重力式 擁壁의 信賴度에 관한 研究*

Reliability Analysis of the Gravity Retaing Wall

白 榮 植**
Paik, Young Shik
李 龍 一***
Lee, Yong Il

Abstract

A new approach is developed to analyze the reliability of the earth retaining wall using the concept of probability of failure, instead of conventional factor of safety.

Many uncertainties, which are included in the conventional stability analysis, can be excluded by using the stochastic approach. And the reliability, more consistent with the reality, can be obtained by the simulation.

The strength parameters of soil properties are assumed to be random variables to follow a generalized beta distribution. The interval $[A, B]$ of the random variables could be determined using the maximum likelihood estimation.

The pseudo-random values corresponding to the proposed beta distribution are generated using the rejection method.

The probability of failure defined as follows, is obtained by using the Monte Carlo Method.

$$P_f = \frac{M}{N}$$

where, P_f : Probability of failure

N : Total number of trials

M : Total number of failure out of N

A computer program is developed for the computation procedure mentioned above. Finally, a numerical example is solved using the developed program.

要 旨

擁壁의 安定解析에 있어, 信賴度의 尺度로 從來의 安全率(factor of safety) 대신 破壞確率(probability of failure)이란 새로운 概念을 導入하였다.

從來의 安定解析에 內包되어 있는 많은 不確實性(uncertainty)을 統計的 處理에 의하여 合理

* 이 論文은 1982年度 文敎部 學術硏究 조성비에 의하여 研究되었음.

** 正會員・慶熙大學校 工科大學 土木工學科 敎授

*** 韓國原子力 株式會社

的으로 解析에 反映하고, simulation을 통하여 현실에 근사한 信賴度(reliability)를 數値로 確認하였다.

흙의 强度定數(內部摩擦角, 粘着力)는 一般 Beta 分布를 따르는 確率變數로 取扱하였으며, 最尤推定法에 의하여 區間 $[A, B]$를 決定 하였다.

Rejection Method에 의해 Beta 分布를 따르는 亂數들을 生成하여 이에 對應하는 强度定數를 求하는 方法을 提示하였다.

이렇게 하여 얻어진 强度定數를 써서, Monte Carlo Simulation 方法을 使用하여 다음과 같이 定義되는 擁壁의 破壞確率을 求하였다.

$$P_f = \frac{M}{N}$$

여기서, N: simulation 施行 回數

M: simulation 結果 破壞回數

上記한 解析方法에 따라 Computer Program을 開發하였으며, 例題를 開發된 Program으로 풀어 破壞確率을 求하였다.

1. 序 論

土留構造物중 擁壁은 自然斜面을 가파르게 깎거나, 낮은쪽의 地面에 盛土하여 構造物을 築造하기 위한 空間을 확보할 目的으로 만들어지는 構造物이다.

이 構造物의 信賴性의 尺度로는 安全率(factor of safety)이란 槪念이 使用되고 있으며, 許容安全率은 過去로부터 蓄積된 經驗과 先例에 의한 것이다. 그러나, 擁壁의 安定解析에 使用된 許容安全率(滑動에 대하여 2.0, 轉倒에 대하여 1.5, 極限支持力에 대하여 3.0)은 部分的인 安全率로 全體로서의 信賴度를 判斷할 수는 없다. 뿐만 아니라, 安定解析에 관여된 諸 要素들은 모두 單一値로 使用되고 있으며, 이에 따른 不確實性이 安定解析에 들어가게 된다. 從來의 決定論的 接近方法(deterministic approach)에 의한 이러한 問題點은 確率論的 接近方法(probabilistic approach)에 의해 解決될 수 있고, 信賴度의 尺度로는 破壞確率이란 새로운 槪念을 導入할 수 있다.

本 硏究에서는 흙의 强度定數를 一般 Beta 分布를 따르는 確率變數(random variable)로 取扱하고, Rejection Method에 의하여 確率變數를 生成하는 方法과 Monte Carlo Simulation 方法을 利用하여 擁壁의 破壞確率을 求하는 方法을 提示하였다.

解析의 過程에서 많은 數의 確率變數를 生成해야 하므로 Computer Program을 開發하였으며, 例題를 풀어 破壞確率을 求하였다.

2. 擁壁의 破壞確率

2.1 破壞確率에 관한 槪說

現在 構造物의 安全性의 尺度로 使用되고 있는 安全率은 決定論的 接近方法에 의한 것으로, 過去의 經驗과 先例에 基礎를 두고 있다.

