

花崗岩質 風化土의 시멘트에 의한 安定處理에 關한 研究

(耐久性을 中心으로)

The Study on Portland Cement Stabilization on the Weathered Granite Soils

(on the Durability)

都	德	鉉*
Duk	Hyun	Do

Summary

Soil-cement mixtures involve problems in it's durability in grain size distribution and mineral composition of the used soils as well as in cement content, compaction energy, molding water content, and curing.

As an attempt to solve the problems associated with durability of weathered granite soil with cement treated was investigated by conducting tests such as unconfined compression test, it's moisture, immers, wet-dry and freeze-thaw curing, mesurement of loss of weight with wet-dry and freeze-thaw by KS F criteria and CBR test with moisture curing on the five soil samples different in weathering and mineral composition.

The experimental results are summarized as follows;

The unconfined compressive strength was higher in moisture curing rather than in the immers and wet-dry, while it was lowest in freeze-thaw.

Decreasing ratio of unconfined compressive strength in soil-cement mixtures were lowest in optimum moisture content or in the dry side rather than optimum moisture content with freeze-thaw.

The highly significant coefficient was obtained between the cement content and loss of weight with freeze-thaw and wet-dry.

It was possible to obtain the durability of soil-cement mixtures, as the materials of base for roads, containing above 4% of cement content, above 30kg/cm² of unconfined compressive strength with seven days moisture curing or 12 cycle of freeze-thaw after it, above 100% of relative unconfined compressive strength, 80% of index of resistance, below 14% of loss of weight with 12 cycle of wet-dry and above 1.80g/cm³ of dry density.

I. 緒 論

花崗岩質 岩石의 風化變質에 의하여 生成된 花崗

岩質 風化土는 그 鑛物組成에 있어 石英粒子는 比較的 安定된 狀態에 있는 반면 長石 雲母等의 粒子는 化學的으로 不安定하여 風化가 進展됨에 따라 細粒化되면서 여러가지 粘土鑛物을 生成시킨다⁽¹⁾.

* 國立建設研究所 土質科

이와같이 生成된 花崗岩質 風化土 固有의 粘土鑛物은 흙의 Atterberg限界에 影響을 미칠뿐만 아니라⁽²⁸⁾ 특히 물에 敏感하여 일단 吸水되면 安定性이 결려되어 粘着力은 거의 期待할 수없는 상태로 되며⁽¹⁶⁾ 따라서 一軸壓縮, 剪斷等의 強度가 급격히 低下된다.

또 風化가 계속 進行中에 있으므로 土粒子 自體의 強度도 점차 弱화되어 흙構造物, 特히 道路工事に 使用할 경우 흙의 自重 또는 衝擊이나 通過交通荷重等 外力에 의한 土粒子의 破碎가 현저하여 路面의 沈下 혹은 變形을 일으키므로서 安定性은 勿論이고 耐久性에 問題點을 야기시킨다.

이상과같은 花崗岩質 風化土의 諸 弱點을 補完하기 위하여 종래 이에 시멘트를 添加해서 各種 흙構造物에 利用하고자 시도한 例가 많았다.⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾⁽²²⁾⁽²⁷⁾.

시멘트 安定處理의 原理는 흙에 시멘트를 添加하여 다짐으로서 시멘트의 水和作用에 의하여 흙의 強度가 增大되고 흙의 性質의 改良되는 것이다.

이를 花崗岩質 風化土에 適用하면 土粒子의 風化를 지연시켜 粘土鑛物의 生成을 저지하며 吸水作用을 減少시켜 毛貫作用을 억제하므로서 凍上을 減少시킨다.

또한 花崗岩質 風化土에 시멘트를 添加하여 다지면 大小土粒子가 破碎되어 不連續粒度(gap graded)⁽²²⁾는 well graded한 粒度로 變化되면서 土粒子 사이의 空隙은 미세한 시멘트 粒子로 채워지므로 乾燥單位重量이 增大될 뿐만아니라 시멘트 粒子는 土粒子사이에서 grouting의 역할을 하여 強度가 增大되고 따라서 흙構造物의 耐久性이 增大되는 것이다.

soil-cement 安定處理工法은 道路의 基層, 用排水施設 또는 斜面의 崩壞가 容易한 地域等に 適用하고 있을뿐만아니라 最近에는 河川骨材의 入手가 곤란하여 짐에 따라 良質 花崗岩質 風化土에 시멘트를 添加하여 高強度를 要하지 않는 벽돌의 製作에도 利用되고 있으며 이는 과거 우리나라의 農村에서 花崗岩質 風化土에다 시멘트 혹은 石灰를 添加해서 흙벽돌을 製作하여 建築用材로 利用하던 것과 同一한 例라 할수있다.

그러나 이와같은 시멘트 安定處理工法의 適用에 있어 우리나라에서는 아직 使用材料, 시멘트 添加量 氣象條件等에 따른 耐久性에 대한 研究가 거의 이루어져 있지 않으므로 일선에서는 本工法의 安定性을 認定하면서도 實際 適用을 꺼려하고 있는 實情이다.

특히 soil-cement 安定處理工法으로 施行한 多年間의 試驗鋪裝 結果에 의하면 우리나라와 같이 夏季와 冬季의 氣溫差가 심한 地域에서는 設計壓縮強度를 만족하는 soil-cement 安定處理 工法을 適用하여도 이들 흙構造物의 耐久性에 대한 各種 問題點이 提起되고 있으며 따라서 一線 工事現場에서는 示方書上에 規定된 設計壓縮強度보다 높은 強度를 適用하고자 하는 傾向이 있다.

soil-cement의 耐久性에 대한 研究로서 Packard⁽²³⁾ (24)等에 의한 凍結融解, 乾濕試驗方法이 提案된 바 있고 Merrill⁽²⁵⁾은 ASTM의 標準 耐久性 試驗에 대한 修正(Iowa)凍結 融解試驗方法을 提示한 바있다.

Dempsey⁽⁷⁾는 養生方法의 變化, 特히 凍結融解의 反復에 따른 耐久性試驗方法에 對하여 檢討한 바있다.

우리나라에서도 耐久性試驗으로 KS F2330 및 KS F 2332에 의거 乾濕 및 凍結融解 試驗方法을 規定하고 있다.

soil-cement 安定處理工法을 一般土木工事に 實用化함에 있어 우리나라 與件과 같이 使用材料의 入手가 容易한 경우에는 施工裝備의 開發 및 施工技術이 發展된다면 이는 經濟的으로도 妥當하여 광범위한 普及이 可能할 것으로 判斷되므로 本研究에서는 soil-cement 安定處理工法에 對하여 特히 問題示되고 있는 耐久性에 대하여 重點的으로 研究한 것이다. 이를 위하여 粒度가 다른 5種類의 花崗岩質 風化土를 採取해서 시멘트 添加量 및 含水比를 여러가지로 變化시키면서 一軸壓縮試驗을 하였고 또한 이들 供試體에 대하여 7日 濕潤養生後 凍結融解 및 乾燥 사이클을 12회에 達하도록 反復시킨다음 壓縮強度의 變化를 調查하여 이를 KS F에 規定된 耐久性 試驗方法에 의한 重量損失量과 比較해서 보다 安全하고 客觀性있는 耐久性 試驗方法 및 基準을 提示하고자 努力하였다.

II. 使用材料 및 試驗方法

1. 使用材料

本研究에서는 前回에 使用하였던 5種類의 花崗岩質 風化土⁽¹⁰⁾ 및 시멘트⁽⁹⁾를 使用하였으며 이밖에도 흙의 粒度가 soil-cement의 耐久性에 미치는 影響을 檢討하기 위하여 使用試料中 粗粒質인 AA, WK, SA試料를 DJ 및 CJ試料의 粒度와 거의 비슷하게 調劑하여 追加로 使用하였다.

이들 使用試料의 粒度分布는 Fig. 1과 같다.

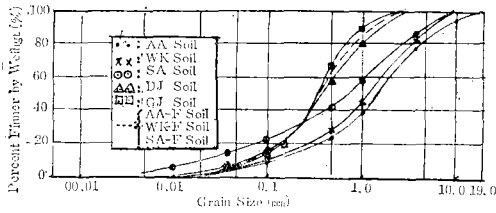


Fig. 1. Grain size distribution curves.

2. 試驗方法

가. 壓縮強度 試驗

使用試料에 시멘트 添加量을 4, 6, 8, 10%로 變化시키면서 KS F2331의 規定에 따라 다짐試驗을 하여 最適含水比와 最大乾燥密度를 求하였다. 이들 시멘트 混合土를 最適含水比로 調劑하여 最大濕潤單位重量에 相當하는 試料量을 달아 KS F2329에 規定된 直徑 7cm, 높이 14cm의 몰드에 3회로 나누어 넣고 各層마다 直徑 2cm의 다짐棒으로 適切히 다진後 上下에서 프라그에 의하여 油壓작기로 壓縮해서 密度가 均一하도록 供試體를 3個씩 製作하였으며 3, 7, 14, 21, 28日 濕潤養生後 一軸壓縮試驗을 하였다. 이때 養生室의 溫度는 $21 \pm 2^\circ\text{C}$, 相對濕度는 95%以上으로 유지되도록 하였으며 모든 供試體는 24時間 水浸後에 試驗하였다.

나. 耐久性 試驗

凍結融解 및 乾濕이 反復될때의 壓縮強度의 低下率 및 重量損失量을 測定하여 耐久性을 檢討하기 위해서 凍結融解試驗과 乾濕試驗을 하였다.

