

都心地 新築B / D基礎 및 近接施工에 관한 最近動向(上)

八尋暉夫

On the recently trend of execution works in
new building foundation excavation

H. YAHIRO

本學會가 “科學의 달” 記念年例行事 (本學會 主催 4月 24日 建設會館講堂)로서 今般 招請한 外國專門家는 八尋暉夫 博士로서 1959年 東北大學 工學部 資源工學科을 卒業 鹿島建設(株) 技術研究所에 入社 現在 次長으로 勤務하고 있다. 土質基礎分野의 技術士 資格을 가지고 있으며 東京都 立大學 土木工學科의 講師도 맡고 있다. 最近에 “water Jet을 利用하는 地下工法” 著書도 出版한 바 있으며 日本 water Jet學會 副會長으로 活躍하고 있다.

1. 基礎工事

1.1 基礎工事に 의한 近接施工의 問題點

既設 構造物에 近接하여 抗打나 掘鑿 등의 基礎工事を 實施하면, 周圍의 地盤이 攪亂되어 地中に 變位나 變形이 생기나, 이 影響을 받는 地盤의 範圍內에 既設 構造物이 있으면 이 既設 構造物에도 變位나 變形이 생긴다. 이 量이 커지면 構造物의 機能이나 安全性에 障害가 생기게 된다.

따라서 近接하는 基礎工事を 實施할 때는 우선 周圍의 地盤에 變位 등의 影響을 주는 要因을 充分히 把握한 후에 影響의 豫測이나 對策工法 등을 檢討하는 것이 重要하다. 아래에 代表的인 基礎工法에 대하여 周圍에 影響을 주는 要因에 대하여 記述한다.

(1) 場所 打設말뚝

場所 打設말뚝 工法에서는 casing 또는 孔內水에 의해 孔壁을 保持하도록 掘鑿하므로 理想的으로 施工되면 周圍 地盤에 미치는 影響은 比較的 적다고 생각된다. 그러나 말뚝 周圍 및 先端部의 地盤이 弛緩되기 쉽고 또한 孔壁이 崩壞되었을 경우에는 近接한 既設 構造物에도 큰 影響을 줄 憂慮가 있다.

代表的인 場所 打設말뚝 工法으로서는 all casing工法, earth drill工法, reverse circulation工法이 있으나 각각의 近接 施工에 관한 留意點은 다음과 같다.

all casing工法에서는 말뚝 全長에 걸쳐 casing을 作用하므로 孔壁의 崩壞는 없다. 그러나 casing의 요동에 起因하여 發生하는 振動은 다른 2工法에 비해 크기 때문에 地下水位 以下の 細砂層이 두꺼울 경우에는 소위 水締狀態가 되는일도 있고 이 結果로서 周圍 地盤의 狀態에 變化를 주는 외에 孔內水가 적을 경우에는 boiling이나 heaving현상이 發生할 可能性이 있고 이들도 周圍 地盤을 攪亂시키는 原因이 될 수 있다. 또한 掘鑿機의 自動도, 크고 casing을 뽑아 낼때의 應力도 이것에 보태지므로 경우에 따라서는 地盤의 補強도 必要하게 된다.

earth drill工法 및 reverse circulation工法에서는 機械의 振動은 比較的 적으나 掘鑿時에 casing을 使用하지 않기 때문에 孔壁 崩壞의 危險性이 있다.

(2) 既製 말뚝 工法

綱管 말뚝이나 concrete 말뚝 등의 既製 말뚝을 打撃이나 壓力에 의해 埋設하는 工法에

있어서는 地盤이 壓縮性 흙으로 된 경우 그림 32와 같은 現象이 생긴다. 이것은 말뚝의 周邊 摩擦力에 의해 周邊의 地盤이 그 沈下와 함께 아래쪽으로 잡아 당겨지는 現象으로 影響 範圍는 말뚝의 周邊 근처에 限定되어 있으나 大斷面圖의 말뚝의 경우에는 이 部分의 影響 範圍도 커지므로 注意를 要한다.

또한 砂質地盤이나 軟弱한 粘性地盤의 경우에는 打設된 말뚝의 體積만큼 흙이 側方으로 밀려 넓혀지게 된다. (그림 33). 이런 種類의 地盤變位의 影響은 比較的 크나 그 影響程度는 말뚝의 種類에 따라 상당히 다르다. 藤田 등에 의하면 PC 말뚝, RC 말뚝, 鋼管말뚝, H 말뚝에 대하여 行한 말뚝 打設에 의한 水平變位量의 값은 그림 34와 같이 된다. 이 結果에서 concrete 말뚝과 같은 閉塞말뚝에서는 打設時의 排度量도 커지기 때문에 周邊 地盤의 水平變位量도 커지게 되고, 또한 鋼管말뚝이나 H 말뚝 등에서는 比較的 작은것을 알 수 있다. 그러나 定量的으로는 土質에 의한 差異도 考慮에 넣지 않으면 안되므로 重要한 工事を 實施하여 그 影響程度를 check 하는 것도 必要할 것이다.

기타 打設機械의 振動에 의해 地下水위가 높게 飽和되어 있는 느슨한 砂質土에서는 容易하게 體積의 收縮이 생겨 이것이 原因으로 말뚝 周邊에 沈下가 일어나는 일도 있다. 이것은 -

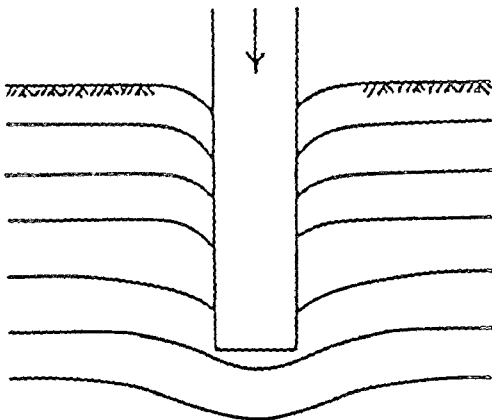


그림 32 함께 내려오는 現象

種의 液狀化 現象이라고 할 수 있는 것으로 이러한 憂慮가 있는 地層에서의 施工에는 充分한 注意가 必要하다.

한편 中掘 말뚝工法은 PC 말뚝이나 鋼管말뚝 등 中空으로 되어있는 말뚝의 內側을 auger 등으로 掘鑿하면서 말뚝을 밀어 넣는 工法으로 打設말뚝의 경우와 같은 地盤의 側方으로 밀어 넓힘도 없는 低振動工法이기도 하므로 近接施工에는 有効하다. 그러나 砂層에서의 boiling의 發生이나 말뚝周邊을 弛緩시킬 憂慮가 있다. 또한 말뚝直徑 보다도 큰 徑의 bit를 使用하지 않도록 하지 않으면 안된다.

preboring 工法은 auger에 의해 미리 鑿孔하고 이 孔에 既製말뚝을 매워 넣는 工法으로 中掘 말뚝工法과 똑같이 近接施工에는 有利한 工法이라고 할 수 있다. 但 鑿孔에 隨伴하여 周邊 地盤을 弛緩시킬 可能性이 있다.

(3) open caisson 工法

caisson 工法에서는 caisson 沈設時의 周面 摩擦抵抗을 減少시키기 위하여 通常적으로 friction cutter가 設置되어 있다. 이 friction cutter는 caisson 沈設時에 caisson 本體와 周邊地盤과의 사이에 空隙이 생기기 때문에 이 空隙에 土砂가 移動하여 地盤變位의 原因이 되기 쉽다 (그림 35). 또한 caisson을 左右로 기울이면서 沈下시키거나 jet

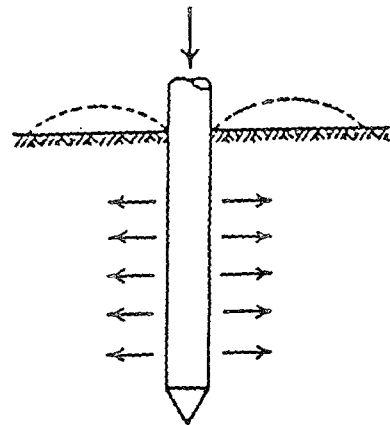


그림 33 打設말뚝에 의한 地盤의 밀어 넓어짐.

