

切土の耐震診断と耐震補強設計法 (その1)

切土, ニューマーク法, 残留強度

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○中村 宏, 正会員 油谷彬博
鉄建建設(株) 正会員 山内真也, (株)複合技術研究所 正会員 三平伸吾

1. はじめに

JR 東日本では、首都直下地震対策として切土の耐震補強を進めている。切土の耐震診断と耐震設計では基本的に Newmark 法を用いている。本稿では、切土の耐震診断と耐震設計について、Newmark 法を用いる場合の土質定数の取り扱い方にも触れながら、概要を述べる。

2. 災害事例

過去の切土の地震時災害事例を図-1 に示す。鉄道の切土では、地震時崩壊事例は非常に少ないながらも、崩壊時に崩壊規模が大きくなるケースが散見される。図-1 の豊原では崩壊後の地盤調査で鍵層となる弱層の存在が認められた¹⁾。1923 年の関東地震では、図-1 の御茶ノ水以外で、東京近郊の切土(石積み等)の被災は無く、2011 年の東北地方太平洋沖地震で、豊原以外に切土の被災は無かった。

切土の背面地山の安定度は、背面地山が自然堆積した洪積層より古い地層であり、なおかつ風化層や埋土層等の弱層が無ければ、一般的に盛土より安定している。

3. 切土 (非自立性地山) の補強設計一般

切土の補強設計は、背面地山が自立しているかいないかを条件に、補強形態を大別している。詳細は文献 2) の図-3 を参照されたい。急勾配切土で背面地山が自立しない場合は (L1 地震時で円弧すべり安全率 $F_s < 1.1$)、地震時だけでなく供用時でも土圧が作用し得る状態と考え、補強量を密にしたり、補強土擁壁・抗土圧擁壁とするために、前面に鉄筋コンクリート壁を打つ場合が考えられる。また、勾配が 1:1 程度 (1:0.8 以上) の切土は、盛土に準じて L2 地震動による Newmark 法で変形照査を実施し耐震診断と設計を行う。

4. 急勾配切土の耐震診断・耐震設計

4-1. 耐震診断と設計に用いる土質定数

盛土と切土の構造特性の違いを考慮して、それぞれについて土質定数の扱い方をまとめる。

- ① 盛土は人工構造物であり、列車荷重の長期載荷により経年で安定する一方で、建設時の締固め不足でピーク強度が相対的に小さく、ピーク後に歪が増加しても強度低下は小さい。そこで、盛土では $\tau_{peak} \approx \tau_{res}$ と仮定して、ピーク強度で耐震診断と設計を実施している。
- ② 切土は、例えば土留め壁等の背面地山の大半が洪積世以前の自然地山と考えられる。自然地山は砂礫、シルト、粘土を主体とする未固結地山だけでなく、岩石地山の場合もあり、強度が大きく比較的硬い軟岩等でも、ピーク強度に達した後に急激に強度が低下することがある。そこで切土では、降伏震度を算出するまでは τ_{peak} を用い、変形量算出は τ_{res} を用いて耐震診断と設計を