이는 養生室에서 $21 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 溫度로 7日間 濕潤養生한 壓縮強度試驗用 供試體를 -23°C 의 凍結케비넷에서 24時間 凍結시킨後 이를 $21 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 水中에 24時間 水浸融解시키는 凍結融解試驗方法과 또 7日間 濕潤養生한 供試體를 $76 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 oven에 24時間 乾燥시킨後 이를 다시 濕潤養生 溫度와 同一한 $21 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 水中에 24時間 水浸시키는 乾濕試驗方法을 1사이클로 하여 7, 12사이클 反復後에 一軸壓縮試驗을 하였다. 그리고 重量損失量을 測定하여 耐久性을 檢討하기 위해서 KS F2330 및 KS F2332의 規定에 따라 直徑 101.6mm, 높이 116.4mm로 供試體를 製作하여 燥濕 및 凍結融解試驗을 하였다.

다. 室內 CBR試驗

시멘트 添加量을 4, 6, 8, 10%로 變化시킨 試料에 對하여 KS F2320 "試驗室에서의 支持力試驗方法

中 第一方法에 準하여 最適含水比 狀態에서의 室內 CBR試驗을 하였다. CBR試驗用 供試體는 壓縮強度 供試體와 同一한 溫度와 相對濕度下에서 3日間 濕潤養生을 거쳐 4日間 $21 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 水中에 水浸시킨後 試驗하였다.

Ⅲ. 結果 및 考察

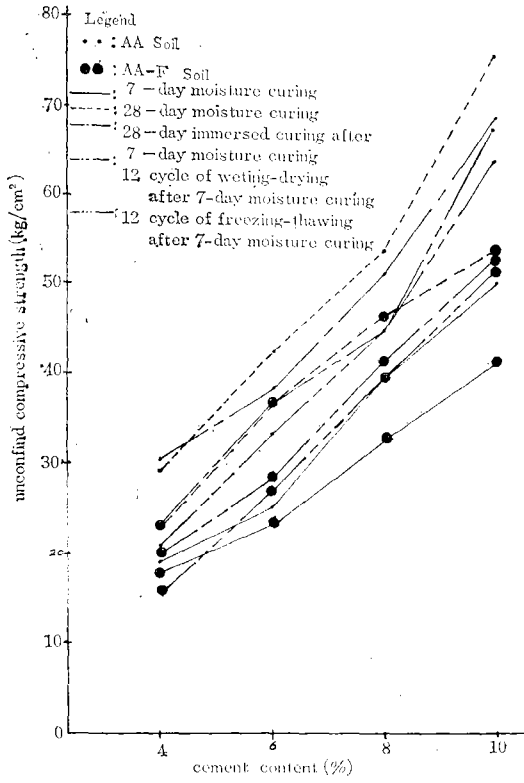
1. 시멘트 添加量 및 養生期間과 壓縮強度와의 關係

soil-cement의 強度에 影響을 미치는 因子는 使用材料의 性質, 即 흙의 粒度分布와 鑛物組成 및 有機物 含有量⁽¹⁷⁾과, 시멘트 添加量, 다짐에너지, 養生溫度⁽¹⁸⁾ 및 養生期間等を 들수 있다.

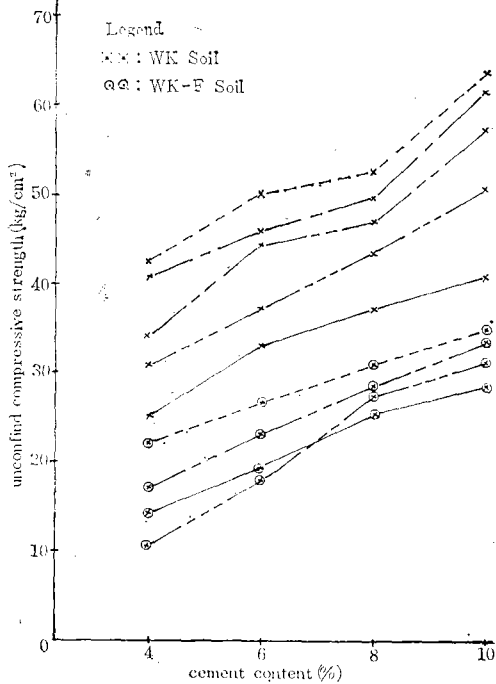
松尾⁽¹⁸⁾에 의하면 花崗岩質 風化土에 시멘트를 添加한 경우의 壓縮強度는 시멘트의 水和作用에 의하여 발휘되는 強度와 土粒子 自體의 強度를 合한 것 에 比例한다고 하였으며 後者는 흙中의 여러가지 鑛物組成中에서 風化度의 尺度가되는 長石의 比重이 클수록 壓縮強度는 큰 값을 나타낸다고 하였다. 또 養生溫度도 壓縮強度에 直接的인 影響을 미치며 이는 養生期間에 所要된 積算溫度에 比例한다고 하였다⁽¹⁹⁾.

그림 2는 이와같은 觀點에서 花崗岩質 風化土의 最適含水比狀態에서의 시멘트 添加量과 壓縮強度와의 關係를 養生方法別로 나타낸 것이다. 여기서 非處理土의 壓縮強度는 $0.05 \sim 2\text{kg/cm}^2$ 에 불과하였으나 이에 시멘트를 添加하여 濕潤養生을 實施한 結果 시멘트 4% 添加量에서도 試料의 種類에 따라서 7日養生 壓縮強度는 $10 \sim 23\text{kg/cm}^2$ 로 急增하였다. 이 中에서 風化度가 낮은 試料 即 長石의 比重이 큰 AA, WK等의 試料는 壓縮強度의 增加率이 컸으며 反대로 風化가 상당히 進展되고 따라서 長石의 比重이 작은 SA, DJ等의 試料는 壓縮強度의 增加率이 比較的 낮아 前述한 松尾의 理論과 一致되는 傾向을 보이고 있다.

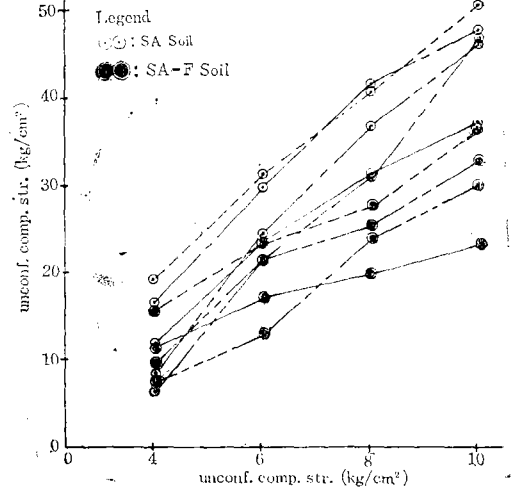
한편 그림 2의 AA-F, WK-F, SA-F等의 試料에서 보는바와같이 모든 試料의 粒度가 비슷하다 하여도 同一한 시멘트 添加量에서는 風化度가 낮아 土粒子 自體의 強度가 높은 順으로 壓縮強度는 큰 傾向을 나타내었다. 이는 前回에 發表된 使用試料의 物理的性質(table-1)⁽¹⁰⁾에서, 風化가 進展되어 細粒土(200番체 通過量)含有量이 많은 試料일수록, 또는 化學的 風化度의 尺度가 되는 P^H 값이 작거나 強



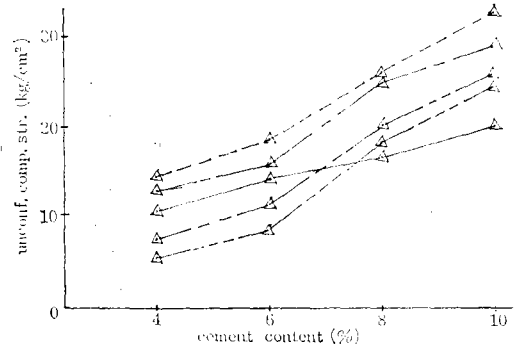
(a) AA Soil



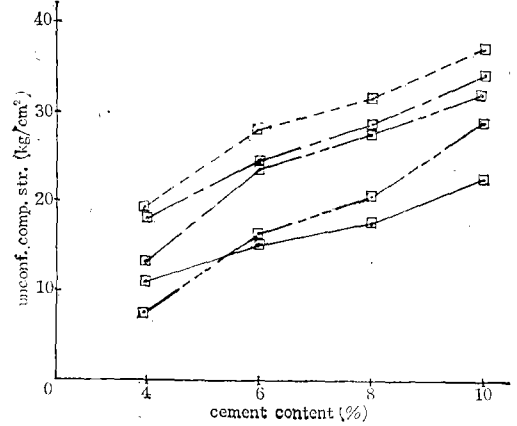
(b) WK Soil



(c) SA Soil



(d) DJ Soil



(e) CJ Soil

Fig. 2. Relationship between cement content and unconfined compressive strength of soil-cement mixtures at various curing method.

熱減량이 많을수록 壓縮強度가 낮은 것과 一致되는 傾向을 보이고 있다.

또한 同一한 시멘트 添加量에서 使用試料의 粒度가 비슷하다 하여도 壓縮強度의 差異가 현저함은 비단 風化度에 따른 土粒子 自體의 強度에 의한 原因뿐만 아니라 使用試料의 鑛物組成 또는 粘土鑛物의 含有량과도 關係되는 것으로⁽²⁾ 有色鑛物(雲母 各質적, 蛭石等을 總稱)의 含有量이 많은 DJ試料는 同一한 다짐에너지에서 他試料에 比하여 粒形, 板狀構造, 吸水膨脹等의 原因에 의하여 乾燥單位重量이 낮고 아운러 松尾⁽¹⁸⁾가 指摘한 바와같이 風化가 進展됨에 따라 illite, vermiculite 등의 粘土鑛物이 生成되어 시멘트의 水和作用을 妨害하는 montmorillonite 粘土와 비슷한 物理的 性質을 나타내기 때문에 壓縮強度가 낮은 것으로 생각된다.