安全率은 事實上 統計的 分布를 하고 있는 抵抗(capacity)과 荷重(demand)의 可能한 값들중 特定한 單一値($\tilde{C}, \tilde{D}$)를 擇하여 그 比($\tilde{C}/\tilde{D}$)를 求한 것으로(그림 1), 許容安全率은 1 보다 큰 것이 일반적이다[20].

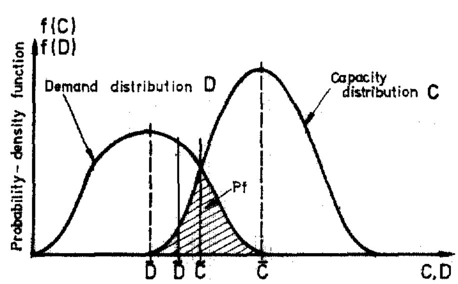

그림 1. Distribution of Demand and Capacity.

$$F_s=\frac{\tilde{C}}{\tilde{D}} \tag{2-1}$$

그러나, 從來의 安全率은 다음과 같은 問題點을 안고 있다.

(1) 흙의 强度와 作用荷重이 어느 程度 random variable 임을 考慮할 수 없다.

(2) 여러 單位의 構造物이 複合되어 있는 경우, 全體로서의 信賴度를 判斷할 수 없다.

(3) 未經驗 構造物이나 材料의 性質이 複雜하고 不明確性이 큰 경우, 不確實性을 合理的으로 解析에 反映시킬 수 없다.

이러한 問題點은 從來의 方法대신 確率論的 接近方法에 의한 破壞確率 槪念을 導入함으로써 解決될 수 있다. 이 方法은 흙의 强度와 荷重을 統計的 分布를 따르는 確率變數로 取扱하므로 不確實性을 合理的으로 安定解析에 考慮할 수 있으며, 從來의 方法으로 解決할 수 없는 많은 問題를 풀 수 있다[20].

構造物의 破壞는 Safety Margin*이 負의 값을 가질 때 일어나므로, 破壞確率은

$$P_f=P[C-D<0] \tag{2-2}$$

이다.

破壞確率의 一般式은 다음과 같이 유도할 수 있다.

그림 2에서, 荷重 D_1이 作用할 確率은 微小區間 dD 사이의 面積이다.

$$P\left[D_1-\frac{D}{2}<D<D_1+\frac{D}{2}\right]=f_D(D_1)dD \tag{2-3}$$

또, 抵抗力이 荷重 D_1 보다 작을 確率은

$$P[C<D_1]=\int_{-\infty}^{D_1} f_C(C)dC \tag{2-4}$$

이다.

따라서, 荷重 D_1이 作用할 때의 破壞確率은 式(2-3)과 式(2-4)로부터 얻을 수 있다.

$$dP_f=f_D(D_1)dD\int_{-\infty}^{D_1} f_C(C)dC \tag{2-5}$$

따라서, 破壞確率의 一般式은

$$P_f=\int_{-\infty}^{\infty}\left[\int_{-\infty}^{D_1} f_C(C)dC\right] f_D(D_1)dD \tag{2-6a}$$

혹은,

$$P_f=\int_{-\infty}^{\infty} F_C(D)f_D(D)dD \tag{2-6b}$$

이다[17].

* Safety Margin은 抵抗과 荷重의 差($SM=C-D$)

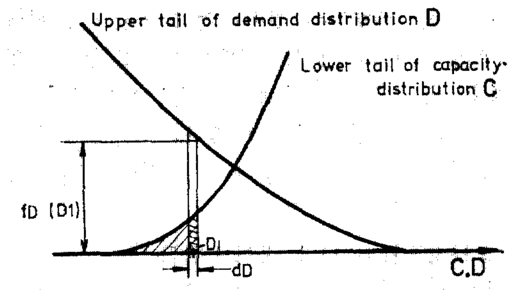

그림 2. Interval of failure.

여기서, $F_C(D)$: Cumulative-distribution function of capacity.

$f_D(D)$: Distribution function of demand

이때, 信賴度(reliability)는

$$R=1-P_f \tag{2-7}$$

이다.

따라서, 抵抗과 荷重의 統計的 分布를 알면 破壞確率과 信賴度를 求할 수 있다.

