

杭基礎フーチングのせん断耐力照査に関する検討

(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

杭基礎フーチングは、杭に押込み力が生じるスパンに対しては、直接支持部材としてフーチングのせん断耐力式（以降、 V_{fd} ）により照査し、杭に引抜き力が生じるスパンに対しては、間接支持部材として棒部材のせん断耐力式により照査する（以降、現行法）¹⁾（図 1）。2008 年前後にしゅん功した同一路線の鉄道高架橋の杭基礎フーチングを例にすると、せん断スパン比（以降、 a/d ）が 1.0 よりも小さいが、既往の研究^{2),3),4)}では a/d が 1.0 程度以上の範囲での検討が多い（図 2）。そのため、部材実験により a/d が小さい場合に対応した V_{fd} の算定に用いる有効幅⁵⁾および間接支持部材のせん断耐力算定式（以降、 V_s ）⁶⁾を提案している（以降、提案法）が、耐力算定値の相違による部材断面への影響は明らかではない。本稿では、実構造物を想定した杭基礎フーチングを対象に、現行法と提案法による照査結果の比較を行うことにより、部材断面に及ぼす影響について検討を行った。

2. 杭基礎フーチングのせん断耐力の算定法

現行法による V_{fd} は、式(1)に式(2)により求まる有効幅を用いて算定する⁷⁾。しかし、 a/d が 1.0 程度以下の場合に有効幅の影響を受け算定値が低下するため、杭中心から橋脚基部へ広がる圧縮ストラットを想定し、式(3)を提案している⁵⁾（図 3）。現行法による間接支持された杭基礎フーチングは、杭に生じる引抜き力が、棒部材の設計せん断耐力（以降、 V_{yd} ）を上回らないこと、かつせん断補強鉄筋の効果が不明確であるため、引抜き力の 50% がせん断補強鋼材を用いないせん断耐力（以降、 V_{cd} ）を上回らないことを確認する。文献 6) では、間接支持された杭基礎フーチングのせん断補強鉄筋の効果等に関する検討を行っており、これを参考に式(4)に示す V_s を導出し、引抜き力が V_s を上回らないことを確認することで、照査する。式(4)は、杭の軸方向鉄筋もしくは柱・橋脚の軸方向鉄筋の先端からフーチングの軸方向鉄筋がなす斜めひび割れ面を想定している（図 4）。なお、式(4)における有効幅 b_e は式(3)を準用する。

$$V_{fd} = (\beta_d + \beta_w) \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{fd} \cdot b_e \cdot d / \gamma_b \quad (1)$$

$$b_e = 0.8 \cdot a_1 + R \quad (2)$$

$$b_e = 0.65 \cdot \sqrt{a_1^2 + d^2} + R \quad (3)$$

$$V_s = p_w \cdot f_{wy} \cdot z \cdot \cot \theta \cdot b_e / \gamma_b \quad (4)$$

ここに、 p_w ：せん断補強鉄筋比（ ≤ 0.0084 ）、 f_{wy} ：せん断補強鉄筋の設計降伏強度、 z ：杭と柱・橋脚の軸方向鉄筋のうち、埋込み長が短い方の鉄筋の先端とフーチングの軸方向鉄筋までの位置、 θ ：斜めひび割れ角度（=45 度）、 γ_b ：部材係数（ V_{fd} の場合 1.2、 V_s の場合 1.1）

提案法による V_{fd} は主に有効高さ d 、 V_s は主に想定斜めひび割れ面を跨ぐせん断補強鉄筋量の影響を受ける。そのため、 V_{fd} で杭基礎フーチングの断面高さを設定し、 V_s でせん断補強鉄筋比を設定して照査を行う。

