

地盤의 平板載荷試驗方法에 대하여

柳 基 松

(農業振興公社 農業土木試驗研究所 首席研究員)

I. 序 論

平板載荷試驗은 地盤上에 円形 또는 正方形의 剛鐵板을 設置하고 여기에 段階的으로 荷重을 加하여 얻어지는 “荷重—沈下”의 關係로부터 그 地盤의 地盤反力係數나 極限支持力等を 구하는 試驗을 말한다. 이 試驗은 飛行場및 道路(路床)를 對象으로 하는 것과 基礎地盤을 對象으로 하는 것이 있다. 여기서 前者는 韓國工業規格으로 “道路의 平板載荷試驗方法”(KS F 2310)과 “飛行場및 道路鋪裝의 評價와 設計를 위한 흙과 可撓性鋪裝의 非反復平板載荷試驗方法”(KS F 2339) 등이 規定되어 있으나 後者에 대해서는 試驗方法이 規定되어 있지 않아 前者의 試驗方法및 外國의 試驗方法을 準用하고 있는 實情이다. 따라서 本稿에서는 世界著作權協約이 發効됨에 따라 日本土質工學會의 諒解를 얻어 同學會에서 1984年度에 發行한 “地盤의 平板載荷試驗方法·同解說”(訂正第2刷)에서 地盤의 平板載荷試驗方法을 拔萃하여 紹介하는 바이며, 아울러 日本土質工學會長任과 關係者 여러분께 感謝드린다.

II. 地盤의 平板載荷試驗方法

日本土質工學會基準을 記述하면 다음과 같다.

總 則

第1條 本基準의 適用範圍

本基準은 構造物基礎의 設計 및 設計條件을 確認하는데 必要한 地盤의 支持特性을 구하는 標準的인 平板載荷試驗에 適用한다.

第2條 載荷試驗의 目的

本基準에 의한 載荷試驗은 載荷板의 荷重沈下關係로부터 地盤反力係數나 極限支持力等 地盤의 支持特性을 구하는 것을 目的으로 한다.

第3條 載荷試驗計劃

載荷試驗의 計劃에 있어서는 構造物의 種類나 規模, 設計荷重의 크기, 地盤에 傳達되는 應力狀態및 調査地의 地盤構成을 充分히 檢討하고 試驗位置및 個所數, 最大計劃荷重, 載荷方法, 載荷裝置및 計測裝置를 決定한다.

第4條 載荷試驗方法

載荷試驗은 剛한 円形載荷板을 그의 直徑에 대하여 半無限表面이라고 看做되는 넓은地盤面에 設置하고 鉛直方向에 一定한 載荷 및 除荷速度로서 段階的으로 載荷方法에 따른 荷重과 載荷板의 沈下를 測定하는 것이다.

1章 載荷板 및 試驗地盤의 準備

第5條 載荷板

載荷板은 直徑 30cm의 円形으로서 下面이 平滑한 두께 25mm以上の 鋼板으로 한다.

第6條 試驗位置의 選定

載荷試驗은 構造物의 種類, 規模, 基礎의 크기 및 支持地盤의 土層構成等を 充分히 檢討하고 地盤의 特性을 代表하는 地點을 選定한

地盤의 平板載荷試驗方法에 대하여

다.

第7條 試驗地盤面の 整形 및 養生

(1) 試驗地盤面은 載荷板의 中心에서 1m 以上の 範圍를 水平으로 整地한다. 단, 最終的인 整形은 地盤의 變化나 攪亂을 피하기 위하여 試驗直前に 實施한다. 또 試驗地盤面の 狀況은 充分히 觀察하여 둔다.

(2) 載荷板을 設置할 部分은 地盤을 攪亂시키지 말고 平滑한 水平面으로 고른다.

(3) 試驗地盤面은 試驗期間中 地盤의 狀態가 變化하지 않도록 養生한다.

第8條 載荷板의 設置

載荷板은 마무리整形한 試驗地盤面에 水平으로 잘 密着하도록 設置한다.

2章 載荷裝置

第9條 載荷裝置一般

(1) 載荷裝置는 잣, 支柱, 載荷보 및 反力裝置로 構成되며 載荷板에 偏心荷重이 가해지지 않도록 組立한다.

(2) 載荷裝置에는 安全을 위한 保安施設을 必要에 따라 設置한다.

第10條 잣

잣은 다음의 機能을 가지는 것으로 한다.

(1) 最大計劃荷重의 120%以上 載荷容量과 變形을 할 수 있는 充分한 動長을 가질것.

(2) 荷重을 圓滑하게 增減할 수 있고 所要의 荷重을 維持할 수 있는것

第11條 支柱

支柱는 充分한 剛性을 가지며, 端面이 材軸에 대하여 直角인 것으로 한다.

