



「埋設管路의 力學的 特性 및 安全度에 關한 研究」

〈A research on Mechanical property and safety degree of laying pipe Line〉

富川工業專門大學 助教授

金 慶 鎭*

Abstract

The program of safety performance of synthetic resin pipe which is used to the pipe Line for cable protection as an underground Communication is recognized importance gradually.

For investigating of these, The Mechanical experiments by each type was carried out

From the results, This study compared experimental data with theoretical data against soil pressure and traffic pressure which went through laying pipe, and presumed the reasonable laying conditions after calculating total pressure by each laying depth, also grasped material Property of laying pipe and knew impact effect, relation of thickness against strain.

要 旨

地下通信用 케이블 保護用 管路로 使用되는 合成樹脂管의 安全遂行問題는 점차 重要性이 認識되어 지고 있어 이를 檢討하기 爲하여 類型別에 依한 力學的 實驗을 實施하였다.

그 結果 本 研究에서는 埋設 파이프가 받는 土壓과 輸壓을 實驗値와 理論値로 서로 比較하여 보았고 埋設깊이 別에 依한 總壓력을 計算하여 適正한 埋設 條件을 推定하였으며 또한 材料 特性을 把握하여 衝擊效果 및 變形에 對한 두께와의 關係를 알았다.

1. 序 論

産業의 發展에 따라 保護 및 傳達의 目的으로 地下에 매설 되어지는 管路는 급격히 증가되어 지 관로의 安全 수행 問題는 점차로 重要性이 認識되어지고 있다. 과거에는 地下 管路로 機械的 強度가 높고 作業성이 양호한 金屬管(강관, 주철관), 콘크리트관 등이 널리 使用되어져 왔으나 近來에는 強度상의 약점을 보완시키고 충

격特性 및 製造성이 向下된 合成樹脂管이 開發되어 졌다.

이 合成樹脂管은 金屬管에 比하여 經濟적이고 腐蝕 抵抗성이 크고 내벽이 부드럽고 또한 輕量이므로 作業성이 양호하여 近來에는 널리 利用되고 있다.

그러나 地下에 매설된 管은 地盤의 性質 強度나 確實한 토중이 있는 깊이 및 세굴, 침식 동결등에 의한 要因과 地盤에 가해지는 外力 交通物등의 靜荷重, 動荷重, 충격荷重등에 의하

* 安全管理技術士(建設安全)

여 地盤에 위험한 전단應力이나 압밀 및 변형등을 초래하여 토층의 파괴가 일어나 매설된 管에 損傷이 發生되어 진다. 또한 管은 自體가 갖는 초기 결함과 材質上의 問題點등으로 局部的인 異常硬化 현상이 나타날 수 있으며 온도차에 의한 팽창 및 수축의 영향과 관지지의 應力集中 현상 및 腐蝕등에 의하여 파손이 일어난다.

이를 고려하여 樹脂管에 일어나는 변상요인들을 검토하기 위하여 본 研究는 室內 및 現場에서 각종 實驗을 실시하여 유형별에 의한 力學的特性을 研究하여 合成樹脂管 使用을 위한 基本資料를 얻는데 취지를 두었다.

2. 研究 概要

2-1 研究 課程

外力을 받는 合成樹脂管에 變傷을 일으키는 要因은 형태별로 分類하면 다음과 같다.

- 1) 土質의 種類
- 2) 載荷 荷重
- 3) 管의 材質
- 4) 管의 직경 및 두께
- 5) 매설 깊이 및 폭
- 6) 매설 方法
- 7) 表面 포장조건
- 8) 온도 영향
- 9) 管 이음부

本 研究는 위의 변상 要因들을 고찰하기 위하여 직접 조건별에 의한 재하 實驗을 실시하여 地下에 매설된 合成수지管의 파괴 거동을 추정하였으며 土質 및 材料 시험을 시행하여 흙의 기본적 性質과 材料의 特性을 파악하였으며 또한 얻어진 資料를 理論式에 의한 理論値와 비교하여 상호관계를 研究하여 보았다.

2-2 研究範圍 및 方法

地下에 매설된 合成 樹脂管의 應力舉動을 分析하기 위하여 다음 實驗을 실시하였다.

