

不飽和地盤の繰返しせん断に伴う沈下量推定に関する基礎的検討

東電設計(株) 正会員 ○北爪貴史, 小瀬木克己, 佐藤正行
東京電力(株) 正会員 佐藤 博, 末広俊夫, 谷 智之

1. はじめに

2007年新潟県中越沖地震で生じた柏崎刈羽原子力発電所内の不飽和埋戻し地盤の沈下のうち, 建屋や構造物等のせん断応答の影響が小さい箇所の沈下は, 地盤の繰返しせん断に伴う体積圧縮を主たる要因として生じたものと考えられる¹⁾. この地盤の繰返しせん断に伴う体積圧縮特性を把握するために, 筆者らは中空ねじり繰返しせん断試験を実施している²⁾. ここでは, 1号機原子炉建屋基礎盤上で観測された地震動を用いた応答解析によりせん断応力を求め, これに, 先の中空ねじり繰返しせん断試験から得られた不飽和埋戻し地盤の体積圧縮特性²⁾を適用し, 累積損傷の考え方に基づいて不飽和埋戻し地盤の残留体積ひずみの深度分布ならびにそれらの総和である地表面の沈下量を算定した. この算定値と実測沈下量を比較し, 沈下量推定手法の適用性について検討した.

2. 繰返しせん断による不飽和地盤の体積圧縮特性

先に実施した中空ねじり繰返しせん断試験結果²⁾について, 体積ひずみ(ε_v)が等しくなるような繰返し載荷回数(N)とせん断応力比(SR_d)の関係を拘束圧ごとに整理して図-1に示す. 図中に示した式は, 試験結果をべき乗関数で近似し, 最小二乗法で係数を定めたものである. さらに, これらの関係式を拘束圧を変数として再整理すると下式(1)に統合できる.

$$\varepsilon_v = \left[\frac{\tau_d}{(0.464\sigma'_m + 9.81)N^{-0.207}} \right]^{\frac{1}{0.355N^{-0.0199}}} \quad (1)$$

ここに, ε_v : 体積ひずみ(%), τ_d : せん断応力(kN/m^2), σ'_m : 平均拘束圧(kN/m^2), N : 繰返し載荷回数(回), である.

3. 沈下量の推定

1号機原子炉建屋基礎盤上で観測された地震動(図-3)を用いた応答解析から求めたせん断応力に対し, ここで整理した不飽和地盤の体積ひずみ特性を適用し, 累積損傷の考え方に基づいて不飽和地盤の体積ひずみを算定する.

地震応答解析の地盤モデルを表-1に示す. 地盤モデルは, 1号機原子炉建屋周辺の一一般的な地層構成としている. 地震応答解析には, 今回のような強震動に対し精度の課題はあるが, 沈下のオーダーの再現性を見ることに主眼を置いて等価線形解析を用いた. 解析による埋戻し地盤の最大応答値と体積ひずみの深度分布を図-2に示す.

累積損傷の考え方に基づく体積ひずみ ε_v の算定は, 館山らの方法³⁾を参考に以下のとおりとした.

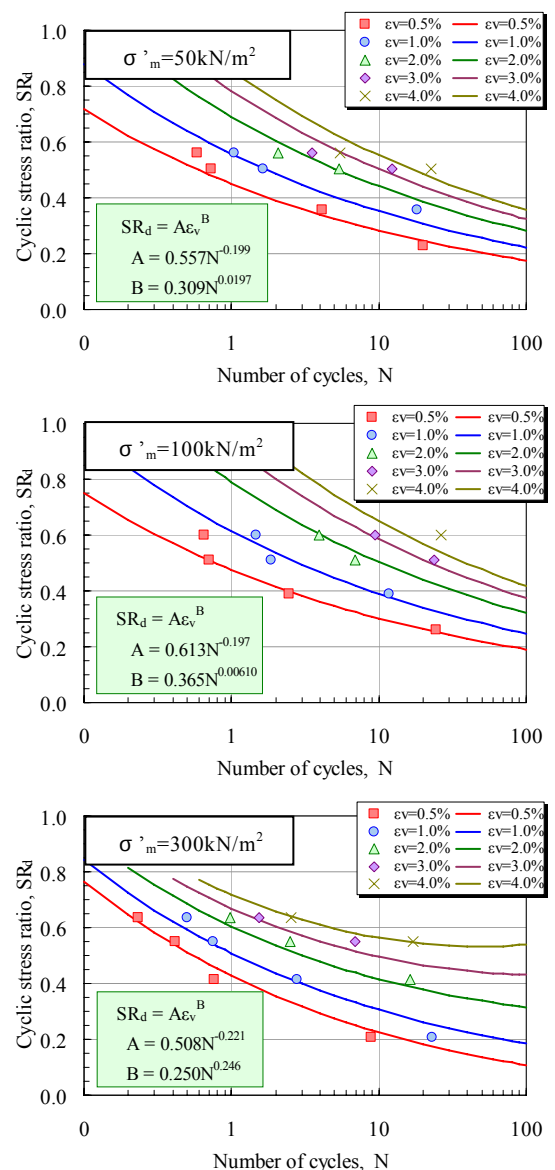


図-1 $SR_d \sim \varepsilon_v \sim N$ の関係

キーワード: 2007年新潟県中越沖地震, 不飽和地盤, 沈下, 繰返しせん断, 体積ひずみ

連絡先: 〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 東電設計(株)耐震技術部 TEL 03-6372-5536

