

토압의 변동에 관한 연구

A Study on Variation of Earth Pressure

배 상 근*

Bae, Sang Kun

Abstract

In the development of engineering designs, decisions are required irrespective of the state of completeness and quality of information, and are formulated under conditions of uncertainty. Furthermore, under conditions of uncertainty the design invokes risks. Thus, in the design of the structures, the currently used deterministic design method does not provide a realistic assessment of the actual safety or the reliability of the structures. It is desirable that decisions required in the process of the design invariably must be made based on the reliability analysis. Properties of soil material are subject to more uncertainty than those of other structural material. In the field of soil mechanics and foundation engineering, it needed to develop reliability-based design methods. In order to simplify the reliability analysis or the reliability-based design process of the structures associated with the active earth pressure, it is necessary to find the variation and the distribution type of the active earth pressure calculated from the basic properties of soils. Monte Carlo simulation is performed to obtain the relationship between the variation of the active earth pressure for cohesionless soils calculated by using Rankine formula and the basic soil properties and the distribution type of the earth pressure. A series of regression equations obtained by utilizing the multi-linear regression analysis is suggested in this paper and the sensitivity of the basic soil properties to the variation of the earth pressure is investigated. The type of distribution of the active earth pressure was found to be the beta distribution in most cases or to be very similar to the beta distribution, if the basic soil variables are normally distributed.

요 지

모든 설계는 정보가 불완전하고 또 불확실성 하에서 이루어지고 있어 재난을 초래할 수도 있다. 구조물 설계시에도 현행 결정론적인 설계방법은 구조물의 안전정도나 신뢰도를 나타내지 못하고 있다. 설계시 모든 사항들은 신뢰도 해석에 근거해 결정하는 것이 바람직하다. 토질에 있어서는 다른 구조재의 성질보다 불확실성이 더 크기 때문에 더 큰 문제를 내포하고 있어 신뢰도 해석에 의거한 설계방법의 연구가 절실한 형편이다. 주동토압에 관계되는 구조물의 신뢰도 해석이나 설계의 과정을 단순화할 수 있도록 확률변수의 수를 줄여 토질의 기본정수로부터 계산되는 토압을 하나의 확률변수로 간주하고 토압의 변동계수 및 분포형태를 구할 필요가 있다. 모의 실험법을 사용하여 사질토의 Rankine 주동

* 정희원 · 경북대학교 공과대학 토목공학과 부교수

토압들을 계산, 통계처리하고 중선형회귀법을 통해 기본 토질정수와 토압의 변동계수의 관계를 구할 수 있는 회귀식들을 제시하였고 각 기본 토질정수들이 토압의 변동계수에 미치는 영향을 분석하였으며 Pearson system을 이용하여 토압의 분포를 분석한 결과, 기본 토질정수들이 정규분포일 때 토압은 베타분포로 간주해도 무난할 것으로 나타났다.

1. 序 論

1.1 연구의 목적

일반적으로 구조물을 설계할때 안전율이 채택되고 있다. 이 설계방법은 여러 설계 요소들에 여러가지 요인으로 인해 불확실성이 내포되어 있어 안전율이란 용어 자체가 구조물의 실질적인 안전 정도를 표현하지 못하기 때문에 구조물의 신뢰성에 잘못된 인식을 가지게 할 수 있다. 다른 정수들보다 토질 정수들은 특히 불확실성이 크기 때문에 토질에 관계되는 구조물의 신뢰성에는 더 큰 문제점이 내재되어 있다.

따라서 근래에 이러한 여러 요소의 불확실성 해석 및 확률론에 의거한 설계에 반영시킬 수 있는 신뢰도 해석에 대한 연구⁽¹⁻⁴⁾가 활발히 진행되고 있다. 신뢰도 해석에는 변수들의 값, 변동계수 및 분포의 종류를 추정하는 것이 필수적인데 이러한 사항들은 실내 및 현장 실험들에 의해 구해지고 있지만⁵⁻¹²⁾ 실적 자료의 부족으로 실제에는 분포의 형태를 가정하여 신뢰도 해석을 하고 있다. 여러 변수중에 기본적인 토질정수들은 실내실험을 통해 분포 형태가 어느 정도 밝혀지고 있으나⁵⁻¹²⁾ 이 정수들을 사용하여 계산에 의해 구하는 토압에 대해서는 현장실험을 통해 분포 형태를 구해야 하지만 실험에 의해 구하기는 현실적으로 불가능한 일이다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해 Monte Carlo Simulation⁽¹³⁻¹⁶⁾에 의해 여러가지 경우에 대해 토압 계산을 하여 기본적인 토질정수의 분포 및 변동계수로부터 토압의 분포 형태 및 변동계수를 구할 수 있는 방법을 찾아 토압과 관계가 있는 구조물의 신뢰도 해석 및 신뢰도에 의거한 설계 방법을 연구하는데 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

1.2 연구의 내용 및 방법

토압과 관계가 있는 구조물의 신뢰도 해석 방법을

연구함에 있어 확률변수를 정할 때 구조물의 재료 및 구조물에 작용하는 하중에 관계되는 모든 정수들을 고려하여 신뢰도 해석을 하면 너무 복잡하여 실용성에 문제가 크고 또 현재까지는 토압은 정규분포로 가정하거나 확률변수로 보지않고 상수로 간주하여 신뢰도 해석을 시도하고 있지만 실제로는 토압에 관계되는 여러 변수들의 불확실성이 상당히 크므로 토압의 변동도 상당히 크리라 사료되고 또 토압의 분포 형태도 정규분포가 아닌 다른 형태로 될 수도 있다. 따라서 토압을 정규분포로 가정하거나 상수로 간주하여 신뢰도 해석을 하면 그 결과에 의문을 가질 수 밖에 없다. 또 토압 계산 공식이 단순함수로 되어 있지 않기 때문에 토질변수들의 분포 형태 및 분산으로부터 토압의 분산을 수학적으로 구하기는 거의 불가능하다.

본 연구에서는 토압에 관계되는 기본 토질정수들을 확률변수로 하며, 이 변수들을 정규분포로 가정하여 여러가지 변동계수에 대해 합리적인 조합을 정하여 Monte Carlo Simulation⁽¹³⁻¹⁶⁾을 통해 토압을 계산, 통계처리를 하여 토압의 분포 형태 및 변동계수를 구한다. 각 토질정수 및 변동계수의 범위에 따라 조합을 하면 수천가지의 경우가 된다. 각각의 경우에 대해 Random Number Generator 를 사용하여 각 토질정수들의 값 및 변동계수에 따른 난수들을 생성시켜 토압들을 계산한다.

이 토압들의 수평 및 수직성분에 대해 Pearson system^(17,18)을 사용하여 토압의 분포 종류를 결정하고 각 토질변수들이 토압에 미치는 영향을 분석 평가하며 중선형회귀분석^(19,21)을 통해 이 변수들의 변동계수로부터 토압의 변동계수를 구하는 회귀식들을 제시한다.

