

동하중에 의한 강성벽체에 작용하는 토압

Earth Pressure Acting on Rigid Retaining Wall due to the Dynamic Load

박 종 덕*¹ Park, Jong-Deok

전 용 백*² Chon, Yong-Baek

Abstract

It is necessary to make a technical counter plan for the stability problems of rigid wall in view of short and long terms, after grasping the dynamic character, intensity deterioration of the soil in the static case as well as dynamic one beforehand.

This study is aimed at examining, from the inside Model Test, the static and dynamic characters for lateral earth pressure operating to the rigid retaining wall by lengthening, shortening and middling the lateral dynamic distance of lump of soil, after filling back at the rear of rigid soil wall with clay, standard sand and common sand which are different from others in its character by ways of roller compaction, dynamic compaction, and sand raining without compaction.

Such were installed for Model Test equipments as experiment stand, rigid retaining wall, earth pressure measurements equipment, dynamic load occurrence equipment, dynamic measurement equipment, sand rainer and roller, etc.

With the help of these equipments, the investigation was conducted with the comparison of interpretational results of experimental numerical value and existing theory's numerical value of finite element after getting the degree of acceleration and lateral earth pressure, coefficient of lateral earth pressure, whole earth pressure, operating point of earth pressure, and the increased earth pressure by earthquake, which are derived from the translation according to the distance.

요 지

토류구조물들의 안정문제로는 장단기적으로 정적인 경우와 동적인 경우, 그리고 지반의 동적 거동특성, 흙의 강도저하 등을 미리 파악하여 기술적인 대처를 해야 할 필요가 있을 것이다.

본 연구에서는 실내 모형 실험을 통하여 구조물의 배면에 토성이 다른 일반모래, 표준모래, 점성토를 뒷채움하여 다짐없이 강사만 하고, 롤러다짐, 진동다짐을 하여 토괴의 수평 진동거리를 길게, 짧게 그리고 중간으로 하여 강성벽체에 작용하는 수평토압에 대한 정적, 동적 특성을 규명하는 것이다.

모형 실험장치로는 실험대, 토조, 토압측정장치, 진동하중 발생장치, 진동측정장치, 강사기, 롤러 등을 설치하여 거리에 따른 병진운동으로 가속도와 수평토압, 수평토압계수, 전체토압, 토압의 작용점, 지진토압증분 등을 구하여, 실험결과와 기존 이론결과, 그리고 유한요소 해석결과와 비교 고찰하였다.

Keywords : Dynamic load, Lateral Earth pressure, Roller compaction, Dynamic compaction, Model test, Degree of acceleration

*1 정희원, 충청대학 토목과 교수

*2 정희원, 대구대학교 토목공학과 교수

1. 서론

본 연구에서는 동하중에 의한 가속도에 의해 토압이 증가하고 그로 인해 토류벽이 파괴된다. 이에 대처하기 위하여 일반적으로 설계시에 많이 적용되는 Coulomb(1776a) 이론을 기본으로, 정적인 토압을 구하고 동하중에 의한 토압을 산정함으로써 동하중을 받는 구조물에 작용하는 토압을 고찰하고자 하였다. 동하중이 작용하는 구조물에서 토압을 구하기 위하여 토조모형실험을 실행하였으며, 모형실험장치로서 진동대 및 토조 장치를 설계·제작하여 병진거리에 따른 운동으로 진동을 가하여 토압을 산정하였다. 실험방법으로는 흙의 종류에 따라 강성 토류벽면에 뒷채움토를 여러 가지 다짐방법의 조건에서 동하중을 작용하여 가속도와 수평토압, 수평주동토압계수 그리고 전토압 등을 구하였으며, 뒷채움토에 따른 수평가속도와 동적 주동토압계수와의 관계, 수평가속도와 동적주동토압계수와의 관계를 실험에 의한 결과와 기존의 동적이론인 Mononobe-Okabe(1929a)식의 결과와 비교 분석하였으며, 분석결과를 토대로 수치해석하여 실험결과와 비교·고찰하였다.

2. 이론고찰

2.1 Mononobe-Okabe의 동적토압

옹벽에 작용하는 동적토압을 산출하는 방법을 최초로 발표한 Mononobe-Okabe(1929b)이론은 Coulomb(1776b) 이론을 수정한 이론으로써, 비점성토(cohesionless soil)에 적

용할 수 있으며, 다음과 같은 기본가정을 근거로 하고 있다.

- (1) 벽체의 변위는 최소주동토압이 일어날 만큼 충분하다.
- (2) 흙의 파괴면은 그림 1과 같이 BC면을 따라 평면으로 일어난다.
- (3) 파괴시에는 파괴면(BC)을 따라 내부마찰각이 완전히 발휘된다.
- (4) 뒷채움 흙은 강성체로 취급한다.
- (5) 토압의 작용점 위치는 벽체의 저면에서 H/3지점에 위치한다.
- (6) 벽체자체의 관성 영향은 무시한다.

지진시의 동적토압(주동 및 수동토압)은 다음 식과 같이 표현하였다.

$$P_E = \begin{Bmatrix} P_{AE} \\ P_{PE} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} K_{AE} \\ K_{PE} \end{Bmatrix} \left\{ (1 - k_v) \frac{\gamma H^2}{2} \right.$$

이때,

$$\begin{Bmatrix} K_{AE} \\ K_{PE} \end{Bmatrix} = \left[\begin{array}{l} \cos^2(\alpha \pm \phi - \psi) / \\ \cos^2 \alpha \cos \psi \cos(\alpha \mp \delta + \psi) \end{array} \right] \left[1 \pm \frac{\sin(\phi \mp \delta) \sin(\phi - \psi - \beta)}{\cos(\alpha \mp \delta + \psi) \cos(\alpha + \beta)} \right]^2$$

여기서, $\psi = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1 - k_v} \right)$

