

地盤과 構造物 사이의 相互作用을 考慮한 農業用 사이로의 解析에 관한 研究 (IV)

— 第 4 報 慣行設計法과의 比較 —

An Analysis of the Farm Silo Supported by Ground

曹 鎮 久* · 趙 顯 榮**
Cho, Jin Goo · Cho, Hyun Young

Summary

This study was carried out to investigate the applicability of the conventional design method for ground supported circular cylindrical shell structures.

For this purpose, the ensiled farm silo was adopted as a model structures.

Herein, the conventional design method was based on the assumption that such structures are clamped at the bottom edges or the ground pressure is independent of the deflection at the surface.

In the present paper, the applicability of above assumption was checked out by comparison with an exact method considering soil-structure interaction.

Some results of numerical calculation show us :

When the ground is very hard, for example Winkler's constant k is larger than $100 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$, or the bottom plate of structures has a infinitely stiffness, for example the bottom plate thickness is larger than 100 cm , the sectional forces, obtained from the conventional method at any wall of structures resting on an elastic foundation, can used for design purpose.

Therefore, if the above condition is satisfied then the conventional assumptions can be justified for the design purpose.

In this case, the assumption that such structures are fixed at the lower edges was more realistic than the assumption that the reaction pressure acting on structures is uniformly distributed since the accuracy of results of the analysis by the former assumption was higher than that obtained from the latter assumption.

But the sectional forces in the bottom plate resting on ground directly could not be evaluate correctly by the conventional method.

* 全南大學校 農科大學

** 釜山大學校 工科大學

I. 序 論

地盤上에 놓이는 構造物의 設計에 있어서 地盤-構造物 사이의 相互作用의 問題는 重要한 課題의 하나이다. 最近 컴퓨터의 發展과 數值解析法의 開發에 따라 複雜한 構造物의 解析과 設計가 可能하게 되었다. 構成方程式 分野의 最近의 研究들로 인하여 可能한限 正確하게 地盤의 學動을 記述할 수 있는 많은 地盤模型이 提案 되었다. 지금까지의 研究結果를 綜合하여 보면 彈性地盤의 處理는 地盤을 Winkler 基礎로 假定하는 경우와 Boussinesq 基礎로 假定하는 경우로 大別할 수 있다.

Winkler 基礎는 地盤을 스프링의 集合으로 考慮하므로써 地盤 自體가 갖는 荷重 分散能力을 無視하는 反面에 Boussinesq 基礎는 地盤의 荷重 分散能力을 考慮하는 것이다. 한편 地盤上에 놓이는 構造物의 解析에 대한 지금까지의 보편적인 方法은 地盤變形을 無視하고 즉 地盤을 堅固한 것으로 假定하고 構造物의 下端의 回轉이 固定, 半固定 또는 힌지라고 假定하거나 아니면 地盤上의 構造物의 底版이 無限한 剛性을 갖는다는 假定下에 地盤反력과 變形은 均等하게 일어난다고 生覺하고 解析을 한다. 본 研究은 이러한 慣行的인 設計方法의 適用性을 알아 보는데 그 目的이 있다.

II. 解析方法

1. 基本假定

가. 地盤上에 놓인 構造物에 생기는 反力強度는 均等하게 생긴다. (경우 I)

나. 地盤을 堅固한 것으로 보고 構造物의 下端이 固定되었다. (경우 II)

위와같은 假定은 實際의은 아니지만 지금까지의 보편적인 設計方法이기 때문에 이의 適用性을 알아 보기 위하여 이러한 假定이 設定되었으면 얻어진 結果는 全部 文獻(21)의 것과 比較되었다.

위와같은 假定의 導入을 除外하고는 使用된 模型 및 解析節次는 文獻(19)와 同一하다.

2. 프로그램의 構成

構造物의 解析을 위한 프로그램의 全體的인 흐

름도는 文獻(19)와 同一하다. 다만 慣行的인 設計方法-여기서 慣行的인 方法이라 함은 地盤反력이 均等하다는 假定에 의거 解析하는 方法과 地盤이 堅固하다고 假定하여 構造物의 下端을 固定되었다고 보고 解析하는 方法을 말한다 에 의한 解析을 할 수 있도록 하기 위하여 筆者¹⁹⁾ 들이 開發한 바 있는 既存의 프로그램을 修正하여 使用하였다.

III. 解析例 및 考察

1. 모델 構造物

모델 構造物로서는 Fig. 1과 같은 軸 높이 16 m, 直徑 6 m, 底版直徑 9 m, 底版두께 20~150 cm 되는 農業用 사이로에 사이레이지가 充填되어 있으며 이 때 사이로의 底版과 地盤과의 接觸部에 생기는 地盤反력이 均等한 경우와 사이로 壁體의 下端이 固定된 경우를 解析하였으며 이러한 모든 解析結果는 文獻(21)의 스프링에 의해서 支持된 경우의 結果와 比較되었다. 물론 底版두께 100cm 및 150cm는 實際의인 設計值數는 아니지만 底版이 無限한 剛性을 갖는다는 既存의 假定을 檢證하기 위해서 取해 졌다.

要素의 分割은 文獻(20)과 同一하다.

計算된 結果를 檢討하면 다음과 같다.

底版의 두께에 따른 사이로 壁體에서의 圓周方向應力의 變化를 比較圖示하면 Fig. 2 및 Fig. 3과 같으며 또한 사이로 壁體의 몇 개소에서의 圓周方向應力의 값을 下端固定의 경우를 基準値로 하여 比較하면 Table-1과 같다.

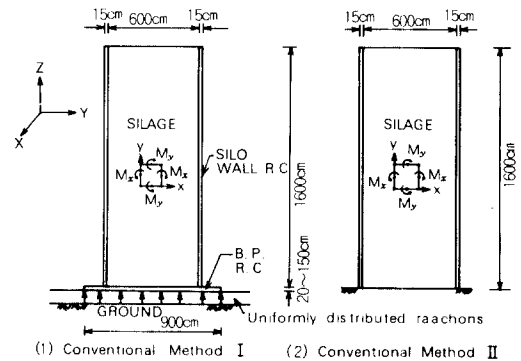


Fig. 1. Farm silo on an elastic foundation.