第12條 載荷보

載荷보는 充分한 剛性을 가지며 휨, 剪斷, 支壓 및 座屈에 대하여 安全하고 또한 轉倒하지 않도록 設置한다.

第13條 反力裝置

(1) 反力裝置는 現場의 諸條件을 考慮하여 앵커의 反力을 利用하는 方法이나 載荷量의

反力을 利用하는 方法中 適當한 것을 選定한다.

(2) 앵커에 의한 反力裝置는 다음의 條件을 滿足하여야 한다.

(가) 앵커는 最大計劃荷重의 120%以上 荷重에 대하여 充分한 引張抵抗能力이 있어야 하며 아울러 引張材는 試驗時에 支障을 주는 伸張이 생기지 않을 것

(나) 앵커體는 載荷板의 中心에서 1.5m 以上 떨어져서 對稱으로 配置할 것

(다) 載荷보와의 接合部分은 偏心이나 二次應力等에 安全할 것

(3) 載荷重에 의한 反力裝置는 다음 條件을 滿足하여야 한다.

(가) 上載荷重은 最大計劃荷重의 120%以上으로 할것

(나) 載荷重의 받침대는 載荷板의 中心에서 1.5m以上 떨어진 位置에 設置할 것

(3) 反力裝置는 載荷에 의한 移動이나 轉倒에 대하여 安全할것

3章 計測裝置

第14條 計測裝置一般

(1) 計測裝置는 荷重計, 沈下의 計測裝置 및 時計로 構成된다.

(2) 計測裝置는 試驗目的에 適合한 容量 및 精度를 가져야 한다.

(3) 計器는 다음 事項에 留意하여 設置한다.

(가) 操作, 調整, 計測이 容易하고 試驗進行中에 測定者의 安全을 維持할것

(나) 振動이나 氣象變化에 따른 支障을 招來하지 않도록 할것.

第15條 荷重計

(1) 荷重은 原測의 으로 프루빙링 또는 壓力計(load cell)를 使用한다.

(2) 荷重計의 容量은 最大計劃荷重의 120~200% 範圍로서 精度는 最大計劃荷重의 $\pm 1\%$ 以內로 한다.

(3) 荷重計는 미리 檢定하여 精度를 確認하여야 한다.

第 16條 沈下計測裝置

(1) 沈下計測裝置는 基準點, 基準보 및 變位計로 構成된다.

(가) 基準點: 基準點은 基準보를 支持하는 것인데 載荷板中心 및 反力點兩者에서 1.0m 以上 떨어진 場所에 設置한다.

(나) 基準보: 基準보는 充分한 剛性을 가진 鋼材를 使用하며, 振動이나 溫度變化에 따른 有害한 影響을 받지 않도록 하여 基準點에 支持시킨다.

(다) 變位計는 1/100mm 눈금, 測定範圍 30mm 以上の 다이얼계이지 또는 이에 準하는 性能을 가진 變位計를 使用하며, 試驗전에 正常으로 作動하고 있는지를 確認하여야 한다.

(2) 變位計는 다음 事項에 留意하여 原則적으로 4 個支點에 設置한다.

(가) 變位計는 載荷板에 對稱인 位置에 設置한다.

(나) 變位計는 載荷板의 沈下를 正確히 計測할 수 있도록 鉛直으로 設置한다.

(다) 試驗進行에 따른 載荷板의 傾斜나 水平變位를 考慮하여 變位計의 先端에 接하는 面은 適當한 넓이로 平滑한 水平面으로 한다.

第 17條 時計

時計는 時刻 및 經過時間을 各各 計測할 수 있어야 한다.

4章 試驗方法

第 18條 載荷方法

載荷方法은 試驗目的에 따라서 荷重制御에 의한 1 사이클方法 또는 多사이클方法을 選定하며 載荷는 第 1 段階의 荷重을 超過하지 않는 範圍에서 豫備載荷를 한후 다음과 같이 實施한다.

(가) 荷重은 最大計劃荷重을 8段階以上으로 等分割하여 載荷한다.

(나) 荷重의 增減은 迅速하게 一定한 速度로 한다.

(다) 荷重維持時間은 30分程度의 一定한 時間으로 한다. 단, 除荷 및 再載荷의 荷重段階

에서는 5分程度의 一定한 時間으로 한다.

또 豫備載荷는 迅速하게 反復하여야 하며 그때마다 荷重과 沈下를 測定한다.

第 19條 沈下測定

沈下測定은 各荷重段階에서 所要의 荷重에 到達한 후 原則적으로 經過時間 0分, 1分, 2分 5分 및 그 以後는 5分마다 荷重維持時間동안 繼續하여 測定한다.