2-2-1 室內 實驗

L形鋼으로 組立된 모형틀(80×70×105cm)을 製作하여 체신부 관로 공법에 의해 合成樹脂管을 매설하고 標準다짐으로 다짐하였다. 管의 변

형을 測定하기 위해 電氣抵抗 포일 게이지(foil gage)를 양단 및 좌표 方向에 접착시켜 만능試驗機로 荷重을 가하여 靜的 變形 測定器(static strain meter)로 靜的 變形率을 測定하고 管에 미치는 土壓은 토중에 土壓計를 설치하여 管上部의 토압을 測定하였다.

2-2-2 現場 實驗

動荷重에 의한 재하實驗을 시행하기 위하여 체신부 관로 공법에 의해 3조 5단 및 3조 1단의 배치로 空地를 굴착하여 strain gage를 室內實驗과 같이 접착시키고 動荷重의 최악 속도인 40 km/h로 試驗차량(만재 8톤트럭; Pf=2.3톤, Pr=5.2톤)을 주행시켜 動的變形率을 진폭기(Dynamic Amplifier)와 ε-t 絲圖기록기를 組立한 회로를 利用하여 管의 변형률을 測定하였다.

2-2-3 土質 試驗

地下에 매설된 수지管의 변형에 영향을 끼치는 重要한 要因인 土質의 強度 및 조건상태를 파악키 위하여 韓國工業規格 土質試驗方法에 의하여 본 研究에 使用되어진 흙을 채취하여 다음 實驗을 실시 하였다.

1. 흙의 함수비 試驗(KSF 2307)
2. 흙의 比重 試驗(KSF 2308)
3. 흙의 입도 試驗(KSF 2302)
4. 흙의 다짐 試驗(KSF 2312)
5. 흙의 직접 전단試驗(KSF 2343)
6. 흙의 CBR 試驗(KSF 2320)
7. 흙의 단위체적重量試驗(KSF 2311)

2-2-4 材料 實驗

合成 樹脂管의 材料 特性을 파악키 위하여 다음과 같은 實驗을 실시하였다.

1) 引張 實驗

材料의 성능을 정성적으로 파악키 위하여 韓國工業規格(KSB 0802)에 의하여 引張試驗片을 만들고 試驗片에 strain gage를 부착시키고 만능試驗機로 引張力을 가하여 수지管에 일어나는 變形을 測定하고 試驗片이 파단할때까지의 과정을 測定하였다.

2) 가압 實驗

合成 樹脂管에 압축력을 가하여 管에 發生하는 처짐(Deflection)을 測定하고 Strain gage를 접착시켜 變形을 測定하여 樹脂管에 作用되는

應力舉動을 관찰하였다.

3. 實驗結果 및 고찰

3-1. 土壓理論에 따른 載荷重과 土壓과의關係

실험치에 가장 近似한 값을 보인 Kögler와 Marston의 方法에 의한 理論值를 室內試驗結果 (No 2, 3, 4)와 비교하면 表 3-1 및 그림 3-1(No 2), 그림 3-2 (No 3), 그림 3-3 (No 4)와 같다.

이들 3개의 그림은 동일시료로서 다짐정도만 바꾼 것이다.

그림에서만 같이 실험치 모두가 理論值에 매우 近似함을 알 수 있다.

특히 그림 3-1과 그림 3-3에서는 實驗치가 Kögler와 Marston 理論치의 범위에 있음을 알 수 있고 그림 3-2에서는 實驗치가 Kögler, Marston의 理論보다 약간 큼도 알 수 있다. 이경우 Kögler 보다는 Marston의 이론치에 더 近似함을 알 수 있어 결국 土壓이나 輸壓 모두 Marston의 理論을 적용하면 큰 지장은 없을 것으로 생각된다.

