

修正物部・岡部法による主働土圧係数算出（エクセルマクロ）について

日中構造研究所 松原勝己

1. はじめに

道路橋示方書・耐震設計編等では、L2 地震動に適用可能な土圧計算法として、「修正物部・岡部法」が採用されています。通例の設計計算では、標準的な諸元や地盤強度に対して、修正物部・岡部法によって求められた算出式が示方書に提示されており、それらを使用することで対処できることが多いと思います。しかしながら、地表面や壁体面が傾斜している場合や地盤の強度を現地試験に基づいて設定する場合などでは、提示された算出式が直接に適用できない場合があります。その場合、修正物部・岡部法に基づき、設計水平震度に対応する主働土圧係数を、別途求める必要が生じます。

本報では、計算する最大の水平震度を指定し、水平震度と主働土圧係数の関係を算出するエクセルマクロを作成したので、その内容について説明するものです。

エクセルシートを添付しているので、自由に使用していただいても結構ですが、計算結果の妥当性判断に関しては使用者に帰するものとします。また、マクロのソースコードについても公開しています。

2. エクセルマクロの概要

(1)地表面傾斜角、壁体傾斜角、壁体摩擦角および地盤のせん断抵抗角を入力し、修正物部・岡部法による主働土圧係数を算出するエクセルマクロです。

(2)算出方法は、「道路橋示方書・耐震設計編 H24 版」に基づいています。

(3)複数のケースに対して算出可能です。

(4)指定した最大の水平震度までに関し、水平震度と主働土圧係数の関係を算出しています。現在、最大水平震度 $k_{hmax}=1.0$ 、水平震度の刻み $\Delta k_h=0.01$ としているが（震度 0.0~1.0 までを 0.01 の刻み幅でそれに対応する主働土圧係数を算出）、この条件を変更する場合には、マクロのソースコードを変更する必要があります。

(5)計算可能な主働破壊次数の最大値は 20 とします。これを超える場合には、マクロの配列のディメンジョン等を変更する必要があります。

3. 入出力データ

(1)エクセルシートは、「入力データ」、「主働土圧係数」、「KEA-震度関係」および「物部岡部式」の 4 つがあります。このうち、「入力データ」が入力パラメータを入力するシート、他の 3 つが出力のためのシートになります。

(2)シート「入力データ」には、「ケース数」、「地表面の傾斜角 $\alpha(^{\circ})$ 」、「壁体の傾斜角 $\theta(^{\circ})$ 」、「壁体の摩擦角 (ϕ_{peak} 対応) $\delta_{EP} (^{\circ})$ 」、「壁体の摩擦角 (ϕ_{res} 対応) $\delta_{ER} (^{\circ})$ 」、「ピーク強度に対応するせん断抵抗角 ϕ_{peak} 」および「残留強度に対応するせん断抵抗角 ϕ_{res} 」を入力します。

(3)シート「主働土圧係数」には、「ケース No.」、「地表面傾斜角 $\alpha(^{\circ})$ 」、「壁体傾斜角 $\theta(^{\circ})$ 」、「壁体摩擦角 $\delta_{EP} (^{\circ})$ 」、「壁体摩擦角 $\delta_{ER} (^{\circ})$ 」、「せん断抵抗角 ϕ_{peak} 」、「せん断抵抗角 ϕ_{res} 」、「主働破壊時震度」、

「主働滑り角」、「a0」および「a1」が出力されます。ここに、「主働破壊時震度」、「主働滑り角」、「a0」および「a1」については、最大震度(k_{hmax})までに生じる主働破壊の全ての次数が出力されます。なお、「a0」および「a1」は、主働土圧係数 K_{EA}を $K_{EA}=a_0+a_1 \times kh$ (kh : 水平震度) で表したときの係数値を表しています。

(4)シート「震度-KEA 関係」は、上記(3)で計算した a0 と a1 をもとに、震度に対応する主働土圧係数を計算して出力したものです。主働土圧係数は、最大震度 k_{hmax} まで震度の刻み Δk_h ごとに計算されます。現在、k_{hmax}=1.0 および Δk_h=0.01 としていますが、この値を変更する場合には、ソースコードの修正が必要です (変数「k_{hmax}」と「dkh」の値を変更する)。

(5)シート「物部岡部式」は、物部・岡部の地震時主働土圧係数を計算したものです。震度に対応する主働土圧係数として、KEA2_pp、KEA2_pr、KEA2_rr、KEA1_rr の4種が出力されます。それぞれの主働土圧係数の意味は、以下の通りです。

- KEA2_pp : 物部・岡部式において、せん断抵抗角に φ_{peak} を用い壁面摩擦角に δ_{peak} を用いて計算
- KEA2_pr : 物部・岡部式において、せん断抵抗角に φ_{peak} を用い壁面摩擦角に δ_{res} を用いて計算
- KEA2_rr : 物部・岡部式において、せん断抵抗角に φ_{res} を用い壁面摩擦角に δ_{res} を用いて計算
- KEA1_rr : ピーク強度 φ_{peak} を用いて求めた滑り角とせん断抵抗角 φ_{res} および壁面摩擦角 δ_{res} を用いて計算