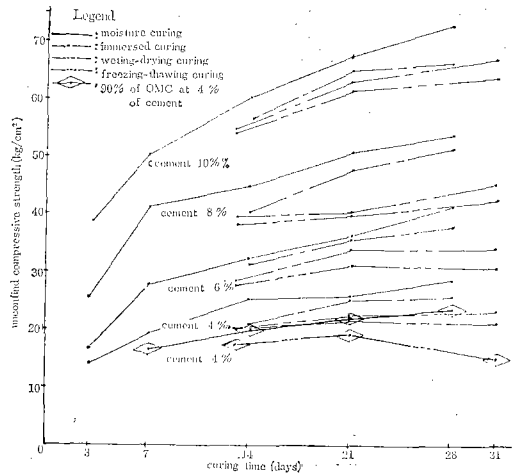
또 시멘트 添加量의 增加에 따라 壓縮強度도 增加하나 이는 養生方法에 따라 현저한 差異를 나타내는데 同一한 養生期間에서는 濕潤養生의 경우가 제일크고 7日間 濕潤養生後 水浸養生, 乾濕 및 凍結融解等의 順序로 壓縮強度가 컸다. 여기서 濕潤養生은 養生室溫度 21±2°C의 標準養生으로서 壓縮強度가 가장 큰 값을 나타냄은 當然한 結果이며 水浸養生은 濕潤養生에 比하여 10% 內외의 強度低下 現象을 보이고 있으나 水浸初期에는 시멘트의 水和作用에 必要한 充分한 水分이 供給되기 때문에 乾濕養生에 比하여는 약간 壓縮強度가 높은 것으로 보인다. 또한 乾濕養生은 乾燥初期에 養生溫度의 增加에 따른 促進養生의 效果가 나타나므로 凍結融解養生에 比하여 壓縮強度는 높은 것으로 생각된다.

이때 시멘트 添加量의 增加에 따른 壓縮強度의 變化를 보면 濕潤養生 및 7日間 濕潤養生後 水浸養生한 供試體는 相互平行을 이루면서 시멘트 添加量의 增加에 따라 壓縮強度는 直線關係로 增加하는 傾向을 나타내며⁽⁹⁾ 凍結融解 및 乾濕싸이클을 反復시킨 供試體는 使用試料의 粒度와 鑛物組成에 따라 싸이클 回數의 增加에 따른 強度의 變化가 多樣하게 나타났다. 卽 有色鑛物의 含有量이 많은 DJ試料 및 長石의 風化度가 큰 SA-F試料는 凍結融解 및 乾濕 12싸이클 反復後의 시멘트 添加量의 增加에 따른 壓縮強度의 增加率은 극히 완만하였다.

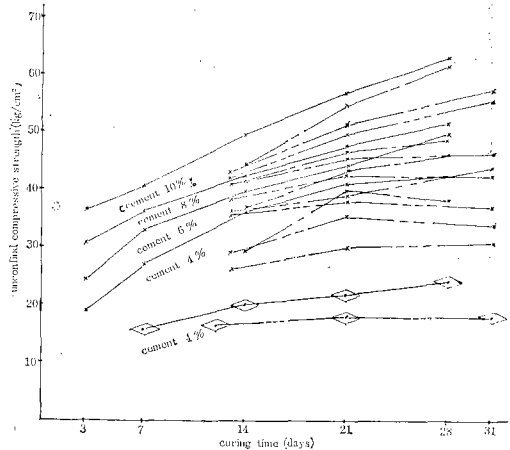
그림. 3은 養生期間과 壓縮強度와의 關係를 시멘트 添加量 및 養生方法別로 나타낸 것으로 試料의 種類에 따라 약간의 差異는 있으나 初期 3日 또는 7日까지의 濕潤養生期間에는 壓縮強度가 급격히 增加 되었으며 養生期間이 점차 길어짐에 따라 壓縮

強度의 增加率은 減少되었다. 卽 soil-cement는 7日養生期間에 시멘트가 發揮할 수 있는 대부분의 強度를 나타내며 道路工에서 7日養生 壓縮強度를 設計基準強度로 規定한 것은 이와같이 시멘트가 發揮할 수 있는 대부분의 強度를 利用하고자 함에 있다.

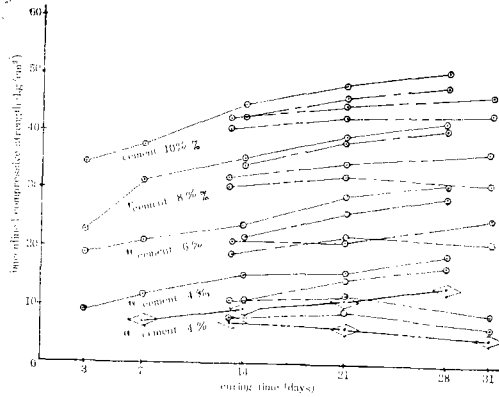
또 그림. 3에서 시멘트의 添加量이 增加됨에 따라 28日養生 供試體는 7日養生後의 것에 比하여 그 強度가 增加率이 컸으며 이와같은 現象은 風化度가 낮고 粒度가 良好할수록 뚜렷하게 나타났다.



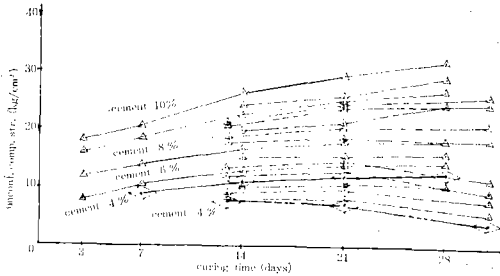
(a) AA Soil



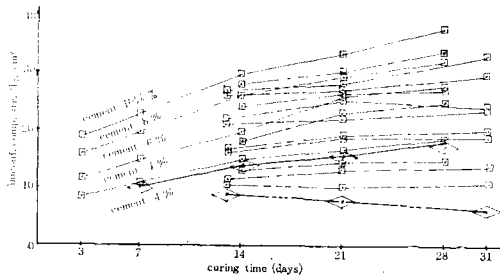
(b) WK Soil



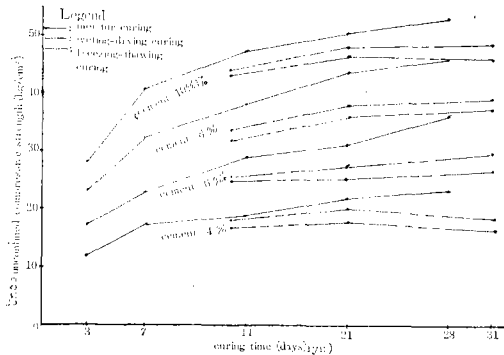
(c) SA Soil



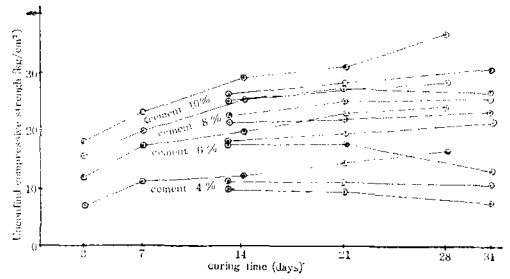
(d) DJ Soil



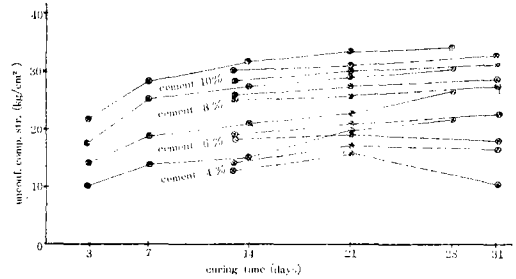
(e) CJ Soil



(f) AA-F Soil



(g) WK-F Soil



(h) SA-F Soil

Fig. 3. Relationship between curing time and unconfined compressive strength of soil-cement mixtures.

한편 7日 濕潤養生後 凍結融解 또는 乾濕사이클 反復의 경우는 이의 反復回數가 增加함에 따라 濕潤養生 및 水浸養生에 比하여 壓縮強度의 增加率이 낮아지기 시작하여 SA試料은 시멘트 添加量 4%, SA-F試料은 6%에서 이미 凍結融解 12사이클 反復後의 壓縮強度가 7日 濕潤養生 壓縮強度보다 작았으며 有色鑛物의 含有量이 많은 DJ試料은 시멘트 添加量 8%에서 이미 凍結融解 7사이클 反復後의 壓縮強度가 7日 濕潤養生 壓縮強度보다 작은 傾向을 보이고 있다. 그러므로 使用試料의 粒度가 良好하고 시멘트 添加量을 10%以上으로 增加시켰다 하여도 凍結融解 및 乾濕사이클을 12回以上 계속 反復시키면 壓縮強度는 점차 減少되기 시작하여 崩壞에 이를 것으로 豫想된다.

이상은 最適含水比에서의 壓縮強度의 變化에 대하여 調査한 것으로 最適含水比의 95% 内外이 乾燥側 含水比에서는 凍結融解 및 乾濕사이클의 反復에 따른 壓縮強度의 低下率이 더욱 현저하였다. 따라서 soil-cement에서 含水比가 耐久性에 미치는 影響은 至大한 것으로 이에 대하여는 後에 詳述하기로 한다.