2. 설계에 사용되는 토압

토압이 작용하는 대표적인 구조물에는 교대, 옹벽

등이 있는데 이들 구조물 설계시 구조물에 작용하는 토압을 계산하는 방법은 여러가지 이론이 있으나 고전적 이론인 Rankine과 Coulomb의 토압이론이 주류를 이루고 있다.⁽²²⁻²⁸⁾ 이 두가지 이론중 일본 국철의 구조물설계기준규정, 운수성(항만)의 항만구조물설계기준, 주택공단(택지)의 용벽표준설계도표, 건축학회(건축)의 건축기초구조물설계기준, 농림성(수로)의 토지개발사업계획설계기준 및 수자원개발공단(수로)의 수자원개발공단설계요령에는 Coulomb의 토압이론을 적용하도록 되어 있고 기타 여러

나라에서 Rankine의 토압이론이 사용되고 있으며 우리나라의 규정들은 분명치 못한 점들이 있어 본 연구에서도 교대, 용벽 등의 가상벽면에 Rankine의 주동토압이 작용하는 것으로 한다.^(22,23)

Rankine의 주동토압은 사질토와 점질토의 경우로 나눌 수 있으나 계산량의 과다로 본 연구에서는 사질토의 경우만 다루기로 한다. 사질토에 대한 Rankine의 주동토압은 다음과 같다.

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} \cos i K_a \quad (1)$$

표 1. Kolmogorov-Smirnov 검정 결과

Input Data					
No of samples	1000	1000	1000	1000	1000
Mean	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Standard Deviation	4.5	4.0	4.5	4.5	4.5
Coeff. of Var.(%)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Seed	123451	123452	123453	123454	123455

Kolmogorov-Smirnov Test Results					
D	0.0306	0.0244	0.0350	0.0220	0.0245
D ⁺	0.0306	0.0046	0.0135	0.0220	0.0245
D ⁻	0.0051	0.0244	0.0350	0.0123	0.0139
Z	0.967	0.772	1.106	0.696	0.774
Level of Significance	<1%	<15%	<0.5%	<15%	<15%

Input Data					
No of samples	1000	1000	1000	1000	1000
Mean	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Standard Deviation	4.0	4.5	4.5	4.0	4.5
Coeff. of Var.(%)	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Seed	123456	123457	123458	123459	123450

Kolmogorov-Smirnov Test Results					
D	0.0327	0.0547	0.0284	0.0357	0.0188
D ⁺	0.0224	0.0021	0.0139	0.0218	0.0188
D ⁻	0.0327	0.0547	0.0284	0.0357	0.0111
Z	1.033	1.729	0.897	1.129	0.596
Level of Significance	<1%	<2.5%	<2.5%	<0.5%	<15%

α: 0.150 0.100 0.050 0.025 0.010
 D: 0.0245 0.0259 0.0283 0.0302 0.0327 (for n=1000)

$$K_a = \frac{\cos i - (\cos^2 i - \cos^2 \phi)^{1/2}}{\cos i + (\cos^2 i - \cos^2 \phi)^{1/2}} \quad (2)$$

여기서, P_a : 전 주동토압
 γ : 뒤채움 흙의 단위중량
 H : 옹벽의 높이
 i : 뒤채움 흙 표면의 경사각
 K_a : 주동토압 계수
 ϕ : 뒤채움 흙의 내부마찰각

3. 프로그램의 작성, 계산 및 통계처리

3.1 Random Number Generator

3.1.1 Seed값의 영향

IMSL의 random number generator를 사용하여 확률변수의 값(평균치로 간주), 주어진 변동계수와 seed를 입력하면 정규분포에 해당하는 소요 개수의 확률변수의 값이 출력되도록 프로그램을 작성하여 일정한 평균치 및 변동계수에 대해 seed값을 변화시키면서 정규분포의 난수를 발생시켜 통계처리를 해 본 결과, 발생한 난수들의 평균치 및 변동계수가 입력치들과 차이가 있었고 Kolmogorov-Smirnov

검정^(29,30)의 D값에도 변화가 있었다. Seed의 값이 일정하면 발생한 일련의 난수들의 증감 순서가 변수들의 평균치에 관계없이 일정하여 이 난수들을 사용하여 계산된 토압은 비난수성이 있을 것으로 사료되어 seed의 값을 변화시키면서 계산하였고 발생개수를 1,000개로 하였다.

발생된 난수들의 평균치 및 변동계수에 변화가 적고 Kolmogorov-Smirnov 검정^(29,30)의 D값이 작게 나타나는 seed값을 선정하여 이후의 계산에 사용하였다. 표 1 및 표 2에 이 과정의 결과 일부를 나타냈다.

3.1.2 확률변수

사질토의 주동토압에 관계되는 변수는 토질의 내부마찰각(ϕ), 단위중량(γ), 지표면의 경사각(i) 및 벽면의 높이(H)인데 이들 모두를 확률변수로 하여 Rankine의 주동토압공식을 사용하여 계산한 전 토압을 수평성분과 수직성분으로 나누었다.

3.1.3 확률변수에 대한 난수 발생

주어진 확률변수와 변동계수의 값에 대해 전술한 바와 같이 각각 1,000개씩의 난수를 발생시켜 주동토압 계산에 사용하였다.

표 2. Seed값의 영향

Input Data						
No. of Samples:	1000	Mean:	30.000			
Standard Deviation:	4.500	Coeff. of Var(%):	15.000			
Output Statistics						
Seed	Mean	Standard Deviation	Coef. of Variation(%)	Coef. of Skewness	Coef. of Kurtosis	D
123400	30.264(+0.88%)	4.604(+2.32%)	15.214(+1.42%)	0.014	3.163(+5.42%)	0.0574
123401	30.128(+0.43%)	4.433(-1.49%)	14.715(-1.90%)	0.011	3.163(+5.43%)	0.0354
123402	29.940(-0.20%)	4.526(+0.58%)	15.117(+0.78%)	0.002	2.976(-0.80%)	0.0256
123403	29.911(-0.30%)	4.734(+5.20%)	15.827(+5.51%)	0.003	3.018(+0.61%)	0.0234
123404	29.921(-0.26%)	4.345(-3.45%)	14.521(-3.19%)	0.002	2.929(-2.37%)	0.0225
123405	30.060(+0.20%)	4.462(-0.84%)	14.844(-1.04%)	0.007	2.922(-2.61%)	0.0278
123406	29.669(-1.10%)	4.481(-0.42%)	15.103(+0.69%)	0.000	2.981(-0.64%)	0.0483
123407	29.864(-0.45%)	4.564(+1.41%)	15.281(+0.88%)	0.002	2.798(-6.75%)	0.0326
123408	30.004(+0.01%)	4.448(-1.17%)	14.823(-1.18%)	0.001	2.847(-5.10%)	0.0154
123409	30.145(+0.48%)	4.429(21.57%)	14.693(-0.04%)	0.001	2.670(-11.0%)	0.0247

3.2 확률변수들의 조합

상기의 확률변수 및 각 변수의 변동계수에 대해 다음의 값을 사용하여 서로 조합하면 총 6,336종의 경우가 된다.

$i=0, 10, 20, 30^\circ$
 $COV_i=0, 10, 20\%$
 $\phi=25, 30, 35^\circ$
 $COV_\phi=5, 15, 25, 35\%$
 $\gamma=1.7, 1.9 \text{ t/m}^3$
 $COV_\gamma=5, 10\%$
 $H=12.0, 9.0, 6.0, 4.0 \text{ m}$
 $COV_H=0, 10, 20\%$

3.3 토압의 수평성분, 수직성분 계산 및 통계처리

각각의 경우에 대해 확률변수의 난수들을 입력시켜 1,000개의 토압을 계산, 수평성분 및 수직성분을 구하여 각 성분에 대해 통계처리를 하여 평균치, 변동계수, 왜도계수 및 첨도계수를 계산하고 또 토압의 분포형태를 판단하는데 사용하도록 하였다.

