

地震により流動化した福島県内造成盛土の残留強度評価

日本大学工学部 学生会員 近藤 洋平 正会員 仙頭 紀明

はじめに 東日本大震災では福島県内陸部を中心に、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¹⁾。これらの被害の多くが、水田等の軟弱地盤や斜面上に造成された谷埋め盛土であった。須賀川市南上町では、水田上に造成した盛土が流動化し、地盤変状により住宅やインフラに被害が生じた。盛土材は粘土質砂であり、地下水位が高く、非常に緩い状態であり、一部で液状化がみられた。一方、液状化した地盤の安定性の評価には、Seed が提案した残留強度を用いることがある²⁾。そこで本研究では、まず被害の概要を説明した上で、地盤調査結果や土地利用の変遷から地盤変状の素因を分析した。さらに現場の地形をもとにした斜面安定解析から地盤の残留強度を逆算により求め、既往の被害事例から得られた残留強度と比較し考察を行った。

被害の概要 対象地点は須賀川市南上町でありその位置を図-1に示す。旧航空写真に現地形の等高線を重ねたものを図-2に示す。当該地点は沢部にあたる水田に盛土をして造成が行われ1983年に完成した。造成地の地表面勾配は約 4° と緩やかである。さらに同図には被害状況も重ねて示す。地表面の亀裂、舗装のずれ、道路の隆起、家屋の沈下等の被害は、盛土部分および地山と盛土の境界付近に集中していることがわかる。家屋は概ね、地表面傾斜と対応して斜面下方に向かって傾斜している。また、東側の斜面末端部の道路および盛土（空地）において地盤の動きが拘束されたことによる隆起が見られた。住民の証言によれば、本震後しばらくの間は、団地内を車が通行できており、道路の隆起は徐々に進行し、約1時間後には車の通行ができなくなった。さらには複数の地点において噴砂が確認されている。以上の被害状況から、緩傾斜地盤において地盤が流動化して、斜面下方にむかって移動したことがうかがえる。図-3には造成計画図面から読み取った盛土の層厚分布を重ねて示したものであり、盛土の層厚は最大で約6mである。

解析方法および結果と考察 解析対象地点は図-3に示した北側の盛土の中心付近を通る測線とした。地盤調査結果をもとに作成した断面図を図-4に示す。同図には推定したすべり面も併せて示した。盛土は層厚が6m前後であり、地下水位はGL-1.8m~3.0mである。また、No.2地点では地下水位以下のN値が0~1であることから、砂質土として非常に緩い。推定したすべり面は、上方の舗装開口部から下方の道路舗装隆起箇所に至る地下水位付近の軟弱な砂層を通るものとした。盛土材の物理特性を図-5に示す。細粒分含有率が18%の



図-1 現場の位置（電子国土地形図に加筆）

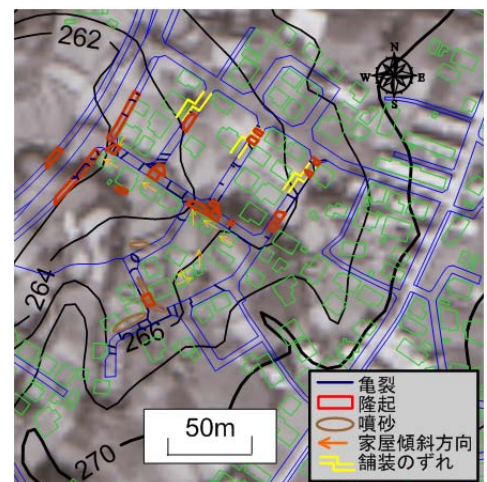


図-2 新旧の地形比較と被害状況

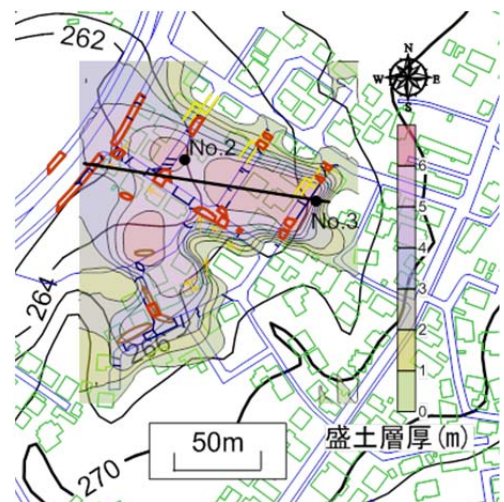


図-3 盛土層厚と被害の関係

キーワード：盛土，残留強度，流動化

連絡先（963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地・TEL:024-956-8710・FAX:024-956-8858）

礫混じり細粒分質砂に分類された。安定解析を行う上で崩壊のタイミングにより慣性力の評価方法が異なる。本地点では、前述したように時間遅れを伴った地盤変状が確認された。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て地震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²⁾を参考にして、安全率 1.00, $\phi_u=0$ としたときの粘着力 c_u を逆算により求めて残留強度 S_r とした。なお土塊の分割数は 6 とし、土の単位体積重量は文献³⁾を参考に $\gamma_t \cong \gamma_{sat} = 19.0 \text{ kN/m}^3$ を仮定した。