그림. 4는 7일 및 28일 濕潤養生 壓縮強度의 相互關係를 나타낸 것으로 $qu_{28}=1.36qu_7+3.27$ 의 關係式이 成立되었으며 이때의 相關係數 $r=0.984$ 의 높은 相關性이 認定되었다.

一般的으로 7日養生 壓縮強度는 28日養生 壓縮強度의 85%內外로 알려져 있으나⁽¹⁴⁾, 本研究에 使用된 試料는 70%內外로서 이는 콘크리트의 경우와 비슷하며 花崗岩質 風化土는 普通土와는 달리 7日養生 以後에도 強度의 增加現象이 靑을 알수 있다.

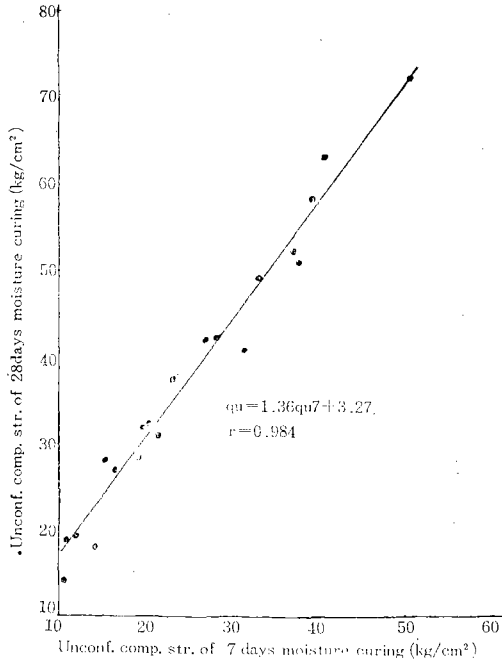


Fig. 4. Relationship between 7-day and 28-day strength of soil-cement mixtures.

이는 순수한 花崗岩質 風化土의 土性에도 關係되겠으나 普通土에 比하여 有機物의 含有量이 적기때 문이 아닌가 생각된다.

그림. 5는 7日養生壓縮強度와 몰드에 拘束되어 貫入抵抗值로 나타나는 修正CBR值와의 關係를 보인 것으로 拘束되지 않은 상태에서 試驗한 壓縮強度에 比하여 시멘트 添加量의 增加에 따른 支持力의 增加率이 현저하였으며 $CBR_r=6.78qu_r+53.4$ 의 關係式이 成立되었고 이때의 相關係數 $r=0.896$ 의 比較的 높은 相關性을 나타내고 있다. 따라서 위의 關係式으로 볼때 soil-cement는 CBR試驗結果에 의하면 貫入時 몰드의 周邊마찰력等에 의하여 그 支持力이 過大하게 評價되는 것으로 判斷되며, 또한 試驗後 몰드內 殘供試體의 除去等 어 려움이 있으므로 soil-cement 安定處理工法의 配合設計時에는 一軸壓縮

結果에 따르는 것이 安全할 것으로 생각된다.

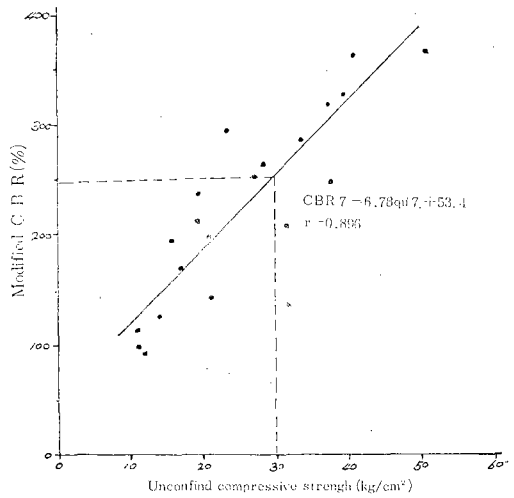


Fig. 5. Unconfined compressive strength and modified CBR of soil cement mixtures.

그림. 6은 凍結融解 및 乾濕 12사이클 反復後의 壓縮強度와 7日 濕潤養生 壓縮強度와의 比를 求하고 이것과 시멘트 添加量과의 關係를 보인 것으로 이를 相對一軸壓縮強度라 가정하면 風化가 比較的 낮고 粒度가 良好한 粗粒土 일수록 相對一軸壓縮強度는 큰 값을 나타내며 반대로 風化가 상당히 進展된 SA試料 및 有色鐵物의 含有量이 많은 DJ試料는 시멘트 添加量 6~8%以上에서 비로서 相對一軸壓縮

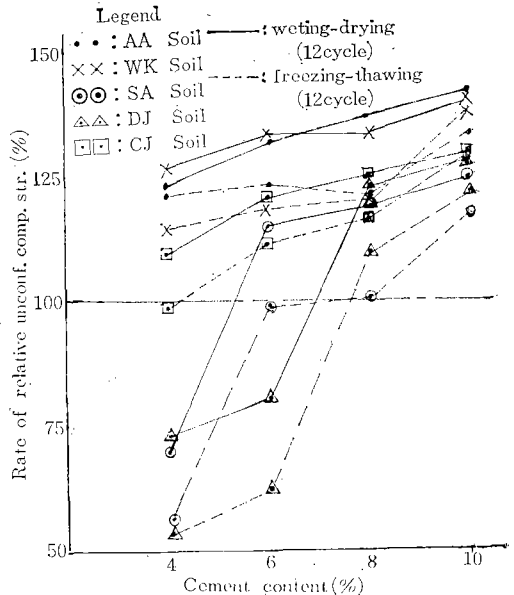


Fig. 6. Relationship between cement content and rate of relative unconfined compressive strength of soil cement mixtures.

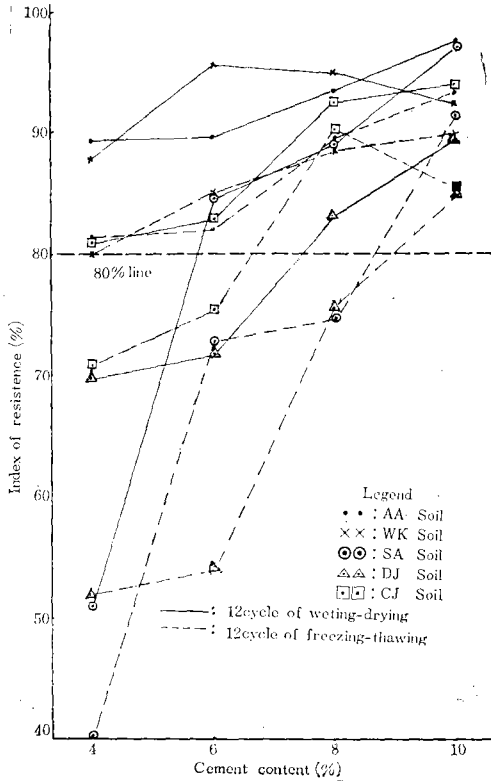


Fig. 7. Relationship between cement content and index of resistance.

縮強度가 100%以上으로 나타났다.

三嶋⁽²⁰⁾에 의하면 相對一軸壓縮強度로서 soil-cement의 耐久性을 推定할 수있다고 하였다.

그림. 7은 凍結融解 및 乾濕 12사이클 反復後의 壓縮強度와 同一期間 水浸養生強度에 對한 比를 求하고 이것과 시멘트 添加量과의 關係를 보인 것으로 이를 抵抗指數라 가칭하면 相對一軸壓縮強度 100%以上時의 抵抗指數는 80%以上으로 나타났다. 따라서 相對一軸壓縮強度와 抵抗指數와의 關係를 圖示한 結果 그림. 8과 같이 相對一軸壓縮強度 100%와 抵抗指數 80%以上에 達하기 위하여는 試料의 種類에 따라 시멘트 4%에서 8%以上을 添加하여야 함을 알 수 있다.

2. 乾燥單位重量과 壓縮強度와의 關係.

乾燥單位重量은 soil-cement의 壓縮強度에 큰 影響을 미치는 要素이다⁽²⁵⁾.

흙을 다지면 다짐에너지의 變化에 따라 最適含水比 및 最大 乾燥密度가 變化된다. 本研究에 使用된

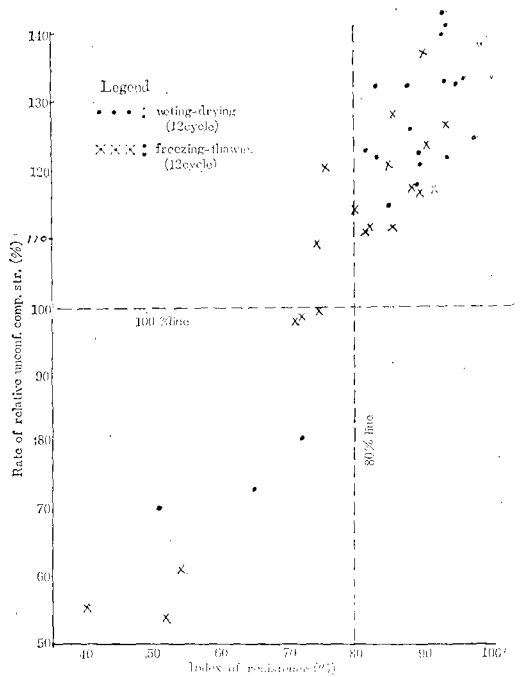


Fig. 8. Relationship between index of resistance and rate of relative unconfined compressive strength.

花崗岩質 風化土의 경우 同一한 다짐에너지에서는 粗粒土일수록 乾燥單位重量이 컸으며 이는 破碎性이 큰 花崗岩質 風化土를 特性이기도 하다⁽¹⁰⁾.

