

地震時における砂丘斜面の安定評価に関する検討

新潟大学大学院 自然科学研究科 ○小笠原篤也
新潟大学 工学部 保坂吉則

1. はじめに

新潟市域が広がる越後平野は約8000年前に現在の海岸より約10km内陸側に沿岸州が形成¹⁾された。この沿岸州と現在の海岸との間には、砂丘列が内陸側から徐々に形成²⁾され、新潟大学五十嵐キャンパスが所在する新潟砂丘は、約1200～900年前に形成された最も新しい砂丘列である。砂丘列形成後も越後平野は地殻変動による沈降が継続しているため、過去に形成された他の砂丘列は埋没し、その上には海岸平野や三角州等の低地地形が形成されている。昭和に入ると、新潟市内では水溶性天然ガスの開発が盛んに行われ、各地で地下水を大量に汲み上げた結果、地層が収縮し、広範囲で地盤沈下が発生した。新潟市西区坂井東二丁目ではこれまでに1885.6mmの沈下量が確認³⁾されており、市内にはゼロメートル地帯が広く分布している。以上より、新潟砂丘の内陸側は、ゼロメートル地帯が広く分布する低地に隣接していることから、地下水位が高く、液状化危険度が高い傾向を示す。また、液状化に伴う砂丘のすべり崩壊の危険性も高く、1964年の新潟地震では、現在の青山浄水場付近等で実際に発生している。当時は田園地帯であり、人的被害は最小限に抑えられたものの、現在は宅地開発が進み、砂丘周辺の人口も大幅に増加していることから、すべり崩壊の危険度評価を行っておく必要があると考えられる。よって本研究は、砂丘と低地の境界部の液状化を考慮したすべり崩壊の安定解析を行い、安全率に及ぼす影響を調査した。

2. 研究概要

本研究では、内野周辺～関屋分水路左岸の新潟砂丘に着目し、内陸側の砂丘斜面と低地の境界部について、安定解析を行った。まず、ほくりく地盤情報システム⁴⁾に掲載されている砂丘周辺のボーリングデータを活用し、粗粒土層厚比、平均 N 値、地下水面を単純クリギング解析で求め、10m メッシュ、深度間隔 2m の地盤モデルを作成した。次に、砂丘を横断する測線を約 500m 間隔で A-Q の計 17 カ所設置 (図 1 参照)



図-1 対象地域の標高図及び測線

した。各測線には 10m 間隔で測点を設置し、測点位置のモデル要素ごとの地盤パラメータに基づいて、液状化抵抗率 F_L を算出した。安定解析には下式の修正フェレニウス法を活用し、最小安全率となる円弧すべり面を求めた。

$$F_s = \frac{\sum [c \cdot l + \{(W - u \cdot b) \cos \alpha - k_h \cdot W \cdot \sin \alpha\} \tan \phi]}{\sum (W \cdot \sin \alpha + \frac{h}{r} \cdot k_h \cdot W)}$$

水平震度 k_h は新潟地震に相当する 0.16、砂質土における不飽和部は見かけの粘着力を想定して $c=5\text{kPa}$ 、地下水面下では $c=0\text{kPa}$ とし、せん断抵抗角 ϕ は道路橋示方書を参考に、式(1)で定義した。粘性土におけるせん断抵抗角 $\phi=15^\circ$ 、粘着力 c は式(2)で定義した。また、間隙水圧 u は液状化を考慮するために、今回は F_L を用いた簡易的な式(3)で与えることを試みた。

$$\phi = 4.8 \log N_1 + 21 \quad (1)$$

$$c = 4.2N + 8.52 \quad (2)$$

$$u = u_0 + du, \quad du = \sigma'_v(1 - F_L) \quad (3)$$

3. 研究結果

図-2、図-3 には H-H' 測線における、液状化を考慮しない場合と考慮した場合の、 F_L 値、地下水位の分布断面と最小安全率の円弧を示す。斜面勾配は約 5.2% と比較的緩やかである。まず、砂丘・低地境界部に着目すると、地下水位が地表面よりも高い被圧状態にあることが確認できる。また、 F_L 値は、地表面付近から 1 をやや下回る層が 10m 近く堆積している。その結果、液状化を考慮することで安全率が 0.1 程度低下し

た。一方、液状化を考慮した場合、円弧半径やすべり面は小さくなった。

次に図-4、図-5にはM-M'測線における、液状化を考慮しない場合と考慮した場合の、 F_L 値、地下水位の分布断面と最小安全率の円弧を示す。斜面勾配は約13.5%と宅地としては急な斜面である。まず、地下水位は、H-H'測線と同様に砂丘・低地境界部で地表面を上回った。次に F_L 値は、地表面から10m以上に渡って、低い層が堆積しており、0.7程度の層も確認できた。その結果、液状化を考慮することで、安全率は0.15程度低下し、 F_L 値が特に低い層を通るすべり円が、最小安全率となる結果となった。

