

# ニューマーク法による変形計算法

— 新基準「鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物」  
(平成19年1月版)に準拠したRRR-B工法の実設計 —

補強土構造物の変形の設計照査法(「鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物」に準拠)

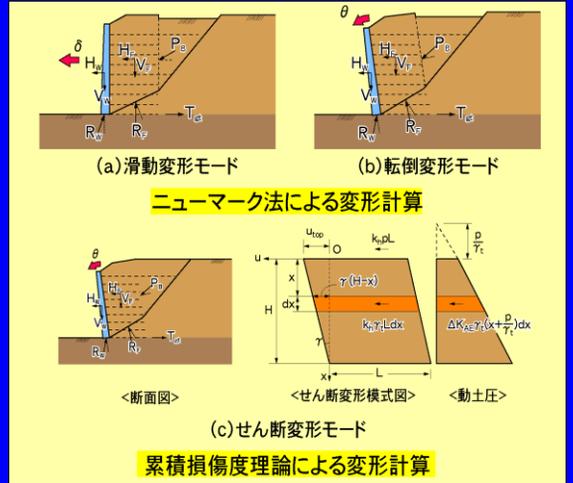
変形計算は、2直線すべり(two-wedge)を想定した滑動変形モードと転倒変形モードに加え、補強領域のせん断変形を想定したせん断変形モードの3種類について変形量を算出します。

盛土補強土壁のL2地震時変形モードと変形計算法

- ① 滑動変形モード → ニューマーク法
- ② 転倒変形モード → ニューマーク法
- ③ せん断変形モード → 累積損傷度法

基本的な計算法

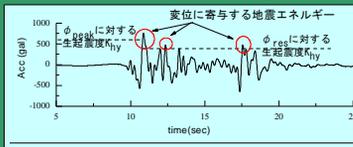
- ① 上記③モードの降伏震度の算定・比較
- ② 主たる降伏震度 $K_{ymin}$ を構造物の降伏震度
- ③  $K_{ymin}$ 時のすべり線での各モードの変形計算
- ④ 3モードの合計変形による背面沈下量の算定



## 変形量の算定法

### 滑動・転倒変形モードの変形量の算定

各変形モードについて求められる残留強度 $\phi_{res}$ に対する降伏震度 $K_{hy}$ 以上の地震波について、地震エネルギーを変形量に換算する。



滑動に対する運動方程式

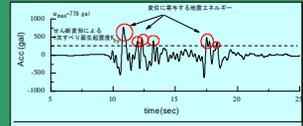
転倒に対する運動方程式

$$M\ddot{\theta} = F_D - F_R \quad \delta: \text{変形量} \quad J\ddot{\theta} = M_D - M_R \quad \theta: \text{回転角}$$

$F_D$ : 滑動力  $F_R$ : 抵抗力  $M_D$ : 転倒モーメント  $M_R$ : 抵抗モーメント  
 $M$ : 壁体とFブロックの慣性質量  $J$ : 壁体とFブロックの慣性モーメント

### せん断変形モードの変形量の算定

一次すべり面生起震度 $K_{hy}$ 以上の地震波について、地震エネルギーを変形量に換算する。



せん断変形量の算定式

$$u_{top} = \frac{(k_h - k_y)}{G_p} \gamma_i \lambda H^2 \quad \lambda = \frac{1}{2} \left( \frac{1 + \omega + 2p}{I + \omega + 2p} + \beta \left( \frac{H + p}{3L} \right) \frac{1}{\gamma_i L} \right) + \frac{1}{\gamma_i L H^2} (P_H H + P_M) \quad \omega = \frac{\gamma_c b}{\gamma_i L}$$

$U_{top}$ : 壁頂の水平変形量  $G_p$ : せん断剛性率  $B$ : 壁の平均幅  
 $K_h$ : 地震波の水平震度  $L$ : 補強材の平均長  $P$ : 上載荷重  
 $K_{hy}$ : 一次すべり面生起震度  $\gamma_c$ : 壁体の単位体積重量  
 $\gamma_i$ : 盛土の単位体積重量  $\beta$ : 動土圧係数(=0.75)