α : 벽체배면의 경사각

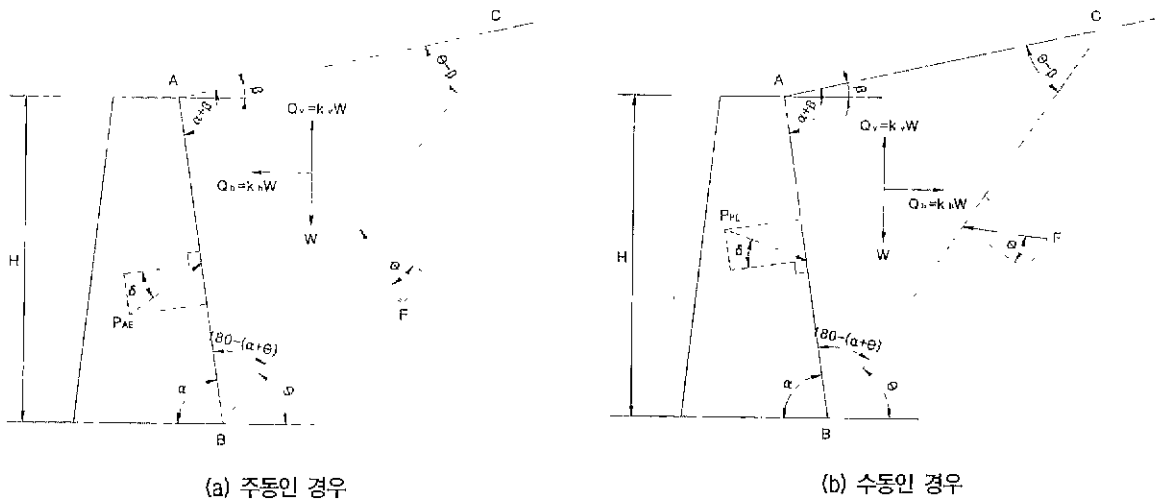


그림 1. Mononobe-Okabe의 흙짜기

- β : 뒷채움 성토면의 경사각
- δ : 벽면의 마찰각
- ϕ : 흙의 내부마찰각
- k_h : 수평지진가속도계수 ($= \alpha_h/g$)
- k_v : 연직지진가속도계수 ($= \alpha_v/g$)
- g : 중력가속도
- α_h : 수평지진가속도
- α_v : 연직지진가속도
- P_E : 동적토압
- P_{AE} : 동적주동토압
- P_{PE} : 동적수동토압
- K_{AE} : 동적주동토압계수
- K_{PE} : 동적수동토압계수
- H : 벽체의 높이

3. 실내모형실험

3.1 실험개요

(1) 시료의 특성

본 실험에 사용한 시료는 경남 합천군 용주리에 위치한 황강의 일반모래와 주문진 표준모래, 그리고 경북 경산군 진량읍에서 채취한 점성토를 사용하였다. 이 3종류 시료들의 물리적 특성을 알기 위하여 체분석시험, 비중시험, 함수비시험, 건조 및 습윤단위중량시험, 상대밀도시험 등을 실시하였고, 삼축압축시험에 의하여 전단강도정수를 구하였다. 실험에 사용된 시료의

표 1. 황강모래의 물리적 성질 및 감도정수

시료	특성	G_s	γ_t (g/cm^3)	γ_d (g/cm^3)	ϕ ($^\circ$)	ω (%)	e	D_r (%)
황강모래	SSN	2.64	1.65	1.65	26.6	0.14	0.78	47.9
	SSR	2.64	1.80	1.80	28.3	0.11	0.64	68.0
	SSD	2.64	1.85	1.85	29.4	0.11	0.59	78.2
	SMN	2.64	1.67	1.67	26.6	0.16	0.76	50.3
	SMR	2.64	1.77	1.77	28.5	0.14	0.66	66.5
	SMD	2.64	1.83	1.83	29.4	0.12	0.61	71.8
	SLN	2.64	1.66	1.66	26.4	0.15	0.77	50.3
	SLR	2.64	1.78	1.78	28.5	0.12	0.65	62.2
	SLD	2.64	1.85	1.85	29.3	0.17	0.59	71.5

※ 제 1 문자 - S : 황강모래, J : 주문진 표준사, C : 점성토

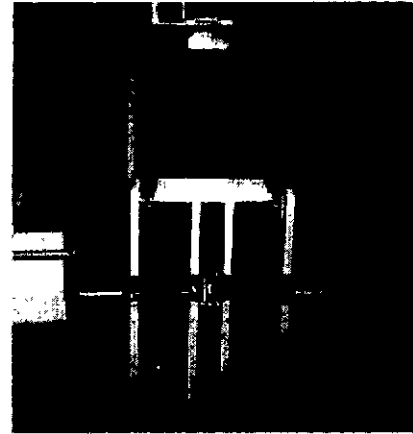


사진 1. 토조모형실험장치

물리적 특성은 표 1~표 3과 같다.

(2) 실험장치

본 실험에 사용된 진동모델 실험장치는 동적인 하중이 작용할 때, 이에 작용하는 토압을 연구할 목적으로 설계하여, 기계제작공장에서 사진 1과 같이 제작하였으며, 토조 실험장치의 정면도, 측면도는 그림 2와 같다. 실험장치는 크게 실험대, 토조, 옹벽지시대 및 토압측정장치, 진동하중 발생장치, 진동측정장치, 강사기, 롤러 등으로 구성되며, 진동하중 발생장치는 사진 1과 같이 토조중앙(하단에서 67cm)의 높이에 직경 35cm의 원형철판 2장과 원형판을 회전시키는 핸들을 양쪽으로 부착하였고, 이 원형 철판을 회전시키면 원형판의 홈에 연결된 봉의 베어링에 의하여 원주를 따라 회전하고, 토조와 연결된 봉이 원운동을 수평병진운동으로 바꿀 수 있도록 제작하였다. 수평병진거리는 실험 case에 따라 변경이 가능하도록 하였으며, 병진거리

는 4cm, 9cm, 13cm로 움직일 수 있도록 제작하였다.