決定論的 接近方法에서 許容 安全率이 使用되는 것과 마찬가지로 確率論的 接近方法에서도 許容 破壞確率을 決定할 必要性이 있다. 이것을 決定하기 위하여는 各種 構造物에 일어난 破壞頻度와 被害 狀況의 조사가 先行되어야 하는데, 아직 이에 대한 硏究는 없는 형편이다.

Middlebrooks, Feld, Freudenthal 등에 의하여 實測된 資料에 의하면, 土質工學이 實用化되기 시작한 후 約 30年間, 흙댐의 경우 約 1% 정도

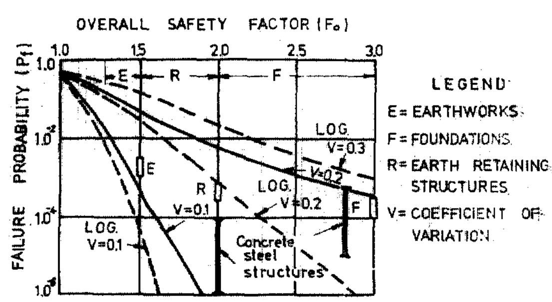

그림 3. Comparison between Safety Factor and Probability of Filure(Meyerhof 1970)

가 部分的으로, 혹은 完全히 破壞되었으며, 거의 大部分이 建設된 직후 짧은 기간동안에 일어났다. 土留 構造物의 경우에는 實測되어진 資料는 없으나 約 0.1%로 推定되며, 基礎의 破壞頻度는 約 1/5000~1/10000 程度로 나타났다[20].

그림 3은 土質 構造物의 種類에 따른 安全率과 破壞確率 사이의 관계이며, 實測된 破壞頻度도 함께 表示되어 있다.

2.2 安定解析에 관여된 不確定 要素

擁壁의 安定에 관여된 要素는 土壓, 支持力, 不等沈下, 上載荷重, 地下水位, 뒤채움흙의 排水狀態, 擁壁의 幾何學的 形狀 등이다. 이러한 要素들은 독립적으로 혹은 몇 개가 서로 연결되어 擁壁의 滑動(sliding)과 轉倒(overturning)를 일으키며, 擁壁의 低面應力이 地盤의 極限支持力을 超過하여 擁壁의 破壞를 유발한다.

이러한 要素들은 解析過程에 있어 單一値를 使用하고 있으나, 실제로는 상당한 變化의 幅을 가지고 있다. 이들은 대개 흙의 强度定數의 값에 큰 영향을 주고 있으며, 이러한 이유로 흙의 强度定數의 값에 우리의 관심이 集中된다.

强度定數의 값은 實驗에 의하여 얻어지며, 試料의 攪亂, 進行性 破壞, 剪斷方法 등에 의하여 原 地盤의 特性과는 차이가 생기게 된다. 또한 空間的으로 不規則하게 變化하는 흙의 特性으로 인하여 限定된 標本에서 얻어진 强度定數의 單一値에는 統計學的 不確實性이 常存하게 된다. 이러한 不確實性은 强度定數의 統計學的 處理를 통하여 解析에 考慮하므로 그것들에 대한 信賴度를 數値로 確認할 수 있다.

흙의 强度定數에 관한 統計的 資料는 Lumb, Schultze, Singh 등에 의하여 發表되었으며, 다음의 몇 가지 事實이 흥미롭다[11,18,19].

(1) Lumb은 chi-square test 결과, 强度定數의 確率分布가 定規分布(normal distribution)나 Log-normal 分布를 따른다는 事實을 發表하였으며, 이는 Schultze에 의하여 確認되었다. 그러나, 뒤이은 論文(Lumb, 1970)에서 Beta 分布에 더욱 가깝다고 發表하였다.

(2) 粘着力의 分散性은 內部摩擦角보다 크며. 內部摩擦角의 coefficient of variation*은 10%~20% 사이의 값을 가졌다.

(3) 단지 몇개의 實驗에 의해서도 內部摩擦角의 平均値는 信賴할만 했지만, 粘着力의 경우에는 보다 많은 實驗이 要求됨을 보였다.

(4) 조밀한 흙(compacted soil)에 대하여는, 몇개의 標本에 의한 實驗에서도 원지반에 대한 信賴할만한 强度定數의 平均値를 얻을 수 있다.

(5) 不攪亂 흙(undistutrbed soil)에 대하여는, 단지 몇개의 標本에 의한 實驗만으로는 信賴할 만한 結果를 얻을 수 없다.