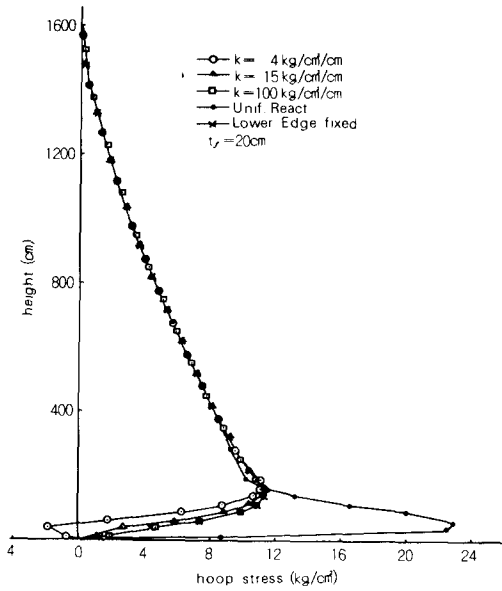


Fig. 2(a). Hoop-stress variation along height in silo wall (bottom plate thickness = 20cm).

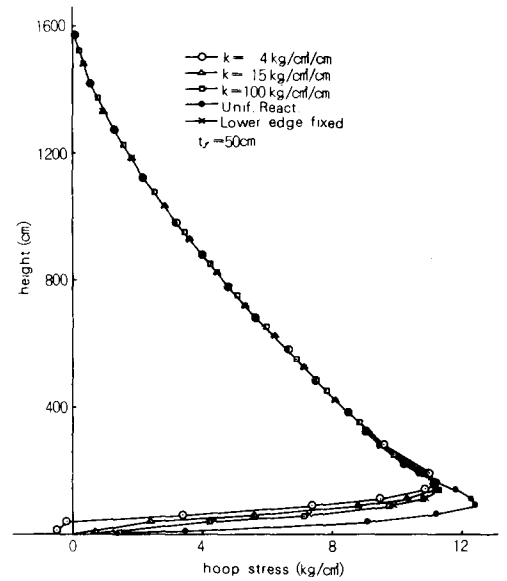


Fig. 2(c). Hoop-stress variation along height in silo wall (bottom plate thickness = 50cm).

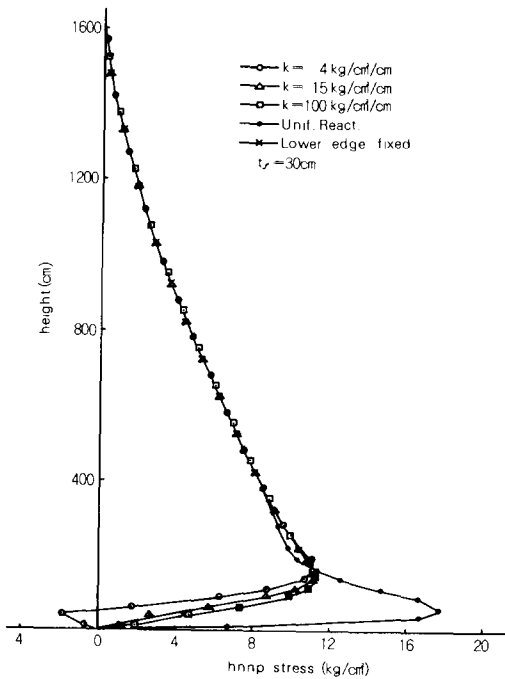


Fig. 2(b). Hoop-stress variation along height in silo wall (bottom plate thickness = 30cm).

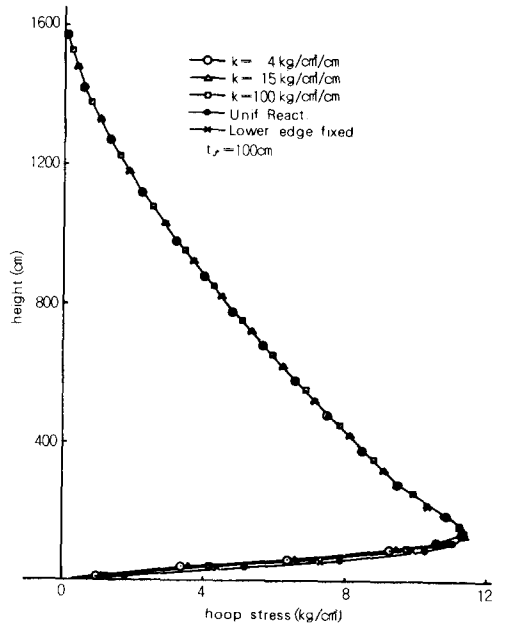


Fig. 2(d). Hoop-stress variation along height in silo wall (bottom plate thickness = 100cm).

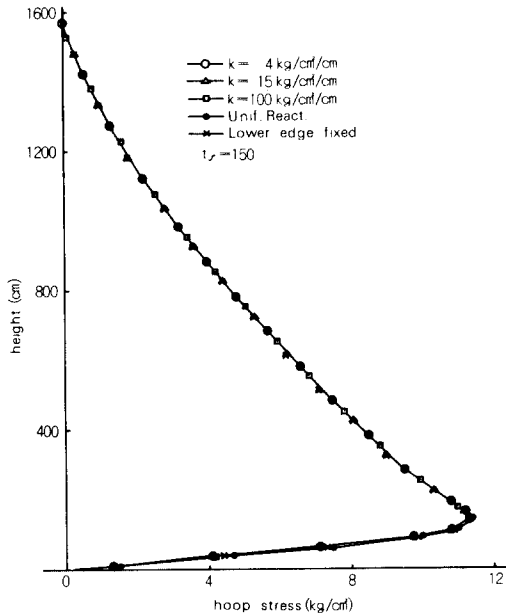


Fig. 2(e). Hoop-stress variation along height in silo wall (bottom plate thickness=150cm).

