

Subloading tij モデルによる逆 T 字基礎の引揚支持力解析

構成則 逆 T 字基礎 有限要素法

大日本土木(株)

正会員 ○中谷 登

東京電力ホールディングス(株)

正会員 松尾 敏, 馬場 悠介

(株)地域地盤環境研究所

国際会員 中井 照夫

1. はじめに

送電鉄塔基礎に適用される逆 T 字基礎 (図-1) は、引揚力に対して床板直上の埋戻し土と地山の境界部におけるせん断抵抗が期待されるが、過去の引揚載荷実験結果から地盤条件や施工法により境界部のせん断強度のばらつきが大きい設計で考慮されていないことが多い。本報では、Subloading tij モデル¹⁾を構成則とした三次元弾塑性有限要素法 (解析コード: PLAXIS+tijModel) を用いて逆 T 字基礎の引揚支持力評価を行い、埋戻し土と地山の境界部のせん断強度に影響を与える地盤条件を検討した結果を報告する。

2. 過去に実施された逆 T 字基礎引揚実験概要

逆 T 字基礎の引揚解析は、過去にローム地盤で実施された引揚実験²⁾をモデルとする。引揚実験の概要を表-1 に示す。

case1,2 では、土被り 2m、1 辺の長さ 2m、厚さ 0.5m の RC 床板を構築し、掘削残土で埋め戻した後に引揚載荷実験を実施した。case3,4 では、土被り 1.2m、1 辺の長さ 1m、厚さ 5cm の敷鉄板を設置し、掘削残土で埋め戻した後に引揚載荷実験を実施した。case3 は、補強なしの実験であり、case4 は、埋戻し土に木杭を打設して地盤の密度を増加するとともに、埋戻し土と地山境界部のせん断強度を増大させる方法を用いた。上部工への影響を考慮し、変位量 25mm 時の荷重を極限引揚荷重としている。

3. 土質パラメータの設定

実験場所のローム地盤から採取した試料を用いて Subloading tij モデルの土質パラメータを設定した。原位置の状態からできるだけ乱さないようにサンプリングした不攪乱試料と、スラリー状に攪拌した後に再圧密して作成した再構成試料で圧密試験、三軸圧縮試験 (CU) を実施した。土質パラメータを表-2 に示す。再構成試料の圧密試験結果から λ 、 κ 、 N を求め、その他のパラメータは三軸圧縮試験結果の応力~ひずみ関係にフィッティングするように trial\&error で求めた。設定した土質パラメータを用いた三軸圧縮試験の解析値と実験値の比較を図-2 に示す。

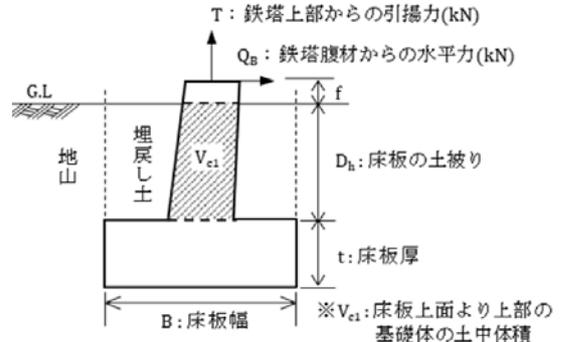


図-1 逆 T 字基礎

表-1 過去に実施された引揚実験の概要

実験ケース	case1	case2	case3	case4
基礎概要図				
	埋戻し土	Cs ϕ_s γ_s	38kN/m ² 18° 12.5kN/m ³	5kN/m ² 16.3° 12.4kN/m ³
地山	C ϕ γ	32.5kN/m ² 25° 11.7kN/m ³	83.8kN/m ² 16.3° 14.1kN/m ³	
	極限引揚荷重	325kN	365kN	104kN
載荷最大荷重	380kN	400kN	111kN	117kN

