

## 二次元 地盤載荷 試驗裝置의 試作

朴 炳 基\*  
康 權 修\*\*

### 要 旨

軟弱地盤의 數值解析結果의 精度 확인과 기타 壓密試料의 제작 및 각종 軟弱地盤工法의 研究를 위해 2次元載荷試驗裝置의 개발이 시급한데 外國산일 경우 매우 高價이다. 따라서 國內 生産으로 外國산의 1/5의 欸으로 裝置를 개발하려고 한 것이다. 구조는 載荷틀과 荷重驅動裝置, 壓密裝置, 土壓 및 間隙水壓測定裝置 등으로 大別되는데 모두 國산으로 구입 또는 設計製作하여 만족할 만한 精度를 얻었다. 특히 土壓 및 間隙水壓計는 美製의 foil strain gage 만을 구입하여 나머지 裝置는 직접 設計製作한 것으로 성능시험 結果도 良好하였다.

앞으로 地盤數值解析結果의 精度 확인에 利用되고 기타 研究, 講義등에도 記錄裝置만 保有하고 있으면 700~800萬원으로 製作될 수 있을 것으로 기대된다.

### 1. 裝置開發의 目的과 必要性

土質工學에 있어서 最近의 두드러진 研究動向의 하나를 꼽을 때는 地盤舉動의 數值解析 또는 變形解析의 發達을 들 수 있다. 이와 같은 발달

의 배경은 高度의 電算機의 發展과 數值解析技法의 發展에 힘입어 地盤의 應力—變形 關係가 定量的으로 數值計算 됨으로써 事前에 變形이나 應力值의 豫測이 可能한 단계에 이르렀기 때문이다. 그러나 이와같은 數值實驗(simulation)의 結果는 實際地盤의 變形이나 應力과 얼마만큼 接近하고 있는가에 따라 그 實効性이 認定된다. 즉 實際에 가까운 精度를 높이기 위해서는 數值解析에 利用되는 흙의 構成式의 適正性和 함께 數值計算의 技法에 크게 依存하게 된다. 이와같은 研究는 現在 많은 進展을 보이고 있어 各種의 모델式이 提案되고 있으며 이를 利用하는 計算技法도 多様하게 發展되고 있으나 이들의 精度를 確認할 方法에 있어서는 막연하다고 할 수 있다. 물론 가장 正確하고도 根本的인 方法은 實際의 工事現場이나 또는 일부러 精度確認을 위해 造成하는 試驗盛土의 地반 거동과 比較하는 것이 가장 적합한 方法이다. 그러나 어떤 現場에서도 이와같은 現場 計測의 方法은 經費, 工事의 지연, 施工管理의 문제점 때문에 實施되지 않으며 試驗盛土는 그 자체가 研究를 위한 것이기 때문에 막대한 經費가 필요하다. 따라서 規模를 축소한 模型地盤에 대해서 그 自體를 對象으로 하여 數值實驗을 施行하여 여기서 精度를 확인하고 現場에의 適用性을 검토하는 中間的

本文은 1986年度 文敎部 자유과제 학술연구조성비(大韓土質工學會)에 의하여 研究되었음.

\* 正會員, 全南大學校 工科大學 教授

\*\* 正會員, 全南大學校 工科大學 助教

方法이 취해진다. 이와같은 觀點에서 볼 때 地盤載荷試驗裝置의 開發은 이 分野에서는 다른 力學試驗만큼이나 중요한 위치를 차지하게 된다. 이와같은 必要性 외에도 土質工學의 實驗에 있어서 必要한 壓密試料 또는 再生成 試料의 製作에도 이 裝置는 손쉽게 利用될 수 있다. 이와類似的한 規模의 載荷裝置를 外國에서는 製作販賣하고 있으나 그 購入價를 조사한 바로는 오늘의 시세로서 尙하 9萬\$ 以上이 소요된다. 이 裝置의 機構가 비교적 단순하고 操作法 역시 어렵지 않은 裝置인데 記錄裝置가 포함되어 있다고는 하지만 너무나 高價인 것이다. 따라서 1~2萬\$ 이면 充分한 記錄裝置를 제외하고 1萬\$ 水準으로 本 裝置를 國產化하는 데는 큰 意義가 있다고 판단하여 本 裝置의 試作을 企圖한 것이다.

그 結果는 計測器 (間隙水壓計, 土壓計)의 製作을 포함하여 거의 實用化 할 수 있다고 판단되며 앞으로 國產化나 또는 自家製作이 可能하다고 보고 있다.

