

成形壓力이 Soil-Cement의 強度 및 耐久性에 미치는 影響에 關한 研究

A Study on the Effects of Molding Pressure on the Compressive Strength and Durability of Soil-Cement Mixture

徐 元 明* · 高 在 君**
Won Myung Suh , Chae Koon Koh

Summary

In order to investigate the effects of grain size distribution, cement content, and molding pressure on the strength and durability of soil-cement mixtures, a laboratory test of soil cement mixtures was performed at four levels of cement content, five levels of molding pressure, and four levels of normal curing periods.

The results are summarized as follows:

1. Optimum moisture contents in loam soil and maximum dry density in sand soil increased with the increase of cement content, but in others, both optimum moisture contents and maximum dry density were changed ununiformly.
2. When the specimens were molded with molding pressure, 50kg/cm², strength of soil cement mixture with cement content, 2 and 4 per cent, was lower than the strength of soil cement mixture without cement content by more than 40 to 50 per cent.
3. The strength of soil-cement molded with molding pressure, 100kg/cm², was higher than the strength of soil-cement molded with M.D.D. obtained from standard compaction test more than 40 per cent in sand loam cement and 50 per cent in loamy cement.
4. There was highly significant positive correlation among molding pressure, cement content and unconfined compressive strength and so the following multiple regression equations were obtained.

$$\text{Loam} \quad : f_c = 1.9693C + 0.197P - 0.84$$

$$\text{Sandy loam} : f_c = 2.9065C + 0.235P - 0.77$$

5. When the specimens were molded with molding pressure, 20 to 100kg/cm², the regression equation between the 28-day and 7-day strength was obtained as follows.

$$\text{Loam} \quad : q_{28} = 1.1050q_7 + 7.59 (r = 0.9147^{**})$$

$$\text{Sandy loam} : q_{28} = 1.3905q_7 + 3.17 (r = 0.9801^{**})$$

* 慶尙大學 農工科

** 서울大學校 農科大學

6. At the cement contents of above 50 per cent, the weight losses by freeeze-thaw test were negligible. At the cement content of below 8 per cent the weight losses were significantly high under low molding pressure and remarkably decreased with the increase of molding pressure up to 80kg/cm².
7. Resistance to damage from water and to absorption of water were not improved by molding pressure alone, but when the soil was mixtured with cement above 6 per cent, damage seldoms occurred and absorbed less than 5 per cent of water.
8. There was highly significant inverse-corelationship between the compressive strength of soil cement mixtures and their freeeze-thaw loss as well as water absorption. By the regression equation methods, the relationships between them were expressed as followed

$$f_c = -7.3206W_a + 115.6 (r = 0.9871^{**})$$

$$\log fc = -0.0174L + 1.59 (r = 0.7709^*)$$

where f_c = unconfined compressive strength after 28-days curing, kg/cm²

W_a : water absorption, %

L : freeeze-thaw loss rate, %

I. 序 論

近來에 와서 土木, 建築工事が 活潑하여짐에 따라 콘크리트의 基礎材料인 모래, 자갈等 良質의 骨材需要가 急增하고 있다.

따라서 現場에서는 直接 示方書에서 提示하는 條件에 맞는 骨材의 確保가 現實的인 問題로 대두됨으로서, 自然狀態 그대로의 흙을 適切히 加工하여 骨材의 代替材料로서 利用하려는 努力이 活潑히 進行되어 왔다.

이러한 努力으로서, 흙의 粒度調節, 포틀랜드 시멘트處理, 石灰나 포졸랑處理, 역청계處理, 電氣의 處理, 化學的處理, 熱處理 및 外力에 依한 다짐等 所謂 흙의 安定處理工法이 多方面으로 開發되어 왔다.

그러나 經濟性이나 安定處理의 效率面에서 역청제나 포틀랜드 시멘트에 依한 安定處理工法이 餘他工法에 比해서 優秀하다고 認定되고 있으며, 持히 Soil-Cement는 흙의 物理, 化學的인 性質을 시멘트 持有的 水和作用으로 改善시켜 하는 工法으로서, 일찍이 貧配合의 시멘트콘크리트나, 貧配合의 시멘트몰탈로서 認識되어 왔으나, 近來에는 흙의 特殊한 土質工學上의 問題로서 흙의 工學的인 長點과 시멘트의 獨特한 性質의 複合體로서 看做되고 있다

Soil-Cement의 利用은 主로 道路의 基層이나, 補

助基層, 堤防이나 흙댐等的 비탈面 保護工, 用水路의 라이닝等 土木工事 一般에 걸쳐 널리 利用되고 있을뿐만 아니라, 흙의 工學的인 長點을 利用하여 農家住宅을 비롯하여 中, 小規模의 建築壁體 材料로서 利用이 날로 增大되고 있다.

그러나 國內에서는 아직도 安全위주의 在來式 施工基準에 對한 盲目的인 踏襲과 흙材料에 對한 不信 때문에 一般土木工事에는 勿論 構造物의 利用 目的上 性質이 다른 農村建築에 까지도 一律적으로 一般建築 材料를 利用하므로써 建物의 機能을 제대로 發揮하지 못함은 勿論, 經濟的인 負擔을 加重시키는 結果를 가져온다.

또한 産業構造의 變貌로 都市生活環境의 顯著한 發展에도 不拘하고 農村의 生活環境은 舊態依然한 狀態로 沈滯되어 있는 原因中의 하나로도 指摘되고 있다.

따라서 農村環境改善을 爲한 經濟的인 建築材料의 開發이 要求되고 있다.

過去 農村建築等에 있어서, 흙에 시멘트 또는 石灰等を 添加해서 젖은 狀態의 흙을 木材를로 벽돌을 製作하거나 콘크리트 打設形式으로 施工된 壁體의 境遇 養生이나 乾燥過程에 있어서 甚한 體積變化 때문에 強度面이나 其他 龜裂現象等에 依한 耐久性의 缺如等으로 弱點이 많았다.

따라서 本實驗에서는 지금까지 國內, 外에서 研究되어온 Soil-Cement 工法을 바탕으로 하여 시멘

트添加와 並行하여 強制로 成形壓力을 加하여 初期 密度를 增進시켜 줄 境遇

- (1) 시멘트含量—成形壓力—壓縮強度의 關係
- (2) 시멘트含量—成形壓力—凍結融解損失 關係
- (3) 시멘트含量—成形壓力—吸水率 關係

등에서 成形壓力의 크기가 Soil-Cement의 強度와 耐久性에 미치는 效果를 分析하여 앞으로 適當한 成形壓力裝置를 開發할 境遇 Soil-Cement를 利用하여 在來式 시멘트 벽돌이나 부록의 形態로 規格化하여 量産하므로써 農村生活環境 改善에 利用할 수 있는 代替材料 開發을 爲한 基礎資料로서 提供하고자 한다.

II. 研究史

Soil-Cement의 利用은 1920年代 美國에서 道路基層 및 鋪裝工事に 利用하기 爲하여 비롯된 것으로 알려져 있다²⁵⁾.

그러나, Proctor²⁶⁾(1929)의 흙다짐 室內試驗과 Filsofov²⁷⁾(1931)에 의한 Portland 시멘트의 混合에 의한 흙의 諸因子에 미치는 影響에 關한 研究의 發表로서 體系있는 發展의 嚆矢를 이루게 된 것이다.

그러나 Soil-Cement의 實用化는 1930年代 美國에서 道路의 基層工事中에 活用하기 始作한 것으로서 現在까지 廣範圍하게 利用되고 있음이 報告되고 있다¹⁸⁾.

國內에서도 1963年頃부터 利用하게¹⁹⁾ 되어 各種工事中에 그 利用性에 對하여 相當한 關心을 갖고 있으나 一般적으로 實用化되지는 못한 實情이다.

Soil-Cement의 活用分野는 廣範圍하며 主로 道路의 基層 및 補助基層 以外에도 滑走路¹⁶⁾, 住宅建設²⁰⁾²²⁾²⁸⁾, Grouting,⁸⁾¹¹⁾ 提防이나²³⁾ 흙댐의 斜面保護工, 用水路라이닝⁹⁾ 등에 使用한 結果 그 利用效果가 널리 認定되고 있다.

한편 Soil-Cement의 建築材料로서의 利用價値는 現在까지 檢討되지 못하고 있으며, 그 理由로서는 建築材料自體는 一定한 所要強度를 가져야 함은 勿論이고 充分한 耐久性을 지녀야 利用이 可能한 것으로서 이에 關한 研究資料나, 實用化에 對한 資料는 찾아 보기가 힘들다. 다만 低廉한 建築材料로서 흙自體 또는 小量의 Cement나 石灰를 添加하여 壁體材料로서 利用되고 있음을 發見할 수 있다.

Soil-Cement의 配合設計에 關한 研究結果는 括目할만 하다.