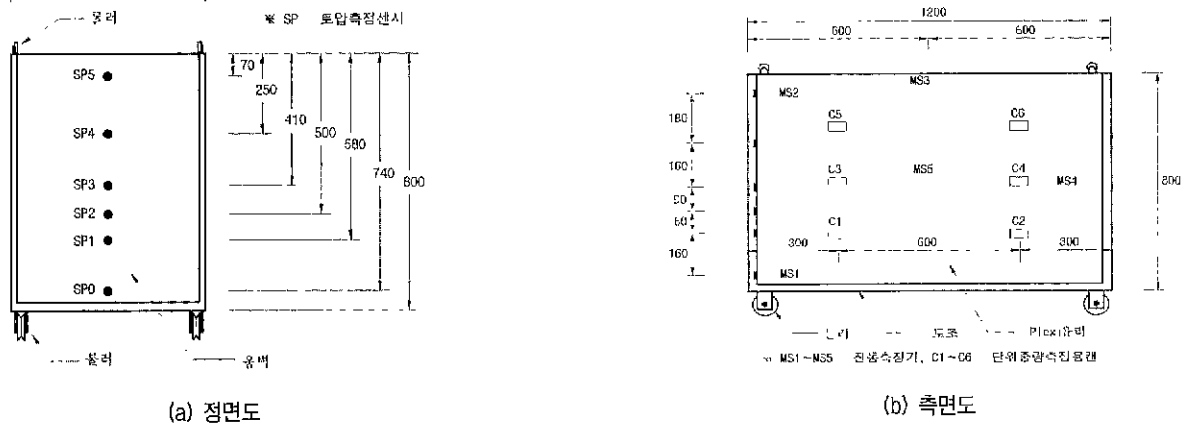


그림 2. 모형토조의 규격 및 각종 측정장치

표 2. 표준모래의 물리적 성질 및 강도정수

특 성		G_s	γ_t (g/cm^3)	γ_d (g/cm^3)	ϕ ($^{\circ}$)	ω (%)	e	D_r (%)
표 준 모 래	JSN	2.65	1.55	1.53	25.1	1.26	0.67	50.3
	JSR	2.65	1.61	1.59	26.2	1.29	0.61	62.2
	JSD	2.65	1.65	1.63	26.7	1.26	0.57	71.5
	JMN	2.65	1.56	1.54	25.3	1.28	0.67	29.3
	JMR	2.65	1.62	1.60	26.2	1.27	0.59	57.6
	JMD	2.65	1.65	1.63	26.9	1.29	0.57	73.2
	JLN	2.65	1.55	1.53	25.0	1.23	0.68	47.9
	JLR	2.65	1.63	1.61	26.3	1.24	0.59	68.0
	JLD	2.65	1.66	1.64	26.9	1.29	0.57	72.6

※ 제 2 문자 - S : 병진거리40mm, M : 병진거리90mm, L : 병진거리130mm

표 3. 점성토의 물리적 성질 및 강도정수

특 성		G_s	γ_t (g/cm^3)	γ_d (g/cm^3)	ϕ ($^{\circ}$)	ω (%)	e	c (kg/cm^2)
점 성 토	CSN	2.60	1.09	1.07	17.2	1.95	0.50	0.35
	CSR	2.60	1.13	1.11	18.0	1.93	0.44	0.31
	CSD	2.60	1.17	1.15	18.4	1.95	0.39	0.20
	CMN	2.60	1.09	1.07	17.2	1.97	0.50	0.31
	CMR	2.60	1.15	1.13	18.1	1.95	0.42	0.33
	CMD	2.60	1.18	1.16	18.7	1.97	0.38	0.26
	CLN	2.60	1.08	1.06	17.0	1.95	0.51	0.33
	CLR	2.60	1.15	1.13	18.1	1.79	0.42	0.28
	CLD	2.60	1.20	1.18	18.5	1.80	0.36	0.25

※ 제 3 문자 - N : 강사, R : 롤러다짐, D : 진동다짐

(3) 실험방법

• 강사에 의한 실험

강사는 체눈의 크기가 10mm×10mm인 2중체로 크기가 520mm×520mm×100mm인 강사장치를 실험대 위 양지점에 롤러를 설치하여 전후이동을 할 수 있도록 지지대를 설치하고, 강사가 양쪽에 로프를 설치하여 높이조절을 할 수 있도록하여 시료의 상대밀도를 쉽게 조절할 수 있도록 하였다. 이 장치를 이용하여 황강모래, 주문진 표준모래, 점성토의 각각에 대하여 균질하게 흙을 강사하여 토조에 채움을 한 후, 토압이 안정되면 정적인상태에서의 토압을 측정하고, 진동을 발생시켜서 토압과 가속도변화를 측정하였다.

• 롤러 층다짐에 의한 실험

황강모래, 주문진 표준모래, 점성토에 대해 8층으로 나누어 10cm 높이로 강사 후, 직경 20cm, 길이 30cm, 중량 22kg인 무근콘크리트 원기둥형 롤러로 왕복 10회 다짐을 실시하고, 토압이 안정되면 정적상태의 토압을 측정 후 진동을 발생시켜서 토압과 가속도변화를 측정하였다. 롤러에 의한 층다짐시 롤러가 원형이므로 토조 코너부분은 다른 곳에 비해 다짐이 불충분하므로, 이를 해결하기 위하여 강성을 가진 plate판을 강사된 코너부분에 놓고, 그 위에서 롤러를 이용해 다짐을 실시하였다.

• 진동 층다짐에 의한 실험

황강모래, 주문진 표준모래, 점성토에 대해 강사기로 10cm 높이에서 강사 후, 토조를 20회 병진운동을 하여 진동 층다짐을 하고, 토압이 안정되면 정적상태의 토압을 측정 후 진동을 발생시켜서 토압과 가속도변화를 측정하였다.

• 실험 케이스

3종류 시료 각각에 대하여 병진거리를 40mm, 90mm, 130mm 크기의 3종류로 변화시키고, 토조에 시료를 채우는 방법은 10cm마다 강사와 롤러다짐, 진동다짐으로 구분하여 실험 케이스를 설정하였으며, 이를 요약하고 기호로 나타내면 다음 표 4와 같다.

표 4. 실험 케이스

토성	병진거리	다짐 방식	기 호
황강 모래	Short (40mm)	강 사	SSN
		10cm-롤러다짐	SSR
		10cm-진동다짐	SSD
	Middle (90mm)	강 사	SMN
		10cm-롤러다짐	SMR
		10cm-진동다짐	SMD
Long (130mm)	강 사	SLN	
	10cm-롤러다짐	SLR	
	10cm-진동다짐	SLD	
표준사	Short (40mm)	강 사	JSN
		10cm-롤러다짐	JSR
		10cm-진동다짐	JSD
	Middle (90mm)	강 사	JMN
		10cm-롤러다짐	JMR
		10cm-진동다짐	JMD
	Long (130mm)	강 사	JLN
		10cm-롤러다짐	JLR
		10cm-진동다짐	JLD
점성토	Short (40mm)	강 사	CSN
		10cm-롤러다짐	CSR
		10cm-진동다짐	CSD
	Middle (90mm)	강 사	CMN
		10cm-롤러다짐	CMR
		10cm-진동다짐	CMD
	Long (130mm)	강 사	CLN
		10cm-롤러다짐	CLR
		10cm-진동다짐	CLD

3.2 실험결과

(1) 수평지진가속도계수 측정치

수평지진가속도계수는 실험에 사용된 5개(그림 2의 MS1~MS5)의 진동측정기 중에서 파괴시 주동영역(삼각췌기) 내에 설치된 MS1, MS2, MS3 3개의 측정기