## 2. 試驗裝置 設計概要

本 裝置는 二次元的으로 載荷되는 地盤이나 構造物을 대상으로 開發한다. 따라서 길이 方向의 地盤 또는 土質構造物의 한 斷面에 대한 變形舉動을 觀測 또는 測定하고 이때의 應力을 測定하며 필요에 따라 間隙水壓의 測定도 겸하도록 한다.

### 2.1 機能

- 1) 模型地盤의 2次元 載荷試驗 및 壓密試料의 製作
- 2) 載荷試驗에 있어서 應力, 變形制御試驗 可能
- 3) 載荷驅動裝置는 1mm/hour의 最低速度目標
- 4) 載荷驅動裝置의 移動可能 및 높이 조절 可能
- 5) 變形을 際外한 應力, 間隙水壓, 土壓 등의 測定 및 記錄의 自動화.
- 6) 完備한 水密性의 유지 및 側面摩擦輕減

### 2.2 諸元 및 概要

#### 1) 載荷틀(Fig. 1 참조)

模型土槽를 設置하고 載荷裝置를 裝着하는 載荷틀은 높이 196cm, 길이 218cm, 폭 40cm(바닥틀)의 鋼製 channel로서 볼트로 組立되어 있다. channel은 150×200×12mm의 斷面으로서 前面 三段 側面은 150×300×12mm의 channel로서 支柱역할을 한다. 中央段에 載荷裝置가 裝着되고 左右로 移動이 가능하며 바닥은 폭 40cm 두께 15mm의 鋼板을 固定시켜 土槽를 安定시키고 있다.

#### 2) 載荷裝置(Fig. 1 참조)

載荷裝置는 直徑 6cm, 길이 60cm, Pitch 3mm의 鋼材 shaft를 갖는 worm gear 機構로서 이 끝에 load cell과 載荷 piston이 附着되어 있으며 驅動은 1HP의 3相모터(V.S.M.S.D)에 의하여 regulator를 통해 worm gear로 直結되고 별도로 速度調節器에 의해 驅動速度가 調節되며 이 裝置는 固定나사를 풀면 左右로 手動으로 移動된다.

#### 3) 模型土槽(Fig. 1 참조)

높이 100cm, 길이 140cm, 내폭 25cm의 鋼材 및 鋼 channel로 構成되고 前面은 20mm의 아크릴라이트 透明板과 橫方向의 變形을 막기위한 井字型 補強鋼材로 되어 있다. 前面의 透明板 및 補強鋼材는 試料가 壓密이 된 뒤 分解할 수 있도록 볼트로 緊結되어 있고 水密性의 유지를 위하여 接合部는 rubber packing을 附着시켜 볼팅한다. 透明板은 試料에 설치한 표적(식용국수 등)과의 相對變位를 測定할 수 있도록 5cm 간격으로 格字形基準線이 刻印되어 있다. 壓密壓力을 가할때 土槽上端을 10mm 두께의 鐵板으로 密閉한다. 그리고 上下 側面에 drain cock를 두어 排水 또는 逆으로 背壓을 加할 수 있다(下段의 cock).

#### 4) 壓密裝置(Fig. 3 참조)

載荷試驗(2次元)을 시행할 때 非攪亂試料 狀態에서 上載荷重을 작용시켜야 하므로 模型土槽에서 소정의 壓密應力에 의해 壓密이 完了된 상태의 模型地盤을 만들어 내야한다. 따라서 模型土槽는 동시에 大型壓密裝置가 되어야 하므로

壓密試驗機와 똑같은 機構로 이루어진다. 즉 土槽의 下端에는 排水層(모래)을 깔고 바닥과 四面을 大型 filter paper로 싸아 그 안에 slurry 狀態의 粘土를 부어 넣는다. 粘土를 土槽높이의 90%까지 채운뒤 2~3日 放置해 두면 맑은물이 위로 올라오고 자중에 의해 어느정도 압밀이 되므로 그 위에 올라온 물을 배수시키고 四面의 filter paper와 연결되도록 上部에 filter paper를 깐다. 이 위에 上層 排水層을 設置하고 두꺼운 비닐類의 물주머니를 沈下에 따라 퍼질 수 있도록 접어서 설치하고 土槽뚜껑과 土槽本體를 볼트로 緊結시킨다. 따라서 뚜껑에는 水壓이 作用할 수 있도록 注入 cock가 설치되어 있고 이 물주머니에 水頭差로 인하여 발생되는 壓力水를 注入함으로써 균등한 水壓에 의해 土槽內的 粘土는 壓密이 進行된다. 이때 土槽의 上端部와 下端部에는 drain cock를 두어 압밀에 의한 排除水를 받아내거나 放流시킨다. 壓密壓力은 水頭 制御方式를 利用한다. 대략  $0.5\text{kg/cm}^2$ 의 壓力에서 1~2개월 이면 압밀이 끝나므로 뚜껑과 물주머니를 제거하면 임의 壓密狀態의 試料가 準備된다. 載荷試驗時에는 前面 觀測窓과 補強틀을 分解하여 filter paper를 떼어낸다. 載荷時 尺量 變形을 위해 透明한 실리콘 그리스를 얇게 바르고 土槽의 地盤에 變形追跡을 위한 표적을 설치한 후 觀測窓을 다시 結合한다.