Hveem (1960)⁴¹⁾은 시멘트의 粒度改善效果를, Dutrm¹⁸⁾(1961)은 흙의 種類에 따른 시멘트處理의 可能性을, 鄭²⁸⁾(1967)은 흙의 粒度分布의 重要性을 各各 發表하였다. 즉 흙의 粒度分布는 Soil-Cement의 重要한 因子로서 考慮되고 있음을 찾아볼 수가 있었다.

한편 이와 類似한 것으로서 Catton⁹⁾(1960), 金⁴⁰⁾(1965) 등의 結果에서 찾아볼 수 있으며 Tyagi²⁹⁾(1973)의 結果 역시 시멘트의 作用을 圓滑히 할 수 있는 흙의 基準을 提示하고 있다.

흙에 시멘트를 添加할 境遇 흙의 物理的 性質은 改善된다. 曹³⁷⁾(1974)는 Soil-Cement의 力學的 性質의 複雜性을 示唆하였고 金⁴¹⁾(1970) 역시 이에 對한 綜合的인 考察을 찾아 볼 수 있으며, 시멘트에 依한 흙의 力學的 性質改善에 關하여 疑心할 餘地가 없는 것으로 생각된다.

한편 이와 類似한 文獻은 여러가지를 찾아볼 수 있었다. 흙과 混合한 시멘트의 化學的 性質에 關한 研究結果로 부터 시멘트의 複雜한 水和作用을 考察할 수 있다.

Jack²¹⁾(1965)는 시멘트의 水和作用이 關한 言及에서 粘土質의 化學的 反應現象을 說明 하였고, Chadda⁷⁾(1970)는 粘土粒子와의 結合性으로서 Tyagi²⁹⁾(1977)는 結合作用後에 生成되는 化合物 등에 關한 報告를 들 수 있었다.

姜³⁹⁾, 崔⁴⁰⁾ 등은 흙에 對한 다짐 試驗結果에서 흙의 乾燥密度, 間隔比, 水密性 등은 다짐과 密接한 關係를 갖는다고 함으로써 다짐의 顯著한 效果를 提示하였고, Proctor⁴²⁾(1929)의 다짐 試驗結果를 採擇한 많은 實驗들이 이에 對하여 言及하고 있다.

흙材料에 시멘트를 添加함으로써 흙의 性質을 改善할 수 있다는 研究는 曹³⁷⁾(1974)와 其他 많은 實驗들에 依하여 이루어져 왔다. 이의 標準試驗은 이미 ASTM¹³⁾(1945), AASHO⁶⁾(1955) 등에서 採擇하고 있으며 國內에서도 K.S.F 2327~2332⁴³⁾(1970)로 採擇되어 있다.

흙의 加工處理를 爲한 Soil-Cement의 配合는 다짐 試驗에서 얻은 最適含水比를 적용시켜, 混合比를 最適含水比 보다 약간 乾燥한 狀態로 配合함이 適當하다고 指摘하고 있다.

Soil-Cement의 工事材料로서의 適用은 主로 흙의 安定處理方法中 하나이다.

이러한 安定處理는 흙의 乾燥密度, 間隔比, 水密性 등의 흙의 基本工學的인 性質改善을 圖謀한 것

이며 특히 Soil-Cement의 壓縮強度에 관한 限 많은 實驗이 이루어졌다. 三木¹¹⁾(1961)은 Soil-Cement의 混合方法에 의한 影響을 Clare¹²⁾(1954) 등은 養生溫度及 強度의 關係를 Dutron¹³⁾(1961)은 含水比와 強度의 關係를 各各 究明 하였으며 其他의 시멘트 混合量이나, 養生條件, 흙材料 等 Soil-Cement의 強度에 관한 여러 報告를 찾아볼 수 있었다.

Soil-Cement의 成形에 관한 報告로는¹⁴⁾ Mysore Eng. Re. Station에 의한 부록形態의 成形을 찾아볼 수 있었으며 이는, 流速에 견딜수 있는 바닥材料의 發掘을 위한 努力이었다. 즉 5%의 시멘트含量으로 24×18×6"規格의 부록을 사용한 結果를 提示하였다. 그러나 其他의 成形加工에 關해서는 資料를 찾기 어려웠다.

Soil-Cement의 成形加工은 무엇보다도 材料의 強度나 耐久性이 向上되어야 한다. 自然狀態의 흙은 물이나, 凍結融解 等に 對하여 比較的 自體形狀維持가 곤란함은 이미 잘 아는 事實로서 이를 爲하여 Soil-Cement의 強度 및 耐久性 增進을 爲한 努力이 要求되는 것이다. George¹⁵⁾(1968), Bhandari¹⁶⁾(1973) 등은 Soil-Cement의 龜裂에 관한 研究의 結果로서 시멘트含量, 養生條件, 다짐密度 等を 龜裂發生의 主된 影響因子로서 言及했다.

靑¹⁷⁾(1974)는 Soil-Cement의 磨耗에 관한 試驗을 했고 金¹⁸⁾(1975)은 凍結融解試驗에서 시멘트含量이 損失率을 크게 左右 한다고 하였다.

흙材料의 建築材料로서의 利用性이나, 不透水性의 增大로서 成形加工狀態로 利用키 爲한 研究는 찾아볼 수가 없었다.

여기에서 Soil-Cement로서 벽돌이나 부록 形態의 加工을 爲한 試圖로서 成形壓力를 加했을 境遇에 對한 考察로서 將次 農村 等에서 低廉하고, 實情에 適合한 建築資材의 求得이 可能토록 試圖한 것이다.

Ⅲ. 材料 및 方法

1. 試驗材料

가. 흙試料

本 試驗에 使用한 試料은 京畿道 始興郡 의 왕면 포일리近郊의 國道建設 捨土場에서 採取한 Loam質 試料, 漢江에서 採取한 Sand質試料, 그리고 以上의 두가지를 乾燥重量比로 50%씩 配合한 Sandy-loam質 試料 等 3種으로서 各試料 共히 No. 4체 通過 分만을 使用했다.

各 試料의 物理的 性質을 分析한 結果는 Table. 1과 같으며 粒度分析에 依한 粒徑加積曲線은 Fig 1과 같다.

나. 시멘트 試料

本 試驗에 使用한 시멘트는 S會社產의 1種 普通 波特蘭드 시멘트로서 K.S.L5101에 依한 物理, 化學的인 性質分析結果 및 K.S.L 5401로 定한 基準值와 的 比較結果는 Table. 2와 같이 規格品이었다.

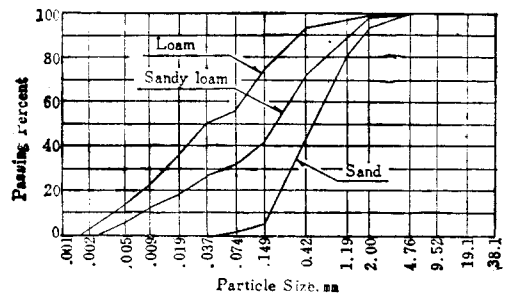


Fig. 1. Grain Size Distribution Curves

Table-1. Physical Properties of Soils

Gradation(%)			Cu	Atterberg Limit			G.S	Classification
Clay 0.005 (mm)	Silt 0.005— 0.074 (mm)	Sand 0.074— 4.76 (mm)		$\frac{D_{40}}{D_{10}}$	L.L	P.L		
14.0	41.9	44.1	25.7	52.39	36.08	16.31	2.77	Loam
6.0	25.4	68.6	39.6	44.26	36.18	8.08	2.72	Sandy loam
—	2.5	97.5	3.3	—	N.P	—	2.63	Sand

Table-2. Physical and Chemical Analysis of Cement

Properties		Comparison	Results	K.S.L	Properties		Comparison	Results	K.S.L.
Gs			3.11		Ignition loss(%)			0.4	<3.0
Fineness(Blaine, cm ² /gr)			3.090	>2,600	Chemical Properties		SO ₃	2.3	<2.5
Soundness			0.12	<0.80			MgO	2.2	<5.0
Setting time	Initial Sett.		130min	>60			SiO ₂	21.7	
	Final Sett.		4.67hr	<10			Al ₂ O ₃	—	
Strength (kg/cm ²)	Compressive strength	7-day	128	>85			Fe ₂ O ₃	—	
		28-day	262	>2.5			CaO	67.8	
	Tensile strength	7-day	30	>20			S	—	
		28-day	35.5	>26			CaSO ₄	—	

2. 試驗方法

가. 豫備壓縮強度試驗

本實驗設計를 爲한 시멘트 添加量 및 成形壓力크기에 對한 範圍를 決定코져 시멘트含量을 0~18% 까지 2% 간격으로 增加시키고 成形壓力의 크기를 50kg/cm²로 하여 7日동안 常溫養生한 後에 壓縮強度試驗을 하고 이에 對한 確認試驗으로 28日養生 供試體에 對해서도 壓縮強度試驗을 하였다.

