

極限解析法による擁壁矢板安定問題の塑性最適設計に関する研究

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○酒井 拓磨
 京都大学大学院工学研究科 正会員 小林 俊一
 京都大学大学院工学研究科 フェロー 田村 武

1. はじめに

本研究では、補強材としてタイロッドを導入した擁壁矢板の安定問題を取り上げ、極限解析法を用いて最適なタイロッド設置位置に関する検討を行なう。また、本解析手法の利点として、計算が簡単である、理論的背景が明確であるといったことが挙げられる。

2. 極限解析の概要^{1), 2), 3)}

材料特性として降伏関数の凸性と関連流れ則を仮定することで、次の上界定理が証明される。ここで、適合系を満たし、しかも関連流れ則を満足するひずみ速度場 $\dot{\epsilon}_{ij}$ を「運動学的許容な速度場」と定義する。

●上界定理…外力との仕事率が正となるような運動学的許容な速度場の内部塑性仕事率 $\dot{W}_{int}$ は正解応力場と試行速度場による外部塑性仕事率 $\dot{W}_{ext}$ を下まわらない。すなわち次式のようになる

$$\dot{W}_{int} \geq \dot{W}_{ext} \quad (1)$$

3. 解析手法⁴⁾

●対象とする問題のモデル化

対象とする矢板式擁壁の概略図を図1に示す。ここで極限解析を行うにあたってこの問題のモデル化を行なう。まず、背面地盤は密度 ρ の $c, \phi = 0$ 材料とし、矢板の曲げ強度を M_y 、タイロッドの引張強度を T とする。また矢板及びタイロッドはそれぞれ、曲げ変形、引張変形のみを考慮する。さらに、基盤層は十分に大きな強度を有する剛体とする。擁壁高さは H であり、タイロッドは矢板根入れ部から rH の部分でヒンジ結合されている。

●上界法による解析

想定する試行速度場を図2から図6に示す。モード2、モード4a、モード4bでは、矢板の根入れ部から tH の場所に塑性ヒンジができる。ここでモード1、モード2ではタイロッドは伸びない。それぞれの崩壊機構について、内部消散率 $\dot{W}_{int}$ と外部消散率 $\dot{W}_{ext}$ を求めて(1)式に代入した。ここで(1)式の等号条件が成り立つとするとその時の擁壁限界高さ H_{cr} はその崩壊モードにおける一つの上界値となる。さらにパラメーター $\tan \alpha$ について最小化すると、次の無次元擁壁高さが満足する関係式が導かれる。

モード1

$$\frac{1}{6}(1-r)^3 h^3 - (1-r)^2 h^2 - m = 0 \quad (2)$$

モード2

$$\frac{1}{6} \left\{ t(3-r-2t)(r-t) + t^2(3-2t) - \frac{t(1-r)^3}{r-t} \right\} h^3 - \frac{2t^3 - 4t^2 - rt^2 + 2rt + t}{r-t} h^2 - \frac{2r-t}{r-t} m = 0 \quad (3)$$

モード3

$$\frac{1}{6} h^3 - h^2 - rnh - m = 0 \quad (4)$$

モード4a

$$\frac{1}{6}(t^3 - 3t^2 + 3t)h^3 - (2t - t^2)h^2 - tnh - 2m = 0 \quad (5)$$

モード4b

$$\frac{1}{6}(t^3 - 3t^2 + 3t)h^3 - (2t - t^2)h^2 - rnh - 2m = 0 \quad (6)$$

但し、無次元量は以下のとおりである。

$l = \frac{c}{\rho g}$	無次元長さ	$h = \frac{H}{l}$	無次元擁壁高さ
$m = \frac{M}{cl^2}$	無次元モーメント	$n = \frac{T}{cl}$	無次元引張強度

この関係式を h について解くと、各モードに対する擁壁高さ（上界値）が求められる。

4. 解析結果

上界法によって得られた、それぞれのモードに関する解曲面に対して解析を行ない、最適なタイロッド位置の推定を行なう。

●タイロッドが伸びないとした場合

タイロッドが伸びないという条件であるモード1とモード2に対して、無次元矢板塑性モーメント m 、タイロッド位置 r について最小の無次元高さ h を与えるモードを選び、 m, h グラフとして表したものを図7に示す。図7によるとタイロッドが伸びない時、タイロッド最適位置 $r = 0.61 \sim 0.62$ であることがわかる。

●タイロッドの伸びを考慮した場合

無次元曲げモーメント m と無次元引張強度 n に対するタイロッド最適位置 r を図8に、図8の m, n, r に対応させた無次元限界高さ h 及び破壊モードを図9に示す。

キーワード：極限解析，上界法，塑性最適設計

連絡先：〒606-8501 京都市左京区吉田本町 075-753-4794 (FAX 075-753-4794)

このように、極限解析法を用いて、塑性最適設計に応用することができる。

5. 本研究のまとめ

- 極限解析法を用いてタイロッドの設置位置による擁壁矢板の補強効果を定量的に評価し、塑性最適設計への応用を試みた。
- タイロッドが伸びない場合、タイロッド最適設置位置は擁壁高さの 61～62% となった。
- 本解析法は簡単な代数計算で行なえるため、解析コスト、時間の面で有利である。

参考文献

- 1) 小林 俊一：サマースクールテキスト（物理数学的に見た土質力学）第二章「支持力・安定問題」，（社）地盤工学会，2000
- 2) 田村 武：数値解析法総論，土質工学会関西支部講習会テキスト，1986。
- 3) 田村 武：剛塑性有限要素法の基礎と適用，土質工学会関西支部講習会テキスト，1986。
- 4) 小林 俊一ら：アンカー付き矢板擁壁の安定問題に関する一考察，第 37 回地盤工学研究発表会，2002。

