宅地造成された盛土地盤の地震時安定性評価手法に関する一考察
－盛土地盤の簡易耐震性評価「ブロック解析法」－

東北工業大学　都市マネージメント学科　　高橋正孝
㈱ダイヤコンサルタント　砂防・防災事業部　西山卓
東北工業大学　都市マネージメント学科　　今西肇

1. はじめに

近年，地震時において，自然斜面や宅地造成された盛土地盤も含めてしばしば破局的な被害をもたらす地すべりや崩壊が生じる事例が多く報告されている。2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分に発生したM9.0 の東北地方太平洋沖地震においても，仙台市の多くの団地で地震に起因した盛土地盤の変状が発生し報道でも大きく取り上げられた。本報告は，地震力が盛土地盤に与えた影響を解析する一手法として「ブロック解析法」を提案し，大震災で被災した仙台市高野原団地を例にその適用性について報告する。

2.「ブロック解析法」概要

地震の影響を静力学的に解析するため地震係数（ks）（重力加速度に対する水平加速度の比）を用いる。また地震角（δs）と次の関係にある。

$$\delta s = \tan^{-1}(ks) \quad (1)$$

図－１に角βs の斜面上ブロックのモデル図を示す. 角βs は，不安定ブロックが乗っている弱線面の勾配である。地震時において亀裂によって分割されたブロックの平衡状態は，βs＝δs なる条件で決まる。ここで底面積Ａをもつ重さＰのブロックでは、βs で傾く面にはせん断力Ｑと垂直応力Ｎが作用する。せん断力Ｑは（2）式で、垂直応力Ｎは（3）式で示される。

$$Q = P\sin\beta s \quad (2)$$

$$N = P\cos\beta s \quad (3)$$

また、変位に対する抵抗力は（4）式で示され、平衡条件はＲ＝Ｑである。

$$R = P\cos\beta s \cdot \tan\phi + c \cdot A \quad (4)$$

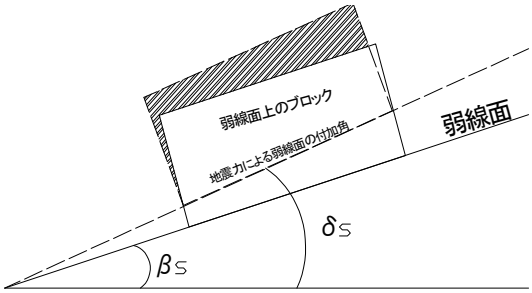
（4）式から（5）式が得られる。

$$P\cos\beta s \cdot \tan\phi + c \cdot A = P\sin\beta s \quad (5)$$

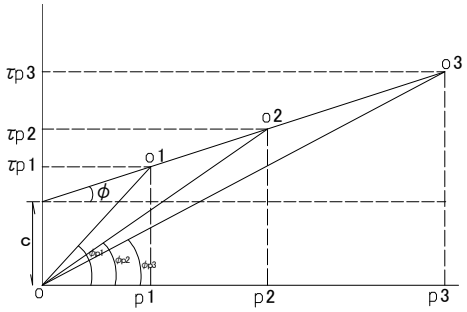
(5) 式の両辺をＰ･cosβs で割って (6) 式を得る。

$$\tan\phi + \frac{c \cdot A}{P\cos\beta s} = \frac{P\sin\beta s}{P\cos\beta s} = \tan\beta s \quad (6)$$

ここで，Ａ/Ｐcosβs は、垂直応力の逆数であり、



図－1　地震力が作用した場合の斜面挙動の考え方



図－２　せん断抵抗角（φp）の概念

1/σn と表すことができ式(7)と(8)が得られる。

$$\tan\beta s = \tan\phi + c/\sigma n \quad (7)$$

$$\tan\phi = \tan\beta s - c/\sigma n \quad (8)$$

ここで、垂直（荷重）応力と土の強度との関係を、図－２に示す。荷重Ｐi なるときのせん断強さはτpi である。このときのなす角度をφp で表す。このφp は、せん断抵抗角と呼びＦp と表す。傾斜した面上のブロックの安定条件は、βs＝φp なる条件のときであり、(9) 式で示され、(9) 式から、(10) 式が得られる。

$$\tan\phi p = \tan\beta s = \tan\phi + c/\sigma n \quad (9)$$

$$\tan\phi = \tan\phi p - c/\sigma n \quad (10)$$

キーワード：地震，盛土地盤，地震時安定性，耐震性評価
連絡先 ： 〒981-3302　宮城県黒川郡富谷町 163-83　TEL ： 090-1939-6078

地震時のブロックの平衡条件は、(9)、(10) 式から $\beta s = \delta s = \phi p$ が得られる。このことから、ブロックの安定性は、

