

もたれ式土留め壁の耐震性評価法

土留め壁
耐震性
設計法

複合技術研究所 正 堀井 克己
鉄道総合技術研究所 正 小島 謙一
同上 正 館山 勝

1. はじめに

従来、鉄道におけるもたれ式土留め壁（以下、土留め壁という）は、標準設計図により施工されており、耐震設計はほとんど行われていない。しかしながら、他の土木構造物と同様に、重要線区等に設置されている土留め壁においては、レベル1地震動のみならず、レベル2地震動に対しても所要の耐震性能を満たしていることが望まれるが、その評価手法については整理されていないのが現状である。本論文では、レベル1地震動およびレベル2地震動における、既設の土留め壁を対象とした耐震性評価手法について検討を行った。なお、別稿¹⁾において、本方法に基づく試算を実施し、本手法の妥当性を確認している。

2. 耐震性評価法

図1に、土留め壁の耐震性評価法の流れを示す。対象構造物はもたれ式土留め壁とし、石積み擁壁についての評価は対象外とした。

まず、構造物の現状を把握するために、既存資料等を収集し、土留め壁の断面形状、のり面勾配、背面勾配、裏込め材料、基礎底面の状況、裏型枠の有無、浸透水の流出状況などのほか、変状の状況を調査する。次に、構造物の耐震性評価レベルを設定する。耐震性評価レベルは、3段階からなり、耐震性評価を必要としないもの、レベル1地震動に対する耐震性能の評価だけでよいもの、レベル2地震動に対する評価まで必要とするものに分かれる。ここで、耐震性評価を必要としないものとしては、耐震設計標準にもとづいて設計された土留め壁等が該当する。レベル1やレベル2地震動に対する耐震性能の要求レベルは、構造物の重要性、被災したときの影響の波及性、復旧の容易性などから適宜決定されるものである。

耐震性評価を行うには、耐震設計条件として土留め壁諸元、盛土の土質定数：単位体積重量、ピーク時および残留状態の内部摩擦角、粘着力などを設定する。設計地震動は、耐震標準²⁾で規定されている地盤種別毎の地震動を使用し、地盤種別は表層地盤の固有周期を算定して判別する。

(1) レベル1地震動に対する

耐震性能の評価

レベル1地震動に対する評価は、降伏震度で行う。すなわち、降伏震度が所要降伏震度（通常、 $K_{y, req} = 0.2$ ）を上まわれば耐震性能は確保されると考える。降伏震度は、極限平衡法にもとづく安定計算法により算定する。図2に、本

検討において想定した基本的な破壊モードを示す。破壊モードは、壁体だけの倒壊(a,地山が自立)、地山あるいは盛土も

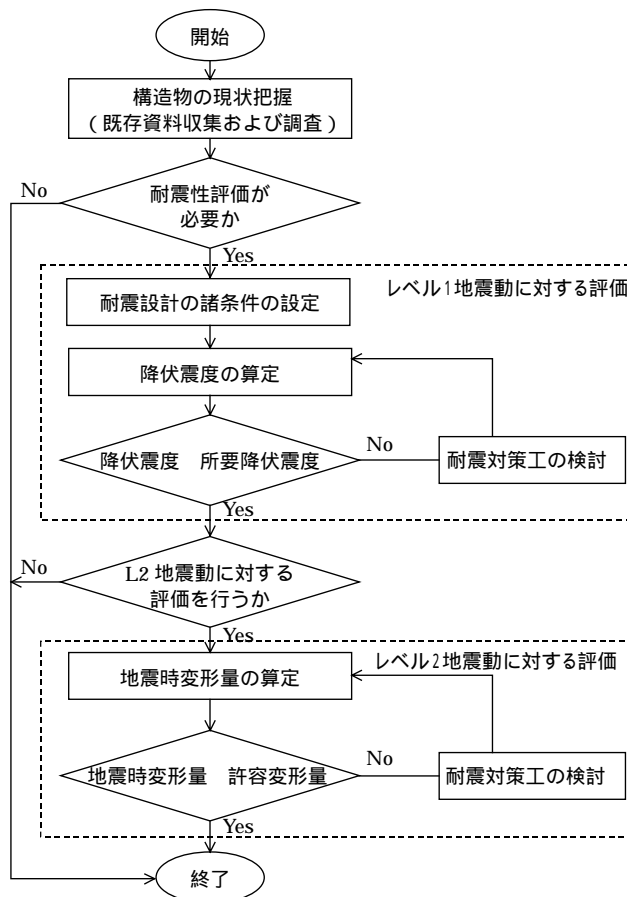


図1 もたれ式土留め壁の耐震性評価の流れ

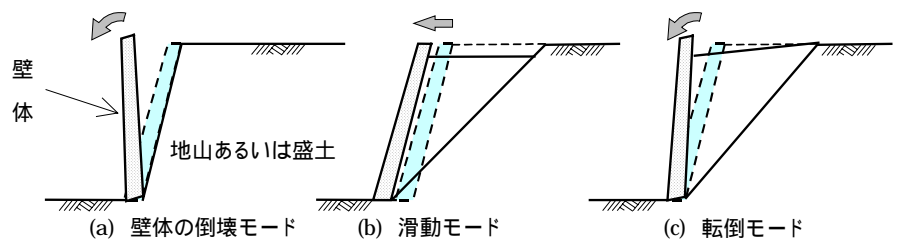


図2 土留め壁の破壊モード

含めた滑動(b)、および転倒(c)である。その他の破壊としては、斜面上にある構造物等の支持力破壊がある。

降伏震度は、水平震度と安全率 F_s の関係を求めて、 $F_s=1$ のときの水平震度として得られる。土留め壁の安定計算は、土留め壁と棒状補強材で補強された領域が一体化して、外力に抵抗するとみなして、安定計算を行う考え方を採用している。図3に作用外力の模式図を示す。また、滑動安全率 $F_{s,sl}$ および転倒安全率 $F_{s,ot}$ の算定式をそれぞれ式(1),(2)に示す。

