

【論文】

鉄筋コンクリート柱部材のせん断耐力に関する基礎的研究

宮川 邦彦・佐藤 武夫

Fundamental Study on Shear Capacity in RC Columns

Kunihiko Miyakawa・Takeo Sato

Abstract: Behaviors of RC columns and mechanisms of failure subjected to shear forces are influenced by experimental factors such as cross section of members, shear reinforcing steel, compressive strength of concrete and others. The purpose of this paper is to propose the shear capacity of RC columns without shear reinforcing steels.

As the results of two-face shear experiment, the followings were obtained. The shear capacities of RC columns are obtained mainly by amount and diameter of axial reinforcement, distance of shear reinforcing steels.

Keywords: reinforced concrete column, shear capacity, axial reinforcement, buckling

1. はじめに

我が国では、昭和30年代から今日に至るまで戦後の復興と近代化を推進するため、社会基盤整備の一環として新幹線や都市高速自動車道等で多くの高架構造物が建設されてきた。しかし、兵庫県南部地震や新潟県中越地震等の活断層に起因する直下型地震により、それら高架構造物の橋脚が壊滅的な損傷を受け、人的・物的両面で甚大な被害をもたらすと共に、都市機能を麻痺させる結果になった^{1), 2)}。

兵庫県南部地震以後、土木工学分野でも柱部材の破壊性状、特に脆性破壊に繋がるせん断破壊機構に関する研究が活発に行われ、その成果を基に平成8年度および平成14年度に土木学会「コンクリート標準示方書」や日本道路協会「道路橋示方書」の耐震設計編が改訂され、地震のタイプや構造部材の損傷度に応じて、設計法が細分化されると共に、より詳細な断面力の解析法として実際の地震波形や部材の塑性化を取入れた動的解析法が導入されるに至った。しかしながら、両設計法共、柱部材が受持つせん断耐力算定式には、従前と同様、はり部材の実測結果に基づく経験式が適用されており、同式が持続軸圧縮力や多量な側方鉄筋を有する柱部材に適用可能か否かについては、十分に検証されていないのが現状である^{3), 4)}。また、複雑なコンピュータ解析に

よる断面力の動的解析法の導入は、周知のように建築構造物の耐震偽装事件を引起す背景にもなった。

ところで、柱部材は、はり部材とは異なり、常時、ある程度の軸圧縮力を受持っており、しかも都心部の乾燥条件下にある独立橋脚やラーメン橋脚等ではコンクリートの時間依存現象（収縮・クリープ）により、軸圧縮力の大半を軸方向鉄筋が分担しているが、現行の柱部材の設計法では、このような部材断面内部における応力移行が柱部材のせん断耐力に及ぼす影響について検討した研究は少ない^{5), 6)}。そこで当研究室では、実構造物との相似性、すなわち、小型部材で実験する際のコンクリート分担せん断耐力に及ぼす軸方向鉄筋径や骨材粒子のインターロッキング効果を勘案した小型鉄筋モルタル柱を用い、帯鉄筋を有しない柱部材のせん断破壊性状について検討してきた。

その結果、靱性に優



写真-1 せん断破壊

れた柱部材を設計・施工するためには、斜めひび割れ発生以後のせん断破壊面における軸方向鉄筋のせん断座屈耐力を解明すべきであるとの結論に達した(写真-1参照)。

そこで本研究では、柱部材の曲げおよびせん断ひび割れ発生以後における軸方向鉄筋だけで分担できるせん断耐力を検討するため、部材の一部に発泡スチロールを配置した特殊な二面せん断載荷試験を行った。本論文は、今までに得られた二面せん断試験結果と、著者らの柱部材のせん断耐力算定式に対する考え方の一端について報告する。