2.3 不確定 要素의 確率分布

强度定數에 대한 Chi-Square test 결과 分布의 中央部分에서는 定規分布와 잘 일치됨에도 不拘하고 관심있는 部分인 꼬리部分에서는 잘 일치되지 않았으며, Beta 分布가 더욱 適合하였다[19].

뿐만 아니라, 定規分布의 性質上 다음과 같은 弱點을 가지고 있다.

(1) 흙의 强度定數가 有限한 範圍의 값을 가지고 있으나, 定規分布는 $-\infty \sim +\infty$ 까지 分布密度를 가지고 있어 一定한 信賴水準에 의한 區間推定을 해야 한다.

(2) 强度定數의 標本들이 반드시 平均에 대하여 對稱인 것은 아니나, 定規分布는 항상 對稱型이다.

이러한 弱點은 보다 多樣한 Beta 分布를 採擇하므로 除去될 수 있다. Beta 分布는 任意의 區間에 分布密度를 局限시킬 수 있으며, 일반적으로 非對稱型의 分布密度를 가지기 때문이다. 따라서 Beta 分布를 써서 强度定數를 表示하는 것이 효과적인 것으로 判斷된다.

區間$[A, B]$에 걸쳐있는 Beta分布의 確率密度函數는 다음과 같다[13].

$$f(x;\ \alpha, \beta, A, B)=\begin{cases} \dfrac{1}{B-A}\ \dfrac{1}{B(\alpha,\beta)}\left(\dfrac{x-A}{B-A}\right)^{\alpha-1}\left(1-\dfrac{x-A}{B-A}\right)^{\beta-1}, \\ A\leq x\leq B,\ >0,\ \beta>0 \\ 0,\ \text{otherwise} \end{cases} \qquad (3\text{-}1)$$

한편, 累積分布函數는

* Coefficient of Variation:

$V=\dfrac{S}{x}\times 100(\%)$

여기서, S : 偏差(Deviation), $\bar{x}$: 平均(Mean)

$$F(x;\alpha,\beta,A,B)=\begin{cases} 0, & x<A \\ \dfrac{1}{B-A}\,\dfrac{1}{B(\alpha,\beta)}\displaystyle\int_A^x\left(\frac{x-A}{B-A}\right)^{\alpha-1}\left(1-\frac{x-A}{B-A}\right)^{\beta-1}dx, & A\le x\le B \\ 1, & x>B \end{cases} \qquad (3\text{-}2)$$

로 表示되며, 여기서

$$B(\alpha,\beta)=\frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha+\beta)}=\frac{(\alpha-1)!(\beta-1)!}{(\alpha+\beta+1)!}$$

α,β : Shape Parameter

Beta 分布의 區間$[A,B]$는 最尤推定法(maximum likelihood estimation)에 의하여

$$\max(X)=B,\quad \min(X)=\hat{A} \qquad (3\text{-}3)$$

로 決定할 수 있다[12].

즉, 標本의 最大值와 最小值를 Beta 分布의 區間$[A,B]$로 決定할 수 있다. 式 (3-3)에 대한 證明은 附錄을 참고하면 된다.

또, Shape Parameter를 決定하는 式은 다음과 같다[13].

$$\tilde{x}=\frac{\bar{x}-A}{B-A},\quad \tilde{V}=\left(\frac{s}{B-A}\right)^2 \qquad (3\text{-}4)$$

$$\hat{\beta}=\frac{\tilde{x}}{V}[\tilde{x}(1-\tilde{x})-\tilde{V}] \qquad (3\text{-}5a)$$

$$\hat{\alpha}=\frac{\tilde{x}\hat{\beta}}{1-\tilde{x}} \qquad (3\text{-}5b)$$

여기서, *$\bar{x}, s$는 標本의 平均과 偏差이다.

標本의 數가 充分히 큰 경우(sample size≥30)에는 標本에서 平均과 偏差를 計算하고, 前述한 바와 같이 分布의 區間을 決定할 수 있다. 그러나, 대단히 重要하고 복잡한 工事를 除外하고는 現實的으로 많은 數의 標本을 얻기란 지극히 어렵다고 생각된다. 이때에는 적은 數의 標本에서도 强度定數의 平均值는 비교적 信頼할만 하므로 土性指數에 관한 統計的資料에서 Coefficient of Variation을 引用하여 偏差를 求할 수 있다.

이렇게 求한 平均과 偏差의 값에 따라 分布의 信頼區間(confidence interval)을 決定할 수 있다. 强度定數의 確率分布는 單峰形(unimodal)이라 생각할 수 있으며, 좌우대칭(symmetric)이라 가정하면 Camp-Meidell Inequality를 使用할 수 있다.