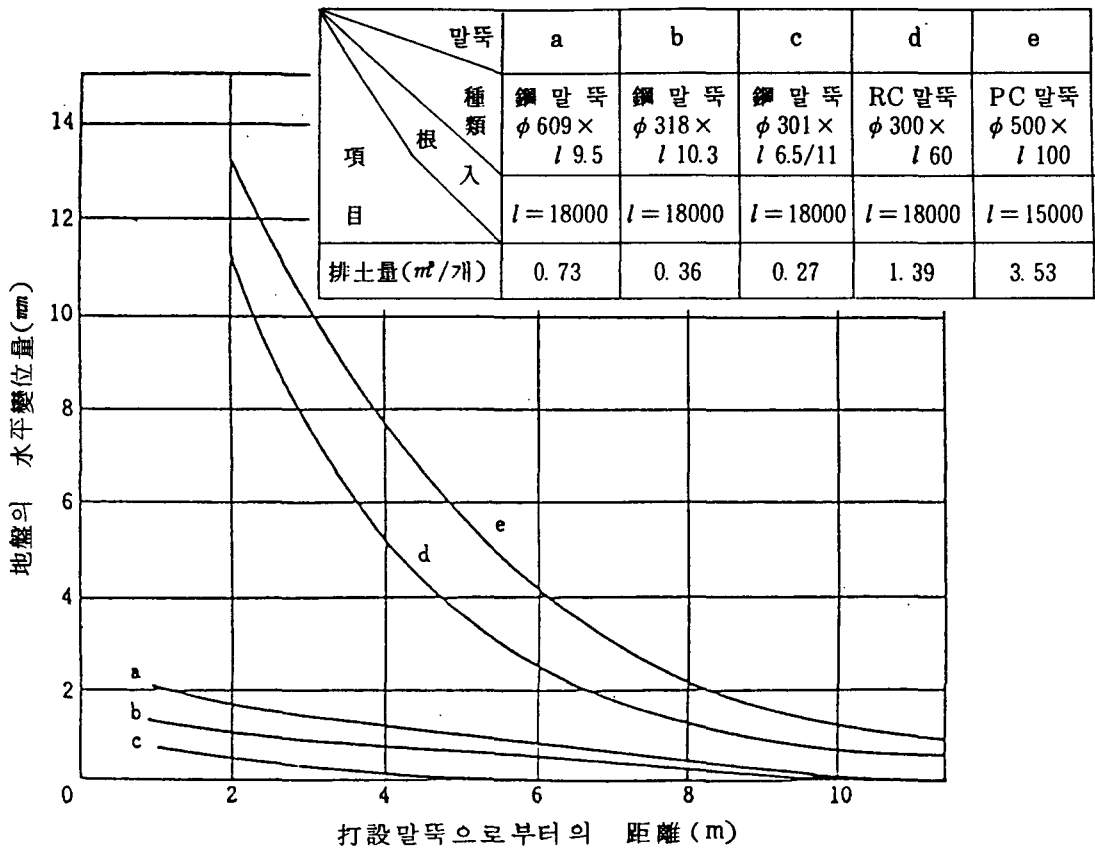


그림 34 말뚝 種別, 排土量 및 地盤의 水平變位置

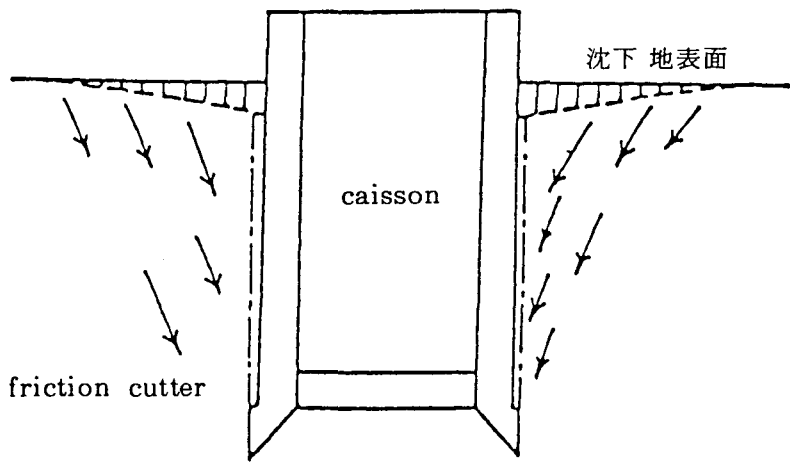


그림 35 caisson의 friction cutter에 의한 地盤變位

를 사용하거나 하는 것도 地盤을 攪亂시키는 要因이 된다.

다시 掘鑿段階에 있어서 boiling, heaving, blow-up (粘性土中の 掘鑿底面이 그 아래 방향에 있는 滯水層에 接近했을때 多量の 土砂가 caisson內로 噴出하는 現象) 등의 發生도 地盤變位の 原因이 된다.

粘土地盤에 있어서의 heaving에 관해서는 caisson重量이 周面 摩擦을 통하여 周圍의 흙에 傳達되므로 開鑿工事의 경우보다도 危險側으로 되는것을 생각할 수 있다. 따라서 이 點을 考慮하여 heaving의 檢討를 行하는 것이 重要하다.

(4) pneumatic caisson 工法

pneumatic caisson에 있어서도 open caisson의 경우와 똑같이 friction cutter에 의한 空隙의 影響은 크다고 생각된다.

또한 자갈층이나 岩盤에서는 air blow 를 일으키기 쉽고 이것도 地盤을 攪亂시키는 要因이 된다.

1.2 基礎工事に 의한 近接施工의 檢討方法

(1) 影響의 豫測方法

一般的으로 基礎工事に 있어서의 影響이 豫測方法은 有限要素法(以下 FEM이라고 한다) 등의 解析에 의한 方法과 實驗이나 經驗을 重視하는 方法으로 大別된다.

각각 得失은 있으나 前者에 대하여는 解析의 結果로서 일단 影響程度의 豫測值가 具體的인 數值로서 얻어지므로 既設 構造物의 許容變位量이 設定되어 있을 경우 등에는 便利하다고 생각된다.

FEM으로 解析할 경우에는 施工에 隨伴하여 發生하는 條件 變化 등을 어떻게 評價하여 解析 model에 入力하는가가 어려우나, 例를 들면 caisson工事의 경우에는 friction cutter에 의한 caisson周面の 空隙을 強制變位로서 入力시키거나 또는 caisson周面과 地盤과의 摩擦을 外力으로서 入力시키거나 하여 周邊地盤의 變位를 計算하는 手法이 취해지고 있다.

FEM에 의한 計算은 比較的 一般的으로 행해지고 있으나 이 手法을 使用하는 경우에는 특히 아래의 點에 注意할 必要가 있다.

- 施工法의 差異(打設말뚝과 中掘말뚝, open caisson과 pneumatic caisson) 등에 의한 周邊地盤의 影響程度를 어떻게 評價하는가

- 構造物과 地盤의 境界를 어떻게 model化하는가(地盤의 變位를 알아도 既設 構造物의 變位에 連結시키는 것이 어렵다)

- 通常적으로는 地盤을 連續體로 假定하나 이 경우 미끄러짐(sliding)線의 發生을 어떻게 考慮하는가

- 흙의 不均質이나 地盤 反力係數의 치수 効果(K值가 치수의 -1乘에 比例하지 않는것)를 어떻게 評價하는가

上記한 各 項目의 評價方法에 의해 結果의 數值도 크게 變하게 되어 狀況에 따라 FEM에 의한 解析結果도 그 信賴性을 잘 알고 난후에 취급하는 것이 必要할 것이다.

한편 지금까지의 施工事例를 充分히 調査하여 類似한 case에 대하여, 어떠한 것이 原因으로 어느程度 影響을 미쳤는가, 그 影響의 發生範圍는 어느정도 있는가, 어느 工程에서 影響이 나왔는가 등의 點에 대하여 檢討하여 豫測하는 것은 극히 有効하다. 이 경우 近接施工에 관한 여러가지의 實驗結果나 그림 34와 같은 實測例 등도 크게 參考가 될 것이다.

近接施工에서는 土質條件, 地下水의 狀況, 實際 施工의 狀況 및 既設 構造物의 狀況(老朽度나 基礎의 狀況) 등의 數值化가 困難한 要因도 그 影響程度에 關係되므로 이들 點도 考慮에 넣어 檢討할 必要가 있다.

(2) 對策工法の 思考方法

近接施工의 對策工法으로서는 周邊地盤의 改良이나 周邊地盤이나 既設 構造物의 補強이라는 2次的인 對策工法도 効果的으로 組合하여 行할 必要가 있으나 애당초 原因이 되는 곳의 地盤變位の 發生을 極力 작게 抑制하는 것이 가장 重要하다는 것은 말할 必要도 없다. 이를 위해서는 우선 제일 먼저 設計時點에 있어서 近接施工이라는 觀點에서 適切한 基礎形式을 選定하는것 둘째로 施工時에 周邊地盤을 攪亂하지 않도록

充分히 配慮하여 必要한 處置를 講究하는 것이 必要하다.

最初에 基礎形式의 選定에 關係 主要한 留意點을 들면 아래와 같다.

① 말뚝基礎에 있어서는 말뚝의 施工 그 自體에 의해 影響을 미친 事例보다도 footing의 施工에 隨伴하는 開鑿時에 影響을 미친 例의 便이 많은 것에서부터 footing 등의 位置를 될 수 있는대로 地表面 가까이로 올려 掘鑿深度를 작게 하는 配慮가 必要하다. 또한 既製말뚝 工法을 使用할 경우에는 先端 閉塞말뚝보다도 開端말뚝이 有利하고 preboring 工法이나 中掘 工法을 併用하면 더욱 效果의이다.

但, preboring 工法이나 中掘 工法을 採用할 때는 橫方向의 支持力 등에 關係 通常의인 打擊에 의한 打設말뚝과 同時에 評價할 수 없는 경우가 있으므로 設計時點에 있어서 미리 考慮하지 않으면 안된다.

② 剛體基礎를 選定할 경우에는 open caisson은 될 수 있는대로 避하고 pneumatic caisson 또는 地中 連續壁基礎를 選定하는 便이 有利하다.

③ 鋼管矢板式基礎에 대해서는 假締切 兼用 方式 또는 세워올리는 方式을 採用하는 것이 要望된다.

但, 以上の 點은 어디까지나 一般論으로서 個個의 施工條件에 따라서는 例外的으로 對處하지 않으면 안되는 것은 말할 必要도 없다.

다음에 施工方法에 關係 注意하여야 할 事項을 記述한다.

① 場所 打設말뚝

- 掘鑿中에 泥水나 安定液의 稀釋이나 脫水가 있으면 孔壁 崩壞의 原因이 되므로 事前에 地下水에 關係 調査를 念頭에 넣고 行하여 이들의 可能性이 없는 것을 確認할 必要가 있다.

- all casing 工法의 경우에도 boiling이나 heaving을 防止하기 위해 孔內 水位를 確保하는 것이 좋다. 또한 heaving의 可能性이 있을 경우에는 casing을 掘鑿보다도 先行하여 挿入할 必要가 있다.