Table 3-1. theoretical value by an increase of Carrying Load

| Carrying NO. 2 Load (7/7) | NO. 3 (7/9) | NO. 4 (7/12) | REMARK | |
|---------------------------|-------------|--------------|--------|-------------------------|
| 0 | 1.096 | 0.996 | 1.032 | Marston-Kögler (토압)(윤압) |
| 3.648 | 2.691 | 2.590 | 2.626 | |
| 5.472 | 3.488 | 3.387 | 3.423 | |
| 7.296 | 4.285 | 4.184 | 4.220 | |
| 10.944 | 5.879 | 5.779 | 5.815 | |
| 12.768 | 6.676 | 6.576 | 6.612 | |
| 16.416 | 8.271 | 8.170 | 8.206 | |
| 20.064 | 9.865 | 9.764 | 9.800 | |

| Carrying NO. 2 Load (7/7) | NO. 3 (7/9) | NO. 4 (7/12) | REMARK | |
|---------------------------|-------------|--------------|--------|--------------------------|
| 0 | 1.096 | 0.996 | 1.032 | Marston-Marston (토압)(윤압) |
| 3.648 | 3.789 | 3.688 | 3.724 | |
| 5.472 | 5.135 | 5.034 | 5.070 | |
| 7.296 | 6.481 | 6.380 | 6.416 | |
| 10.944 | 9.173 | 9.073 | 9.109 | |
| 12.768 | 10.520 | 10.419 | 10.455 | |
| 16.416 | 13.212 | 13.111 | 13.147 | |
| 20.064 | 15.904 | 15.803 | 15.839 | |

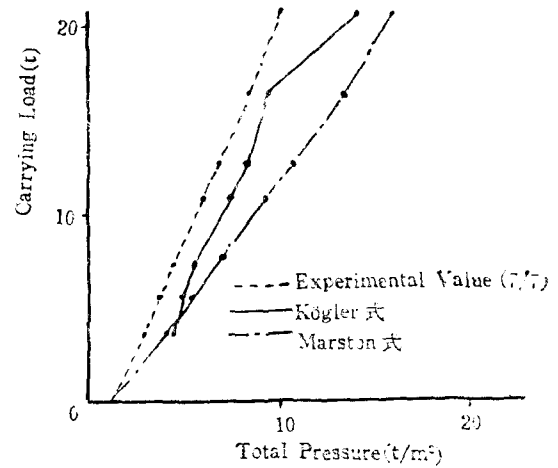


Fig. 3-1. theoretical value and Experimental value of total pressure by Carrying Load (7/7)

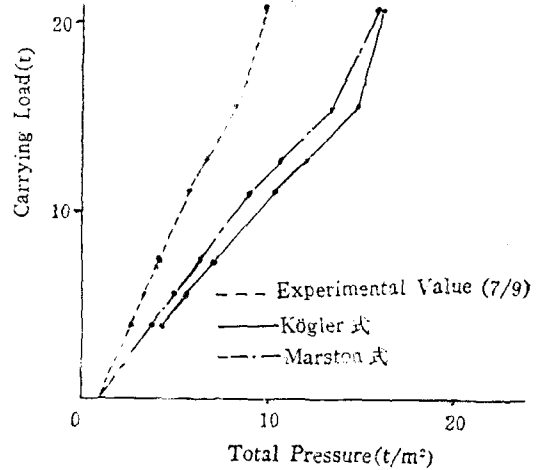


Fig 3-2. theoretical value and Experimental Value of total pressure by Carrying Load (7/7)

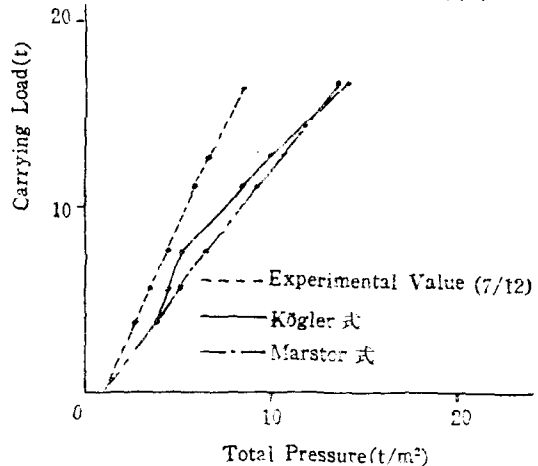


Fig. 3-3. theoretical value and Experimental Value of Total Pressure by Carrying Load (7/12)

3-2 매설 pipe가 받는 土質別 壓力計算 方法

매설관이 받는 土壓과 輪壓 즉 總壓力은 同一 매설조건(매설깊이 폭 매설형식 pipe規格)이라 할지라도 뒤채움 흙의 種類와 다짐정도(方法)에 따라 크게 다르다.

