

杭が引抜き力を受ける杭基礎フーチングのせん断耐力に及ぼす荷条件の影響

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○角野 拓真 正会員 轟 俊太郎 正会員 田所 敏弥

1. はじめに

地震時に生じる曲げとせん断力により、杭基礎フーチングには、杭が押し込みとなるスパン（押込側）の他、杭が引き抜きとなるスパン（引抜側）が生じる場合がある（図1）。両者は、ストラットの形成方やせん断補強鉄筋の効果が異なると考えられるため、設計では一般的に各々の耐荷機構に応じて適切にせん断耐力を評価して照査を行う。両者のうち、引抜側のせん断破壊性状は不明な点が多い。本研究では、荷条件をパラメータとした有限要素（以降、FEM）解析を行い、引抜側のみではなく、橋脚とフーチングの接合部、さらに押込側に渡って形成されるストラットが引抜側のせん断耐力に与える影響について検討した。

2. 解析概要

本研究では、汎用有限要素解析プログラム DIANA (Ver10.2) を用いて 2 次元 FEM 解析を行った。表1に解析ケースの諸元、図2に解析に用いた構成則、図3および図4に、解析モデルを示す。荷条件をパラメータに、Case1では、既往の実験を基に<sup>1)</sup>、単純引抜によりフーチングの間接支持状態を単純化し、橋脚の軸方向鉄筋に鉛直上方向の強制変位のみを与えた。Case2 および Case3 では、荷条件を単純化せずに、地震時の桁の慣性力を模擬して、水平方向に強制変位を与えた。寸法は、既往の実験と同様に<sup>1)</sup>、実橋脚の 1/6 スケールとした。コンクリートの圧縮特性は、Parabolic を用いて、要素の拘束状態に応じた圧縮強度<sup>2)</sup>とひび割れ発生後の圧縮強度の低減を表現するモデル<sup>3)</sup>を用いた。橋脚、杭およびフーチングの軸方向鉄筋、せん断補強鉄筋は、埋込み鉄筋要素としてモデル化した。フーチングの軸方向鉄筋とせん断補強鉄筋は完全付着とした。ひび割れモデルは、全ひずみ固定ひび割れモデルを用いた。また、せん断伝達剛性は、要素が引張強度に達した場合に初期せん断伝達剛性の  $1 \times 10^{-4}$  倍となるよう設定した。フーチングのコンクリートは材料非線形性を考慮するが、凸部は弾性体とし、その部分の鉄筋の付着は考慮しないこととした。

表1 解析ケースの諸元

Case	$f_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )	せん断補強鉄筋		
				$f_{sy}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_s$ (kN/mm <sup>2</sup> )	$p_w$ (%)
Case1 ~ Case3	23.7	2.40	27.4	390	175	0.48

ここに、 $f_c$ : コンクリートの圧縮強度、 $f_t$ : コンクリートの引張強度、 $E_c$ : コンクリートの弾性係数、 $f_{sy}$ : せん断補強鉄筋の降伏強度、 $E_s$ : せん断補強鉄筋の弾性係数、 $p_w$ : せん断スパン内のせん断補強鉄筋比

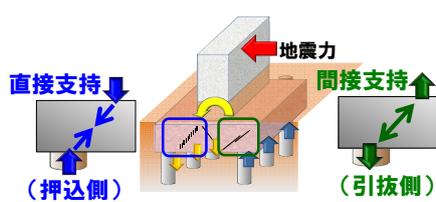


図1 杭基礎フーチングの耐荷機構

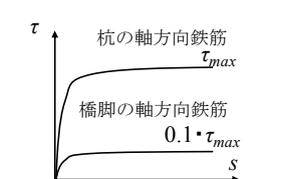
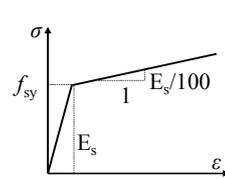
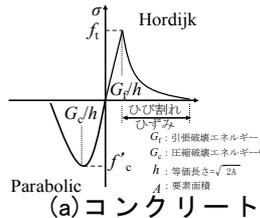


