

有限要素法解析を用いたRC梁のせん断耐力に関する一検討

Analytical study on shear strength for RC beam by finite element method

北武コンサルタント株式会社
株式会社コムスエンジニアリング
北武コンサルタント株式会社

○正 員 坂口 淳一 (Junichi Sakaguchi)
正 員 土屋 智史 (Satoshi Tsuchiya)
正 員 渡辺 忠朋 (Tadatomo Watanabe)

1. はじめに

本検討では、材料の非線形性を考慮した2次元の有限要素法解析（以後、FEM解析と呼ぶ）により、せん断破壊する鉄筋コンクリート梁の最大耐力を検討した。解析においては、鉄筋コンクリート梁のせん断スパンや帯鉄筋比をパラメータとして解析を行い、FEM解析からえら得られる最大耐力について、設定したパラメータによる影響を確認するとともに、設計に用いられるせん断耐力の算定式から得られる耐力の計算値と比較した。

2. 解析概要

2.1 解析対象及びパラメータ

本検討では、鉄筋コンクリート梁の4点曲げを対象として、せん断スパン比及び帯鉄筋比をパラメータとして有限要素法解析を実施した。解析ケースの一覧を表-1に示す。表中に示すように、本検討においては、せん断スパン a/d を 1.5~3.0、帯鉄筋比 p_w を 0~2.0%の範囲で変化させた。

2.2 解析方法

有限要素法解析には、解析ツールとして、WCOMD Version 2.01.01¹⁾を用いた。本解析ツールは、構成則として、鉄筋とコンクリートの平均応力と平均ひずみの関係により表現される分散ひび割れモデルを用いて、鉄筋コンクリート構造の2次元非線形解析を行うものである。

解析においては、境界条件として後述する鉄筋コンクリート梁モデルを単純支持した状態で、載荷点に単調増加の強制変位を載荷することで、荷重-変位関係を得た。

2.3 解析モデル

解析モデル図を図-1に示す。本検討に用いた鉄筋コンクリート梁の断面は、高さ1.0m、幅0.5mの共通として、スパン長や載荷点位置を図のように設定することでせん断スパン比を所定の値となるようにした。解析モデルは、2次元平面要素を用いて、200mmを標準の要素寸法としてメッシュ分割した。

軸方向鉄筋は、部材としての引張鉄筋比が $p_t = 2.0\%$ となるように、最下層の要素に軸方向鉄筋を配置するとともに、せん断破壊を生じるように、その降伏強度を 1000N/mm^2 とした。また、圧縮側コンクリートの曲げによる圧縮破壊を防ぐ目的で、最上層の要素にも最下層と同量の軸方向鉄筋を配置した。一方、帯鉄筋は、降伏強度を 345N/mm^2 として、表-1に示した各解析ケースの所定の鉄筋量を配置した。

コンクリートは、圧縮強度を 30N/mm^2 として、圧縮側構成則として軟化域を考慮したものを用いている。一方、コンクリートの引張側の構成則としては、鉄筋が配置されているRC要素においては、テンションステフニングを考慮した材料構成則を用いている。

表-1 解析ケース一覧

No.	解析ケース名	せん断スパン比 a/d	帯鉄筋比 p_w (%)
1	B-S15PW0	1.5	0
2	B-S15PW02		0.2
3	B-S15PW06		0.6
4	B-S15PW08		0.8
5	B-S15PW10		1.0
6	B-S15PW15		1.5
7	B-S15PW20		2.0
8	B-S20PW0	2.0	0
9	B-S20PW02		0.2
10	B-S20PW06		0.6
11	B-S20PW08		0.8
12	B-S20PW10		1.0
13	B-S20PW15		1.5
14	B-S20PW20		2.0
15	B-S30PW0	3.0	0
16	B-S30PW02		0.2
17	B-S30PW06		0.6
18	B-S30PW08		0.8
19	B-S30PW10		1.0
20	B-S30PW15		1.5
21	B-S30PW20		2.0