安定解析より残留強度は、 $S_r=2.2 \text{ kN/m}^2$ となった。この結果を評価するために、Seed の事例研究²⁾との比較を行った。この時、米国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⁴⁾から、 N 値を 1.12 倍してその影響を補正した。拘束圧や細粒分含有率の影響を次式^{2),5)}により評価し補正 N 値(N_1)₆₀ を求めた。

$$N_1 = C_N \cdot \bar{N} \quad (1)$$

$$C_N = \sqrt{98/\bar{\sigma}'_z} \quad (2)$$

$$(N_1)_{60} = N_1 + \Delta N_f \quad (3)$$

ここで、 C_N :拘束圧に関する換算係数、 $\bar{\sigma}'_z$:平均鉛直有効応力、 $\bar{N}$:平均 N 値、 N_1 :換算 N 値である。ただし、 $\bar{N}=1$, $\bar{\sigma}'_z=24.4 \text{ kN/m}^2$ とした。加えて、細粒分含有率が 18%であることから、文献²⁾より $\Delta N_f=1.5$ とした。以上より、補正 N 値は 3.7 となった。図-6 に残留強度と補正 N 値の関係を示し、その他の福島県内の事例⁶⁾も併せて示した。本事例より得られた残留強度および補正 N 値は、既往の事例から求まる残留強度の範囲に入るものの、他の事例と比べて小さいことがわかる。これは、緩い砂質盛土に継続時間が長く強い地震動が作用したために、緩勾配にも関わらず地盤変状が発生したためである。

謝辞 須賀川市には地盤調査結果を提供いただきました。ここに記して謝意を示します。

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)Seed, H. B.(1987):Design problems in soil liquefaction, J. of Geotechnical Eng., ASCE(8), pp.827-845. 3)日本道路協会(2010):道路土工 盛土工指針, pp.94. 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. 6)近藤, 仙頭(2013):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, 平成 24 年度土木学会東北支部技術研究発表会, III-22.

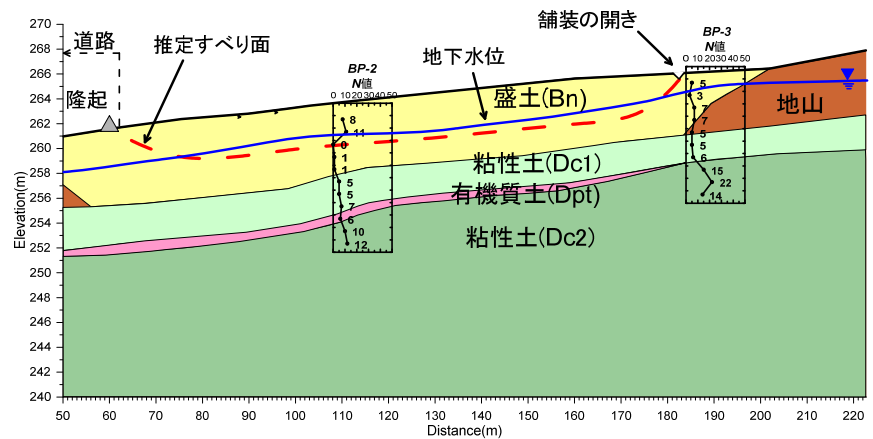


図-4 地層断面図

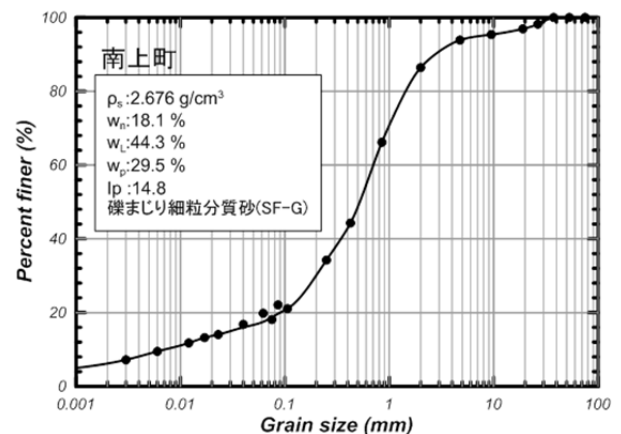


図-5 盛土材の物理特性

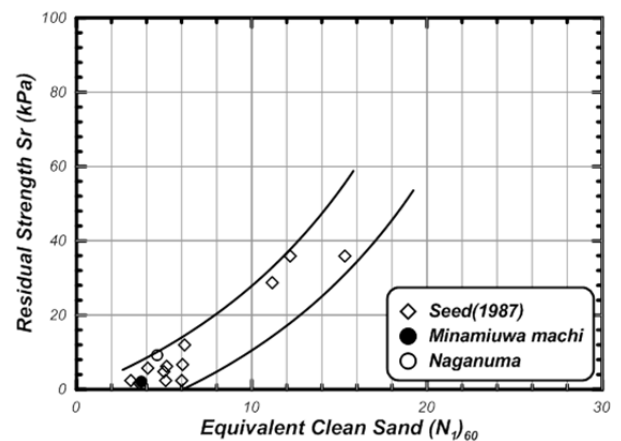


図-6 残留強度と補正 N 値の関係