

液状化時の損失ひずみエネルギーを用いた埋戻し部の沈下挙動評価

新潟大学大学院 学生会員 ○平木 涼介
 新潟大学工学部 正会員 保坂 吉則
 大川 秀雄
 神立 秀明

1.はじめに

構造物の建設において山砂等の材料を用いて埋戻しが行われることが多いが、近年の被害調査から埋戻し部分が地震時に液状化して、その沈下量が一般地盤部と比べて大きいことが問題として挙げられている。これに伴いライフラインの破損や隣接設置機器の傾斜などの被害も発生している。地盤条件から見ると周辺地山が軟弱な粘性土やシルト地盤での埋戻し土で沈下被害が大きいという報告¹⁾がある。地山、構造物、埋戻し土はそれぞれ剛性が異なり、地震動に対する応答の違いが予想されるが、この様な大きな沈下が埋戻し部単体の影響で生じるのか、埋戻し土と周囲の地盤構造物との相互作用により生じるのかははっきりとしたメカニズムは解明されていない。そこで本研究では周辺地盤の剛性が変化することで、沈下挙動にどの程度影響があるのかを、解析的に検討することを目的とした。

2. 損失ひずみエネルギーと沈下量の算定

本研究では、沈下量の算定と、液状化時の損失ひずみエネルギーを用いて行った。損失ひずみエネルギー W は、繰返し載荷時の応力 - ひずみ曲線のループ内の面積で与えられ、以下の式で示される。

$$W = \int \sigma d\gamma$$

せん断応力: σ , せん断ひずみ: γ .

既往の研究²⁾より体積ひずみの評価式は次式で表され、沈下量はこれに各層厚を乗じて求められる。

$$\varepsilon_v = E_c \times \frac{W}{\sigma_0} \quad \cdots (1)$$

σ_0 : 拘束圧, E_c : エネルギー圧縮係数.

まず、地震により埋戻し部が沈下した事例に関し

モデル化を行い、二次元液状化解析プログラム FLIP で地震応答解析を実施して応力-ひずみ関係を求めた。これを基に損失ひずみエネルギーを算出し沈下量を実地盤と比較することとし、この際に、埋戻し部の周辺地盤条件を変化させることでエネルギーの面から沈下メカニズムの考察を行った。

3. 対象地盤と解析条件

2004 年の新潟県中越地震で被害を受けた新潟県柏崎市与三地区において、下水道管の埋戻し深さ 3m に対し地表面沈下 20~30cm であった沈下事例について検討を行う。この付近の地盤は軟弱な沖積粘土層が地表面から 10m 程続いておりそれ以下は N 値が 10~15 程の洪積粘土層(安田層)が続き、深度 55m で N 値が 50 を超える基盤に至る。埋戻し土部分の挙動に着目するため、地表面から 10m 程度の柏崎層までをモデル化し図-2 に示す。なお、埋戻し土のメッシュは水平方向に 5 分割してある。埋戻し土の液状化強度曲線を図-3 の様に設定した。これに対応するエネルギー圧縮係数 E_c は 1.9 程度である。入力地震波は与三地区と同様な地盤形態で震央距離も同程度である柏崎市中央町で観測された中越地震の際の地表面波形記録を基盤地点まで引戻し解析し、この波を与三地盤の基盤地点に入力し一次元モデルで解析して、柏崎層の底部での波形を取り出したものを二次元モデルに入力した。この時地表面での加速度が 2.0m/s^2 程度となるよう設定した。

代表的な例として周辺地盤の剛性変化の影響をみるため、実地盤を想定したモデル(以下、model-A)に対し、周辺地盤のせん断剛性を小さくしたモデル(model-B)、片側表層の剛性を上げ、それ以外を B と同じとした左右の剛性を変更させたモデル(model-C)、表層を全て埋戻し土と同じ砂としたモデル(model-D)による比較検討を行った。各材料のモデル毎の諸元を

