

壟土内の 應力分布에 關한 研究

A Study on the Soil Stress Distribution in Furrow Slice

李 基 明* · 李 錫 健* · 金 泰 漢*
Lee, Ki Myung · Lee, Suk Gun · Kim, Tae Han

Summary

In order to identify the stress distribution on the furrow slice a small soil bin instrumented with soil stress meters was designed and constructed. From a series of experiments conducted in the soil bin the following results were obtained.

- 1) Neither the cutting conditions nor the soil conditions affected the direction of the principal stress.
- 2) The magnitude of the principal stress increased as the tillage depth increased. However, no effects due to lift angles were shown on the magnitude of the principal stresses.
- 3) The maximum principal stress increased with increase of the moisture and clay contents in the soil.
- 4) In the clay soil, the maximum principal stresses were distributed uniformly over the tillage depth. However, as the sand content increased, the maximum principal stresses decreased gradually on the top layer so that the distribution over the tillage depth became a trapezoidal shape.

1. 緒 言

耕耘抵抗의 Mechanism解析이나 耕耘裝置의 改良 및 開發에 있어서 무엇보다도 重要한 것은 壟土内の 應力을 解析하는 것이다.

畝 切削에 따른 應力 解析에 關한 從來의 研研는 土壓計를 試作하여^{14), 15), 16)}, 土壤槽 實驗으로 畝의 内部應力을 解析한 研究^{7)~10), 16)~18)}나 壟土內 應力 解析에 有限要素法의 利用을 導入한 研究^{1), 6), 11), 12)} 등이 있었으며, 또 不連續體 Model에 의한 變形體解析法의 開發^{3)~5)}에 關한 研究도 있었다. 그러나 測定 Sensor의 問題 및 理論解析에 있어서 모든 境界 條件을 만족시켜야 하는 어려운 問題로 因해 壟土

内の 應力解析을 明確히 할 수 없었다.

本 研究는 最近에 開發된 袖小型의 土壓 Sensor 를 使用한 土壤應力計를 開發하여 切削條件 및 土壤條件에 따라서 壟土内の 應力分布을 解析하고 特別히 剪斷面에 沿한 法線應力分布의 特性을 밝혔다.

2. 實驗裝置 및 方法

가. 實驗裝置

實驗裝置는 Fig. 1과 같이 Frame ①에 搭載한 小型土壤槽 ②와 手動으로 土壤을 切削할 수 있도록 되어있는 平板 Blade ③으로 構成되어 있다. 土壤槽는 길이 80cm, 幅 15cm, 높이 25cm이며 前面과 Blade 側面을 分離할 수 있도록 되어 있다. 土壤槽