Camp-Meidell Inequality는 다음과 같다[16].

$$P\{\bar{x}-hs\le X\le\bar{x}+hs\}\ge 1-\frac{4}{9h^2} \qquad (3\text{-}6)$$

2.4 擁壁의 安定解析

(1) 土壓의 計算

Rankine의 土壓理論은 式이 간단하며, 特히 粘着力이 없는 뒤채움 흙에 대해 많이 使用되어진다. Rankine의 理論에 의한 土壓은 Coulomb의 理論에 의한 解보다 조금 큰 값을 가진다[19].

主動土壓係數(coefficient of active earth pressure)

$$K_A=\cos\alpha\frac{\cos\alpha-\sqrt{\cos^2\alpha-\cos^2\phi}}{\cos\alpha+\sqrt{\cos^2\alpha-\cos^2\phi}} \qquad (4\text{-}1)$$

主動土壓(active earth pressure)

$$P_A=\frac{1}{2}r_tH^2K_A+q_sHK_A \qquad (4\text{-}2)$$

作用點

$$\bar{y}=\frac{H}{3}\,\frac{2r_tH+3q_s}{r_tH+2q_s} \qquad (4\text{-}3)$$

여기서, α : 뒤채움 흙의 傾斜角

ϕ : 內部摩擦角(internal friction angle)

q_s : 上載荷重(surcharge)

이다.

(2) 極限支持力(Ultimate Bearing Capacity)의 計算

地盤의 極限支持力를 算定하는 많은 理論들이 Terzaghi, Meyerhof, Hansen, Hu 等에 의해 提案되었으며, Terzaghi 理論은 現在까지 가장 많이 쓰여지고 있다. 그러나, Milovic(1965)에 의하면 Terzaghi의 支持力 公式보다 Hansen의 支持力 公式에 의하여 計算된 값이 실제 實驗值와 더 잘 符合됨을 알 수 있다[9].

連續基礎에 있어 Hansen의 極限支持力 公式은 다음과 같이 간단하게 表示된다.

$$q_{ult}=cN_cd_ci_c+\bar{q}N_qd_qi_q+\frac{1}{2}rBN_rd_ri_r \qquad (4\text{-}4)$$

여기서, q_{ult} : 極限支持力

c : 粘着力

$\bar{q}$: 上載荷重의 유효응력($=rD_f$)

---

* $\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i,\ S=\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}$

여기서, n : 標本數

N_c, N_q, N_r : 支持力係數

$$N_q=\tan^2(45+\frac{\phi}{2})\exp(\pi\tan\phi)$$

$$N_c=(N_q-1)\cot\phi$$

$$N_r=1.5(N_q-1)\tan\phi$$

d_c, d_q, d_r : Depth Factors($D\leq B$)

$$d_c=1+0.4D/B$$

$$d_q=1+2\tan\phi(1-\sin\phi)^2D/B$$

$$d_r=1$$

i_c, i_q, i_r : Inclination Factors

$$i_c=i_q-(1-i_q)/(N_q-1)$$

$$i_q=\left(1-\frac{0.5H}{V+cA_f\cot\phi}\right)^5$$

$$i_r=\left(1-\frac{0.7H}{V+cA_f\cot\phi}\right)^5$$

H : 水平力

V : 垂直力

A_f : $B'L'=(B-2e_B)(L-2e_L)$

e : 偏心距離

(3) 安定解析

擁壁의 安定解析은 다음의 3가지 事項이 檢討되어져야 한다.

① 滑動(sliding)에 對하여 安全해야 되며 式(4-5)에 의하여 檢討한다.

$$F_s=\frac{V\tan\delta+c'B'}{H}>1.0 \tag{4-5}$$

여기서, V : 擁壁의 自重과 土壓의 鉛直分力을 포함하는 모든 鉛直力의 合

H : 水平力의 合

δ : 擁壁의 低面과 地盤과의 摩擦角 $\left(\fallingdotseq\frac{2}{3}\phi\right)$

c' : 附着力$\left(\fallingdotseq\frac{2}{3}c'\right)$

B' : 유효지지폭$(=B-2e)$

滑動에 대하여 不安全한 경우 低面의 적당한 곳에 滑動防止壁(shear key)을 설치하여 滑動抵抗力을 增大시킬 수 있다(그림 4).

