

RC はりの斜め引張破壊の分岐誘導解析に及ぼすひび割れ構成モデルの影響

清水建設技術研究所 正会員 長谷川 俊昭

1. はじめに

著者¹⁾は多等価直列相モデルと分岐誘導解析ルーチンを汎用有限要素解析システム DIANA に組み込み RC はりの斜め引張破壊経路への分岐誘導解析を行なったが、本研究ではコンクリートのひび割れ構成モデルが分岐誘導解析に及ぼす影響を検討する。

2. 解析手法の概要および解析結果

本解析ケース M では DIANA の標準組込み構成モデルである多方向固定ひび割れモデル (MDFC) と Drucker-Prager 型弾塑性圧縮軟化モデルを用いて, また解析ケース N では共軸性に基づく回転ひび割れモデル (RC) と全ひずみ圧縮軟化モデルを用いて, Newton-Raphson 法と直接変位制御手法に基づく分岐誘導解析を実施した. 多方向固定ひび割れモデルを用いた基本経路 (解

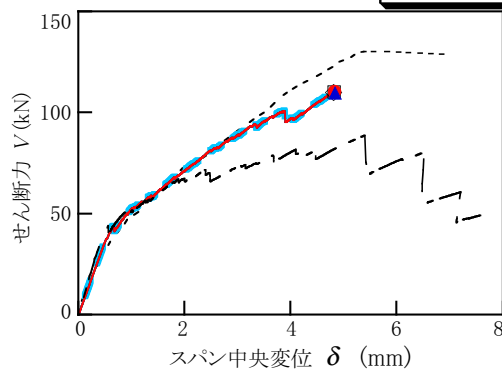


図-1 せん断応答

析ケース M01) では図-3に示したように最大耐力近傍で接線剛性マトリックスの行列式 $\det \mathbf{K}$ が負値に変化し最初の分岐点 A を特定できたため分岐点の1次固有モードを摂動とする分岐誘導を開始し分岐後の経路を追跡する一連の解析ケース(表-1)を実行した. 一方, 回転ひび割れモデルを用いた場合には $\det \mathbf{K}$ が負値に変化することがなく分岐点は存在しないと考えられたため分岐誘導解析は実施しなかった. 得られたせん断応答を考慮した分岐点とともに図-1と2に示す. 解析ケース M は最大耐力を多少過小評価している程度であるが, 解析ケース N01 は最大耐力もせん断剛性もかなり過小評価している. 多方向固定ひび割れモデルと回転ひび割れモデルを用いたひび割れ解析は解の収束性が悪いことが知られており²⁾, 本解析でも図-4と5に示すように相対不釣り合い力が60% 近くまで達する場合もあり, 極小の変位増分载荷などによって収束改善を図ったが収束解は得られずやむなく不