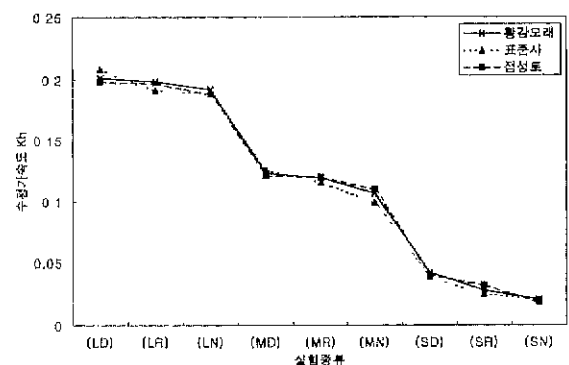
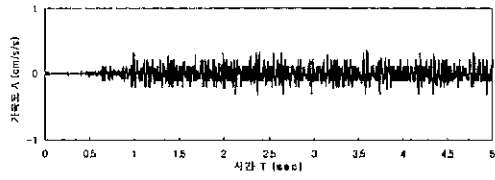
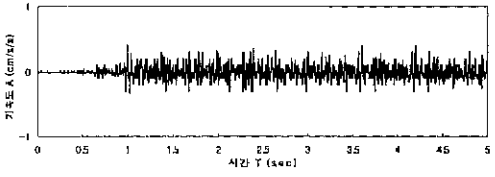


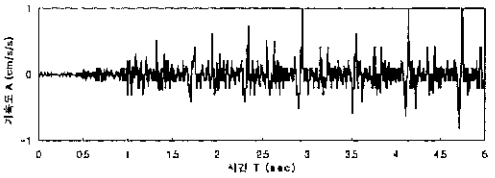
그림 3. 수평지진가속도계수의 변화



(a) MS1



(b) MS2



(c) MS3

그림 4. SLD실험의 진동측정기 시간이력곡선

에서 측정된 가속도의 최대치를 평균한 값을 사용하였다. 측정된 수평지진가속도계수는 그림 3에서 나타난 바와 같이 병진거리가 길수록 큰 값이 측정되었으며, 그림 4는 황강모래에서 진동다짐을 한 경우 병진거리를 길게 했을 때의 삼축진동측정기에서 측정된 수평가속도의 시간 이력곡선을 나타낸 것이다.

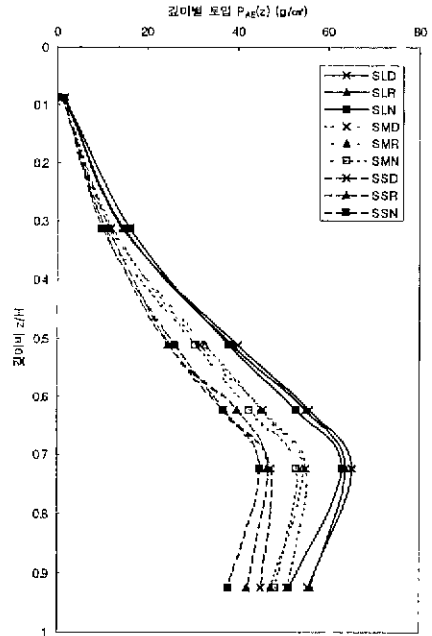


그림 5. 황강모래의 깊이별 토압분포

(2) 토성별 토압분포

실험에서 측정된 3종류 뒷채움에 대한 토압분포는 각각 그림 5~그림 7과 같으며, 그림에서와 같이 토압의 크기는 황강모래, 표준모래, 점성토의 순으로, 병진거리별로는 병진거리가 멀수록, 다짐방식별로는 진동다짐, 틀러다짐, 강사의 순으로 토압이 크게 나타났다. 또한 0.7H이하에서 토압이 작아지는 현상은 토조 바닥

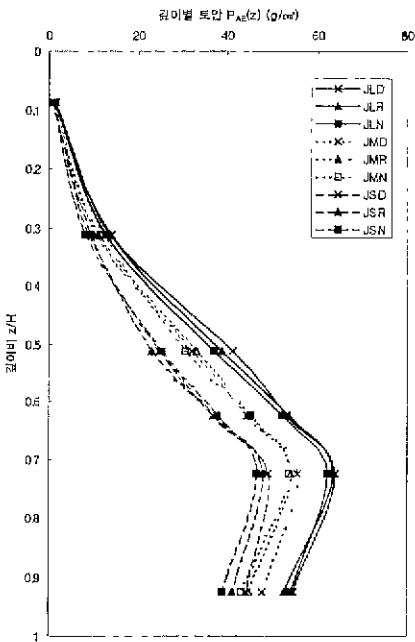


그림 6. 표준모래의 깊이별 토압분포

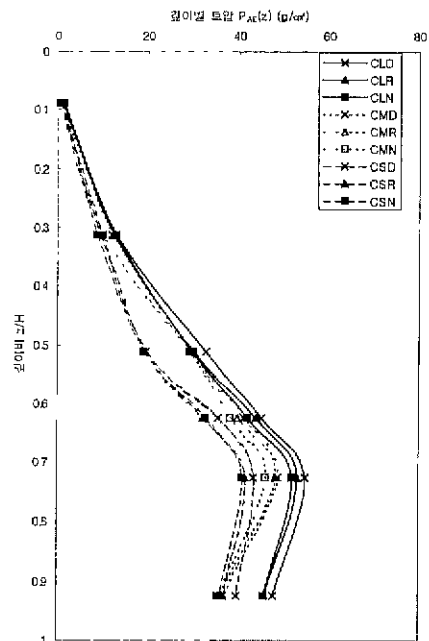


그림 7. 점성토의 깊이별 토압분포

면의 마찰현상과 흙의 아칭(arching) 효과의 결과로 판단된다.

4. 실험결과와 분석

실험에서 측정된 토압을, 이론식에 의해 산출된 토압, 유한요소 해석에 의해 산출된 토압과 비교, 분석하였다. 실험에서 측정된 토압분포에 의해 전토압, 동적주동토압 계수를 산출하였고, 이론에 의한 토압은 실험에 사용된 시료의 물성을 이용하여 이론식에 적용하여 산출하였으며, 유한요소 해석에 의한 토압은 실험에 사용된 시료의 물리적 특성 및 강도정수를 이용하여 에메랄드소프트사에서 제작한 유한요소 해석프로그램 Pentagon 2D, 3D로 분석하였다.