한편 흙에 시멘트를 添加하여 다지면 前述한 바와같이 土粒子사이의 空隙이 미세한 시멘트粒子에 의하여 채워짐으로 乾燥單位重量이 더욱 增加한다. 이는 土粒子사이의 空隙의 減少에 의한 原因뿐만아니라 시멘트의 比重이 흙의 그것보다 크기때문이기도 하다. 따라서 시멘트의 添加量이 增加됨에 따라 乾燥單位重量도 增加하여 最適含水比는 減少됨은 이미 發表한 바와 같거나⁽⁹⁾ 이와같은 結果는 本研究에 使用된 試料에서와 같이 粗粒土에 適用되는 것이며 粘性土와 같은 細粒土에서는 最適含水比는 오히려 增加한다⁽¹⁸⁾.

그림. 9는 7日養生 壓縮強度와 乾燥密度 및 間隙比와의 相互關係를 보인 것으로 乾燥密度가 클수록 따라서 間隙비가 작을수록 曲線을 이루면서 壓縮強度는 增加하는 傾向을 나타내고 있으며 이것으로 道路의 基層材料로서 使用 가능한 壓縮強度 30kg/cm² 이상을 얻기 위하여는 시멘트 添加量이 4% 이상으로서 乾燥密度 1.80g/cm³ 이상이여야 함을 알 수 있다.

따라서 乾燥密度 1.80g/cm^3 이상을 얻기 위하여는 使用試料의 粒度가 良好하거나 시멘트 添加量의 增加 또는 다짐에너지를 增加시킬 必要가 있다.

한편 Pocock⁽²⁰⁾ 등에 의하면 本研究의 結果와는 약간 달리 乾燥單位重量과 壓縮強度는 兩對數紙에서 直線關係가 成立된다고 하였으며 Maclean⁽¹⁷⁾ 은 $S=kD^n$ 의 指數關係가 成立된다고 하였다. 여기서 S는 壓縮強度, D는 乾燥單位重量, K는 常數이다. 本研究에서 위에 열거한 結果와 다른 理由는 花崗岩質 風化土 固有의 土性이 다르기 때문인 것으로 생각된다.

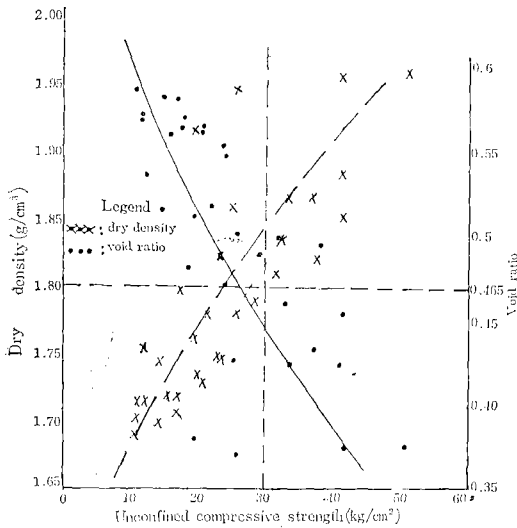


Fig. 9. Correlation of unconfined compressive strength, dry density and void ratio.

그림. 10 은 시멘트 添加量의 間隙比에 對한 比를 求하고 이것과 壓縮強度와의 關係를 보인 것으로 兩對數紙에 曲線關係를 나타내고 있다.

그러나 이 曲線은 다짐後 미세 시멘트 粒子가 土 粒子 사이의 空隙에 一定量 채워질때까지는 乾燥單位重量의 增加에 의한 強度의 增加와 시멘트의 水和 作用에 의한 強度增加의 2種類의 要因에 의하여 強度가 增加되므로 壓縮強度는 直線을 이루면서 급격히 增加될 것으로 생각되며 시멘트 添加量이 계속 增加되어 土粒子사이의 空隙을 시멘트가 一定限界까지 채워진 後에는 土粒子사이의 空隙은 오히려 增大될 것이고 乾燥單位重量의 增加는 시멘트의 比重이 土粒子의 그것보다 크기때문인 것으로 이때의 壓縮強度는 시멘트의 水和作用에만 依存하므로 強度 增加率은 적어져 壓縮強度는 完만한 曲線으로 增加된다고 생각된다. 本研究에서는 壓縮強度 增加現

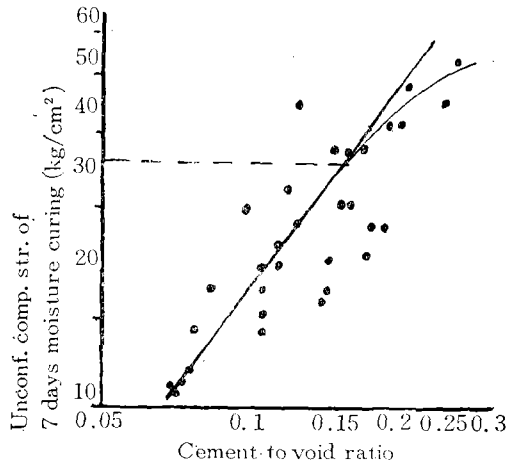


Fig. 10. Relationship between cement to void ratio and unconfined compressive strength.

象이 直線에서 曲線으로 變化되는 지점은 30kg/cm^2 를 약간 上廻하는 것으로 나타났다.

그림. 11은 乾燥密度와 壓縮強度와의 關係를 養生 方法別로 보인 것이다. 여기서 乾燥密度 1.80g/cm^3 이하에서는 試料의 種類에 따라 약간의 差異는 있으나 대부분 7日 濕潤養生 壓縮強度가 30kg/cm^2 이 하이거나 凍結融解 및 乾濕 12사이클 反復後의 壓縮強度가 30kg/cm^2 이하로 低下되었으며 이때에는 濕潤養生에 대한 壓縮強度의 低下率이 컸으나 대조적

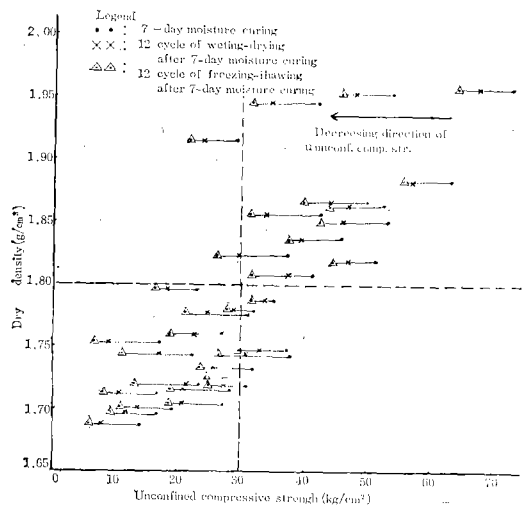


Fig. 11. Relationship between unconfined compressive strength and dry density at various curing method.

으로 乾燥密度 1.80g/cm³以上에서는 前記 12싸이클 反復後의 壓縮強度 低下率이 比較的 낮은 뿐만 아니라 壓縮強度는 대부분 30kg/cm²以上이었다. 이와 같이 乾燥密度와 耐久性과는 相關性이 높은 것으로 나타났으며 凍結融解 및 乾濕 12싸이클 反復後의 壓縮強度 30kg/cm²以上이면 耐久性面에서 安全할 것으로 判斷된다.

以上の 凍結融解 및 乾濕 12싸이클 反復後의 壓縮強度 30kg/cm²以上, 相對一軸壓縮強度 100%以上 抵抗指數 80%以上 등에 의한 耐久性을 檢討할 경우에는 凍結融解에 의한 값이 乾濕에 의한 것보다 一般的으로 작으므로 凍結融解에 의한 耐久性試驗만으로 만족스러운 結果를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

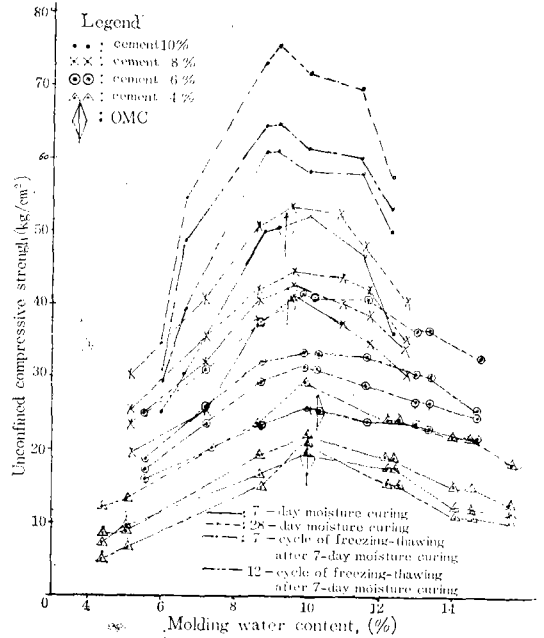
3. 含水比가 耐久性에 미치는 影響

Chiang⁽³⁾, Circeo⁽⁴⁾, Moh⁽²¹⁾ 등이 指摘한 바와 같이 含水比는 soil-cement의 壓縮強度에 큰 影響을 준다.