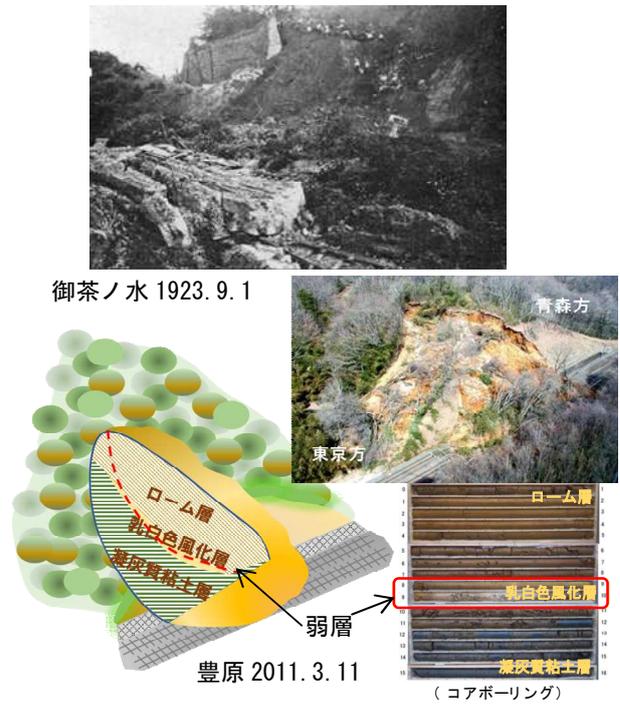


図-1 過去の地震による切土の大崩壊

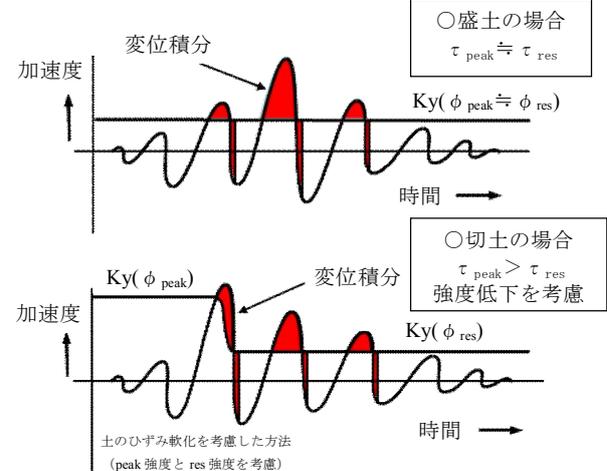
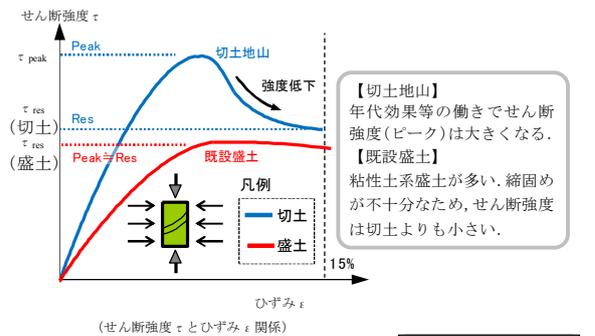


図-2 耐震診断時に用いる土質定数について

行うこととする(図-2)。

4-2. 急勾配切土で背面地山が非自立の場合の設計法

首都圏では、普通の急勾配切土(土留壁)は殆ど背面地山が自立する($K_h=0.2$ で $F_s \geq 1.1$)結果となった。

自立しないケースは、数量は非常に少ないが、弱層を有する切土か、切土背面が埋戻し土であるケースが想定される。切土建設以前に土地造成等で埋め立てられた箇所を切土した場合、また、土留壁や土留擁壁を仮土留して建設した場合は、切土背面に埋戻し土が厚く堆積する可能性がある。この場合、以下のように設計を進める。

- ① 背面地山が自立せず、円弧すべり線が奥まで伸びて設計上非合理的となるような場合は、図-3 に示すように2楔土圧を考慮し、補強土擁壁として設計する。
- ② ①の場合、性能ランクⅢ(L1地震動)で設計してよいが、対策後に外的安定に対して円弧すべり Newmark法により許容変形量以下であることを照査する。
- ③ 壁体設計では、既設土留め壁(無筋コンクリート・練積みの石積み)の変状が軽微で、なおかつ無補強でも耐力がある場合は、前壁を打設する必要は無い。
- ④ 既設土留め壁の変状が著しい場合、または空積みみの石積みで、既設壁の耐力が不足する場合、必要に応じて補強用の鉄筋コンクリート前壁打設を検討する。
- ⑤ 抗土圧構造物(梁ばね)として設計する方法もある。
- ⑥ 急勾配切土の背面が 1:1 程度の切土となっている場合は、図-3 の下図に示すように 1:1 切土部を上載荷重と見立てて、急勾配部を補強土擁壁で検討し、上位の切土部は円弧すべりの検討を行い、それぞれの変形量を足し合わせて評価する方法もある。

- ⑦ 図-4 の a) に示すように、土留壁の背面地山が、自立性地山、非自立性地山の分布が上下分かれている場合には、非自立性地山の切土で補強量を多くする。また、当社用地境界を超えない設計が必要な場合(当社用地外が民地で越境協議が不成立)もある(図-4 の c)。

