

京都大学工学部 学生員 ○田中 敦
 京都大学工学研究科 正会員 小林 俊一
 京都大学工学研究科 正会員 田村 武

1. はじめに

地盤を補強する工法にはさまざまな方法が考えられる。本報告では、タイロッドで上端の変位が拘束された場合の矢板式擁壁による補強を取り上げ、その終局限界状態を極限解析を用いて評価する。そして、タイロッド及び矢板の強さを変えた時、矢板式擁壁の限界高さがどう変化するかを求める。

2. 極限解析の概要

極限解析では、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、上界定理が証明出来る。上界定理は次のように示される。

「ある運動学的に許容な試行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仮想仕事率 (外部塑性仕事率 $\dot{W}_{ext}$) を下回らない。」この関係を式に表すと次のようになる。

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

すなわち上界定理によって求められた解は必ず正解値を上回るので、正解の存在する範囲の上限值を求めることを意味する。

3. 解析手法

まず本問題で取り扱う矢板式擁壁の安定問題の概略を図 1 に示す。ここで背面地盤は $c, \phi = 0$ 材料とした。

想定する試行速度場は、図 2 から図 5 に示す 4 つの場合に分けた。それぞれの崩壊機構について、内部消散率 $\dot{W}_{int}$ と外部塑性仕事率 $\dot{W}_{ext}$ 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。

例えば、モード 1 において上で求めた値を具体的に書き下すと次のようになる。

$$\frac{1}{6} \rho g \dot{\theta} H^3 = \frac{1}{2} \frac{1 + \tan^2 \alpha}{\tan \alpha} c \dot{\theta} H^2 + T \dot{\theta} H + M_y \dot{\theta} \quad (2)$$

ここで矢板の曲げ強さとタイロッドの引張強度を固定してパラメータ $\tan \alpha$ について最小化を行うと、 $\alpha = \pi/4$ の時に限界高さとなる。よってモード 1 に関する無次元解曲面は次のようになる。

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

なお、ここで用いた無次元数は以下のように定義する。

$l = c/(\rho g)$	代表長さ
$h = H/l$	無次元擁壁高さ
$m = M_y/(cl^2)$	無次元矢板塑性モーメント
$n = T/(cl)$	無次元タイロッド引張強度

4. 解析結果

それぞれのモードについても (3) 式と同様に擁壁の無次元限界高さ h を表す解曲面が得られる。この解曲面の解析結果を以下に示す。

まず最初に、タイロッドの強度を固定したときの矢板の無次元曲げ強さと無次元高さの関係を図 6 に示す。下の曲線が $n = 0$ (モード 1 の $n = 0$) の場合であり、上の曲線が $n = \infty$ (モード 2 の $n = \infty$) の場合である。図 6 より、タイロッドの強度が変化したとしても、その時の矢板の限界高さはこの 2 本の曲線の間にいることが分かる。

次に矢板の曲げ強さを $m = 10$ に固定して、タイロッドの強度を変えた時の矢板の無次元高さの変化、及び適用される崩壊機構を表したものを図 7 に示す。ここで最も小さい崩壊荷重を与える崩壊モードが最も適した崩壊モードであり、図 7 中の太線で示した。タイロッドの強度が 0 に近いときはモード 1 が最も適した崩壊モードになる。しかし強度を増すにつれて、崩壊モードがモード 1 からモード 3 へ、さらにモード 2 へ変わることが分かる。

なお、ここでは地盤材料の内部摩擦角が $\phi = 0$ の時の解析結果のみを示したが、 $\phi \neq 0$ の場合についても同様の解析を行っており、内部摩擦角が大きくなるほど擁壁の無次元限界高さも大きくなることが分かった。

5. 結論

- 矢板の曲げ強さやタイロッドの強度を増すと擁壁の限界高さが上昇することが分かった。
- 矢板の曲げ強さやタイロッドの強度によって、背面地盤の崩壊モードが変わることが分かった。
- 今後は下界法による解析を進めて正解荷重の存在する範囲を求める必要がある。

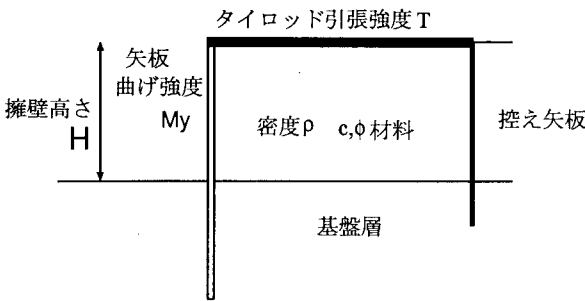


図 1 : 対象とする問題

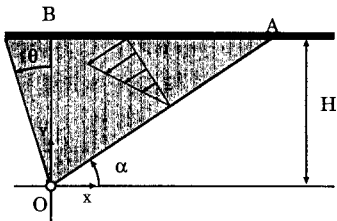


図 2 : モード 1 ($\phi = 0$)

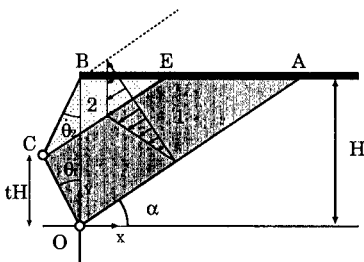


図 3 : モード 2 ($\phi = 2$)

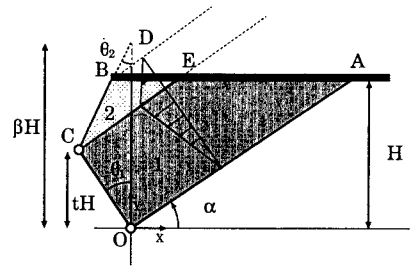


図 4 : モード 3a ($\phi = 0$)

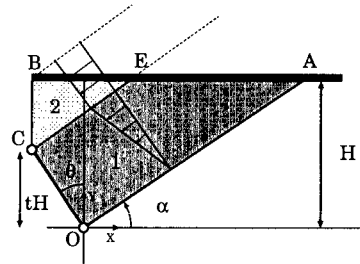


図 5 : モード 3b ($\phi = 0$)

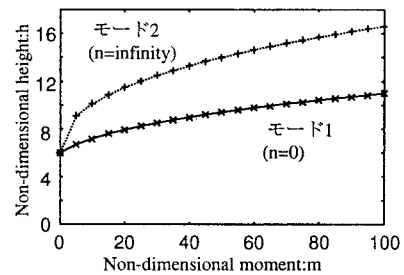


図 6 : タイロッドの強度が 0 (モード 1) 及び無限大 (モード 2) の時の無次元高さと無次元曲げ強さの関係

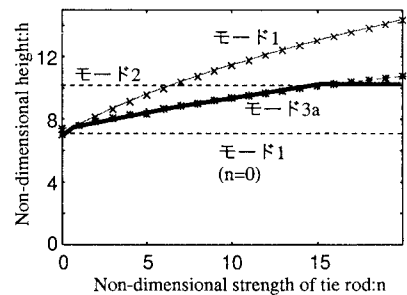


図 7 : 無次元曲げ強さが 10 の時のタイロッドと限界高さの関係