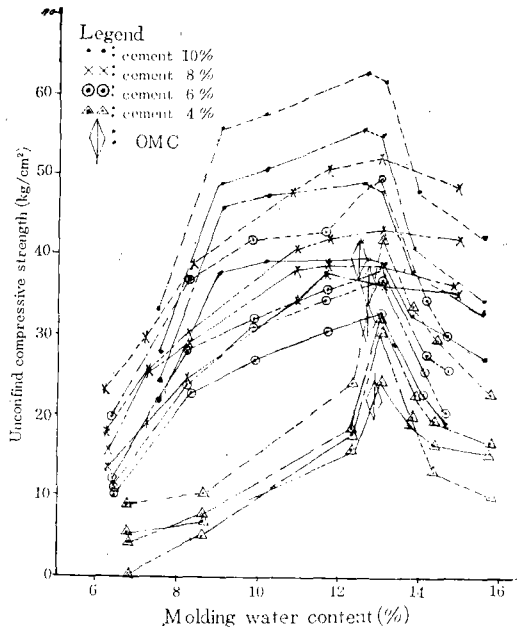
그림. 12는 시멘트 添加量을 變化시키면서 最適含水比 및 이의 濕潤側과 乾燥側으로 含水比를 增減시키면서 一軸壓縮試驗用 供試體를 製作하여 濕潤養生 및 7日 濕潤養生後 凍結融解 12싸이클에 達하도록 反復시킨後의 壓縮強度와 含水比와의 關係를 養生期間別로 圖示한 것이다. 여기서 各條件에 대한 最大壓縮強度는 시멘트 添加量 및 試料의 種類에 따라 다르나 大體로 最適含水比 또는 이보다 약간 乾燥側의 含水比로 다졌을때 壓縮強度가 가장 컸고 이의 含水比에서 乾濕兩側으로 점차 멀어짐에 따라 強度는 급격히 減少되었는데 이때에는 濕潤側보다 乾燥側의 含水比에서 強度의 低下率이 더 컸다. 即 乾燥側 含水比에서는 同一한 다짐에너지에서의 乾燥單位重量이 적을뿐만 아니라 養生初期에 시멘트의 水和作用에 必要한 充分한 水分이 供給되지 못하기 때문인 것으로 생각된다. 그런데 Davidson⁽⁶⁾, Felt⁽¹¹⁾ 등의 研究에 의하면 粘性土일 경우에는 最適含水比보다 약간 濕潤側에서 壓縮強度가 最大로 되었다고 하나 本研究結果에서는 最適含水比 또는 이보다 약간 乾燥側에서 強度가 最大로 되었는 바 이는 試驗에 使用된 試料가 砂質土(S群)로서 最適含水比 내지 乾燥側 含水에서 乾燥單位重量이 最大로 되었기 때문인 것으로 생각된다.

한편 前述한 바와같이 凍結融解試驗이 乾濕試驗에 比하여 壓縮強度의 低下率이 컸음을 감안하여 乾濕試驗은 除外하고 凍結融解에 의한 一軸壓縮試驗만을 한 結果 濕潤養生時와 같이 最適含水比 혹은

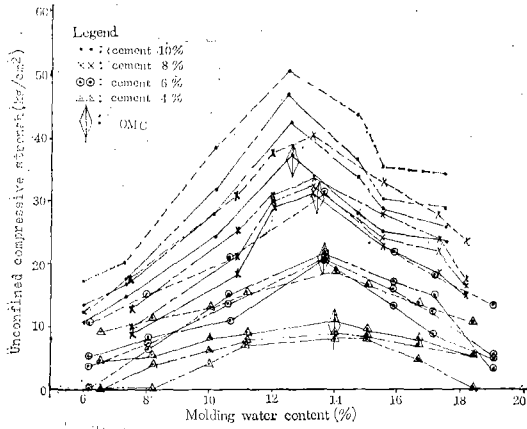
이보다 약간 乾燥側에서 強度가 가장 컸으며 含水比가 最適含水比보다 乾濕兩側으로 점차 減少 혹은 增加됨에 따라 強度는 급격히 低下되어 使用試料 및 시멘트 添加量에 따라서는 凍結融解 7싸이클에서 이미 7日 濕潤養生 強度보다 壓縮強度가 低下되었고 역시 乾燥側 含水比가 濕潤側 含水比에 比하여 強度의 低下率이 컸다.



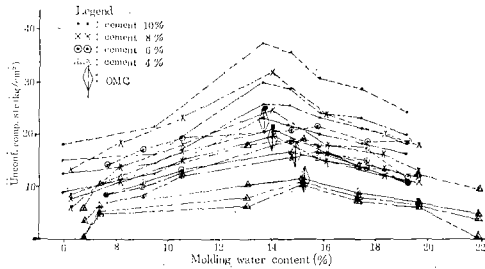
(a) AA Soil



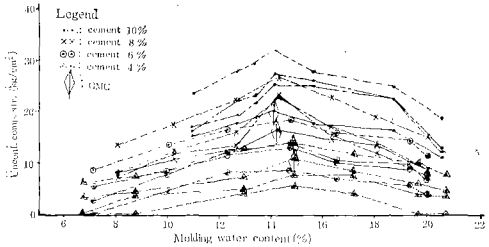
(b) WK Soil



(c) SA Soil



(d) DJ Soil



(E) CJ Soil

Fig. 12. Effect of molding water and cement content on unconfined compressive strength of soil-cement mixtures at various curing method.

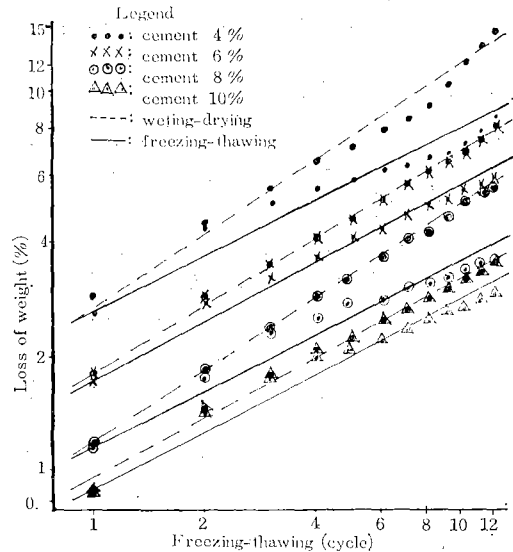
또 最適含水比에서는 凍結融解 12사이클까지에는 崩壞되는 供試體가 없었으나 最適含水比보다 乾濕 兩側으로 含水比가 떨어져짐에 따라, 特히 乾燥側 含水比로 떨어져짐에 따라서는 凍結融解 12사이클 以前에 이미 崩壞되는 供試體가 있음을 볼때 含水比가

壓縮強度에 미치는 影響이 커듯이 耐久性에도 큰 影響을 미침을 알수있다.

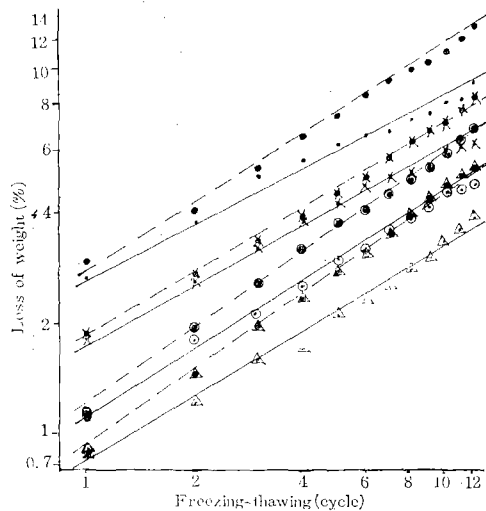
4. 重量損失量과 壓縮強度와의 關係

soil-cement의 耐久性試驗은 KS F2330 및 KS F233 2에 의거 乾濕 및 凍結融解試驗을 實施하도록 規定되어 있으며 이는 ASTM 및 JIS에 規定되어 있는 方法과 거의 同一하다.

Fig. 13은 KS F에 規定된 試驗方法에 準하여 시멘트 添加量別로 凍結融解 및 乾濕사이클 反復에 따른 重量損失量을 보인 것으로 試料의 種類 및 시

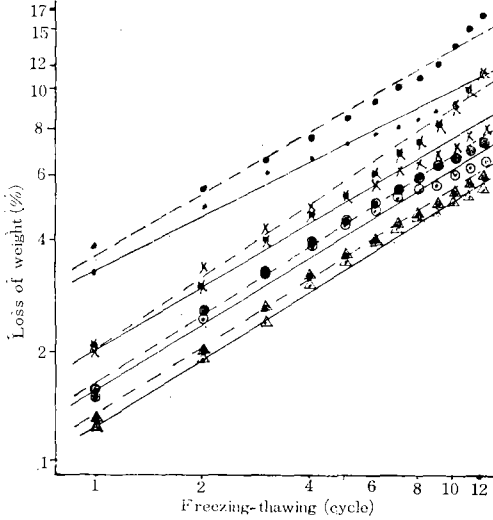


(a) AA Soil

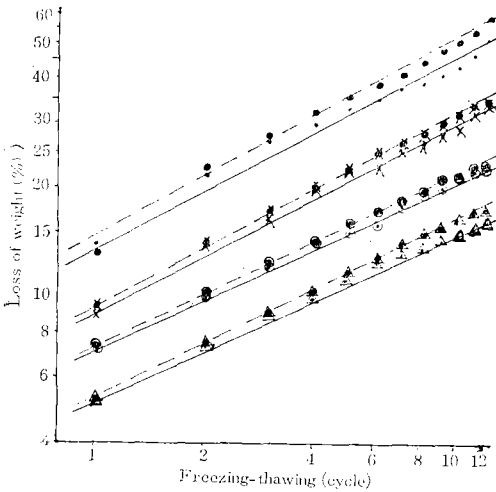


(b) WK Soil

멘트 添加量에 따라 약간 다르나 凍結融解사이클 增加에 따른 重量損失量은 兩對數紙에서 거의 直線 關係를 나타내고 있다. 이러한 凍結融解 및 乾濕사이클 反復에 따른 重量損失의 傾向을 구체적으로 살펴보면 7日 溼潤養生後 凍結融解 및 乾濕 1~3 사이클까지는 養生初期로서 重量損失量은 比較的 적으며 이어 數사이클까지는 凍結融解 혹은 乾濕사이클이 反復되어도 強度는 계속 增加하여 重量損失量