* 慶北大學校 農科大學 農工學科

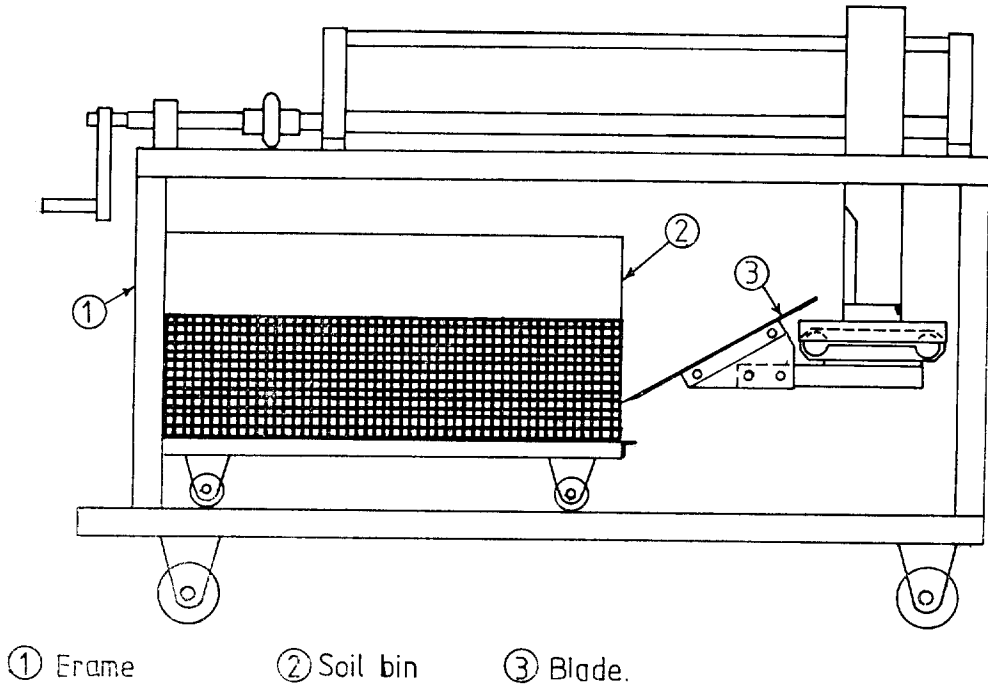


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental equipment

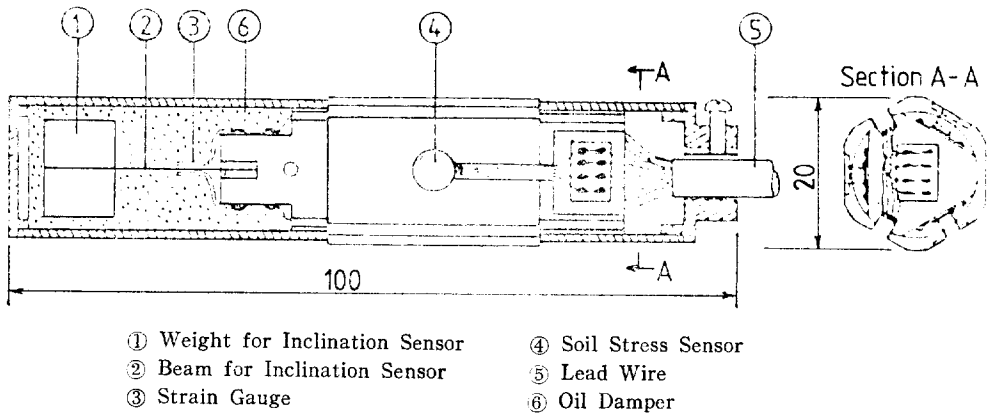


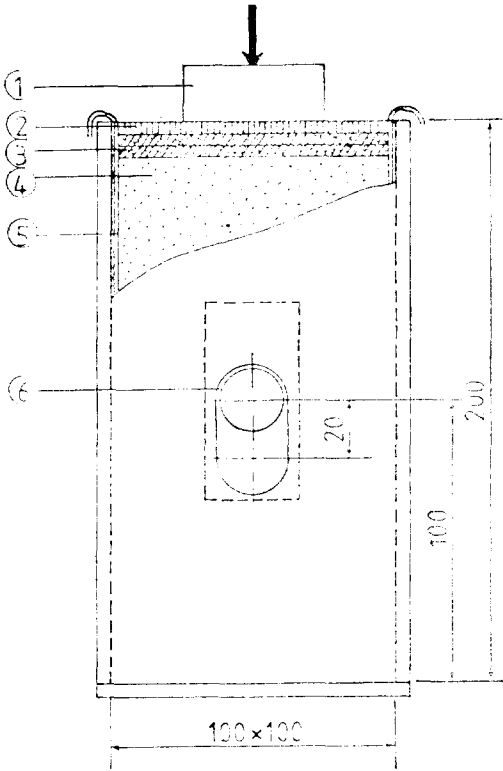
Fig. 2. Soil stress meter

의 內側面은 흙을 다져 넣은 後 側板을 떼어 낼 때 흙이 板에 附着하는 것을 막기 위하여 테프론 加工을 하였다. Blade는 幅이 150mm이고 切削角은 30°와 45°의 2種類를 使用했다. 그 外, Blade의 變位를 測定하기 위하여 Lead screw(Pitch 6mm)의 回轉數을 記錄할 수 있도록 하였다.