전술한 확률변수들의 조합중 옹벽의 높이(H)와 뒤채움 흙의 단위중량(γ)을 변화시키면서 토압을 계산해 본 결과 옹벽의 높이와 흙의 단위중량에는 관계없이 토압의 변동계수, 왜도계수 및 첨도계수가 일정하였기 때문에 H와 γ 에 대해서는 한 가지 값(H=12 m와 $\gamma=1.7 \text{ t/m}^3$)을 사용하여 792개의 경우에 대해 계산을 수행하였다.

확률변수의 난수들을 사용하여 Rankine의 주동 토압 공식에 의거 계산 통계처리한 토압의 수평 및 수직성분의 평균치, 결정론적으로 계산한 토압의 수평성분 및 수직성분, 두 경우의 차, 변동계수, 왜도계수, 첨도계수 등을 나타내는 계산 결과의 일부를 표 3 및 표 4에 나타내었다.

4. 출력자료 분석 및 고찰

4.1 Seed값의 영향

Randon number generator에 평균치 30.0, 표준편차 4.5(변동계수 15%), seed값 123400-123499를 입력하여 1,000개의 정규분포에 해당하는 난수를 출력하여 통계처리를 한 결과 다음과 같은 경향을

보였다.

1) 평균치는 29.650(1.17% 감소)에서 30.478(1.59% 증가) 사이의 값들이 출력되었다.

2) 변동계수의 범위는 13.812%(7.92% 감소)에서 16.019%(6.79% 증가)까지이다.

3) 왜도계수의 범위는 0.000-0.041이다.

4) 첨도계수는 2.670(10.99% 감소)에서 3.353(11.77% 증가) 사이의 값들을 보였다.

5) Kolmogorov-Smirnov 검정의 D값은 0.015에서 0.0574 사이의 값을 보였다($\alpha=0.15$ D=0.0245, $\alpha=0.10$ D=0.0259, $\alpha=0.05$ D=0.0283, $\alpha=0.025$ D=0.0302, $\alpha=0.01$ D=0.0327).

상기 결과들은 출력치들이 입력치인 평균치 및 변동계수와 상당한 차이를 나타냈고 또 분포의 형태도 약간의 비대칭성을 보였고 정규분포보다는 첨도가 크거나 평평한 형태를 보였다. 따라서 입력치와의 차이가 작은 결과를 보인 seed의 값을 선정하여 난수들의 발생에 사용하였다. 이 seed의 값들에 대한 결과를 표 5에 나타내었다.

4.2 전 토압의 수평성분

전 주동토압 계산시 확률변수중 뒤채움 토사 지표면의 경사각에 대한 발생난수 중에서 토사의 내부마찰각의 난수보다 큰 경우는 내부마찰각의 난수와 같은 각으로 토압을 계산하였고 이러한 경우의 수는 계산 토압표중에 N_1 로 나타내었다. 이 경우에는 지표면의 경사각의 평균치가 토사의 내부마찰각의 평균치보다 작더라도 토압은 최대로 되어 계산토압의 평균치를 증가시키는 결과가 된다. 전 토압의 수평성분들을 통계처리하여 분석 검토한 결과는 다음과 같다.

4.2.1 토압의 수평성분 평균치

전반적으로 각 경우의 평균치들은 결정론적으로 계산한 전 토압의 수평성분보다 증가되어 최대 28.1%의 증가를 보였으며, 뒤채움 토사 지표면의 경사각에 대한 발생 난수중에서 토사의 내부마찰각의 난수보다 큰 경우(N_1)는 내부마찰각, 내부마찰각의 변동계수 및 지표면의 경사각이 클수록 많이 발생되고(내부마찰각 35° , 지표면의 경사각이 30° 인 경우 37%), 내부마찰각과 내부마찰각의 변동계수가 지표면의 경사각보다 더 큰 영향을 주며, 각 확률변수

표 3. 전 토압의 수평성분 및 통계 처리 결과

ϕ (°)	CV ϕ (%)	i (°)	CV i (%)	γ t/m ³	CV γ (%)	H (m)	CV H (%)	P_h^{*1} (t/m)	Dif (%)	CV P_h (%)	S_k	K_{ur}	N_1	K_a	P_h^{*2} (t/m)
35	35	30	20	1.7	10	12	20	56.628	21.0	71.77	1.488	4.492	369	.510	46.815
35	35	30	20	1.7	10	12	10	55.069	17.6	60.06	0.371	2.628	369	.510	46.815
35	35	30	20	1.7	10	12	0	54.658	16.8	55.75	0.060	1.799	369	.510	46.815
35	35	30	20	1.7	5	12	20	56.485	20.7	70.59	1.356	4.306	369	.510	46.815
35	35	30	20	1.7	5	12	10	54.922	17.3	58.82	0.290	2.463	369	.510	46.815
35	35	30	20	1.7	5	12	0	54.504	16.4	54.50	0.028	1.682	369	.510	46.815
35	35	30	10	1.7	10	12	20	57.296	22.4	72.97	1.608	4.912	356	.510	46.815
35	35	30	10	1.7	10	12	10	55.684	18.9	61.07	0.371	2.606	356	.510	46.815
35	35	30	10	1.7	10	12	0	55.237	18.0	56.59	0.047	1.653	356	.510	46.815
35	35	30	10	1.7	5	12	20	57.153	22.1	71.77	1.438	4.568	356	.510	46.815
35	35	30	10	1.7	5	12	10	55.538	18.6	59.84	0.285	2.403	356	.510	46.815
35	35	30	10	1.7	5	12	0	55.084	17.7	55.35	0.019	1.526	356	.510	46.815
35	35	30	0	1.7	10	12	20	57.303	22.4	72.19	1.403	4.572	343	.510	46.815
35	35	30	0	1.7	10	12	10	55.748	19.1	60.84	0.301	2.412	343	.510	46.815
35	35	30	0	1.7	10	12	0	55.342	18.2	56.77	0.039	1.583	343	.510	46.815
35	35	30	0	1.7	5	12	20	57.172	22.1	71.14	1.285	4.340	343	.510	46.815
35	35	30	0	1.7	5	12	10	55.609	18.8	59.71	0.237	2.264	343	.510	46.815
35	35	30	0	1.7	5	12	0	55.192	17.9	55.57	0.015	1.466	343	.510	46.815

ϕ : 뒤채움 흙의 내부마찰각(도)

CV ϕ : 내부마찰각의 변동계수(%)

i : 뒤채움 흙 표면의 경사각(도)

CV i : 표면의 경사각의 변동계수(%)

γ : 뒤채움 흙의 단위중량(t/m³, = 9.8 kN/m³)

CV γ : 뒤채움 흙의 단위중량의 변동계수(%)

H : 옹벽의 높이(m)

CV H : 옹벽의 높이의 변동계수(%)

P_h^{*1} : 모의실험에 의한 전 주동토압 수평성분의 평균치(t/m, = 9.8 kN/m)

P_h^{*2} : 랭킨 공식에 의한 전 주동토압의 수평성분(t/m, = 9.8 kN/m)

Dif(%) = $(P_h^{*1} - P_h^{*2}) / P_h^{*1} \times 100$

CV P_h : 모의실험에 의한 전 주동토압 수평성분 평균치의 변동계수(%)

