ひび割れに基づくRC柱部材のせん断損傷指標に関する研究

埼玉大学大学院　学生会員　○鳥生　昌宏
埼玉大学　関根　貴成
埼玉大学大学院　正会員　牧　剛史

１．はじめに

1995 年の兵庫県南部地震において鉄筋コンクリート構造物が甚大な被害を受けた。それまでの設計体系が見直されるようになり、大地震に対しては鉄筋コンクリート部材の降伏以降のエネルギー吸収を積極的に考慮した靭性設計が取り入れられ、また性能照査型設計への移行も併せて実施されつつある。それにもかかわらず、せん断損傷に対しては依然として耐力のみによる評価に留まっているのが現状である。せん断損傷過程を定量的に評価することは、新設構造物の設計はもとより、既設構造物の耐震補強における優先順位の決定にも有用である。そこで本研究ではせん断損傷過程の定量的な評価を目指し、部材の断面力に代わる指標として、部材の損傷量をひび割れ空隙容積と捉え、ひび割れに基づくせん断損傷指標を提案することを目的とした。また、構造物は地震が発生している間に損傷を受けるが、その損傷を補修するのは被災後であり、地震時の最大損傷量・地震後の残留損傷量の違いを明らかにするということと、実際の復旧作業の簡便化を念頭に最大ひび割れ幅からの損傷量の推定可能性を明らかにすることを併せて目的とした。

２．実験概要

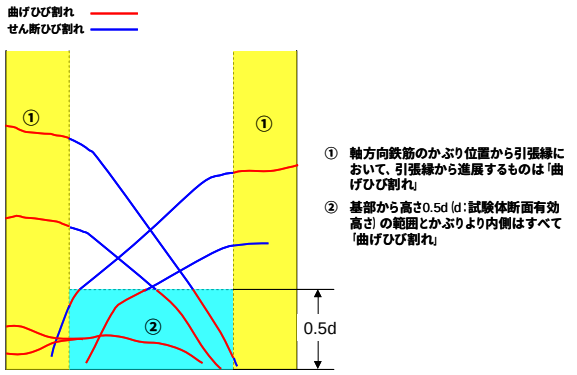
鉄筋コンクリート柱試験体を用いて正負交番載荷実験を行った。試験体は３体であり、破壊形式がそれぞれ曲げ降伏後せん断破壊、曲げ破壊、せん断破壊となるように設計した。試験体諸元を表－１に示す。

ひび割れ空隙体積は部材の損傷状態が反映された結果であると考え、ひび割れ幅とひび割れ長さを計測し、それぞれのひび割れにおける平均幅と長さの積でひび割れ表面積を算出した。ひび割れが柱内部まで連続して続いていると仮定し、総ひび割れ表面積と深さの積でひび割れ空隙容積を算出した。ひび割れ計測は正負交番載荷における各載荷サイクルの最大変位時および除荷時に行った。

全てのひび割れはせん断によるもののみに限らず曲げによるものも含まれていることを考慮しなければならない。そこで載荷面側面のひび割れ図に着目し、曲げひび割れとせん断ひび割れの区別を試みた。ひび割れ図において、軸方向鉄筋のかぶり位置から引張縁において、引張縁から進展するものは曲げひび割れとする。この条件の下、塑性ヒンジ領域である基部から 0.5d の範囲とかぶりより内側は全て曲げひび割れとした。この模式図を図－１に示す。

表－1　試験体諸元

	f'c (MPa)	a/d	軸方向鉄筋	せん断補強鉄筋	Pu (kN)	Ps (kN)	Ps/Pu	想定した破壊形式
case1	52.1	2.88	D16×２０	D10@125mm	248.6	255.7	1.03	曲げ降伏後せん断破壊
case2	52.7	2.88	D16×２０	D10@62.5mm	248.6	358.3	1.44	曲げ破壊
case3	54.7	2.92	D22×14	D10@125mm	481.5	242	0.5	せん断破壊



図－１　曲げひび割れとせん断ひび割れの区別

３．実験結果・考察

case1、case3 は想定した破壊形式で破壊したが、case2 は曲げ破壊ではなく、曲げ降伏後せん断破壊となった。

各試験体の応答塑性率－せん断ひび割れ空隙容積関係を図－２に示す。応答塑性率は応答変位を降伏変位で除した値として定義し、縦軸にはせん断ひび割れ空隙容積を柱の体積で正規化した値を用いている。この値は柱の体積における部材の損傷量であり、損傷指標としてみなすことができる。全 case において経験

キーワード　RC 柱，ひび割れ，ひび割れ空隙容積，せん断損傷指標，交番載荷
連絡先　〒338-8570　埼玉県さいたま市桜区下大久保 225　TEL048-858-3427

最大応答が大きくなるにつれ、せん断ひび割れ空隙容積も増加していくことがわかる。case2 は case1 に比べて緩やかに増加しており、せん断耐力が高くなると、即ちせん断／曲げ耐力比が大きくなると、損傷の進行が緩やかになる傾向であることが分かる。case3 では case1 に比べて傾きが大きいことから、曲げ耐力が高くなると、即ち耐力比が小さくなると、損傷は相対的に急激に進行することが分かる。このことから、損傷の進行は柱の耐力比に依存していると言える。