나. 土壤應力計

흙의 內部應力을 測定하기 위한 土壤應力計는 지

금까지의 試作研究 結果^{2), 14), 15), 16)}를 參考로 하여 Fig. 2와 같은 構造의 것을 製作하여 使用했다. 이것은 主應力의 크기와 方向을 測定하기 위하여 直徑 6mm의 土壓 Sensor(Kyowa PS-2KA)④를 120° 간격으로, 3개를 1組로 하여 附着했다. 또 應力計가 土壤의 切削變形에 따라 回轉하기 때문에 그 回轉角을 測定하기 위하여 외팔보(Cantilever)式의 傾斜 Sensor(Weight ①, Beam ②, Strain gauge ③으로 構成)를 附着했다. 傾斜 Sensor에는 Beam의 固有



- ① Loading Plate ④ Soil
- ② Press Plate ⑤ Pory Film
- ③ Rubber Plate ⑥ Soil Stress meter

Fig. 3. Experimental equipment for the calibration of soil stress meter

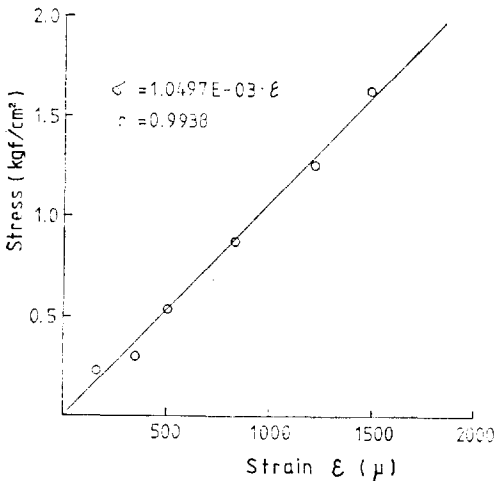


Fig. 4. Calibration curve of soil stress meter A (Sensor A-1)

振動의 影響을 줄일 目的으로 sensor 주위에 Oil damper를 넣어 처리했다.

土壤應力計는 本實驗을 위하여 製作한 것으로 Calibration하여 使用했다. 土壓 Sensor의 Calibration은 Fig.3과 같이 100mm×100mm의 정사각형 斷面에 높이 200mm의 鋼材 Mold를 써서 側板에 긴 타원형의 구멍(應力計의 침하를 考慮하여 上下로 긴 구멍)을 뚫어 1개의 土壓 Sensor가 最上(鉛直上)에 位置하도록 應力計를 挿入하고 흙을 넣어 그 最上部 Sensor의 Calibration을 遂行하였다. 투입한 흙은 土壤 粒子의 直徑이 土壓 Sensor 直徑(6mm)의 20%이내가 되도록하여 흙의 粒徑에 의한 誤差⁽⁴⁾를 防止했다. 또 金屬(Mold 側壁)과 흙과의 摩擦을 막기 위하여 Mold壁에 2重의 폴리 필름을 넣어 그 中間에 윤활제(Grease)를 발라 實驗을 했다. Calibration 實驗時, 荷重은 油壓式 壓縮試驗機를 使用하여 Load cell로 測定했다.

Fig. 4는 以上의 方法으로 行한 Calibration 實驗에서 얻어진 土壓 Sensor의 Calibration 曲線의 1例를 나타낸 것이다. 全 土壓 Sensor의 Calibration 曲線은 相關係數가 0.99를 넘는 좋은 直線性을 보였다.

傾斜 Sensor의 Calibration은 土壓 Sensor A-1이 最上部에 位置하는 곳으로부터 土壤應力計의 回轉角 φ(Lead 線을 正面으로 했을 때의 位置에서 時計方向을 正, 反時計 方向을 負로 했음)를 變化

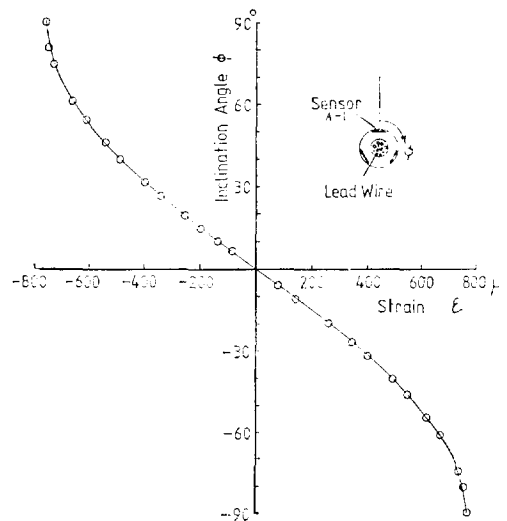


Fig. 5. Calibration curve of soil stress meter A (Inclination sensor As)

