

熊本地震により滑動崩落被害が発生した造成宅地の被災要因の検討（その 1）

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 ○門田 浩一
 パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 佐藤 成
 パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 金子 俊一郎
 パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 東郷 智

1. はじめに

平成 28 年 4 月の熊本地震においては、がけ崩れ及び滑動崩落等に伴う数多くの宅地被害が発生し、西原村においても、宅地擁壁の崩壊、盛土造成地のすべり変形などの甚大な被害が発生した。本稿では、西原村における被災した盛土造成地（火山灰質土主体）の土質特性について分析すると共に、斜面安定解析を行い、被災した宅地擁壁部の被害発生要因について検討した。検討の結果、地震動の繰返し荷重により、宅地擁壁背面部等における黒ボク盛土材のせん断強度が低下し、擁壁部のすべり崩壊が発生することを示した。

2. 被災盛土造成地の地質特性

熊本県西原村における被災地区の中から、検討対象とした A 地区における平面図及び代表的な地質断面図を図-1、図-2 に示す。A 地区は黒ボク盛土、黒ボク、赤ボク、段丘堆積物及び阿蘇 4 火砕流堆積物の順に堆積している。黒ボク（盛土含む）の性状は有機物を含む火山灰質粘性土であり、 N 値は 1~5（ $N=2\sim3$ が主体）と軟らかい。ただし、擁壁崩壊を伴うすべり発生後も、黒ボク盛土は高さ約 4m、勾配 60 程度の状態で安定を維持している。地下水位は、GL-3m~4m 以深の地山内または黒ボクと赤ボクの境界面付近に分布している。



図-1 被災盛土造成地の平面図(A 地区)

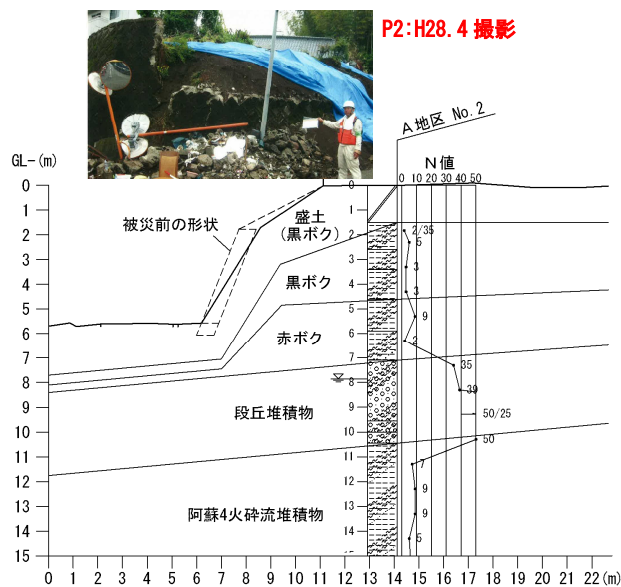


図-2 A 地区における地質断面図 (I 断面)

3. 黒ボク盛土の土質力学特性

西原村の A 及び B 地区における室内土質試験結果より、黒ボク盛土は、砂礫混じりの火山灰質粘性土または砂質シルトに分類され、自然含水比は $w_n=45\sim160\%$ 、間隙比は $e=1.2\sim3.9$ 、乾燥密度は $\rho_d=0.5\sim1.2\text{g/cm}^3$ とばらつきがある。これは有機物の混入量等により、黒ボクの団粒構造自体が変化するためと考えられる。黒ボク盛土のせん断強度試験は、通常の圧密非排水三軸圧縮試験に加えて、地震動に伴う強度低下を推定するため、非排水繰返し非排水三軸試験により 10%ひずみを発生させた後、圧密非排水三軸圧縮試験¹⁾を実施した。

キーワード 火山灰質粘性土、繰返し荷重、斜面の安定解析、滑動崩落

連絡先 〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目 22 番地 パシフィックコンサルタンツ(株) TEL 03-6777-1740

A 及び B 地区における黒ボク盛土の間隙比と静的強度定数の関係、及び間隙比と強度低下率の関係を図-2、図-3 に示す。図-2 より、静的強度定数の粘着力 c_{cu} は間隙比が大きくなると増加傾向を示し、内部摩擦角 ϕ_{cu} は逆にやや減少する傾向を示す。これは、黒ボク盛土の静的強度は、団粒構造の土粒子間の結合力に支配され、団粒構造が発達している状態ほど、強度が大きくなっていると考えられる。図-3 の間隙比と強度低下率の関係では、間隙比が大きくなると、粘着力及び内部摩擦角の強度低下率 (c_R , ϕ_R) も大きくなっており、その最大値は約 33% である。これは繰返し載荷により、団粒構造が損傷して結合力が低下すると共に、土粒子間の摩擦抵抗も低下していることを示している。また、赤ボクの強度定数の低下率 (c_R , ϕ_R) は 20~29% であった。