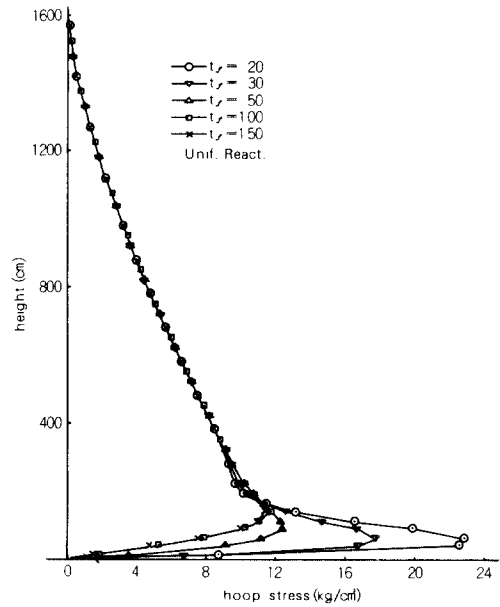


Fig. 3. Hoop-stress variation along height for various bottom plate thickness.

Table-1. Comparison of hoop stresses.

Dist. from lower	K	t _r	20(cm)	30(cm)	50(cm)	100(cm)	150(cm)
			기 준 치	9.83kg/cm ²	9.83kg/cm ²	9.83kg/cm ²	9.83kg/cm ²
90(cm)	4 kg/cm ² /cm		63.5%	66.7%	74.7%	94.4%	98.3%
	15 "		89.4%	87.9%	88.9%	95.7%	98.5%
	100 "		100.4%	98.8%	98.6%	98.6%	99.2%
140(cm)	기 준 치		11.30kg/cm ²	11.30kg/cm ²	11.30kg/cm ²	11.30kg/cm ²	11.30kg/cm ²
	4 kg/cm ² /cm		94.2%	94.2%	96.2%	99.2%	99.7%
	15 "		98.2%	98.1%	98.4%	99.4%	99.7%
	100 "		100.0%	99.8%	99.8%	99.8%	99.8%
820(cm)	기 준 치		4.44kg/cm ²	4.44kg/cm ²	4.44kg/cm ²	4.44kg/cm ²	4.44kg/cm ²
	4 kg/cm ² /cm		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	15 "		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	100 "		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
1200(cm)	기 준 치		1.81kg/cm ²	1.81kg/cm ²	1.81kg/cm ²	1.81kg/cm ²	1.81kg/cm ²
	4 kg/cm ² /cm		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	15 "		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
	100 "		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

* 基準値는 下端固定의 경우의 값

Fig. 2에서 보는 바와 같이 慣行的인 設計方法의 경우 各 方法에 따라 약간의 差異는 있으나 均等地盤反力의 경우 地上 約 2m, 下端固定의

경우 地上 約 1.5m 以上の 位置에서의 圓周方向 應力의 값은 慣行的인 方法이나 Winkler 地盤의 경우가 거의 一致되고 있으나 地盤 가까이에서는

큰 差異를 보여주고 있다. 이러한 應力의 差異는 底版두께가 두꺼워 질수록 점차 減少하였으며 底版두께 100cm 以上이 되면 解析方法에 따른 應力의 값은 差異가 없었다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 地盤反力이 均等하다고 假定하는 경우에는 底版두께가 50cm 以下인 경우 地盤가까이에서 심각한 應力攪亂現象이 發生되어 眞值와는 全然 相異한 값이 算出되었다.

한편 壁體下端을 固定되었다고 假定하는 경우에는 地盤 支持力係數 $k=100\text{kg/cm}^2/\text{cm}$ 이거나 또는 底版두께가 100cm 以上이 되면 正確한 圓周方向應力을 算出할 수 있었다. 一般으로 壁體下端을 固定으로 處理하는 것이 더욱 眞值에 가까운 값이 算出될 수 있었다. 그러나 慣行的인 設計方法에 의하면 地盤이 軟弱한 경우(例題에서 $k=4\text{kg/cm}^2/\text{cm}$)에 地盤가까이에서 發生되는 壓縮性 圓周方向應力의 算出은 不可能하다.

底版두께에 따른 軸方向모멘트(x-軸에 關한 回轉모멘트, My)의 變化를 比較 圖示하면 Fig. 4 및 Fig 5와 같으며 이들을 下端固定의 경우를 基準值로 하여 數值的으로 比較하면 Table-2와 같다.

均等地盤反力으로 解析하는 경우 壁體下端에서의 모멘트의 값은 大端히 큰 變化를 보이고 있다. 즉 底版두께에 따라서 正·負의 모멘트로 바뀌고 있음을 볼 수 있으며 底版두께가 얇은 경우

에는 眞值와는 全然 相異한 부호의 모멘트가 算出되고 있음을 알 수 있으며 이러한 現象은 底版두께가 100cm 以上이면 眞值에로의 接近은 되고 있으나 實際보다 작은 값이 算出되고 있음을 알 수 있다.

이에 反하여 下端固定의 경우에는 下端에서 眞值와 相異한 부호의 모멘트가 算出되는 現象은 없었으며 특히 地盤이 堅固한 경우(例題에서는

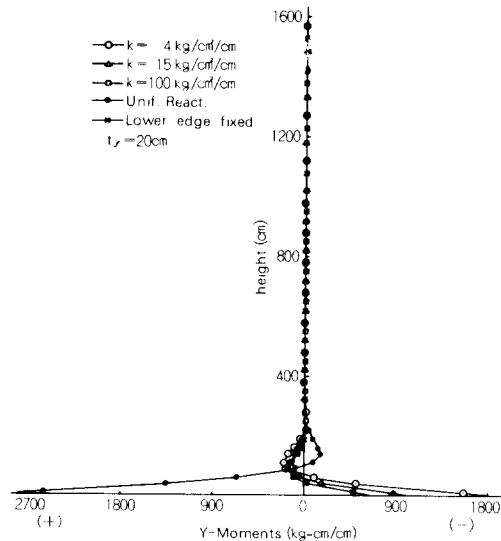


Fig. 4(a). Y-Moment variation along height in silo wall (bottom plate thickness = 20cm).