滑動抵抗力 H_r은 式(4-6)과 같다.

$$H_r=cB_1+V_1\tan\phi+(V_2+V_3)\tan\delta \tag{4-6}$$

여기서, B_1 : 假想低面幅

B_2, B_3 : 滑動防止壁의 幅 및 滑動防止壁뒤의 유효지지폭 內의 低面幅

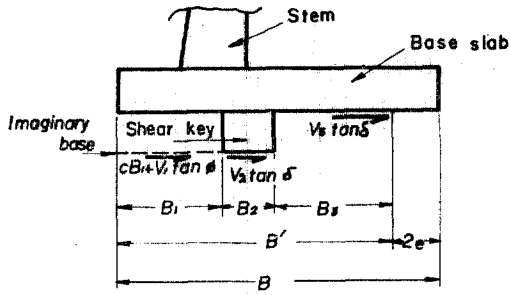

그림 4. Shear key

V_1 : 假想低面에 作用하는 鉛直力$(=VB_1/B')$

V_2 : 滑動防止壁 低面에 作用하는 鉛直力$(=VB_2/B')$

V_3 : 滑動防止壁뒤의 유효지지폭 內의 低面에 作用하는 鉛直力$(=VB_3/B')$

② 轉倒(overturning)에 대하여 安全해야 된다.

擁壁 Toe에 대하여 轉倒시키려는 Moment보다 抵抗하는 Moment가 커야 되며, 偏心距離 e가 $B/6$보다 적어 合力 $R(=V+H)$이 Middle third 內에 作用해야 한다. 合力 R이 Middle third 밖에 있으면 擁壁低面에 引張應力이 發生하게 된다.

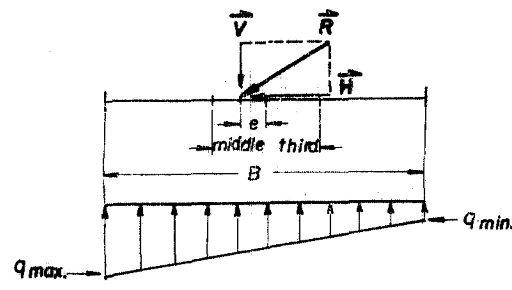

그림 5. Stress Distribution of Base

③ 支持力에 대하여 安全해야 된다.

地盤의 最大反力(q_{max})이 地盤의 極限支持力 이하가 되도록 해야 한다.

地盤의 最大權力은 式(4-7)에 의하여 計算할

수 있다.

$$q_{max}=\frac{V}{B}\left(1+\frac{6e}{B}\right)<q_{ult}$$

여기서, q_{ult} : 極限支持力

擁壁의 破壞는 上記한 3가지 條件중 1개의 條件이라도 만족치 않을 때 일어난다.

2.5 Monte Carlo Simulation 方法을 利用한 擁壁의 破壞確率

Beta 分布하는 흙의 强度定數의 確率變數를 Rejection Method[12]에 의하여 生成할 수 있다.

(1) 區間[0, 1]에서 均等分布(uniform distribution)하는 독립적인 亂數 U_1, U_2를 生成한다.

(2) $R_1=U_1^{1/P}$, $R_2=U_1^{1/P}+U_2^{1/Q}$을 計算한다.

만일, $R_2>1.0$이면 (1), (2)과정을 되풀이한다.

(3) 區間[0, 1]에서 Beta 分布하는 確率變數는

$$R_B=R_1/R_2 \tag{5-1}$$

(4) 區間[A, B]에서 Beta 分布하는 確率變數는

$$R_B'=R_B(B-A)+A \tag{5-2}$$

여기서, P, Q : Beta 分布의 Shape Parameter (α, β)

위의 과정을 통하여 生成한 强度定數를 使用하여 2.4에 서술한 方法으로 擁壁의 安定解析을 수행한다. 이때 强度定數는 區間[A, B] 사이의 어떠한 값도 될 수 있으므로 解析의 結果는 安全과 破壞로 매번 判定될 것이다.

標本 N個중 M의 破壞를 얻었다면, 破壞確率(probability of failure) P_f는 式(5-3)과 같이 表示된다.

$$P_f=\frac{M}{N} \tag{5-3}$$

여기서, N : Simulation 施行 回數

M : Simulation 結果 破壞된 回數

Simulation 施行 回數(N)가 커질수록 破壞確率은 現實에 近似하게 되며, 많은 數의 確率變數를 生成해야 하므로 Computer를 使用하는 것이 좋다.