表-2 土質パラメータ

パラメータ	定義	case1,2	case3,4
λ	圧縮指数	0.308	0.13
κ	膨潤指数	0.03	0.009
Rcs	残留主応力比	4.93	4.93
N	大気圧時の間隙比	3.26	2.31
β	降伏局面の形状を表すパラメータ	3.5	4
a	密度や拘束応力の影響を表す発展則係数	290	500
ω_0	bondingの初期値	1.2	2
b	bondingの発展則の係数	10	1

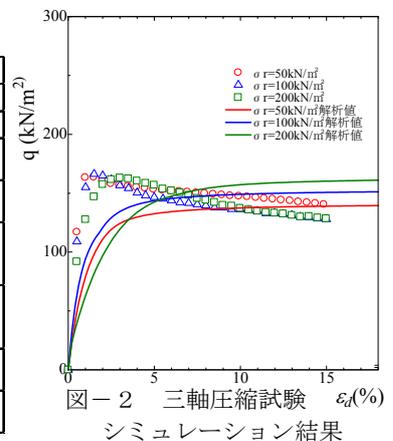


図-2 三軸圧縮試験 シミュレーション結果

Uplift bearing capacity analysis of anchor foundation using Subloading tij model

Nakatani Noboru, Dai Nippon Construction
Matsuo Satoshi, Baba Yusuke, Tokyo Electric Power Company
Nakai Teruo, Geo-Research Institute

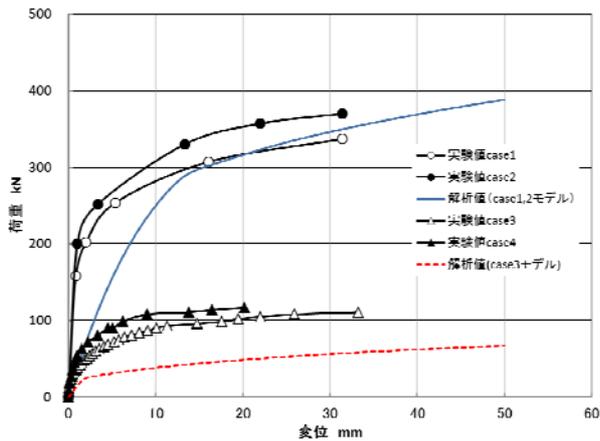


図-3 引揚実験の荷重～変位関係

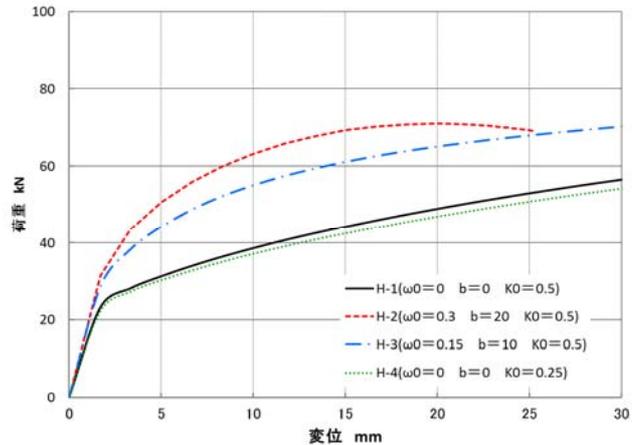
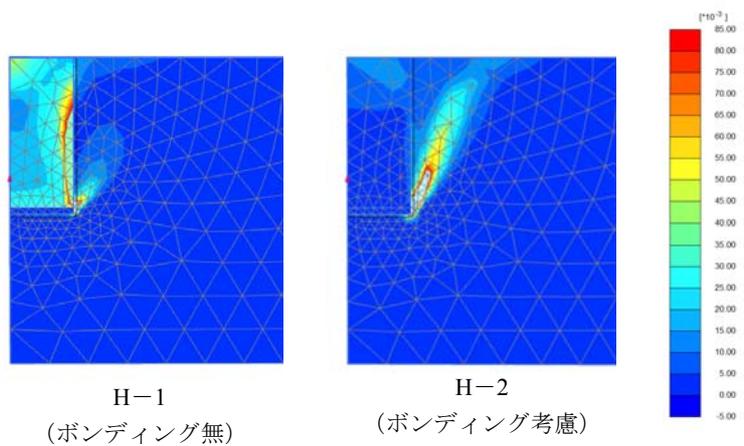