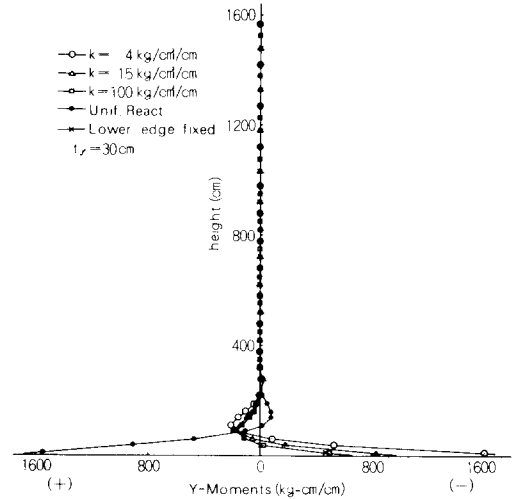


Fig. 4(b). Y-Moment variation along height in silo wall (bottom plate thickness = 30cm)

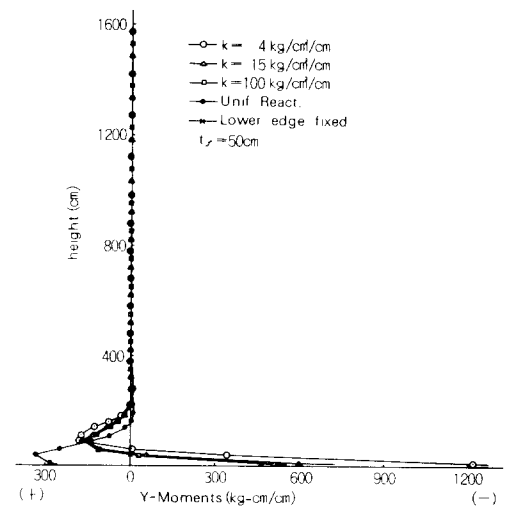


Fig. 4(c). Y-Moment variation along height in silo wall (bottom plate thickness = 50cm).

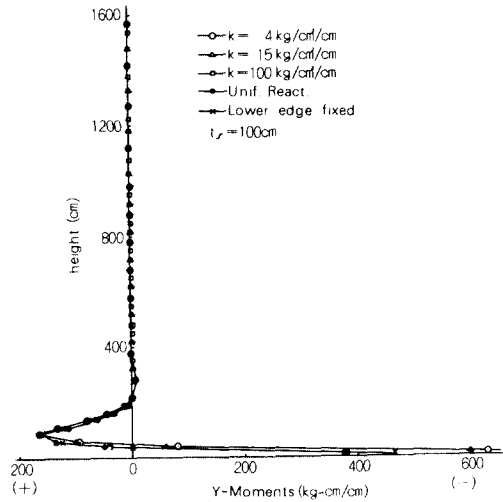


Fig. 4(d). Y-Moment variation along height in silo wall (bottom plate thickness = 100cm).

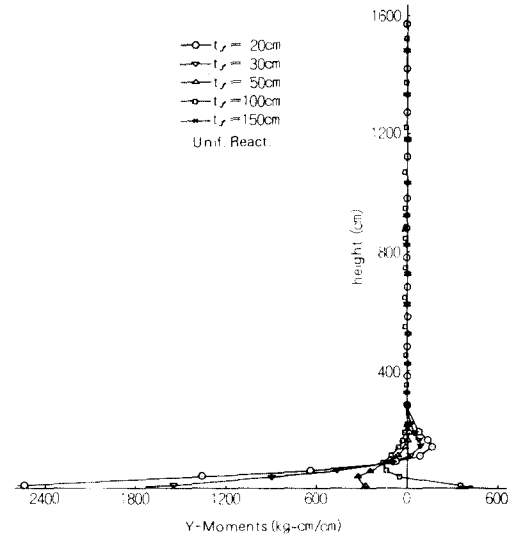


Fig. 5. Y-Moment variation along height for various bottom plate thickness.

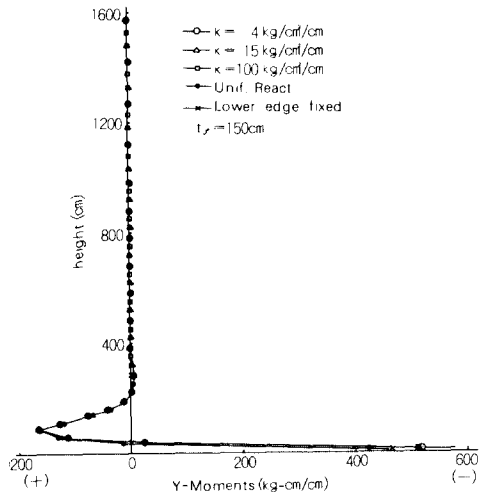


Fig. 4(e). Y-Moment variation along height in silo wall (bottom plate thickness = 150cm).

$k = 100 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ 에는 底版두께에 關係없이 眞値와 거의 一致되고 있음을 볼 수 있다. 이것으로 미루어 볼 때 地盤이 堅固하거나 (例題에서 $k = 100 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$) 또는 底版이 두꺼운 경우 (例題에서 150cm) 地盤上의 構造物의 下端이 固定이라고 假定하더라도 設計上 큰 無理는 없을 것으로 생각된다.