#### 5) 計測裝置(Fig. 2 참조)

變形은 표적의 이동관찰에 의해 測定되지만 내부에서 發生하는 間隙水壓이나 임의 測定位置에서의 壓力測定은 計測器를 利用하지 않으면 안된다. 間隙水壓計 또는 壓力測定計는 strain gage를 利用하여 製作하기로 한다. 測定位置는 土槽의 背面에 일정간격(載荷部는 좁게 5cm, 其他 10cm)이 되게 左右上下로 土壓測定孔( $\phi=41.8$ ) 및 間隙水壓測定孔( $\phi=10$ )을 설치하여 여기에 삽입 裝置하여 測定한다.

間隙水壓計, 土壓計는 共通的으로 受壓面은 0.07mm 두께의 磷靑銅板을 직경 32mm로 잘라내어 그 背面에 350 $\Omega$  직경 15mm의 foil gage를 附着시킨다. (EA-06-455JB, Measurement Group Inc. U.S.A) (Fig. 4).

土壓計는 41.8mm의 測定孔에 끼울 수 있도록

受壓板을 보호하는 銅管에 裝着하여 記錄裝置에 連結하지만 間隙水壓計는 별도로 受壓板을 내장하도록 하고 測定孔( $\phi=10$ )에서 背後土를 screw로 직경 5mm, 길이 0.7cm를 조심스럽게 파내고 porous tip(金屬粉末燒成 filter, 직경 5mm, 길이 1cm, 0.7cm만 돌출)과 직경 2cm(土槽背面두께)의 銅管에 연결된 測定端을 삽입한다. 이 銅管은 受壓板을 감싸고 있는 cap(직경 약 4.2cm)의 중앙에 연결되며 설치할 때는 受壓板의 側面에서 空氣가 들어가지 않도록 증류수를 供給하는 cock를 통해 測定系가 完全히 充水된 狀態에서 설치하고 cock를 막으면 發生하는 間隙水는 porous tip을 통해 銅管을 거쳐 受壓板으로 壓力를 傳達한다. 記錄은 土壓計와 똑같이 別途의 記錄裝置에 foil gage의 lead 선에 의해 연결된다(Fig. 5).

#### 6) 記錄裝置

土壓計나 間隙水壓計에서 감지된 壓力은 受壓板에 전달되고 foil gage에 의해 전기저항으로 나타나 증폭을 거쳐 記錄裝置에 出力된다. 이 기록장치는 製作할 수 없으므로 기존 실험실에서 쓰이고 있는 static 또는 dynamic strainmecter에 연결하여 利用한다. 또는 X-Y recoder에도 연결이 가능하다.

### 3. 本體製作

#### 3.1 載荷틀(Fig. 1)

載荷틀은 channel 支柱와 3段的 각 2개의 channel 가로보로서 구성되고 바닥은 두꺼운 철판을 깐다.

支柱 channel	[300×90×12]	길이 196cm	2本
가로보 channel	2[300×90×12]	길이 218cm	6本
제하틀 下段 鋼板	pl. 400×10	길이 200cm	1장
볼트(고장력)	$\phi 20$	길이 40mm	20조

#### 3.2 載荷裝置(Fig. 1)

##### 1) 驅動裝置

軸荷重의 加壓을 위한 驅動裝置는 三相 1 마력 모터와 減速裝置인데 市販 國產品을 制用한다. 그러나 緩速載荷를 해야하기 때문에 軸荷重 驅動軸은 別途로 最低 1mm/hr 를 目標로 製作하여 減速裝置와 連結시킨다. 이 驅動裝置는 로라가 붙은 低板에 固定되어 있고 中段의 두 channel 을 上下에서 끼고 移動하는 移動臺로 되어 있다.