5章 試驗實施

第 20條 實施計劃

試驗實施에 앞서 載荷裝置, 計測裝置, 試驗要員, 試驗方法 등의 實施計劃書를 作成한다.

第 21條 試驗準備

實施計劃書에 따라 適切한 試驗을 할 수 있도록 試驗準備를 한다.

(1) 載荷板의 設置

試驗目的에 適合한 地盤인가를 確認한 후 迅速히 載荷板을 設置한다.

(2) 載荷裝置, 計測裝置의 組立

載荷裝置, 計測裝置에 대해서는 安全과 그 의 機能을 充分히 發揮할 수 있도록 組立한다.

(3) 環境整備

바람, 비, 햇빛, 地下水 및 其他의 作業에 의하여 試驗이 阻害되거나 測定精度가 低下되지 않도록 環境을 整備한다.

第 22條 試驗實施上의 注意

(1) 擔當任務의 確認

試驗責任者는 載荷試驗目的을 充分히 達成할 수 있도록 時間, 荷重, 沈下測定, 記錄整理 및 保安擔當任務를 事전에 確認한다.

(2) 試驗의 開始, 中斷 및 終了

試驗은 試驗準備가 된 것을 確認한 후에 開始하며, 荷重, 時間, 沈下의 關係를 把握하면서 計劃書에 따라 試驗을 進行한다. 試驗을 開始한 以後는 原則적으로 試驗을 中斷하면 안된다. 載荷荷重이 最大計劃荷重에 到達하거나 그 荷重以下에서도 試驗目的을 達成할 수 있다고 判斷되면 試驗을 終了한다.

(3) 安全管理

試驗中에는 載荷裝置의 狀態等을 恒常 觀察하여 安全을 確保한다.

第23條 試驗中の 記錄

다음의 項目을 現場에서 記錄한다.

- (가) 荷重, 時間, 沈下
- (나) 試驗開始 및 終了日字와 時刻, 試驗者名
- (다) 氣象의 變化
- (라) 試驗地盤의 觀察結果
- (마) 載荷에 의한 載荷板周邊地盤의 表面變化
- (바) 測定中の 特記事項

6章 試驗結果의 整理와 報告

第24條 試驗結果의 表示

測定結果로 “荷重—沈下曲線圖”, “時間—沈下曲線圖”, “時間—荷重曲線圖” 및 豫備載荷時의 “荷重—沈下曲線圖”를 作成한다. 또 多사이클 方法의 試驗에서는 “荷重—殘留沈下曲線圖” 및 “荷重—回復量曲線圖”도 作成한다.

第25條 試驗結果의 評價

24條의 結果로 다음과 같이 檢討를 한다.

(1) 地盤反力係數

地盤反力係數는 “荷重—沈下曲線圖”를 利用, 다음式에 의하여 구한다.

$$\text{地盤反力係數}(kv) : kv = \frac{\Delta P}{\Delta S} \text{ (kgf/cm}^3\text{)}$$

여기서, ΔP : 單位面積當 荷重의 範圍(kgf/cm²) ΔS : ΔP 에 대한 沈下量(cm)

(2) 極限支持力

極限支持力은 “荷重—沈下曲線圖”에서 沈下が 急激히 增加하기 始作할 경우 또는 載荷板이나 그 周邊地盤의 狀況이 急激히 變化하여 載荷가 困難한 始點의 경우의 單位面積當荷重으로 한다.

第26條 試驗結果報告

試驗結果는 다음 事項을 明記함과 同時에 必要한 圖表 및 寫眞을 添附하여 報告한다.

(1) 一般事項

- (가) 工事名稱
- (나) 試驗場所
- (다) 試驗實施機關名과 實施責任者名
- (라) 試驗經緯와 目的
- (마) 試驗個所數와 試驗期日
- (바) 試驗場所 및 그의 周邊狀況