## 沈下量の限界値

### 1次すべり面生起震度とせん断剛性率

① 1次すべり面生起震度を求める。  
1次すべり面生起震度は盛土が変形を始める震度のことであり、既往の模型実験からせん断変形が最も早く生じることが実証されていることから、せん断変形の降伏震度を1次すべり面生起震度としている。

せん断変形の降伏震度  $k_y = \frac{\bar{L}}{2H}$

$\bar{L}$ : 補強材平均長  
 $H$ : 盛土高さ

② 盛土のせん断剛性率を求める。  
せん断剛性率は、せん断変形量を求めるために必要なパラメーター

$G = 900 \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} p^{0.4}$   $G$ : せん断剛性率  $e$ : 間隙比( $e=0.65$ 程度)  
 $p$ : 有効拘束圧  $H$ : 盛土高さ  $q$ : 上載荷重

$p = \sigma_v + \sigma_h = \left( \frac{H}{2} \cdot \gamma + q \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{H}{2} \cdot \gamma + q \right)$   $\gamma$ : 盛土の単位体積重量

※補強材による剛性増加を考慮して3倍の剛性率 $G_p$ を用いる。

### 「変形に対する照査」

#### 変形に対する照査式

$$\gamma_i \delta_{Rd} / \delta_{Ld} \leq 1.0$$

ここに、 $\gamma_i$ : 構造物係数(=1.0)

$\delta_{Rd}$ : 背面地盤沈下量の応答値

$\delta_{Ld}$ : 背面地盤沈下量の限界値

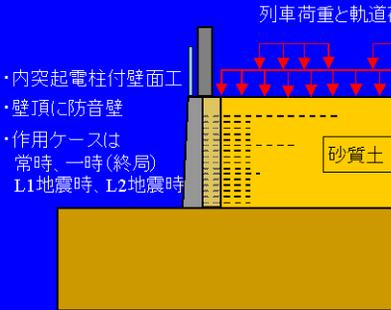
(沈下量の限界値) 注) 下記はあくまで参考資料

変形レベル	被害程度	沈下量の目安		
		有連床軌道		省力化軌道
		盛土部	橋台裏部	
1	無被害	無被害	無被害	1cm未満 (軌道整備値以内)
2	軽微な被害	沈下量 20cm未満	橋台背面の沈下差 10cm未満	1cm以上5cm未満
3	応急処置で復旧が可能な被害	沈下量 20cm以上50cm未満	沈下差 10cm以上20cm未満	5cm以上15cm未満
4	復旧に長時間を要する被害	沈下量 50cm以上	沈下差 20cm以上	15cm以上

(関連箇所)「耐震標準 解説表14.4.2, 14.4.3」

設計例

本設計例のモデル

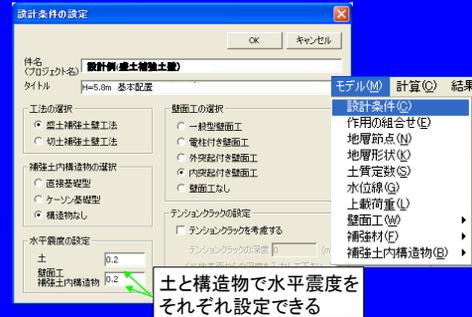


計算モデルの作成

モデルタブを選択し計算モデル作成に必要な設定を行う



設計条件の設定



土と構造物で水平震度をそれぞれ設定できる

作用の組み合わせ

作用の組み合わせでは、作用名称、水位線の選択、水平震度の有無、荷重の有無、作用係数を設定する。

(土圧、壁面工荷重、上載荷重、風荷重、電柱荷重等)

