

論文 梁のせん断耐力と斜めひび割れの3次元分布に及ぼす側方筋の効果

土屋智史*1・中浜俊介*2・前川宏一*3

要旨：寸法の異なる RC 柱配筋供試体をせん断破壊させ、載荷後に供試体切断による内部ひび割れの視覚的検証を行った。その結果、側方筋の存在によって、部材表面部コンクリートには斜めひび割れの分散効果が伺えるとともに、表面部と内部とでは、ひび割れ破壊面形状が大きく異なることを確認した。数値性能評価を行う場合には、局部的な鉄筋配置の影響を考慮する必要があるが、3次元配筋を取り入れた解析を適用することで、精度向上を求めることが可能であることを検証した。

キーワード：側方筋、斜めひび割れ立体分布、供試体切断、せん断耐力、非線形解析

1. はじめに

RC 梁/柱部材のせん断挙動は、曲げ挙動とは異なり不明な点が多く、断面形状や配筋方法だけでなく、養生条件や使用材料、初期欠陥等によっても影響を受ける。構造物の大型化を勘案すると、小型供試体から得られる実験結果を基に、実構造物の安全性を判断する場合には、寸法効果を正しく考慮しなければならない。一方、過度にせん断補強筋を配置した場合には、経済性のみならず、施工の面からも厳しい条件となるため、安全率を見込んだ上で、適切に配筋詳細を決定する必要がある。繰り返し荷重作用下と曲げ降伏後を含む、RC 梁/柱部材のせん断破壊と寸法効果は、未だ決着を見ていない課題の1つと言える。

コンクリートが受け持つ耐力評価に関して、土木分野では、引張縁に軸方向筋を配置した RC 梁を対象として、せん断耐力評価式¹⁾が二羽らによって提案されている(ディープビームは対象外)。土木学会コンクリート標準示方書では、二羽式を分布荷重にも適用できるように改めた設計耐力式が取り入れられており、寸法効果は有効高さの1/4乗に反比例するものとなっている。側方筋を有する柱部材の場合には、梁の設計式を拡大解釈する形式が採用されている。

土木構造物における RC 柱部材では、軸方向筋が断面の外縁部に集中的に配置され、断面中心部はほぼ無筋状態とみなせる3次元的な配筋状態となる。従って、2次元的な配筋状態である側方筋を有しない RC 梁とは、幾分外力抵抗機構が異なることが予想される。側方筋は、せん断力を直接に負担しないものの、変形の拘束効果と付着効果が期待されることから、コンクリートの負担するせん断力を高める効果があると考えられる²⁾など。これは、設計安全上大きく問題となることはないが、せん断と曲げ耐力が接近する既存構造物の耐震診断や補強を合理的に推進するためには、せん断耐力評価手法の精度を向上させる必要がある。

一方、破壊力学の知見を取り入れることによって、数値解析的に RC 梁・柱のせん断破壊と寸法効果の機構解明へ向けた取り組みが、実用的な域に達しつつある。空間平均化された材料構成モデルを使うことを前提に、安らは鉄筋の付着作用が及ぶ領域と、そうでない領域に分割するゾーニング手法の提案を行っている³⁾。引張縁にのみ鉄筋を配置した大型 RC 梁のせん断破壊実験⁴⁾を、比較的粗い要素を用いた2次元有限要素解析によって精度良く追跡し、寸法効果を陽な形で評価した。ここで、安らの検討は2次元問題に留まっており、

*1 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤工学専攻 工修 (正会員)

*2 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤工学専攻

*3 東京大学大学院教授 工学系研究科社会基盤工学専攻 工博 (正会員)

表-1 実験供試体の概要

name	Specimen b*h* l (mm*mm*mm)	loading plate b'*h' (mm*mm)	d (mm)	Re-bar	f_c (MPa)	f_y (MPa)	$V_{c,exp}$ (kN)	$V_{c,cal,1}$ (kN)	$V_{c,cal,2}$ (kN)
N800	800*800*5000	200*30	740	D32	29.7	351	518.6	593.4	447.4
N400	400*400*2800	200*30	370	D16	29.7	353	153.3	176.4	133.0
N250	250*250*2000	100*30	231	D10	29.7	346	63.7	75.4	56.8
H250	250*250*2000	100*30	231	D10	58.7	86.6	---	---	