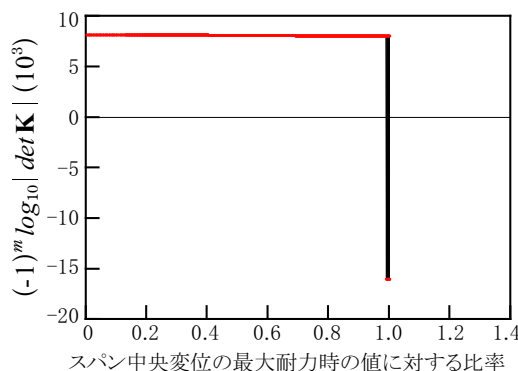


図-3 解析ケース M01 における $\det \mathbf{K}$

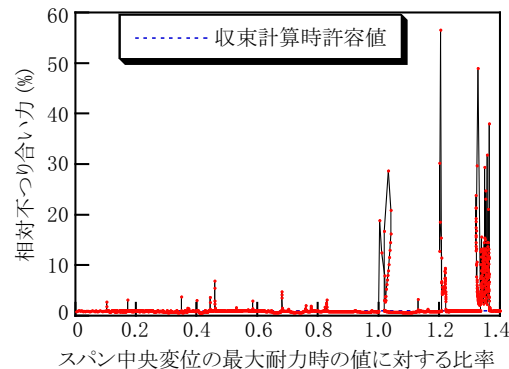


図-5 相対不釣り合い力（解析ケース N01）

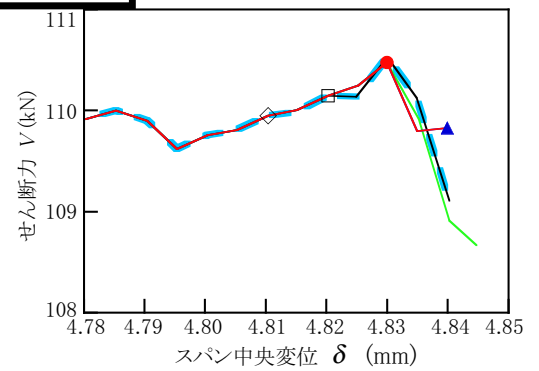


図-2 分岐点近傍のせん断応答

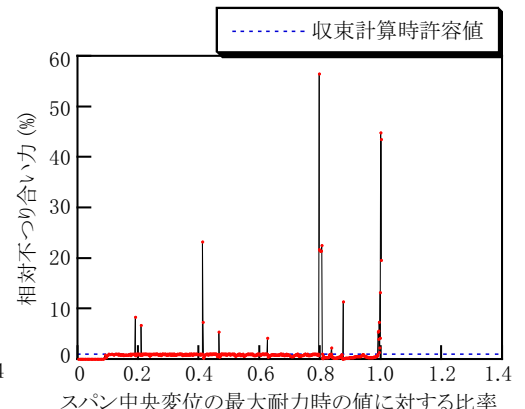


図-4 相対不釣り合い力（解析ケース M01）

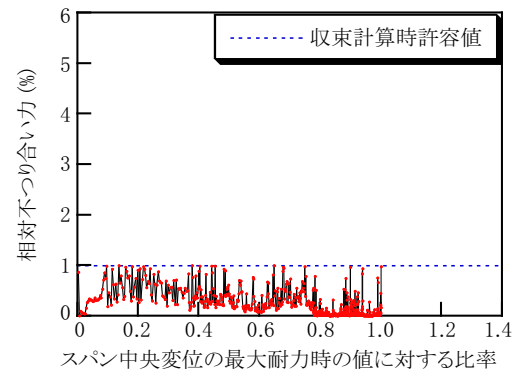


図-6 相対不釣り合い力（解析ケース K03）

表-1 解析ケース

解析 ケース	構成 モデル	解析	分岐点
M01	MDFC	基本経路追跡	——
M02	MDFC	分岐経路追跡	A
M03	MDFC	分岐経路追跡	A B
M04	MDFC	分岐経路追跡	A B C
M05	MDFC	分岐経路追跡	A B C D
N01	RC	基本経路追跡	——

つり合い力を次ステップへ持ち越し求解を続行した。図-6は多等価直列相モデルを用いた以前の解析ケース K03¹⁾の相対つり合い力の結果であるがすべてのステップで許容値 1% を満足して良好な収束解が得られており、多等価直列相モデルが有する数値構成モデルとしての高い robust 性が多方向固定ひび割れモデルと回転ひび割れモデルには欠如していると思われる。しかし解析ケース M は収束性の悪さにもかかわらず疑似的運動モード (図-7) が発生したのは基本経路上の分岐点 A 直前の1ステップのみであった。図-2より明らかなように分岐点 A ~ C で分岐誘導が行なわれても分岐後経路のせん断応答曲線は大きく変化せず、基本経路から逸脱した顕著な分岐経路が現れることはなかった。図-8~11は分岐点 A の1次から4次までの固有モードであるが、その1次固有モードを用いた摂動によって誘導された分岐経路で新たに生じた分岐点 B の固有モードは分岐点 A のものとはほぼ同じであり、その後の分岐点 C, D においても同様であった。このことは分岐後経路が基本経路から大きく変化しないことと深く関係していると考えられる。図-12と13は解析ケース M において分岐点 A と B の直後に摂動を与えた際の増分変位図に最大主ひずみ分布を重ね描きしたものである。載荷板端部近くの圧縮縁コンクリートが破壊する1次固有モードならびに斜めひび割れや軸方向ひび割れの2次~4次の固有モードが卓越するような変形モードが現れているが、それらにもまして曲げ変形挙動が支配的であるといえる。図-14と15は解析ケース M05 と N01 の最大耐力時の増分変位図である。解析ケース M05 では圧縮縁コンクリートが圧壊し斜めひび割れ面でのずれ変形が顕著であるが、その斜めひび割れは実験で観察されるものよりも直線的で傾きが大きく、斜め引張破壊モードよりもむしろせん断圧縮破壊や曲げせん断破壊を表現しているようにも思える。解析ケース N01 のひび割れは共軸性の影響で湾曲して圧縮縁に達しておらず斜め引張破壊機構を再現しているとは言い難い。

3. まとめ

ひび割れ構成モデルとして多方向固定ひび割れモデルおよび回転ひび割れモデルを用いて RC はりの斜め引張破壊の分岐誘導解析を実施し、ひび割れ構成モデルの影響を検討した。多方向固定ひび割れモデルは収束性が悪く得られた分岐後経路が基本経路と大きく変わることもなく、せん断圧縮破壊モードに近い結果となった。回転ひび割れモデルは分岐点が現れず収束性も悪く最大耐力とせん断剛性を過小評価した。

[参考文献]

- 1) 長谷川俊昭：分岐固有値解析に基づく RC はりの斜め引張破壊経路への分岐誘導，土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集，V-095，pp.189-190，2011 年。
- 2) 長谷川俊昭：RC はりの斜め引張破壊解析におけるコンクリート構成モデルの影響，土木学会第 61 回年次学術講演会講演概要集，V-431，pp.857-858，2006 年。