즉, 매설관이 받는 토압은 Marston의 理論에 의하여 粒度分希가 양호하고 粗粒의 흙일수록 단위체적重量(rt)이 커서 細立度보다 약간 큰 土壓을 받게 된다.

그러나 輪壓에 있어서는 Kögler理論에 의하여 粒度分布가 양호하고 組粒의 흙일수록 荷重分布角이 커져서 훨씬 작은 輪壓을 받기 때문에 結果的으 매설관은 매우 작은 總壓力을 받게 되는 것이다.

따라서 어느 地域에 開設道路에 pipe를 매설할 경우 그 道路에 대한 設計圖에서 路床(또는 路)의 CBR을 참고하면 매설 pipe가 받는 壓力을 大略 計算할 수 있게 된다.

한 例로서 土質實驗에서 시료 No. 2와 No. 8에 대한 CBR값을 비교해 보면 No. 2는 CBR=11.8% ($rt=1,828t/m^3$) No. 5는 CBR=10.2% ($rt=1,650t/m^3$)로서 土質에 따라서 CBR, rt에 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

따라서 CBR치의 대소 또는 단위체적중량(rt)의 大小에 따라서 즉 CBR,rt가 크면 클수록 매설관은 작은 壓力을 받고 그 값이 작으면 작을

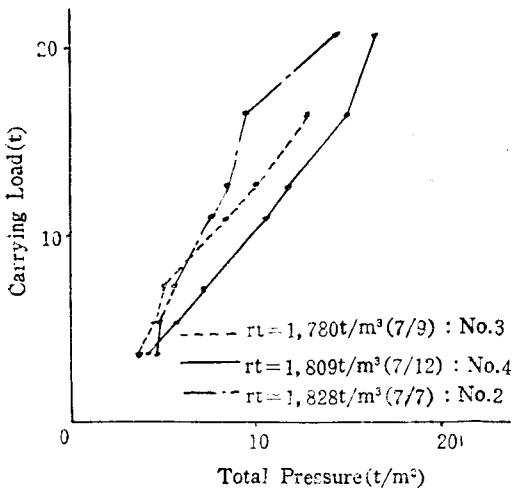


Fig. 3-4. Relationship between Carrying Load and total pressure by Compaction degree

수록 큰 壓力을 받게 되는 것이다.

또한 그림 3-4에서와 같이 同一材料인 경우라 할지라도 뒤채움 흙의 다져진 정도에 따라서 즉 다져 질수록 rt는 커지게 되고 또 荷重分布角이 커져서 훨씬 작은 壓力을 받게 되기 때문에 다짐 方法은 매우 重要한 것이다.

3-3 매설 pipe가 받는 포장 方法別 壓力

매설 포장道路를 굴착하여 pipe를 매설할 경우 뒤채움 흙이 原地盤과 같은 정도로 다짐이 되었다 하더라도 포장 材料의 種類에 따라서 荷重分布角이 달라지기 때문에 매설 pipe가 받는 壓力도 달라질 것이다.

그러나 同一 材料라 할지라도 그림 3-5와 같이 다짐정도에 따라서 地盤침하는 매우 달라진다. 즉 잘 다져진 No. 2는 침하률이 매우 작은 대신 잘 다져지지 못한 No. 4는 그 침하율은 매우 크다.

이와 같이 다짐상태가 좋지 못할 경우는 地盤의 沈下가 일어나고 더욱 上載輪荷重에 의하여 포장은 균열 또는 파괴가 일어나게 되어 輪荷重을 직접 받게 되므로 관이 받는 壓力은 급증하므로 매우 위험스럽게 될 것이다.

이와같이 뒤채움 흙의 다짐정도는 매우 重要하므로 다짐時에는 다짐試驗에서 얻은 다짐곡선에 따라 最適合水比(OMC)에 맞도록 含水比調節을 하여 다지면 有效할 것이다.