4.1 유한요소 해석

1) 프로그램 개요

Pentagon 2D, 3D는 2차원 혹은 3차원 연속체로 이루어진 구조물이나 지반에 외적인 경계조건이 주어지면 그에 해당하는 내부변수를 계산하는 유한요소해석 프로그램이다. Pentagon 2D, 3D는 평형방정식 중에서 변위법을 사용하며, 외력에 대한 연속체 내부 절점의 변위를 우선적으로 구하고, 후처리 과정에서 변형률과 응력을 순차적으로 구한다.

2) 초기응력

해석모형의 모델링시 실제 실험과 같은 조건을 주기 위하여 토조벽체는 강성벽체로 변위발생이 없는 것으로 가정하여 변위를 구속하였으며, 실험시료는 전단면을 모델화하여 평면 변형을 조건하에서 탄소성 해석을 실시하였다. 초기응력은 $\sigma_v = \gamma z$ 식에 의해 계산된, 즉 지표로부터 깊이에 해당되는 시료자체의 중력이 작용하며, 측면경계면에 작용하는 응력은 토질특성에 따른 측압계수로 초기응력을 산정하였다. 해석에 이용된 각 시료의 입력상수는 표 1~표 3에 나타난 물리적특성과 표 5의 값을 사용하였다.

3) 해석단계

본 해석에 적용된 해석단계는 아래의 표 6과 같이 적용하였다.

초기단계로서 강사, 롤러다짐, 진동다짐에 따른 지반의 물성치를 대입하여 초기응력상태를 산출하였으며, 실험에서와 동일한 상태로 40 mm, 90mm, 130mm의 병진거리로 1초간 1회 병진운동의 속도로 진동을 실시하여 0.2초 간격으로 토압을 산출하였다.

4) 해석결과

해석결과는 수치 및 그래픽으로 나타나며, 그래픽은 2D와 3D로 나타난다. 그 예로 그림 8은 황강모래를 진동다짐 시 130mm의 진동을 주었을 때의 해석결과를 그래픽으로 나타낸 것이다. 그림에서 색깔별로 토압의 크기가 분류되며, 붉은색에서 푸른색으로 갈수록 토압의 크기가 작은 것을 나타낸다.

표 5. 해석에 이용된 입력상수

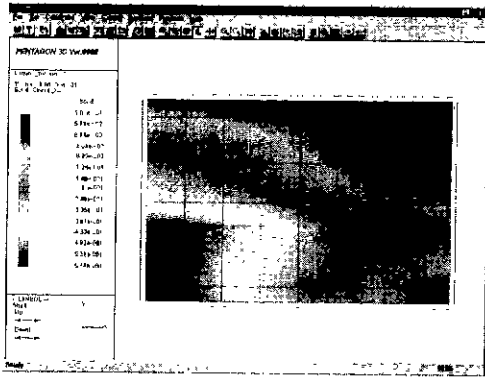
시료		특성	탄성계수 (E) ton/m ²	포아송비 (ν)	체적탄성계수 (K) ton/m ²	전단탄성계수 (G) ton/m ²
황강모래	SLN		1000	0.300	833	385
	SLR		2000	0.325	1905	755
	SLD		3000	0.350	3333	1111
표준모래	JLN		1000	0.250	667	400
	JLR		1600	0.250	1067	640
	JLD		2500	0.250	1667	1000
점성토	CLN		300	0.450	1000	103
	CLR		600	0.425	1333	211
	CLD		1000	0.400	1667	357

4.2 수평토압분포

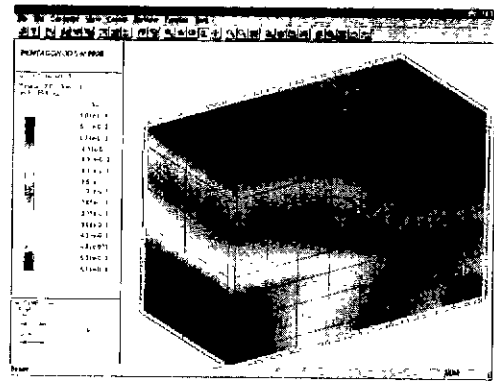
3종류 뒷채움 시료의 깊이별 수평토압분포를 그림 9~그림 11에 나타내었으며, 정적인 상태에서는 해석치, 이론치, 실험치 순으로, 다짐방법별로는 진동다짐, 롤러다짐, 강사 순으로 크게 나타났으며, 깊이에 따라 삼각형 분포를

표 6. 해석방법

구분	해석과정	출력항목
초기단계	초기상태 경계조건 및 지반의 물성치에 의한 초기응력생성	토조모형 지반응력
해석단계	진동상태 1회/sec의 속도로 각 병진거리별 0.2초 간격으로 2초간 진동해석	수치모형 응력



(a) 해석시 2D 토압분포



(b) 해석시 3D 토압분포

그림 8. 진동다짐 후 130mm 병진시 황강모래에 대한 해석결과

나타내었다. 또한 동적인상태에서는 병진거리가 클수록, 다짐이 잘 될수록, 그리고 황강모래, 표준사, 점성토 순으로 토압이 크게 나타났다.

또한, 전반적으로 깊이 0.6H 이전까지는 실험치보다 해석치 토압이 크고, 0.6H 이후에는 해석치보다 실험치 토압이 커지는데, 그 원인은 진동하중 발생장치틀 토조 중앙에 설치했기 때문인 것으로 판단된다.

4.3 전도압

실험종류별 전도압 크기 변화는 그림 12와 같고, 내부마

찰각, 수평지진가속도계수 변화에 따른 전도압 크기의 변화는 각각 그림 13과 그림 14에 나타내었다.

전도압의 크기는 그림 12와 같이 황강모래, 표준사, 점성토순으로 크게 나타났으며, 병진거리가 길수록, 진동다짐일수록 크게 나타났다. 또한 내부마찰각의 변화에 따른 전도압은 내부마찰각이 커지면서 전도압의 크기가 증가하는 것을 그림 13에서 알 수 있으며, 수평지진가속도계수의 변화에 따른 전도압 크기는 그림 14에서 수평지진가속도계수가 커지면서 전도압의 크기가 증가하는 것을 알 수 있다.