3. 擁壁의 破壞確率에 관한 Computer Program

3.1 Computer Program

Program은 KAIST의 CYBER 174-16型을 使用하여 開發하였으며, 擁壁의 Model은 Cantilever式 擁壁을 設定하였다.

Beta 分布의 確率値인 亂數들은 Rejection Method를 利用하여 生成하였으며, 安定解析에는 다음의 몇가지 事項을 假定하였다.

(1) 뒤채움 흙은 粘着力이 없는 흙(Cohesionless soil)이며, 傾斜져 있다.

(2) 土壓은 Rankine의 土壓理論에 의하여 求하며, 受動土壓은 無視한다.

(3) 支持力은 Hansen의 支持力 公式을 使用하여 求한다.

(4) 地下水位는 無視한다.

Program을 Flow Chart로 나타내면 그림 6과 같다.

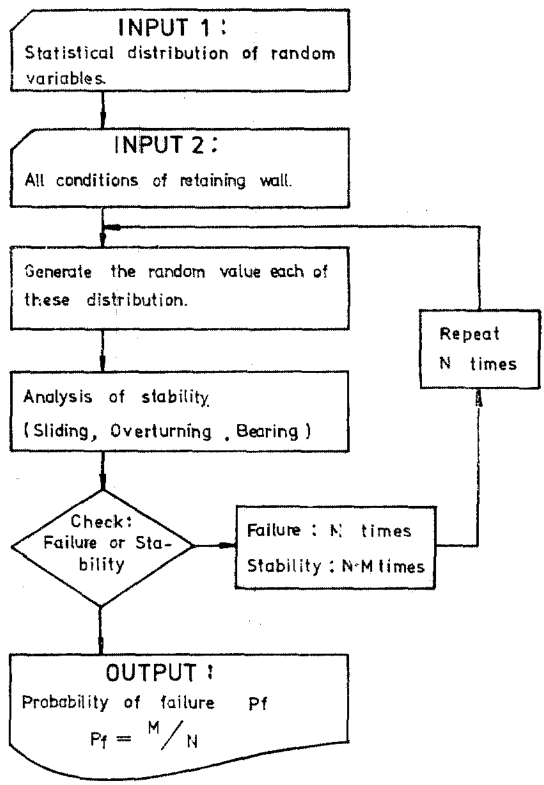

그림 6. Flow Chart for the Monte Carlo Simulation of Failure.

3.2 計算例

開發된 Program을 利用하여 다음과 같은 例題를 풀어 破壞確率을 求하였다.

入力(Input) Data는 표 1, 그림 7과 같다.

표 1. Strength parameter of soil.

		Mean	Deviation	Max.	Min.
Backfill soil	I.F. Angle	32.10	4.17	39.20	22.40
Base soil	I.F. Angle	28.60	3.72	35.80	19.70
	Cohesion	3.50	1.58	6.20	0.00
Number of Trial		1,000			

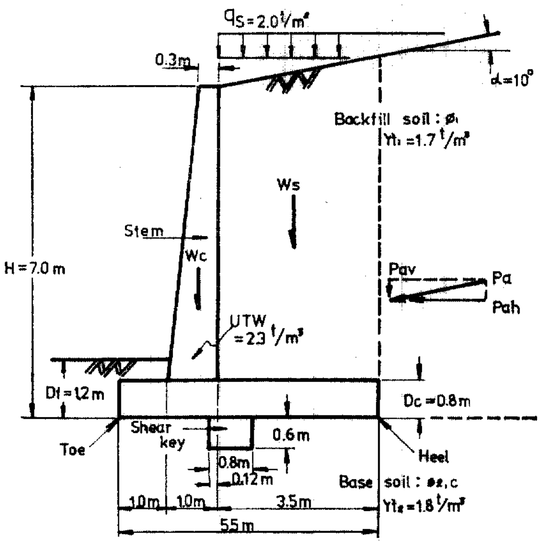

그림 7. Input Data of Retaining Wall

入力 Data에 대해 Computer 作業을 실시한 결과 破壞確率은 0.6%로 計算되었으며, 信賴度는 99.4% 임이 밝혀졌다.

즉, 例題와 同一한 條件의 擁壁 1,000個를 築造하였을 때 6個는 理論上 破壞될 수 있음을 意味한다.