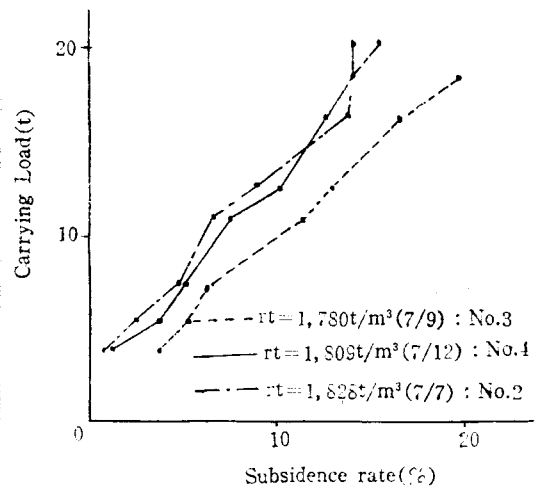


Fig. 3-5. relationship between Carrying load and subsidence rate by Compaction degree

結局, 뒤채움 흙이 잘 다져진 상태에서는 포장材料에 따라서 매설 管이 받는 壓力에는 큰 差가 있다. 즉 Concrete포장일 경우는 輪荷重이 Concrete Slab의 影響으로 거의 分布가 다 되어 管에 가해지는 壓力은 거의 無視해도 될 정도로 감소할 것이다. 따라서 포장材料別로는 Concrete 포장 < Asphalt 포장 順으로 壓力은 커질 것이다. 그러나 問題는 포장이 地반침하나 上載輪荷重등의 理由로 파괴되었을 때에 있다. 이러한 경우는 포장의 材料別 影響은 거의 없고 단순히 非鋪裝道인 경우와 같은 조건으로 간주된다.

3-4 매설 管이 받는 매설 깊이別 總壓力

매설된 管이 받는 總壓力은 뒤채움 흙에 의한 토압과 地表面을 통과하는 車輪에 의한 輪荷重과의 和라고 볼 수 있다. 土壓은 Marston의 理論에 의하면 매설깊이가 깊어질수록 거의 직선적으로 증가하는 輪壓은 Kögler의 理論에 의하면 2차포물선에 가깝게 감소하므로 結局 이들의 和는 그림 3-6에서와 같이 길이 1.5m를 전후로 하여 最

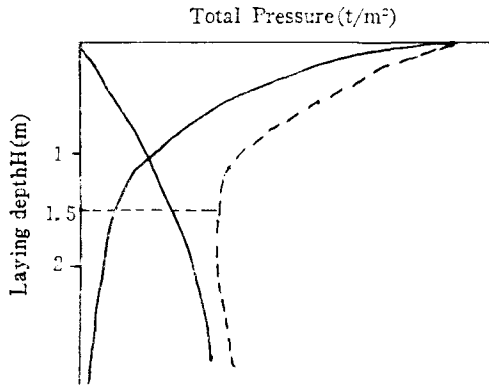


Fig. 3-6.

다가 된다. 즉 매설깊이 1.5m를 전후하여 管은 가장 작은 壓力을 받으므로 壓力만을 고려한다면 매설깊이는 1.5m가 가장 바람직할 것이나 그 地域의 동결, 溫度管의 規格, 經濟性, 施工性등을 고려하여 적절히 結定하여야 할 것이다.

3-5 매설 管에 미치는 다짐의 影響

同一 試料에 대하여 다짐상태가 양호할수록 (다짐율이 클수록) r_0 는 커지게 되며 그 침하율은 작아진다. 이 관계를 表示한 것이 그림 3-7이다. 즉 載荷重 10톤일 경우 다짐율이 84% → 86% → 87%로 증가할수록 침하율은 5% → 3.5% → 3%로 감소한다. 그러므로 同一 土質이라 하더라도 다짐정도에 따라 pipe가 받는 壓力은 크게 달라지므로 뒤채움 흙의 함수비는 최적함수비(OMC)에 맞추어 다짐을 하면 매설 pipe가 받는 壓力을 줄일 수 있겠다.