나. 다짐試驗

本 試驗用 供試體 製作에 利用할 最適含水比를 求하고져 다짐몰드의 直徑 101.6mm, 內容積(V), 944cm³, 램 무게(W₁), 2.5kg, 落下高(H.), 30cm로 하여 다짐層을 3層으로 나누어 每層의 다짐回數는 25回로 하였다. 이때의 다짐에너지(E)는 5.96kgcm/cm³였다.

다. 供試體製作 및 養生

다짐試驗에서 求한 最適含數比로서 Loam質과 Sandy-loam質 2種의 畵에 對해서만 豫備試驗을 通해서 擇한 시멘트含量 6~12%, 成形壓力의 크기 20~100kg/cm²로 하여 B.S.S(1924)에서 規定하고 있는 供試體의 最小規格인 5cm×10cm 몰드를 利用하여 C.B.R Testing Machine으로 成形後 試料押出器로 押出하였다. 이렇게 成形된 供試體는 24時間 동안 室內에서 常溫養生후, 內部溫度 23°C, 相對溫度 100%의 養生室에 옮겨 所定日數까지 非水沈 濕潤 養生하였다.

라. 壓縮強度試驗

7, 14, 21, 28日別로 所定日數까지 養生이 끝난 供試體에 對하여 各處理區에서 3個씩의 供試體를 擇

하여 切斷機로서 10cm로 높이 均一하게 차른후 變形制御型 C.B.R Testing Machine으로 1mm/min의 荷重速度로 壓縮하면서 破壞時의 應力과 變位等을 測定 하였다.

마. 凍結融解試驗

K.S.F 2332에 準하여 7日養生된 供試體에 對하여 各處理別로 2個씩을 擇하여 冷凍機 內部溫度 -21±2°C 狀態로서 24時間 冷凍시킨후 23±3°C의 試驗室內에서 물로 飽和된 5cm두께의 스펀지 위에 23時間동안 垂直으로 세워 融解過程에서 毛管吸收토록 하였다.

이렇게 毛管吸收가 끝난 供試體는 Wire Brush로 供試體의 側面16回, 兩端面 各各 4回, 總 24回 끌고루 문질렀다.

以上과 같은 過程을 한 cycle로 하여 總 12回 反復한 後의 重量損失量을 測定하였다.

바. 吸收率試驗

28日養生이 끝난 供試體에 對해서 110±5°C로 Drying Oven에서 24時間 乾燥後 常溫에서 6時間 동안 식히고 水深 2cm의 Plastic Pan에 垂直으로 세워 毛管吸水계 함으로서 150時間 동안의 重量變化를 一定時間 間隔으로 測定하였다.

IV. 結果 및 考察

1. 다짐試驗結果

3種의 畵試料에 對하여 시멘트를 乾燥重量 百分率로 0, 6, 8, 10, 12%씩 添加하여 다짐試驗한 結果含水比-乾燥密度 關係는 Fig. 2와 같았다. 그림에서

Table-3. Results of Compaction Test

Items	0 %		6 %		8 %		10%		12%	
	O.M.C (%)	M.D.D (g/cm ³)	O.M.C (%)	M.D.D (g/cm ³)	O.M.C (%)	M.D.D (g/cm ³)	O.M.C (%)	M.D.D (g/cm ³)	O.M.C (%)	M.D.D (g/cm ³)
Soil type										
LOAM	20.5	1.425	22.1	1.432	23.2	1.452	25.3	1.435	25.8	1.450
SANDY LOAM	17.2	1.620	17.8	1.732	18.1	1.725	17.6	1.726	17.8	1.742

* : Optimum Moisture Content

** : Maximum Dry Density

와 같이 각 시멘트 處理別로 含水比를 增加시키에 따라 두가지 흙試料에서 共히 乾燥密度의 增減이 뚜렷하게 나타났으며 適定含水比에서 最大의 乾燥密度가 存在함을 알수 있었다.

특히 土質이 自질土質에 比해 土織의 기울기가 緩慢한 것은 흙의 粒度에 있어서 細粒分이 많은 흙일수록 含水比의 變化에 銳敏하게 密度의 變化를 보이는 것으로 생각된다.

Table-3은 各 處理試料의 最大乾燥密度(M.D.D)에 對한 最適含水比(O.M.C)의 關係를 表示한 것이다. 土質의 경우 시멘트含量的 增加에 따라 O.M.C는 20.4%에서 26%까지 점차 增加하는 경향을 보

이나 M.D.D는 1,425g/cm³~1,453g/cm³ 범위로서 뚜렷한 增減 現象을 發見할 수 없다.

사질토의 경우는 시멘트 含量에 따라 M.D.D는 1.72g/cm³~1.75g/cm³, O.M.C는 17% 전후로서 시멘트含量에 의한 영향은 거의 없었다. 따라서 다짐試驗에 의한 O.M.C와 M.D.D의 關係는 試料의 粒度에 따라 變化樣相이 다르다는 것을 指摘할 수 있는 것으로서 內田⁴⁹⁾, Wissa⁴³⁾, Ching⁴⁸⁾, 金³⁰⁾ 등은 다짐試驗結果에서 시멘트含量的 增加에 따라 O.M.C는 增加하나 M.D.D는 一定한 傾向이 없었다고 했고, 曹²²⁾, Mers, Chin⁴⁷⁾ 등은 시멘트含量과 O.M.C, M.D.D間에는 뚜렷한 關係가 없다고 했다. 反面에 金²⁹⁾ 등은 저소성 Silt質 흙에 시멘트를 添加한 다짐試驗에서 시멘트의 添加는 O.M.C를 減少시켰다고 했다. 따라서 O.M.C와 M.D.D의 關係는 試料의 粒度에 따라 變化樣相이 相異함을 指摘할 수 있고, 持히 본 試驗의 結果에서 土質에서 O.M.C의 增加現象은 시멘트가 添加됨으로서 細粒分이 增加된 結果라고 생각된다. 따라서 千差萬別의 흙에 對한 一律의 傾向을 理論의 上으로 定立할 수는 없으므로 반드시 使用흙에 對한 試驗이 先行되어야 할 것이다.

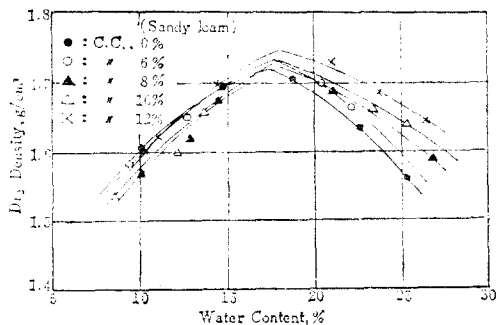
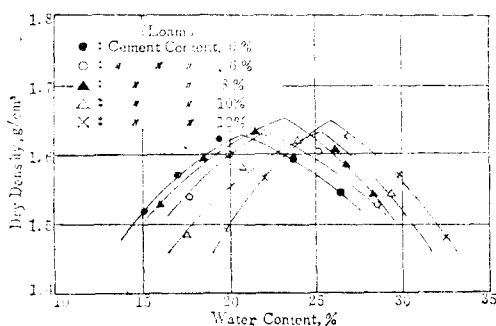


Fig. 2. Relationship between Water Content and Dry Density

2. 壓縮强度의 變化

가. 시멘트含量이 壓縮强度에 미치는 影響

豫備試驗을 通하여 시멘트含量은 0%에서 18%까지 2% 간격으로 變化시키면서 成形壓力 50kg/cm²로서 加壓하여 재령 28日의 壓縮强度 試驗結果는 附錄 Table-A와 같았다. Fig. 3은 豫備試驗에서 시멘트 含量에 따른 各種類別 壓縮强度의 變化和 Qwintero 등이 發表한 시멘트물탈 强度에 對한 實驗式을 對比하였다.

Fig. 3에서와 같이 시멘트含量이 6%미만인 2%, 4%에서 사질토의 경우 약 5.5kg/cm² 11.8kg/cm²

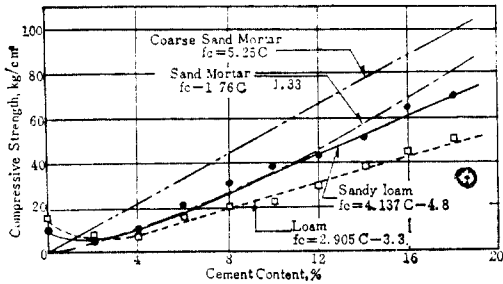


Fig. 3. Relationship between Cement Content and Unconfined Compressive Strength of Soil-Cement Mixture when Molding Pressure, 50kg/cm²

로서 시멘트함량 0%의 경우에 비하여 44%, 51%의 強度에 불과하며 로움질의 경우 역시 50%내외로서 시멘트를 添加하지 않은 경우보다 強度가 오히려 減少함을 볼 수 있었다. 이러한 現象은 흙과 시멘트의 混合에 있어서 少量의 시멘트는 흙과 不完全한 狀態로 結合劑의 役割을 하지 못하고 오히려 흙의 粘着力을 妨害하며 持히 乾燥나 養生過程에 있어서 흙과 시멘트의 현저한 收縮比의 差異 때문에 力學的으로 不利한 條件이 야기되는 結果라고 생각된다.