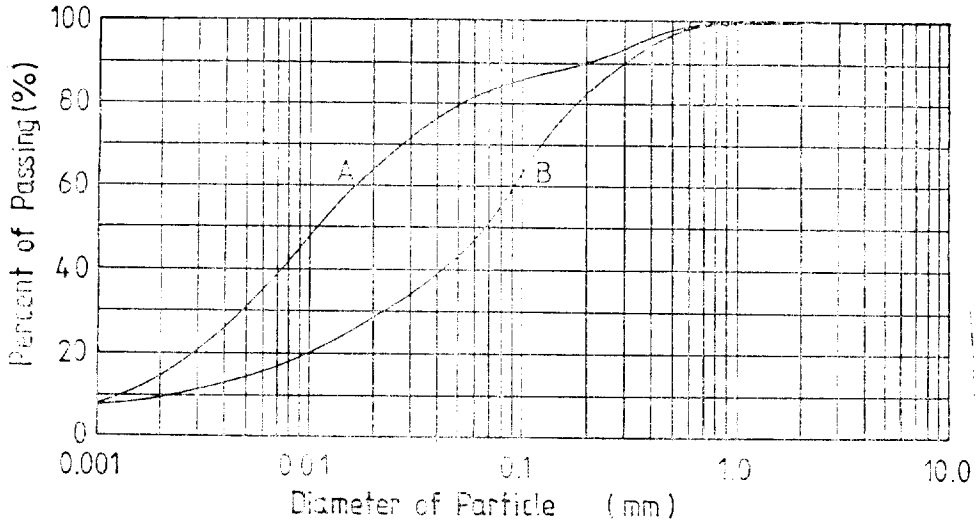


Fig. 6. Grain size accumulation curve of the test soil

0°~±90°)시키면서 行했다. 土壤應力計의 傾斜 Sensor의 Calibration 曲線은 Fig.5와 같다. 그림 5에서 보는 바와 같이 흙의 切削實驗에서 나타나는 傾斜角의 範圍(0°~30°)에서는 거의 直線으로 되어 있다.

이번에 製作 使用한 土壤應力計는 3個이며 그 Calibration 曲線은 생략한다.

다. 供試土

實驗에는 Fig.6과 같은 粒徑分布와 Table 1과 같은 物理性을 가진 2種類(粘土分이 많은 土壤 A와 모래分이 많은 土壤B)의 土壤을 使用했다.

Table 1. Physical properties of the test soil

Soil		A	B
Item			
Soil Texture*	Clay	15.0%	9.0%
	Silt	48.5 "	19.5 "
	Fine Sand	26.5 "	54.0 "
	Coarse Sand	10.0 "	17.5 "
Classification*	Silt Loam(SiL)	Sandy Loam(SL)	
Plastic Limit	28.1%	20.9%	
Liquid Limit	46.1	29.5	
Plastic Index	18.0	8.6	
Specific Gravity	2.692	2.714	

* : by International System

라. 實驗方法

實驗은 土壤, 含水化등 土壤條件과 耕深, 切削角 등 切削條件을 Table 2와 같이하여 各 條件別로 纏土內의 應力分布를 測定 하였다. 測定은 土壤槽의 右側端(Blade側)으로부터 40cm 떨어진 곳에서 Blade의 進行方向에 直角으로 3개의 土壓 Sensor, A-1, B-1, C-1가 最上部(鉛直上)에 오도록 깊이별 (Blade 先端 水平面으로부터 上方으로 10mm, 45mm, 80mm)로 3點이 土壤應力計를 埋設 하였다. 흙을 다져 넣은 後 土壤槽의 前面과 Blade側面 板을 떼어 내고 土壤應力計가 埋設된 3個定點에 Blade가 接近 하며 흙을 切削할 때 各 瞬間에 있어서 3個定點의 應力을 Blade 先端과 土壤應力計의 埋設點과의 相對距離에 따른 纏土內의 應力으로 하여 測定 했다.