S_k : 왜도계수

K_{ur} : 침도계수

N_1 : 랭킨 주동토압 공식의 루트내 값이 음수인 경우의 수

K_a : 랭킨의 주동토압계수

표 4. 전 토압의 수직성분 및 통계 처리 결과

ϕ (°)	CV ϕ (%)	i (°)	CV i (%)	γ t/m ³	CV γ (%)	H (m)	CV H (%)	P_v^{*1} (t/m)	Dif (%)	CV P_v (%)	S_k	K_{ur}	N_1	K_u	P_v^{*2} (t/m)
35	35	30	20	1.7	10	12	20	33.539	24.1	77.01	1.512	4.447	369	.510	27.029
35	35	30	20	1.7	10	12	10	32.621	20.7	65.21	0.346	2.417	369	.510	27.029
35	35	30	20	1.7	10	12	0	32.390	19.8	60.80	0.052	1.606	369	.510	27.029
35	35	30	20	1.7	5	12	20	33.471	23.8	76.17	1.452	4.389	369	.510	27.029
35	35	30	20	1.7	5	12	10	32.548	20.4	64.28	0.299	2.323	369	.510	27.029
35	35	30	20	1.7	5	12	0	32.311	19.5	59.78	0.029	1.507	369	.510	27.029
35	35	30	10	1.7	10	12	20	33.270	23.1	74.37	1.552	4.628	356	.510	27.029
35	35	30	10	1.7	10	12	10	32.341	19.7	62.48	0.356	2.475	356	.510	27.029
35	35	30	10	1.7	10	12	0	32.090	18.7	58.01	0.049	1.613	356	.510	27.029
35	35	30	10	1.7	5	12	20	33.194	22.8	73.32	1.430	4.402	356	.510	27.029
35	35	30	10	1.7	5	12	10	32.261	19.4	61.38	0.288	2.321	356	.510	27.029
35	35	30	10	1.7	5	12	0	32.006	18.4	56.85	0.022	1.495	356	.510	27.029
35	35	30	0	1.7	10	12	20	33.084	22.4	72.19	1.403	4.572	343	.510	27.029
35	35	30	0	1.7	10	12	10	32.186	19.1	60.84	0.301	2.412	343	.510	27.029
35	35	30	0	1.7	10	12	0	31.952	18.2	56.77	0.039	1.583	343	.510	27.029
35	35	30	0	1.7	5	12	20	33.008	22.1	71.14	1.285	4.340	343	.510	27.029
35	35	30	0	1.7	5	12	10	32.106	18.8	59.71	0.237	2.264	343	.510	27.029
35	35	30	0	1.7	5	12	0	31.865	17.9	55.57	0.015	1.466	343	.510	27.029

P_v^{*1} : 모의실험에 의한 전 주동토압 수직성분의 평균치(t/m, =9.8 kN/m)

P_v^{*2} : 랭킨 공식에 의한 전 주동토압의 수직성분(t/m, =9.8 kN/m)

Dif(%) = $(P_v^{*1} - P_v^{*2}) / P_v^{*1} \times 100$

CV P_v : 모의실험에 의한 전 주동토압 수직성분 평균치의 변동계수(%)

표 5. 선정된 seed값

Input Data						
No. of Samples:	1000	Mean:	30.000			
Standard Deviation:	4.500	Coeff. of Var(%):	15.000			
Statistics						
Seed	Mean	Standard Deviation	Coef. of Variation(%)	Coef. of Skewness	Coef. of Kurtosis	D value K-S test
123478	29.921(-0.26%)	4.486(-0.31%)	14.993(-0.04%)	0.002	3.004(+0.12%)	0.0190
123495	29.923(-0.26%)	4.580(+1.78%)	15.306(+2.04%)	0.007	3.005(+0.16%)	0.0198
123415	30.029(+0.10%)	4.548(+1.06%)	15.144(+0.96%)	0.016	2.955(-1.49%)	0.0195
123417	30.032(+0.11%)	4.566(+1.46%)	15.203(+1.35%)	0.001	2.938(-2.08%)	0.0196
123463	29.834(-0.55%)	4.469(-0.69%)	14.980(-0.14%)	0.003	2.958(-1.42%)	0.0181
123477	29.948(-0.17%)	4.440(-1.34%)	14.825(-1.17%)	0.004	3.106(+3.52%)	0.0179

및 변동계수들이 토압의 수평성분 평균치에 미치는 영향은 다음과 같다.

1) 지표면 경사각의 변동계수 및 토사 단위중량의 변동계수의 영향은 아주 미미하고 지표면의 경사각이 20° 내외인 경우에는 내부마찰각이 지표면의 경사각보다 수평 성분 평균치의 증가에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났다.

2) 내부마찰각이 35° 인 경우에는 지표면 경사각의 변동계수가 감소할수록 수평성분의 평균치가 증가하지만 내부마찰각이 30° 이하인 경우에는 경사각의 변동계수는 수평 성분의 증가에 약간의 영향을 미친다(4% 정도 증가).

3) 옹벽 높이, 뒤채움 흙의 단위중량 및 내부마찰각의 변동계수는 수평성분 증가에 전혀 영향을 미치지 않는다. 옹벽 높이의 변동계수는 수평성분 평균치의 증가에 미치는 영향은 적다(변동계수가 20%인 경우 3~4%의 토압 증가).

4.2.2 수평성분의 변동계수

전반적으로, 계산된 수평성분의 변동계수는 각 확률변수들의 변동계수들보다 훨씬 큰 값으로 나타났다(확률변수의 변동계수의 최대치가 35%인 경우 출력된 수평성분의 변동계수의 최대치는 78.2%임), 토압의 수평성분 평균치에 영향을 미치는 확률변수 및 변동계수들은 다음과 같다.

1) 각 확률변수들의 변동계수중 옹벽 높이의 변동계수, 내부마찰각의 변동계수, 단위중량의 변동계수, 경사각의 변동계수 순으로 계산된 토압의 수평성분의 변동계수에 영향을 많이 주고, 지표면 경사각의 변동계수는 수평성분의 변동계수에 거의 영향을 미치지 않는다.

2) 옹벽 높이 및 뒤채움 흙의 단위중량은 수평성분의 변동계수에 전혀 영향을 미치지 않는다.

3) 내부마찰각 이외의 요소들이 일정할 때는 내부마찰각이 작을수록 계산된 토압의 수평성분 변동계수도 작아지며, 지표면의 경사각 이외의 요소들이 일정할 때는 경사각이 작을수록 수평성분의 변동계수도 작아진다.

4.2.3 수평성분의 왜도계수 및 첨도계수

주동토압의 수평성분 평균치의 분포형태를 판단할 수 있는 왜도계수 및 첨도계수는 각각 0.0~2.798 및 1.6~8.0의 값을 보여 정규분포가 아닌 것으로

나타났으며 이 계수들에 영향을 미치는 확률변수 및 변동계수들은 다음과 같다.

1) 각 확률변수들의 변동계수가 증가함에 따라 전반적으로 수평성분 분포곡선의 비대 첨도가 심해진다($S_k > 0$).

2) 지표면의 경사각이 증가함에 따라 왜도계수도 증가하다가 내부마찰각보다 20° 정도 작은 값에서부터 감소하고(예: 내부마찰각이 35° 인 경우 경사각 15° 이상), 지표면의 경사각이 일정할 때는 대부분의 경우 내부마찰각 및 내부마찰각의 변동계수가 감소하면 왜도계수도 감소하였으나 일부의 경우($\phi = 30^\circ$ 이상, $COV \phi = 35\%$, $i = 20^\circ$ 이상, $COV i = 20\%$)에는 오히려 증가하였다.