4. まとめ・今後の課題

本研究では、液状化を考慮した砂丘斜面の円弧すべり安定解析を試みた。その結果、砂丘・低地境界部の地盤条件に加え、地下水位と液状化の状況が斜面の安全率に影響を及ぼすことが確認できた。地下水位が高い場合、見かけの粘着力の効果が期待できる不飽和部の割合が減少したことで、安全率の低下に影響を及ぼしたと考えられる。また、 F_L 値の低い層が存在する場合、すべり面はその層を通るようになることがわかった。なお、 F_L 値がより小さい層が厚い場合、液状化による間隙水圧が上昇した状態が長く継続して、側方流動のような形で斜面が崩壊する可能性が考えられる。

地下水位条件が安全率に影響することから、今後は地下水位の適切な評価・設定が課題である。今回の解析では、地下水位が地表面を上回る箇所が複数確認できた。砂丘・低地境界部では晴天時でも地下水が湧き出ている場所があるので、その場所を現地調査し、地下水位の推定に追加することで精度を高めることを考えている。また、新潟市は夏季より冬季の降雨量が多いため、地下水の季節変動を考慮した解析も検討したい。

参考文献

- 1) 鴨井幸彦, 安井賢: 古地理図でたどる越後平野の生いたち, 土と基礎, Vol.52 No.11, pp.8-10, 2004
- 2) 鴨井幸彦, 田中里志, 安井賢: 越後平野における砂丘列の形成年代と発達史, 第四期研究, Vol.45 No.2, pp.67-80, 2006

3) 新潟県環境局: 新潟平野の地盤沈下, <https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/352818.pdf>, 2023

4) 北陸地盤情報活用協議会: ほくりく地盤情報システム, <https://www.jiban.usr.wakwak.ne.jp/>, 2007

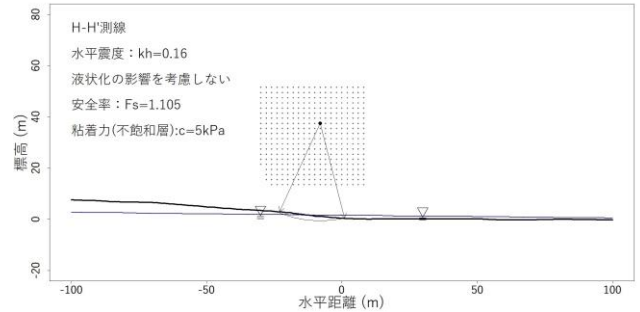


図-2 H-H'測線における液状化を考慮しない場合のすべり円弧, F_L 値, 地下水位分布図

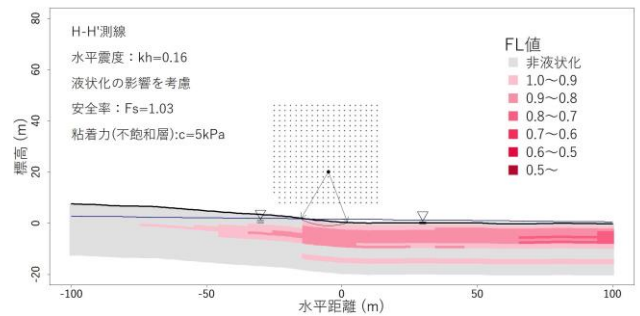


図-3 H-H'測線における液状化を考慮した場合のすべり円弧, F_L 値, 地下水位分布図

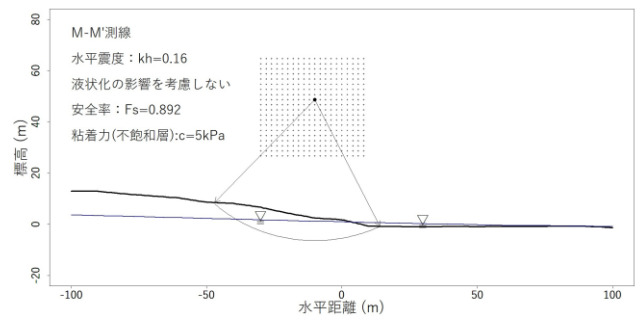


図-4 M-M'測線における液状化を考慮しない場合のすべり円弧, F_L 値, 地下水位分布図

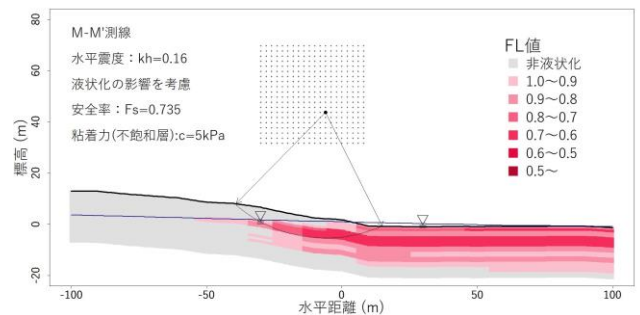


図-5 M-M'測線における液状化を考慮した場合のすべり円弧, F_L 値, 地下水位分布図