Table2. Experimental conditions

Item	Experimental condition	Soil classification	Moisture content (%)	Depth of tillage (mm)	Lift angle (°)
a		Sandy Loam	21.0	50	30
b		"	21.0	70	30
c		"	21.0	100	30
d		"	21.0	100	45
e		"	18.3	100	30
f		Silt Loam	27.4	100	30

3. 實驗結果 및 考察

土壤應力計는 前述한 바와 같이 120° 間隔으로 土壓 Sensor가 附着되어 있으며, 그 土壓 Sensor의 測定值($\sigma_\alpha, \sigma_\beta, \sigma_\gamma$)와 鉛直軸, 主應力軸과의 關係는 Fig.7과 같고, 測定值와 Mohr圓과의 關係는 Fig.8과 같다. 이 두 關係로부터 主應力의 크기와 方向을 결정하기 위하여 다음 式¹⁴⁾을 利用하였다.

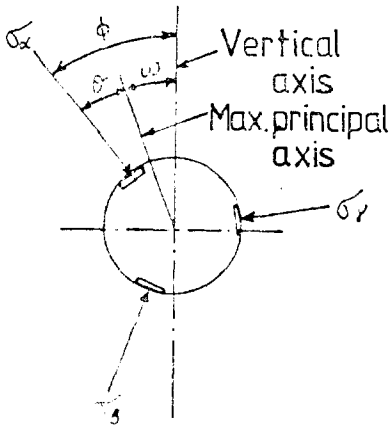


Fig. 7. Schematic diagram of soil sensor arrangement

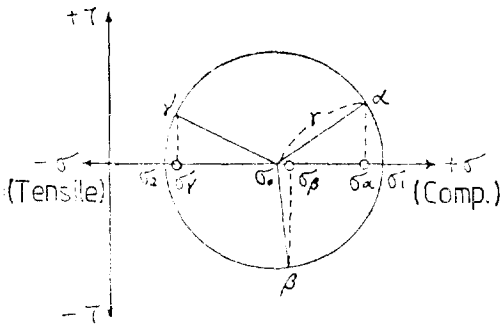


Fig. 8. Mohr's circle representation of measured stresses

- 最大 主應力 $\sigma_1 = \sigma_0 + r$(1)
- 最小 主應力 $\sigma_2 = \sigma_0 - r$(2)
- 主應力 方向 $\omega = \phi - \theta$ (3)

여기서

$$\sigma_0 = \frac{1}{3}(\sigma_\alpha + \sigma_\beta + \sigma_\gamma)$$

$$r = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \sqrt{(\sigma_\alpha - \sigma_0)^2 + (\sigma_\beta - \sigma_0)^2 + (\sigma_\gamma - \sigma_0)^2}$$

$$\theta = \begin{cases} \sigma_\alpha - \sigma_0, \geq 0 \text{ 일 때} \\ \frac{1}{2} \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{3}r} (\sigma_\beta - \sigma_\gamma) \\ \sigma_\alpha - \sigma_0, < 0 \text{ 일 때} \\ 90 - \frac{1}{2} \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{3}r} (\sigma_\beta - \sigma_\gamma) \end{cases}$$

式中 ϕ 는 土壤應力計의 回轉에 의한 傾斜角이며 傾斜 Sensor에 의하여 測定한 結果를 使用했다. 이번 에 開發하여 使用한 土壤應力計는 直徑이 20mm로 120° 間隔의 上下 Sensor의 距離 17mm의 같은 一點의 點으로 使用했기 때문에 어느 程度의 誤差는 可할 수 없다고 생각된다.

