

擁壁の転倒の安定性評価法に関する一考察

㈱第一コンサルタンツ 正員 右城 猛

㈱第一コンサルタンツ 正員 瀧石 純

㈱第一コンサルタンツ 正員 山岡 幸弘

1. まえがき

擁壁の剛体的安定性の検証は、一般に、転倒、滑動（水平支持）、支持力（直支持）に対して行われる。このうち、転倒に対する安定性を評価するには、抵抗モーメントと転倒モーメントの比で規定する安全率法と荷重の合力の偏心量を規定する許容偏心量法の2通りがあるが、両者の物理的意味は明確でない。また、安全率法における抵抗モーメントと転倒モーメントの定義についても明確にされていない。

そこで、現行の設計基準類に規定されている転倒の安全性評価法の物理的意味および問題点について若干の考察を行った。

2. 安全率の物理的意味と問題点

転倒に対する安定性を安全率で評価することが規定されている設計基準類には、建築基礎構造物設計指針（建築学会）、コンクリート標準示方書（土木学会）がある。また、土質工学ハンドブック（土質工学会）をはじめ多くの専門図書にも転倒に対する安全率算定法の記述がなされており、いずれもが安全率 F を(1)式で定義している。

$$F = \frac{M_r}{M_o} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 M_r ：つま先での抵抗モーメント、 M_o ：つま先での転倒モーメントである。

しかしながら、抵抗モーメントと転倒モーメントの考え方は一致しておらず建築基礎構造物設計指針では(2)式が、土木系の専門書では(3)式が示されている。ただし、式中の記号の意味は、図-1に示すとおりである。

$$M_r = W \cdot a, \quad M_o = P_A \cdot n \dots\dots(2)$$

$$M_r = W \cdot a + P_v \cdot b, \quad M_o = P_H \cdot h \dots\dots(3)$$

ここで、 $P_v = P_A \cdot \sin \delta$ 、 $P_H = P_A \cdot \cos \delta$ 、 $n = h \cdot \cos \delta - b \cdot \sin \delta$ であるので、(2)式による安全率は(4)式で、(3)式による安全率は(5)式でそれぞれ表され、両式が全く異なることが理解される。

$$F = \frac{W \cdot a}{P_H \cdot h - P_v \cdot b} \dots\dots(4)$$

$$F = \frac{W \cdot a + P_v \cdot b}{P_H \cdot h} \dots\dots(5)$$

次に、限界状態設計法の観点から安全率について考える。自重 W および土圧 P_A はともにばらつきを有する不確定性統計量であるので、 W の荷重係数を $\gamma_w (\leq 1)$ 、 P_A の荷重係数を $\gamma_P (\geq 1)$ とすれば、抵抗および転倒モーメントを(2)式、(3)式のいずれで定義しようと、転倒に対する安定条件式は(6)式で表される。

$$\gamma_w \cdot W \cdot a - \gamma_P \cdot P_A \cdot n = \gamma_w \cdot W \cdot a + \gamma_P (P_v \cdot b - P_H \cdot h) \geq 0 \quad \therefore \frac{W \cdot a}{P_H \cdot h - P_v \cdot b} \geq \frac{\gamma_P}{\gamma_w} (=F) \dots\dots(6)$$

すなわち、(4)式と同形となり、安全率 F は土圧と自重の荷重係数の比（ γ_P / γ_w ）を意味するといえる。

図-2は逆T型擁壁に作用する荷重を示したものである。逆T型擁壁の場合、かかと位置に鉛直の仮想壁面ABを想定し、土圧はAB面に作用するとして安定計算を行うのが一般的である。しかし、これはあくまでも便宜的な取り扱いにすぎない。擁壁が前方に微小変位し、背面土が主動塑性状態になるときは、AC、ADの2種類のすべり面が発生する。したがって、擁壁の剛体的安定性の検討においては、むしろ、AC面に土圧