2. 実験概要および考察

本実験では、せん断ひび割れ間の全軸方向鉄筋で分担できるせん断耐力を調べるため、図-1に示すような部材の一部に発泡スチロールを配置し、所定の中心軸圧縮力(N')を導入した後、写真-2に示すように500kNの万能試験機を用いて、二面せん断試験を行い、軸方向鉄筋がせん断座屈する際の降伏荷重を調べた。ただし、図-2に示すように軸方向鉄筋の降伏荷重は、明確に求められないため、粘性土地盤における圧密降伏応力の推定方法に用いられているキャサグランデ法を適用して求めた⁷⁾。

2. 1. 実験 I 発泡スチロール厚および

軸方向鉄筋径と降伏荷重との関係

実験 I では、帯鉄筋の配置間隔と軸方向鉄筋の降伏荷重との関係を調べるため、発泡スチロール厚を10mm~40mmまで変え、24-D6~36-D6、12-D10および8-D13の軸方向鉄筋を配筋した部材を計24体作製し、中心軸圧縮力100kNを導入した後、二面せん断試験を実施した。なお、軸方向鉄筋の降伏強度はいずれも350N/mm²程度であった。表-1に一面の降伏荷重に置換えた実験結果の一覧を示す。図-3に示すように24-D6~36-D6の軸方向鉄筋を配筋した部材の降伏荷重は、軸方向鉄筋量に比例して増加しており、両者に強い相関がみられる。また、発泡スチロール厚が厚くなる程、降伏荷重は低減しており、これは、実構造物における帯鉄筋の配置間隔と密接に関連するものと考えられる。写真-3に載荷試験後の軸方向鉄筋のせん断座屈状態を示す。

軸方向鉄筋径に関しては、表-1と図-4に示すように発泡スチロール厚が10mmでは、降伏荷重に及ぼす軸方向鉄筋径の影響はみられないが、発泡スチロール厚が20mm~40mmでは、同程度の鉄筋量と比較して、軸方向鉄筋径が大きくなる程、明らかに降伏荷重が大きくなり、柱部材のせん断破壊を抑

