

太陽電池アレイ用基礎 T-Root 工法の開発 (その2: 設計法の提案)

大成建設(株)

正会員

○中西 誉

大成建設(株)

正会員

山本 平

(株)大塚社会基盤総合研究所

フェロー会員

大塚 久哲

1. はじめに

太陽電池アレイ用基礎として、4本の単管パイプとダクトイル製台座を用いた簡易基礎(T-Root工法)の開発を行っている。本稿では、T-Rootの実物大載荷試験結果と理論解を比較し、設計法の提案を行う。

2. T-Root工法とは

隅角部に斜孔を有するダクトイル製台座を地表に置き、単管パイプ(長さ: 4m, 外径: 42.7mm, 肉厚 $t=2.3$ mm)を各孔に1本ずつ俯角 50° で4本挿入打設し、台座とパイプの滑りをボルト固定(特許出願済)した摩擦斜杭基礎である(図1)。

3. 実物大載荷試験結果

試験地は耕作跡地で、スウェーデン式サウンディング(以下SW試験)の換算N値3程度の軟弱粘性土地盤である。試験当日は、台風の影響もあり地下水位は地表面まで達している状態であった。載荷試験は、繰返し載荷と静的載荷の2種類を行ったが、「太陽電池アレイ用基礎 T-Root 工法の開発(その1)」に示したとおり、設計荷重レベルでは繰返し載荷による地盤の破壊やT-Root自体の破壊といった現象は確認されていない。試験供試体では、単管パイプとダクトイル製台座間の滑りを防止するためにボルトで単管の固定を行っており、この固定により第1限界抵抗力点が明確に現われている(未固定の試験を別途実施)。静的載荷試験の荷重-変位曲線(図2~図4)より、第1限界抵抗力は各試験結果の平均値として、押し込み: 34kN, 引抜き: 25kN, 水平: 19kNとする。風荷重等の繰返し荷重が作用することと、変位をある程度抑制することが望ましいため、T-Root工法の支持力は、第1限界抵抗力点とする。

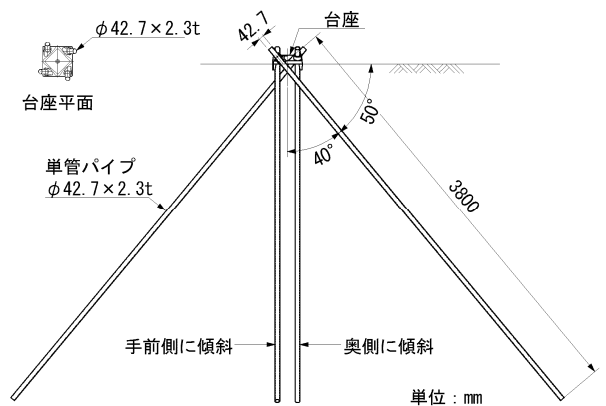


図1 T-Root 概要図

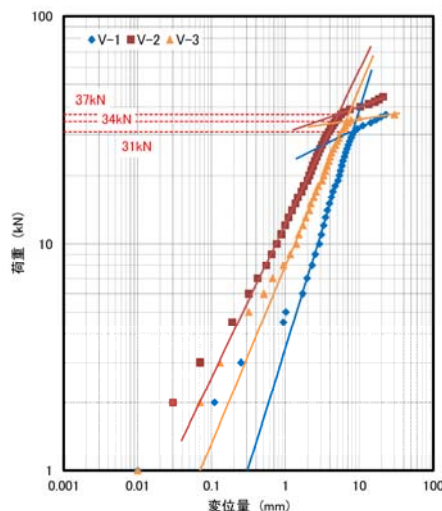


図2 静的押し込み載荷

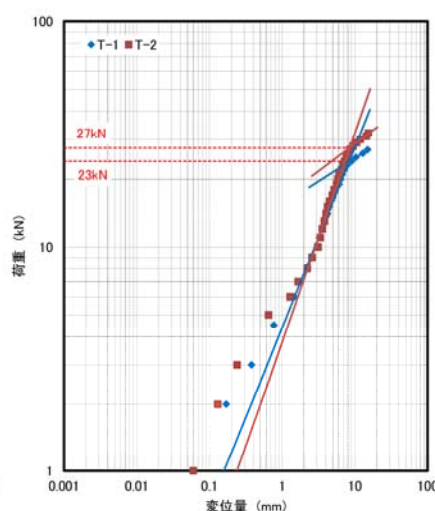


図3 静的引抜き載荷

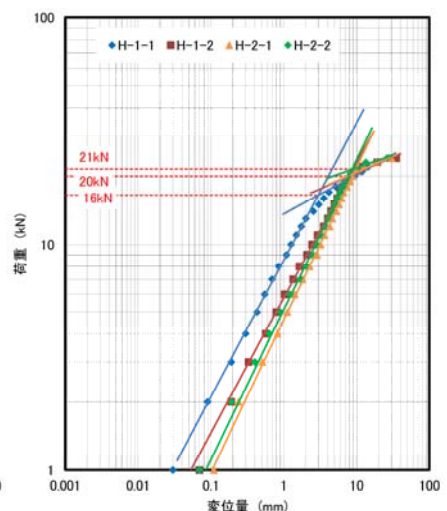


図4 静的水平載荷

4. 理論値との比較

杭基礎設計便覧(以下: 便覧)の斜杭の設計により支持力を求める。杭軸方向の抵抗力として杭の周面摩擦力, 杭軸直角方向の抵抗力として受働土圧を考える。押し込み・引抜き載荷に対しては4本の杭で均等に荷重を