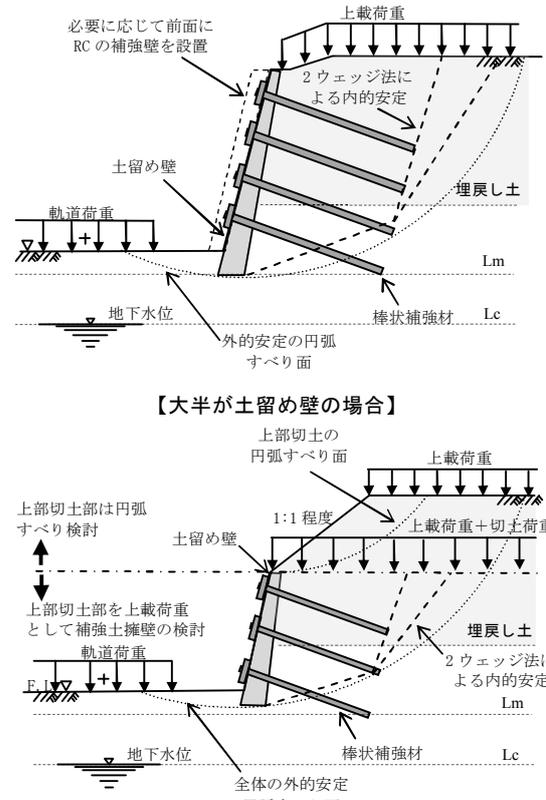
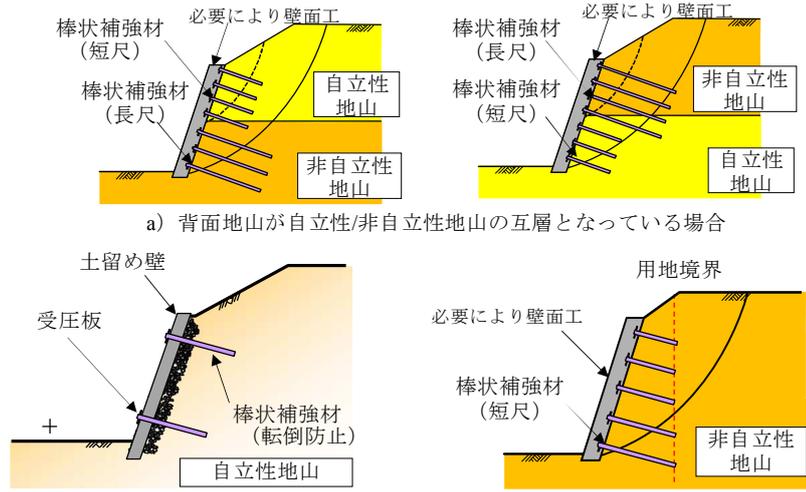


図-3 切土耐震補強設計時の安定検討(非自立性地山の場合)



a) 背面地山が自立性/非自立性地山の互層となっている場合
b) 背面地山が自立性地山の場合
c) 用地境界を越えて補強材を配置できない場合

図-4 切土補強の対策イメージ

5. まとめ

- (1) 切土背面地山が自立しない場合は、補強土擁壁(抗土圧構造物)として、設計するのが良い。
- (2) 自立性地山、非自立性地山の分布を考慮し、非自立性地山での補強量を多くして全体の安定を図る。
- (3) 【追記】石積部の変状(目地切れ等)は、補強時にパテ材を埋める等して修繕する(施工時配慮事項)。

【参考資料】

- 1) 中村宏,他:粘性土高切土の地震時崩壊事例を対象とした修正Newmark法による再現解析,土木学会論文集 C,Vol.12,No.2,pp.155-163,2016.6
- 2) 油谷彬博,他:切土の耐震診断と耐震補強設計法(その2),第52回地盤工学研究発表会,2017.7
- 3) 土構造物耐震補強設計マニュアル:東日本旅客鉄道株式会社,2013.5
- 4) 補強土留め壁設計・施工の手引き:日本鉄道建設公団,2001.8
- 5) 鉄道構造物等設計標準・同解説 土留め構造物:鉄道総合技術研究所,2012.1