地震応答解析から当該深度のせん断応力時刻歴波形を求める．

せん断応力時刻歴波形に対し，ゼロクロッシング法により片振幅(半パルス)ごとのせん断応力 τ_{d1} ， τ_{d2} ，・・・を求める．

半パルスごとのせん断応力と式(1)から，累積損傷の考え方に基づき当該深度の体積ひずみを順次算定する．

各深度の体積ひずみに層厚を乗じ，その総和から地表沈下量を算定する．

図-2 に示した体積ひずみの深度分布はこうにして算定したものである．地表面の沈下量の時刻歴を図-3 に示す．地表面の沈下量は約 50cm と推定され，1 号機原子炉建屋周辺地盤の一般部で実測された沈下量 30～40cm²)におおよそ整合した結果である．また，図-3 より，地震動の 13 秒付近に表れている強いパルス状の震動によって全体の 80%にあたる沈下が引き起こされたことが推測される．

4．まとめ

柏崎刈羽原子力発電所内の不飽和埋戻し地盤の一般部（建屋や構造物に近接していない箇所）の沈下は，強震動の繰返しせん断に伴う体積圧縮が主な要因であると考えられ，その沈下の多くはパルス状の強い震動によって生じたと推定される．また，ここで用いた手法は，地震動による不飽和地盤の沈下予測に適用性があると考えられる．

参考文献

1) H. Sato, K. Momose, T. Suehiro, T. Tani, M. Sato, K. Ozeki & T. Kitazume: Characteristics of subsidence of unsaturated ground and subsidence mechanism in the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007, IS-Tokyo2009.

2) 佐藤博, 末広俊夫, 谷智之, 北爪貴史, 小瀬木克己, 佐藤正行: 不飽和地盤の繰返しせん断に伴う体積圧縮特性に関する室内試験, 土木学会第 64 回年次学術講演会概要集, 2009(投稿中).

3) 館山勝, 堀井克己, 小島謙一: 盛土の耐震性能と耐震設計, 鉄道総研報告, Vol.13, No.3, 1999.

表-1 地震応答解析 地盤モデル

地 層	ρ_t (g/cm ³)	Vs (m/s)	せん断ひずみ 依存特性	体積ひずみ 特性
埋戻し地盤	1.90	100～350		(1)式で 体積ひずみ を算定
西山層 (泥岩)	1.72	540	せん断ひずみ 依存特性を 考慮	-
		590		
		620		
		650		
		670		
		690		
基 盤 (泥岩)	1.72	730	線 形	-

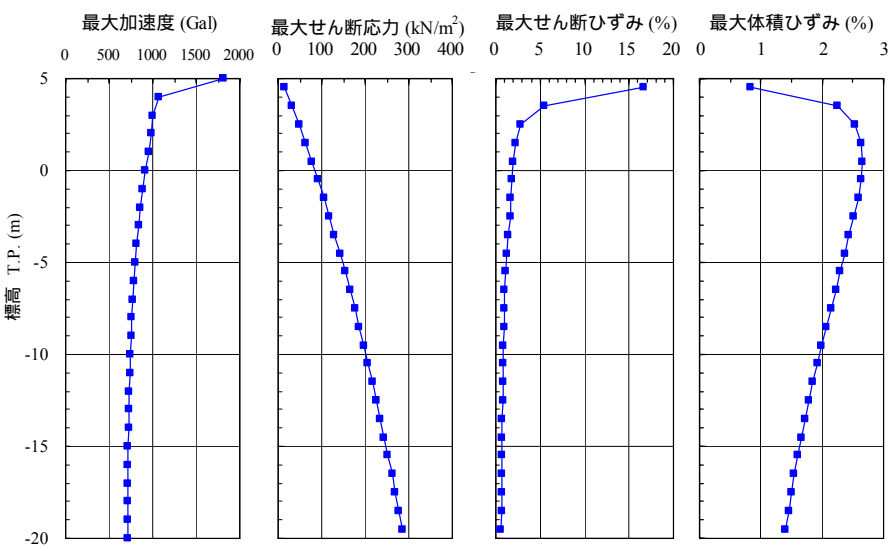


図-2 地震応答解析による最大応答値と体積ひずみの深度分布

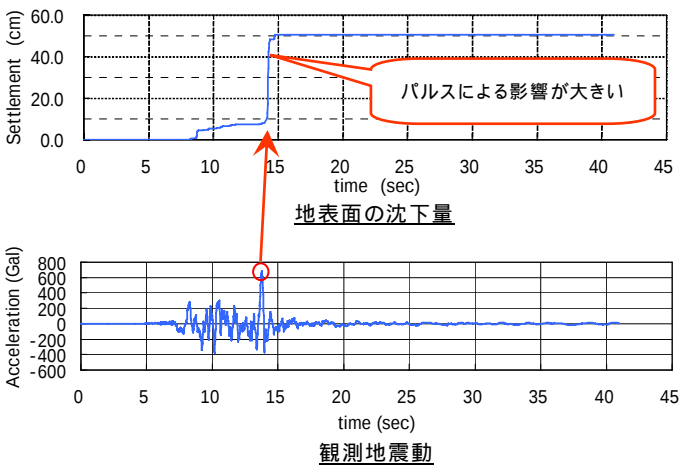


図-3 地表面沈下量と観測地震動の時刻歴