

# 地震により流動崩壊した砂質土による造成盛土の残留強度の評価

日本大学工学部 学生会員 ○近藤 洋平 横木 秀行  
日本大学工学部 正会員 仙頭 紀明

## 1. はじめに

東日本大震災により東北から関東にかけて激しい揺れに襲われた。福島県内では内陸部を中心に福島市、須賀川市、いわき市等で造成盛土被害が多数報告された<sup>1)</sup>。これらの被害の多くが、斜面や軟弱地盤上に造成した谷埋め盛土であった。須賀川市長沼運動公園では、軟弱地盤上に造成された盛土に10mを超える流動崩壊が生じた。盛土材は火山灰質砂質土であり、盛土内部に暗渠が施工されていたが、地下水位が高く緩い状態であった。そのため、公園内で液状化が一部発生した。そこで本研究では、崩壊した盛土の特性を知るために、地盤調査結果と測量結果から斜面安定解析を行い、液状化した地盤の残留強度を逆算により求めた。そして、既往の被害事例で得られた残留強度と比較し考察を行った。

## 2. 新旧土地利用状況の比較

対象地点は、須賀川市長沼字鹿の内にある長沼総合運動公園であり、沖積粘土層の上に造成された盛土である。その位置を図-1に示す。新旧の航空写真を比較し、造成前後の土地利用状況の変化を調べた。運動公園は図-2より周辺地山を切り崩し、水田を埋め立てて1982年に造成された。2000年の航空写真の破線は1964年の地山と水田の境界線であり、線の外側が造成された盛土になる。被害は地山部分にはほとんどなく、造成盛土部分に集中して発生した。これは、盛土材である火山灰質砂質土は細粒分が多く、高含水状態ではオーバーコンパクションが生じやすく、締固めが困難であり、盛土の密度が小さかったため<sup>2)</sup>である。加えて震災後、一部の崩壊箇所には湧水が確認されており、盛土が高含水状態であったことを裏付けている。

## 3. 解析対象と方法

解析対象地点の平面図を図-3に示し、解析断面図を図-4に示す。同図には、柱状図及び地質構成、推定したすべり面を併せて示した。地盤調査結果より、崩壊した盛土はGL-1.50m~4.00m間で粘性を帯び、含水量が非常に多い。また、盛土内の平均N値は2であることから砂質土として非常に緩い。加えて、地下水位がGL-1.80m~3.50mで確認された。これらを踏まえ、のり面頭部の開口亀裂から地下

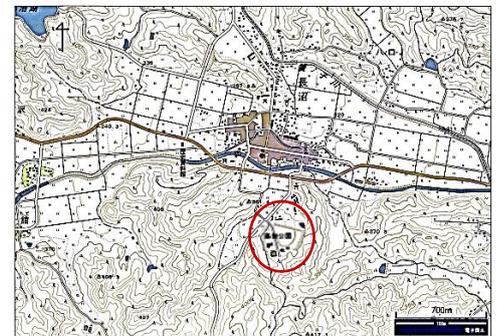
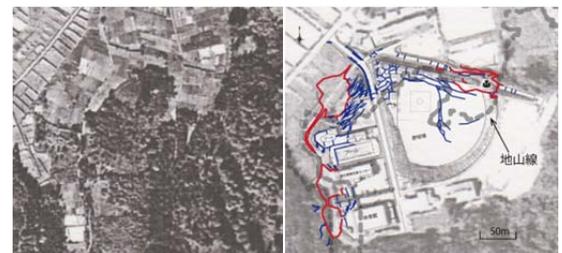


図-1 対象地点  
(1/25000 地形図より引用)



1964年 2000年  
図-2 新旧土地利用状況の比較

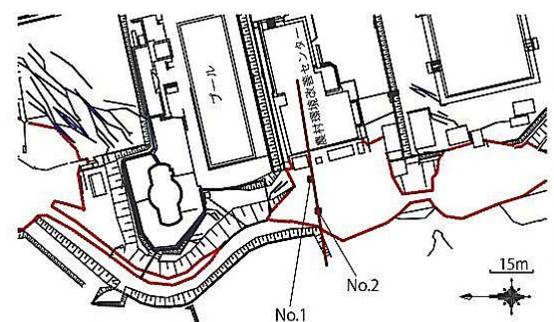


図-3 対象地点の平面図

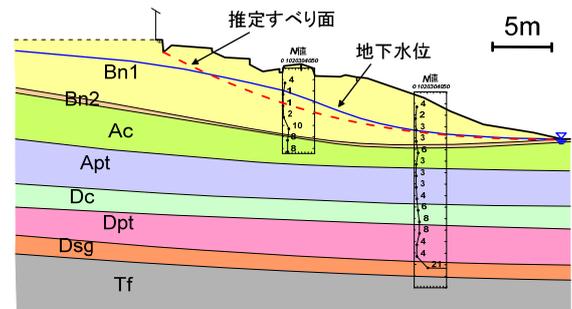


図-4 推定すべり面

キーワード: 火山灰質砂質土 造成盛土 残留強度 安定解析

水位に沿って末端部まですべり面が形成されたと推定した。すべり面の物理特性を知るために、推定したすべり面に最も近い深度で採取された試料の粒度分布並びに物理試験結果を図-5に示す。

