

繰返し荷重を受ける RC 部材におけるせん断耐力低下挙動の数値解析的評価

名古屋大学大学院 学生会員 ○古橋 宏紀
名古屋大学大学院 正会員 中村 光, 国枝 稔, 上田 尚史

1. はじめに

コンクリート部材では、曲げ降伏後の領域において繰返し荷重をすると、急激に荷重が低下する曲げ降伏後のせん断破壊が生じる場合があることが知られている。曲げ降伏後のせん断破壊が生じる理由としては、図-1 に示すように、初期においては、曲げ耐力より大きいせん断耐力が、繰返し荷重を受け低下するためと考えられている。しかしながら、「なぜ低下するのか」というメカニズムは未だに明確にされておらず、「どの程度低下するか」という耐力低下の定量的な評価もされていないのが現状である。そこで本研究では、3次元剛体バネモデルを用いて繰返し荷重下のせん断耐力の低下挙動を、数値解析により求めることを試みた。

2. 解析手法

本研究では、構造解析手法としてひび割れを直接的に可視化できる3次元剛体バネモデルを用いた¹⁾。要素分割はひび割れの発生・進展挙動の要素形状依存性を低減するために、Voronoi 多角形分割を用いた。各要素は図-2 に示すように6自由度を持つ剛体であり、要素間の境界面重心と境界面頂点からなる三角形の重心に、垂直バネおよびせん断バネを配置している。コンクリートの材料特性は、垂直バネについては、圧縮領域ではコンクリートの静水圧圧縮荷重挙動を再現できる逆S字曲線でモデル化し、引張領域については1/4モデルの引張軟化曲線を用いている。せん断バネについては、コンクリートのせん断伝達機構のモデルとして、モール・クーロン型の破壊基準を用いている。除荷挙動としては、圧縮応力下では初期剛性除荷を、引張応力下、せん断応力下では原点指向型を仮定した。一方鉄筋は、はり要素によりモデル化し、材料特性はバイリニア型を用いている。さらに、コンクリートと鉄筋要素間にはリンク要素を設け、付着特性を考慮している。

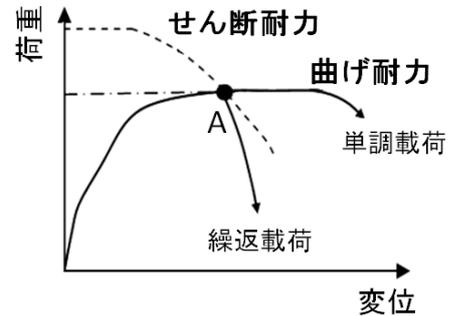


図-1 曲げ降伏後のせん断破壊の概念図

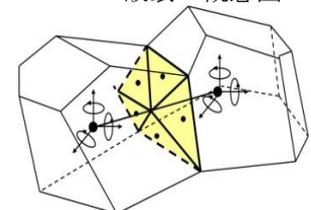


図-2 剛体要素の自由度と要素境界面上の評価点

3. 解析モデル

本解析では、埼玉大学で行われた繰返し荷重実験²⁾を対象とした。供試体概要を図-3 に示す。供試体は断面 150×150mm、せん断スパン比 4 であり、主鉄筋として D13 を 2 本配筋している。曲げせん断耐力比は 1.16、靱性率は 3 であり、曲げ降伏後のせん断破壊により荷重が低下している。解析モデルを図-4 に示す。コンクリート要素の平均寸法は 20mm とした。モデルは、フーチング部も含めて一様の断面部材としてモデル化した。ただしフーチング部には荷重版要素をモデル化して変形を拘束した。フーチングをモデル化し、フーチング内の軸方向鉄筋の付着もモデル化することで、伸び出しも評価可能としている。コンクリートの材料定数は実験結果を参考に、ヤング係数を 29.4(kN/mm²)、圧縮強度を 40.5(N/mm²)、引張強度を 2.7(N/mm²)、引張破壊エネルギーを 0.084(N/mm)とした。

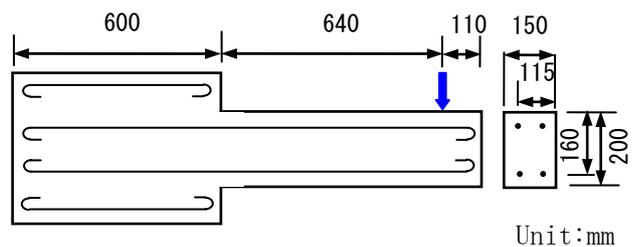


図-3 実験供試体概要

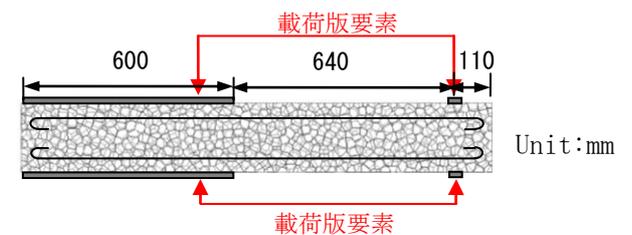


図-4 解析モデル

キーワード 曲げ降伏後せん断破壊, 3次元剛体バネモデル, せん断耐力劣化, 繰返し荷重, 変形性能
連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 工学部 9 号館 526 号室 TEL 052-789-4484

鉄筋の材料定数は降伏強度を $380(N/mm^2)$ とした。解析は、載荷板要素の変位を制御することで行った。

$1\delta y$ 毎に漸増正負交番載荷を行った場合の荷重-変位関係を図-5 に示す。また、図中の a 点($2\delta y$)、b 点($3\delta y$)の変形図を図-6 に示す。 $2\delta y$ 時では、曲げ変形が支配的な状態であることが分かる。一方 $3\delta y$ 時では、繰返し中に斜めひび割れが発生し、せん断変形が卓越していることが分かる。荷重-変位関係においては実験と同様の $3\delta y$ で荷重が低下し始めており、曲げ降伏後にせん断破壊する挙動を本解析手法により、妥当に評価できることが示されている。

