

3次元 FEM 解析による断層上における基礎構造物の損傷評価

西日本技術開発 (株) 正会員 ○青井 克志
西日本技術開発 (株) 非会員 藤川 祥

1. はじめに

1999年の台湾集集地震や2016年の熊本地震では、地震動による被害だけでなく、断層変位によって多くの被害が生じた。構造物を構築する際は断層を避けることが基本であるが、断層位置が明確でない場合も多く、構造物の重要度によっては断層変位の影響評価が必要な場合も想定される。

本研究では断層直上に鉄塔基礎を構築する場合を想定し、横ずれ型、正断層型、逆断層型の断層変位による基礎の損傷を解析的に評価した。

2. 検討方法

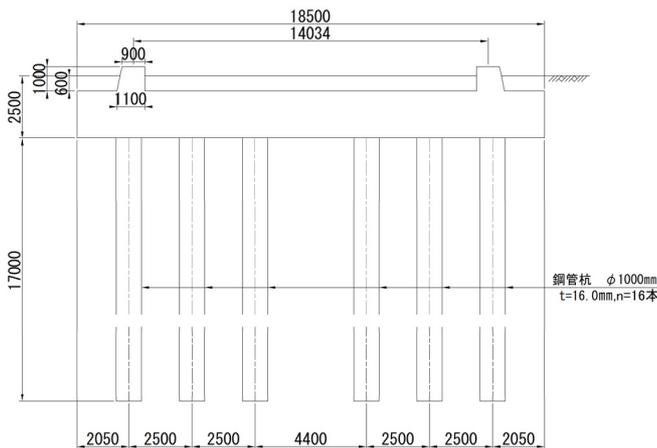


図-1 基礎体断面寸法

表-1 地盤の物性値

土質	層厚 (m)	変形係数 E (N/mm ²)	有効単位体積重量 γ' (kN/m ³)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 φ (°)	備考
砂質土	2.5	2.1	14.0	21	19	
砂質土	2.5	2.1	14.0	21	19	
砂質土	1.0	4.1	14.1	26	21	
砂質土	2.0	4.1	4.3	26	21	地下水面
砂質土	9.0	9.9	4.7	32	22	
砂質土	2.5	29.0	6.8	43	24	

コンクリート(マット部)

鋼管杭

表-2 使用要素

部位	使用要素
コンクリート(マット部)	8節点ソリッド要素
鉄筋(マット部)	板状鉄筋要素
鋼管杭	2節点はり要素
地盤ばね	2節点ばね要素

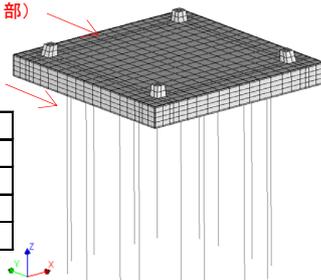


図-2 3次元 FEM モデル

2. 1 検討対象

図-1 に検討対象とする鉄塔基礎を示す。

対象地盤は表-1 に示す物性を有す砂地盤で、支持層は深度 17m とした。また、基礎形式としては断層変位による上部構造への影響を防止する観点から、鉄塔脚部の目開きを抑制することを目的として、マット+杭基礎とした。

2. 2 解析モデル

図-2 に 3 次元 FEM モデルを示す。鉄塔と基礎間の連成は考慮せず、構造物としては基礎のみをモデル化した。また、地盤との相互作用は、地盤ばねで考慮した。

解析には汎用 FEM 解析プログラム「DIANA」を用い、表-2 のような要素を用いてモデル化を行った。

表-3 にコンクリートの材料特性値を示す。引張側お

表-3 コンクリートの材料特性値

弾性係数 E(N/mm ²)	単位体積重量 γ(kN/m ³)	ポアソン比 ν	圧縮強度 f _{ck} (N/mm ²)	引張強度 f _{tk} (N/mm ²)
22,000	24	0.2	18	1.58

表-4 鉄筋の材料特性値

弾性係数 E(N/mm ²)	ポアソン比 ν	降伏強度 f _y (N/mm ²)
2.05 × 10 ⁵	0.3	345

表-5 マット部の配筋

位置	呼び名	縦筋		横筋	
		かぶり (mm)	ピッチ (mm)	かぶり (mm)	ピッチ (mm)
上側	D32	100	200	100	200
下側	D32	100	200	100	200

表-6 鋼管杭の諸元

弾性係数 E(N/mm ²)	ポアソン比 ν	降伏強度 f _y (N/mm ²)	杭径 D(mm)	板厚 t(mm)
2.05 × 10 ⁵	0.3	235	1,000	16

※外側腐食代1mmとする

表-7 地盤ばねの構成則

マット-地盤	側面	面直方向	圧縮側: バイリニアモデル 引張側: 剥離
		せん断方向	バイリニアモデル
	底面	面直方向	圧縮側: 線形モデル 引張側: 剥離
		せん断方向	バイリニアモデル
杭-地盤	周面	せん断方向	バイリニアモデル
	先端	圧縮側: バイリニアモデル 引張側: 剥離	

キーワード 断層変位, 基礎構造物, 損傷評価

連絡先 〒810-0004 福岡県福岡市中央区渡辺通 1-1-1-9F 西日本技術開発 (株) 施設開発部 TEL092-781-2890

よび圧縮側の構成則は、文献¹⁾を基に設定した。

表-4 に鉄筋の材料特性、表-5 に配筋を示す。鉄筋の構成則は降伏強度を折れ点とする完全弾塑性モデルとした。また、鋼管杭の構成則は降伏強度を折れ点とするバイリニアモデルとし、諸元は表-6 に示すとおりとした。