3) 각 확률변수들의 변동계수가 감소함에 따라 왜도계수와 첨도계수도 감소한다.

4) 왜도계수가 증가하면 첨도계수도 증가한다.

4.3 전 토압의 수직성분

4.3.1 수직성분 평균치

전반적으로 평균치들은 결정론적으로 계산한 전 토압의 수직성분보다 증가되었고(최대 30.0% 증가) 지표면의 경사각이 10° 를 초과하는 경우에는 수직성분의 증가분이 수평성분의 증가분보다 더 크며, 각 확률변수 및 변동계수들이 토압의 수직성분 평균치에 미치는 영향은 다음과 같다.

1) 지표면의 경사각이 20° 이하인 경우에는 내부마찰각의 영향이 지표면의 경사각보다 증가분에 미치는 영향은 적다.

2) 지표면 경사각의 변동계수는 수직성분의 증가에 거의 영향을 미치지 않고 토사 단위중량의 변동계수가 증가분에 미치는 영향은 아주 미미하다.

3) 옹벽 높이, 뒤채움 흙의 단위중량 및 내부마찰각의 변동계수는 수직성분 증가에 전혀 영향을 미치지 않는다.

4) 옹벽 높이의 변동계수는 약간의 영향을 준다(변동계수가 20%인 경우 3~4%의 토압 증가).

4.3.2 수직성분의 변동계수

계산된 전 토압의 수직성분의 변동계수는 전반적으로 각 확률변수들의 변동계수들 보다 훨씬 큰 값으로 나타났다(각 확률변수들의 변동계수의 최대 값이 35%인 입력범위내에서 출력된 수직성분의 변

동계수 범위는 최대 84.8%) 수직성분의 변동계수는 수평성분의 변동계수보다 작고 지표면의 경사각의 변동계수가 0인 경우에는 같다. 각 확률변수 및 변동계수들이 수직성분의 변동계수에 미치는 영향은 다음과 같다.

1) 옹벽 높이 및 뒤채움 흙의 단위중량은 수직성분의 변동계수에 전혀 영향을 미치지 않는다.

2) 각 확률변수들의 변동계수중 옹벽 높이의 변동계수가 수직성분의 변동계수에 가장 큰 영향을 주고 내부마찰각의 변동계수, 경사각의 변동계수, 단위중량의 변동계수 순으로 영향을 미친다.

3) 내부마찰각 이외의 요소들이 일정할 때는 지표면의 경사각이 20°인 경우에 수직성분의 변동계수가 최대가 된다.

4) 지표면의 경사각 이외의 요소들이 일정할 때는 경사각이 작을수록 수직성분의 변동계수도 작아진다.

4.3.3 왜도계수 및 첨도계수

왜도계수 및 첨도계수는 각각 0.0~5.568 및 1.6~11.81의 값을 보여 토압의 수직성분은 비대칭도 및 첨도가 큰 분포형태를 나타내며 전반적으로 수직성분의 왜도계수와 첨도계수가 수평성분의 계수들보다 작고 지표면의 경사각의 변동계수가 0인 경우에는 같다. 분포형태에 영향을 주는 요소는 다음과 같다.

1) 각 확률변수들의 변동계수가 증가함에 따라 전반적으로 수직성분 분포곡선의 비대칭도가 아주 심해진다.

2) 각 확률변수들의 변동계수가 감소함에 따라 왜도계수와 첨도계수도 감소한다.

3) 지표면의 경사각이 증가함에 따라 왜도계수도 증가하다가 내부마찰각보다 20° 내의 이하 값에서부터 감소하고 지표면의 경사각이 일정할 때는 대부분의 경우 내부마찰각 및 내부마찰각의 변동계수가 감소하면 왜도계수도 감소하였으나 일부의 경우 ($\phi=30^\circ$ 이상, $COV_\phi=35\%$, $i=20^\circ$ 이상, $COV_i=20\%$)에는 오히려 증가하였다.

4) 왜도계수가 증가하면 첨도계수도 증가한다.

4.4 중선형회귀식 계산⁽¹⁹⁻²¹⁾

전 토압의 수평 및 수직성분에 대한 통계처리 결과를 이용하여 중선형회귀분석을 통해 각 확률변

수들의 값 및 변동계수로부터 전 토압의 각 성분에 대한 평균치의 증가분 및 변동계수를 계산할 수 있는 회귀식을 구했다.

입력범위 전체에 대해 출력된 수평 및 수직성분의 평균치 증가분 및 변동계수를 종속변수로 하고 기타 변수 및 변동계수들을 독립변수로 하여 중선형회귀 분석을 한 결과 결정계수(r^2)가 0.6 이하가 되므로 독립변수들을 수개의 구간으로 나누어 시산에 의해 중선형회귀분석을 하여 결정계수가 1.0에 가장 가깝게 되도록 하였다.

평균치의 증가분 및 변동계수에 대한 회귀식들은 다음과 같다.

4.4.1 수평성분의 증가

$$I_{ch} = \beta_1 + \beta_2\phi + \beta_3i + \beta_4CV_i + \beta_5CV_\gamma + \beta_6CV_H \quad (3)$$

여기서, I_{ch} : 수평성분의 증가(%)

β_{1-6} : 회귀계수(표 6)

ϕ : 뒤채움 흙의 내부마찰각(도)

i : 지표면의 경사각(도)

CV_i : 지표면 경사각의 변동계수(%)

CV_γ : 단위중량의 변동계수(%)

CV_H : 옹벽 높이의 변동계수(%)

Monte Carlo simulation에 의해 계산된 전 주동 토압의 수평성분은 다음 식으로 표시된다.

$$P_h = P_h^{*2} \times (1 + I_{ch}/100) \quad (4)$$

여기서,

P_h : Monte Carlo simulation에 의해 계산된 전 주동토압의 수평성분(t/m)

P_h^{*2} : 주동토압 공식에 의한 전 토압의 수평성분 (t/m=9.8 kN/m)

4.4.2 수평성분의 변동계수

$$CV_{Ph} = \beta_1 + \beta_2\phi + \beta_3CV_\phi + \beta_4i + \beta_5CV_i + \beta_6CV_\gamma + \beta_7CV_H \quad (5)$$

여기서, CV_{Ph} : 전 토압 수평성분의 변동계수(%)

β_{1-7} : 회귀계수(표 7)

CV_ϕ : 내부마찰각의 변동계수(%)

4.4.3 수직성분의 증가

표 6. 회귀계수표(1)