図2 解析に用いた構成則

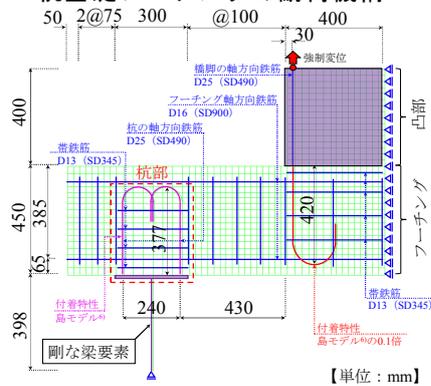


図3 解析モデル (Case1)

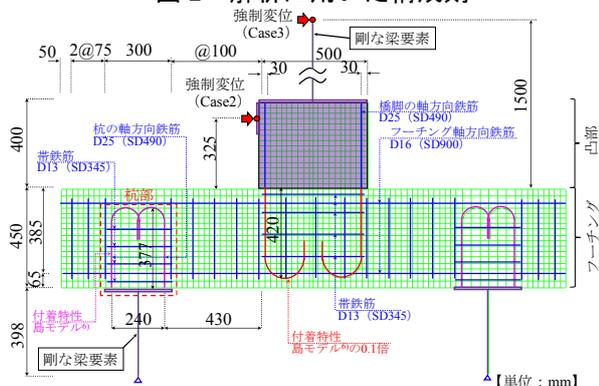


図4 解析モデル (Case2, 3)

キーワード 杭基礎フーチング、間接支持、直接支持、せん断破壊、せん断補強鉄筋

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7281

### 3. 解析結果

全てのケースで橋脚の軸方向鉄筋から斜め 45 度にひび割れが発生し、そのひび割れを跨ぐ全てのせん断補強鉄筋が降伏した後に最大荷重に至った (図 5, 図 7 (a) ~ 図 9 (a)). 図 5 のせん断力は、杭支点の鉛直反力である. 単純引抜きとした既往の実験<sup>1)</sup>と Case1 では、接合部に、橋脚の軸方向鉄筋のフック先端間を跨ぐ水平方向のひび割れが生じている. 一方で、慣性力を模擬して水平力を与えた Case2, Case3 では、共に押し込み側で圧縮ストラットが橋脚基部から杭を結んで形成されるが、接合部に発生する橋脚の圧縮域から引抜き側の圧縮域を結ぶ圧縮ストラットが、Case3 では生じているのに対し、Case2 では生じていない. Case2 では、Case2 と Case3 は橋脚高さが異なるため、接合部に生じる曲げモーメントとせん断力の割合が異なる. 図 5 に示す最大荷重時に橋脚基部に生じる曲げモーメント  $M$  とせん断力  $V$  は、Case2 では  $M=111\text{kN}\cdot\text{m}$ ,  $V=342\text{kN}$  であり、Case3 では  $M=211\text{kN}\cdot\text{m}$ ,  $V=141\text{kN}$  であり、Case2 ではせん断力、Case3 では曲げモーメントが卓越する. このことから、Case2 では、荷重点から橋脚基部を結ぶ主応力の水平成分が卓越し、橋脚基部から杭頭を結ぶ方向へとストラットが繋がっている. 一方で、Case3 では橋脚基部から引抜き側の圧縮域および杭頭に向かってストラットが繋がる. ひび割れひずみも Case1 と比べて、Case2 と Case3 ではスパン内の広い範囲に分散している. Case2 と比べて Case3 では曲げが卓越しているため、橋脚軸方向鉄筋に生じる引張力が大きく、ひずみが大きく生じていることがわかる. このように、荷重条件により、ひび割れひずみおよび最小主応力が異なるが、引抜き側で橋脚の軸方向鉄筋のフック下端から生じる斜めひび割れを跨ぐせん断補強鉄筋が降伏して最大荷重に至るため、図 5 より最大荷重のみに着目すると、既往の実験<sup>1)</sup>および Case1, 2, 3 共に、同程度であり、荷重条件 (曲げモーメントとせん断力の比) が異なることにより生じる接合部内の圧縮ストラットの影響は小さいと考えられる.