IHP 3相 모터	1 臺
減速裝置	1 臺
worm gear 減速裝置	1 式
移動臺 400×10pl. 길이 60cm	2 枚

2) 피스톤 載荷裝置(Fig. 1 참조)

軸荷重 worm gear 下段에는 나사로서 proving ring 이나 load cell 을 裝着한다. 현재 1ton 의 國產 load cell(마포정밀제품)을 구입하여 使用하고

있으며 여기에 피스톤이 連結된다. piston 自重을 감소시키기 위하여 아크릴棒을 使用한다.

load cell 1 ton	1 個
piston 아크릴棒 $\phi$ 60 길이 60cm	1 個

3.3 土槽(Fig. 1, Fig. 2)

높이 100cm, 길이 140cm, 내폭 25cm 의 本土槽는 다음과 같이 構成된다.

- 1) 側壁[250×100×15 길이 110cm] 2 枚
- 2) 背壁 pl.1100×1400×20(두께) 1 枚
- 3) 前面틀 앵글 100×100×15 길이 140cm 4 枚(上下 兩面)
- 4) 緊結틀 및 補強材
 

pl. 1400×1000×15	2 枚(上下)	} 틀
pl. 800×100×15	2 枚(左右)	

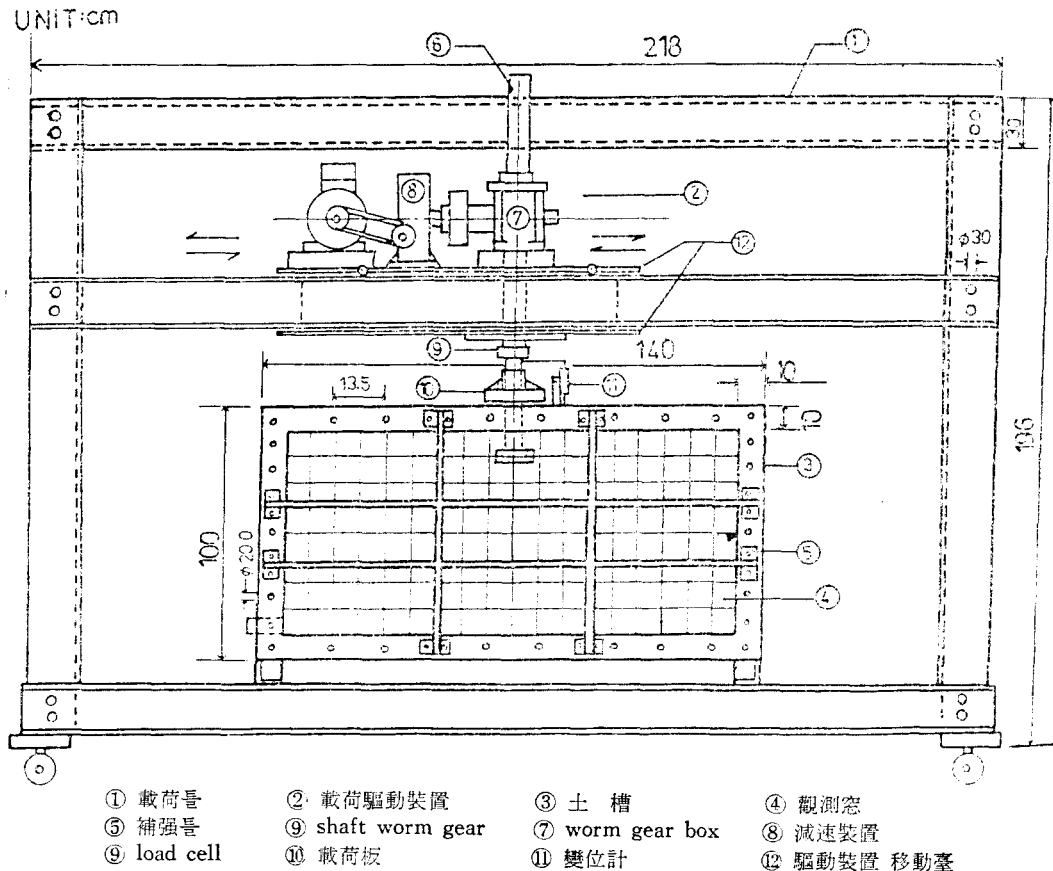


Fig. 1 二次元 載荷裝置 正面圖

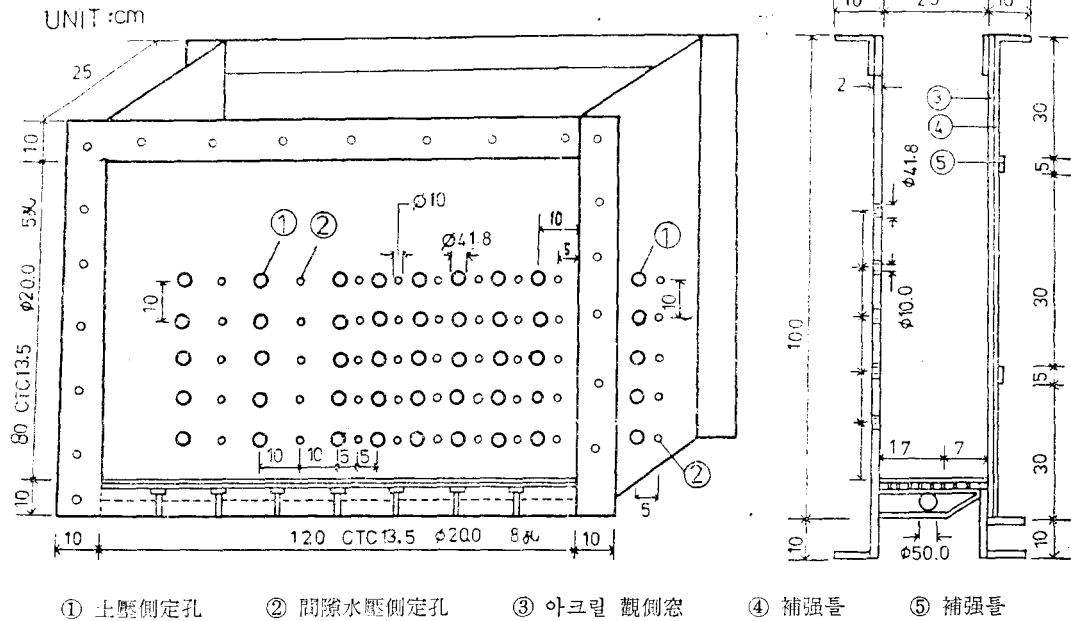