- earth drill 工法 및 reverse

circulation 工法에서는 比重이 높은 泥水 (또는 安定液)를 使用하는 등 하여 孔壁의 安定을 圖謀한다.

- 掘鑿機의 荷重이 클 경우에는 適宜 地盤을 補強한다.

② 既成 말뚝 工法

- 既製 말뚝의 打設이나 壓力에 의한 地盤의 눌러 넓혀짐이 問題가 될 경우에는 中掘 工法이나 preboring 工法을 採用하는 것이 좋으나 이들 工法은 掘鑿時에 場所打設말뚝과 똑같이 孔壁의 崩壞나 先端地盤의 弛緩이 생길 可能性이 있으므로 孔內水를 確保하는 등의 注意가 必要하다.

③ open caisson 工法

- friction cutter에 의한 caisson 外周面과의 空隙을 작게 하기 위하여 friction cutter의 寸수를 작게 한다. 한편 周面摩擦이 크면 周邊地盤을 끌어 넣는 것이 發生하므로 活性 摩擦劑의 塗布, air curtain 미끄러지기 쉬운 sheet 등에 의한 摩擦低減 對策을 講究한다.

- caisson의 沈設은 原則的으로 自重만으로 行하는 것이 좋으나 어쩔 수 없이 過載 荷重에 의한 沈下를 行할 경우에도 過度한 top heavy가 되면 caisson의 기울어짐이 생기기 쉽므로 注意가 必要하다. jet 등에 의한 沈下促進은 避하는 便이 좋다.

- 더 掘鑿하거나 掘鑿의 기울어짐은 行하지 않는다.

- 모래地盤에서는 boiling의 發生을 防止하기 위하여 水位를 保持하여야 하고 물 바꿈 등에 의한 沈下는 行하지 않는다.

④ pneumatic caisson

- open caisson과 똑같은 注意가 必要한 外에 air blow를 防止하기 위하여 blow hole 對策도 重要하다.

- 減壓沈下, 排氣沈下는 boiling을 誘發할 憂慮가 있으므로 行하지 않는다.

⑤ 鋼管矢板의 打設에 關係서는 既製 말뚝 工法과 똑같다.

⑥ 地下 連續壁 基礎

- 場所打設말뚝의 경우와 똑같이 地下水

에 관한 事前 調査를 充分히 行하여 施工時의 對應策을 檢討하여 두는 것이 必要하다. 其他 더 掘鑿하거나 減壓沈下 등도 要因이 된다.

pneumatic caisson에서는 open caisson에 비하면 精度가 높은 施工을 期待할 수 있으나 그래도 caisson 本體의 近方에서는 比較的 큰 地表沈下를 나타낼 때가 있다.

그림 36에 表示한 例는 山中 등에 의해 報告된 pneumatic caisson工法에서의 周邊 地表面의 沈下 測定結果이다. 이것에 의하면 caisson 沈下初期의 傾斜가 比較的 크고 caisson 에지 (edge)에서 距離로 3.90 m의 地點에서 最大 24 mm의 沈下가 觀測되어 있다. 그러나 에지 (edge)에서 6.9 m 떨어지면 地表面沈下는 거의 없고 이 工事에서는 周邊 家屋에도 影響을 미치는 일없이 工事가 終了되었다. 그러나 pneumatic caisson工法에서는 이와 같이 caisson 本體 近方에서는 比較的 큰 地表面沈下가 생기는 것에 留意해야 할 것이다.

(3) 鋼管 矢板 基礎

鋼管矢板의 打設에 관한 留意點은 鋼管말뚝의 打設의 경우와 똑같다. 즉 말뚝의 打設에 隨件

하는 地盤의 側方으로의 밀어내는 힘이나 함께 끌어당기는 現象 등을 들 수 있으나 中掘工法을 採用하면 影響을 작게 할 수 있다.

한편 그림 37에 表示한 바와 같이 鋼管矢板의 打設段階에서는 거의 變狀은 볼 수 없고 掘鑿段階 以後에 傾斜가 發生하고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같이 鋼管矢板基礎에서는 鋼管矢板의 打設時 보다도 오히려 地盤掘鑿時에 周邊에 影響을 미치는 일이 많다. 이와 같은 周邊地盤의 影響을 작게 하기 위하여 近接施工의 경우에는 그림 38에 表示하는 3方式中 (a)假締切 兼用方式 또는 (b) 세워올림方式을 採用할 것이 要望된다.

(4) 地下 連續壁 基礎

地下 連續壁 基礎는 基本的으로는 場所打設 말뚝과 똑같이 掘鑿時에 周邊地盤을 弛緩시키는 등의 影響이 있고 孔壁의 崩壞 등이 없으면 그렇게 큰 影響은 없다고 생각된다. 그러나 場所打設말뚝의 원형의 孔과 달라 溝狀의 掘鑿이 되므로 孔壁의 崩壞가 일어나기 쉽고 이 施工에는 더 한층 注意가 必要하다.

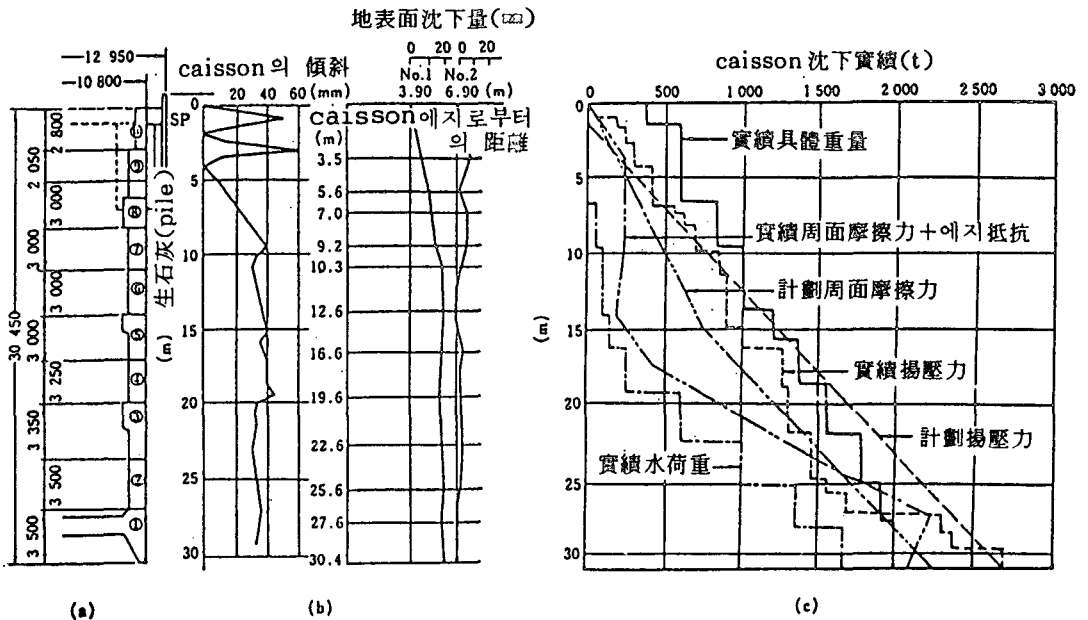


그림 36 caisson의 施工이 周邊地盤에 주는 影響 (山中 등에 의한 計測結果)

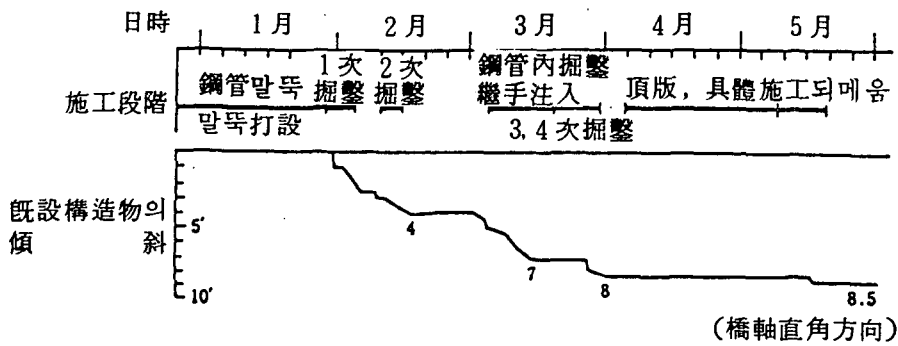


그림 37 鋼管矢板基礎의 施工과 既設構造物의 傾斜의 事例

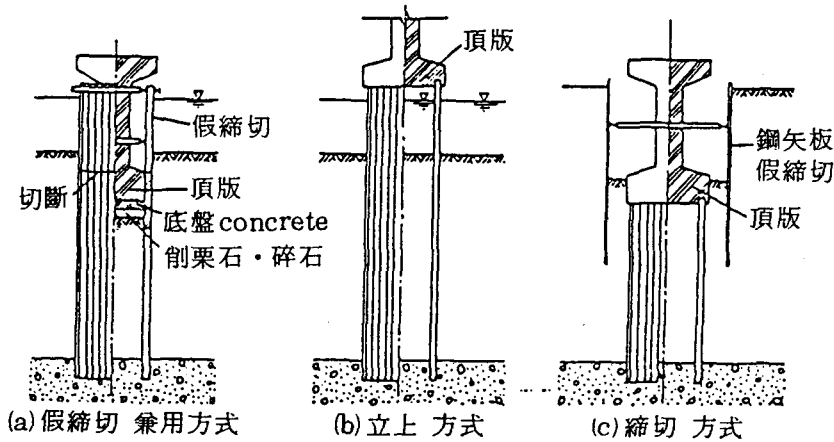


그림 38 鋼管矢板基礎橋脚의 施工法

1.3 基礎工事に 隨伴하는 地盤의 舉動

一般的으로 基礎工事を 實施한다고 하는 것은 地中을 掘整하거나 地中에 構造物을 設置하거나 하는 것이므로 얼마나 正성들여 施工했다 하더라도 약간의 地盤變位가 發生하는 것은 避할 수 없다. 이 地盤變位가 周邊으로 퍼져나아가서 이 結果로서 어떤 範圍의 地盤에 變位가 생기게 된다. 이 地盤의 舉動을 充分히 미리 알고 있으면 그만큼 近接施工에 관한 影響豫測이나 對策工法의 檢討도 容易하게 되나 現在 時點에서 이 點에 關係 充分히 解明되어 있다고는 말할 수 없다.