地盤ばねの構成則は表-7 のとおりであり、文献²⁾にしたがって設定されるバイリニア型を基本とした。

2. 3 解析方法および解析ケース

解析は自重載荷時と断層変位時の2段階に分け、各段階の荷重を静的に与えた。自重載荷時には、基礎自

重とマット上面の土被り重量、鉄塔からの荷重を載荷した。鉄塔からの荷重は500kV級鉄塔相当とした。断層変位時には傾斜60度の断層面に沿って上盤側にのみ、地盤ばねを介して強制変位を与えた。なお、地震動による動的な荷重は、断層変位による基礎への影響と比較すると小さいと考え、考慮しないものとした。

解析ケースとしては、図-3のように横ずれ型、正断層型、逆断層型の3パターンを考慮し、変位量は1ステップ2cmずつ増加させた。横ずれ型の際に断層変位30cmを超えた段階で杭部に局所的なひずみが増大し、安定した解が得られなくなったため、30cmの結果を用いて基礎の損傷を比較することとした。

3. 断層変位による鉄塔基礎の影響評価

図-4 に変形状況とともに杭の塑性ひずみを示す。

いずれのケースでも杭部は断層面に沿って変形し、塑性化している。特に横ずれ型では塑性ひずみが最大17.2%となり、他のケースより大きくなっている。

マット部の変形に着目すると、横ずれ型では水平に変形している。上盤側が沈み込む正断層型は、杭先端が支持層に保持されているため変形は小さい。一方、上盤側が押し上げられる逆断層型は、変形が大きくなっている。

図-5 にマット部のひび割れ状況を示す。

いずれのケースでも、底版側は杭頭に沿ってひび割れが発生した要素が連続的に分布している。頂版側に着目すると、逆断層型ではひび割れた要素が広範囲に広がっている。これは前述したように逆断層ではマット部が押し上げられることにより変形したため、頂版側にもひび割れが広がったと考えられる。

4. まとめ

断層直上のマット+杭基礎を想定し、横ずれ型、正断層型、逆断層型の断層変位による基礎の損傷を解析的に評価した。以下に得られた知見と考察を示す。

- ・杭部の塑性ひずみに着目すると、横ずれ型が最も厳しい条件となる。
- ・逆断層型の場合、マット部が押し上げられることにより変形するため、コンクリートのひび割れの進展が他ケースよりも大きくなる。

参考文献

- 1) (公社) 土木学会：コンクリート標準示方書 [設計編]，2013年3月。
- 2) (公社) 鉄道総合研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物，2012年1月。

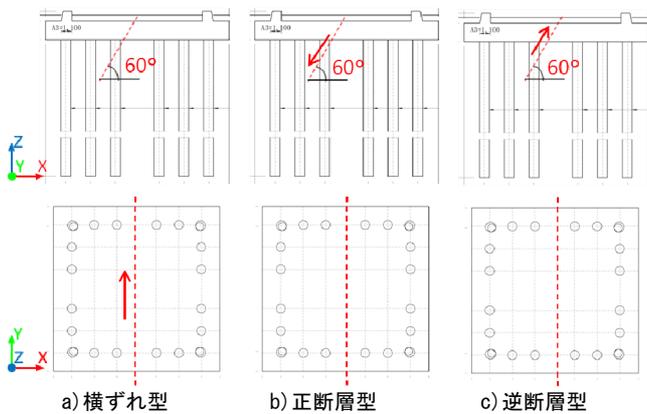


図-3 解析ケース

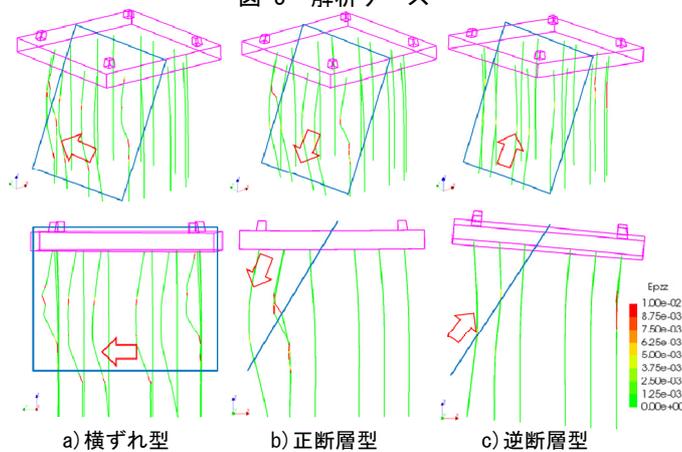


図-4 変形状況と杭の塑性ひずみ

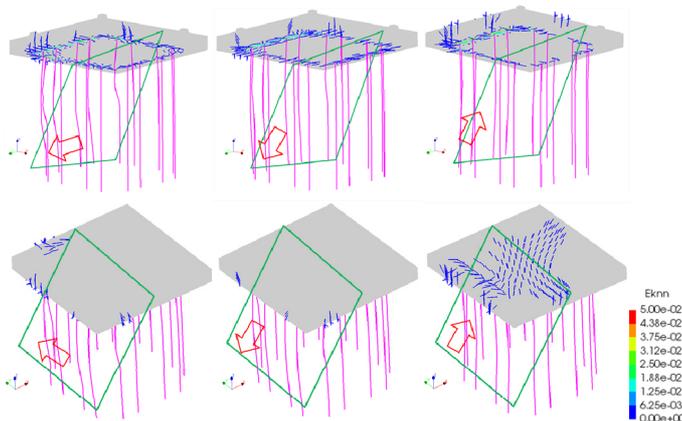


図-5 コンクリート（マット部）のひび割れ状況