

59. 東通原子力発電所の第四系変状の発生要因に係る数値解析による考察

Numerical analysis about the cause of Quaternary deformation at Higashidori NPP

○伊藤悟郎, 三和公, 土田恭平 (東北電力)
Goro ITOH, Tadashi MIWA, Kyohei TSUCHIDA

1. はじめに

東北電力東通原子力発電所は、2005年(平成17年)12月に営業運転を開始した電気出力110万kWの沸騰水型原子力発電所であり、下北半島脊梁部の太平洋側に立地する。

発電所敷地内の断層および新第三系の岩盤風化部を被覆する第四系の一部には、既報¹⁾の通り第四系に変状が認められる。第四系変状の形成メカニズムは、地質学的な考察により、岩盤劣化部の一部が地下水位の変化に伴う吸水等により体積膨張し、第四系に変状を生じさせたと考えられる。

本報では、図-1の地質スケッチに示すように、地下深部へ連続せず、ごく浅部で消滅する小断層s-19が逆断層センスのずれを生じ、第四系に変状を生じさせた事例に対し、岩盤風化部の体積膨張を模擬した数値解析を実施し、体積膨張により第四系変状が発生する可能性について確認したものである。

2. 解析方法

体積膨張を模擬した数値解析は、シールドトンネル等における地盤凍結工法の検討やLNG地下備蓄における岩盤の挙動解析等で一般に使用される有限要素解析により実施した。具体的には地盤が体積(膨張)ひずみ $\{\epsilon_0\}$ を受けた場合の等価節点外力を式(1)により算定し、式(2)により変形を算定する。

$$\{F_0\} = \int_V [B]^T [D] \{\epsilon_0\} dV \dots \text{式(1)}$$

$$\{\delta\} = [K]^{-1} \{F_0\} \dots \text{式(2)}$$

ここで、

- $\{F_0\}$: 等価節点外力
- $[B]$: ひずみ-変位マトリックス
- $[D]$: 応力-ひずみマトリックス
- $\{\epsilon_0\}$: 膨張ひずみ
- $[K]$: 全構造系の剛性マトリックス
- $\{\delta\}$: 変位

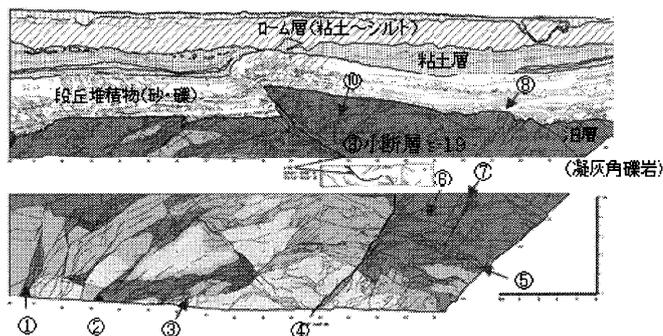
解析手順としては、まず自重解析を実施したうえで、要素毎に体積ひずみを与え、地盤全体系の変形を評価した。

3. 解析条件

(1)解析モデル

小断層s-19による岩盤部および第四系のずれ、撓みについて、変状発生前を想定して作成した解析用劣化区分図を基に、図-2のような有限要素モデルを作成

した。なお、トレンチ壁面以外の領域については、周辺の地質構造を考慮し推定した。小断層は、表-1に示す断層のうち、最大厚さ1cm以上の粘土~シルトを挟在するものについて、最大厚さでモデル化した。

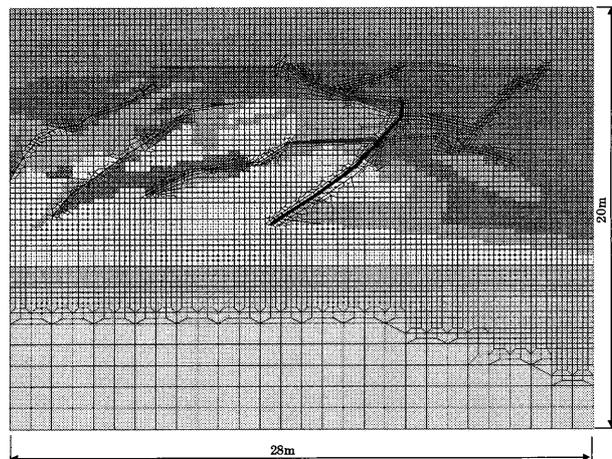


(泊層の着色は劣化度区分を表す)