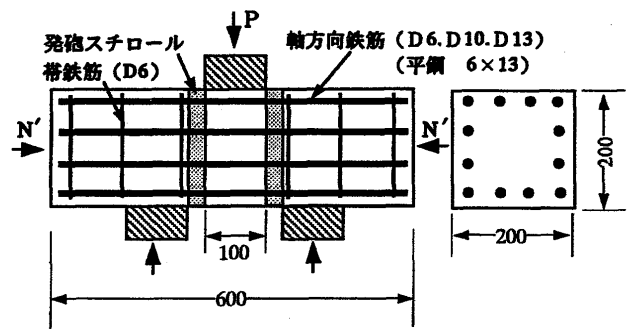


図-1 二面せん断試験部材の形状寸法

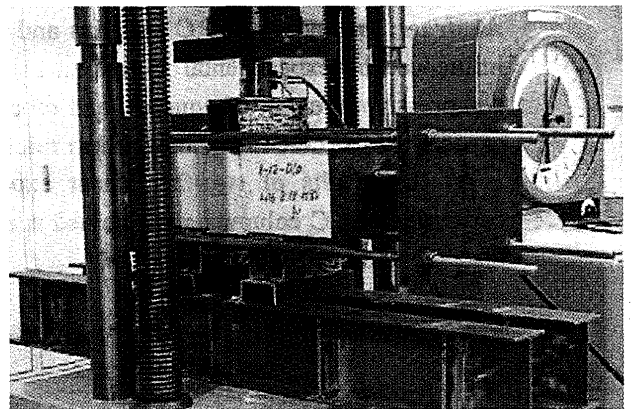


写真-2 二面せん断載荷試験方法

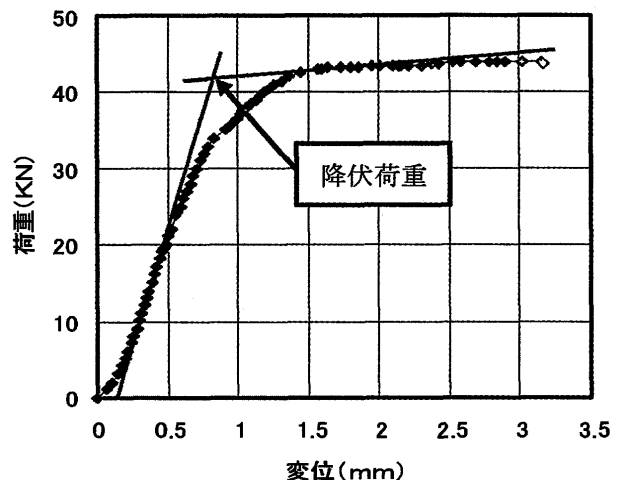


図-2 降伏荷重の求め方

表-1 実験 I の結果

配筋状態	鉄筋量 cm ²	発泡スチロール厚			
		10mm	20mm	30mm	40mm
24-D6	7.60	64	42	25	16
28-D6	8.87	79	52	34	18
32-D6	10.1	86	58	41	22
36-D6	11.4	94	59	39	27
12-D10	8.56	82	66	43	28
8-D13	10.1	94	76	57	42

止するためには、なるべく大径の軸方向鉄筋を使用するのが有利であることもわかる。

2. 2 実験Ⅱ 軸方向鉄筋の配置形状および軸圧縮力と降伏荷重との関係

実験Ⅱでは、まず、軸方向鉄筋の配置形状が二面せん断試験時の降伏荷重に及ぼす影響を調べるため、12-D10の軸方向鉄筋を正方形と長方形（せん断方向に横方向と縦方向）に配置した部材で実験した。その結果、表-2と図-5に示すようにせん断面に対して横長方形に配筋した部材の降伏荷重が若干小さくなっているが、実験誤差程度であると考えられる。このことから、軸方向鉄筋1本で分担できる降伏荷重は、軸方向鉄筋の配置形状の影響を受けないと考えられる。次に、軸方向鉄筋を正方形に配置し、中心軸圧縮力を50~100kNに変えたときの降伏荷重を調べた結果、表-2に示すように中心軸圧縮力が小さくなる程、降伏荷重は逆に若干大きくなっているが、これも実験値のばらつきに起因するものと考えられる。ただし、直下型地震で鉛直上向きの地震動が作用する場合、常時と比較して、軸圧縮力が増大することになるため、今後、中心軸圧縮力を100kN以上にしたときの降伏荷重も検討すべきである。