(2) 試驗位置와 試驗地盤

- (가) 試驗位置
- (나) 柱狀圖와 土性圖
- (다) 試驗地盤의 觀察結果
- (라) 試驗地盤의 地下水狀況

(3) 載荷·計測裝置 및 試驗擔當者名

- (가) 載荷板과 그의 位置
- (나) 載荷裝置와 計測裝置
- (다) 試驗擔當者名

(4) 試驗方法과 實施經過

- (가) 試驗方法
- (나) 實施經過

(5) 試驗結果와 評價

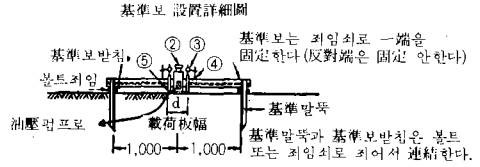
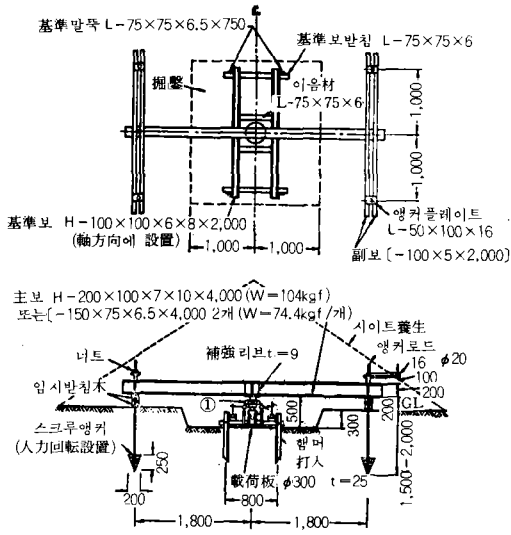
- (가) 試驗結果圖 및 表
- (나) 評價

Ⅲ. 試驗裝置의 例

1. 人力에 의한 比較的 簡單한 裝置

小數의 人力으로 短時間에 準備할 수 있는 裝置로서는 一般的으로 載荷重이 3~4tf 程度以下이며, 單一部材의 重量도 100kgf 程度를 限度로 可能한 限 輕量인 形式이 利用된다. 代表的인 試驗裝置의 例로서 그림. 3-1은 簡單한 앵커에 의한 形式을, 그림. 3-2는 現場掘鑿土를 載荷量으로 利用한 形式을 나타낸 것이다.

그림. 3-1의 앵커는 1個當 1~1.2tf 程度의 引拔抵抗을 期待하고 現場에 設置하는데 手動式오거를 使用하거나 直接 回轉시켜 박아서 1.5~2.0m 程度의 深度에 앵커의 스크루플레이트(screw plate)를 埋設한다. 이 앵커와 載荷보(beam)는 나사를 充分히 죄어서 連結하



1. 荷重計 (프루빙링 3tf용)
2. 油壓 잭 5tf
3. 變位計 (다이얼계이지精度 1/100mm 작동거리 50mm)
4. 자석식 스탠드
5. 載荷板 φ300계이지받침 L-50유리관 添附

主보의 應力 검토 (H-200×100×7×10 1개 사용)

$$P = 3.0tf, l = 3.6m$$

$$\text{휨 應力} : \sigma_x = 1/4 \cdot P \cdot l / z_x = 1/4 \times 3.0 \times 3.6 \times 10^5 / 218 = 1,238 \text{kgf/cm}^2 < \sigma_a$$

$$\text{剪斷應力} : \tau_x = 1/2 \cdot P / A_w = 1/2 \times 3.0 \times 10^3 / 14 = 107 \text{kgf/cm}^2 < \tau_a$$

$$\text{휨 량} : \delta_x = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{3 \times 10^3 \times (360)^3}{48 \times 2.1 \times 10^8 \times 2,180} = 0.64 \text{cm}$$

副보의 應力 검토 (□-100×50×5 2개 사용)

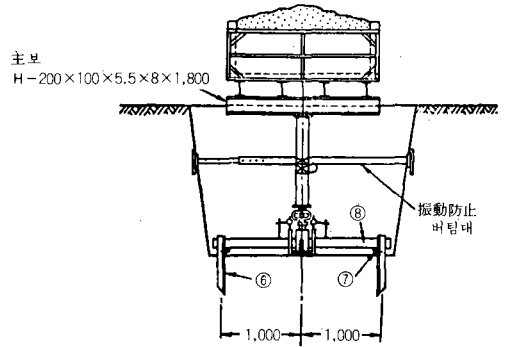
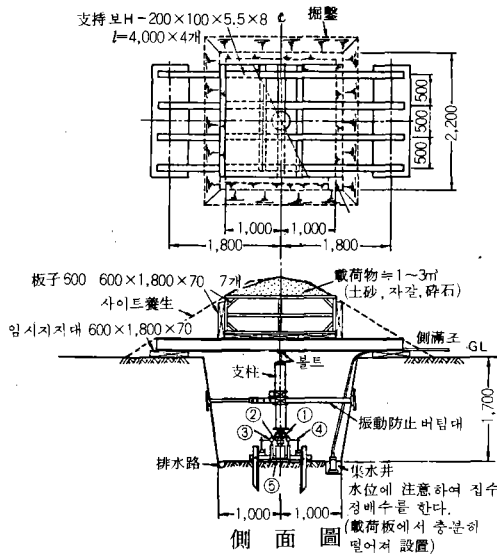
$$P = 1.5tf, l = 2.0m$$

$$\text{휨 應力} : \sigma_x = 1/4 \times 1.5 \times 2.0 \times 10^5 / 37.8 \times 2 = 992 \text{kgf/cm}^2$$

$$\text{剪斷應力} : \tau_x = 1/2 \times 1.5 / 5 \times 2 = 75 \text{kgf/cm}^2 < \tau_a < \sigma_a$$

$$\text{휨 량} : \delta_x = \frac{1.5 \times 10^3 \times (200)^3}{48 \times 2.1 \times 10^8 \times 189 \times 2} = 0.32 \text{cm}$$