이런 種類의 解析으로서 一般的으로 잘 使用되는 有限要素法으로서도 흙의 model化에 限界가 있고 흙의 變形問題에 充分히 應用할 수 있는 곳까지에는 이르지 못하고 있다.

실제로 砂質系의 地盤과 粘土系의 地盤에서는 近接한 既設 構造物에의 影響의 程度도 相當히 다르나 이와 같은 性狀의 差異를 合理的으로 有限要素解析에 反映시키는 것은 簡單하지 않다고 생각된다.

한편 小型의 2次元의 實驗土槽를 使用한 모래地盤의 實驗에서 強制的으로 土留壁에 各種의 變形을 주었을 경우의 背面地盤의 變位の 模樣을 그림 39에 表示한다. 여기에서 土留壁의 變

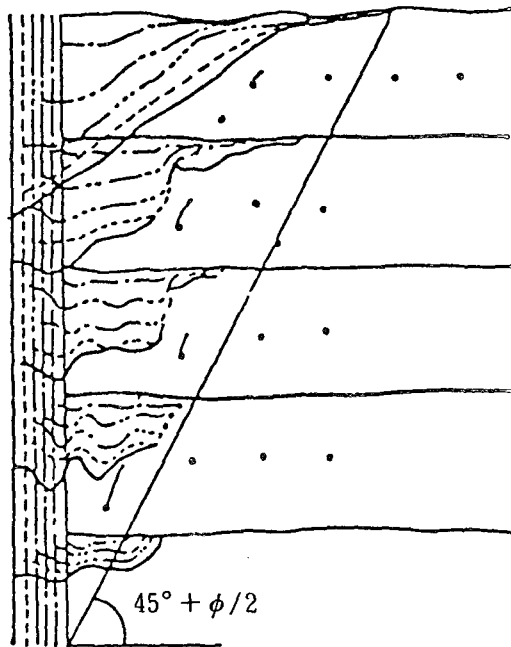
形 mode는 地盤을 弛緩시키는 方向으로 平行 移動한 경우와 土留壁의 下端이 보다 크게 變位한 경우이나 이것들은 예를 들면 caisson 工事中 caisson本體 周邊에 空隙이 생긴 경우이든지 場所 打設말뚝의 掘鑿에 있어서 一部 孔壁이 崩壞된 경우 등과 관련시켜 보는것이 可能하다고 생각된다. 그림 39로부터는 모래地盤일 경우 대개 水平과 $45^\circ + \phi/2$ (ϕ : 흙의 內部摩擦角)의 範圍內에서 變位가 커져 있고 이 範圍가 하나의 대충 (표준)이 된다고 생각된다.

또한 地盤이 粘性土일 경우에는 一般的으로 明確한 미끄러짐線은 發生하지 않는다. 특히 軟弱한 粘土地盤에서는 地盤의 塑性流動에서의 流線과 流動界가 影響領域을 考慮할 時의 標準이 되나 흙粒子間的 粘着力이 強하기 때문에 流動하는 土塊에 周圍의 地盤이 끌어 당겨져서 一般的으로 影響範圍는 모래地盤의 경우 보다도 상당히 넓어진다.

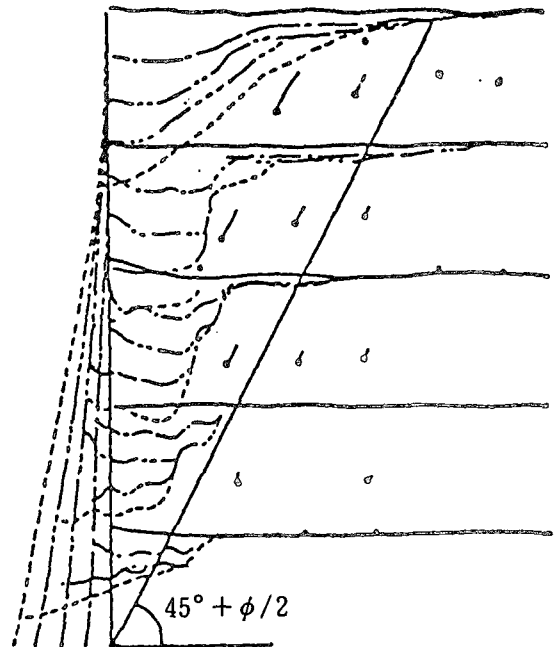
다만 실제로는 이와같은 2次元的인 檢討만으로는 不充分하고 예를 들면 場所打設말뚝과 같은 원형인 孔의 掘鑿과 地下連續壁과 같이 帶狀으로 긴 掘鑿에서는 그 影響도 다르다고 생각되므로 이와같은 3次元的인 要素도 考慮하는 것이 合理的이라고 생각된다.

또한 既設 構造物이 新設側의 工事に 의해 地盤變位가 生길 範圍에 들어 갔을 경우에는 既設 構造物의 어디엔가에 影響이 生긴다고 생각되나 이 경우에 있어서도 既設 構造物全體가 이 影響範圍에 들어가 있을 것인가 또는 一部 만인가에 의해서도 되돌아감이 生기는 程度가 다르게 된다고 생각된다.

場所 打設말뚝의 경우 孔壁崩壞를 防止하기 위하여 安定液의 比重, 粘性을 높이거나 掘鑿完了後의 放置時間을 짧게 한다. 또한 element 길이를 짧게 하거나 軟弱地盤일 경우에는 미리 地盤改良을 實施하여 두는것도 必要하게 된다.



(1) 平行移動



(2) 下端의 變位가 큰 경우

그림 39 土留壁의 變形mode 와 背面地盤變位

2. 開鑿工事

2.1 開鑿工事に 있어서의 近接施工의 問題點

開鑿工事は 安定된 狀態의 地盤을 不安定化시키려고 하는 掘鑿이라는 行爲와 이 不安定化를 抑制하려고 하는 土留라고 하는 行爲로 되어있다고 생각할 수 있다. 이렇기 때문에 綜合的 評價를 따로 하고라도 周邊地盤의 影響이 전혀 없는 狀態에서의 開鑿工事は 거의 不可能하다고 할 수 있다. 이 중에서 開鑿工事に 隨伴하는 周邊地盤의 影響이 既設 構造物 等에까지 미친다고 생각되는 경우가 近接施工이라고 해도 좋을 것이다. 이 경우 既設 構造物의 影響을 正確히 判斷하는 것이 必要하고 既設 構造物에 의한 增加土壓 등의 土留架構로의 影響, 掘鑿에 의한 周邊地盤의 影響, 地盤變位에 의한 既設 構造物의 影響 및 이 경우의 許容值 등의 評價가 重要하다.

여기에서는 斜面이 있는 open cut 工法의 경우의 미끄러짐(sliding) 破壞를 除外한 土留壁이 있을 경우의 近接施工에 대하여 敍述한다.

(1) 既設 構造物에 의한 土留架構의 應力狀態를 推定할 必要가 있다. 이것은 土留計算을 行한 後에는 手動側 側壓의 評價에, 有限要素法(FEM)의 解析으로는 初期 應力狀態의 設定에 必要하다. 그러나 一般的으로 既設 構造物에 의한 地中 應力을 正確히 評價하기는 어렵다. 예를 들면 支持말뚝基礎의 構造物인 경우라도 말뚝의 周面摩擦力에 의한 荷重傳達量이나 建物이 받는 浮力의 評價로 土留壁에 加해지는 增加土壓의 評價가 크게 다르다.

(2) 開鑿에 의한 周邊地盤의 影響

開鑿工事に 의한 周邊 構造物의 影響은 周邊地盤의 變位를 介在하여 行해진다. 主要한 地盤舉動은 土留壁의 變位에 隨伴하는 周邊地盤의 移動, 地盤의 부풀어오름, 土留壁의 틈 등에서 土砂가 流失이다.

土留壁의 變位는 土留計算에서 求할 수 있으나 計算上의 假定, 土層構成의 差異, 土質性狀의 각기 다른 등에 의해 計算值의 精度에 限界가 있다. 또한 이들의 項目은 施工狀況에 따라 尙당히 다르다.

(3) 既設 構造物의 許容值의 評價

既設 構造物의 許容值는 構造上의 安全性과 使用上의 機能維持에서 決定되는 것이다.

構造上의 安全性은 直接基礎의 경우에는 建物의 沈下, 傾斜에서 判斷하는 일이 많다. 이 경우의 許容值로서는 過去의 龜裂 發生狀況과 沈下·傾斜量의 調査結果를 參照하여 重要度を 加味하여 決定하는 方法도 있을 것이다. 말뚝基礎의 경우에는 말뚝의 許容應力度로부터 評價하는 일이 많다.

機能維持上의 許容值는 構造物의 用途에 크게 影響되어 精密機械가 놓여진 建物에서는 傾斜角으로 1/2000 以下라는 精度를 必要로 하는 것도 있다. 이와 같은 경우에는 使用左와 특히 綿密히 協議하여 決定할 必要가 있다.