図-4 パラメトリックスタディ結果

表-3 解析条件

構成則		NoTensionElastic/Subloading tij AF=IC(Alt.)			
初期応力状態		Ko状態			
荷重方法		変位制御			
		0.05mm/step 最大1000step			
インターフェース要素		基礎、埋戻土周辺			
解析ケース		単位体積重量 kN/m ³	初期 間隙比	ボンディ ング	静止土圧 係数
H-1	埋戻土	14.3	2.62	無し	0.5
	原地山	14.3	2.4	$\omega_0=0.3$ $b=20$	
H-2	埋戻土	14.3	2.4	$\omega_0=0.3$ $b=20$	0.5
	原地山	14.3	2.4	$\omega_0=0.3$ $b=20$	
H-3	埋戻土	14.3	2.51	$\omega_0=0.15$ $b=10$	0.5
	原地山	14.3	2.4	$\omega_0=0.3$ $b=20$	
H-4	埋戻土	14.3	2.62	無し	0.25
	原地山	14.3	2.4	$\omega_0=0.3$ $b=20$	



H-1
(ボンディング無)

H-2
(ボンディング考慮)

図-5 最終ステップ時のせん断ひずみ分布図

4. 検討方法

逆T字基礎をモデル化した三次元有限要素法により数値解析を実施する。埋戻し土と地山の境界部のせん断強度に対して影響を与える地盤条件を明らかにするために、初期応力状態や初期間隙比などを変化させたパラメトリックスタディを実施した。掘削残土で埋め戻した地盤の土質パラメータは地山と同一とし、施工時の締め固め程度の違いを初期間隙比や単位体積重量といった状態量を変化させることによって表現し、施工後の時間経過に伴うローム地盤のシキソトロピーはボンディングを変化させることによって表現した。表-3に解析条件および解析ケースを示す。

5. 解析結果

逆T字基礎の引揚実験の荷重～変位関係と解析値を比較した結果を図-3に示す。実験 case1,2 と解析値の荷重～変位関係は、荷重初期段階では解析値の変位量が大きいものの極限引揚荷重（変位 25mm 時）では、実験値と解析値は比較的一致している。実験 case3, 4 は実験値が解析値に比べ大きい荷重が得られている。パラメトリックスタディ結果の荷重～変位関係を図-4に示す。各ケースの極限引揚荷重を比較すると埋戻しのボンディングを考慮したケース（H-2）は、ボンディングを考慮しないケース（H-1）に比べ3割程度耐力が向上する結果となった。最終解析ステップでのせん断ひずみコンターを図-5に示す。ボンディングを考慮していないケース（H-1）はせん断面が地山と埋戻しの境界面で発生しているのに対し、埋戻しのボンディングを考慮したケース（H-2）ではせん断面が地山側に40°程度広がる傾向を示している。

6. まとめ

逆T字基礎の引揚支持力の数値実験結果より、埋戻しのボンディングの有無が引揚支持力に与える影響が大きいことがわかった。ボンディングは粘性土のセメンテーションとか年代効果（エイジング）により、同じ間隙比でも乱した試料より剛性、強度を大きくできることを表すパラメータである。ローム地盤のように施工に伴う攪乱により強度、変形性能が著しく低下しても、施工後時間経過とともにシキソトロピー効果等により埋戻し土の剛性・強度回復が期待できるとともに、埋戻し土と地山境界部のせん断強度が時間経過とともに増加する効果が考えられる。

参考文献

1)中井照夫：Constitutive modeling of geomaterials- Principles and application, CRC Press, 2012年

1)飯谷ちづる・花輪高史・田邊成：既設送電用鉄塔基礎における補強設計手法の合理化検討、電力土木、2018年3月