安定解析を行う上で崩壊のタイミングで評価の方法が異なる。本地点では、本震(14:46)の揺れが収まった時には崩壊が生じておらず、約30分後に崩壊が確認された。したがって、本震の揺れの影響は比較的小さいものと考えた。このことから、安定解析では崩壊後の地形をモデル化し、地震の揺れによる慣性力は無視した。解析法はスウェーデン分割法を用い、既往の文献<sup>3)</sup>の方法を参考にして、安全率を1.00、 $\phi_u=0$ としたときの粘着力 $c_u$ を逆算より求め、残留強度とした。その時の分割数は5とし、 $\gamma_t=19.4\text{kN/m}^3$ 、 $\gamma_{\text{sat}}=19.2\text{kN/m}^3$ とした。

#### 4. 解析結果と考察

安定解析より求めた粘着力は、 $c_u=9.2\text{kN/m}^2$ となった。結果を評価するために、Seedの事例研究<sup>3)</sup>との比較を行った。比較する上で、アメリカと日本の標準貫入試験のエネルギー伝達率が異なること<sup>4)</sup>から、 $N$ 値に及ぼす影響を考慮し、 $N$ 値を1.12倍にした。拘束圧や細粒分含有率を考慮するため次式<sup>3),5)</sup>により補正 $N$ 値 $(N_1)_{60}$ を求めた。

$$N_1 = C_N \cdot \bar{N} \quad (1) \quad , \quad C_N = \sqrt{98 / \bar{\sigma}_z} \quad (2) \quad , \quad (N_1)_{60} = N_1 + \Delta N_f \quad (3)$$

ここで、 $C_N$ :拘束圧に関する換算係数、 $\bar{\sigma}_z$ :平均鉛直全応力、 $\bar{N}$ :平均 $N$ 値、 $N_1$ :換算 $N$ 値である。ただし、 $\bar{N}=2$ 、 $\bar{\sigma}_z=75.6\text{kN/m}^2$ である。加えて、細粒分含有率が28%であることから、文献<sup>3)</sup>より $\Delta N_f=2$ とした。以上より、 $(N_1)_{60}$ は4.5となった。図-6に残留強度と補正 $N$ 値の関係を示し、既往の被害事例を併せて示した。図中の2つの曲線は、既往データの上限值と下限値を示す。本研究結果は、図-6より補正 $N$ 値が比較的低い割に残留強度が高いことがわかる。これは土の性状の観察より、現地の盛土材をこね返すと餅のような柔らかい固体状になることから、液状化した後にも砂質土としては高めの残留強度を示したものと考えられる。

#### 5. まとめ

長沼運動公園の造成盛土の流動崩壊について、地盤変状の素因の分析と安定解析を行い以下のことがわかった。1)盛土は火山灰質砂質土で造成され、比較的緩く、高含水比であったことが被害の素因である。2)測量結果、地盤調査結果、ヒアリング調査を基に逆解析より求めた残留強度は $9.2\text{kN/m}^2$ となった。3)既往の残留強度との比較から、火山灰質砂質土の性状が残留強度の違いに影響するものと推察される。崩壊メカニズムの詳細な解明には要素実験や数値解析による検討も今後必要である。

#### 6. 謝辞

須賀川市には地盤調査結果及び測量結果の提供、また、長沼公民館の橋本公夫氏にヒアリング調査を協力していただきました。ここに記して謝意を表します。

#### 7. 参考文献

- 1)中村、仙頭、梅村、大塚、豊田(2012):2011年東北地方太平洋沖地震による福島県中通りおよびいわき地域における地盤災害,地盤工学ジャーナル, vol.7, No.1, pp.93-95.
- 2)柳沼太希(2012):火山灰質砂質土で造成した盛土の流動的崩壊メカニズムに関する研究,平成23年度土木学会東北支部技術研究発表会,Ⅲ-47.
- 3)Seed, H. B.(1987):Design problems in soil liquefaction,J.Geotechnical Eng., ASCE(8), pp.827-845.
- 4)吉田望(2010):地盤の地震応答解析,鹿島出版会, 48p.
- 5)日本建築学会(2001):建築基礎構造設計指針,日本建築学会, 62p.

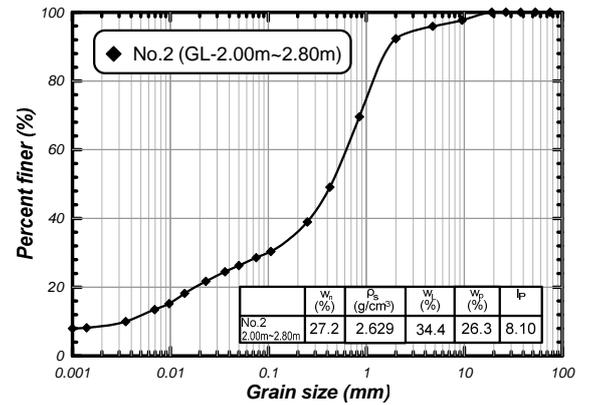


図-5 物理試験結果

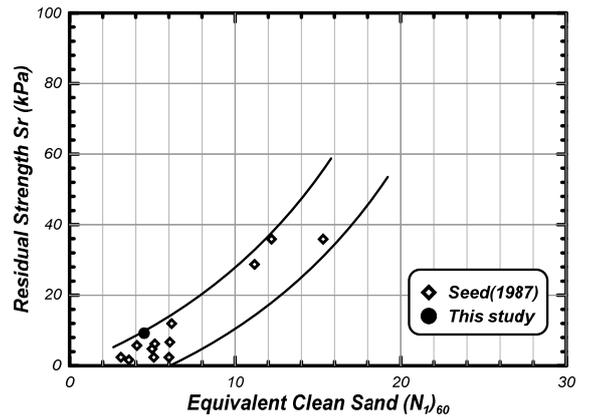


図-6 残留強度と補正 $N$ 値の関係