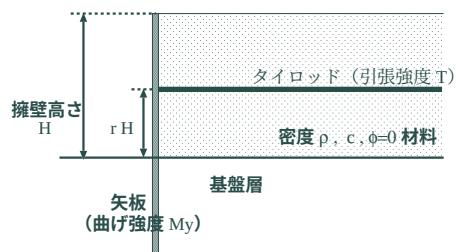


図 1：対象とする矢板擁壁安定問題

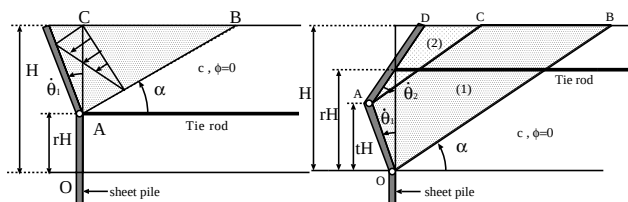


図 2：モード 1

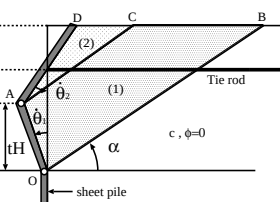


図 3：モード 2

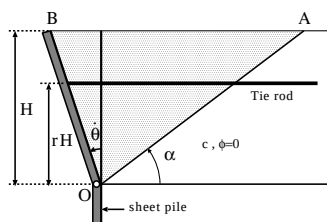


図 4：モード 3

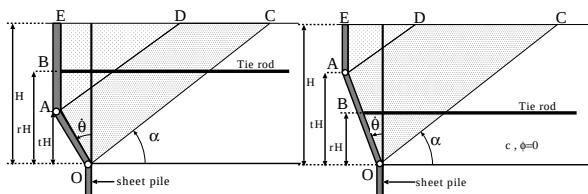


図 5：モード 4a

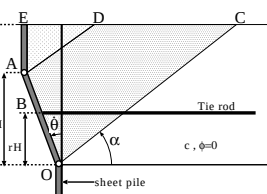


図 6：モード 4b

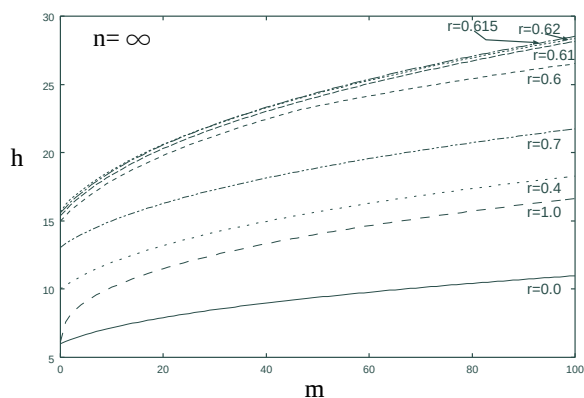


図 7：タイロッドが伸びない場合の無次元モーメント m と無次元限界高さ h の関係

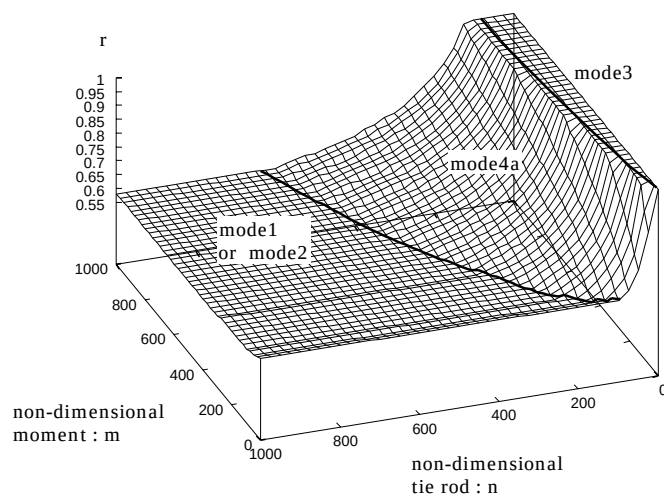


図 8：無次元モーメント m ，無次元引張強度 n ，タイロッド最適位置 r の関係と崩壊モード

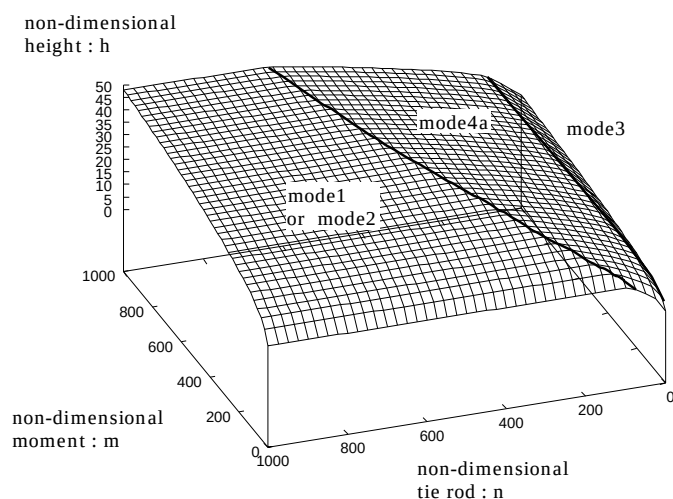


図 9：無次元モーメント m ，無次元引張強度 n ，無次元限界高さ h の関係と崩壊モード