3-6 매설 管이 받는 靜荷量

모형틀을 製作하여 체신부 관로 공법에 의해

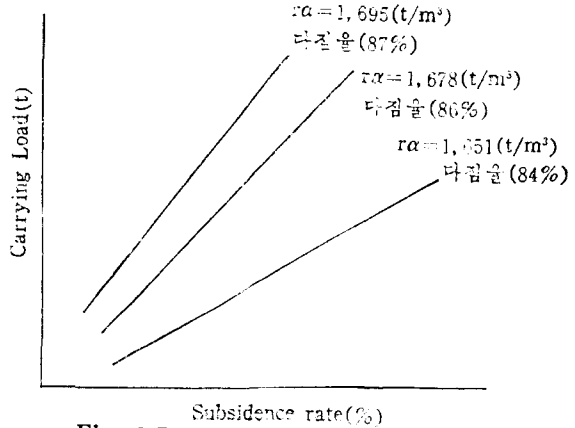


Fig. 3-7.

Table 3-2

| (material) diaction (mm) | P.V.C | | | Nylon | | | P.E. | | |
|-----------------------------|-----------------------|---------------|---------------------|-----------------------|---------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------------|
| | strain-rate (μ) | δ (mm) | deflection rate (%) | strain-rate (μ) | δ (mm) | deflection rate (%) | strain-rate (μ) | δ (mm) | deflection rate (C%) |
| $\phi 80$ t=3.0 | 2,200 | 4.4 | 5.5 | 2,500 | 5.0 | 6.3 | 3,400 | 6.8 | 8.5 |
| t=4.5 | 1,300 | 1.8 | 2.3 | 2,200 | 3.1 | 3.8 | 2,700 | 3.8 | 4.8 |
| $\phi 100$ t=3.0 | 2,000 | 6.2 | 6.2 | 2,400 | 7.5 | 7.5 | 3,000 | 9.4 | 9.9 |
| t=4.5 | 1,100 | 2.3 | 2.3 | 2,000 | 6.2 | 6.2 | 2,500 | 8.2 | 8.2 |
| t=5.5 | 900 | 1.5 | 1.5 | 1,800 | 3.1 | 3.1 | 2,300 | 6.9 | 6.9 |

배치하고 荷重을 加하여 얻어진 結果를 現 교통 체계중 最惡의 輪荷重으로 간주되는 8.0톤 荷重에 대하여 강성을 검토하기 위해 各 部位測定치 중 最惡치를 선택하여 변형률 및 처짐을 表示한 것이 表 3-2이다. 管輕, 두께, 材質에 따라서 管的 변형(처짐)은 서로 相異하나 材質別에 의한 강성은 PVC, Nylon, P.E順임을 알 수 있으며 가장 심각한 변형은 管的 단부荷重 方向의 위치에서 일어난을 알 수 있었다.

3-7 매설관이 받는 動荷量

합성 수지管的 直徑 $\phi 100$ 두께 4.5mm치수인 PVC, PE, Nylon 세 種類의 管을 채움 흙 높이가 1m인 경우 3조 5단으로 배치하고 各 경우를 比較하기 위하여 채움 높이가 80cm, 1m, 1.5m인 경우 3조 1단으로 배치하여 試驗 차량을 40 km/hr 주행시켜 測定한 結果로 얻어진 그래프 (Oscillo graph)를 高찰한 바 매설토의 완충作用으로 인하여 충격의 영향은 거의 없었으며 무시하여도 될 정도이었다.

動荷重이 作用하는 경우 材質別로 區分하여 管的 强성을 조사한 것이 表 3-3과 같다.

Table 3-3

| division material | mean strain rate ($\bar{\epsilon}$) | standard deviation ($\bar{\sigma}$) |
|----------------------|--|--|
| P.V.C. | 66.5 | 48.3 |
| Nylon | 72.51 | 51.5 |
| PE | 124.1 | 95.3 |

이는 5.2t의 輪荷重이 載荷되었을 때 매설된 管的 强성이 대체적 P.V.C, Nylon, 高밀도 P.E 順이었으며 動的 變化를 測定치는 靜的 變형치에 대하여 比하여 1/8~1/12로 분산 됨을 알 수 있다.

3-8 管的 材料 實驗

합성 수지管的 材料 特性을 파악키 위해 本 研究에서 수행한 引張實驗의 結果 高찰하여 5,000 μ 이하의 變형률 범위에 대하여 완성 탄성계수를 계산한 것이 表 3-4이다.