Fig. 2 土槽背面 및 側面

- 편강 1400×50×10 2枚(가로) } 보강재  
 // 1000×50×10 2枚(세로) }
- 5) 壓密時의 뚜껑 pl. 500×1400×10 1枚  
 6) 下部排水裝置  
 pl. 250×1200×10 1枚(多孔排水板)  
 T 30×90×10 15個(배수관지)  
 pl. 170×1400×10 1個(集水板)  
 90×1400×10 1個( // )
- 7) 아크릴 透視板 및 緊結볼트  
 1000×1400×20 1枚(觀側窓)  
 볼트  $\phi 20 \times 40$  46個

土槽는 前面 觀測窓이 分解되므로 bolt로 緊結하지만 그 외는 熔接을 한다.

8) 壓密荷重用 물주머니

水頭差를 利用하는 壓力水를 密閉한 土槽內에 설치한 이 물주머니에 의하여 壓密壓力를 발생케 한다. 壓密沈下量에 相應하여 물주머니는 壓力를 일정하게 유지한 채 沈下되어야 하므로 餘裕있게 접어야 되고 질기고 柔軟性이 요구된다. 보통 1mm 두께의 비닐시트나 방수천을 bellose 형으로 접어서 여유를 두고 cover plate와 접촉시켜 水密性이 유지 되도록 한다(Fig. 3).

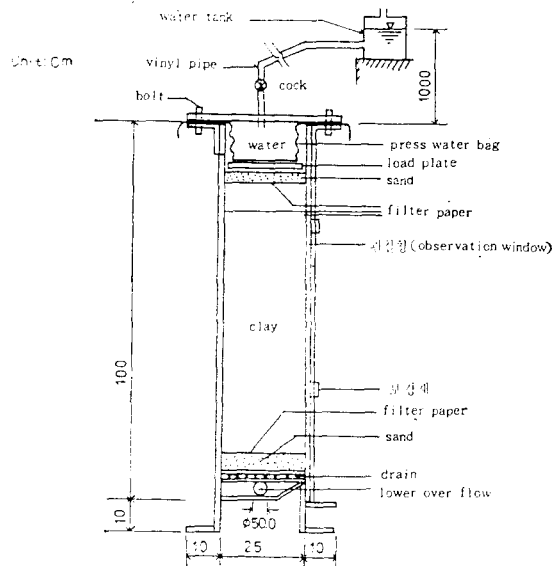


Fig. 3 壓密時의 土槽側面

이상의 구성을 圖面(正面)으로 나타내면 Fig. 1과 같다.

