海底地すべりによるパイプラインの被害予測に関する研究

金沢大学大学院 学生会員 〇四十山直幸 金沢大学理工研究域 正会員 宮島昌克

1. 研究の背景と目的

日本では海底資源の開発が推し進められており,海底は注目されてくる分野である.今後海底パイプラインが数 多く敷設されると考えられる.海底パイプラインは海底地すべりによって被害を受けると生態系に大きな影響をも たらす.そこで,本研究では海底地すべりによるパイプライン被害軽減を目的として被害の予測方法を考え,作成 を行う.

2. 研究の概要

海底地すべり,地すべり,斜面崩壊を比較して特徴を調査し,解析方法を考えた.海底地すべりと地すべりを比較すると,海底地すべりは地すべりに比べて規模が大きいことや緩い傾斜においても生じることが挙げられる.解析方法については,破壊形態に着目した.地すべりと斜面崩壊の違いは,スケールが数十倍から数百倍ほど異なることである.斜面崩壊の代表的な寸法は10m×幅10m×厚さ0.5m程度であるが,地すべりの代表的な寸法は長さ500m×幅500m×厚さ20m程度である¹⁾.破壊が生じるときに斜面崩壊のような小スケールでは全般破壊するのに対し,地すべりや海底地すべりのような大スケールでは局所破壊する.地すべりでは土塊が数ブロックに分かれて時間的にも別々の動きをする.これらを考慮して,解析方法に地すべりの計算に使用されているGLEM (Generalized Limit Equilibrium Method)という計算方法を用いることにした.GLEM は,各ブロックのつり合い式と各すべり面での破壊条件式を用いる.破壊領域をいくつかの剛体ブロックに分割し,それぞれのブロックは変形しないが運動するので剛体ブロックの集合としての地盤は,結果的に変形するという特徴がある¹⁾.この方法により,すべり面の選択や局所破壊を表現できると考えた.パイプラインへの影響は,DYNA2Eを用いて解析を行っていく.

3. 解析手法

GLEM はクーロンの土圧解法やスライス法のような極限平衡法を一般化したものであり,各ブロックのつり 合い式と各すべり面での破壊条件式を用いる.ブロック群の1つの幾何形状に対し,極限支持力を1つ求めるこ とができるので,極限支持力を最小化するブロック群の幾何形状を探すことにより,極限平衡法を用いて極限支持 力を求めたことになる.これは,合計4 n 個のつり合い式と破壊条件式を満足させた上で,ブロック群の幾何形状 を変えて極限支持力を最小化するという,等号制約条件つき最適化問題である¹⁾.用いた式を以下に示す.なお, 第*i*ブロックの底面に作用する垂直力を P_i , せん断力を T_i , ブロック間面に作用する垂直力を H_j , せん断力を V_j , ブロック底面の長さを l_i , ブロック間面の長さを l_j ,水平面とブロック底面の角度を α_i ,水平面とブロック間面の 角度を β_i ,内部摩擦角を ϕ ,粘着力を c,安全率を F_s とする.

<ブロック底面に垂直な方向の力のつりあい式> - $H_j \cos(\beta_j - \alpha_i) + V_j \cdot \sin(\beta_j - \alpha_i) + H_{j-1} \cos(\beta_{j-1} - \alpha_i) - V_{j-1} \sin(\beta_{j-1} - \alpha_i) + W_i \cos \alpha_i = P_i$ <ブロック底面に平行な方向の力のつりあい式>

 $H_j \sin(\beta_j - \alpha_i) + V_j \cos(\beta_j - \alpha_i) - H_{j-1} \sin(\beta_{j-1} - \alpha_i) - V_{j-1} \cos(\beta_{j-1} - \alpha_i) + W_i \sin \alpha_i = T_i$

<破壞条件式>

 $T_i = P_i \frac{\tan \phi}{F_s} + \frac{c}{F_s} l_i$



図1 ブロックに作用する力

$$\begin{split} V_{j} &= H_{j} \frac{\tan \phi}{F_{s}} + \frac{c}{F_{s}} l_{j} \\ V_{j-1} &= H_{j-1} \frac{\tan \phi}{F_{s}} + \frac{c}{F_{s}} l_{j-1} \end{split}$$

上記の計算式に加速度および過剰間隙水圧を導入し, 國生らによって行われた実験をモデルにして解析を行う.実験の概要は, 高さ 500 mm, 幅 800 mm, 奥行き 400 mmのアクリル透明矩形土槽に水を満たし, そこに豊浦砂とほぼ同じ粒度の細砂を降らせて, 密度の緩い砂層斜面を作製し, 空圧式振動台により 3Hz の正弦波振動を約1秒間加えて砂層を液状化させ, 斜面の流動を測定するといった内容である²⁰. この実験を参考にして解析モデル図を作成し, 解析を行った. 解析モデル図を図2に示す. 左の三角形から第1ブロック, 第2ブロックと順番に名づけていく. 解析におけるパラメータは極限支持力 6.31kN, 限界加速度 0.39m/s², 内部摩擦角 0°, 粘着力 9.8kPa, 斜面角度 14°である. 実験結果を図3, 解析結果を図4 に示し, 解析結果と実験結果の比較を表1 に示す. なお, 紙面の制約から詳細は発表時に譲る.









ブロック番号	解析結果	実験結果
1	1.4cm	0.67cm
2	1.2cm	1.3cm
3	5.9cm	2cm
4	7.2cm	2.6cm
5	7.2cm	2.6cm

4. まとめ

実験モデルの解析では,第3,4,5ブロックの値が実験結果よりも大きく滑っていた.その原因として第3,4,5 ブロックではすべり面が急であるため,実験において第3,4,5ブロックでは過剰間隙水圧が補足されていない 可能性がある.なお,過剰間隙水圧が補足されると斜面が不安定化し,滑りやすくなる.今後,調査および考 察を行って検討を行う必要がある.

参考文献

- 1) 榎明潔:摩擦体としての土における安定と変形の解析法,電気書院,2007.
- 2) 國生剛治:水膜現象が液状化砂層の側方流動へ与える影響,土と基礎, pp.12-13, 1999.