図-1 s-19周辺の地質スケッチ(トレンチ壁面)

表-1 s-19周辺の主要な断層一覧

番号	断層の走向傾斜	挟在物・性状	備考
①	上半部:N58° W 25° NE	幅0.1cm, 粘土~シルト状	
	下半部:N42° E 58° SE		
②	N17° E 40° E	幅0.1cm, 粘土~シルト状	
③	左半部:N61° E 50° SE	幅0~0.5cm, 粘土~シルト状	小断層b
	右半部:N52° E 21° SE		
④	N39° E 46° SE	幅0.5~3cm, 粘土~シルト状	小断層a
⑤	N15° W 18° W	0.1cm以下の薄い粘土膜付着	
⑥	N12° E 32° W	幅1cm, 細片状	
⑦	N25° E 53° E	幅2cm, 粘土~シルト状	
⑧	N52° E 82° SE	挟在物なし	
⑨	N12° W 38° W	幅0~1cm, 粘土~シルト状	小断層s-19
⑩	N26° E 8° S	挟在物なし	



- 新第三系
- 劣化度C □ 劣化度B □ 劣化度D □ 劣化度A □ 劣化度C
- 第四系
- 粘土~シルト層
- M面段丘堆積層(砂・礫)
- 小断層
- 小断層a
- 小断層b
- 小断層s-19

図-2 有限要素モデル

(2)解析用物性値

要素の構成モデルは、バイリニア型の非線形弾性モデルとし、設置許可申請時に実施した試験結果等を基に表-2に示す物性値とした。また、要素に与えた体積ひずみは、岩盤劣化部の密度減少が全て体積変化に起因すると仮定し、表-3の通りとした。

表-2 解析用物性値

土質・劣化度区分	物理特性	変形特性 ^{※2}		強度特性 ^{※3}		
	密度	変形係数	ポアソン比	せん断強度	内部摩擦角	
	ρ (g/cm ³)	E (N/mm ²)	ν	τ_0 (N/mm ²)	ϕ (°)	
第四系 ^{※1}	粘土・シルト	1.50	2	0.35	0.06	3.0
	砂	1.80	5	0.35		
新第三系	劣化度E	1.94	2040	0.30	0.43	27.0
	劣化度D	1.98				
	劣化度C	2.04				
	劣化度B	2.08				
	劣化度A	2.11				
小断層	-	80	0.35	0.00	27.0	

※1 第四系の物理特性、変形特性は慣用値を設定(粘土・シルトN値=3, 砂N値=8相当)。

※2 新第三系の変形係数は、劣化度Aの針貫入勾配から換算。小断層の変形係数は針貫入勾配から換算。ポアソン比は慣用値を設定。

※3 強度は設置許可時の値を利用。第四系は表土、新第三系は風化岩の強度、小断層は風化岩の残留強度を使用。

表-3 与えた体積ひずみ

	劣化度	密度 ^{※4}	体積ひずみ ^{※5}
		ρ (g/cm ³)	ϵ_v
新第三系	劣化度E	1.94	0.0806
	劣化度D	1.98	0.0616
	劣化度C	2.04	0.0332
	劣化度B	2.08	0.0142
	劣化度A	2.11	0.0000

※4 トレンチ近傍のボーリングQB-1孔の密度検層結果。

※5 新鮮部(劣化度A)に対する密度の減少割合として設定。

4. 解析結果

(1)変形図

解析の結果、小断層 s-19 において新第三系岩盤部のずれが約 30cm 発生した。解析結果は実際の変形に比べ小さいが、小断層 s-19 が開口してずれ、上部の岩塊が小断層に沿って反りあがる変形モードが再現された。