Fig. 9는 實驗條件別 遷土의 主應力分布를 나타 내는 圖이다. (Tens. Stress, Com. Stress)

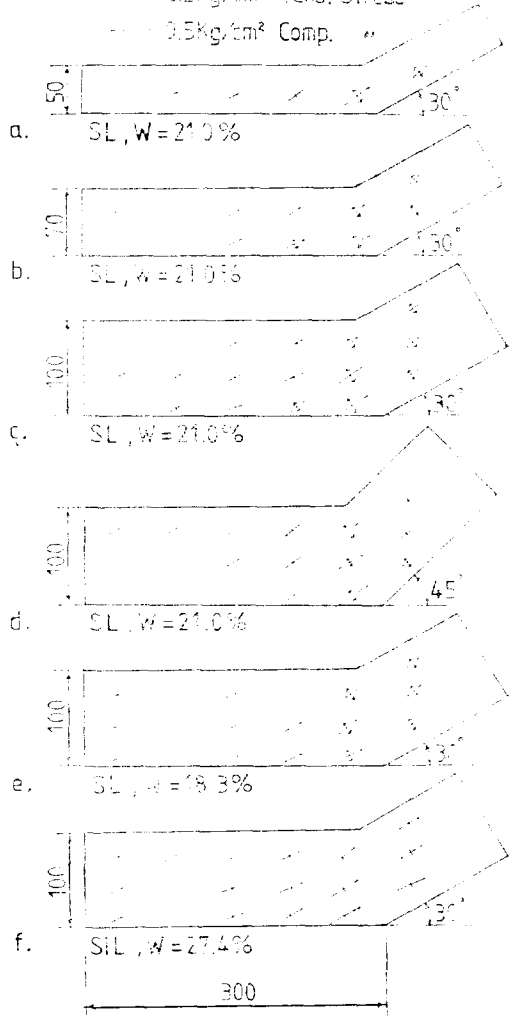


Fig. 9. Distribution of the principal stress in furrow slices

낸 것이다. 切削條件(耕深, 切削角)에 따른 主應力 分布의 比較는 Fig. 9의 a~d에 나타냈다. 切削條件의 變化에 따른 主應力의 方向은 거의 同一했다. 土壤條件(土壤種類, 水分含量)에 따른 主應力 分布의 比較는 Fig. 9의 c, e, f로 나타냈다. 主應力의 方向은 土壤條件에 相關없이 거의 同一했다. 이와같이 主應力의 方向은 切削條件 및 土壤條件에 關係 없음을 알았다.

切削條件에 따른 主應力의 크기는 耕深이 클수록 最大 主應力이 커지는 傾向이 보이나 切削角의 變化에는 影響이 나타나지 않았다. 土壤條件에 따른 主應力의 크기는 土壤水分含量이 적어질수록 最大 主應力이 작아지고, 粘土分이 많은 흙일수록 最大 主應力이 커지는 傾向이 보였다.

上層과 下層의 最大 主應力 分布는 粘土分이 많은 흙의 경우(Fig.9의 f) 上下가 같아 지고 모래分이 많은 흙의 경우(Fig.9의 a~e) 上層이 下層보다 작아지는 傾向이 나타났다. 이것으로부터 흙의 切削時 剪斷面上에서 생기는 最大 主應力의 分布를 Fig. 10과 같이 Model化할 수 있다. 즉 粘土成分이 많은 흙의 경우 σ_b 가 σ_a 와 같아지고, 모래成分이 많은 흙의 경우 σ_b 가 0에 가까워진다. 이러한 事實은 모래와 Loam을 사용한 畑村等(1975)¹⁰⁾의 研究에서도 報告된 바 있다. 以上과 같이 흙의 切削條件 및 土壤條件은 主應力의 크기 및 剪斷面上에서의 分布에 影響을 미치는 것을 알았다.

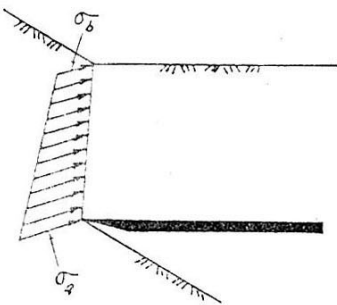


Fig. 10. Distribution of maximum principal stresses over the shear plane of soil slice

4. 摘要

耕耘時 土壤條件 및 切削條件에 따른 壚土內의

應力分布을 把握한 目的으로 土壤應力計를 試作하여 小型土壤槽를 使用한 實驗에서 얻어진 結果를 要約하던 다음과 같다.