/// 軸方向鉄筋を配置する要素

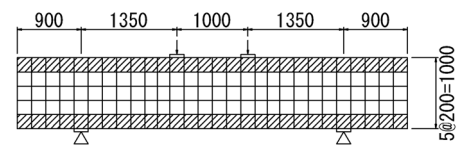
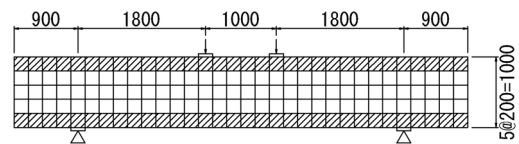
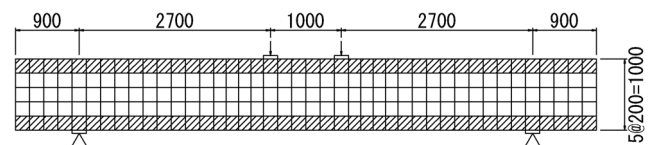
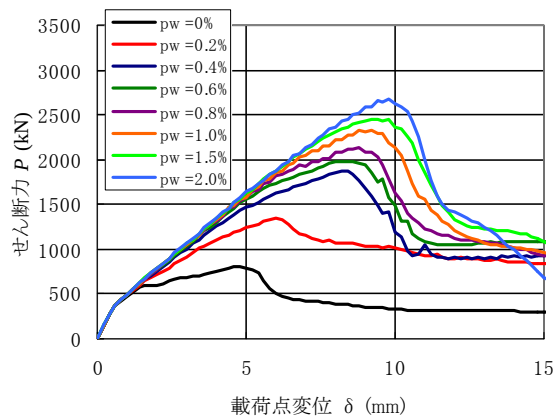
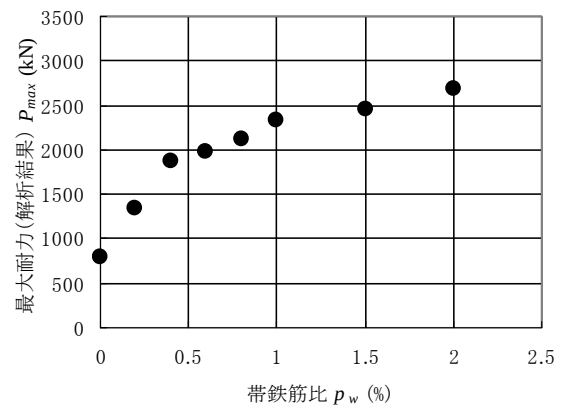
(a) せん断スパン比 $a/d = 1.5$ (b) せん断スパン比 $a/d = 2.0$ (c) せん断スパン比 $a/d = 3.0$