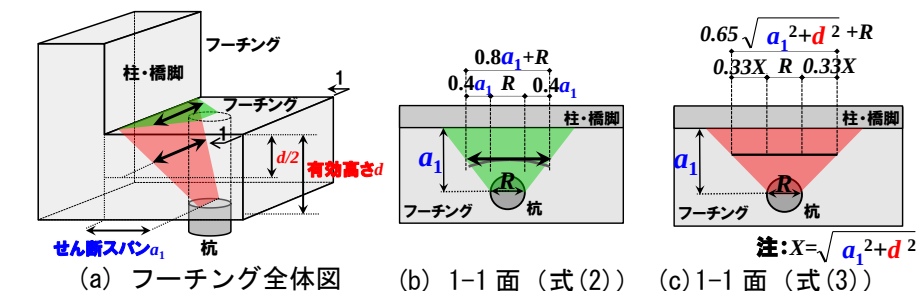


図 3 有効幅の概要

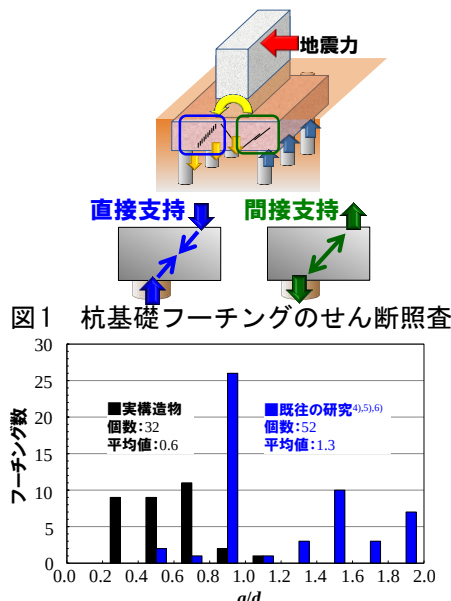


図 2 実構造物および既往の研究の

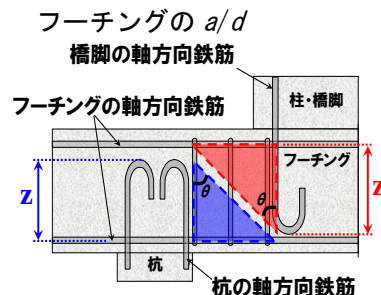


図 4 想定する斜めひび割れ面

キーワード フーチング、直接支持、間接支持、せん断耐力、有効幅、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 042-053-7281

3. 実構造物へのせん断耐力照査の適用

実構造物を想定し、現行法と提案法での算定値の比較を行った。表 1 および図 5 に、算定に用いた杭基礎フーチングの構造諸元と概要図を示す。検討には、 a_1/d の異なる 3 ケースを想定した。Case1 は、橋脚高さが 10m 程度の鉄道橋梁の杭基礎フーチングを想定した。Case2 は、Case1 を基本としてフーチング高さを 300 mm 低減させた。Case3 は、Case1 を基本として、せん断スパンを 2.8m 増加させた。また、杭および橋脚の軸方向鉄筋は、フーチングの上下軸方向鉄筋位置付近までの定着を想定した。表 2 に現行法と提案法による算定値を示す。なお、算定値は材料係数 γ_c および部材係数 γ_b を考慮した単杭の場合の値を示した。Case1 の場合、 V_{fd} は提案法を用いることで 1.26 倍となり、 V_s は V_{yd} と同程度となった。Case2 の場合、 V_{fd} は提案法を用いることで 1.20 倍となったが、 V_s は V_{yd} を下回った。Case3 の場合、 V_{fd} は現行法と同値となり、 V_s は、 V_{yd} を下回った。また、Case2 の提案法を用いた V_{fd} は Case1 の現行法を用いた V_{fd} よりも算定値を大きく評価できていることが分かる。図 6 に、Case1 を基本に a_1/d を変動させた場合の V_{fd} と a_1/d の関係を示す。 a_1/d が 1.2 程度以下の場合に提案法は、現行法より V_{fd} が向上するが、1.2 程度以上の場合には、提案法による算定値は現行法による算定値と同等になることが分かる。これは、 a_1 が増加することにより有効幅が杭間隔よりも大きくなるため、フーチング全幅が有効幅 ($b_e \geq b$) となることから、単杭として考えた場合、有効幅の最大値は杭間隔と同値となるためである。このことから、提案法は、 a_1/d が 1.2 程度以下の場合に部材断面の縮小が見込める。一方で、 a_1/d が 1.2 程度以上の場合の部材断面は現行法と同等以上とする必要があることが分かる。また、 V_s は図 4 に示す杭や柱・橋脚の埋込み位置により z が変動することにより、配筋条件によっては V_s と V_{yd} に乖離が生じる可能性がある。