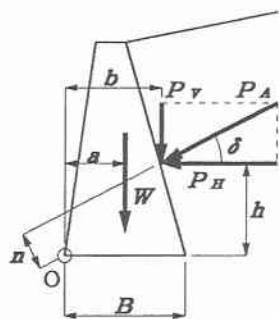


図-1

が作用するとみなすべきである。AC面に土圧が作用するとみなしたとしても、抵抗モーメントと転倒モーメントを(2)式で定義すれば、安全率は(4)式と同形となる。ところが、(3)式を適用すれば安全率は(7)式のようになり、土圧が同一作用線上に存在するにもかかわらず作用点によって安全率が異なるという不合理な結果を生じる。

$$F' = \frac{W \cdot a + P_v(b - \Delta b)}{P_H(h - \Delta b \cdot \tan \delta)} \quad \dots\dots(7)$$

以上より、転倒の安全率は(4)式で算定するのが合理的といえる。

3. 荷重の合力の偏心量と安全率の関係

道路土工指針では、擁壁底面位置での荷重の合力の偏心量によって、擁壁の転倒に対する安定性を評価するものとしている。荷重の合力の偏心量 e は(8)式で表される。これに(4)式を代入すると安全率と偏心量との関係を表す(9)式が得られる。ただし、 $\xi (= e/b)$ は荷重の合力の偏心率である。これより、転倒の安全率は荷重の合力の偏心率以外に a/b および P_v/W の影響を受けることが理解される。

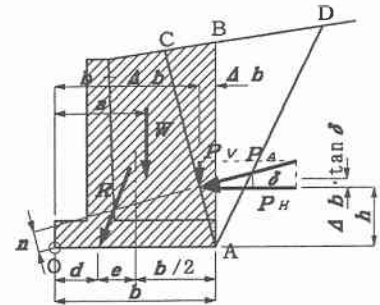


図-2

$$e = \frac{b}{2} - \frac{W \cdot a + P_v \cdot b - P_H \cdot h}{W + P_v} \quad \dots(8) \quad F = \frac{a}{a - \left(\frac{b}{2} - e \right) \left(1 + \frac{P_v}{W} \right)} = \frac{1}{1 - \left(\frac{1}{2} - \xi \right) \frac{b}{a} \left(1 + \frac{P_v}{W} \right)} \quad \dots(9)$$

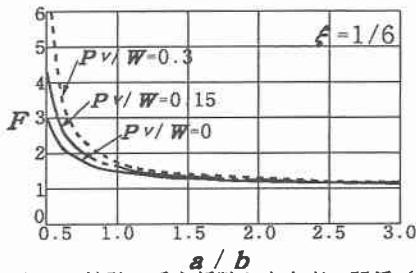


図-3 擁壁の重心係数と安全率の関係(1)

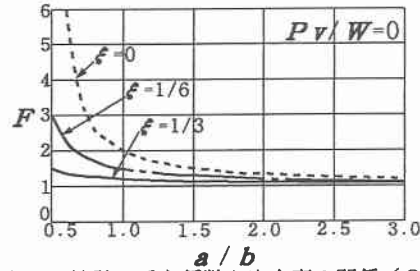


図-4 擁壁の重心係数と安全率の関係(2)

4. 考察

常時における許容偏心率は一般に1/6の値が採用されている。図-3は偏心率が1/6の場合について擁壁の重心係数 a/b (擁壁重心からつま先までの距離と底版幅の比) と安全率 F の関係を示したものである。また、図-4は $P_v/W=0$ の場合について、重心係数 a/b と安全率 F の関係を示したものである。これらの図より、転倒の安全率は重心係数の影響を顕著に受け、荷重の偏心率が小さくても重心係数が大きくなると安全率は減少し、1.0に収束することが理解される。また、自重に対する土圧の鉛直分力の比が小さいほど安全率は小さいといえる。

これらのことは、荷重の偏心率が一定であっても、転倒の安全率は擁壁の形状によって大きく異なることを意味する。重力式擁壁や逆T型擁壁のような自立式擁壁は $a/b < 1$ であるので、偏心率が $\xi \leq 1/6$ (荷重の合力が底版の核内に存在) であれば安全率は $F \geq 1.5$ が保証される。しかしながらブロック積擁壁のように重心係数の大きいもたれ式擁壁では偏心率が少なくとも安全率 $F \geq 1.5$ は保証されない。したがって、 $a/b > 1$ となるような擁壁については、荷重の偏心率以外に転倒の安全率に対する照査も必要といえる。