キーワード: 太陽光発電/斜杭基礎/軟弱地盤/T-Root工法

連絡先: 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 新宿センタービル 大成建設(株)土木設計部陸上設計室 TEL03-5381-5418

分担するものとし、水平載荷に対しては押込み側と引抜き側の各2本の杭で均等に抵抗するものとする。

実際の適用においては地盤調査はSW試験を主とするため、その換算N値にて地盤定数を設定する。粘性土地盤であるため、粘着力 $C_u = 18.75 \text{ kN/m}^2$ 、せん断抵抗角 $\phi = 0.0^\circ$ 、単位体積重量 $\gamma_t = 16.0 \text{ kN/m}^3$ とする。

斜杭の周面摩擦力は鉛直杭の算定式を用い、杭の打設角を考慮して分力から支持力を算定する。

周面摩擦による極限周面摩擦力： $R_f = \tau_s \cdot L_s \cdot \Phi_D + \tau_c \cdot L_c \cdot \Phi_D$ 、

鉛直方向： $R_{fv} = R_f \cdot \cos\theta$ 、水平方向： $R_{fh} = R_f \cdot \sin\theta$ 、ここに、鉛直に対する杭の傾斜角 $\theta = 40^\circ$ 。

押込み時には先端支持力も考慮するが、載荷試験において単管パイプ中の先端部には2m程度粘性土が詰まっていたため、閉塞断面として先端支持力を算出する。

受働抵抗による支持力は、直杭と同様に水平地盤反力係数を初期勾配とし、傾斜角を考慮した水平地盤反力度の上限値 P_{HU} を降伏点とするバイリニア型とする。この上限値を受働土圧強度とし、極限支持力とする（詳細は便覧参照）。

$P_{HU} = \alpha_p \cdot P_U \cdot \cos(2\theta + \delta)$ 、 $P_U = K_p \cdot \gamma \cdot x + 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_p} + K_p \cdot q$ 。

上式より、鉛直および水平方向成分を求め、それぞれの支持力とする。

鉛直方向： $P_{pv} = P_p \cdot \sin\theta$ 、水平方向： $P_{ph} = P_p \cdot \cos\theta$ 。

ここに、 P_p ：受働土圧の合力。

載荷試験結果と理論値の比較を表1に示す。

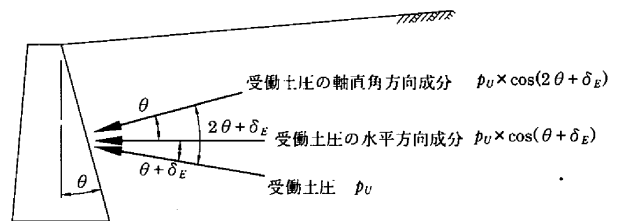


図5 受働土圧の軸直角方向成分

表1 載荷試験結果と理論値の比較

	載荷試験結果 (平均値)	理論値		
		摩擦+先端	受働土圧	合計値
押込みに対する鉛直方向支持力 (kN)	34	29.7	5.9	35.5
引抜きに対する鉛直方向支持力 (kN)	25	29.2	5.9	35.0
水平力に対する水平方向支持力 (kN)	19	17.5	5.0	22.4

載荷試験の第1限界抵抗力和理論値（摩擦+先端）による支持力は概ね一致しており、傾斜角 40° のT-Rootでも周面摩擦を超えた時点において第1限界抵抗性に達すると想定される（便覧の斜杭の設計法の適用範囲は 20° 以下）。受働土圧による抵抗値は、第1限界抵抗性点以降の荷重漸増部分と考えられ、第2抵抗限界力点に相当すると考えられる（載荷試験は第2限界抵抗性点までは行っていない）。

載荷試験では、押込み時と引抜き時で支持力に9kNの差があるが、粘性土の場合、理論解では押込み時と引抜き時の摩擦係数は同じとして扱われるため、摩擦抵抗に差は生じない。しかし、粘性土でも押込み時と引抜き時には極限摩擦力に多少の差があるとの報告もある²⁾。また、摩擦が作用するには、杭周辺地盤が破壊変形しないことが前提となるが、引抜き時には地表面近くの摩擦に抵抗する地盤自体が持ち上げられることで、押込みに比べ見かけの摩擦係数が小さくなる可能性もある。これらの定量的な評価は今後の課題である。

計算に用いた粘着力 C_u はSW試験からの換算N値を使用した推定値のため、理論値との整合性を厳密に確認するには室内試験による粘着力の精査が必要であるが、メガソーラのように広範な土地での地盤物性の把握には経済性を考慮し安価なSW試験等に頼る必要があり、実用の観点から本手法を提案するものである。

4. まとめ

T-Root工法の載荷試験結果における第1限界抵抗性点とは、理論上の杭周面摩擦の限界点の支持力と概ね一致し、その後は変位が急増することより、T-Rootの支持力設計にあたっては杭の周面摩擦の限界点を降伏点とすべきと考える。今後、FEM等で再現解析を行い、載荷時の杭の挙動等を確認する予定である。

【参考文献】1) 杭基礎設計便覧：社団法人 日本道路協会、p. 414、平成19年1月。

2) 小椋ら：プレボーリング拡大根固め工法による既成杭の引抜き抵抗 GBRC Vol. 34 No. 2 2009. 4.