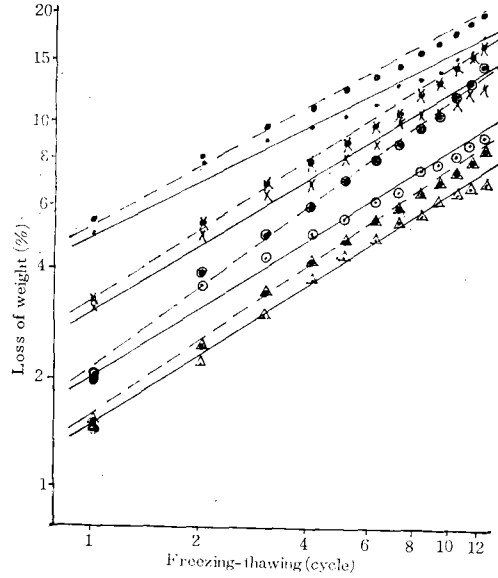


(c) SA Soil

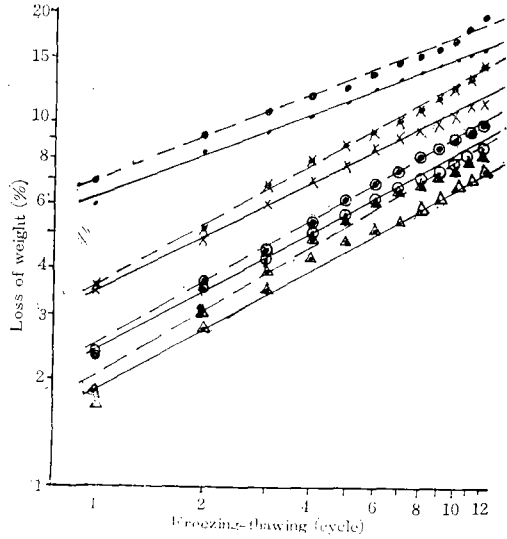


DJ Soil

(d) DJ Soil

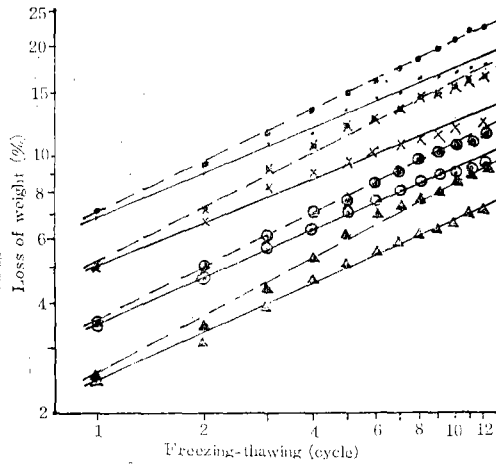


(e) CJ Soil

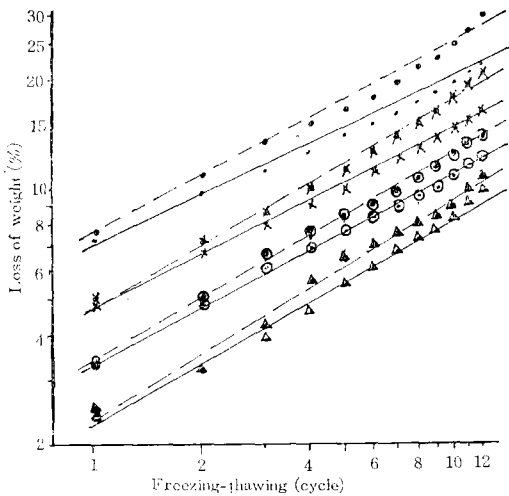


(f) AA-F Soil

은 減少되었고 그後부터는 이와같은 사이클이 反復됨에 따라 重量損失量은 增加하고 結局 崩壞에 이르는 傾向을 보였다. PCA⁽²⁷⁾의 規定에 의하면 本研究에 使用된 砂質土의 경우 凍結融解 혹은 乾濕 12사이클 反復後의 重量損失量이 14%以下이면 道路工事의 基層材料로서 使用可能한 耐久性을 지니고 있다고 하였다. 다만 여기서 注意하여야 할 사항은 KS F에서 規定한 耐久性試驗에 의한 重量損失



(g) WK-F Soil



(h) SA-F Soil

Fig. 13. Relationship between freeze-thaw cycle and loss of original weight of soil-cement mixture sat various cement content.

량은凍結融解에 比하여 乾濕試驗에 의한 것이 많으나 前述한 壓縮強度의 變化에 의한 耐久性試驗結果에 따르면 乾濕試驗에 의한 것이 凍結融解에 比하여 壓縮強度가 큰 값을 나타내는 것으로 이들 相互關係에 대하여는 今後 더 많은 研究 檢討가 이루어져야 될 것으로 믿는다.

그림. 14는 시멘트添加量과 凍結融解 및 乾濕 12사이클 反復後의 重量損失量과의 關係를 보인 것

로 시멘트添加量이 增加됨에 따라 重量損失量은 減少되어 兩對數紙에서 $\log L = -A \log C + B$ 의 關係이 成立되었으며 AA試料의 경우 凍結融解試驗結果는 $\log L = -1.481 \log C + 2.05$, 乾濕試驗의 結果는 $\log L = -1.24 \log C + 1.69$ 의 關係式을 얻을수 있었다.

여기서 L은 重量損失量, C는 시멘트添加量이다.

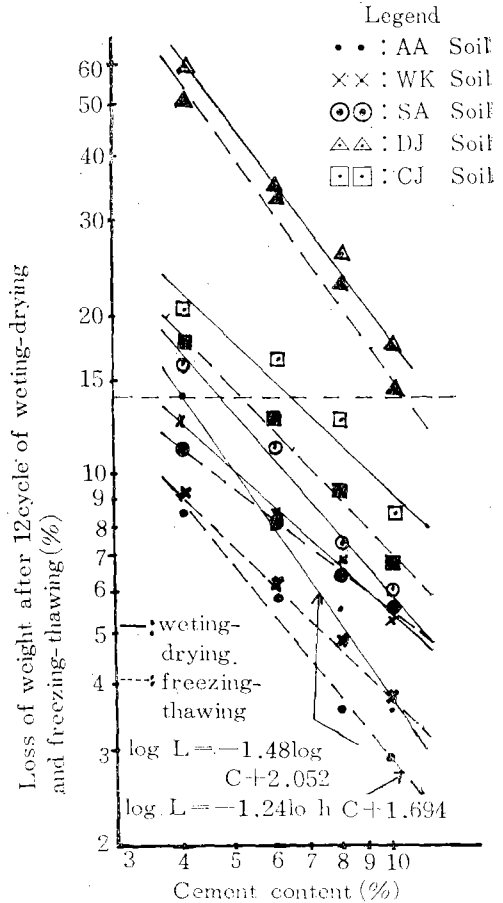


Fig. 14. Relationship between cement content and loss of weight.

위의 關係式은 Circeo⁽⁵⁾의 研究結果와 一致되는 것으로 PCA가 提示한 規定에 따르면 有色鑛物의 含有量이 많은 DJ試料를 除外한 모든試料는 시멘트添加量 4~10%로서 道路基層材料로 使用可能한 耐久性을 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

그림. 15는 凍結融解 및 乾濕 12사이클 反復後의 重量損失量과 壓縮強度의 逆數와의 關係를 보인 것으로 凍結融解試驗의 경우 $L_d = 1/0.00155q_u - 16.6$,

乾濕試驗 結果는 $L_w=1/0.00165qu_7-17.6$ 의 關係式이 成立되었고 이때의 相關係數는 各各 $r=0.768$ 및 $r=0.76$ 이었다.

George⁽¹²⁾는 7日養生 現場 코어를 採取하여 24時間 水浸後의 壓縮強度와 ASTM의 規定에 따른 重量 損失量과의 關係를 調查한 바 直線關係가 成立되었고 이때의 相關係數는 $r=0.646$ 이었다고 한다.

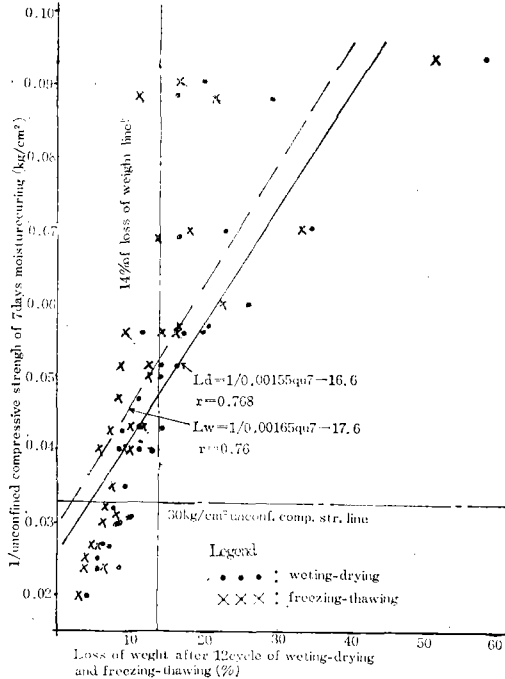


Fig. 15. Relationship between loss of weight and 1/unconfined compressive strength.

