

鉄筋コンクリート壁式橋脚のせん断耐力に関する解析的研究

名古屋大学大学院 学生会員 加藤 緑

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

RC 壁式橋脚は、橋軸直角方向においてせん断スパン比が比較的小さくなる場合が多い。せん断スパン比が小さい部材、すなわちディープビームのせん断耐力に関する既往の研究は、RC はり部材の載荷実験などに基づくものが多いが、壁式橋脚は支持条件が片持形式となること、配筋として側方鉄筋が多いなど、その支持条件や配筋などに、はり部材との相違点が多く、はり部材から得られた知見の適用性は未だ明らかになっていない。そのような部材に対しては、今後は解析的に性能照査を行うことも1つの方法論として考えられる。そこで本研究では3次元非線形有限要素解析による、壁式橋脚の橋軸直角方向のせん断耐力評価の適用性について検討した。

2. 解析モデル

解析の対象とした供試体の概要を図-1に示す。供試体は石橋らにより行われたせん断破壊を起こす壁式橋脚である¹⁾。表-1に示すように帯鉄筋量の異なる3体の供試体を対象として解析を行った。

解析は8節点アイソパラメトリック要素を用いた非線形3次元有限要素解析により行った。RC構成則には格子等価連続体モデルを用いた²⁾。

コンクリートの圧縮モデルは、図-2に示すように、圧縮強度まではSaenzの式を用い、ひずみ軟化域には圧縮破壊エネルギーを導入し直線的に応力が低下するモデルとした。また、圧縮強度はひび割れ幅 w_c にしたがって次式に示すように低下するモデルを仮定した。

$$\eta = 1.15 \times \exp(-1.15 \times w_c) \quad \eta \geq 0.6 \quad (1)$$

ここで、 w_c はひび割れ幅、 η は圧縮低減係数である。

軸方向鉄筋はトラス要素で離散鉄筋モデルとしてモデル化し、軸方向鉄筋周辺の要素に対しては、鉄筋との相互作用としてせん断伝達能力が向上するRC領域を考慮した。付着特性はコンクリートと鉄筋要素間のリンク要素に直接導入することで考慮した。一方、帯鉄筋はRC要素としてモデル化した。

3. 解析結果

(1) 荷重変位関係ならびにひび割れ性状

図-3に実験および解析により得られた荷重-変位関係を示す。図中、破線は実験値を、実線は解析値を示す。解析の最大荷重は、実験値より低い値になり、その差は帯鉄筋比が大きくなるほど増加する。ただし、全体的な挙動は概ね捉えている。実験においては、帯鉄筋比が少ない

No.4 供試体は、圧縮ストラットに数本のひび割れのみが発生して最大荷重に達する斜めひび割れ集中型、帯鉄筋鉄筋比の大きいNo.1, No.5 供試体は多数の斜めひび割れが圧縮ストラットに分散して発生する斜めひび割れ分散型と報告されている。図-4に本解析により得られたNo.4 供試体とNo.5 供試体の最大荷重時の主引張

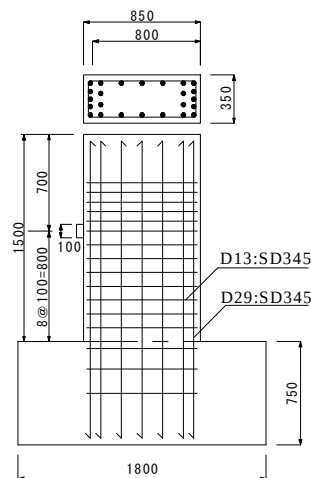
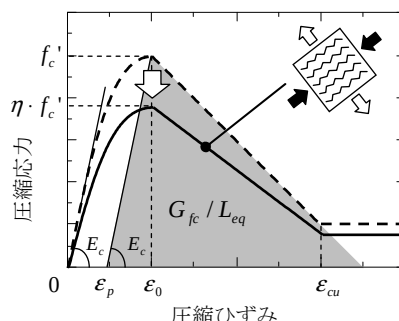


図-1 供試体の概要 (No. 1)

表-1 供試体の材料特性

供試体 No.	帯鉄筋比		ひび割れ性状
	降伏強度 (MPa)	鉄筋比 (%)	
1	366.0	0.72	分散型
4	—	—	集中型
5	373.5	1.63	分散型



(a) 圧縮応力-ひずみ関係

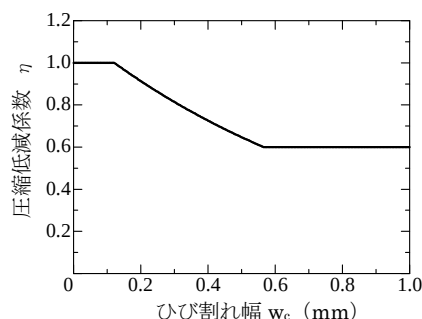
(b) ひび割れ幅と η の関係

図-2 圧縮の構成モデル

ひずみ分布を示す. No.4 は主引張ひずみの集中する領域が明らかに存在し, No.5 は主引張ひずみが分散していることが分かり, 帯鉄筋量の相違によるひび割れ性状は適切に表していることがわかる.