底版의 두께에 따른 壁體에서의 圓周方向 모멘트 (y - 軸에 關한 回轉 모멘트, M_x) 의 크기는 軸方向 모멘트에 比해서 大端히 작고 그 變化 패턴은 軸方向 모멘트의 경우와 아주 類似하였으므로 省略하였다.

以上の 結果들로부터 底版두께가 두껍거나 (例題에서 底版두께가 150cm 以上) 또는 地盤이 堅固한 경우 (例題에서 $k = 100 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$) 에는 慣行的인 解析方法에 의하여 壁體의 斷面力을 評價하더라도 設計上 큰 無理는 없다고 생각되지만 이때에도 均等地盤反力의 假定보다는 오히려 下端固定의 假定이 보다 더 眞値에 接近된 값이 算出되었다. 즉, 地盤이 堅固할 수록 또는 底版두께가 두꺼운 경우 假定의 妥當性이 立證되었다.

底版에서의 半徑方向모멘트 또는 半徑方向모멘트로 인한 굽힘應力의 값을 比較圖示하면 Fig. 6 및 Fig. 7 과 같다.

慣行的인 設計方法 中 下端固定이라고 假定하는 경우에는 底版이 없이 地盤에 構造物의 下端이 固定되었다고 보기 때문에 底版에서의 모멘트의 값은 比較될 수 없다.

그림에서 보는 바와 같이 地盤條件이 어떠한든 底版의 두께가 얼마이든 間에 底版에 생기는 모멘트 또는 모멘트로 인한 굽힘應力의 값은 慣行的인 解析方法에 의해서는 正當한 값이 算出될

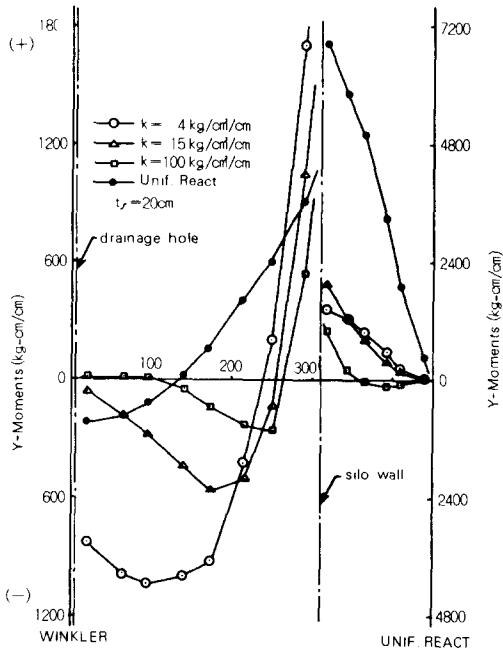


Fig. 6(a). Y-Moment variation along radial distance in bottom plate (bottom plate thickness = 20cm).

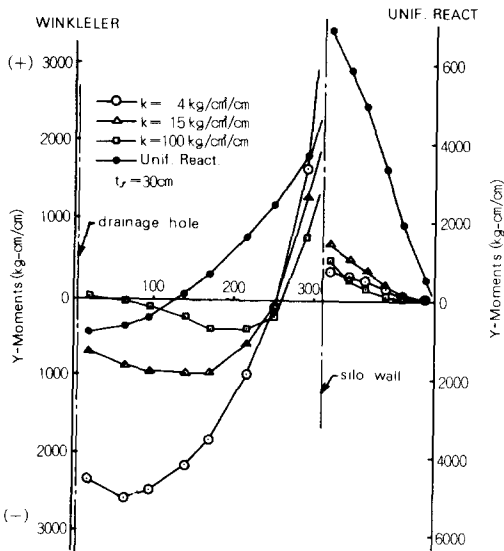


Fig. 6(b). Y-Moment variation along radial distance in bottom plate (bottom plate thickness = 30cm).

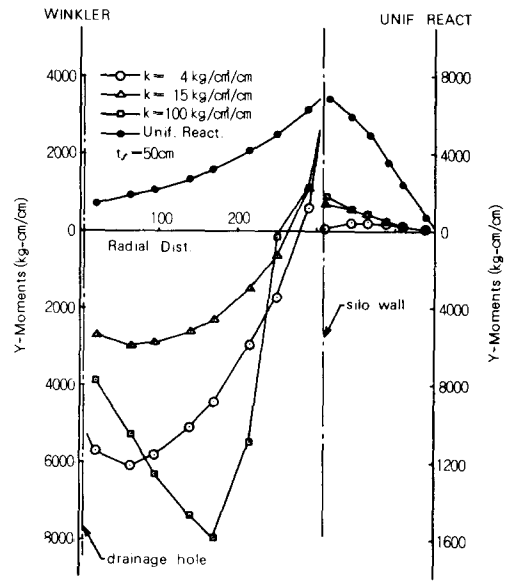


Fig. 6(c). Y-Moment variation along radial distance in bottom plate (bottom plate thickness = 50cm).

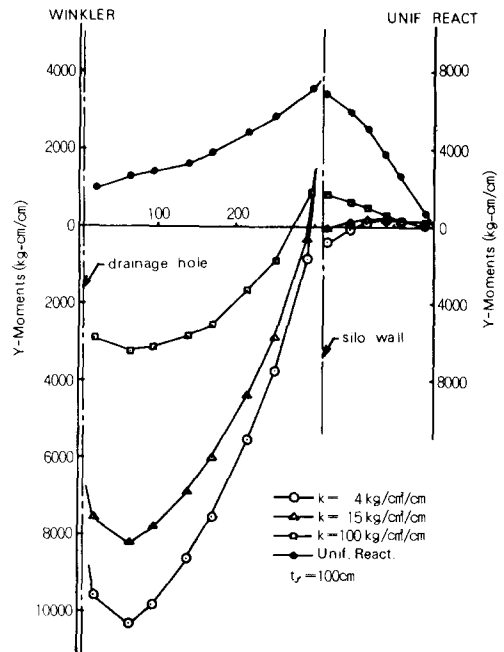


Fig. 6(d). Y-Moment variation along radial distance in bottom plate (bottom plate thickness = 100cm).