本研究 結果가 George의 結果보다 좋은 相關性을 나타내는 것은 現場에서 採取한 코어와 本研究中에서 같이 試驗室에서 濕潤養生한 供試體와는 強度의 差異가 있기 때문인 것으로 생각된다.

以上の 結果를 綜合하면 ① 7日 濕潤養生後 12사이클에 達하도록 凍結融解 및 乾濕사이클을 反復시킨後 壓縮強度의 7日 濕潤養生強度에 對한 比로서 求하여지는 相對一軸壓縮強度, ② 凍結融解 및 乾濕 12사이클 反復後 壓縮強度의 同一한 期間 水浸後의 壓縮強度에 對한 比로서 求하여지는 抵抗指數 ③ KS F에 規定된 凍結融解 및 乾濕 12사이클에 달할때까지 每 사이클이 끝날때마다 規定된 철사슬로 끊은 後의 重量損失量 및 ④ 4%以上의 시멘트를 添加하여 다진 後의 乾燥單位重量은 相互 密接한 關係를 가지고 있으며 이들 相互關係는 soilcement의 耐久性을 나타내는 尺度가 될 수 있을 것으로

생각된다. 그러므로 soil-cement의 耐久性試驗에 있어 試驗者의 主觀에 의하여 誤差가 介介될 수 있는 KS F의 規定에 만 依存하지 말고 上記에 열거한 여러가지 試驗에 依하여 耐久性을 檢討하는 것도 바람직한 方法일 것으로 생각된다.

IV. 結 論

soil-cement의 耐久性을 檢討하기 위하여 5種類의 花崗岩質 風化土를 採取해서 이에 시멘트 添加量을 變化시키면서 供試體를 製作하여 濕潤養生, 水浸養生 乾濕 및 凍結融解 사이클을 12회에 達하도록 反復 시켜 壓縮強度試驗을 하고 KS F의 耐久性試驗 規定에 따른 重量損失量을 測定 分析한 바 다음과같은 結論을 얻었다.

1. 花崗岩質 風化土는 普通土에 比하여 7日養生 後에도 壓縮強度의 增加率이 比較的 높았으며 7日 養生強度와 28日強度와는 $qu_{28}=1.36qu_7+3.27$ 의 關係式이 成立되었고 이때의 相關係數는 $r=0.984$ 의 높은 相關性이 認定되었다.

2. 乾燥密度와 壓縮強度는 曲線關係가 成立되었으며 시멘트 添加量/間隙比와 壓縮強度는 兩對數紙에서 시멘트 添加量이 增加됨에 따라 直線에서 曲線으로 變化하는 傾向을 보였다.

3. 여러가지 養生方法에 의한 一軸壓縮試驗 結果에 따르면 濕潤養生, 7日間 濕潤養生後 水浸, 또는 乾濕 및 凍結融解 사이클 反復後의 順으로 壓縮強度가 컸다. 그러나 重量損失量은 凍結融解에 의한 것 에 比하여 乾濕試驗에 의한 것이 많았다.

4. 凍結融解 및 乾濕사이클을 12회에 達하도록 反復시켜 一軸壓縮試驗을 한 結果 使用試料의 粒度和 鑛物組成 또는 시멘트 添加量의 多少에 따라 強度 增加率이 緩慢하거나 減少되기 시작하여 崩壞에 이르는 傾向을 보였다.

5. 시멘트 添加量 및 含水比를 變化시켜 製作한 供試體에 對하여 凍結融解 사이클을 12회에 達하도록 反復시킨後 一軸壓縮試驗을 한 結果 最適含水比 혹은 이보다 약간 乾燥側의 含水比에서 濕潤養生에 대한 壓縮強度의 減少率이 가장 작았으며 여기에서 乾濕兩側으로 含水比가 減少혹은 增加됨에 따라 壓縮強度의 減少率이 급격히 增加하였다.

6. 시멘트 添加量과 重量損失量과는 $\log L = -A \log C + B$ 의 關係式이 成立되었으며 細粒土일수록 重量 損失量이 컸다. 그리고 重量損失量과 7日養生 壓縮強度와는 凍結融解試驗의 경우 $L_d=1/0.00155qu_7-$

16. 6. 乾濕試驗에서는 $L_w=1/0.00165qu_7-17.6$ 의 關係式이 成立되었으며 이때의 相關係數는 各各 $r=0.768$ 및 $r=0.760$ 이었다.

7. 以上の 結果를 綜合하면 道路鋪裝의 基層에 使用 가능한 耐久性을 얻기 위하여는 本研究에 使用된 花崗岩質 風化土의 경우 시멘트 添加量 4%以上으로서 7日 濕潤養生 및 이를 凍結融解 12사이클 反復後의 壓縮強度가 30kg/cm^2 以上, 相對一軸壓縮強度 100%以上, 抵抗指數 80%以上, KS F의 耐久性試驗 規定에 따른 乾濕 12사이클後의 重量損失量 14%以下 및 乾燥單位重量 1.80g/cm^3 以上이어야 할 것으로 判斷된다.

參 考 文 獻

1. Aichhorm, W. and W. Steinbrenner; Stabilization of disintegrated granite for base courses of highway exposed to severe frost condition, Proc. 4th. Int. Conf. Soil Mech. & Found. Eng., Vol. 2, 89—93 (1961).
2. Cauley, R.F.; Proposal for improved tensile strength of cement-treated materials, H.R.R. 442, 34—42 (1973).
3. Chiang, Y.C. and Y.S. Chae; Dynamic properties of cement treated soils, H.R.R. 379, 39—51 (1972).
4. Circeo, L.T., D.T. Davidson and H.T. David; strength maturity relations of soil cement mixtures, H.R.B. Bull. 353, 84—89(1962).
5. Circeo, L.T. and D.T. Davidson; Relationship between cement content and freeze-thaw loss of soil-cement mixtures, H.R.R. 36, 133—145 (1963).
6. Davidson, D.T., G.L. Pitre and K.P. George; Moisture density, moisture strength and compaction characteristics of cement treated soil mixtures, H.R.B. Bull. 353, 42—63(1962).
7. Dempsey, B.J. and M.R. Thompson; Vacuum saturation method for predicting freeze-thaw durability of stabilized materials. H,R.R.442, 44—57 (1973).
8. 都德鉉; 添加劑에 의한 soil-cement의 性質改良, 韓國農工學會誌 Vol. 21, No. 1, 63—77(1979).
9. 都德鉉; 花崗岩質風化土의 道路基層 利用에 關한 研究, 國立建設研究所, 建設技術 No. 51, 1—51 (1978).
10. 都德鉉, 姜父默; 花崗岩質風化土의 破碎性에 關한 研究, 韓國農工學會誌, Vol. 21, No. 2, 81—103 (1979).
11. Felt, E.J.; Factor influencing physical properties of soil-cement mixtures, H.R.B. Bull. 108 quoted by ASCE 93 (1967).
12. George, K.P. and D.T. Davidson; Development of a freeze-thaw test for design of soil-cement, H.R.R. 36, 77—96 (1963).
13. Goldich, S.S.; A Study in Rock Weathering, Jour. Geol. Vol. 46, 17—58(1938).
14. 金在英, 姜父默; 시멘트 含有量 및 다짐含水比가 soil-cement의 壓縮強度에 미치는 影響에 關한 研研, 韓國農工學會誌, Vol. 17, No. 1, 59—75 (1975).
15. 金在英; 養生溫度가 soil-cement의 壓縮強度에 미치는 影響에 關한研究, 韓國農工學會誌 Vol. 17, No. 4, 35—46 (1975).
16. Lumb, P.; The properties of decomposed granite, Geotechnique, 12(3), 226—243(1962.)
17. Maclean, D.J. and W.A. Lewis; British practice in the design and specification of cement-stabilized bases and subbases for loads, 56—76 (1963).
18. 松尾新一郎, 西田一彦; マサ土のセメント安定處理效果について, 京大工業教員 養成所 研究報告 第4號, 53—58 (1968).
19. Merrill, D.C. and J.M. Hoover; Laboratory freeze-thaw tests of portland cement-treated granular bases, H.R.R. 255, 16—29 (1968).
20. 三嶋信雄; 路床, 路盤としてのマサ土の安定處理效果と耐久性, 土と基礎 Vol. 23, No. 2, 25—31 (1975).
21. Moh, Z.C. and Y.P. Chin; Cement stabilization of lateritic soils, Proc. 3rd. Asian Reg. Conf. on SM & FE, Haifa, 42—46 (1967).
22. 日本 土質工學會; 日本の 特殊土, 85—140 (1974).
23. Packard, R.G.; Alternate methods for measuring freeze-thaw and wet-dry resistance of soil-cement mixtures, H.R.B. Bull. 353, 8—41 (1962).
24. Packard, R.G. and G.A. Chapman; Developments in durability testing of soil-cement, H.R.R. 36, 97—122 (1973).
25. Parsons, R.R. and G.P. Menamara; The use of cement bond base courie in the Auckl and area, A.R.R.B. Conf. Proc. Vol. 2 No. 2, 1271—1294 (1964).
26. Pocock, R.G.; The use of cement stabilized chalk in load construction, R.R.L. Report LR 328 Crowthorne, Berkshire 1—30 (1970).
27. Portland cement Association; soil-cement Labalotary Hand Book, 1—62 (1959).
28. Vargas, M.; some engineering properties of residual clay soils occuring in Southern Brazil, Proc. 3rd. Int. Conf. SM&FE, 67—71 (1953).