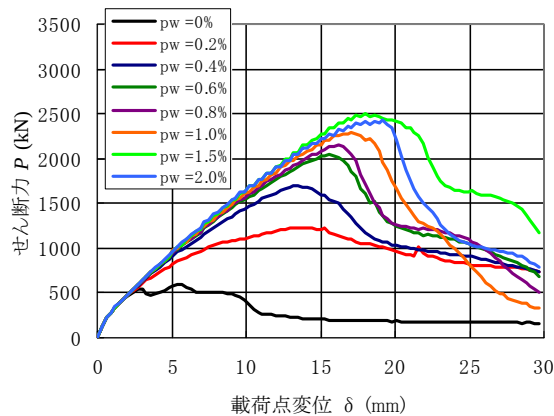
図-1 解析モデル



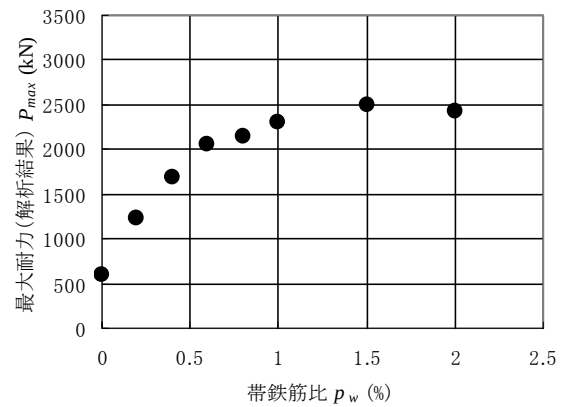
(a) せん断スパン比 $a/d = 1.5$



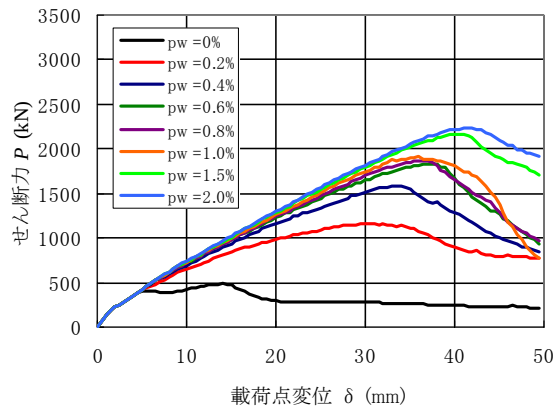
(a) せん断スパン比 $a/d = 1.5$



(b) せん断スパン比 $a/d = 2.0$

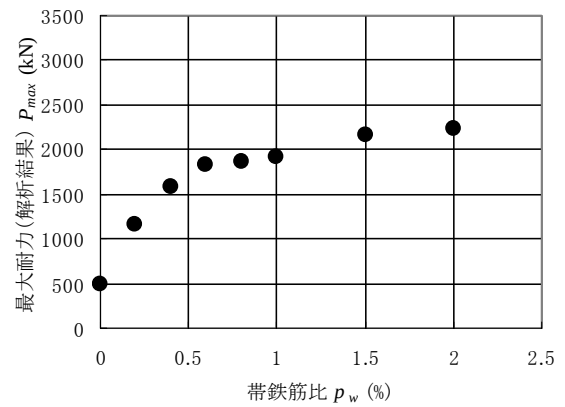


(b) せん断スパン比 $a/d = 2.0$



(c) せん断スパン比 $a/d = 3.0$

図-2 解析から得られたせん断力-荷点変位関係



(c) せん断スパン比 $a/d = 3.0$

図-3 帯鉄筋比と最大耐力の解析結果の関係

3. 解析結果

3.1 せん断力-荷点変位関係

解析結果として、各ケースのせん断力-荷点変位関係をせん断スパンごとに図-2 に示す。図から、帯鉄筋量が多いほど、せん断耐力の最大値（以後、最大耐力と呼ぶ）が大きくなる傾向が確認できる。

3.2 最大せん断力

図-2 に示したせん断力-荷点変位関係から抽出される各解析ケースの最大耐力と帯鉄筋比の関係を、図-

3 に示した。図で、縦軸は最大耐力の解析結果、横軸は帯鉄筋比を示している。

図から、本解析においては、いずれのせん断スパンの場合でも、帯鉄筋比 $p_w=0.5\%$ 付近を境として、帯鉄筋比の増加に対する最大耐力の増分の勾配が低下している。このことは、せん断耐力は帯鉄筋量の増加に比例して増加せず、ある程度の帯鉄筋量を超えると、帯鉄筋量の増加に対する耐力の増加が鈍化することを示していると考えられる。

3.3 セン断耐力算定式によるせん断耐力の計算値と解析結果の比較

次に、鉄筋コンクリート棒部材のせん断耐力の算定式から得られるせん断耐力の計算値と、解析から得られた最大耐力とを比較する。

ここでは、せん断耐力の算定式として、せん断補強鉄筋を有する棒部材の設計せん断耐力 $V_{yd}^{(2)}$ と、設計せん断圧縮破壊耐力 $V_{dd}^{(3)}$ を用いた。なお、設計せん断圧縮破壊耐力 V_{dd} は、せん断スパン比 a/d が小さい場合（一般に a/d が 2.0 以下）に用いられる式である。両式の詳細は参考文献^{2), 3)}に譲り、ここでは割愛する。

図-4 に、せん断耐力の計算値に対する解析から得られた最大耐力の比 P_{max}/V_{yd} , P_{max}/V_{dd} と帯鉄筋比 p_w の関係を示す。図から、解析から得られた最大耐力とせん断耐力の計算値の比 P_{max}/V_{yd} , P_{max}/V_{dd} は、1 を上回っており、解析結果は、計算値よりも大きな耐力を発揮している傾向にある。ただし、せん断スパン比が大きいくほど顕著に見られるように、設計せん断耐力 V_{yd} に対する場合で、帯鉄筋比が大きくなるにつれて P_{max}/V_{yd} が減少し、 $p_w=1.5\%$ 付近から 1 を下回っている。このことは、鉄筋コンクリートの棒部材において多量の帯鉄筋を配置した場合には、設計式により算出されるせん断耐力を発揮せずに、せん断破壊に至る可能性を示唆している。