그러나 시멘트함량이 6%以上으로 增加함에 따라 시멘트의 強力한 水和作用으로 結合劑의 役割을 하게되며 壓縮強度는 시멘트 함량의 增加에 따라 增加하였으며 사질로움의 경우 $f_c = 4.137C - 4.80$, 로움질의 경우 $f_c = 2.905C - 3.31$ 로 表示되고 흙의 粘着力만에 依한 強度以上으로 增加함을 알 수 있다. 특히 사질로움의 경우 시멘트함량이 10%미만에서는 몰탈와 對等한 強度를 發揮할 수 있음을 살펴볼 수 있었다.

또한 시멘트함량이 增加함에 따라 壓縮強度의 增加가 로움질이 사질로움질에 비하여 작은것은 同一한 體積에 있어서 細粒分이 많은 흙일수록 相對的으로 比表面積이 커지기 때문에 같은 시멘트함량에서 單位表面積當의 시멘트水和能力이 떨어지는 結果라고 생각된다.

한편 本試驗에서 成形壓力을 變化시킬 경우 養生日數別 시멘트함량—壓縮強度의 關係는 附錄 Table B와 같다.

Fig. 4는 시멘트함량과 材齡 28日의 壓縮強度와의 關係를 나타낸 것으로서 Fig. 3에서 이미 提及한바와 같이 여기서도 시멘트함량의 增加에 따라 壓縮

Table-4. Relationship between Cements Contents and Comp: Strength in proportion to Molding Pressure

Soil	Loam	Sandy loam
20kg/cm ²	$f_c = 2.3515C - 4.19$	$f_c = 2.8250C + 1.61$
40kg/cm ²	$f_c = 3.4135C - 6.23$	$f_c = 3.3205C + 3.23$
60kg/cm ²	$f_c = 3.7725C - 4.14$	$f_c = 3.8960C + 4.09$
80kg/cm ²	$f_c = 3.8660C - 0.80$	$f_c = 4.8080C + 0.70$
100kg/cm ²	$f_c = 4.0480C + 1.78$	$f_c = 6.4040C - 5.65$

Were : C : Cement Content, %
 f_c : Unconfined Compressive Strength, kg/cm²

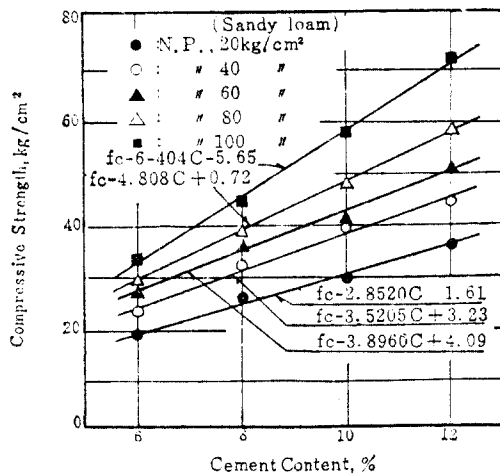
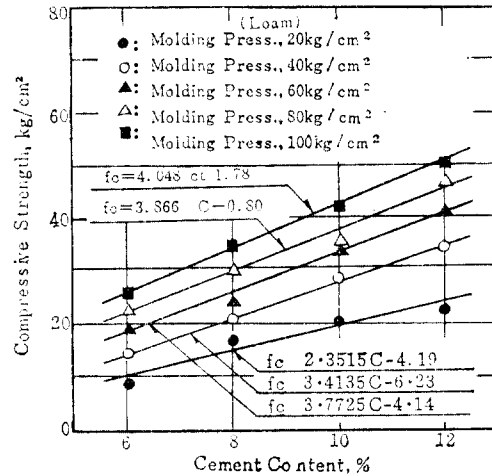


Fig. 4. Relationship of Cement Contents to Unconfined Compressive Strength of Soil-Cement Mixture

強度도 增加하였으며 兩者間에는 直線의인 變化를 보였다. 따라서 各處理別로 回歸直線의 方程式을 求해본 結果는 Table-4와 같이 成形壓力이 클수록 시멘트含量增加에 依한 壓縮強度의 增進効率が 커진다는 事實을 發見할 수 있었다.

Fig. 5는 Fig. 4에 圖示한 各 成形壓力別 시멘트含量-壓縮強度 關係에 對한 全體의인 傾向을 살펴보고져 同一 시멘트含量에 있어서 各 成形壓力 處理에 依한 壓縮強度의 平均値를 求하여 圖示한 것으로서 로움質의 경우 시멘트含量 6%에서 壓縮強度 18.19kg/cm², 12%에서 39.21kg/cm² 이며 사질로

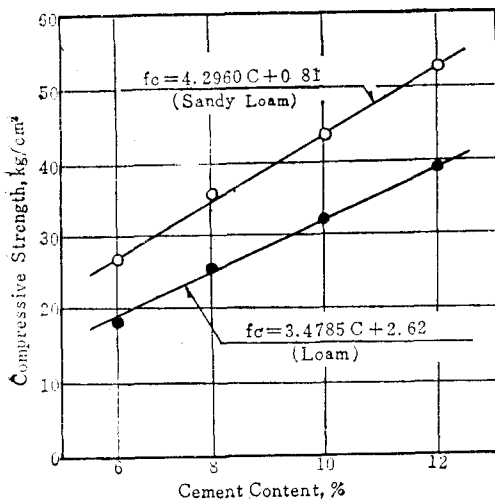


Fig. 5. Effect of Cement Content to the Unconfined Compressive Strength of Soil-Cement Mixture

움의 경우는 各各 26.6, 52.59kg/cm²로서 시멘트含量 1%增加분에 對한 平均壓縮強度 增加는 로움과 사질로움 各各 3.48kg/cm², 4.30kg/cm²로서 사질로움이 로움質에 비해 시멘트添加에 依한 強度增進의 効率面에서 有利하다는 것을 알 수 있었다.

나. 成形壓力이 壓縮強度에 미치는 影響

Fig. 6은 두가지 흙試料에 對하여 시멘트 含量別로 成形壓力의 크기와 재령 28日의 壓縮強度關係를 나타낸 것으로서 成形壓力의 크기가 增加할수록 壓縮強度는 거의 直線的으로 增加함을 알 수 있다. Table-5는 各 處理別로 成形壓力과 壓縮強度와의 關係를 回歸方程式으로 對比해본 것으로서 두 試料 共히 시멘트含量이 클수록 成形壓力에 依한 強度增進効率が 크다는 것을 살펴볼 수 있었다. 이

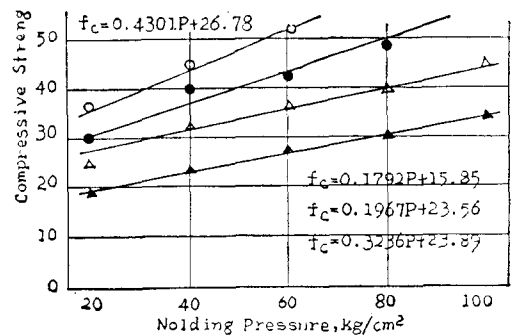
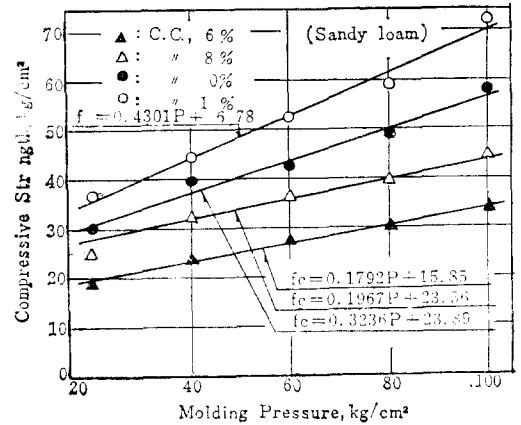
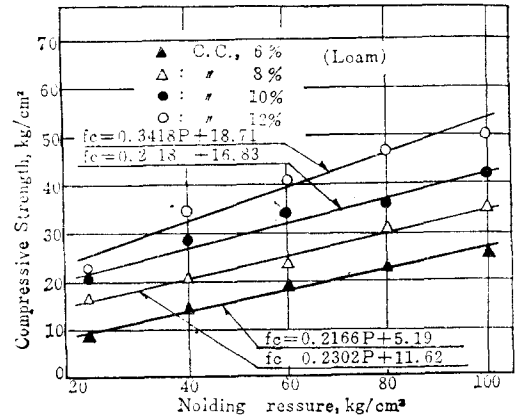