이들의 問題를 考慮하여 工事者側에서 豫想하는 影響範圍와 既設 構造物 管理者側에 受容될 수 있는 怒限度의 兩者에서 檢討가 必要하게 된다.

2.2 開鑿工事に 隨伴하는 地盤의 舉動

開鑿工事に 隨伴하는 諸現象을 圖示하면 그림 40 과 같다. 主要한 地盤舉動은 土留壁의 變位에 隨伴하는 周邊地盤의 移動, 地盤의 부풀어오름, 土留壁의 틈 등에서 土砂의 洗出이다.

(1) 土留壁의 變位

土留壁의 變位가 생기는 原因으로서 다음과 같은 것이 있다.

① 土留壁의 힘

② 버팀대의 壓縮(斷·塑性) 變形

③ 土留壁의 힘은 버팀대架設時의 時間 遲延

④ 土留壁의 根入不足

土留壁의 힘은 버팀대의 變形과 一體로 되어 나타난다. 一般的으로 土留壁의 힘은 버팀대 架設後의 部分에서는 적고 再下段 버팀대와 掘鑿底面以下와의 사이에서 發生하는 量이 支配의이다. 이 量은 掘鑿底面下の 假想支點까지의 距離와 土留壁의 剛性에 따라 다르다. 土留壁의 힘은 土留壁의 變形에 미치는 影響이 큰 것을 생각하면 될 수 있는대로 剛性이 높은 土留壁을 使用하고 變形이 적은 支保工과 組合시킬 必要

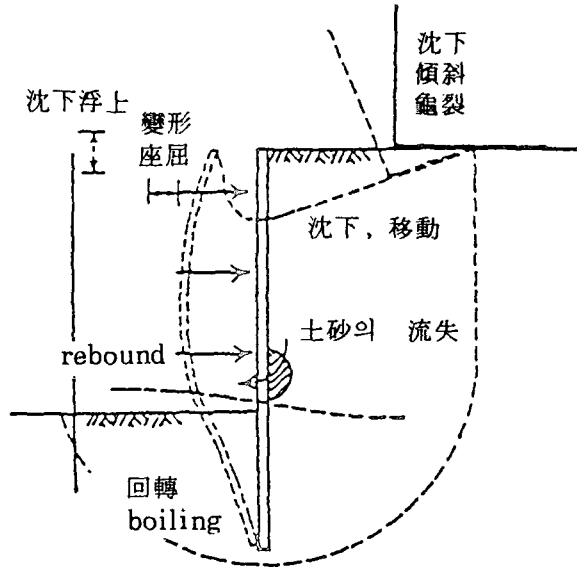


그림 40 開鑿工事に 따른 諸現象

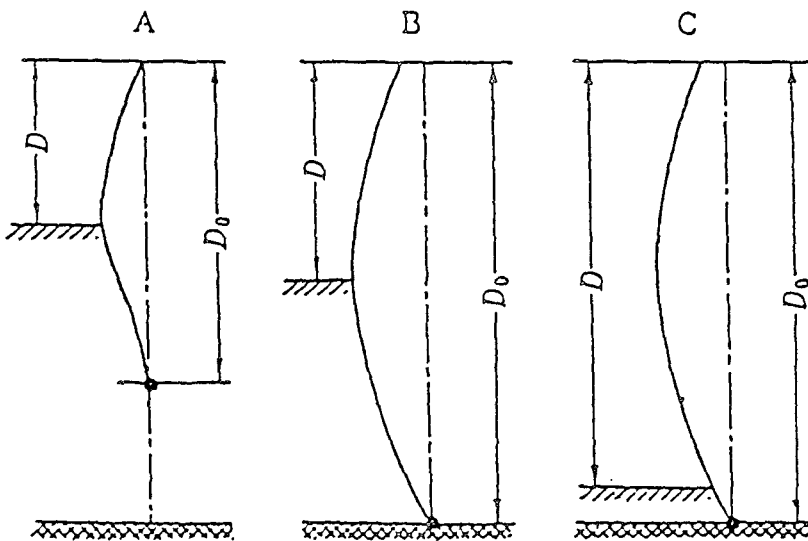


그림 41 根入部の 條件과 土留壁의 變形形狀

가 있다.

또한 土留壁의 휨은 掘鑿深度만이 아니라 地盤條件에 따라 크게 다르고 軟弱地盤일 경우 그림 41에 表示한 바와 같이 土留壁의 길이만이 아니라 軟弱地盤의 下層에 있는 硬質地盤까지의 距離가 重要하게 된다.

버팀대의 壓縮變形으로서의 버팀대 自體의 彈性的 變形과 버팀대 復起, 土留壁 사이의 連結部 不良으로 因한 變形이 있다. 前者는 溫度應力을 包含한 設計應力에 의하여 正確히 推定할 수 있으나 長大한 鋼製 버팀대를 使用할 경우에는 數십mm나 달한다. 後者는 施工上의 配慮에 따라 左右되므로 될 수 있는한 接合部의 連結의 密着을 圖謀해야 한다.

從來부터 實施되어온 버팀대에 preload를 導入하는 方法을 念頭에 두고 行할 必要가 있다.

버팀대 架設時의 時間的 遲延에는 過大한 掘鑿이 行하여져 일어나는 경우와 手順이 늦어 일어나는 2가지가 있다.

前者는 支點 사이가 커지므로 큰 變形이 생긴다. 後者는 地盤의 creep 特性에 따라 다르나 이제까지의 土留 버팀대 反力 등의 實測記錄에서는 概略 다음과 같다. 粘性土地盤에 있어서는 液壓的 土壓의 傾向을 나타내는 軟弱層을 除外하고는 4~8日程度, 모래地盤에 있어서는 2~3日程度以後에서 버팀대 反力이 最大가 된다. 버팀대는 될 수 있는대로 早期에 設置해야 하고 掘鑿規模가 클 경우 등 工區를 나누어 行할 必要가 있다. 이 경우에는 先行工區와 後行工區가 합치는 附近에는 通常的인 豫想보다 큰 應力이 一時的으로 作用한다. 또한 架構로서도 不均等하게 되므로 計劃時에 正성을 들인 檢討와 이것에 입각한 施工을 行할 必要가 있다.

土留壁의 根入 不足은 根入部의 移動·變動을 일으키고, 下部地盤의 回轉이나 土留壁의 變形을 크게 한다. 이 影響은 比較的으로 廣範圍하게 미쳐 더구나 量的으로도 크다. 地下水位가 높은 모래地盤에서는 boiling 등에 대한 配慮가 必要하고 이것에 대하여도 根入長의 影響이 크다.

(2) 土留壁 變位에 隨伴하는 周邊 地盤의 移動
土留壁 變位에 隨伴하는 周邊 地盤의 移動은

土留壁 變位에 따라 생긴 空間에 周邊 地盤이 移動하는 것에 의해 생긴다. 地盤의 移動은 剪斷變形에 의한 움직임이고 흙의 內部摩擦角, 土留壁의 變位分市 등에 따라 다르다는 것이 指摘되어 있다. 土留壁 頭部에서부터 쓰러지는 것 같

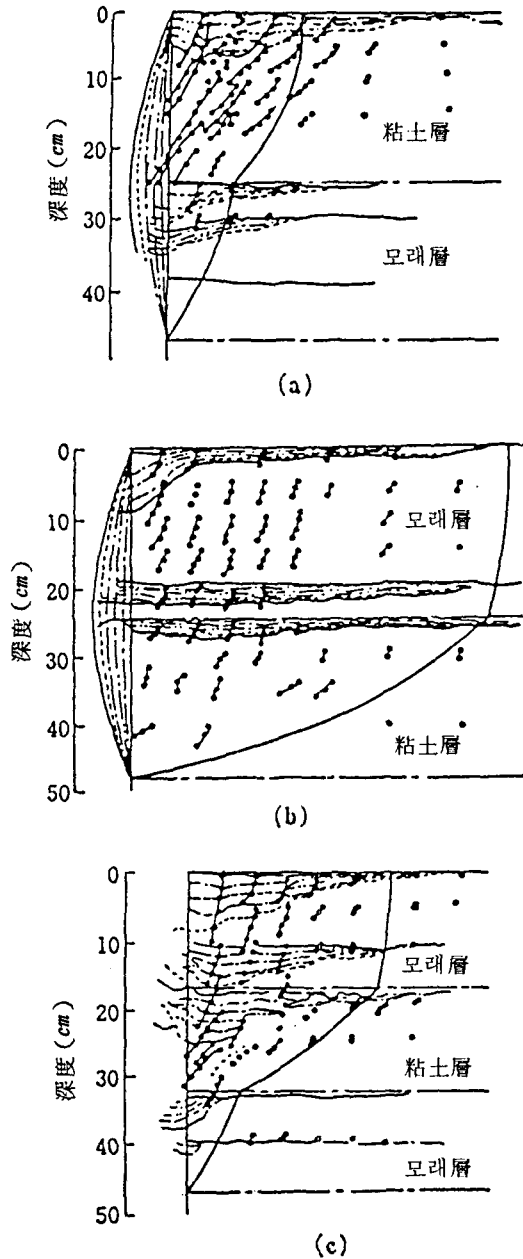


그림 42 土留壁變位에 따른 周邊地盤의 移動 (互層地盤에서의 實驗例)

은 變位分市일 경우에는 rankine의 主動미끄러짐線을 따른 剪斷變位로 된다. 그러나 土留壁이 휘는것 같은 變形分市的 경우나 地盤이 互層일 경우에서의 地盤變位는 不明確한 點이 많다. 이와 같은 互層地盤에서의 實驗結果 例를 그림 42에 表示하였다.