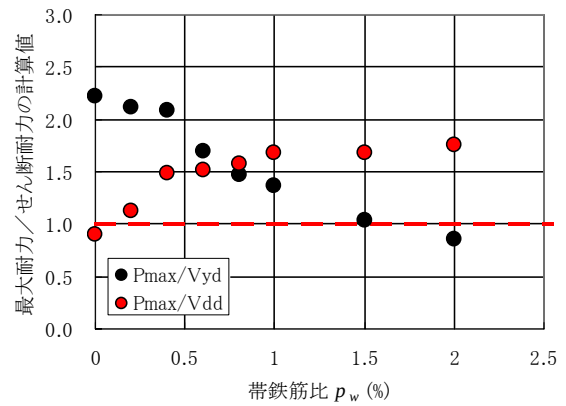
4. まとめ

本検討では、せん断破壊する鉄筋コンクリート梁の最大耐力について、帯鉄筋量に着目して2次元の非線形FEM解析により検討した。本検討により確認された事項を以下にまとめる。

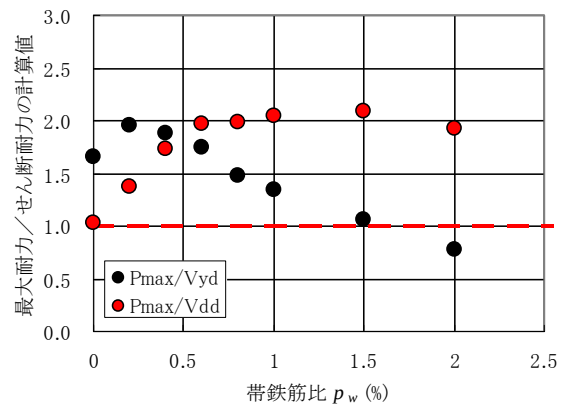
1. 本検討で解析を行ったせん断スパン比 a/d が1.5, 2.0, 3.0のいずれの条件においても、帯鉄筋比の増加に対する部材の最大耐力の増加が、帯鉄筋比 $p_w=0.5\%$ 付近を境として鈍化する傾向が見られた。
2. 鉄筋コンクリート棒部材のせん断耐力の算定式から得られるせん断耐力の計算値と、解析から得られた最大耐力の比較から、帯鉄筋比が大きい場合に、設計せん断耐力 V_{yd} の計算値よりも小さな耐力で、部材が破壊する傾向が確認された。

参考文献

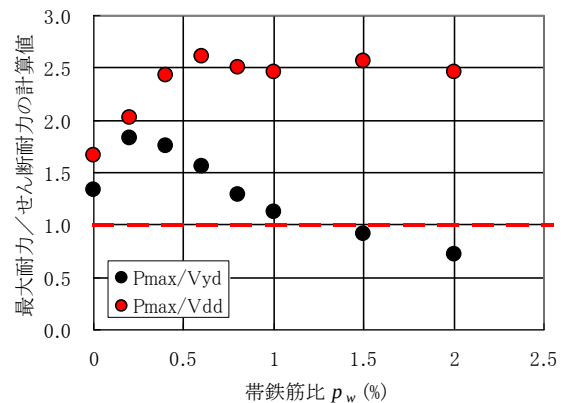
- 1) 岡村 甫, 前川宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, 1991.
- 2) 土木学会: 2007 年制定 コンクリート標準示方書【設計編】, 2008.
- 3) 谷村幸裕, 佐藤 勉, 渡邊忠朋, 松岡 茂: スターラップを有するディープビームのせん断耐力に関する研究, 土木学会論文集, No.760/V-63, pp.29-44, 2004.5.



(a) セン断スパン比 $a/d = 1.5$



(b) セン断スパン比 $a/d = 2.0$



(c) セン断スパン比 $a/d = 3.0$

図-4 帯鉄筋比と最大耐力/せん断耐力の計算値の関係