次に各載荷サイクルにおける最大変位時・除荷時のせん断ひび割れ空隙容積の比較を行った。図－３にその比較を示す。全 case で（載荷時せん断ひび割れ空隙容積）＞（除荷時せん断ひび割れ空隙容積）の関係にあることが明らかである。ラインの推移に着目すると、各 case ともほぼ比例的に推移しているが、傾きにばらつきが見られた。そこで、各 case の載荷時せん断ひび割れ空隙容積と除荷時せん断ひび割れ空隙容積の比を算出したところ、最大変位時を 1 としたとき、残留時は case1 で 0.55、case2 で 0.76、case3 で 0.58 となることが分かった。つまり、除荷時の損傷量は最大変位時の損傷量のおよそ 50～80%にまで減少するということが言える。

次に最大ひび割れ幅とせん断ひび割れ容積の関係について検討を行った。図－４にそのグラフを示す。case3 除荷時ではばらつきが見られたものの、それ以外の case では、最大ひび割れ幅の増加に伴い、傾きの増加が見られた。この結果より、せん断ひび割れ空隙容積と最大ひび割れ幅に少なからず相関関係があると考えられ、最大ひび割れ幅から損傷量の目安を把握することは可能であると考えられる。

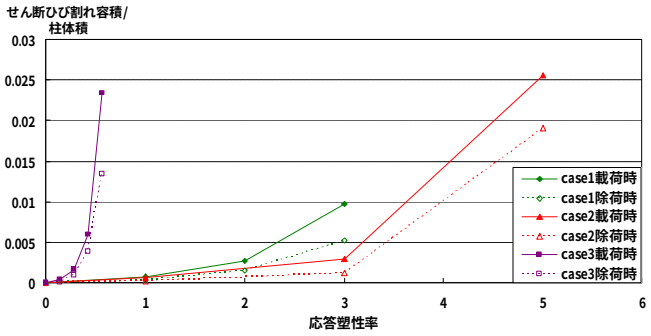
４．結論

RC 柱の正負交番載荷実験を行い、せん断ひび割れ空隙容積を部材の損傷量を示す指標と捉えて検討を行った。本研究から以下の知見を得た。

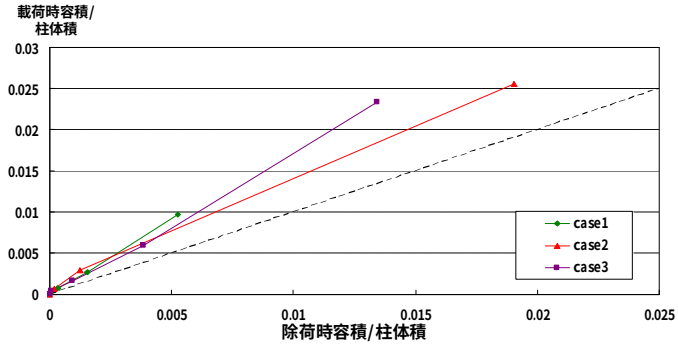
(1) 応答塑性率が大きくなるにつれて損傷量が増加していく過程が定性的に示された。また、各破壊モードでそれぞれを比較したところ、せん断／曲げ耐力比が大きくなるにつれて曲線の傾きが緩やかとなる傾向があることが確認された。

(2) 載荷時・除荷時のせん断ひび割れ空隙容積には 1 次的な相関関係があり、除荷時の損傷量は最大変位時の損傷量のおよそ 50～80%である。

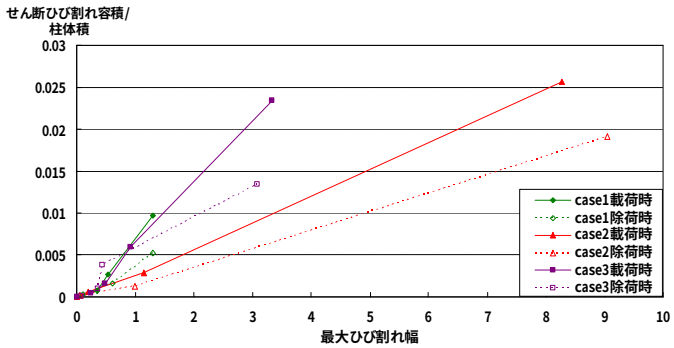
(3) 最大ひび割れ幅とせん断ひび割れ空隙容積には相関関係があると考えられる。



図－２　応答塑性率－せん断ひび割れ空隙容積/柱体積



図－３　載荷時・除荷時せん断ひび割れ空隙容積/柱体積



図－４　最大ひび割れ幅－せん断ひび割れ空隙容積/柱体積

参考文献

・破壊モードが異なる鉄筋コンクリート柱部材の画像計測に基づく損傷評価：田嶋和樹・白井伸明・石森明行、コンクリート工学年次論文集 vol.30,No.3,2008
・被災構造物の補修補強後の耐力変形性状研究委員会報告書：社団法人　日本コンクリート工学協会,2005
・地震荷重を受ける鉄筋コンクリート柱のひび割れ損傷に関する実験的研究：金本清臣・曽根大貴・坂田弘安・和田章、コンクリート工学年次論文集　Vol.24,No.2,2002