Range	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	r^2
$25^\circ \leq i \leq 30^\circ$							
30% ≤ CV ϕ	-6.639	1.198	-0.679	-0.033	0.052	0.329	0.9878
20% ≤ CV ϕ < 30%	-3.429	0.307	0.241	-0.002	0.037	0.320	0.9504
10% ≤ CV ϕ < 20%	-7.124	-0.265	0.897	0.141	0.022	0.316	0.9895
0% ≤ CV ϕ < 10%	-9.641	-0.384	0.865	0.313	0.004	0.319	0.9574
$15^\circ \leq i < 25^\circ$							
30% ≤ CV ϕ	-19.724	0.677	0.802	0.026	0.044	0.313	0.9881
20% ≤ CV ϕ < 30%	-11.285	0.224	0.747	0.051	0.031	0.309	0.9970
10% ≤ CV ϕ < 20%	-5.296	0.357	0.613	0.091	0.237	1.485	0.9888
0% ≤ CV ϕ < 10%	-3.219	-0.036	0.151	0.078	0.005	0.314	0.9120
$0^\circ \leq i < 15^\circ$							
30% ≤ CV ϕ	-12.123	0.588	0.351	0.012	0.037	0.302	0.9948
20% ≤ CV ϕ < 30%	-6.196	0.268	0.173	0.013	0.025	0.305	0.9925
10% ≤ CV ϕ < 20%	-3.423	0.096	0.053	0.009	0.014	0.305	0.9971
0% ≤ CV ϕ < 10%	-2.142	0.009	0.015	0.006	0.006	0.314	0.9991

β_{1-6} : 회귀계수

CV ϕ : 내부마찰각의 변동계수(%)

i : 뒤편 흙 표면의 경사각(도)

r^2 : 결정계수

표 7. 회귀계수표(2)

Range	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β^7	r^2
CV ϕ < 15%	-11.060	0.174	0.813	0.498	0.101	0.235	1.568	0.9589
15% ≤ CV ϕ < 25%	-23.225	0.629	0.969	0.543	0.013	0.226	1.330	0.9640
25% ≤ CV ϕ ≤ 35%	-32.448	1.261	0.883	0.266	-0.035	0.226	1.183	0.9314

β_{1-7} : 회귀계수

$$I_{cv} = \beta_1 \beta_2 \phi + \beta_3 i + \beta_4 CV i + \beta_5 CV \gamma + \beta_6 CV H \quad (6)$$

여기서, I_{cv} : 수직성분의 증가(%)

β_{1-6} : 회귀계수(표 8)

Monte Carlo simulation에 의해 계산된 전 주동 토압의 수직성분은 다음 식으로 표시된다.

$$P_v = P_v^{*2} (1 + I_{cv}/100) \quad (7)$$

여기서,

P_v : Monte Carlo simulation에 의해 계산된 주

동토압의 수직성분(t/m)

P_v^{*2} : 주동토압 공식에 의한 전 토압의 수직성분 (t/m)

4.4.4 수직성분의 변동계수

$$CV P_v = \beta_1 + \beta_2 \phi + \beta_3 CV \phi + \beta_4 i + \beta_5 CV i + \beta_6 CV \gamma + \beta_7 CV H \quad (8)$$

여기서, CV P_v : 전 토압 수평성분의 변동계수(%)

β_{1-7} : 회귀계수(표 9)

표 8. 회귀계수표(3)

Range	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	r^2
30% ≤ CV ϕ < 40%							
25° ≤ i ≤ 30°	-9.362	1.186	-0.602	0.156	0.045	0.328	0.9901
15° ≤ i < 25°	-21.500	1.180	0.000	0.180	0.043	0.325	0.9904
i < 15°	-9.312	0.594	0.000	0.057	0.033	0.303	0.9920
20% ≤ CV ϕ < 30%							
25° ≤ i ≤ 30°	-7.297	0.276	0.380	0.235	0.033	0.322	0.9833
15° ≤ i < 25°	-0.229	0.281	0.000	0.265	0.030	0.317	0.9688
i < 15°	-3.808	0.230	0.000	0.055	0.020	0.298	0.9863
10% ≤ CV ϕ < 20%							
25° ≤ i ≤ 30°	-12.123	-0.367	1.171	0.432	0.015	0.315	0.9972
15° ≤ i < 25°	11.637	-0.366	0.000	0.413	0.010	0.312	0.9903
i < 15°	-2.454	0.074	0.000	0.027	0.007	0.300	0.9963
0% ≤ CV ϕ < 10%							
25° ≤ i ≤ 30°	-12.123	-0.367	1.171	0.432	0.015	0.315	0.9972
15° ≤ i < 25°	11.921	-0.561	0.000	0.497	0.000	0.313	0.8920
i < 15°	-1.658	-0.007	0.000	0.020	0.000	0.303	0.9981

표 9. 회귀계수표(4)

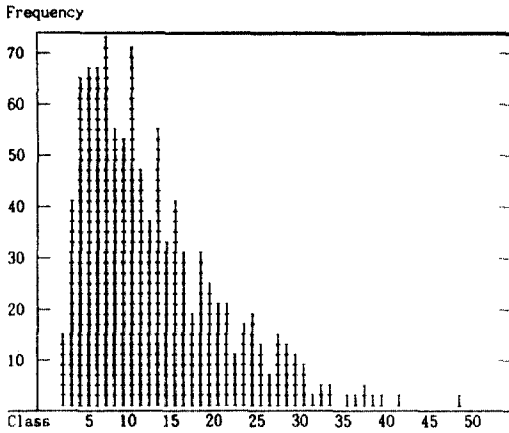
Range	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	r^2
25% ≤ CV ϕ ≤ 35%								
25° ≤ i ≤ 30°	-16.767	1.560	0.558	-0.477	0.525	0.169	1.172	0.9731
0° ≤ i < 25°	-44.731	1.360	0.891	0.690	0.582	0.165	1.155	0.9566
15% ≤ CV ϕ < 25%								
25° ≤ i ≤ 30°	-15.452	0.697	0.730	0.243	0.792	0.158	1.215	0.9331
0° ≤ i < 25°	-32.858	0.569	1.043	1.015	0.716	0.172	1.281	0.9701
CV ϕ < 15%								
25° ≤ i ≤ 30°	-12.006	-0.254	0.704	1.106	1.128	0.147	1.322	0.9557
0° ≤ i < 25°	-14.003	0.085	0.749	0.751	0.797	0.183	1.477	0.9447

4.5 전 토압의 분포형태

확률변수들의 분포를 정규분포로 가정하여 Monte Carlo simulation에 의해 계산한 주동토압의 수평 및 수직성분은 표 3 및 표 4의 왜도계수와 첨도계수란 및 히스토그램에 나타난 바와 같이 정규분포가 아닌 한쪽 꼬리를 가지거나 쌍봉을 가진 분포가

된다. 주동토압의 수평 및 수직성분의 분포형태를 구하기 위해 Pearson System^(17,18)을 사용하여 각 경우(792개)에 대해 분포의 형을 판정하였다. 토압의 수평 및 수직성분의 분포형태를 보여주는 히스토그램의 일부를 그림 1부터 그림 4까지에 나타냈다.

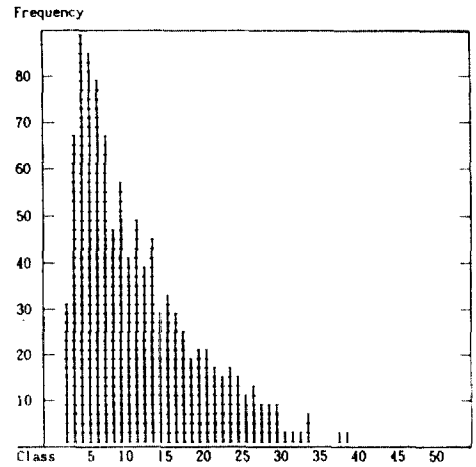
Pearson's System^(40,41)에 의거 전 토압의 수평 및



Class	5	10	15	20	25
Midpoints	18.43	43.32	68.22	93.11	118.01
Class	30	35	40	45	50
Midpoints	142.91	167.80	192.70	217.59	242.49

그림 1. 수평성분의 히스토그램(1).