(3) 地盤의 부풀어오름

地盤의 부풀어오름은 土留壁의 變形에 따라 일어나는것 (回轉), 除荷重에 의한것 (rebound) 등이 複合된 것으로 나타난다. 이들은 軟弱地盤일 경우에는 土壓도 크므로 이 影響은 沈下로서, 硬質地盤일 경우에는 逆으로 rebound로서 影響된다. 이것들을 包括的으로 取扱하여 peck은 掘鑿地盤의 安定數 N_b 를 提案하고 있다.

$$N_b = \frac{\gamma \cdot H}{S_u}$$

여기에서 S_u : 粘土의 非排水 剪斷強度 (tf/m^2),

γ : 흙의 單位體積重量 (tf/m^3),

H : 掘鑿深度 (m)

N_b 의 값과 掘鑿底部에서 下方의 應力狀態에 대하여는 그림 43에 表示한 바와 같이 關係된다고 한다.

$N_b = 3.14$ (垂直面을 따라 塑性狀態가 始作된다)

$3.14 < N_b < 5.14$ (掘鑿底部地盤內로 塑性區域이 擴大되어 간다)

$N_b = 5.14$ (掘鑿底部地盤內 全域에 걸쳐 塑性狀態가 된다)

따라서 $N_b > 5.14$ 가 될 것 같은 경우에는 山側의 土塊重量이 掘鑿底部를 밟아 올리고 이때문에 土留板을 掘鑿場內로 밀어내는 것같은 現象이 일어난다. 더구나 變形이 어느 程度까지 進行되면 흙의 剪斷抵抗力 그 自體도 低下되므로 이 現象이 다시 助長된다.

掘鑿底面의 浮上에 대하여는 地盤의 回轉의 檢討와 합쳐 上記한 現象도 安定하다는 것을 確認해 두면 큰 變位에는 이르지 않는다고 생각해도 좋다.

더구나 rebound는 量的으로 적기때문에 周邊에 公害가 된다는 일은 적다. 그러나 近接 構造物이 地中構造物과 같을 경우에는 rebound

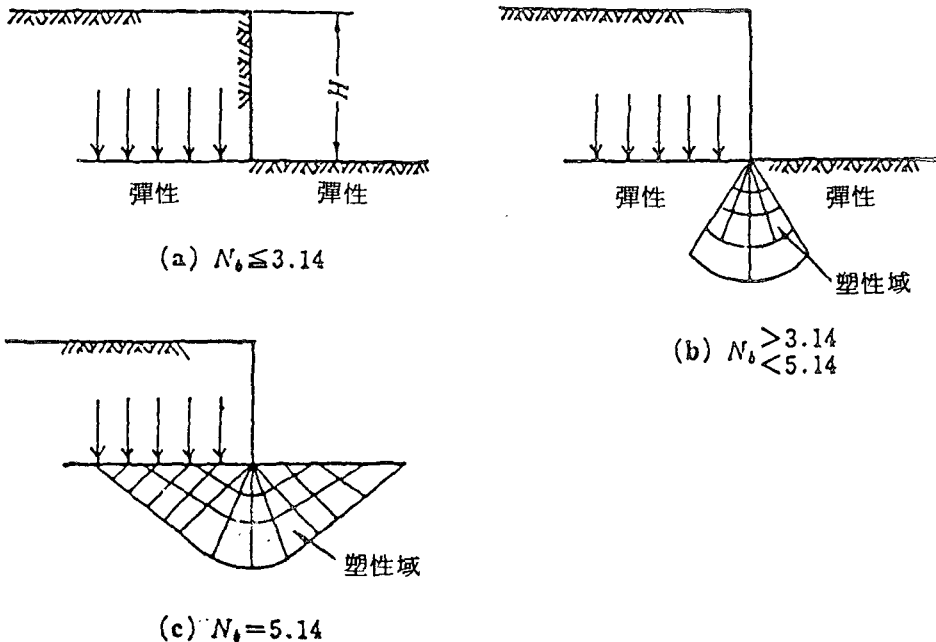


그림 43 掘鑿底部的 應力狀態

에 의한 沈下가 아니라, 浮上되는 일도 있어 注意가 必要하다.

(4) 土砂의 流失

微細한 모래地盤에서는 土留壁의 틈이나 排水 우물의 모래 피는 곳에 周邊地盤에서 土砂가 流入한다. 또한 깊은 우물을 통하여 排出하여 버려 周邊地盤의 모래를 잃어가게 된다. 이들 土砂의 流出을 보고도 그냥 두게 되면 土留壁 背面에 空洞이 생기게 되고 이것이 突然히 陷沒을 일으켜 周邊에 過度한 變形으로 되어 豫測할 수 없는 事態를 일으키게 된다. 이것은 한층 더 나아가서는 土留 架構의 均構를 무너뜨리는 原因이 되고 다시 큰 事故로 연결되는 일도 있다.

2.3 開鑿工事に 의한 近接施工의 檢討方法

(1) 影響의 豫測方法

掘鑿工事に 隨伴하는 周邊의 影響은 地盤의 側方移動, 沈下, 부풀어오름 등의 複合된 것으로서 나타난다. 이들이 複合되어 最終적으로 일어나는 現象을 即時 分解하여 무엇을 評價하여야 하는가를 表示한 것이 그림 45이다. 窮極적으로 是地中の 應力變化 또는 그 外力으로서의 變化를 어떻게 評價하는가와 其他의 전혀 다른 問題

로서 施工品質에 起因하는 것을 어떻게 管理하는가로 나누어진다. 어느 것이나 周邊에 미치는 影響으로서의 같은 結果를 招來하나 後者는 定量的 豫測이 어렵다. 많은 經驗과 이것에 의거한 正성들인 施工에 의하여 品質을 確保하지 않으면 안된다.

沈下나 側方移動에 대하여는 土質工學的인 問題로서 각각의 評價가 可能하다. 그러나 이것을 近接構造物의 影響評價로서 變換시키는 點에 약간 問題가 남겨져 있는것이 있다.

① 土留壁의 變位와 周邊地盤沈下: 土留壁의 變位에 隨伴하는 周邊地盤의 沈下는 土留壁 變位를 實測值 또는 計算值로 구하고 이 變位로부터 周邊地盤 沈下를 推定하는 方法과 土留 架構와 周邊地盤을 一體로 하여 解析하는 方法이 있다.

土留壁의 變形의 檢討方法으로서는 그림 46에 表示한 바와 같은 土留壁을 支持하는 버팀대를 용수철 (spring) 이라고 假定하고 根入部分을 彈塑性的 反力으로서 梁을 푸는 方法을 擴張한 것 등이 提案되어 있다. 例를 들면 그림50에 表示한 바와 같이 施工段階에 따른 土留壁의 變形은 이것을 使用하여 구한 것이다. 이 方法에서

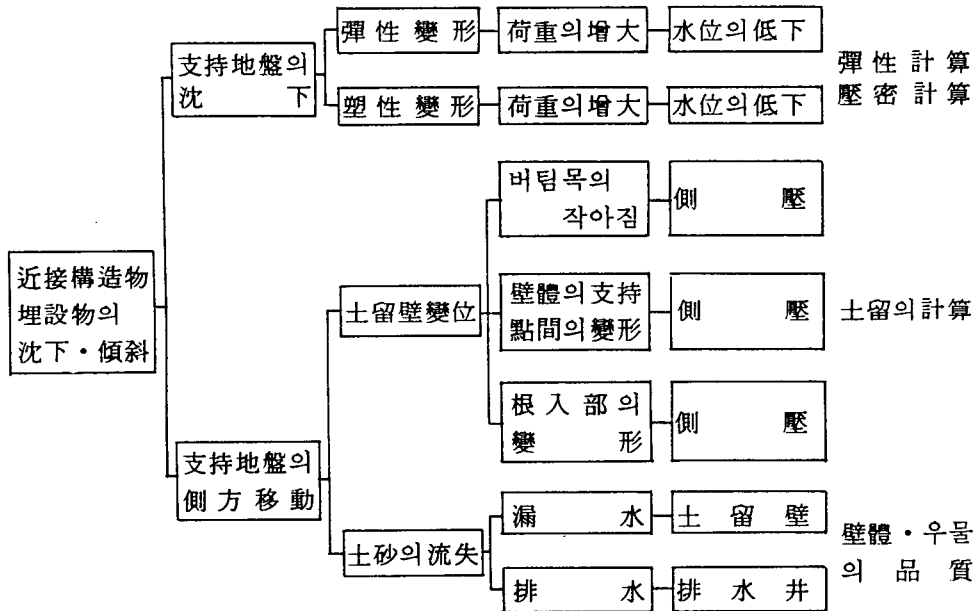
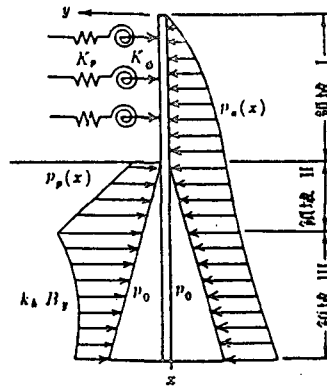


그림 45 建物の 沈下・傾斜에 미치는 要因의 逐次展開



x : 深度, y : 變位, p_0 : 靜止側面
 k_h : 地盤反力係數, B : 흠이 무너지는 것을 막는 壁幅
 $p_a(x)$: 主動側側壓, $p_p(x)$: 受動側側壓
 K_p, K_ϕ : 버팀목의 壓縮, 回轉용수철係數