作用係数を設定する。



作用係数の設定

作用の組み合わせで選択した作用について、作用係数を設定する。



作用係数の例

終局状態以外： 全ての作用係数=1.0

終局状態：

作用種類	作用名称	作用係数
固定死荷重 D <sub>1</sub>	盛土荷重、壁面工荷重	1.1
付加死荷重 D <sub>2</sub>	上載荷重、軌道荷重	1.2
	防音壁荷重	1.1
土圧 E <sub>0</sub>	電柱荷重	1.0
	土圧	1.0
列車荷重 L	列車荷重	1.1
	主たる風荷重	1.2
風荷重 W	従たる風荷重	1.0

土質定数の設定

土質の単位体積重量、粘着力、内部摩擦角、水平震度の有無、自重に関する作用係数の設定を行う。また、ニューマーク法で用いる定数も設定する。



盛土の土質定数について

土質区分	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	盛土の安定計算	
		c(kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$
土質1	18	6	45°
土質2	17	6	40°
土質3	16	6	35°
土質4	14	20	25°

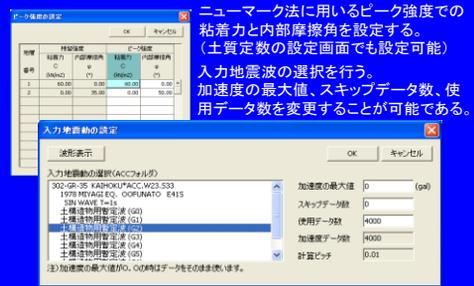
  

土質区分	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	地震時土圧計算	
		$\phi_{peak}$	$\phi_{avg}$
土質1	20	55°	40°
土質2	20	50°	35°
土質3	18	45°	30°
土質4	18	40°	30°

外的安定性の検討

内的安定性の検討

ピーク強度の設定と入力加速度の設定



上載荷重の設定

上載荷重の名称、載荷方向(鉛直または水平)、載荷範囲、荷重強度、水平震度、水平震度の最大値を設定します。列車荷重の水平震度の最大値は、通常0.3とします。

(線路直角断面)



地震時の列車荷重

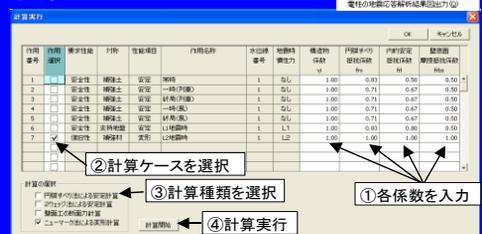
地震時列車荷重 P

標準列車荷重	地震時列車荷重
EA-17	35 kN/m
EA-15	31 kN/m
M-18	26 kN/m
P-17	34 kN/m
P-16	32 kN/m

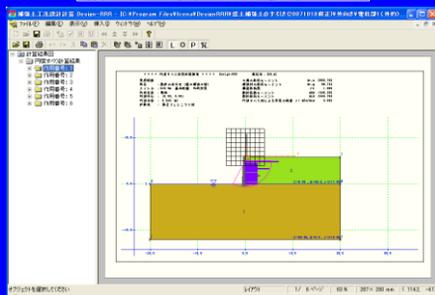
〔橋梁および高架橋耐震照査の手引き 表3.1.1〕

計算の実行

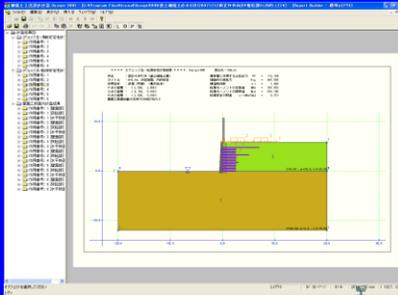
構造物係数、円弧すべり抵抗係数、内的安定係数、壁底面摩擦抵抗係数を設定する。



結果出力例1 (円弧すべり)



結果出力例2 (2Wedge法)



結果出力例5 (変位計算結果)