Table 3-4

| material range of strain rate (10 ⁻⁶) | Nylon | PE | P.V.C |
|---|--|-------------------|---|
| 1,000 | — | 1.5 $\times 10^5$ | 2.27 $\times 10^5$ |
| 1,500 | 6.2 $\times 10^4$ | 1.2 $\times 10^5$ | 1.14 $\times 10^5$ |
| 2,000 | 7.5 $\times 10^4$ (1.54 $\times 10^5$) | — | (2.6 $\times 10^5$) 8.5 $\times 10^4$ |
| 4,000 | 5.2 $\times 10^4$ | 7.7 $\times 10^4$ | (9.6 $\times 10^4$) |
| 4,500 | 5.1 $\times 10^4$ (4.5 $\times 10^4$) | 4.8 $\times 10^4$ | (62 $\times 10^4$) 9.1 $\times 10^4$ |

3-9 매설管的 變형에 대한 두께와의 관계

매설된 管에 作用되는 變형은 직접 實測에 의하여 구하였으나 理論式에 의하여 管的 變형을 구할 것이 表 3-5와 그림 3-8이다.

本 式에서 土壓은 最大 荷重으로 간주되는 8.0톤 荷重에서 實測 土壓이 $p=8.62t/m^2$ 이므로 이 값을 그대로 使用하였다. 1mm이하 범위에선 變형이 극대화하여 使用이 불가능하다. 1mm이상 범위에서는 이 式이 有用할 것으로 생각된다

그러므로 本 研究에서 직접 實驗을 通하여 얻어진 變형률을 토대로 必要로 하는 허용 變형률을 定하면 本 式에 의하여 적합한 두께를 환산할 수 있다.

윗 表에서 變형률 1,500 μ 이하인 경우에서는 PVC, PE管은 탄성계수가 10⁵이상인데 반하여 Nylon管은 10⁴이하의 값을 나타내고 있다.

또한 加壓試驗 結果에 의하면 靜荷重 8톤에 對한 變형률에 해당하는 압축력은 Nylon과 PE 에서는 120kg정도이고 PVC는 180kg정도를 나타내고 있다.

$$D=8.0(\text{cm})$$

| stain rate thickness (cm) | ϵ | | |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | P.V.C | P.E. | Nylon |
| 0.01 | 0.012 | 0.041 | 0.029 |
| 0.05 | 2.30 $\times 10^{-3}$ | 8.16 $\times 10^{-3}$ | 5.78 $\times 10^{-3}$ |
| 0.10 | 1.16 $\times 10^{-3}$ | 4.10 $\times 10^{-3}$ | 2.90 $\times 10^{-3}$ |
| 0.20 | 5.90 $\times 10^{-4}$ | 2.10 $\times 10^{-3}$ | 1.47 $\times 10^{-3}$ |
| 0.30 | 3.97 $\times 10^{-4}$ | 1.40 $\times 10^{-3}$ | 9.90 $\times 10^{-4}$ |
| 0.40 | 3.00 $\times 10^{-4}$ | 1.10 $\times 10^{-3}$ | 7.50 $\times 10^{-4}$ |
| 0.50 | 2.40 $\times 10^{-4}$ | 8.60 $\times 10^{-4}$ | 6.10 $\times 10^{-4}$ |
| 0.60 | 2.06 $\times 10^{-4}$ | 7.27 $\times 10^{-4}$ | 5.15 $\times 10^{-4}$ |

D=10.0 (cm)

| strain rate thickness (cm) | ε | | |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | P.V.C | P.E | Nylon |
| 0.01 | 0.014 | 0.051 | 0.034 |
| 0.05 | 2.88×10^{-3} | 0.01 | 7.22×10^{-3} |
| 0.10 | 1.45×10^{-3} | 5.10×10^{-3} | 3.60×10^{-3} |
| 0.20 | 7.30×10^{-4} | 2.50×10^{-3} | 1.80×10^{-3} |
| 0.30 | 4.93×10^{-4} | 1.70×10^{-3} | 1.23×10^{-3} |
| 0.40 | 3.74×10^{-4} | 1.30×10^{-3} | 9.30×10^{-4} |
| 0.50 | 3.00×10^{-4} | 1.06×10^{-3} | 7.50×10^{-4} |
| 0.60 | 2.54×10^{-4} | 8.90×10^{-4} | 6.35×10^{-4} |