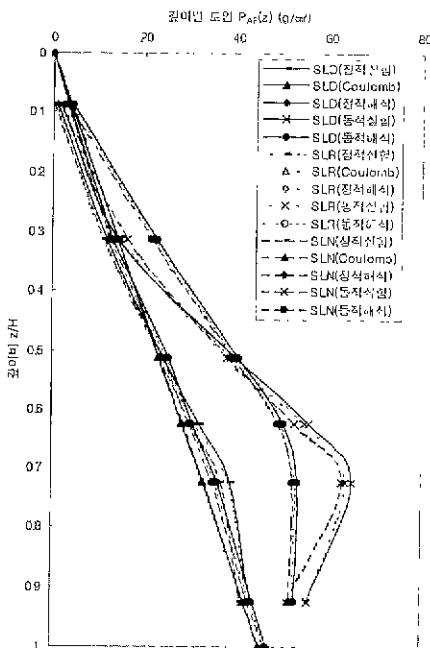


그림 9. 황강모래의 130mm 병진시 토압분포

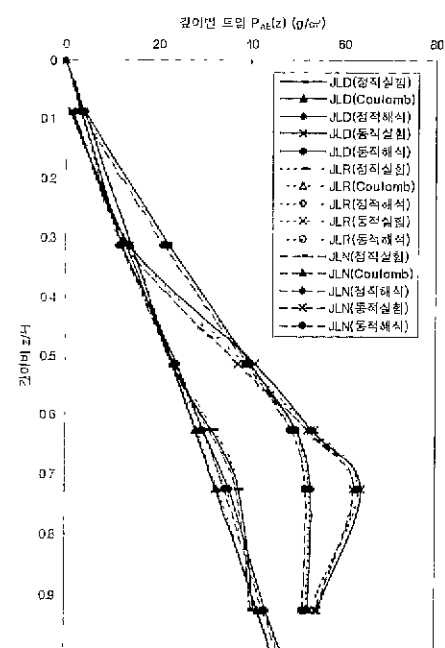


그림 10. 표준모래의 130mm 병진시 토압분포

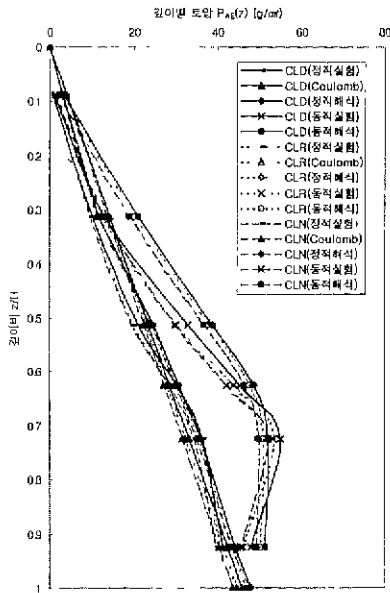


그림 11. 점성토의 130mm 병진시 토압분포

4.4 동적주동토압계수

2.1 절의 동적주동토압계수(K_{AE})를 실험종류별, 내부마찰각

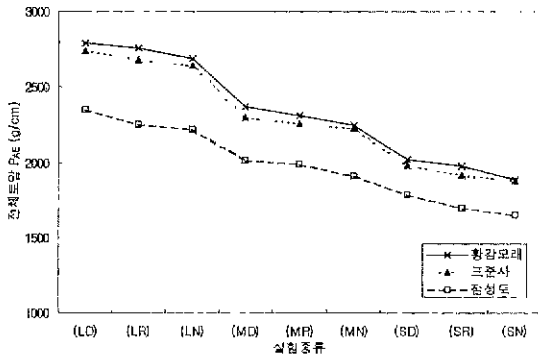


그림 12. 각 실험별 전도압 크기 변화

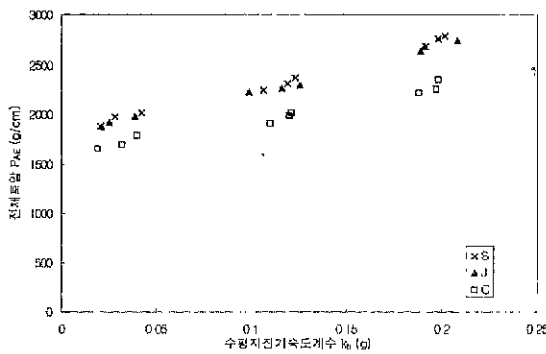


그림 14. 수평지진가속도계수 변화에 따른 전도압 크기 변화

찰각 · 수평지진가속도변화에 따라 그림 15~그림 17에 나타내었다. 동적주동토압계수는 그림 15에서와 같이 점성토, 표준사, 황강모래 순으로 크게 나타났으며, 병진거리가 길수록, 강사일수록 크게 나타났다. 그림 16에서 내부마찰각의 변화에 따른 동적주동토압계수는 내부마찰각이 커지면서 크기가 감소하는 것을 알 수 있다.

수평지진가속도계수의 변화에 따른 동적주동토압계수는 수평지진가속도계수가 커지면서 크기가 증가하는 것을 그림 17에서 알 수 있다.

4.5 전도압의 작용점

병진시 실험에 의한 전도압의 작용점에 관한 실험결과는 그림 18~그림 20과 같으며, 전도압의 작용점은 그림 18과 같이 전체적으로 저면에서 0.33H 부근에 존재하며, 진동다짐보다는 강사시 약간 높게 나타나고 있으나, 그 차이는 크지 않으므로, 토압의 작용점은 병진거리에 영향이 있는 것으로 나타나고 있다. 내부마찰각의 변화에 따른 전도압의 작용점은 그림 19에서 나타난바와 같이 큰 차이 없