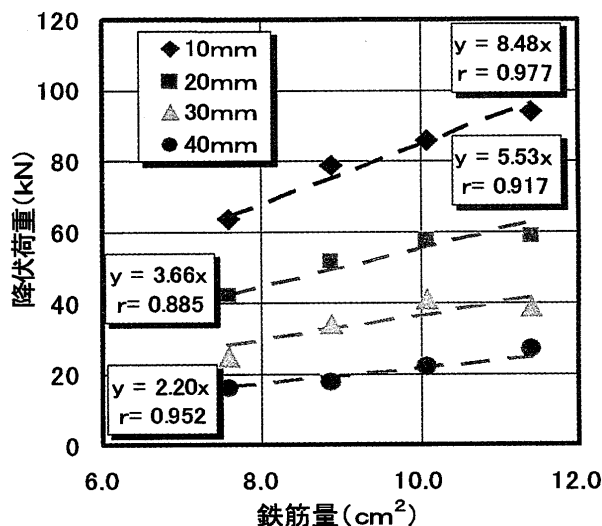


図-3 降伏荷重と鉄筋量との関係

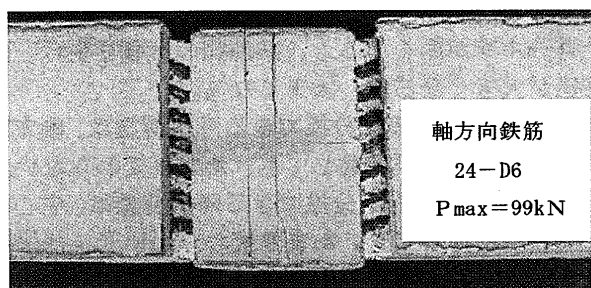


写真-3 せん断試験後の鉄筋座屈状態

2. 3 実験Ⅲ 軸方向鉄筋の形状と降伏荷重との関係

実験Ⅲでは、軸方向鉄筋の形状が二面せん断試験時の降伏荷重に及ぼす影響を調べるため、D13の異形棒鋼と市販の6mm×13mmの平鋼を用いて二面せん断試験を行った。なお、現在は円形の普通丸鋼と異形棒鋼しか使用されていないが、昭和40年頃まではコンクリートと鉄筋との付着力を高めるため、断面積に比較して、周長が長くなる異形平鋼鉄筋が開発され、使用されていたこともあった。ただし、平鋼の場合、曲げ加工の方向が限定されるため、現在は生産されていない。

本実験では、軸方向鉄筋を正方形配筋し、平鋼の場合、せん断方向に対して平鋼を水平（幅：13mm、厚さ：6mm、以下、平鋼（水平）と呼ぶ）に配置したときと、鉛直（幅：6mm、厚さ：13mm、以下、平鋼（鉛直）と呼ぶ）に配置したときの二面せん断試験時における降伏荷重を調べた。なお、比較のためにD13の異形棒鋼の試験も行った。ここに、平鋼の降伏強度は異形棒鋼と同程度のものを使用した。

表-3に実験結果を示す。同表から異形棒鋼の降伏荷重が平鋼（鉛直）のそれよりも1割程度大きくなっているが、これは、断面積の違いに起因するも

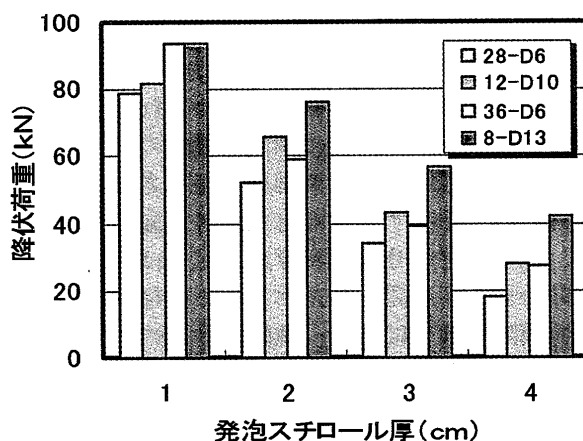


図-4 降伏荷重と鉄筋径との関係

表-2 実験Ⅱの結果

配筋形状	鉄筋量 cm ²	軸力 kN	発泡スチロール厚	
			20mm	30mm
正方形	8.56	100	58	43
横長方形			56	40
縦長方形		58	43	
正方形		100	58	—
		75	60	—
		50	61	—

のであり、その差から比較すると、降伏荷重は単に断面積だけでなく、せん断方向の断面二次モーメントの影響を強く受けることがわかる。また、平鋼（水平）の降伏荷重は、図-3に示す厚さが等しいD6の異形棒鋼の近似式でほぼ求められることもわかった。

3. まとめ

本研究では、柱部材の軸方向鉄筋が分担できるせん断耐力を求めめるため、部材の一部に発砲スチロールを配置した特殊な二面せん断試験を行った。以下に、本研究から得られた結果を要約する。

(1). 軸方向鉄筋が分担できる降伏荷重は、鉄筋径が同じであれば、鉄筋の配置本数に比例して増加し、発砲スチロール厚が厚くなる（帯鉄筋間隔が広くなる）程、減少する。