4. 解析概要

図-1 に示すようなせん断耐力低下の概念に対し、実験では、曲げ耐力がせん断耐力より小さいため、急激な荷重低下が生じる A 点が求まるのみである。そこで、以下の手順により数値解析を行うことで、せん断耐力の低下挙動を求めることを試みた。

①図-1 の A 点以前のある変位まで繰返し載荷の解析を行う。②ある変位で解析上、鉄筋の降伏強度を上げて、数値解析上の曲げ耐力を向上させる。③1 方向静的載荷を破壊に至るまで行う。この方法は、せん断耐力に影響を与えない鉄筋の降伏強度を大きくすることで、図-1 の A 点以前でせん断耐力より小さい曲げ耐力を、任意の変形時にせん断耐力以上にしてせん断破壊させ、その時点での低下したせん断耐力を求めようと試みたものである。

5. 解析結果

初期状態から鉄筋の降伏強度を上げてせん断破壊させた場合のもの、 $0.5\delta y$ ごとに正負繰返し載荷し、 $1\delta y$ 、 $1.5\delta y$ 、 $2\delta y$ 、 $2.5\delta y$ のサイクル後の荷重ゼロ時に鉄筋の降伏強度を上げてせん断破壊させた場合のもの、以上 5 通りの荷重-変位関係を図-7 に示す。変形が進むにつれ、せん断耐力が低下していく挙動が表されていることが分かる。図-8 に低減係数 α と靱性率 μ との関係を示す。また、図中には吉川ら³⁾、priestley ら⁴⁾が実験結果に基づき提案した劣化曲線も併せて示す。ここで、低減係数 α は各サイクル後のせん断耐力を初期のせん断耐力の値で除したものとし、降伏強度を上げたサイクル数を便宜的に解析結果の靱性率とした。靱性率の増加に伴い、せん断耐力が低下する挙動を、既往のモデルと同様の傾向を示していることが分かる。

6. まとめ

RC 部材が繰返し荷重を受け、せん断耐力が低下する挙動を数値解析的に妥当に評価でき、既往の提案式との傾向も概ね一致しており、今後数値解析的に、せん断耐力の劣化曲線を求めることの可能性が示された。しかしながら、今回対象としたケースは 1 ケースであるので、今後対象とするケースを増やし、さらなる検討が必要である。

参考文献

1) 山本佳士ほか：3次元剛体バネモデルによるコンクリート供試体の圧縮試験，土木学会論文集 E, Vol.64, No.4, pp.612-630, 2008. 2) 豊田和彦ほか：RC部材の終局変位定量化に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集, Vol.7, No.1, pp.629-632, 1985. 3)大江亮二・吉川弘道(2002)：繰返し大変形を受ける鉄筋コンクリート単柱のせん断強度劣化の評価に関する研究，土木学会論文集, No.711/V-56, pp.59-71. 4)Priestley, M.J.N. and Seible, F.Calvi.G.M. : Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons, 1996

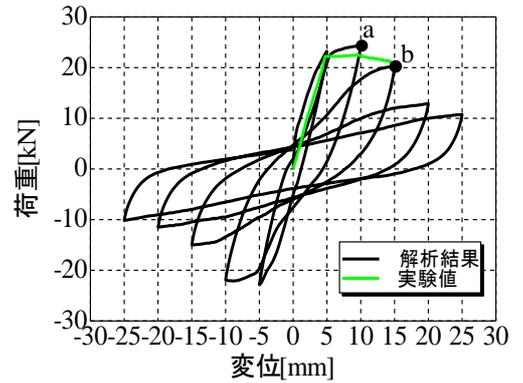
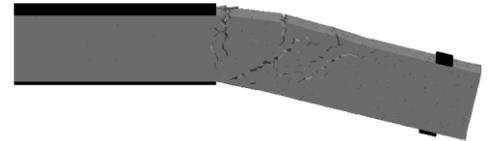
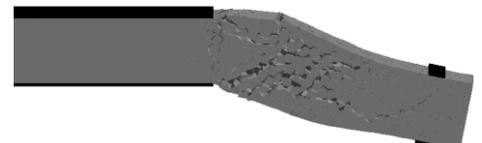


図-5 荷重 - 変位関係



a) a 点($2\delta y$)の変形図



b) b 点($3\delta y$)の変形図

図-6 a 点および b 点の変形図

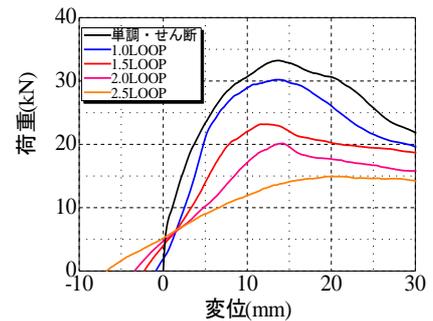


図-7 荷重 - 変位関係

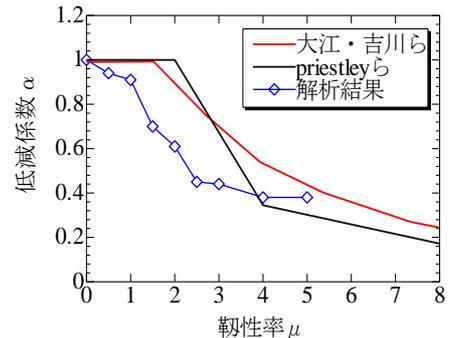


図-8 低減係数 - 靱性率