4. 結　論

擁壁의 信賴度를 破壞確率이란 槪念을 導入하여 求하였으며, 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 强度定數를 從來에는 點推定(Point Estimation)하여 擁壁의 安全率을 求한 反面, 本 硏究에서는 區間推定(Internal Estimation)하여 擁壁의 破壞確率을 求하는 方法을 提示하였다.

(2) 安定解析에 관여된 强度定數는 Beta 分布를 따르는 確率變數로 取扱하여 이들의 不確實性을 合理的으로 解析에 考慮하였으며, 確率變數의 區間[A, B]는 最尤推定法(Maximum Likelihood Estimation)을 使用하여 決定할 수 있다.

(3) Rejection Method를 利用하여 Beta 分布에 해당하는 確率變數를 生成하고 이에 對應하는 强度定數를 求하는 方法을 提示하였다.

(4) Monte Carlo Simulation 方法을 利用하여 擁壁의 破壞確率(Probability of Failure)을 求하였다.

$$P_f=\frac{M}{N}$$

여기서, N: Simulation 施行 回數

M: Simulation 結果 破壞된 回數

(5) 本 硏究에서 考慮되지 않은 條件의 擴張과 이 方法이 實際 設計에 使用될 수 있도록 許容 破壞確率에 관한 계속적인 硏究가 이루어져야 하겠다.

參 考 文 獻

1. 白榮植, '土質工學에 있어서 安全率과 破壞確率, 大韓土木學會誌, 제26권, 제 5 호, 1978, pp.18-21.
2. 白榮植, 斜面의 破壞可能性에 관한 硏究, 大韓土木學會誌, 제26권, 제 5 호, 1978, pp.67-70.
3. 白榮植, 斜面의 信賴度에 관한 新硏究, 大韓土木學會誌, 제28권, 제 3 호, 1980, pp.97-103.
4. 金漢晟, 連續基礎의 破壞確率에 관한 硏究, 慶熙大學校 大學院, 1981.
5. 尹南根, 얕은基礎의 破壞確率에 관한 硏究, 慶熙大學校 大學院, 1981.
6. 鄭寅陵, 金翔圭, 土質力學, 東明社, 1978, pp.145-175.
7. 金生彬, 朴在云, 金茂一, 鐵筋 콘크리트 工學, 慶文出版社, 1980, pp.150-158.
8. Lambe, T.W., and Whitman, R.V., *Soil Mechanics*, John Wiley E. Sons, Inc., 1979, pp.162-194, pp.328-351.
9. Bowles, J.E., *Foundation Anlysis and Design*, 2/ed, McGraw-Hill, Inc., 1977, pp.113-145, pp.321-368, pp.372-396.
10. Bowles, J.E., *Analytical and Computer Method in Foundation Engineering*, McGraw Hill, Inc., 1974, pp.273-285.

11. Harr, M.E., *Mechanics of Particulate Media a Probabilistic Approach*, McGraw-Hill, Inc., 1977, pp. 342-347, pp. 363-393, pp. 403-448.
12. Rohatgi, *An Introduction to Probability Theory and Mathematical Statistics*, John Wiley E. Sons, Inc., 1976, pp. 375-386.
13. Hahn, G.J., and Shapiro, S.S., *Statistical Models in Engineering*, John Wiley E. Sons, Inc., 1967, pp. 91-98, pp. 236-251.
14. Kuo, S., *Computer Applications of Numerical Method*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1972, pp. 327-345.
15. Gordon, G., *System Simulation*, 2/ed, Prentice-Hall, Inc., 1978, pp. 138-141.
16. Stark, R.M., and Nicolls, R.L., *Mathematical Foundation for Design: Civil Engineering Systems*, McGraw-Hill, Inc., 1972, pp. 295-298.
17. Freudenthal, A.M., Garrelts, J.M., and Shinozuka, M., The Analysis of Structural Safety, *Jour. of Structural Division, ASCE, Vol. 92, No. STI, Proc. Paper 4682*, 1966, pp. 267-325.
18. Lumb, P., The Varidity of Natural Soils, Canadian Geotechnical *Journal, Vol. 3, No. 2*, 1966, pp. 74-97.
19. Lumb, P., Safety Fator and the Probability Distribution of Soil strength, *Canadian Geotechnical Journal, Vol. 7, No. 3*, 1970, pp. 225-242.
20. Meyerhof, G.G., Safety Factors in Soil Mechanics, *Canadian Geotechnical Journal, Vol. 7, No. 4*, 1970, pp. 349-355.

(接受：1983. 5. 27)