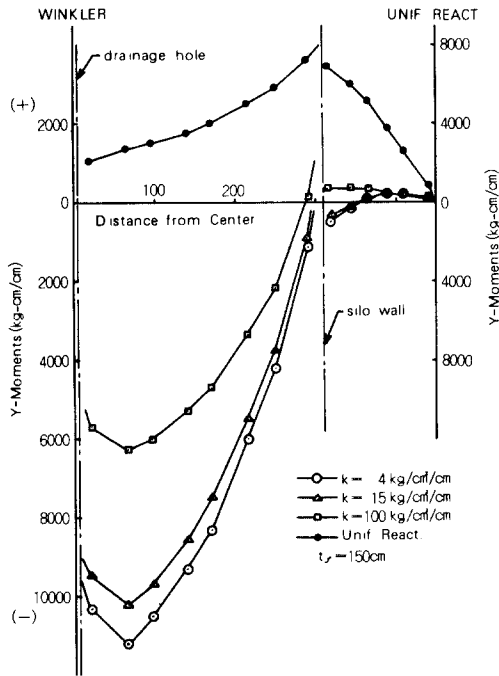


Fig. 6(e). Y-Moment variation along radial distance in bottom plate (bottom plate thickness = 150cm).

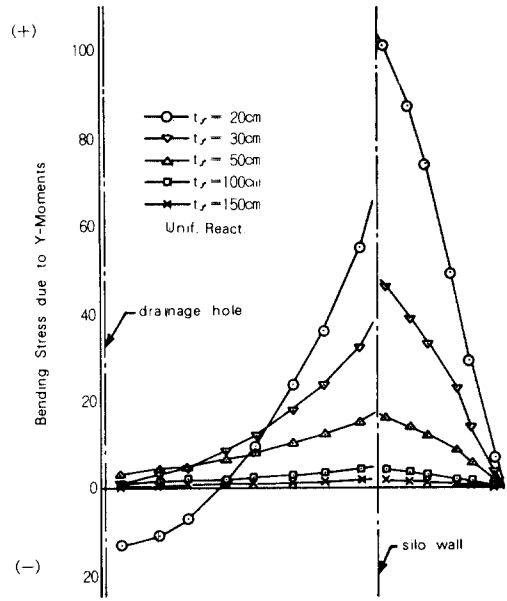


Fig. 7. Bending stress due to Y-moment variation along radial distance in bottom plate for various bottom plate thickness.

Table-2. Comparison of Y-moment in silo wall.

Dist. from lower	K	t_r	20(cm)	30(cm)	50(cm)	100(cm)	150(cm)
			기 준 치	+466.0kg-cm/cm	-466.0kg-cm/cm	-466.0kg-cm/cm	-466.0kg-cm/cm
10(cm)	4kg/cm ² /cm		333.3%	344.8%	261.8%	136.0%	111.0%
	15 "		168.8%	178.7%	172.0%	127.9%	110.0%
	100 "		99.1%	107.1%	110.0%	109.1%	105.5%
140(cm)	기 준 치		+70.97kg-cm/cm	+70.97kg-cm/cm	+70.97kg-cm/cm	+70.97kg-cm/cm	+70.97kg-cm/cm
	4 kg/cm ² /cm		203.5%	211.5%	174.0%	115.7%	104.3%
	15 "		124.8%	131.3%	130.4%	111.7%	103.8%
820(cm)	100 "		92.4%	97.8%	101.1%	102.7%	101.6%
	기 준 치		-2.08kg-cm/cm	-2.08kg-cm/cm	-2.08kg-cm/cm	-2.08kg-cm/cm	-2.08kg-cm/cm
	4 kg/cm ² /cm		93.1%	93.5%	94.9%	97.6%	98.8%
1200(cm)	15 "		93.9%	94.4%	95.7%	98.0%	98.9%
	100 "		95.8%	96.2%	97.4%	98.7%	99.2%
	기 준 치		-1.64kg-cm/cm	-1.64kg-cm/cm	-1.64kg-cm/cm	-1.64kg-cm/cm	-1.64kg-cm/cm
	4 kg/cm ² /cm		94.6%	95.1%	96.0%	98.0%	99.0%
	15 "		95.4%	95.9%	96.8%	98.3%	99.1%
	100 "		97.0%	97.4%	98.2%	99.0%	99.4%

수 없음을 알 수 있다. 慣行的인 方法(경우 II)에 의해서 底版의 圓周方向 모멘트(M_x)도 計算

은 되었지만 半徑方向 모멘트와 마찬가지로 實用性이 없는 結果이기 때문에 論文에서 除外시켰다.

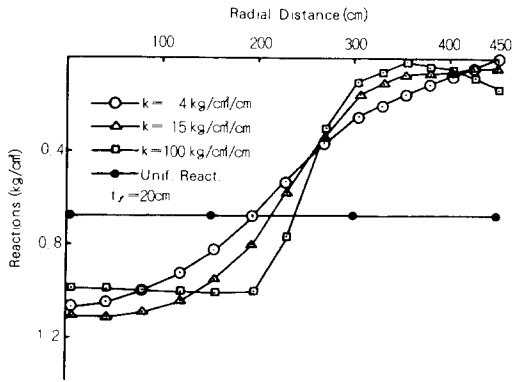


Fig. 8(a). Reaction distribution in bottom plate (bottom plate thickness = 20cm).

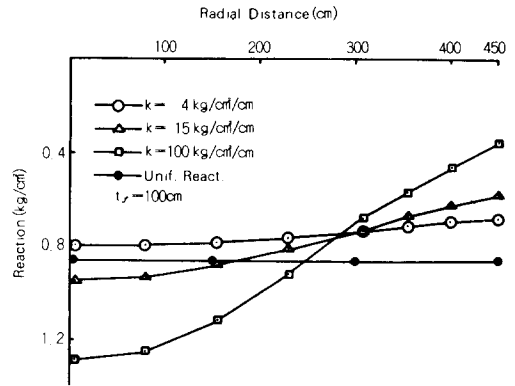


Fig. 8(d). Reaction distribution in bottom plate (bottom plate thickness = 100cm).