그림 46 擴張彈塑性法에 의한 土留의 計算 model

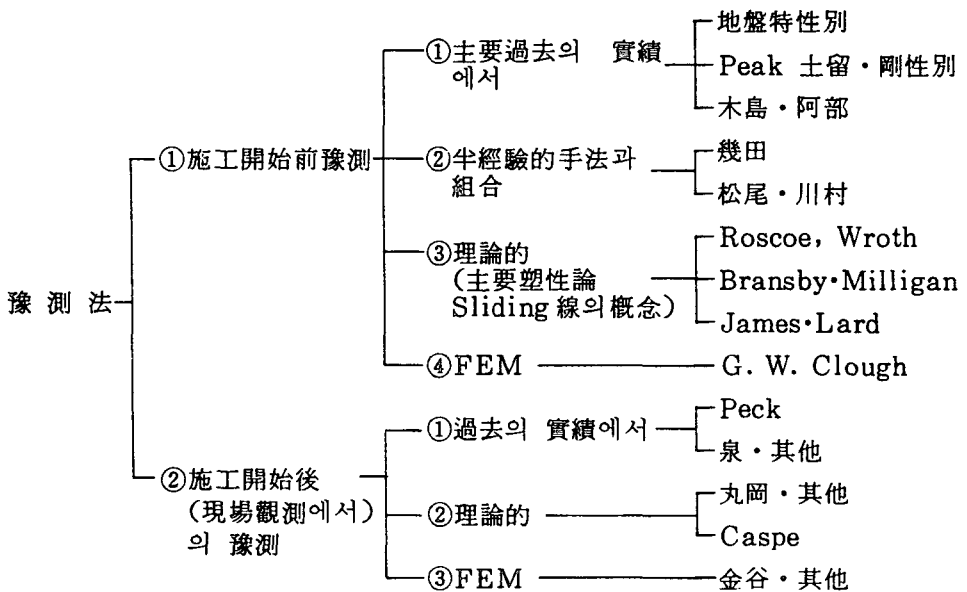


그림 47 豫測法の 分類

는 1, 2項에서 記述한 土留壁 變位가 생기는 原因中 ①은 버팀대의 휨으로서 ②는 버팀대의 壓力 變形으로서 ③은 버팀대의 間隔 또는 側 壓의 變化로서 ④는 根入部의 變形으로서 計算에 反映하는 것이 可能하다.

다음에 周邊地盤 沈下를 推定하는 方法으로서 定해진 方法은 없고 經驗的인 것에서부터 理論的인것까지 여러가지가 提案되어 있고 그림 47과 같이 分類·整理할 수 있다. 이들 중 2~3의 方法에 대하여 아래에 記述한다.

peak은 實際의 工事의 觀測記錄에서 그림 48에 表示한 바와 같이 地盤種別마다 概略的인 沈下量의 分布를 주고 있다. 但 土留壁은 鋼矢板과 新抗 橫矢板과 剛性이 낮은 것을 對象으로 하고 있다.

筆者와 丸岡 外는 各 掘鑿段階마다의 土留壁의 變位增分에 따른 背面地盤의 미끄러짐面을 假定하는 것에 의해 이 線上에서의 zero 彎음變

形線으로부터 地表面의 沈下의 推定法을 提案하고 있다(그림 49). 이 方法을 背面地盤의 剪斷特性을 考慮할 수 있는 것, 土留壁의 變形을 入力值로 하고 있으므로 事前의 檢討에도 觀測施工에도 有效하다.

最近 有限要素法(FEM)에 의한 周邊地盤의 豫測도 試圖되고 있다. 周邊地盤의 沈下는 地盤과 壁과의 사이의 미끄러짐이나 地盤의 斷塑性的 舉動이 重要하다고 생각되고 彈性解析으로는 充分한 豫測을 하기 어려운 것 같다. 그래서 斷塑性的 解析이 試圖되고 있고 좋은 結果가 나오고 있는것 같다.

① 掘鑿에 隨伴하는 湧水에 의한 周邊地盤 沈下: 掘鑿에 隨伴하는 揚水에 의한 周邊地盤의 沈下는 水位低下에 따르는 有效地中應力의 增加에 의해 생긴다. 이 沈下는 粘性土地盤의 壓密沈下와 砂質地盤의 彈性沈下로 나누어진다. 粘性土地盤의 揚水에 의한 周邊地盤의 沈下의 實測

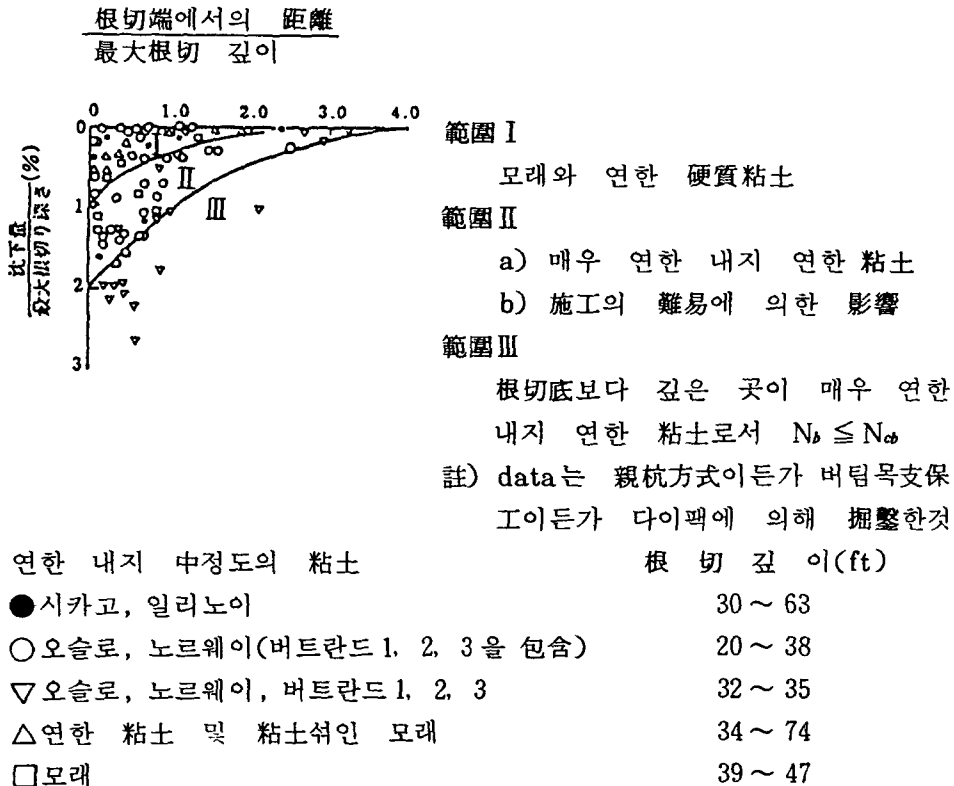


그림 48 開鑿工事에서의 周邊의 沈下

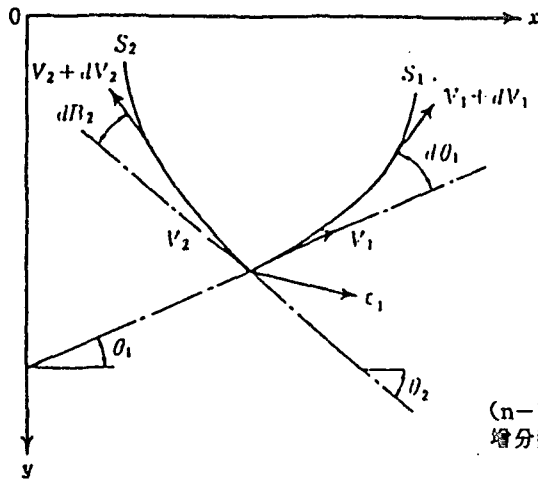
예를 그림 50에 표시하였다. 이 예에서는 50m의距離에서도 20mm의沈下가 생기고 있는 것을 알 수 있다. 그림中的實線은地下水位の低下가廣範圍하게 미치는 것으로부터 1次元壓密에 가깝다고 생각하고壁 및 50m의位置에서 각각의水位低下에 의한多層地盤의壓密計算을行하고直線으로結線한 것이다. 이와 같은概算으로도相當히 좋은近似値가 된것을 알 수 있다. 그림中壁體의沈下量이 큰 것은(合)으로表示한土留壁의變位에 의한沈下の項이加해져 있기 때문이다. 壓密沈下는廣範圍하게 미치는影響이 큰것,水位低下의期間이 짧은 경우라도壓密度로 보면 큰比率을 나타내므로充分한注意가必要할 것이다.

砂質地盤의彈性沈下는水位低下와同時에發生하고一般的으로는沈下量도그다지크지않다. 그러나20mm를넘는沈下가생기는일도있고檢討를해들必要가있다. 또한彈性的現

象이기 때문에水位回復에 의해 rebound에 의해沈下의大部分은回復하는것같다. 이렇기 때문에對策工法の必要性은開鑿工事の對象構造物의影響程度와既設構造物自體의構造的安全性,機能維持에 관한既設側許容値로부터決定되는 것이다. 그러나既設構造物의許容値도 많은 경우明確히決定되는 것은 아니고 또한工事の影響程度도 똑같다. 이렇기 때문에對策工法の選定에 있어서는設計·施工上의不明確한點도考慮하여充分한安全性을考慮해들必要가있다.