$$F_{s,sl} = F_R / F_D \quad (1), \quad F_{s,ot} = M_R / M_D \quad (2)$$

ここに、 F_R : 滑動抵抗力、 F_D : 滑動力、 M_R : 転倒抵抗モーメント、 M_D : 転倒モーメント。

降伏震度が所要降伏震度に満たない場合は、耐震補強を行い、所要降伏震度を満足するように、耐震補強を行う。

耐震対策の検討は、土留め壁の破壊モードに対応した適切な耐震補強法を設計する。耐震補強法の例を図4に示す。既設土留め壁の場合は、近接施工となる場合が多く、施工上の点から対策法が限定される。この例は、土留め壁の天端付近に補強材を施工した対策を示しており、比較的、壁体に損傷を与えず、施工が容易な対策方法である。上段だけの補強材で抵抗力が不足する場合は、施工性や経済性を考慮して、配置や数量を決定する。

(2) レベル2地震動に対する耐震性能評価

レベル2地震動に対する耐震性能評価は、変形性能(土留め壁背面土の沈下量)で照査する。そのために、まず土留め壁の地震時変形計算を行い、水平変位量を算定する。土留め壁の地震時変形解析はNewmark法を適用する。変形解析に使用する滑動 および転倒(回転角)の運動方程式を式

(3),(4)に示す。

$$M\ddot{\delta} = F_D - F_R \quad (3), \quad J\ddot{\theta} = M_D - M_R \quad (4)$$

ここに、 M : 質量、 J : 慣性モーメント。

次に、土留め壁の変形に伴う背面盛土の沈下量を算定する。土留め壁の変形が転倒モードの場合は、図5に示すように、土留め壁の変形に伴う背面土の沈下は主働崩壊範囲で直線的に変化するとして、土留め壁の変形した体積に相当すると仮定して導いた同図中の式(5)から、沈下量を算定する。ただし、 H : 壁高、 θ : 壁回転角、 L : 主働崩壊範囲、 α : 主働崩壊角、 δ_h : 背面土の水平変位量、 δ_v : 背面土の鉛直沈下量。

この結果、算定された沈下量が許容沈下量以下であれば、レベル2地震動に対する耐震性能を有していると判定する。許容沈下量を超える場合は、所定の耐震性能が得られるように耐震補強対策の検討を行う。

なお、斜面上の土留め壁や背面に高盛土を背負った特殊な土留め壁などは、土留め壁の照査に加えて、円弧すべり法による安定解析とNewmark法による変形解析により耐震性能を照査する。

3. おわりに

もたれ式土留め壁の耐震性評価法について検討した。レベル2地震動に対する変形性能の照査法は、Newmark法で壁体の変形を、背面土の沈下は壁の変形と等体積で起きるとして推定する簡易計算法を提案した。ただし、現在の検討手法では、滑動と転倒をそれぞれ独立な現象と考えて総変形量を両者の和で評価している。しかし、実際の変形はそれらと支持力に起因するものが複合して発生している。より精度の高い解析を行うには、それらの現象を評価できる解析方法の検討を行っていくことが必要である。

参考文献

- 1) 小椋・堀井・小島・館山: もたれ式土留め壁の耐震性評価法に基づく試算、第37回地盤工学研究発表会、2002.
- 2) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計、1999.10.

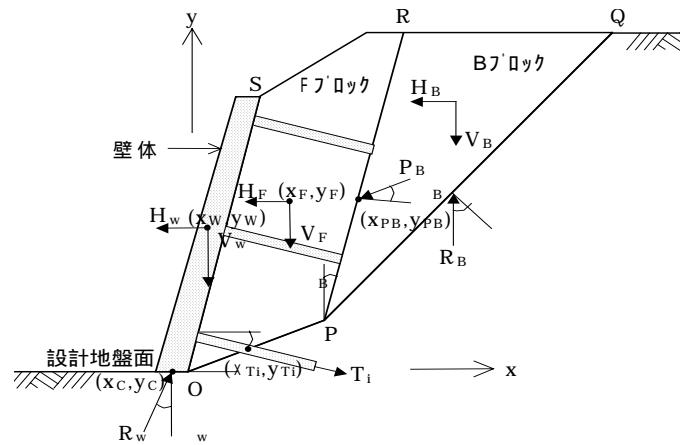


図3 安定・変形計算上の作用外力の模式図

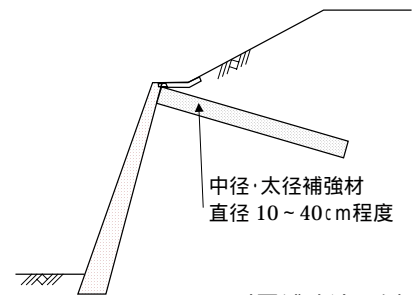


図4 耐震補強法の例

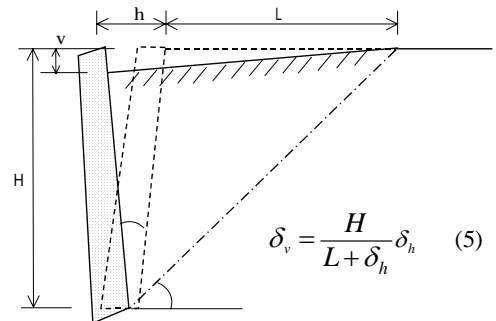


図5 土留め壁の変形と背面地山の沈下の関係模式図 (転倒モードの場合)

$$\delta_v = \frac{H}{L + \delta_h} \delta_h \quad (5)$$