Fig. 6. Relationship of Molding Pressure to the Unconfined Compressive Strength of Soil-Cement Mixture

러한 現象은 Soil-Cement에 있어서 시멘트는 흙입자의 공극에서 水和作用을 일으키므로 시멘트含量이 一定할 경우 外力에 依해 密度가 增加되면 相對的으로 空隙率이 작아지기 때문에 시멘트의 水和能

Table-6. Comparison of Unconfined Compressive Strength of Soil-cement Mixtures molded with Maximum Dry Density to those with Various Molding Pressures

Soil	Treatment M.D.D Condition	Molding Pressure(kg/cm ²)				
		20	40	60	80	100
Loam	33.3kg/cm ³	24.0 "	34.7 "	41.1 "	45.6 "	50.4 "
	100%	72%	104%	123%	137%	151%
Sandy-loam	51.0kg/cm ³	35.5 "	43.1 "	50.8 "	58.4 "	71.2 "
	100%	70%	85%	100%	115%	140%

力이 그만큼 커지는 結果라고 생각된다. 金²⁷⁾(1976) 등이 最適含水比에 對한 最大乾燥密度로 成形된 供試體의 壓縮強度試驗에서 얻은 回歸方程式에 있어서 사질로움의 경우 $q_{10} = 4.79C - 6.91$, 로움의 경우 $q_{10} = 2.79C - 2.33$ 과 本 試驗結果를 시멘트含量 12% 인 경우를 對比하여 보면 Table-6과 같다. 따라서 壓縮強度는 로움質의 경우에 있어서 成形壓力의 크기, 40kg/cm², 사질로움의 경우 60kg/cm²에서 最大乾燥密度로 成形된 경우와 거의 等值이며 이 이상의 成形壓力에서는 그 效果가 認定되어 成形壓力이 100kg/cm² 일때는 로움質의 경우 50%, 사질로움質의 경우 40% 이상으로 強度를 增進시킬 수 있었다.

Fig. 7은 Fig. 6에 圖示한 시멘트 含量別 成形壓力 壓縮強度에 對한 全體의인 傾向을 살펴 보고져 同一 成形壓力에 있어서 各 시멘트含量處理에 依한 壓

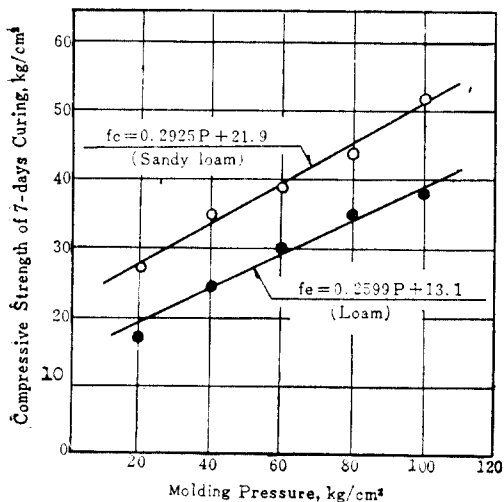


Fig. 7. Effect of Molding Pressure to the Unconfined Compressive Strength of Soil-Cement Mixture

縮強度의 平均値를 求하여 圖示한 것이다. 여기서 成形壓力과 壓縮強度間에는 거의 直線의인 關係로서 回歸方程式으로 表示하면 로움質의 경우 $f_c = 0.2599P + 13.10$, 사질로움質의 경우 $f_c = 0.2925P + 21.91$ 로서 사질로움이 로움에 비해 各成形壓力에 있어서 共히 10kg/cm²程度 높은 強度를 維持 하였다.

다. 시멘트含量-成形壓力-壓縮強度關係

흙시멘트에 있어서 시멘트含量과 成形壓力에 壓縮強度와 거의 直線의인 數關係를 갖고 있다는 事實을 以上에서 살펴 볼 수 있었다. 따라서 壓縮強度를 從屬變數, 시멘트含量을 第一獨立變數, 成形壓力를 第二獨立變數로 假定한 $f_c = b_{1,1}X_1 + b_{2,1}X_2 + Q$ 의 多重回歸關係를 取해 본 結果 사질로움의 경우 $f_c = 2.9095C + 0.2346P - 0.77$ (단, C; 시멘트含量(%), P; 成形壓力크기(kg/cm²))의 回歸方程式으로 주어 지며 係數 $b_{1,1}$, $b_{2,1}$ 의 t값은 各各 11.4025, 6.5902로서 高度의 有意性이 認定되며 로움質의 경우는 $f_c = 1.9693C + 0.1968P - 0.84$ 로서 $b_{1,1}$, $b_{2,1}$ 의 t값은 各各 8.2257, 5.8880으로 역시 高度의 有意性이 認定되었다. 두回歸方程式을 對比하면 單位시멘트含量과 成形壓力의 增加에 依한 壓縮強度의 增進은 사질로움質이 로움質보다는 크다는 事實을 알 수 있고 시멘트含量 1%增加에 依한 強度增加率은 成形壓力의 크기로 換算하면 사질로움은 13kg/cm², 로움은 10kg/cm²의 成形壓力效率에 該當하는 것으로 사질로움質보다는 로움質에 있어서 成形壓力에 依한 強度增加率이 30%程度 크다는 것을 알 수 있다.

以上的 두가지 多重回歸方程式에 依하여 所要 壓縮強度를 確保하는데 必要한 成形壓力과 시멘트含量의 適正範圍를 決定할 수 있을 것으로 생각된다. 農家建築設計基準의 例로서 基準強度 21~25kg/cm²를 考慮할때, 28kg/cm²를 發揮할 수 있는 範圍에는 시멘트含量 6%의 경우 로움質은 100kg/cm², 사질

로움은 60kg/cm² 以上の 成形壓力을 加하여 주변 되겠다.

Fig. 8은 두가지 흙試料에 對한 재령 7日 壓縮強度와 재령 28日 壓縮強度와의 關係를 圖示한 것으로서 흙試料別로 재령 7日과 28日의 壓縮強度間에는 高度의 正相關을 보여주며 로움질의 경우 $q_{28} = 1.1050q_7 + 7.59$, 사질로움의 경우 $q_{28} = 1.3905q_7 + 3.19$ 였다. 따라서 7日 強度로 부터 28日 強度의 推定이 可能할 수 있겠다.

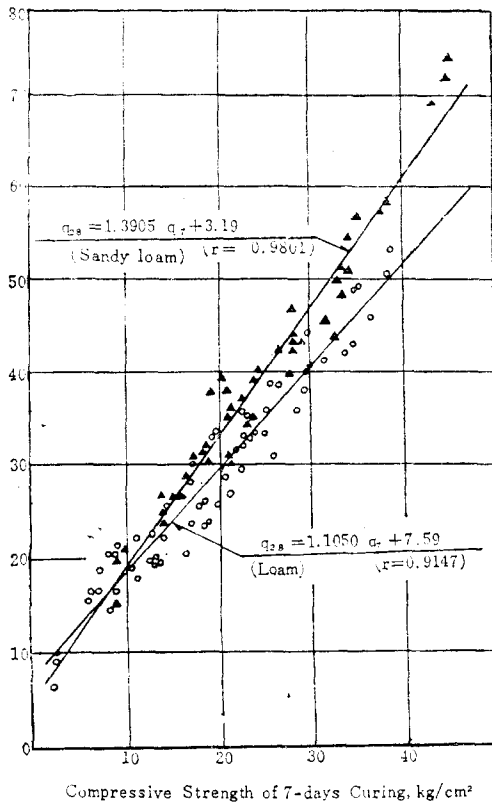


Fig. 8. Relationship of Unconfined Compressive Strength between 7-days and 28-days Curing.

3. 凍結融解試驗 結果

가. 成形壓力이 凍結融解損失率에 미치는 影響
 A.S.T.M. D-560에 의거하여 凍結融解試驗을 實施한 結果(附錄 Table-C 參照) 시멘트含量에 따른 成形壓力과 凍結融解損失率과의 關係는 Fig. 9와 같았다. 그림에서와 같이 凍結融解損失率은 各시멘트含量에서 從히 成形壓力이 增加함에 따라 減少하

였으며 持히 시멘트含量 8%以下에서는 成形壓力이 凍結融解에 依한 重量損失을 줄이는데 크게 作用함을 살펴 볼 수 있었다. Cation(1959) 등은 Soil-Cement에 있어서 凍結融解로 因한 重量損失은 흙試料의 性質에 따라 相異하다고 言及하였는데 이에 對한 許容範圍에 있어서 A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4, A-2-5, 群의 흙은 14%以下 A-2-6, A-2-7, A-4, A-3群의 흙은 10%以下, 그리고 A-6, A-7-5, A-7-6 群에서는 7%以下 이어야만 使用이 가능하며 過度한 損失은 餘他の 工學的 條件을 갖추었다고 할 지라도 利用面에서 不利하다고 指摘한 바 있다.