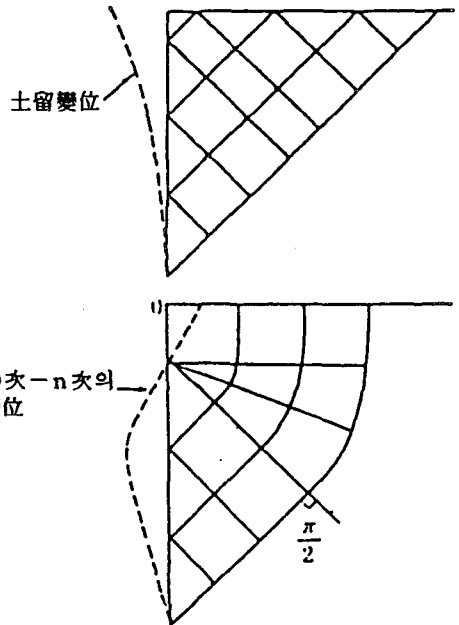
對策工法이必要하다고判斷되었을 경우 그影響이 무엇에 의해 생겨나고 있는가를考慮하여對策을檢討한다. 對策은

- ① 開鑿工事側의 施工法
- ② 境界部分에서의 防護工
- ③ 既設構造物側의 補強이나 underpinning



S_1 을 따라
 $dV_1 + (V_1 \tan \mu + V_2 \sec \mu) d\theta_1 = 0$
 S_2 를 따라
 $dV_2 + (V_2 \tan \mu + V_1 \sec \mu) d\theta_2 = 0$

(a) 單純化한 zero 伸張線



(b) $\mu = 0$ 인 경우의 sliding 線

그림 49 sliding 線을 假定한 周邊地盤沈下量의 推定

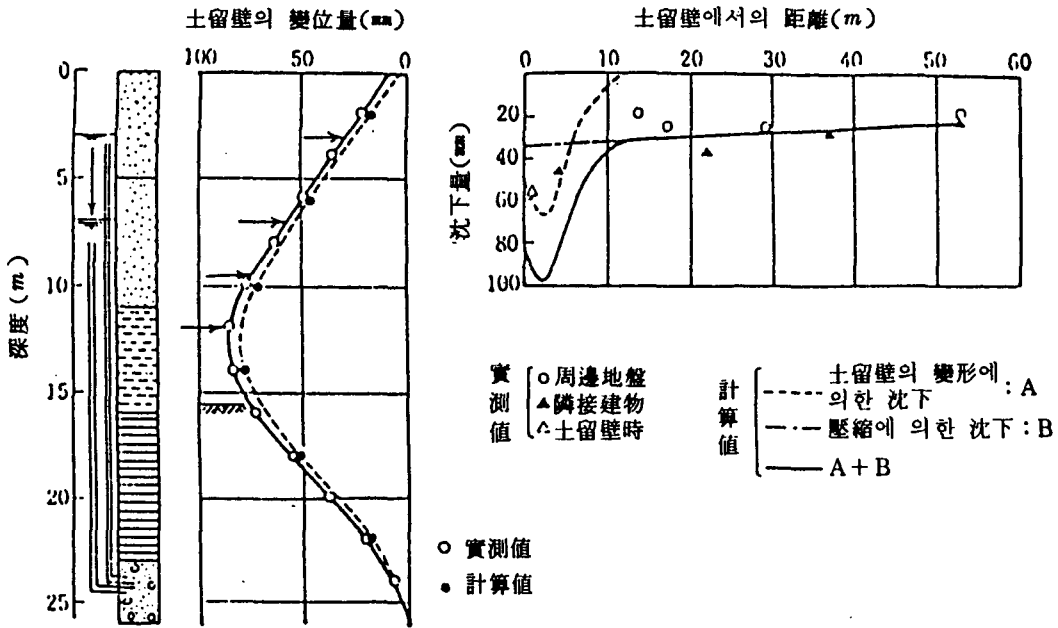


그림 50 水位低下에 의한 周邊地盤의 沈下

이 생각되나 一般的으로는 ①의 施工法에서 考慮하지 않으면 안되는 일이 많다. 여기에서는 ①의 施工法上의 主要한 對策工法의 考慮 方法에 대하여 記述한다. 더구나 ②의 防護工 ③의 underpinning에 대하여는 土留壁의 變位에 의한 周邊地盤의 移動이 問題가 될 경우에는 土留 架構의 剛性を 높이는 것이 重要하다. 鋼性 버팀대의 경우에는 버팀대에 preload를 導入하는 것이 効果적이다. 軟弱地盤이 두겹게 堆積되어 있을 경우에는 掘鑿底보다 깊은 곳의 土留壁의 變位가 크기때문에 掘鑿底地盤을 事前에 改良해 두는 것이 效果적이다.

周邊地盤의 地下水位 變動이 問題가 될 경우에는 連續壁 등 止水性이 높은 土留壁을 採用한다. 이 경우 土留壁 先端은 下透水層에 根入될 必要가 있다.

더구나 이와같은 對策工法을 實施했다 하더라도 施工과 함께 計測管理는 특히 重要하다.

2.4 開鑿工事에서 近接施工時의 計測管理

開鑿工事に 있어서의 計測管理는 工事を 完全히 進行시키기 위한 指標를 얻는다는 點에 있어

서 큰 役割을 擔當하고 있다. 다시 工事を 合理的으로 進行하기 위한 判斷資料(實測值)를 얻을 수 있다는 點에서도 그 意義가 있다.

이들 計測管理의 目的은 工事의 規模나 工事が 周邊에 미칠 것이라는 影響의 程度에 의해서도 그 比重이 다르다. 특히 周邊 構造物의 監視가 重要한 近接施工의 경우에는 計測의 着眼點이나 管理 限界值의 種類가 一般的인 計測管理와 약간 다르다. 近接施工에서의 計測管理에 대하여 計測計劃을 中心으로 注意點을 아래에 記述한다.

(1) 計測項目과 檢討事項

近接施工에서의 計測管理에서는 一般的인 土留 架構의 安全性과 同時에 近接構造物의 影響의 評價를 할 수 있는 計測計劃이 必要하다.

土留의 安全性의 管理라는 點에서는 工事의 困難性에 따라 計測項目을 設定해야 할 것이다.

近接構造物의 影響度 評價라는 點에서는 周邊 構造物의 變位測定과 同時에 近接構造物의 事前 檢討結果를 評價할 수 있는 測定項目이 重要하다. 예를 들면 近接構造物에 의한 荷重이 土留壁의 增加荷重으로 作用한다고 豫測되어 있으면

土壓測定이나 土留壁의 變位 測定을 通常部分과 近接部分에서 測定하여 比較하는 등의 方法이 考慮될 수 있으며, 壓密沈下에 의한 影響이 重大하다고 생각될 時는 粘性土中の 間隙水壓 分布의 測定이 必要하게 될 경우도 있다.

(2) 管理基準値의 設定

計測의 目的은 工事を 安全하게 進行시키는 것이 第一이다. 이를 위해서는 計測이나 點檢 項目에 대하여 安全性의 目標이 되는 管理 基準値가 必要하다. 管理 基準値는 設計나 施工條件에 包含되는 많은 假定 등을 거쳐서 數段階로 判斷할 수 있도록 設定하는 것이 좋은것 같다. 各掘鑿段階마다의 遂次的 管理 基準値와 最大値에 대한 標準(目標)을 設定해 두면 工事的 進捗과 推移를 追跡할 수 있고 豫測을 세우기 쉽게 된다.

管理 基準値는 여러가지의 周邊의 制約에 의한 限界値를 考慮하여 工事的 各 施工段階에 따른 注意値, 危險値에 대한 값을 設定하는 일이 많다. 一般的으로는 注意의 段階는 設計値의 70~80%의 附近이 하나의 標準이 된다.

周邊構造物이나 埋設物 이들의 管理者와의 事前 協議가 必要하고 이것에 의하여 管理하여야 할 性質의 것이 많다.

(3) 測定 頻度

設計해야할 頻度は 計測項目에도 다르나 基本的인 思考方法으로서 다음과 같은 것을 생각할 수 있다.

① 初期値 設定을 위한 計測

② 施工段階마다의 計測

③ 施工 途中의 計測

①의 計測은 原點을 設定하기 위한 것으로서 特別한 變動이 적은 現象에 대하여는 着工 着手前에 定성을 들여 測定을 行하면 좋다. 그러나 計測器의 設置나 日較差 등이 생길 수 있는 項目은 이들을 充分히 反映시킨 값(值)을 初期値로서 設定할 必要가 있다.

②의 計測은 計劃的으로 施工이 進行되고 있는 경우로서 例를 들면 掘鑿段階마다 前的 段階에서 어떻게 變化하였는가를 計測하는 것이다. 이 計測은 基本的인 計測頻度이고 工事が 順調롭게 進行되고 있는 경우에는 이것으로서 마치는 경우가 많다.

③의 計測은 施工區間에서 다음의 區間을 향하여 變化하고 있는 途上을 把握하려고 하는 것이고 把握하려고 하는 現象에 따라서도 달라지나 頻度は 많아진다.

近接施工에서는 對象으로 하는 變位測定으로서 ③이 행해지는 일이 많다. 이 경우 對象 構造物의 現象把握이라는 意味에서 掘鑿期間中만이 아니라 土留壁의 施工前에서부터 長期間 測定해 두는 것이 要望된다. 또한 管理基準値에 切迫한 값을 나타내고 있을 경우에는 土留壁 變位 등 其他의 計測値도 ③을 행할 必要가 생기게 된다.

本學會主管 日本建設現場研修투어

期 間 : 7月30日 (月) ~ 8月3日 (金)

旅 程 ; 30日 서울發 - 大坂

31日 大坂万博

1日 東京地下鐵, Tokyo Last 2t project 高層빌딩 地下地上現場

2日 Intelligeut Blag現場

鹿島建設技術研究廳 參觀

解 說 : 協立設計(株) 沖田社長 (技術士)

大韓火藥技術學會 許 埴 博士

參加申請은 國汎旅行社 李炳潤 部長

Tel. (02) 701-5720