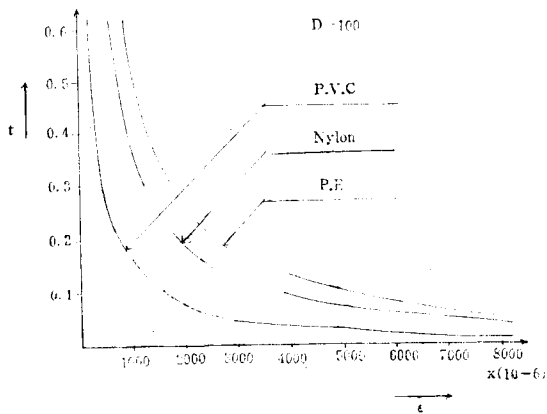


Fig. 3-8-1.

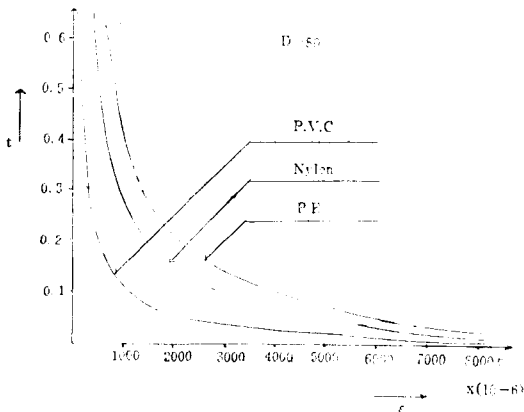


Fig. 3-8-2.

5. 結 論

1. 매설된 管은 조립분포가 양호하고 조립의

흡일수룩 흡의 단위체적 重量 및 CBR값이 커지므로 최적 함수비(OMC)에 맞춰 다짐하면 壓力을 감소시킬 수 있다.

2. 매설된 管이 받는 壓力만을 고려하면 매설 깊이가 1.5m 전후가 가장 理想的이나 그 地域의 동결심도판의 規格 및 施工性을 고려하여 結定되어야 한다.

3. 實驗 結果 管에 作用하는 土壓은 Marston의 方法과 輪壓은 Marston 혹은 Kögler의 方法과 가장 근사함을 알 수 있었다.

4. 本 研究 과정에서 얻어진 材質別 강성은 PVC, Nylon, PE의 順으로 높음을 알 수 있었다

5. 매설된 管에 動荷重 作用時 用 충격의 効果는 흙의 완충 作用에 의해 거의 소멸됨을 알 수 있었다.

6. 現在의 最大車輪荷重(8.0T)으로 載荷로 인한 매설管路의 강성은 비 매설管路에 100~200kg 정도의 荷重을 載荷시킨 경우에 흡사함을 알 수가 있었다.

7. 使用된 管은 강성에 對한 外力과 치수의 비선형 관계로 管路에 使用된 합성수지 材料가 材質 비 균일성이 큼을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Spangle, M.G, "Soil Engineering" International Textbook company, Scranton pp.409-449, 1951.
- (2) 柴田道生, "室用土質其礎構造의 設計と例解 現代理工學出版株, 東京 pp.141-168, 1977.
- (3) 金元滿, 朴仲鉉, "下水道工學"東明社 pp.58-69, 1975.
- (4) Seelye, E.E. "Foundations Design & Fractice," John Wiley & sons, Inc, New York pp.6-1~6-13, 1966.
- (5) 日本土質工學會編, "土質工學 핸드북, 技報堂 pp.170, 1965.
- (6) Hallmark, DE, and Hendrickson J.E." Concrete Culverts & Conduits Portland Comene Association
- (7) Pourles, J.E. "Foundation Analysis & Design "Mc Graw-Hill Book company New York pp.67-68.
- (8) Edwin H Gylord Jr & charles N Gylord "STRUCTURAL ENGINEERING p.25-2. Hand bck, Mc Graw-Hill company <69페이지에 계속>