4. まとめ

提案法により杭基礎フーチングのせん断耐力を照査することで、想定した杭基礎フーチングの場合、 a_1/d が 1.2 程度以下の杭基礎フーチングの部材断面を縮小することが可能であると考えられる。ただし、 a_1/d が 1.2 程度以上の場合には現行法と同程度以上の部材断面が必要となる。また、 V_s は杭や柱・橋脚の軸方向鉄筋の定着位置により変動するため、 V_s 算定時は配筋状況に応じ適切に評価することが必要である。

参考文献

1) (財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物 照査例 鉄筋コンクリート橋脚（杭基礎），2007.10, 2) 石橋ら：少数本のくいを用いたフーチングのせん断設計について，土木学会論文報告集，第 337 号，pp.197-204, 1983.9, 3) 少数本のくいを用いたフーチングのせん断補強ニカンスル実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.10, No.3, pp.565-570, 1988, 4) 鈴木ら：杭基礎フーチングのせん断耐力評価，鉄道総研報告，Vol.18, No.1, pp.31-36, 2004.1, 5) 轟ら：せん断スパン比の小さい直接支持された杭基礎フーチングのせん断耐力評価に用いる有効幅の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.38, No.2, pp.727-732, 2016, 6) 轟ら：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) (財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），2004.4

表 1 算定に用いたフーチングの構造諸元

Case	基礎構造	杭径 (m)	せん断スパン a_1 (m)	有効高 d (m)	a_1/d	f'_{ck} (N/mm ²)	せん断引張鋼材比 ρ_c	せん断補強鉄筋比 ρ_w
Case1	場所打ち杭	1.5	1.45	2.45	0.59	24	0.0026	0.0037
Case2	場所打ち杭	1.5	1.45	2.15	0.67	24	0.0030	0.0037
Case3	場所打ち杭	1.5	4.25	2.45	1.73	24	0.0026	0.0037

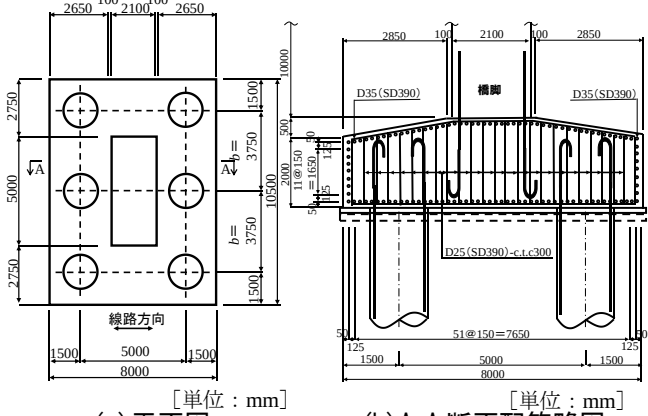


図 5 算定に用いたフーチングの概要図 (Case1)

表 2 現行法と提案法の算定値の比較

Case	照査法	V_{fd} (kN)	$V_{yd} \cdot V_s$ (kN) ^{注)}	V_{cd} (kN)	V_{sd} (kN)
Case1	現行法	14,729.7	8,886.0	1,352.4	7,533.6
	提案法	18,553.3	8,908.3	-	-
	提案/現行比	1.26	1.00	-	-
Case2	現行法	14,522.2	7,891.9	1,280.7	6,611.1
	提案法	17,391.8	7,199.4	-	-
	提案/現行比	1.20	0.91	-	-
Case3	現行法	12,603.8	12,527.2	1,906.5	10,620.7
	提案法	12,603.8	9,970.5	-	-
	提案/現行比	1.00	0.80	-	-

注：現行法は V_{yd} を示し，提案法は V_s を示す。

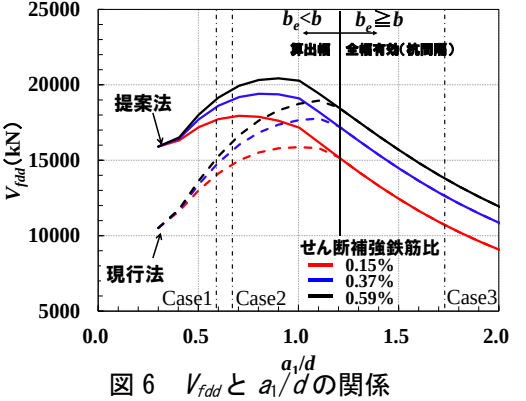


図 6 V_{fd} と a_1/d の関係