4. 計測裝置

載荷試驗에는 地盤의 變形과 應力 그리고 間隙水壓를 測定하여 數值解析의 結果와 比較하게

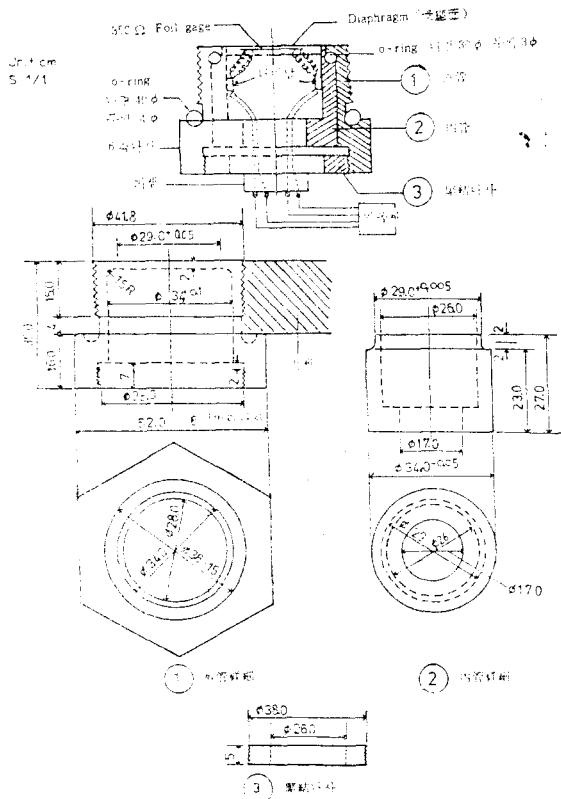


Fig. 4 土壓計

된다. 이 외에言及한 바와 같이變形은地盤에 설치한 표적과觀測窓의規準線과의相對變位를觀測함으로써測定할 수 있으나應力(土壓)과間隙水壓은測定計를利用하여自動記錄해야 한다. 이問題는 동시에土質力學에서必然的으로開發해야 할計測器로서外國輸入에 의존하지 않고國産化해야 할 과제의 하나이다.

따라서 최초의試作으로서 350Ω의 4 way foil gage 만을外國品(U.S.A)을 쓰고國産化하려고 한다. 基本的으로 이 두計測器는共通的으로應力計이므로基本構造는同一하게 하고測定目的에 따라 adapter 를 부쳐 土壓計에서間隙水壓計로 또는 그逆으로共用토록 계획한 것이다. 土壓計는 Fig. 4 에서처럼受壓板인磷靑銅(0.07mm) diaphragm 뒷면에 350Ω foil strain gage 를 첨부하여組立하는內管②와 이를 바깥에서 보호하며壁體에 끼게하는 6角 나사를 밀부분에 갖는外管①과受壓板에서感知한 diap-

hram의變形을 foil gage 에서電氣的으로變化시켜記錄計로 전달하는 리드線을 내장하는內管②를緊結하는 나사 ③으로構成된다. 이들 리드線은內管②에 끼이는 4way 자켓에 의해 기록계로 연결된다. foil gage 에서 나온 리드線은內管②의內部에 부착시킨 터미널에 연결固定되고 거기서 자켓에 이어진다. 土壓計는測定孔에壓密時에끼워 두었던 밀폐마개(φ=41.8)를 빼고 이를 삽입한 뒤 자켓에記錄計의電線을 연결하여初期値를 읽고載荷에 따른壓力의變化를測定한다. 間隙水壓計는 이土壓計에 cap 을 부착하여 Fig. 5 에서처럼注水를 하면서側壁의測定孔에 삽입한 porous tip 과 연결되어間