그림. 3-1. 簡易 앵커를 사용한 例.



側面圖

1. 荷重計 2. 油壓 잭 5tf (球座附)
3. 變位計 다이얼계이지 精度 1/100mm 작동거리 50mm
4. 자석식 스탠드
5. 載荷板 φ300 계이지받침 L-50
6. 基準말뚝 L-75×75×6×750~1,000
7. 基準보 받침 L-75×75×6
8. 基準보 H-100×100×6×8

그림. 3-2. 現場掘鑿土를 이용한 例.

며, 미리 應力을 加하여 試驗初期에 앵커의 浮上으로 連結部가 弛緩되지 않도록 한다. 만약 最大計劃荷重이 작을 경우는 앵커의 設置 個數를 2個로 할 수도 있다. 이때 앵커는 載

荷보의 軸線에 있어야 하며, 아울러 載荷보의 橫斷方向에 관한 安定性에 注意를 해야 한다.

그림. 3-2는 木製 또는 鋼製板을 箱子形으로 만든 容器中에 載荷重으로 現場의 掘鑿土를

넣어 사용한 예이다. 箱子에 넣은 느슨한 흙의 重量은 1.2~1.3tf/m³ 程度의 密度로 推定한다.

그림 3-2와 같이 板子 7個를 사용한 一段(60cm)에서는 V=1.94m³(≒2.5tf), 다시 4個를 追加設置한 2段(1.2m)에서는 V=3.88m³(≒5.0tf)로 된다. 높이를 낮게 1段程度로 하고 邊長을 넓게 하는 方法도 可能하며, 어느 치수로 하는가는 現場狀況에 따라 알맞는 치수로 決定하면 좋다. 平面을 넓게 할 경우는 흙을 中央에 높게 올려 쌓는 편이 浮上에 대한 安定性에도 좋다. 또한 容器는 흙을 쌓아 넣을 경우의 土壓이나 試驗中에 下部의 集中荷重에 의하여 板子가 부서지지 않도록 鐵線等으로 充分히 固定해야 한다. 試驗地盤面이 낮고 流水가 없는 경우의 變位計測은 直續式다이얼게이지를 使用하는 경우가 많으며 그림中에 나타낸 바와 같이 測定者가 便安한 姿勢로 보기 쉬운 높이에 다이얼 게이지

를 設置할 수 있도록 載荷板에 垂直으로 4個의 計測用스탠드를 세워두면 좋다.

2. 重機等을 使用하는 比較的 大規模인 裝置

載荷重이 5~10tf程度로 되면 荷重이 클뿐만 아니라 載荷보等도 大型으로 되어 人力만으로는 다루기 어려우므로 荷重의 設置, 裝置의 組立等에 重機使用이 必須條件으로 된다. 施工現場의 경우에 掘鑿用重機自體를 載荷重으로 利用하는 例외에 鐵板, 鐵筋, 鐵骨, 자갈채운 布袋및 시멘트等を 載荷重으로 利用하는 例가 많다. 그림 3-3은 掘鑿用重機를 利用한 例이다. 掘鑿用重機는 6~40餘七級の 여러가지 重量이 있으며 카탈로그等を 利用하여 事前에 重量이나 重心位置等を 確認하고 試驗中에 浮上하지 않도록 充分히 注意하여 利用해야 한다.