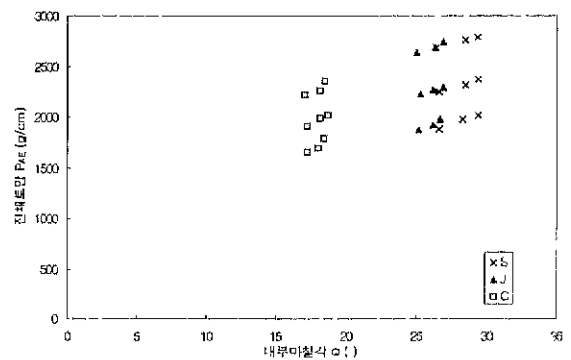


그림 13. 내부마찰각 변화에 따른 전도압 크기 변화

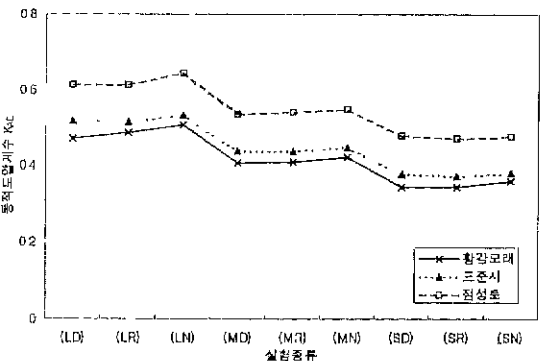


그림 15. 각 실험별 동적주동토압계수 변화

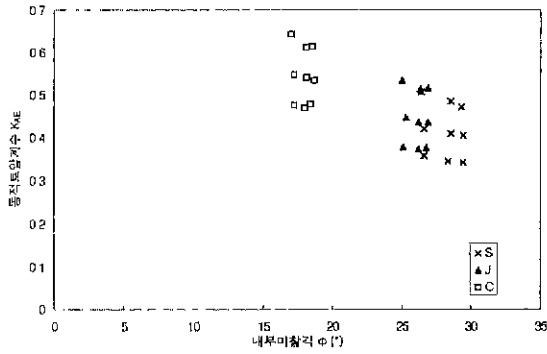


그림 16. 내부마찰각 변화에 따른 동적주동토압계수 변화

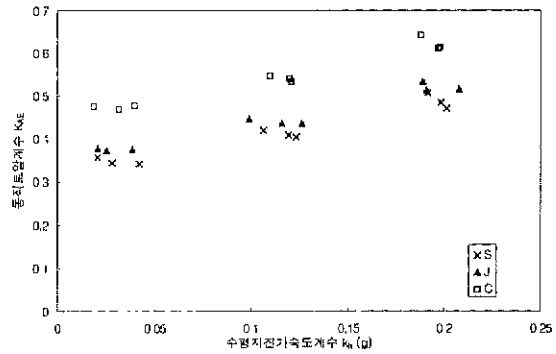


그림 17. 수평지진가속도계수에 따른 동적주동토압계수 변화

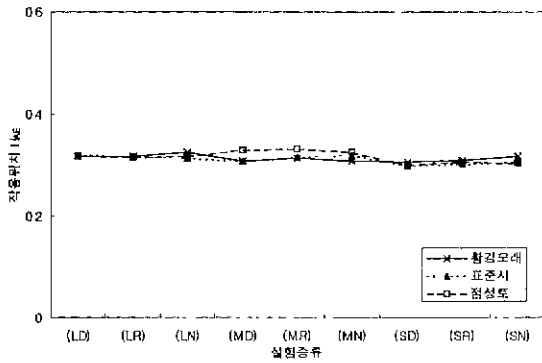


그림 18. 각 실험별 전도압 작용점 변화

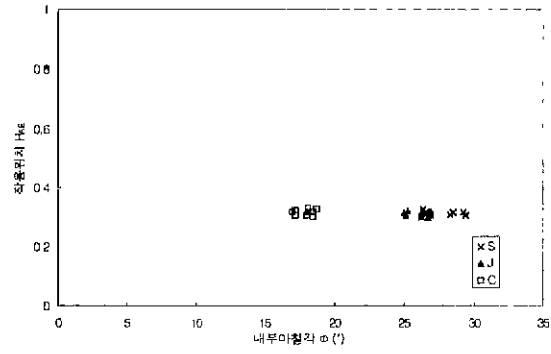


그림 19. 내부마찰각에 따른 전도압 작용점 변화

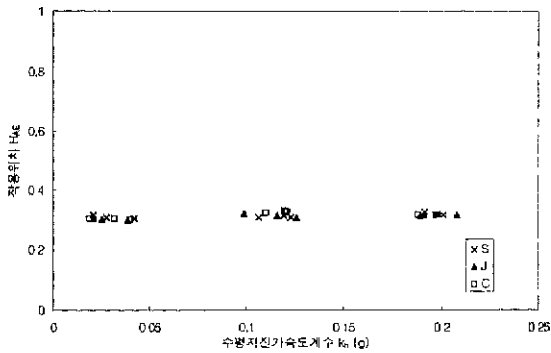


그림 20. 수평가속도계수에 따른 전도압 작용점 변화

이 실험종류별로 일정하며, 수평지진가속도계수의 증가에 따라 작용점의 위치가 미세하게 높아짐을 그림 20으로 알 수 있다.

4.6 수평지진가속도계수에 따른 토압증분

수평지진가속도계수에 따른 토압증분은 동적토압과 정적토압의 차로써 $\Delta P_{AE} = P_{AE} - P_A$ 로 표시할 수 있으며, 3

종류 뒷채움흙 각각에 대하여 수평지진가속도계수에 따른 토압증분은 그림 21~그림 23에 나타내었으며, 일반적으로 황강모래의 증분치가 가장 크고, 점성토가 가장 작다. 유한요소 해석에서는 주문진 표준모래에서진동다짐인 경우에 가장 크며, 유한요소 해석결과와 이론결과는 유사한 토압증분을 보여주고 있다.

황강모래나 표준사는 그림 21, 그림 22와 같이 실험치, 이론치, 유한요소 해석치가 유사한 추세곡선을 나타내고 있으나, 점성토의 경우 그림 23과 같이 추세곡선이 수평지진가속도계수가 증가하면서 실험치와 유한요소 해석치가 분산되는 경향을 보여주고 있다. 그림 21~그림 23을 이용하여 수평지진가속도계수의 변화에 따른 토압증분의 추세식을 추정하여 표 7에 나타내었으며, 실험에 의한 황강모래 토압증분식은 $\Delta P_{AE} = 4353.0k_h + 59.770$ 이고, 표준사는 $\Delta P_{AE} = 4379.8k_h + 19.643$ 이며, 점성토는 $\Delta P_{AE} = 3351.0k_h - 61.936$ 이다. 이상과 같이 추세곡선으로 추정시 점성토보다는 황강모래가 증분량이 커지고 있음을 알 수 있다.