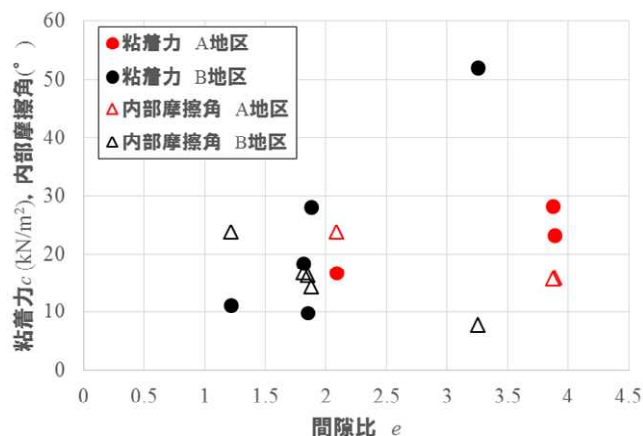


図-2 間隙比と静的強度定数の関係

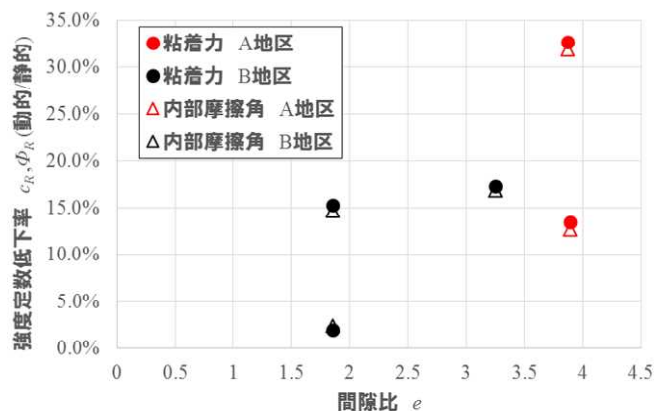


図-3 間隙比と強度低下率の関係

4. 円弧すべり解析による被害再現計算結果

I 断面 (図-2) において、円弧すべりによる再現解析を行った。解析は黒ボクの静的強度定数 (粘着力 $c_{cu}=22.7\text{kN/m}^2$, 内部摩擦角 $\phi_{cu}=18.4^\circ$) を用いるケース I, 繰返し載荷で 10% ひずみに達した後のせん断強度定数 (低下率 33% : 粘着力 $c_{cu}=15.1\text{kN/m}^2$, 内部摩擦角 $\phi_{cu}=12.3^\circ$) を用いるケース II の 2 ケースとした。赤ボクも同様の 2 ケースの強度定数 (低下率 29%) を用いた。また、ケース II の強度定数の範囲は、2 次元動的有限要素解析より求め、黒ボクのせん断歪の計算値が 10% 以上になる擁壁背面及び基礎部と仮定した (図-5)。円弧すべり解析の結果、設計水平震度 0.23 (標準値 0.25 に地域別係数考慮) に対する安全率 F_s は、ケース I が $F_s=1.38$, ケース II が $F_s=0.92$ となり、ケース II の条件で被害再現できる結果となった (図-4, 図-5)。よって、I 断面の崩壊要因は、地震の繰返し荷重を受けた黒ボクの団粒構造が損傷し、主に擁壁の背面部のせん断強度が 3 割程度低下したことによるものと考えられる。

表-1 解析定数

地層	単位体積重量 γ_t (kN/m³)	粘着力 c_{cu} (kN/m²)	内部摩擦角 ϕ_{cu} (°)
黒ボク: ケース I	13.0	22.7	18.4
黒ボク: ケース II	13.0	15.1	12.3
赤ボク: ケース I	14.0	30.3	13.2
赤ボク: ケース II	14.0	21.5	9.3
段丘堆積物	20.0	0.0	35.0
阿蘇4火砕流堆積物	14.0	25.2	14.3

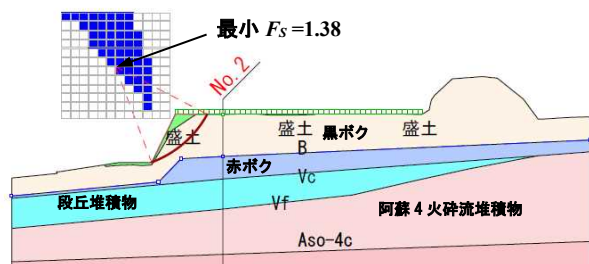


図-4 円弧すべり解析結果：ケース I

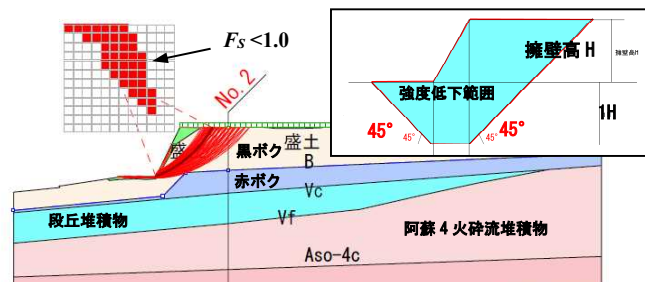


図-5 円弧すべり解析結果：ケース II

参考文献

1) 上野和広, 他 3 名: 非排水繰返し載荷による強度低下の評価法および強度低下を考慮したため池堤体の滑動変位量解析例, ため池等地震時斜面変形予測手法研究会 HP, <http://serid.jp/pdf/02-019ueno.pdf>. 2019. 2