)
主筋降伏	- (-)	9.8(11.0)	12.3(12.5)	11.5(12.0)

No.1: 剛性が高く、破壊時の変形は約0.2cmと靱性に乏しい。解析では剛性低下はかなり遅くせん断補強筋が降伏する13.0tf以降にみられる。

No.2: 初期剛性はよく一致するが、解析でのせん断ひびわれの発生・進展が遅いため19.0tfまでは剛性が高い。

No.3: 初期剛性・変形性能ともに実験に対応し、靱性に富んだ荷重-変形曲線となっている。

No.4: No.3に比べ剛性が高く、10.0tfまではほぼ線形の荷重-変形曲線を描き。実験ともよく一致する。しかし、それ以後の剛性低下は解析の方が著しい。

(4) 荷重-主筋のひずみ関係

図-11に荷重-主筋のひずみ曲線を鹿島建設の井上の解析結果¹⁾とともに示す。ひずみ測定位置は柱端部の引張側と圧縮側の主筋である。

No.1: 圧縮側・引張側ともにひずみは小さく、終局時でも降伏値の1/4以下である。

No.2: 終局時でも降伏には至っていない。

No.3: 引張側主筋が降伏して終局に至っており、井上の解析に対応している。

No.4: 高軸力のため、引張側主筋は11.0tf以降に引張へ転じる。終局時には圧縮側主筋のひずみが著しく増大して降伏に至っている。

本解析は井上の解析に比べ、引張側主筋のひずみが全般にわたって小さめとなっているが、良好な対応がみられる。

(5) 荷重-帯筋のひずみ関係

図-12に荷重-帯筋のひずみ曲線を示す。ひずみ測定位置は、スタブから柱せいの約半分離れた所である。

No.4以外はいずれもせん断ひびわれの発生・進展に伴ってひずみが増大している。井上の解析に比べNo.2,3でひずみの増大が遅れているが、これはせん断ひびわれの発生が両解析でかなり異なることに起因している。

4. まとめ

はり・柱ともに本解析では斜め引張破壊の試験体に対する追従が十分とはいえない。また、柱では実験で繰返し加力を受けて付着劣化し、付着割裂ひびわれも生じており、解析でもこの現象のモデル化を今後検討していきたい。

謝辞 本研究の一部は、昭和58年度科学研究費補助金（一般研究（C）：課題番号57550336）によった。ここに深謝致します。

参考文献

- 1) JCI・RC構造のせん断強度研究委員会、「第2回せん断コロキウム論文集」、JCI-C5、1983年10月。
- 2) JCI・RC構造のせん断強度研究委員会、「解析モデル検証用試体の実験データ集」、第2回せん断コロキウム、JCI-C6、1983年10月。
- 3) 野口 博、長沼一洋、「RC柱・はり接合部の復元力特性の非線形有限要素解析」、第6回日本地震工学会議論文集、昭和57年12月。

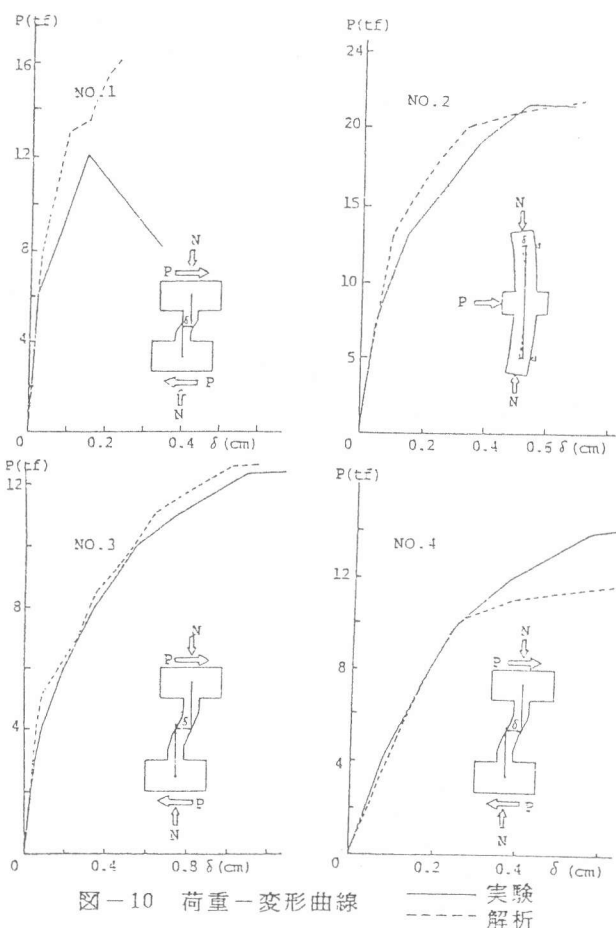


図-10 荷重-変形曲線 ——— 実験
----- 解析

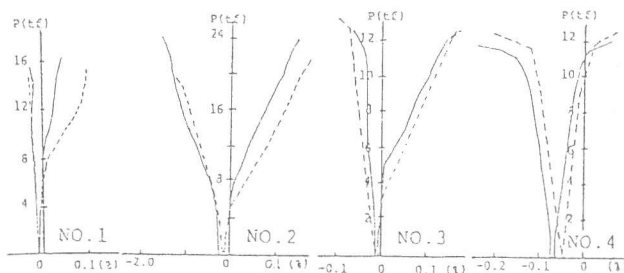


図-11 荷重-主筋のひずみ曲線 ——— 本解析
----- 井上の解析

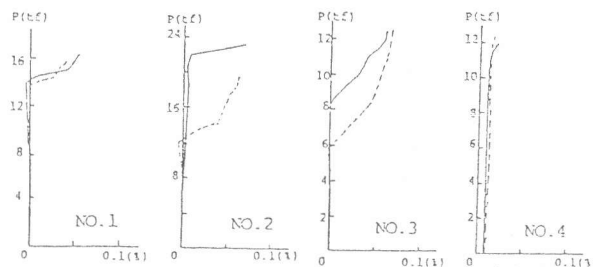


図-12 荷重-帯筋のひずみ曲線 ——— 本解析
----- 井上の解析