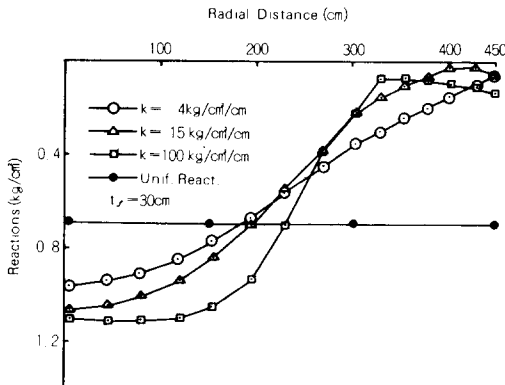


Fig. 8(b). Reaction distribution in bottom plate (bottom plate thickness = 30cm).

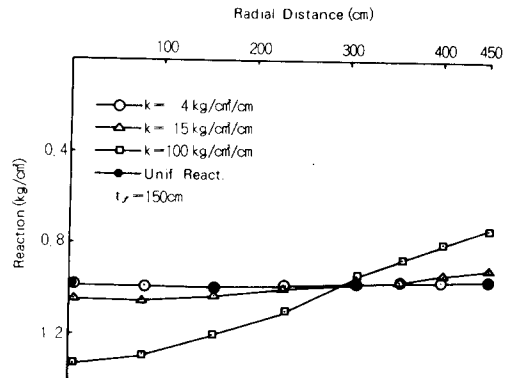


Fig. 8(e). Reaction distribution in bottom plate (bottom plate thickness = 150cm).

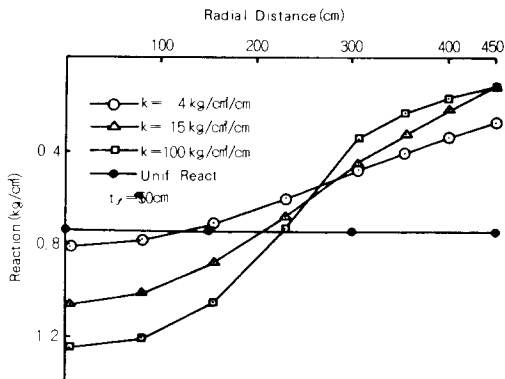


Fig. 8(c). Reaction distribution in bottom plate (bottom plate thickness = 50cm).

底版에 생기는 地盤反力の 分布를 比較圖示하면 Fig. 8 과 같다.

底版의 두께가 얇은 경우에는 實際의 反力分布와는 큰 差異를 보이고 있지만 底版두께가 두꺼워질수록 底版의 反力分布는 점차로 均等한 分布를 이루고 있으며 특히 底版두께 150cm이고 $k = 4 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ 인 경우에는 地盤反力은 거의 均一하였다.

IV. 結 論

본 研究는 彈性地盤上에 놓인 圓筒型 構造物에 대한 慣行的인 設計方法의 適用性을 알아 보기 위하여 사이레이지가 充填된 農業用 사이로를

모델 構造物로 擇하여 이를 慣行的인 解析方法에 의해서 解析하고 이들의 結果를 Winkler 地盤의 경우와 比較 檢討한 것이다. 여기서 慣行的인 解析方法이라 함은 쉘 構造物의 壁體下端이 固定된 경우와 底版에 作用하는 地盤反力이 地盤變位와 無關하게 均等分布한다고 假定하여 解析하는 方法을 뜻한다. 여기서 解析된 몇 개의 數值例로부터 얻어진 結果들을 具體的으로 要約하면 다음과 같다.

1. 壁體의 圓周方向應力은 均等地盤反力을 假定하여 解析하는 경우 底版두께가 얇으면 (例題에서 50cm 以下) 地盤가까이에서 심각한 應力攪亂 現象이 發生되었으며 底版두께가 두꺼우면 (例題에서 100cm 以上) Winkler地盤의 경우에 상당히 接近되었다.

2. 壁體의 圓周方向 應力을 壁體下端이 固定이라고 假定하고 解析하는 경우 Winkler 地盤의 結果에로의 接近性은 均等地盤反力의 경우보다 오히려 良好하였으며 특히 地盤이 堅固한 경우 (例題에서는 $k=100\text{kg/cm}^2/\text{cm}$) 또는 底版두께가 두꺼운 경우 (例題에서는 150cm)에는 거의 一致되는 값이 算出되었다.

3. 慣行的인 方法에 의하면 地盤이 軟弱(例題에서 $k=4\text{kg/cm}^2/\text{cm}$) 하고 底版두께가 얇은 경우(例題에서 底版두께가 50cm 以下)壁體下端에 發生되는 壓縮性 圓周方向 應力の 算出은 不可能하다.

4. 壁體의 圓周方向모멘트 및 軸方向모멘트의 값은 均等地盤反力을 假定하여 解析하는 경우 底版두께가 얇으면(例題에서 50cm以下) Winkler 地盤으로 處理하는 경우와는 相異한 부호를 갖는 모멘트의 값이 算出되었으며 底版두께가 두꺼우면 (例題에서 100cm 以上) 상당히 接近된 값이 算出되었다.

이러한 壁體에서의 斷面力의 差異는 地上 2m 程度에 局限되었으며 그 以上の 높이에서는 解析方法에 따른 값의 差異는 거의 없었다.

5. 壁體의 圓周方向모멘트 및 軸方向모멘트의 값은 壁體 下端을 固定으로 假定하는 경우 Winkler 地盤으로 處理하는 경우에로의 接近性은 오히려 均等地盤反力을 假定하여 處理하는 것보다 良好하였으며 특히 地盤이 堅固한 경우(例題에서 $k=100\text{kg/cm}^2/\text{cm}$) 또는 底版두께가 두꺼운 경우 (例題에서 150cm)에는 거의 一致된 값이 算出되었다.