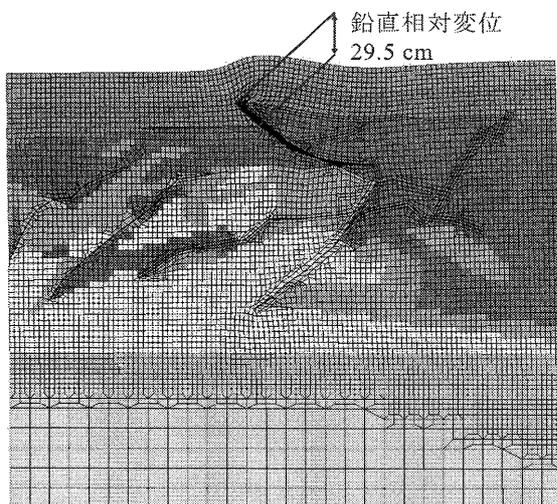


図-3 変形図 (変形倍率×4倍)

(2)主応力図

水平方向に 2MN/m² 程度と非常に大きな圧縮力が発生しており、小断層 s-19 を滑らす力となっている。この水平力は、既往の膨潤圧試験²⁾と同レベルである。一方、鉛直方向は自重程度の応力が発生している。

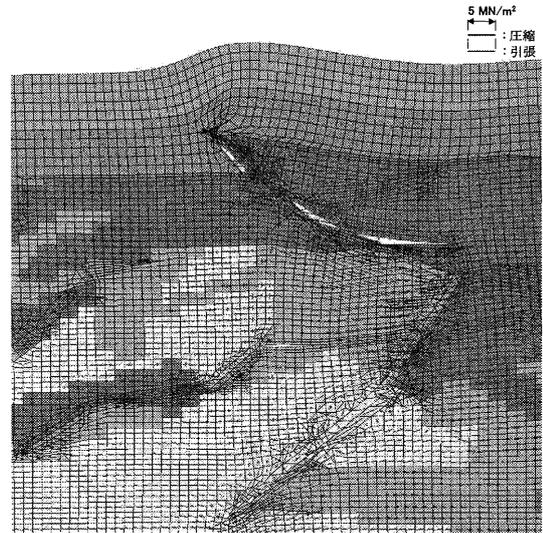


図-4 主応力図 (小断層周辺部)

(3)最大せん断ひずみ

最大せん断ひずみ分布図を図-5に示す。小断層 s-19 の下部および下方延長方向に大きなせん断ひずみが発生している。小断層 s-19 の上部岩塊は、ずれの発生に伴いひずみが解放されている様子が確認できる。

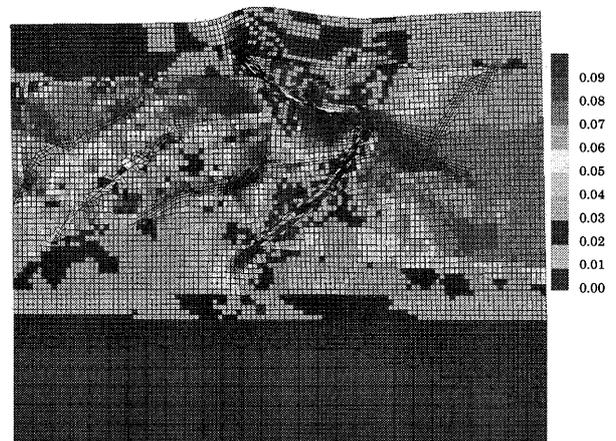


図-5 最大せん断ひずみ分布図

5. おわりに

東通原子力発電所敷地内の第四系変状の一部が、岩盤劣化部の体積膨張により力学的に生じうる可能性が数値解析により確認できた。

参考文献

- 1) 三和公ほか (2013) : 東通原子力発電所の第四系変状の発生要因に係る地質考察, 日本応用地質学会平成 25 年度研究発表会。
- 2) 東京電力 : 東通原子力発電所第 64 回地盤耐震意見聴取会資料