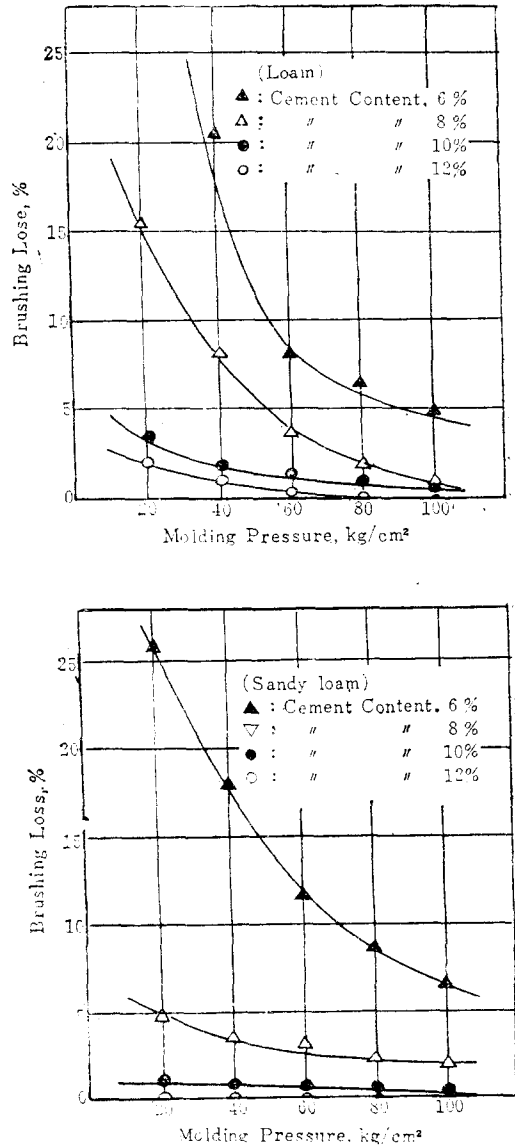


Fig. 9. Relationship of Soil-Cement Brushing Loss to Molding Pressure

成形壓力이 Soil-Cement의 強度 및 耐久性에 미치는 影響에 關한 研究

따라서 本試驗에 使用한 로움質과 사질로움質 合은 A-6群에 該當하므로 사질로움質의 경우 시멘트 含量 6%以上 로움質의 경우 시멘트含量 8%以下에

서는 上記한 損失基準值를 超過하므로 80kg/cm²以上의 成形壓力이 必要함을 알 수 있다. Fig. 10은 成形壓力에 따른 凍結融解損失率의 全體的인 傾向을 살펴보고져 同一한 成形壓力에 있어서 시멘트含量 處理別 凍結融解損失率의 平均値를 擇하여 成形壓力과 凍結融解 損失率의 關係를 圖示한 것이다.

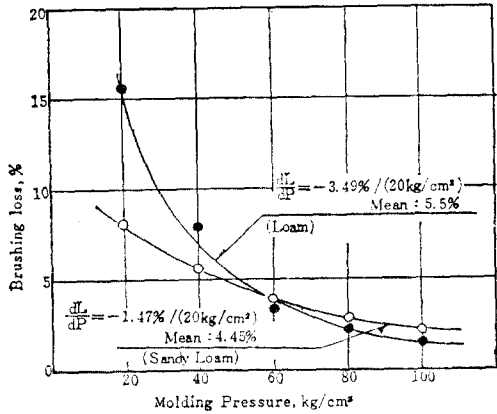


Fig. 10. Relationship of Molding Pressure to percentage Brushing loss following 12 freeze-shaw cycles

여기서 成形壓力을 20kg/cm²에서 100kg/cm²까지 增加 시킴에 따라 사질로움의 경우는 損失率이 7.96%에서 2.09%로, 로움질의 경우는 15.53%에서 1.58%로 各各 減少되었으며 成形壓力 20kg/cm² 增加에 對한 損失率의 平均減少는 사질로움과 로움質에서 各各 1.47%, 3.49%로서 成形壓力에 依한 損失率의 減少效率는 로움이 사질로움質에 比하여 顯著하였다.

持히 60kg/cm²以上の 成形壓力에서는 로움質이 사질로움보다 損失率이 낮아짐을 알 수 있다.

나. 시멘트含量이 凍結融解損失率에 미치는 影響 Fig. 11은 成形壓力에 따른 시멘트含量과 凍結融

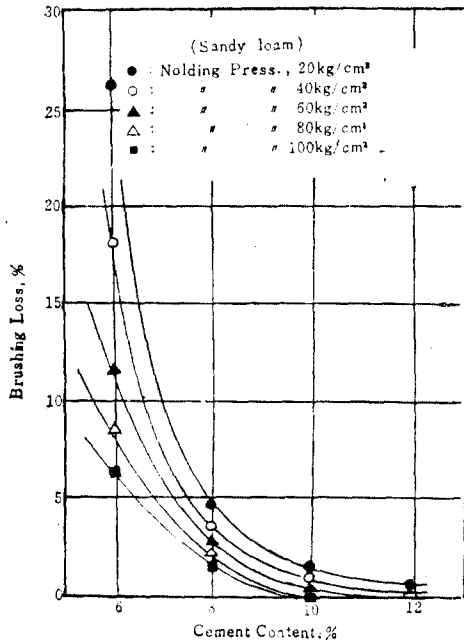
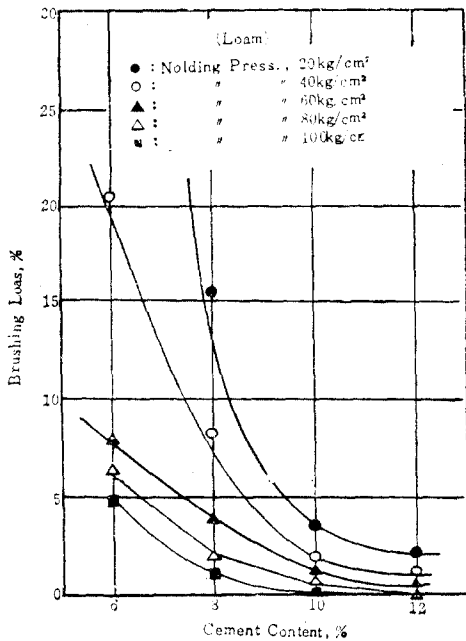


Fig. 11. Relationship of Soil-Cement Brushing Loss in proportion to Cement Content

解損失率과의 關係를 圖示한 것이다. 이를보면 시멘트含量의 增加에 따라 凍結融解損失率은 急激한 減少를 보이고 있음을 알 수 있다. 持히 로움質의 경우 시멘트含量 10%以上, 사질로움의 경우 시멘트含量 8%以上에서는 損失率이 各成形壓力에서 共히 5%以下로 떨어졌으며 시멘트含量 10%以上에서

는 80kg/cm² 以上の 成形壓力으로서 凍結融解에 依한 損失을 1%以下로 줄일 수 있음을 알 수 있다.

또한 시멘트含量에 따른 凍結融解損失率이 全體的인 傾向을 살펴보고져 同一한 시멘트含量에 있어서의 成形壓力 處理別 凍結融解損失率의 平均値를 擇하여 圖示한 結果는 Fig. 12와 같다.

그림에서와 같이 사질로움의 경우 6%의 시멘트소
량에서는 14.09%의 損失率을 보이나 시멘트소량을
10%以上으로 增加시키면 損失率은 1%以下로 減少

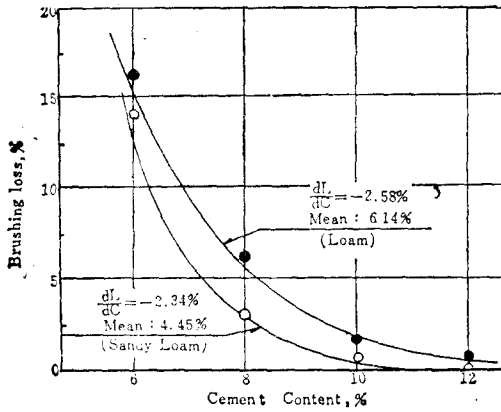


Fig. 12. Relationship of Cement to percentage Brushing loss following 12 freeze-thaw cycles

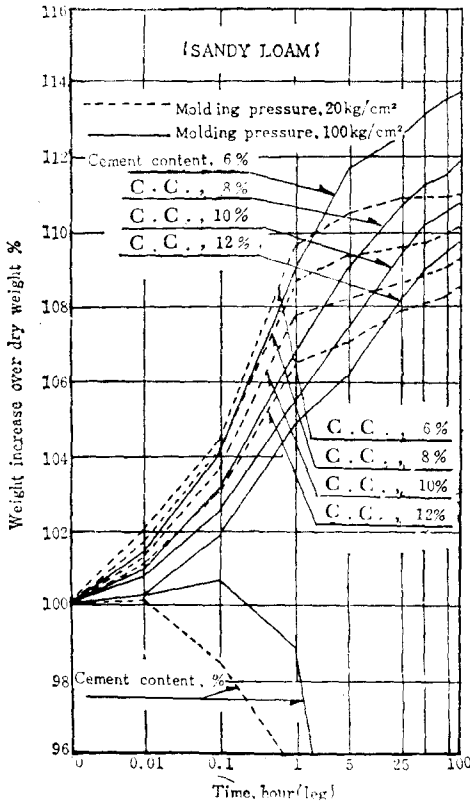


Fig. 13-a. Relationship between immersion time and water absorption increase over dry density during 2cm immersion in proportion to Cement-Content and Molding Pressure

되었다.