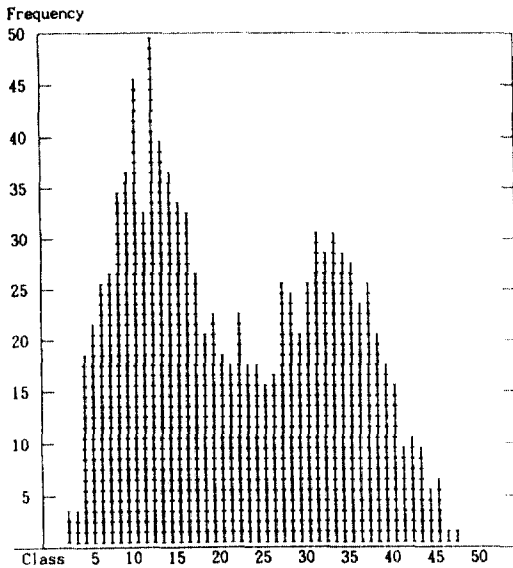
($\phi=35^\circ$, $CV \phi=35\%$, $i=30^\circ$, $CV i=20\%$, $\gamma=1.7 t/m^3$ $CV \gamma=0\%$, $H=12 m$, $CV H=20\%$)
Pearson's Type I (베타분포)



Class	5	10	15	20	25
Midpoints	12.59	29.16	45.72	62.28	78.84
Class	30	35	40	45	50
Midpoints	95.41	111.97	128.53	145.09	161.66

그림 3. 수직성분의 히스토그램(1).

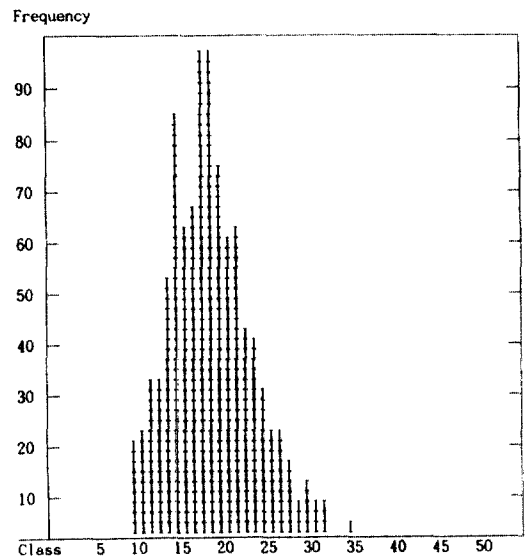
($\phi=35^\circ$, $CV \phi=35\%$, $i=30^\circ$, $CV i=20\%$, $\gamma=1.7 t/m^3$ $CV \gamma=0\%$, $H=12 m$, $CV H=20\%$)
Pearson's Type I (베타분포, J-형)



Class	5	10	15	20	25
Midpoints	10.41	23.85	37.28	50.72	64.16
Class	30	35	40	45	50
Midpoints	77.59	91.03	104.47	117.91	131.34

그림 2. 수평성분의 히스토그램(2).

($\phi=35^\circ$, $CV \phi=35\%$, $i=30^\circ$, $CV i=20\%$, $\gamma=1.7 t/m^3$ $CV \gamma=0\%$, $H=12 m$, $CV H=20\%$)
Pearson's Type I (베타분포, U-형)



Class	5	10	15	20	25
Midpoints	25.83	34.17	42.50	50.83	59.17
Class	30	35	40	45	50
Midpoints	67.50	75.83	84.17	92.50	100.83

그림 4. 수직성분의 히스토그램(2).

($\phi=35^\circ$, $CV \phi=35\%$, $i=30^\circ$, $CV i=20\%$, $\gamma=1.7 t/m^3$ $CV \gamma=0\%$, $H=12 m$, $CV H=20\%$)
Pearson's Type IV

표 10. 전 토압의 수평성분 분포형태

ϕ (°)	i (°)	Data set	Type I(U) Beta (U-shape)	Type I(U) Beta (J-shape)	Type I(U) Beta	Type IV	Type VI
35	30-0	288	11(3.8%)	60(20.8%)	144(50.0%)	5(1.7%)	68(23.6%)
30	25-0	288	11(3.8%)	45(15.6%)	162(56.3%)	3(1.7%)	66(22.9%)
25	20-0	216	9(4.2%)	6(2.8%)	142(65.7%)	1(0.5%)	58(26.9%)
35	30	72	11(15.3%)	14(19.4%)	38(52.8%)	2(2.8%)	7(9.7%)
35	20	72	0(0.0%)	34(47.2%)	11(15.3%)	3(4.2%)	24(33.3%)
35	10	72	0(0.0%)	6(8.3%)	41(56.9%)	0(0.0%)	25(34.7%)
35	0	72	0(0.0%)	6(8.3%)	54(75.0%)	0(0.0%)	12(16.7%)
30	25	72	11(15.3%)	8(11.1%)	44(61.1%)	0(0.0%)	9(12.5%)
30	20	72	0(0.0%)	31(43.1%)	19(26.4%)	3(4.2%)	18(25.0%)
30	10	72	0(0.0%)	6(8.3%)	45(62.5%)	0(0.0%)	21(29.2%)
30	0	72	0(0.0%)	0(0.0%)	54(75.0%)	0(0.0%)	18(25.0%)
25	20	72	9(12.5%)	6(8.3%)	45(62.5%)	1(0.5%)	11(15.3%)
25	10	72	0(0.0%)	0(0.0%)	43(59.7%)	0(0.0%)	29(40.3%)
25	0	72	0(0.0%)	0(0.0%)	54(75.0%)	0(0.0%)	18(25.0%)
35-25	30-0	792	3.9%	14.0%	56.6%	1.1%	24.2%

표 11. 전 토압의 수직성분 분포형태

ϕ (°)	i (°)	Data set	Type I(U) Beta (U-shape)	Type I(U) Beta (J-shape)	Type I(U) Beta	Type IV	Type VI
35	30-10	216	17(7.9%)	68(31.5%)	65(30.1%)	10(4.6%)	56(25.9%)
30	25-10	216	13(6.0%)	57(26.4%)	92(42.6%)	6(2.8%)	48(22.2%)
25	20-10	144	4(2.8%)	15(10.4%)	87(60.4%)	4(2.8%)	33(22.9%)
35	30	72	17(23.6%)	29(40.3%)	20(27.7%)	2(2.8%)	4(5.6%)
35	20	72	0(0.0%)	34(47.2%)	9(12.5%)	5(6.9%)	24(33.3%)
35	10	72	0(0.0%)	5(6.9%)	36(50.0%)	3(4.2%)	28(38.9%)
30	25	72	13(18.1%)	15(20.8%)	39(54.2%)	0(0.0%)	5(6.9%)
30	20	72	0(0.0%)	38(52.8%)	13(18.1%)	2(2.8%)	19(26.4%)
30	10	72	0(0.0%)	4(5.6%)	40(55.6%)	4(5.6%)	24(33.3%)
25	20	72	4(5.6%)	15(20.8%)	43(59.7%)	0(0.0%)	10(13.9%)
25	10	72	0(0.0%)	0(0.0%)	44(61.1%)	4(5.6%)	23(31.9%)
35-25	30-10	576	5.9%	24.3%	42.4%	3.5%	23.8%

수직성분의 분포형태를 관정한 결과를 종합해 보면 표 10 및 표 11와 같다.