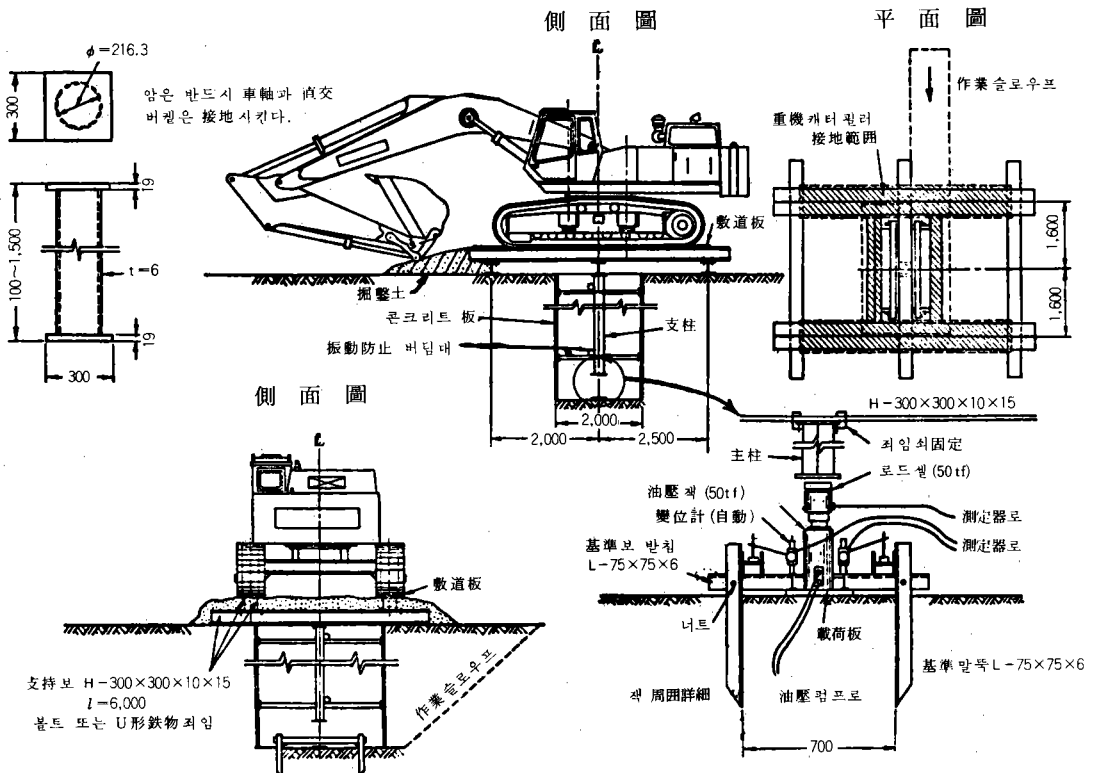


그림 3-3. 重機等の 固定荷重을 使用한 例.

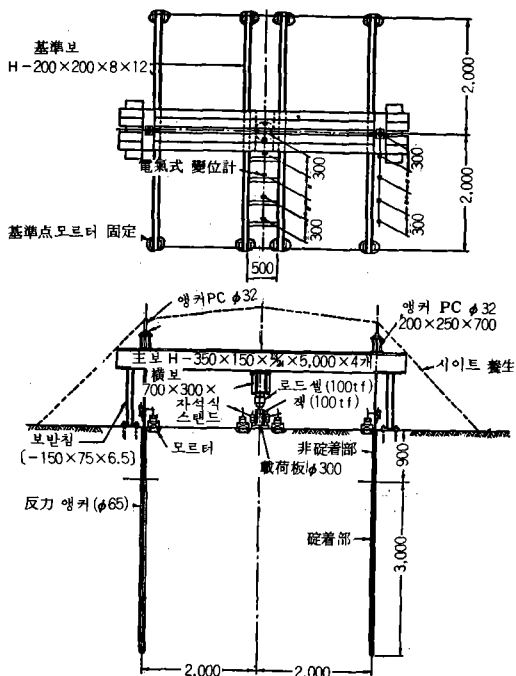


그림.3-4. 試驗荷重在 클 경우 앵커使用例.

그림.3-4는 本格的인 어스앵커를 設置한 特히 載荷重이 큰 경우의 例이다. 앵커體가 地盤에 미치는 影響에 對해서는 明確히 解明되지 않은 點도 있어 可能한 限 載荷板과 앵커體가 立體的으로 서로 멀리 떨어진 位置에 있도록 하고 그림.4-4와 같이 앵커附近 地表面의 變位分布를 測定하여 이 結果로부터 影響이 없는지를 確認하면 좋다. 最大計劃荷重在 클 경우 즉, 期待되는 支持力이 큰 地盤에서는 地盤條件도 複雜한 경우가 많아 載荷板의 設置나 地下水의 處理方法等으로 困難을 당할때가 적지 않다. 粒徑이 큰 砂礫地盤은 掘鑿하여 均一하게 水平으로 고르기가 困難하며 特히 地下水面이 試驗地盤보다 높을 경우는 一時的으로 地下水位를 低下시켜야만 된다. 자갈의 狀態에도 달렸지만 無理하게 整形하여 자갈사이의 모래를 弛緩시키지 않도록 適當히 整形한 후 石膏等으로 水平面을 만들고 載荷板을 地盤에 密着시켜 水平으로 設置한다. 이때 載荷板周邊에 빠져나온 石膏는 固化한 後