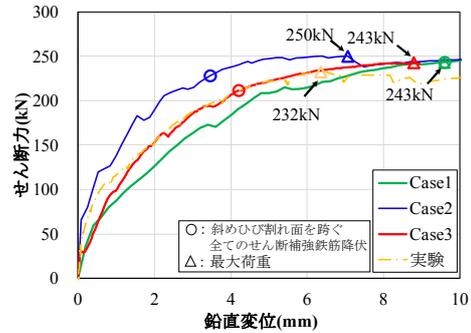


図 5 せん断力-鉛直変位

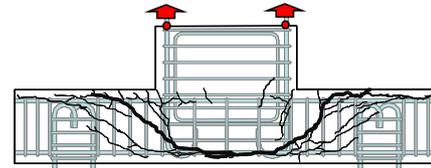


図 6 既往の実験のひび割れ<sup>1)</sup> (実験終了時)

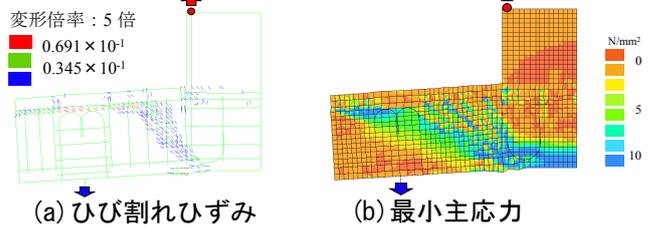


図 7 Case1 (最大荷重時)

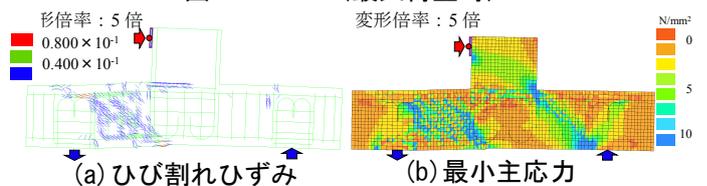


図 8 Case2 (最大荷重時)

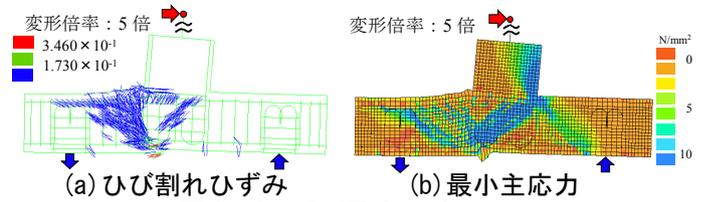


図 9 Case3 (最大荷重時)

### 4. まとめ

橋脚高さにより、特に接合部に生じる圧縮ストラットの形成方が異なるが、杭が引き抜きを受ける場合のせん断耐力に、荷重条件が及ぼす影響は小さいと考えられる.

### 参考文献

1) 轟俊太郎, 田所敏弥, 谷村幸裕, 進藤良則: 上側引張を受ける RC 梁のせん断耐力に及ぼすせん断補強鉄筋の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp.739-744, 2011.7, 2) SELBY, R.G., AND VECCHIO, F.J.: Three-dimensional Constitutive Relations for Reinforced Concrete. Tech. Rep. 93-02, Univ. Toronto, dept. Civil Eng., Toronto, Canada, 1993, 3) VECCHIO, F. j., AND COLLINS, M. P.: Compression of cracked reinforced concrete. J. Str. Eng., ASCE 119, pp.3590-3610, Dec.1993, 4) Hikaru NAKAMURA, Tekeshi HIGAI: Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete, Modeling of Inelastic Behavior of RC Structures under Seismic Loads, ASCE, pp.471-487,2001, 5) 島弘, 周礼良, 岡村甫: マッシュなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着応力すべりひずみ関係, 土木学会論文集, No.378/V-6, pp.165-174, 1987.2