(2). 軸方向鉄筋が分担できる降伏荷重は、発砲スチロール厚が厚くなると、鉄筋径の影響を受け、鉄筋径が大きくなる程、大きくなる。

(3). 軸方向鉄筋が分担できる降伏荷重は、軸方向鉄筋の配置形状が相違しても、あまり変わらない。

(4). 軸方向鉄筋が分担できる降伏荷重は、中心軸圧縮力が相違しても、あまり変わらない。

(5). 軸方向鉄筋が分担できる降伏荷重は、軸方向鉄筋の断面形状、特にせん断方向の断面二次モーメントの影響を強く受ける。

以上、本研究の結果から、現行の柱部材のせん断耐力算定式は、はり部材から求められた経験式が適用されているため、特に軸方向鉄筋のせん断座屈耐力に及ぼす帯鉄筋の拘束効果が軽視されており、地震時に靱性を有する柱部材を設計・施工するためには、はり部材のせん断耐算定方式とは別に、軸方向鉄筋のせん断座屈を抑止するための帯鉄筋径とその配置間隔を適切に定め、帯鉄筋内部のコンクリート断面の損傷度を低減できる配筋法、すなわち、軸方向鉄筋と帯鉄筋との相乗効果を考慮したせん断耐力算定式を検討すべきであろう。

参考文献

- 1). 日本建築学会・土木学会編:1995年 阪神・淡路大震災スライド集, 丸善株式会社, 1995
- 2). 阪神・淡路大震災調査報告委員会編, 阪神・淡路大震災調査報告, 土木学会・日本建築学会他, 1998
- 3). コンクリート標準示方書(耐震性能照査編), 土木学会, 2002
- 4). 道路橋示方書・同解説 V耐震性能照査編, 日本道路協会, 2002

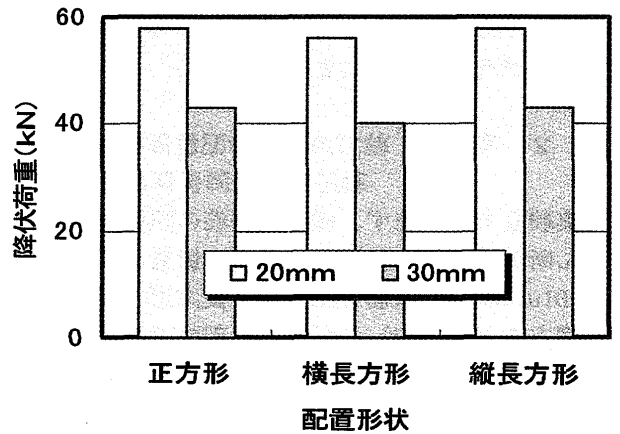


図-5 降伏荷重と鉄筋配置形状との関係

表-3 実験Ⅲの結果

鉄筋・配筋形状	鉄筋量 cm ²	軸力 kN	発砲スチロール厚	
			20mm	30mm
8-D13	10.1	50	67	52
平鋼(水平)	6.24		39	24
平鋼(鉛直)			59	46

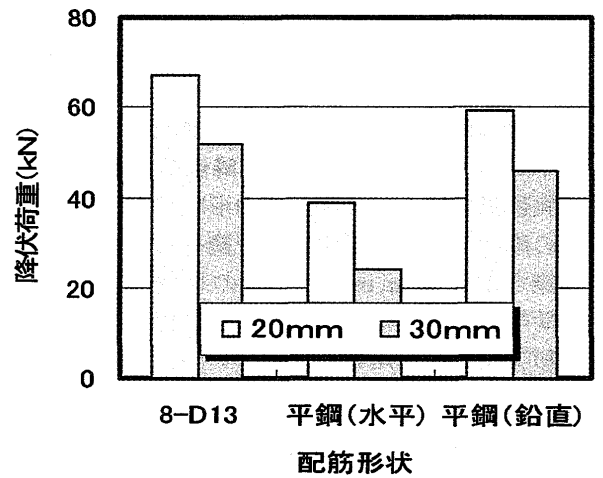


図-6 降伏荷重と配筋形状との関係

- 5). 宮川邦彦, 前田隆志, 佐藤武夫: P C柱のひびわれおよび破壊性状に関する基礎的研究. コンクリート工学年次論文報告集, Vol117, No. 2, pp. 599~604, 1994
- 6). 宮川邦彦: 帯鉄筋を有しないコンクリート柱の破壊性状に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol122, No. 3, pp. 343~348, 2000
- 7). 土質試験 基本と手引き 第一回改訂版, 地盤工学会, 2004