에 載荷板周邊에 沿하여 칼等으로 잘린곳에 집어 넣는 것으로 그치고 이것을 除去하지 않는 것이 좋다. 地下水에 對해서는 充分한 強度가 期待되는 地盤은 相當한 程度로 固結된 條件이므로 一時的인 水位低下에 의한 물다짐 等の 影響은 과히 큰 것은 아니며 載荷板接觸面等이 流失되므로써 생기는 初期의 變形性狀에 對한 影響이 더 크다고 判斷된다. 이 때문에 載荷板設置時에 整形面으로부터의 流水를 防止할 目的으로 試驗孔周邊에 얇은 溝를 掘鑿, 모서리에 集水井을 設置하고 排水하여 必要한 最少限度의 水位를 低下시킨다. 水位低下가 클 경우는 試驗時에 有效應力의 影響이 없는 程度까지 水位를 回復시킨다.

3. 其他의 特殊한 裝置

그림.3-5는 깊은 基礎內에서 實施한 例이다. 깊은 基礎와 같이 試驗地盤面이 깊은 경우는 支柱를 地上에 있는 보에 固定하고 잭과 變位計를 下部에 設置해서 地上에서 遠隔操作하는 方法이 좋다. 긴 支柱를 載荷板에 直接 固定하는 경우는 地盤破壞에 의한 載荷板의 回轉을 拘束하거나 支柱의 自重等이 荷重에 影響을 주는 問題가 있다. 또 載荷板의 變位計測에 있어서도 載荷板에 긴파이프 또는 피아노 線等을 세워서 測定하는 方法도 있으나 溫度 및 振動의 影響을 받기 쉬워 測定精度를 維持하기 困難하다. 載荷重으로서 是 깊은 基礎에 쓰이는 골진 鐵板 또는 鐵筋等을 必要한 量만큼 確保하여 地上部에 쌓아서 載荷重으로 한다. 그림.3-6은 오픈케이슨內에서 實施한 例이다. 케이슨의 경우는 軀體의 自重이 크므로 이것을 反力으로 利用할 수 있다. 試驗荷重在 클 경우는 特히 支柱의 座屈 및 軀體와의 連結部分等의 安全面에 注意를 해야 한다. 또한 載荷板의 設置位置와 基準點은 케이슨의 先端 날끝(刃口)의 影響을 받지 않는 位置에 選定 해야 한다. 그림.3-7은 깊은 掘鑿現場에서 重 機車輦等이 올라선 構台下의 構台말뚝을 載荷重으로 利用한 例이다. 試驗에 必要한 荷重은 構台上部의 重機 또는 載荷物을 滿載한 덤프