가. 切削條件 및 土壤條件은 主應力의 方向에 影響을 미치지 않는다.

나. 切削條件에 따른 主應力의 크기는 耕深이 클수록 最大 主應力이 增大하는 傾向이 있으나 切削角의 變化에는 그 影響이 나타나지 않았다.

다. 土壤條件에 따른 主應力의 크기는 土壤水分含量이 많아질수록, 粘土分이 많을수록 最大 主應力이 增大하는 傾向이 있다.

라. 剪斷面上에서의 應力分布는 모래 成分이 많은 土壤일수록 上層의 應力이 0에 接近하고 粘土成分이 많은 土壤일수록 上層의 應力이 增加하여 上下層의 應力이 같아진다.

參 考 文 獻

1. 上野正實, 外 3人, 1980. 有限要素法による土壤抵抗の解析, 日本農機誌 42 (3) : 329—334.
2. 竹內孝次, 外 3人, 1978. 建設機械が土かう受ける應力の檢出器の開發, 日本機械論 44 (381) : 1778—1788.
3. 山本愷, 1978. 不連續體モデルによる變形體の解析—不連續體モデル (II)의 微小變形における性質一, 日本農機誌 40 (1) : 11—19.
4. 山本愷, 1978. 不連續體モデルによる變形體の解析—不連續體モデル (I)의 微小變形における性質一, 日本農機誌 39(4) : 433—438.
5. 山本愷. 1977. 不連續體モデルによる變形體の解析—不連續體モデル及び基礎方程式一, 日本農機誌 39 (3) : 279—285.
6. Yong, R.N. and A.W. Hanna. 1977. Finite Element Analysis of Plane Soil Cutting. J. Terr. 14(3) : 103—125.
7. 畑村洋太郎, 千々岩健兒. 1976. 土の切削機構の解明(第5報), 日本機械論 42 (359) : 2258—2268.
8. 畑村洋太郎, 千々岩健兒. 1976. 土の切削機構の解明(第4報), 日本機械論 42 (357) : 1606—1613.
9. 畑村洋太郎, 千々岩健兒. 1976. 土の切削機構の解明(第3報), 日本機械論 42 (355) : 970—980.
10. 畑村洋太郎, 千々岩健兒. 1975. 土の切削機構

- の解明(第2報), 日本機械論 41 (349): 2749—2759.
11. Kitani, O. 1974. Entwicklung eines Computerprogramms zur Berechnung sich verfestigender Werkstoffe mit Hilfe des Finite-Elemente-Verfahrens. 三重大學農學部學術報告 47: 335—352.
 12. 畑村洋太郎, 千々岩健兒. 1974. 土の切削機構の解明(第1報), 日本機械論 40 (338): 2945—2955.
 13. 川本肱方, 1971. 土と岩の問題における有限要素法の適用, 日本材料 20 (209): 209—226.
 14. 千々岩健兒, 畑村洋太郎. 1971. 土および粉粒體用小形測定器の開発, 日本機械誌 74(631): 923—933.
 15. 木谷收. 1965. 各種耕耘裝置比較のための基礎的研究(第7報), 日本農機誌 27(1): 24—27.
 16. 木谷收. 1965. 各種耕耘裝置比較のための基礎的研究(第6報), 日本農機誌 26(4): 213—217
 17. 木谷收. 1964. 各種耕耘裝置比較のための基礎的研究(第5報), 日本農機誌 25 (4): 209—213.
 18. 木谷收. 1964. 各種耕耘裝置比較のための基礎的研究(第4報), 日本農機誌 25 (4): 203—208.
 19. 木谷收. 1963. 各種耕耘裝置比較のための基礎的研究(第2報), 日本農機誌 24 (4): 163—170.



學位取得

姓 名: 李 基 明
生 年 月 日: 1945年 1月 12日
勤 務 處: 慶北大學校 農科大學 農工學科
取 得 學 位 名: 農學博士
學 位 授 與 大 學: 東京大學(日本)
學 位 取 得 年 月 日: 1982年 9月 6日
學 位 論 文: 振動耕うんの自動制御に關する基礎研究