(2) セン断補強筋の効果

ディープビームのセン断補強筋の効果は必ずしも明確になっていない.そこで, セン断補強筋のない No.4 供試体の耐力から No.1, No.5 供試体の耐力の増分 (ΔV)と帯鉄筋量($p_w \cdot f_{wy}$)との関係を図-5 に示す. 帯鉄筋量の増加によるセン断耐力の増加量については, 解析値は実験値を概ね評価している. また, 帯鉄筋の効果については, ある量まではトラス理論により耐力の増加分を評価できることが分かる. ただし, 帯鉄筋量がある程度以上になると, 斜め圧縮破壊が生じ, トラス理論の適用外になることもわかり, 斜め圧縮破壊耐力の評価が解析的に適切に行われることが必要である.

(3) コンクリートの圧縮破壊挙動の影響

図-5 に示すセン断補強筋の効果については, 概ね評価できているにも関わらず, 図-3 に示したように解析値のセン断耐力は実験値を過小評価した. その差の原因としては, セン断補強筋のない供試体 (No.4) の解析値が過小評価されていることが第一に考えられる. No.4 供試体の最大荷重前後の変形挙動を図-6 に示すが, 最大荷重以降は, フーチング上部のコンクリートが圧壊し変形が集中する挙動を示しており, コンクリートの圧縮挙動が耐力評価に重要な役割を示すことが分かる. 今回用いた供試体では, 図-2 に示すように, コンクリートの圧縮強度はひび割れ幅に従って $0.6 f'_c$ まで低下するモデルを用いている. そこで, 圧縮強度の低減の限界値を $0.8 f'_c$, f'_c (圧縮強度が低下しない) に変化させて, No.4 供試体の解析を行った. 図-7 に荷重-変位関係を示すが, 圧縮強度の低減値は, 耐力に影響することが分かる. なお, 図-5 に示すように, η の下限値が変化した場合においても帯鉄筋量と耐力増分の関係は大きく変化しておらず, 圧縮強度の低下の程度に関わらず帯鉄筋の効果の評価できていることが分かる. 圧縮強度の低減値の効果は RC 板の解析では, その有効性が示されているが, 今回の供試体のように, 主筋が多数配置された領域でのモデルは, いまだ存在していない. したがって, ディープビームとなる壁面橋脚のセン断耐力の解析的評価の精度を向上させるためには, コンクリートの圧縮応力下について, 今後詳細に検討する必要があると考えられる.

4. まとめ

3次元非線形有限要素解析により, セン断スパン比の小さい壁式橋脚の挙動やセン断耐力は概ね評価でき, 性能照査の一手法として適用可能であると考えられる. また, 精度向上のためには圧縮応力下のコンクリートの応力-ひずみ関係のモデル化が重要であることが示された.

参考文献

- 1)石橋ら: 鉄筋コンクリート壁式橋脚のセン断耐力に関する実験的研究, 土木学会論文集 E, Vol.65, No.3, pp. 300-310, 2009
- 2)伊藤ら: 格子等価連続体化法による鉄筋コンクリート部材の有限要素解析, 土木学会論文集, Vol.64, pp.115-129, 2004

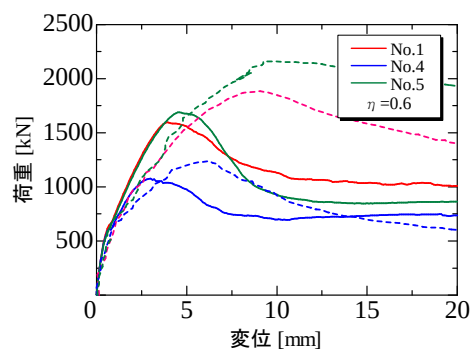


図-3 荷重-変位関係の比較

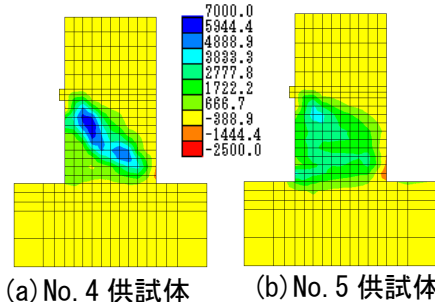


図-4 主引張ひずみ分布

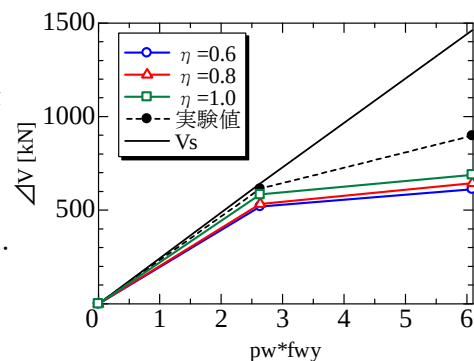


図-5 帯鉄筋量と耐力増分の関係

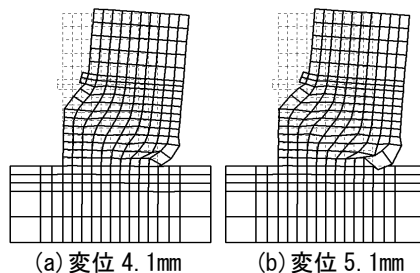


図-6 最大荷重前後の変形図

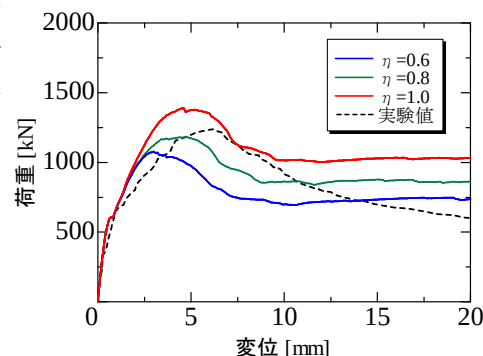


図-7 圧縮低減係数の違いによる比較