地盤의 平板載荷試驗方法에 대하여

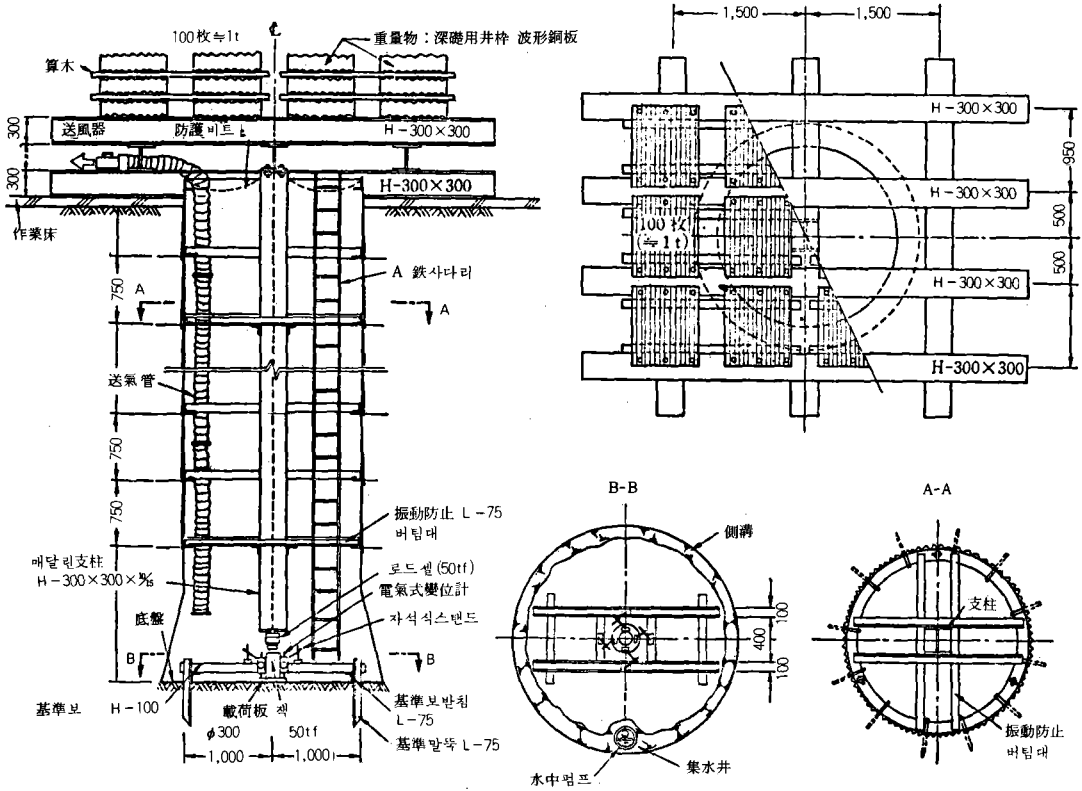


그림. 3-5. 深礎內的 例.

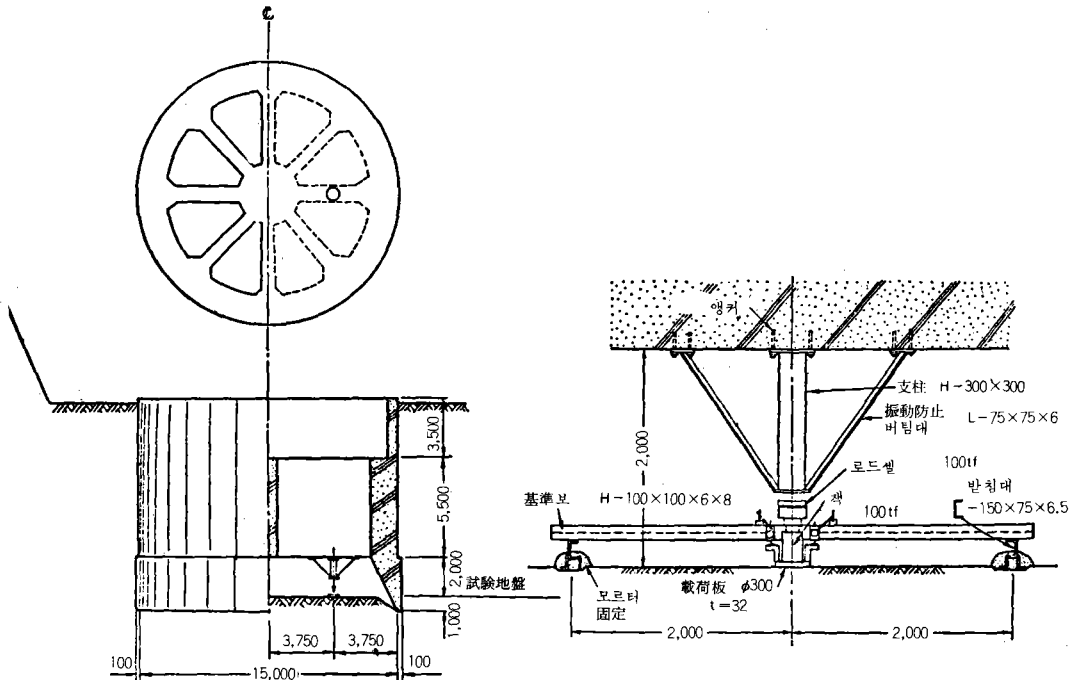


그림. 3-6. 오픈케이슨內的 例.

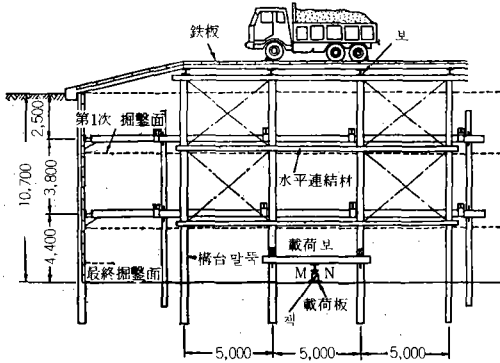


그림. 3-7. 構台말뚝을 사용한 最終掘鑿面內의 例.

트럭으로 부터 充分한 荷重을 取하며, 構台말뚝이 引拔되지 않도록 해야 한다. 一般의 試驗은 最終터파기底面에서 하며, 試驗面이 重機等에 의하여 攪亂되지 않은 所要의 深度에서 한다.

이와 같은 例에서는 本體工事와 並行作業이 되므로 工事進捗 및 作業의 安全面에 대하여 施工業者와 充分한 協議를 한 후 試驗에 대한 協力을 구해야 한다.