4. 入力パラメータの説明

図1に、主働土圧係数を求める際の入力パラメータを示します。

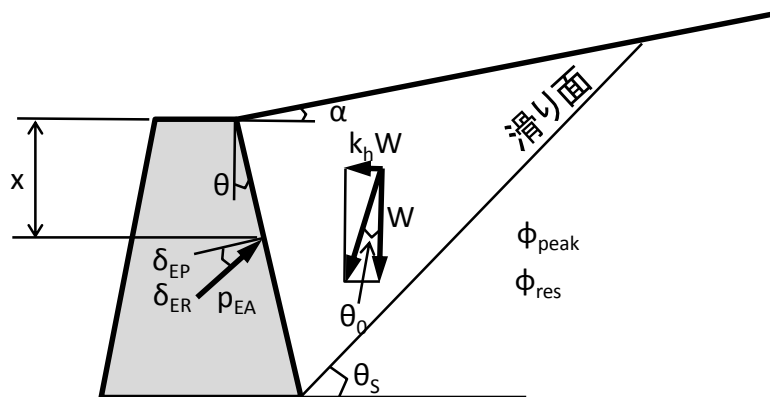


図1 修正物部・岡部法の入力パラメータ

図1の記号の意味は、以下の通りです。

- p_{EA} : 主働土圧強度 (kN/m²) (= γ x K_{EA})
- γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)
- x : 土圧強度を求める深さ (m)
- K_{EA} : 主働土圧係数
- W : 滑り土塊の重量
- θ₀ : 地震合成角 (=tan⁻¹k_h, k_h : 水平震度)

- θ_S : 滑り角 (主働崩壊角)
- ϕ_{peak} : 背面土のピーク強度時のせん断抵抗角 (°)
- ϕ_{res} : 背面土の残留強度時のせん断抵抗角 (°)
- α : 地表面と水平面のなす角 (°)
- θ : 壁背面と鉛直面とのなす角 (°)
- δ_{EP} : 壁背面と土との間の壁面摩擦角 (ϕ_{peak} 対応) (°)
- δ_{ER} : 壁平面と土との間の壁面摩擦角 (ϕ_{res} 対応) (°)

道示・耐震編によれば、良質な材料で密に締固められた背面土を前提として、表 1 のせん断抵抗角および壁面摩擦角が提示されています。

表 1 せん断抵抗角と壁面摩擦角 (道示)

土質 \ 強度	ϕ_{peak}	ϕ_{res}	δ_{EP} δ_{ER}	
			コンクリートと土	土と土
砂及び砂れき	50°	35°	0	$\phi/2$
砂質土	45°	30°	0	$\phi/2$

5. 主働土圧係数の算出手順

エクセルマクロを用いた物部・岡部法による主働土圧係数の算出手順は、以下の通りです。

- (1) 計算する最大震度 kh_{max} 、震度増分 dkh_2 、主働破壊時震度を求める際の震度上限値 kh_{lim} および震度増分 $dkh=0.0001$ を設定します。
- (2) ケース数を読み込みます。
- (3) 入力パラメータ (地表面傾斜角、壁体傾斜角、壁体摩擦角、せん断抵抗角) を読み込みます。
- (4) 1次主働破壊の水平震度 $khs(1)$ として、 $khs(1)=0.0$ を設定します。
- (5) 地震合成角 th_0 を求めます。
- (6) 1次主働破壊時の滑り角 $ths(1)$ を求めます。
- (7) 1次から2次主働破壊時までの主働土圧係数の係数値 $a_1(1)$ および $a_0(1)$ を求めます。
- (8) 水平震度 kh を $kh=khs(1)+dkh$ に増加させます。
- (9) 修正物部・岡部法による主働土圧係数 $KEA_1=a_0(1)+a_1(1)\times kh$ を計算します。
- (10) 物部・岡部式で ϕ_{peak} を用いた主働土圧係数 KEA_2 を計算します。
- (11) KEA_1 と KEA_2 を比較し、 $KEA_1 > KEA_2$ のときは(8)に戻り、同様の計算を繰り返します。 $KEA_1 < KEA_2$ のとき、2次主働破壊の震度に到達したものと判断します。
- (12) 2次主働破壊時の震度を、 $khs(2)=kh-dkh/2$ により求めます。
- (13) (5)に戻り、同様の手順により、2次以降の主働破壊時滑り角 $ths(i)$ 、主働土圧係数の係数値 $a_1(i), a_0(i)$ および3次以降の主働破壊時震度 $khs(i+1)$ を求めます ($i=2, 3, \dots$)。
- (14) 主働破壊時震度 $khs(i)$ が計算する最大震度 kh_{max} を超えたとき、1ケース目の計算が終了します。
- (15) (3)に戻り、次のケースの計算を行います。全てのケースが終われば、計算が終了します。

6. 入出力データ例

表 2~5 に入出力データの例を示します。

入力条件として用いた例は、道示・耐震編に示される算出式と右城(2013)に示される算出式に対応しています。ここで、前者は 2 次主働破壊以降の主働土圧係数に相当し、後者は 1 次主働破壊から 2 次主働破壊までの主働土圧係数に相当しています

表 3 によれば、道示・耐震編および右城(2013)に示される算出式の係数値に一致していることがわかります。