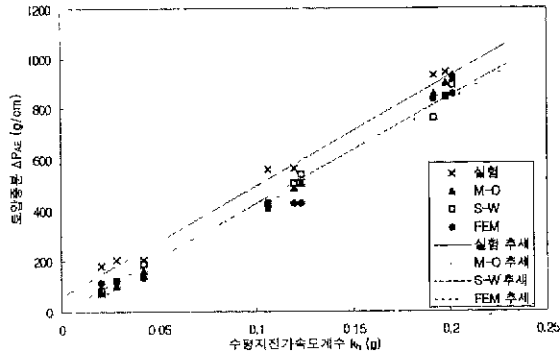


그림 21. 황강모래의 토압증분 추세

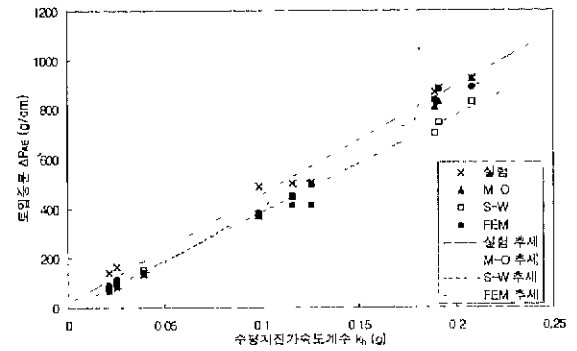


그림 22. 표준모래의 토압증분 추세

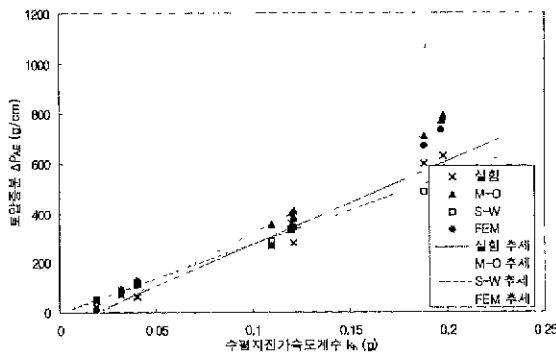


그림 23. 점성토의 토압증분 추세

5. 결론

본 연구는 동하중에 의한 토압의 증가를 분석하기 위한 실험을 실시하고, 여기서 측정된 실험치를 기준이론 및 유

표 7. 수평가속도계수에 따른 토압증분 추세식

토성		추세식
황강모래	실험	$\Delta P_{AE} = 4353.0k_h + 59.770$
	M-O	$\Delta P_{AE} = 4697.7k_h - 44.778$
	S-W	$\Delta P_{AE} = 4248.3k_h - 1.2380$
	해석	$\Delta P_{AE} = 4303.8k_h - 29.615$
표준사	실험	$\Delta P_{AE} = 4379.8k_h + 19.643$
	M-O	$\Delta P_{AE} = 4501.9k_h - 43.250$
	S-W	$\Delta P_{AE} = 3895.6k_h - 2.3769$
	해석	$\Delta P_{AE} = 4436.6k_h - 37.661$
점성토	실험	$\Delta P_{AE} = 3351.0k_h - 61.936$
	M-O	$\Delta P_{AE} = 4074.7k_h - 51.372$
	S-W	$\Delta P_{AE} = 2760.6k_h - 1.9921$
	해석	$\Delta P_{AE} = 4004.6k_h - 81.579$

한요소 해석결과와 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동하중에 의해 측정된 수평지진가속도계수는 병진거리가 길고, 입도분포가 좋은 황강모래에서 진동다짐한 경우에 최대로 나타났다.
- 2) 깊이별토압분포는 병진거리가 클수록, 다짐이 잘 될수록 크게 나타났고, 뒷채움흙의 종류별로는 황강모래, 표준사, 점성토 순으로 크게 나타났다. 그리고 실험에 의한 토압이 유한요소 해석결과보다 5~26%정도 크게 나타났다.
- 3) 전토압은 입도분포가 좋은 황강모래에서 가장 크게 나타나고, 표준사, 점성토 순이며, 병진거리가 길수록 45%정도, 진동다짐일수록 4%정도 크게 나타났다. 내부마찰각의 변화에 따라서는 내부마찰각이 커지면서 전 토압의 크기가 증가하는 것을 알 수 있었으며, 수평지진가속도계수가 0.1~0.15g에서 전토압의 증가가 두드러지게 나타남을 알 수 있었다. 수평지진가속도계수의 변화에 따라서는 황강모래와 표준사는 비슷한 경향을 나타내고 있지만, 점성토에서는 다소 차이를 보이고 있다.
- 4) 동적주동토압계수는 점성토, 표준사, 황강모래 순으로 크게 나타났으며, 병진거리가 길수록 40%정도, 강사일수록 크게 나타났다. 내부마찰각의 변화에 따른 동적주동토압계수는 내부마찰각이 커지면서 감소하는 것을 알 수 있으며, 수평지진가속도계수가 0.1~0.15g에서 크기가 증가하는 것을 알 수 있다.
- 5) 진동시 전토압의 작용점은 실험의 경우 이론과 유사한 0.33H 범위내에 존재했으며, 유한요소 해석치의 경우 0.36H 범위내에 있었다. 그리고, 다짐방법에 따른 차이

는 미소했지만, 병진거리가 길어지면서 다소 상승하는 경향을 나타냈다. 내부마찰각의 변화에 따른 작용위치는 큰 차이 없이 실험종류별로 유사하며, 수평지진가속도계수의 증가에 따라 작용점의 위치가 미세하게 높아짐을 알 수 있었다.

- 6) 수평지진가속도계수에 따른 토압증분은 상대밀도가 가장 높은 황강모래에서 가장 크고, 점성토가 가장 작게 나타났다. 증분추세경향은 황강모래나 표준사는 실험치, 이론치, 유한요소 해석치가 유사한 추세를 나타내고 있으나, 점성토의 경우 추세곡선이 수평지진가속도계수가 증가하면서 실험치와 유한요소 해석치가 분산되는 경향을 보여주고 있다. 수평지진가속도계수의 증가에 따른 토압증분의 추세는 1차 함수 관계임을 알 수 있다.

참고문헌

(접수일자 2000. 7. 19)

1 정성교(1989). "뒤틀림 다짐에 의한 토압", 서울대학교 박사학위 논문. pp.3-18

2. 채영수(1985), "벽체 변위에 따른 토류벽에 작용하는 토압", 고려대학교 박사학위 논문, p.88.
3. 한국지반공학회(1997). *진동 및 내진설계*, 지반공학(8). 구미서관, pp 244
4. Braja M.Das(1994), *Principle of Geotechnical Engineering*, PWS, Third Edition.
5. Coulomb, C. A.(1776). "Essai sur une Application des Regles de Maximis et Minimis a Quelques Problems de Statique, Relatifs a l'Architecture", *Memoires de l'Academie Royale pres Divers Savants*, Vol 7.
6. Mononobe, N.(1929). "Earthquake Proof Construction of Masonry Dams", *Proc. world engrg conf.*, Japan
7. Mononobe, N. and Matsuo, H.(1929), "On the Determination of Earth Pressures during Earthquakes", *Proceedings, World Engineering Congress*, Vol.9, p.176.
8. Okabe. S.(1924). "General Theory on Earth Pressure and Seismic Stability of Retainin Walls and Dams", *Jour. Japan Society of Civil Engineers*, Vol.6.
9. Okabe, S.(1926), "General Theory of Earth Pressure", *Journal of the Japan Society of Civil Engineering*. Vol. 12, No.1.