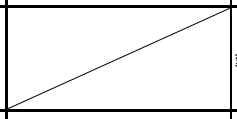
$\phi p > \delta s$ のとき　　安定

$\phi p = \delta s$ のとき　　平衡状態

$\phi p < \delta s$ のとき　　不安定

となる。

表－3　地震時における盛土地盤の耐震性評価結果（ブロック解析手法）「仙台市高野原団地」

検討箇所	盛土の強度（仮定）		震度階	地震加速度	地震角	検討ケースと不安定領域（Fse<0.98）			地震時不安定領域分布図（500gal時）	記　事
	粘着力	内部摩擦角				Case①	Case②	Case③		
	(Mpa)	(φ°)		(Gal)	(δs°)					
仙台市高野原団地	0.00	30	6強	500	27	盛土の粘着力が"ゼロ"で，盛土のφを30°とした場合，600gal以上の地震加速度では盛土全体が不安定(Fse<1.00)以下となり実態と整合しない．				変状モードー致しない
				600	31.5					
				700	35.5					
				800	39.2					
	0.01			500	27	①	③	④		変状モードー致しない
				600	31.5	①	③	④		
				700	35.5	①	③	③		
				800	39.2	①	③	③		
	0.02			500	27	③	④	⑤		変状モードー致しない
				600	31.5	②	④	⑤		
				700	35.5	②	③	④		
				800	39.2	①	③	④		
	0.03			500	27	③	④	⑥		第1亀裂付近まで不安定(Fse<0.98)となる
				600	31.5	③	⑤	⑥		
				700	35.5	③	④	⑤		変状モードー致しない
				800	39.2	②	④	⑤		
	0.04			500	27	④	⑦	⑧		第2亀裂付近まで不安定(Fse<0.98)となる
				600	31.5	③	⑥	⑦		
				700	35.5	③	⑤	⑥		変状モードー致しない
				800	39.2	③	④	⑤		

表－１　高野原団地盛土地盤の地震時安定度検討結果

3. 高野原団地２・３丁目盛土地盤への適用例

高野原団地盛土地盤への適用結果を表－1 に示す。計算結果から、以下のことが言える。

①　粘着力が大きくなるにしたがって、不安定領域は盛土の奥に進展する。すなわち、φが卓越する場合（ｃ＝０）は、表層崩壊が卓越することを示している。

②　第１，第２開口亀裂（のり肩からの最初の開口亀裂）が発生した位置と不安定領域分布モードが一致するパターンは、粘着力ｃ＝30～40 kN/m2（0.03～0.04 Mpa）、作用した地震加速度は、500～600 cm/cm2 である。

③　②の結果から盛土（礫混じり土）の強度は粘着力ｃ＝30～40(0.03～0.04Mpa)kN/m2、内部摩擦角（φ）21～31°程度の地盤強度を有する中で、震度６強（加速度 500～600gal）が作用したものと推察することができる。

④　不安定領域の地震時の安全率は、Fse≦0.98 程度であり、変状程度（表層崩壊，宅盤内の開口亀裂）から考えれば概ね妥当と考えられる。なお、安全率は、$Fse = \tan\phi / \tan\delta s$ で表した。

4. おわりに

宅地造成された盛土地盤の地震時の安定性に関して、地震係数 ks、せん断抵抗角φp を用いた簡易耐震性評価法「ブロック解析法」を検討した。当手法は事前に盛土内地盤条件（土質構成、単位体積重量、土の強度、地下水状態等）が把握できれば、耐震性を予測可能で、事前対策計画の企画・立案も可能となる。また、多くの都市部宅地造成盛土地盤のハザードマップ作成などに適用できるものと考える。

参考文献

1)　東北地方太平洋沖地震と最大化速度分布 http://tkamada.web.fc2.com/jishin/20110311tohoku/20110311tohoku.htm