한편 로움질의 경우 시멘트소량 6%에서는 16.17%의 損失率을 보이나 시멘트소량을 10%以上으로 增加시키면 2% 以下로 損失率이 減少되었다. 특히 시멘트소량 1%增加분에 對한 凍結融解損失率의 平均減少는 로움과 사질로움에 있어서 各各 2.58%, 2.33%로서 사질로움이 로움質에 比해서 시멘트에 依한 抵抗性的의 增進効率が 약간 높다는 것을 알 수 있다.

4. 吸水率 試驗效果

Fig. 13은 水深 2cm의 plastic pane에 28일간 양생된 供試體를 세워두고 毛管吸水토록 하여 150시간 동안의 重量變化를 나타낸 것으로서 cement함량이 0%인 경우를 제외하고는 各 試料 共히 沈水後 5時間까지는 吸水가 빠르게 일어난후 점차 완만해짐을 알 수 있다. Cement함량이 0%인 경우 成形壓力의 크기에 상관없이 원래의 形상을 유지하지 못

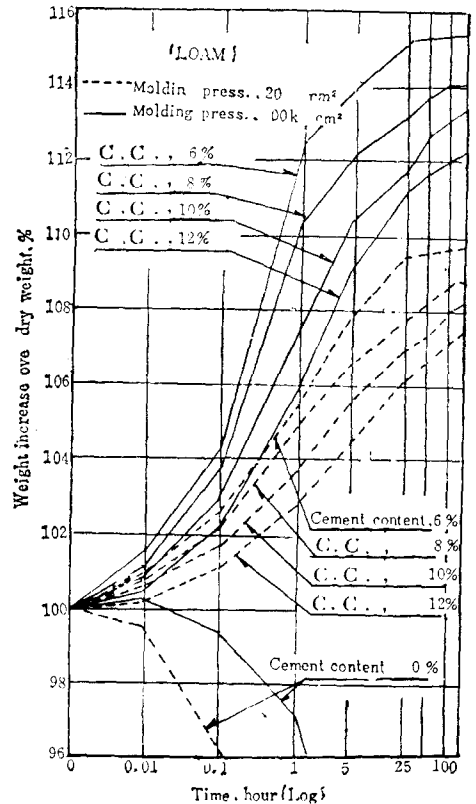


Fig. 13-b. Relationship between immersion time and water absorption increase over dry density during 2cm immersion in proportion to Cement Content and Molding pressure

하고 自體重量의 損失을 가져와 數分內에 沈水된 部分부터 吸水로 因한 體積膨脹으로 崩壞됨을 알 수 있었고 Sandy loam質이 loam質 보다는 약간 물에 對한 抵抗性面에서 有利하였다.

따라서 물에 對한 抵抗性面에서는 시멘트의 添加가 반드시 先行되어야 할 것이다.

가. 成形壓力이 吸水率에 미치는 影響

Fig. 14는 各 Cement含量別 成形壓力과 吸水率 間의 關係를 보여준다. 이를 보면 各 Cement含量

에서 共히 成形壓力이 增加함에 따라서 吸水率의 減少됨을 알 수 있었다.

특히 成形壓力에 對한 吸水率의 變化는 試料에 따라 相異하며, Loam이 Sandy loam에 比하여 그 減少率이 큰 것을 알 수 있었다.

soil-Cement의 吸水率에 對한 成形壓力의 影響을 分析코져 成形壓力別 試料에 따른 吸水率의 平均 值를 圖示한 結果는 Fig. 15와 같았다. Fig. 15와 같이 成形壓力이 增加하면 吸水率은 減少하였고 이

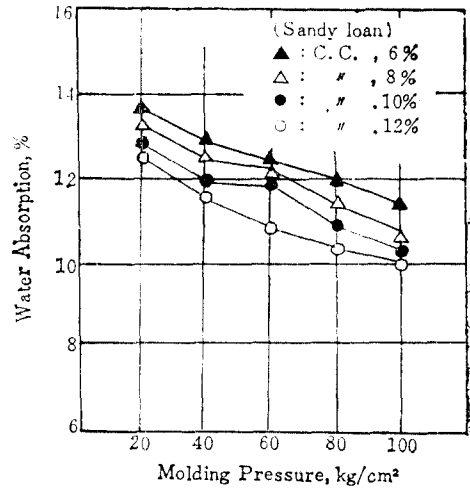
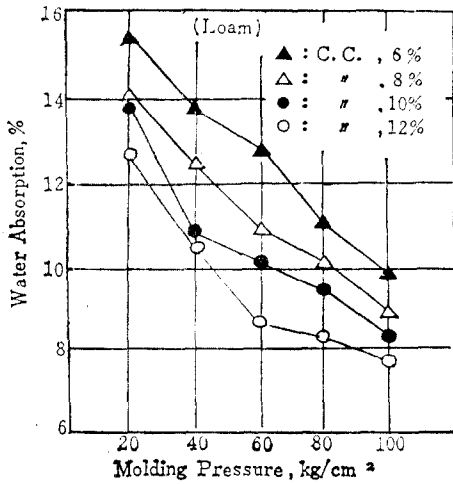


Fig. 14. Relationship of Water Absorption of Soil-Cement Mixture to Molding Pressure

들 사이의 關係는 다음과 같다.

Loam : $W_a = -0.0645 P + 14.76$

S-L : $W_a = -0.0345 P + 13.47$

단, W_a : 吸水率 (%)

P : 成形壓力 (kg/cm²)

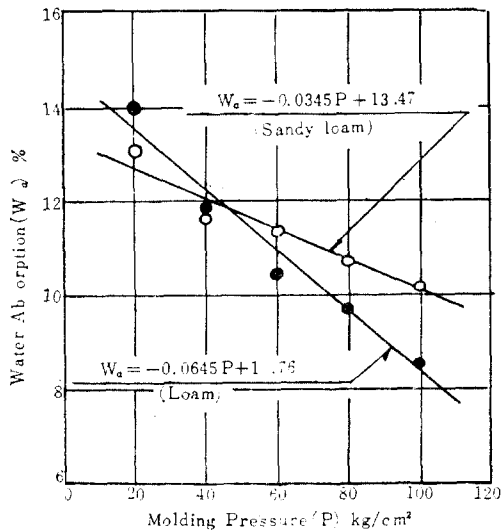


Fig. 15. Relationship of Water Absorption of Soil-Cement Mixture to Molding Pressure.

이와같이 Loam이 Sandy Loam에 比하여 吸水率의 減少가 큰 것은 成形壓力의 影響이 試料에 따라 相異하며 Loam이 더욱 큰 影響을 받음을 볼 수 있었다. 成形壓力 50kg/cm²以上에서는 Loam이 Sandy loam보다 吸水率이 낮은 것을 알 수 있다.

一般的으로 試料의 安定處理의 主된 目的은 물에 對한 抵抗性을 增進시키고져 하는 것으로 成形壓力을 가하면 Soil-Cement의 空隙率이 減少되므로 吸水率을 降減할 수 있다고 생각된다.

나. 시멘트 含量이 吸水率에 미치는 影響

Fig. 16은 各 成形壓力에 對하여 Cement 含量과 吸水率의 關係를 圖示한 것으로서 各 成形壓力에서 共히 Cement含量 增加에 따라 吸水率의 減少함을 살피 볼 수 있었다.