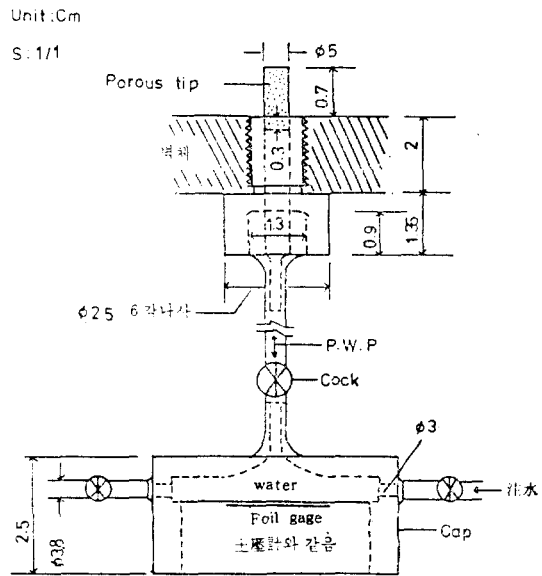


Fig. 5 間隙水壓計

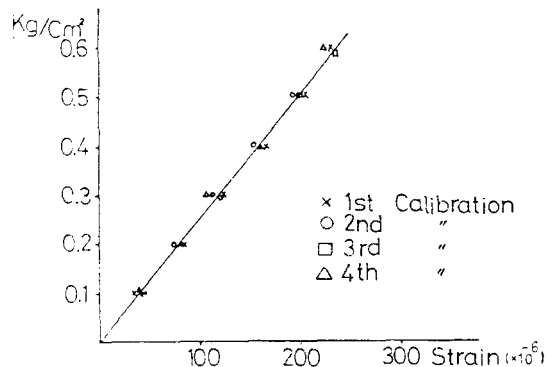


Fig. 6 Calibration of earth pressuremeter

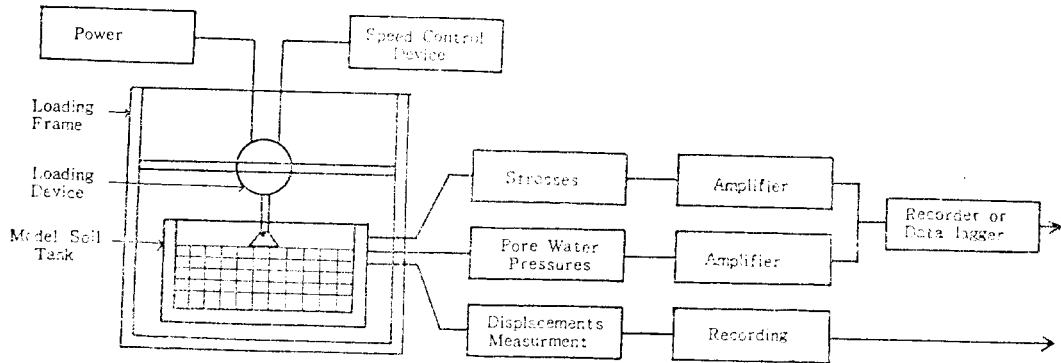


Fig. 7 Systematic diagram of loading apparatus

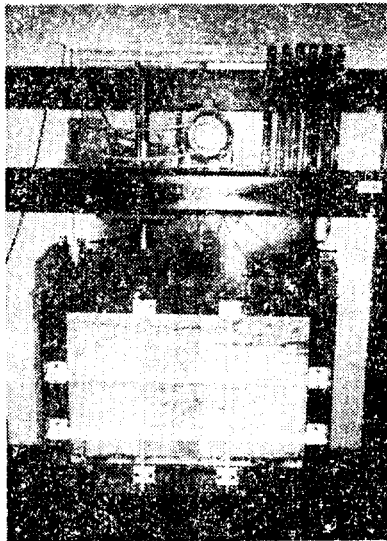


사진 1. 壓密中の 狀態



사진 3. 計測裝置(U-Cam 5A 에 計測器 연결하여 測定 값 記錄)

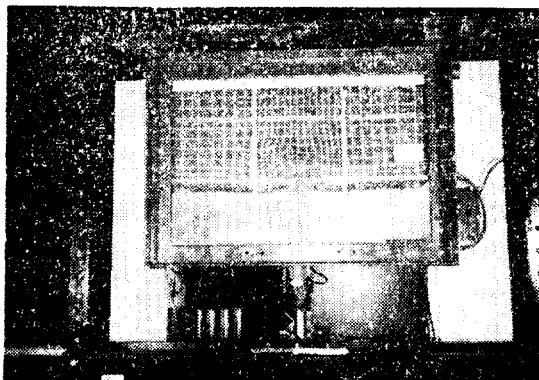


사진 2. 載荷試驗中

隙水壓을 測定한다. 이들 計測器의 성능 test 는 靜水壓을 利用하여 較正한 한 例를 Fig. 5 에 나타낸다.

1) 所要材料(土壓計 1개당)

- 외관; 銅棒 直徑 7cm, 길이 5cm 1매
- 내관 및 견결나사; 4cm, 길이 5cm 1매
- 磷靑銅板(0.07mm 두께); 4×4cm=12cm 2매
- foil gage(4 way) 및 터미널(350Ω) 1식
- 자켓(4尺) 1개

2) 間隙水壓計(土壓計에 첨가됨)

- cap; 銅棒 直徑 7cm, 길이 8cm 1개

tip ; porous tip,  $\phi 5 \times 10$  1개  
 銅棒 直徑 3cm 길이 5cm 1개  
 銅棒 直徑 2cm, 길이 5cm 1개  
 硬性비닐관 내경 3mm, 길이 30cm 1개  
 水密性無體積록크(프라스틱 정밀폼) 3개

가운데 static strainmeter 나 dynamic strainmeter 이면 가능하다. 그외에 data logger 나 기타 打點式記錄計 등 4way 용이면 어느 것이나 쓸 수 있다. 이들 測定系統圖를 Fig. 7 로 나타낸다.