領域選定に対する細部の検証は、今後の課題となっている。梁では、無筋領域であるウェブ部に斜めひび割れが離散的に進展し、破壊に至ることから、解析における領域選定が破壊に及ぼす影響は小さい。

本研究では、せん断補強筋を有しない RC 柱配筋供試体を対象として、側方筋がせん断破壊と寸法効果、およびひび割れの多面的な導入に基づくせん断耐荷機構に及ぼす影響について検討を行う。

2. 載荷実験

2.1 実験概要

曲げ降伏に比して、せん断破壊が先行する柱配筋 RC 供試体を、寸法を変化させて作成し、せん断破壊と寸法効果について検討を行った。本実験の特徴は、一連の寸法の異なる試験体を作成するにあたり、鉄筋比を揃えるだけでなく、使用する鉄筋の本数と配置方法をすべて統一し、幾何学的な相似を極力合わせたことにある。すなわち、断面に対する鉄筋径や間隔の比は一定であり、試験体の寸法が拡大/縮小するのに応じて、かぶり厚や鉄筋間隔が変化する。通常、試験体が小型であれば、断面に対するかぶり厚や鉄筋径の割合が相対的に大きくなる。これも寸法効果の一部を担う可能性があり、この因子を除くことを主眼に置いている。寸法のみを変化させた時に現れる純然たる寸法効果のみを抽出し、その定量評価を目指すためである。

実験供試体は、有効高さを 740, 370, 231mm と変化させた矩形断面とし、せん断補強筋は有していない。コンクリートの設計圧縮強度は、30.0MPa 程度を設定したが、有効高さが 231mm ものについては、試験的に自己充填型高強度コンクリートの供試体も 1 体作成した(計 4 体)。有効

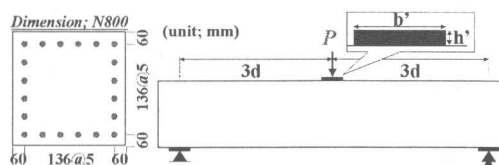


図-1 断面配筋と載荷概要

高さが 740mm の供試体は、山陽新幹線鉄道高架橋 RC 橋脚柱部材をモデルとして、軸方向筋を配置しており、以下これを基本として、断面寸法に対する鉄筋径および配置間隔の比を一定に保つことに留意しながら、1/2, 5/16 に縮小してある。この場合、供試体の寸法が小さくなればなる程、通常用いられる断面諸元から、かけ離れていくこととなる。試験体の名称と概要、使用材料特性を図-1 と表-1 に示す。

骨材最大寸法は、20mm 一定とした。骨材寸法を供試体寸法に応じて変化させることは困難であるとともに、(側方)鉄筋の影響に焦点を絞るためである。打設時には、鉄筋位置の保持や材料分離等の防止だけでなく、かぶりコンクリートの充填に細心の注意を払った。乾燥収縮等の初期欠陥を排除することに努め、十分に湿潤養生を行った。供試体は柱部材を対象としているが、簡易に実験を行うために、載荷方法として横梁の中央 1 点載荷形式を採用した(図-1)。軸力は加えておらず、せん断スパンを $a/d=3.0$ となるように設定した。

2.2 実験結果

図-2-1~図-2-4 に、せん断応力(作用せん断力 V/bd)一回転角(梁中央部下端の変位 δ /せん断スパン a)関係を示した。供試体 H250 は、主鉄筋の降伏とほぼ同時に、他の供試体では降伏前に斜めひび割れが進展し、直ちにせん断破壊に至った。主鉄筋に沿う割裂ひび割れは、発生していなかった。ひび割れ状況を観察すると、すべての供試体で、斜めひび割れの分散効果が確認された。側方鉄筋