表-1 に示す。

4. 結果と考察

地表面から一例として、1.5m 地点での埋戻し部中央のメッシュの応力-ひずみ曲線について model-A を実線で、model-D を破線とし図-4 に示す。埋戻し部は液状化しており、各層の拘束圧により正規化した損失ひずみエネルギー(W/σ_0')の深度毎の分布を図-5 に示し、沈下量の各モデル結果を表-2 に示す。model-D では液状化により周辺地盤の拘束が無くなりせん断ひずみが大きく表れたことでせん断応力の立ち上がりが発生し、エネルギーが大きくなった。model-A に関しては実際の沈下量に比べてかなり小さくなってしまったが、これは軟弱ながらも剛性の残る粘土により埋戻し土の変位が拘束されたため model-D と比べエネルギーに大きな差が生じたものと考えられる。model-B ではせん断剛性が低いことで埋戻し土に対する拘束が小さく、エネルギーが大きくなったと考えられる。全体としては model-D 以外は液状化中の大ひずみ領域での応力回復が現れずエネルギーが小さい。左右の剛性が異なる model-C では周辺地盤の剛性が小さい方へひずみが偏って現れ、地表面付近では応力の立ち上がりが見られ、他のモデルと比べ地表面付近のエネルギーは最も大きかった。また、埋戻し土より境界部の方が大きな沈下量となった。埋戻し土の沈下は周辺の剛性が異なる地点において片側に大きくひずみが溜まることで起こるものだと考えられる。そのため地盤が改良された地表面付近ほど大きなエネルギー損失が生じ、即ち沈下が発生する可能性が示された。

これらの結果より液状化強度とせん断剛性の適正な設定が重要な要素となることがわかった。また、埋戻し土の境界部では中央部よりエネルギーが大きくなり、沈下量も 10cm 程度となった。地表面付近では大きなひずみが現れたがこれは隣接する軟弱粘土が増幅した地震動により大ひずみが起こり、それに引っ張られて生じたものであろう。埋戻し土全体の沈下量をどう評価するかについては課題が残る、以後の検討課題としたい。

5. まとめ

・地山のせん断剛性が小さい程損失ひずみエネルギーが大きくなり、沈下量が大きくなる可能性がある。

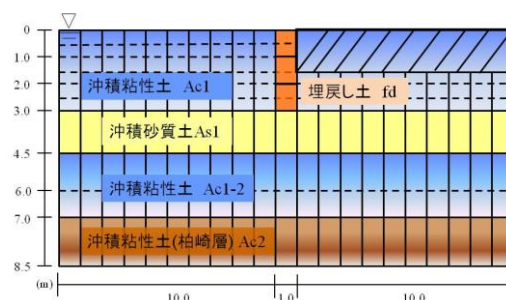


図-2 二次元モデル化対象地盤

表-1 各材料パラメータ諸元

		Ac1	As1	Ac1-2	Ac2
ρ [t/m ³]		1.53	1.84	1.53	1.53
G_{ma} [kPa]	model-A	20000	45000	50000	53000
	model-B	8000			
	model-C	左: 8000, 右: 50000			
	model-D	—			

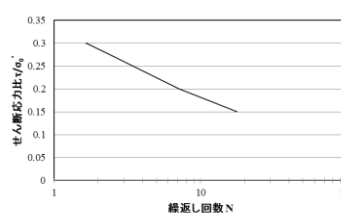


図-3 液状化強度曲線

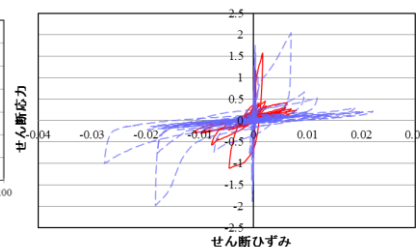


図-4 応力-ひずみ曲線

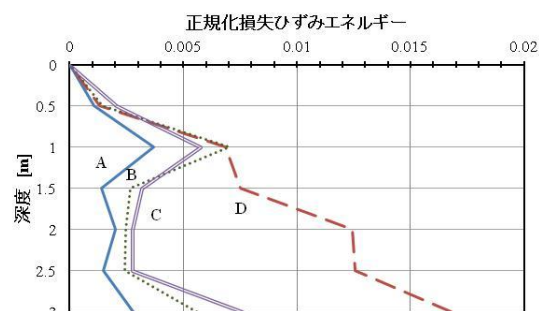


図-5 損失ひずみエネルギー推移

表-2 エネルギーと沈下量計算値

	Model-A	Model-B	Model-C	Model-D
中央部[cm]	1.18	2.05	2.30	5.46
境界部[cm]	10.1	8.34	11.8	—

・片側にせん断剛性が高い領域がある場合、せん断ひずみが片側のみ大きく蓄積され沈下量が増加する可能性がある。

参考文献

- 1) 地盤工学会(2007)：新潟県中越地震災害調査報告書
- 2) 西澤元良：‘累積損失エネルギーを用いた液状化後の体積ひずみ評価’第 62 回土木学会年次学術講演会，新潟大学修士論文(2007)