### 6. 國產化에 따른 製作費

본 裝置를 製作하는데 있어서 소요되는 경비의 대요를 표 1 과 같이 예시한다.

### 5. 記錄裝置

記錄裝置는 기존 보유의 기기를 이용한다. 이

Table 1.

	품명	규격	단위	수량	단가	금액(원)
재 하 틀	ㄷ형 강	300× 90× 12× 196cm	kg	176	500	88,000
	"	360× 90× 12× 218cm	"	588	500	294,000
	강판	400× 10× 200cm	"	63	500	31,500
	볼트 공작비	$\phi 20 \times 4$ cm .	조 .	20 .	500 .	10,000 300,000
구 동 장 치	모속타기	VS 모터	대	1	450,000	450,000
	감속기	.	대	1	300,000	300,000
	원기세트	.	조	1	300,000	300,000
	속도조절기	정지, 전진, 후진	조	1	200,000	200,000
	공작비	.	.	.	.	700,000
토	ㄷ형 강판	250× 100× 15× 110cm	kg	116	500	58,000
	철판	1100× 1400× 20cm	"	240	500	120,000
	영글판	100× 100× 15× 140cm	"	131	500	65,500
	철판	1400× 100× 15cm	"	33	500	16,500
	"	860× 100× 15cm	"	19	500	9,500
	편강	1400× 50× 10cm	"	11	500	5,500
	"	1060× 50× 10cm	"	8	500	4,000
	철판	500× 1400× 10cm	"	55	500	27,500
	"	250× 1200× 10cm	"	24	500	12,000
	"	170× 1400× 10cm	"	19	500	9,500
조	"	90× 1400× 10cm	"	10	500	5,000
	T형	30× 90× 10cm	"	2	500	1,000
	아크릴판	1000× 1400× 20cm	조	1	280,000	280,000
	볼트	$\phi 20 \times 4$ cm	"	40	500	20,000
	동봉	$\phi 70 \times 8$ cm	개	50	5,000	250,000
	"	$\phi 30 \times 5$ cm	"	50	600	30,000
	"	$\phi 20 \times 5$ cm	"	50	300	15,000
공작비	.	.	.	.	1,000,000	
계 측 장 치 (20 개 제 작)	foil gage	350 $\Omega$ , $\phi 15$ (미체)	.	40	25 \$	800,000 (1,000 \$)
	동봉	$\phi 70 \times 8$ cm	"	20	5,000	100,000
	"	$\phi 30 \times 5$ cm	"	20	600	12,000
	"	$\phi 20 \times 5$ cm	"	20	300	6,000
	로드셀	1Ton, $\phi 6$ cm	"	1	750,000	750,000
공작비	.	.	.	.	1,000,000	



기	고 무 패 킹	1000×30000×	7cm	m	1	3,000	90,000
	도	4l		통	1	10,000	10,000
타	산 소	.		"	1	15,000	15,000
	아 세	.		"	1	5,000	5,000
	소 모	.		.	.	.	500,000
	공 작	.		.	.	.	500,000

계 8,390,500W

## 7. 맺는 말

數値解析 結果와 그 精度를 확인하기 위한 수단으로서 2次元模型試驗裝置를 試作하여 다음과 같은 結論에 이르렀다.

1) 裝置의 必要性和 重要性에 비하여 外國品은 너무 高價이므로 이를 國産化할 必要가 있다. 따라서 이와같은 觀點에서 外國産의 1/5 정도의 저렴한 값으로 製作할 수 있음을 확인 하였다.

2) 특히 本裝置의 가장 어려운 問題點인 計測 裝置인 土壓計 및 間隙水壓計의 測定部도 foil

gage 만 購入하면 손쉽게 製作할 수 있음을 확인 하였다.

3) 그외에 本裝置는 載荷試驗外에 壓密試料의 製作 기타 各種 工法의 模型試驗 實習, 教材用으로도 쓰일 뿐만 아니라 構造用 試驗裝置로도 쓰일 수 있다.

## 參 考 文 獻

1. 土質試驗法, 日本土質工學會編, 1980.
2. 스트레인게이지의 理論과 實際 日本オーム社, 1975.
3. Hanna, T.H., Field Instrumentation in Geotechnics, T.T.P. Co., 1985.