표 10 및 표 11에서 전 토압의 수평성분 및 수직성분에 대해 56.9%~93.1%, 평균 75% 정도가 베타분포로 나타났고 나머지 6.9%~43.1%는 베타분포에 근사한 분포를 보여서 모든 경우에 대해 베타분포로 간주하더라도 무난할 것으로 사료된다.

5. 결 론

현장시험에 의해 구하기가 거의 불가능한 전 토압의 변동계수 및 분포형태를 구하기 위해 모의시험법(Monte Carlo Simulation)을 사용하여, 여러나라에서 토압계산에 채택되고 있는 Rankine 토압이론에 의거 사질토 지반에 대해 수평 및 수직성분으로 나누어 토압계산 및 통계처리를 하여 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 기본 정수(내부마찰각, 단위중량, 지표면의 경사각 및 벽면의 높이)들의 변동계수가 증가함에 따라 전 주동토압의 수평 및 수직성분도 증가하므로, 토압에 관계되는 구조물의 설계시 토질정수들의 값을 신중히 정해야 하며 구조물의 기초지반 반력 계산시 반력이 증가될 가능성이 있고 구조물의 전도나 활동에 대해 검토시 현재 채택되고 있는 안전율을 증가시켜야 할 경우도 있을 것으로 사료된다.

증가량은 중회귀식 (3) 및 (6)으로 계산할 수 있다.

② 전 주동토압의 수평 및 수직성분의 변동계수는 토질정수들의 변동계수보다 상당히 증가되고 특히 높이의 변동계수가 가장 큰 영향을 미치며 옹벽높이, 뒤채움 흙의 단위중량 및 지표면 경사각의 변동계수는 거의 영향을 미치지 않는다. 수평 및 수직성분의 변동계수는 중회귀식 (5) 및 (8)로부터 계산할 수 있다.

③ 토압에 관계되는 토질정수들을 정규분포로 간주하면 전 주동토압의 수평 및 수직성분은 대부분의 경우(75% 정도)가 베타분포로 나타났으며 나머지 부분은 베타분포에 근사한 분포를 보여서 모든 경우에 대해 베타분포로 간주하더라도 무난할 것으로 사료된다.

토압과 관계가 있는 구조물의 신뢰도 해석 및

신뢰도에 의거한 설계 방법을 연구하는데 있어, 이상의 결과를 이용하여 기본적인 토질정수의 값 및 변동계수로 부터 주동토압의 값 및 변동계수를 구하고 토압의 분포형태는 베타분포로 하면 보다 신뢰성이 높은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 1992년도 교육부 학술연구조성비(지방대육성과제)로수행되었으며 동 기관에 감사드립니다.

참고문헌

1. Harr, M.E., *Reliability-Based Design in Civil Engineering*, McGraw-Hill, 1987, pp. 186-220.
2. CIRIA, *Rationalization of Safety and Serviceability Factors in Structural Codes*, Construction Industry Research and Information Association, Report No. 63, 1977.
3. 土質工學會(日本), 土質基礎の信頼性設計, 東京, 1985, pp. 1-30.
4. Lumb, P., *Proc.s of the 1st Int. Conf. on Applications of Statistics and Probability to Soil and Structural Engineering*, Hong Kong, Sep.1971, pp. 204-228, 230-266, 280-286, 315-328, 372-287.
5. Lee, I.K., White, W. and Ingles, O.G., *Geotechnical Engineering*, Pitman, 1983, pp. 57-84.
6. Harr, M.E., *Mechanics of Particulate Media-A Probabilistic Approach*, McGraw-Hill, 1977, pp. 369-396.
7. Yong, R.N., "Probabilistic Nature of Soil Properties", *Proc.s of Symposium on Probabilistic Characterization of Soil Properties*, Atlanta, May 1984, pp. 19-73.
8. Tang, W., "Principles of Probabilistic Characterization of Soil Properties", *Proc.s of Symposium on Probabilistic Characterization of Soil Properties*, Atlanta, May 1984, pp. 74-89.
9. Lo, Y.K.T. and McCabe, G.P., "Statistical Characterizations of Indiana Soil Properties", *Proc.s of Symposium on Probabilistic Characterization of Soil Properties*, Atlanta, May 1984, pp. 106-118.
10. Briaud, J.L. and Tucker, L., "Coefficient of Variation in Situ Test Results in Sands", *Proc.s of Symposium on Probabilistic Characterization of Soil*

- Properties*, Atlanta, May 1984, pp. 119-139.
11. Ejezie, S.U. and Harrop-Williams, K., "Probabilistic Characterization of Nigerian Soils", *Proc.s of Symposium on Probabilistic Characterization of Soil Properties*, Atlanta, May 1984, pp. 140-156, pp. 19-73.
 12. Lind, N.C., *Proc.s of the 5th Int. Conf. on Applications of Statistics and Probability to Soil and Structural Engineering*, Vancouver, May 1987, pp. 631-635, pp. 1037-1046, pp. 1047-1053.
 13. Kalos, M.H. and Whitlock, P.A., *Monte Carlo Methods*, John Wiley & Sons, 1986.
 14. Rubinstein, R.Y., *Simulation and the Monte Carlo Method*, John Wiley & Sons, 1981.
 15. Ang, A.H-S. & Tang, W.H., *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*, Vol. 2, John Wiley & Sons, 1975, pp. 274-300.
 16. Law, A.M. and Kelton W.D., *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw-Hill, 1987, pp. 219-273.
 17. Harr, M.E., *Mechanics of Particulate Media-A Probabilistic Approach*, McGraw-Hill, 1977, pp.487-491.
 18. Harr, M.E., *Reliability-Based Design in Civil Engineering*, McGraw-Hill, 1987, pp. 75-79.
 19. Chatterjee, S. and Price, B., *Regression Analysis by Example*, John Wiley & Sons, 1977.
 20. Seber, G.A., *Linear Regression Analysis*, John Wiley & Sons, 1977.
 21. 박성현, 회귀분석(개정판), 민영사, 1993, pp. 171-199.
 22. 김상규, "옹벽과 교대에 작용하는 토압의 적용에 관하여", *대한토목학회지*, 제 40권, 제 1호, 1992, pp. 46-54.
 23. 김운영, 김명오, "도로교 표준시방서의 교대의 토압 문제에 대하여", *대한토목학회지*, 제 6권, 제 3호, 1990, pp. 77-87.
 24. Henry, F.D.C., *The Design and Construction of Engineering Foundations*, Chapman & Hall, 1986, pp. 536-553.
 25. 土質工學會(日本), 土留め構造物の設計法, 東京, 1992, pp. 28-142.
 26. Henry, F.D.C., *The Design and Construction of Engineering Foundations*, Chapman & Hall, 1986, pp.536-553.
 27. Fang, H.Y., *Foundation Engineering Handbook*, Van Nostrand Reinhold, 1991, pp. 224-235.
 28. Department of The Navy, *Foundations and Earth Structures*, Design Manual 7.2, Department of The Navy, Naval Facilities Engineering Command, 1982, pp. 37-58.
 29. Law, A.M. and Kelton W.D., *Simulation Modeling and Analysis*, McGraw-Hill, 1987, pp. 199-204.
 30. Ang, A.H-S. and Tang, W.H., *Probability Concepts in Engineering Planning and Design*, Vol. 1, John Wiley & Sons, 1975, pp. 277-281.

(接受 : 1993. 8. 10)