6. 底版에 生기는 모멘트의 값은 어떠한 地盤 條件이든 또한 底版의 두께를 어떻게 하든 간에 慣行的인 方法에 의해서는 正當한 값이 算出될 수 없음을 確認하였다.

7. 底版에 作用하는 地盤反力은 底版의 剛性이 地盤의 剛性에 比해서 相對的으로 클때 (例題에서 底版두께 150cm이고 $k=4\text{kg/cm}^2/\text{cm}$)均等한 分布를 하였다.

以上の 結果들을 綜合할때 彈性地盤上에 놓인 圓筒型 쉘 構造物의 壁體에서의 斷面力은 地盤이 堅固한 경우($k=100\text{kg/cm}^2/\text{cm}$) 또는 地盤上에 直接 놓이는 底版의 두께가 두꺼운 경우(底版두께 100cm 以上)에는 慣行的인 方法에 의하더라도 設計上 지장이 없는 값을 算出할 수 있다. 그러나 이 때에도 均等地盤反力의 假定보다는 오히려 壁體 下端이 固定되었다고 假定하여 解析하는 것이 보다 合理的인 結果를 算出할 수 있었다. 그러나 地盤上에 直接 놓이는 底版의 斷面力은 慣行的인 方法에 의해서는 결코 正當하게 算出될 수 없었다. 또한 底版두께가 100cm 以上이면 慣行的인 解析方法에 의하더라도 壁體에서의 斷面力은 正當한 값을 算出할 수 있다고 하더라도 이러한 底版두께는 결코 實用的인 設計值數로는 볼 수 없다.

본 研究는 韓國科學財團의 1986年度 後半期 研究費 支援에 의해서 遂行되었음.

參 考 文 獻

1. Lingtfoot, E. and Michael, D., "The Analysis of Ground-supported Open Circular Concrete tanks"(Part I) Civil Engineering and Public Works Review, December, 1963, pp : 1524-1527.
2. _____, "The Analysis of Ground-supported Open Circular Concrete Tanks" (Part II) Civil Engineering and Public Works Review, January, 1964, pp : 92-95.
3. _____, "The Analysis of Ground-supported Open Circular Concrete Tanks" (Part III) Civil Engineering and Public Works Review, September 1965, pp : 1307-1313.

4. _____, "The Analysis of Ground-supported Open Circular Concrete Tanks" (Part IV) Civil Engineering and Public Works Review, October, 1965, pp : 1503-1505.
5. Timoshenko, S. P. and Woinwsky-Krieger, S. "Theory of Plates and Shells" McGraw-Hill Book Co., 1951, New York.
6. Hinton and D. R. J. Owen "Finite Element Programming" Academic Press Inc., Ltd., 1977.
7. Zienkiewicz, O. C. "The Finite Element method in Engineering Science" McGraw-Hill Book Co. Ltd., 1972.
8. Johnson, C. P. "The Analysis of Thin Shells by a Finite Element Procedures" Thesis for Ph. D. University of California, Berkeley Sept. 1967.
9. Sukhvarsh jerath and Arthur P. Boresi "Stress Analysis of Bins by Shell Bending Theory" Journal of the Structural Div., ASCE, Vol. 105, No. ST 6, June, 1979, pp : 1069-1087.
10. Bela Goschy "Soil-Foundation-Structure Interaction" Journal of the Structural Div., ASCE, Vol. 14, No. ST 5 May, 1978, pp : 749-766.
11. Cheng, Y. K. and Zienkiewicz, O. C. "Plates and Tanks on Elastic Foundational Application of Finite Element Method" Int. J. Solids Structures, 1965, Vol. 1, pp : 451-461.
12. Davies, J. D. "Influence of Support Condition on the Behaviour of Long Rectangular Tanks" Journal of the American Controte Institute, April 1962, pp : 601-608.
13. John Duncan Davis, "The influence of support conditions on the behaviour of cylindrical concrete tanks", proc. of The Institution of civil Engineers, 1962, pp : 379-388.
14. Otto J. Svec "Thick Plates on Elastic Foundations by Finite Elements" Journal of the Engineering mechanics Div., ASCE, Vol. 98, No. EM 3, June 1976, pp : 461-476.
15. Richard Bolton "Stresses in Circular Plates on Elastic Foundation" Journal of the Engineerin Mechanics Div., ASCE, Vol. 98, No. Em 3, June, 1972, pp : 629-640.
16. 송유진, "탄성지반의 축대칭 프리스트레스드 콘크리트 탱크 해석에 관한 연구" 1984. 부산대학교 대학원 박사학위 논문
17. 조진구, 박병기, 조현영, "유한요소법에 의한 PC농업용 사이로의 해석에 관한연구(I)" 한국농공학회지, 제23권 제 4 호., 1982, pp ; 60~74
18. 조진구, 조현영, 박병기, "유한요소법에 의한 PC농업용 사이로의 해석에 관한연구(II)" 한국농공학회지, 제24권 제 3 호., 1982, pp ; 73~83
19. 조진구, 조현영, "지반과 구조물 사이의 상호 작용을 고려한 농업용 사이로의 해석에 관한 연구 (I)" 한국농공학회지, 제27권 제 2 호., 1985, pp ; 38~46
20. _____, _____, "지반과 구조물 사이의 상호 작용을 고려한 농업용 사이로의 해석에 관한 연구 (II)" 한국농공학회지, 제27권 제 3 호., 1985, pp ; 97~108
21. _____, _____, "지반과 구조물 사이의 상호 작용을 고려한 농업용 사이로의 해석에 관한 연구 (III)" 한국농공학회지, 제29권 제 2 호., 1987, pp ; 51~64