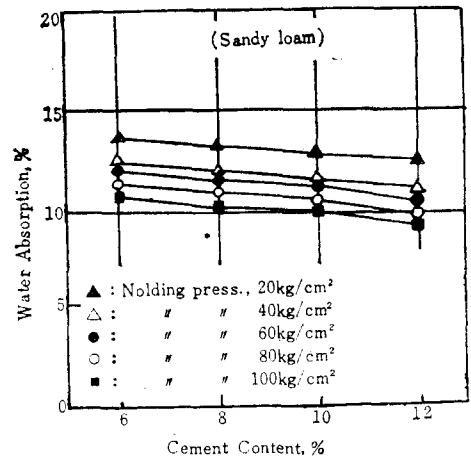
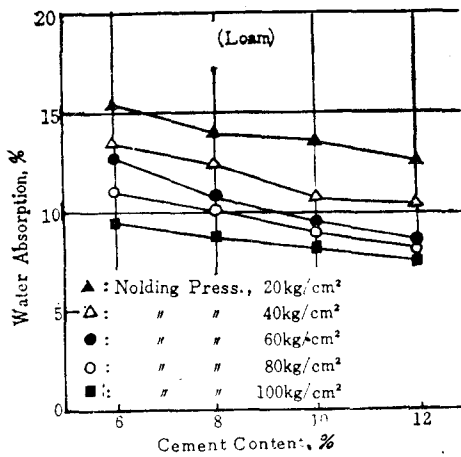


Fig. 16. Relationship of Water Absorption of Soil-Cement Mixture to Cement Content

또한 Fig. 17은 Fig. 16에 圖示한 Cement 含量과 吸水率間의 全體的인 傾向을 살펴보고져 同一한 Cement 含量에 있어서 成形壓力 處理別 吸水率의 平均値로서 代表하여 圖示한 것으로서 시멘트 含量(C)의 增加에 따라서 吸水率(W_a)는 直線的으로 減少하였다.

따라서 이들間의 關係를 回歸方程式으로 表示하면 Loam의 경우

$$W_a = -0.4985 C + 15.38$$

Sandy loam의 경우 $W_a = -0.2510 C + 13.64$ 로서 Loam이 Sandy Loam에 比하여 Cement의 作用에 의한 吸水率의 減少効率が 顯著하게 높다는 것을 알 수 있었다.

이상에서 考察한 바와같이 成形壓力와 시멘트 含量의 增加에 따라 吸水率의 減少가 惹起되는 것은 自然狀態의 흙을 加壓하므로써 密度가 增大되면서 相對的으로 空隙率이 낮아지므로 시멘트의 水和能力이 改善되어 흙 粘子間에 發達해 있는 毛細管을 차단시키는 結果라고 생각된다.

5. 壓縮強度와 吸水率 및 凍結融解損失率과의 關係

以上에서 Cement 含量과 成形壓力의 變化에 따른 壓縮強度와 凍結融解損失 및 吸水率의 變化 樣相을 살펴본 結果 上記한 세가지 因子間에는 相互 密接한 關係를 갖고 있을 것으로 推定되어, 吸收率과 壓縮強度 關係 및 凍結融解損失率과 壓縮強度를 알아 보고져 同一한 시멘트 含量과 成形壓力別로 圖示한 結果는 Fig. 18 및 Fig. 19와 같았다.

Fig. 18에서와 같이 吸水率(W_a)과 材齡 28日의 壓縮強度 (f_c)間에는 高度의 有意性을 보였으며 $f_c = -7.3206 W_a + 115.6$ 의 回歸方程式으로 表示할 수 있었다.

한편 凍結融解損失率(L)과 材齡 28日의 壓縮強度間에는 Fig. 19와 같이 曲線의인 回歸關係를 보여 주었다. 따라서 壓縮強度를 對數로 취할 경우 역시 高度의 有意性을 갖는 $\log P = -0.0174 L + 1.5892$ 의 曲線回歸方程式으로 表示할 수 있었다.

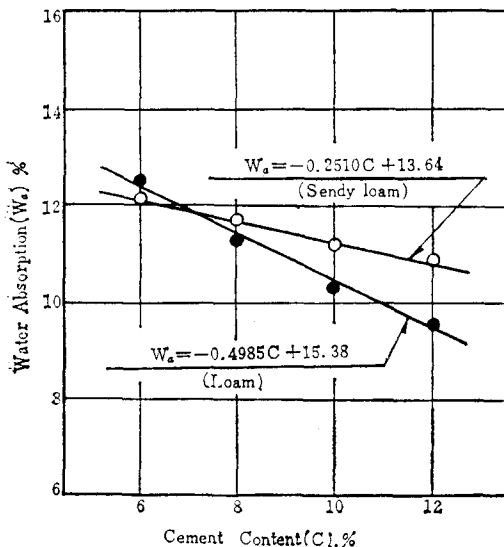


Fig. 17. Relationship of Water Absorption of Soil-Cement Mixture to Cement Content

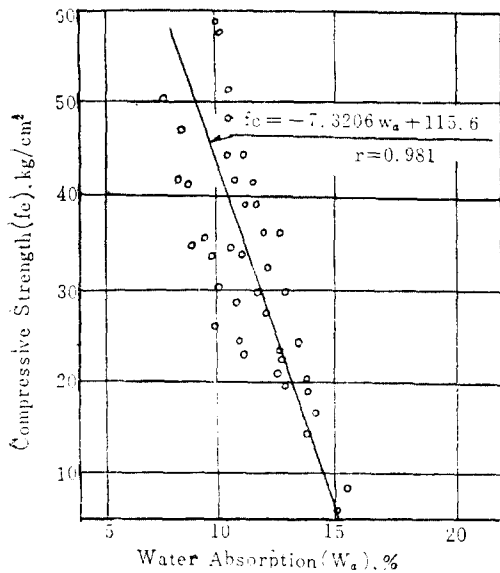


Fig. 18. Relationship between Water Absorption and Compressive Strength

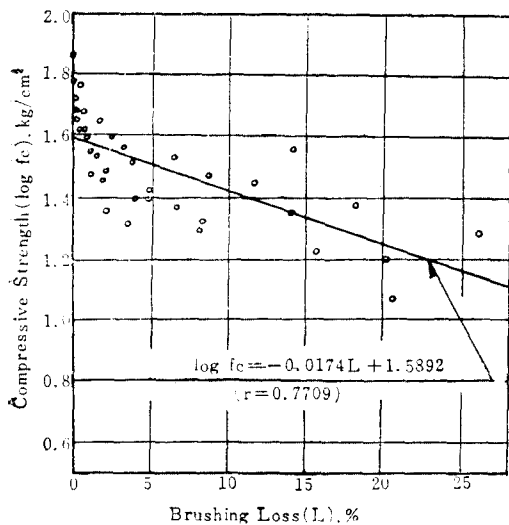


Fig. 19. Relationship between Freeze-Thaw Brushing Loss and Compressive Strength

V. 結 論

成形壓力이 Soil Cement의 強度 및 耐久性에 미

치는 影響을 究明하기 爲하여 두가지 흙에 對하여 시멘트含量과 成形壓力을 變化시키면서 室内에서 試驗한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 시멘트 含量의 增加에 따라 Loam質 흙의 경우 最適含水比는 약간 增加하였으나 最大乾燥密度는 뚜렷한 增減現象을 보이지 않았고, Sandy loam質에 있어서는 最大乾燥密度, 最適含水比 共히 一定한 傾向을 나타내지 않았다.

특히 Sand質 흙에 있어서는 顯著한 最大密度의 增加를 보였으나 最適含水比의 傾向에 對해서는 本試驗 處理區間 內에서는 알아 볼 수가 없었다.

2. 成形加壓된 Soil Cement에 있어서 시멘트含量이 6%以上에서는 시멘트量의 增加에 따라 거의 直線的인 強度 增加를 보였으나 시멘트含量 4%以下에서는 시멘트를 添加하지 않은 흙자체단의 強度보다 40~50%의 낮은 強度를 나타냈다.

3. 成形壓力을 增加시키에 따라 壓縮強度의 關係는 直線的인 變化를 보였으며 Loam, Sand質에서 各各 40, 60kg/cm²에서 最大乾燥密度로 成形된 경우의 強度에 達했으며 成形壓力이 100kg/cm²로 增加된 경우는 最大乾燥密度로 成形된 경우에 비해 Loam, Sandy loam質別로 各各 50%, 40%以上の 強度 增加를 나타냈다.

4. 成形壓力, 시멘트含量, 壓縮強度 間에는 高度의 正相關이 認定되었으며 흙 試料別로 다음과 같은 多重回歸方程式이 成立되었다.

$$\text{Loam} : f_c = 1.9693C + 0.197P - 0.48$$

$$\text{Sandy loam} : f_c = 2.9065C + 0.235P - 0.77$$

여기서 f_c : 28日 壓縮強度(kg/cm²)

C : Cement含量(%)

P : 成形壓力(kg/cm²)

5. 成形壓力에 依한 Soil-Cement의 28日 壓縮強度(q_{28})와 7日 壓縮強度(q_7)間에는 試料別로 같은 關係式이 成立되었다.

$$\text{Loam} : q_{28} = 1.1050q_7 + 7.57 (r = 0.9147)$$

$$\text{Sandy loam} : q_{28} = 1.3905q_7 + 3.17 (r = 0.9801)$$

6. 시멘트含量 10%以下에서는 成形壓力의 수준에 關係없이 동결 溶해 손실이 顯著하며 成形壓力의 增加에 따라 損失率이 急速히 減少하는 傾向을 나타내었다.

7. 成形壓力만으로서의 흙의 親水力에 對한 改善이 뚜렷하지 않았으나, 시멘트含量 6%以上에서는 成形壓力 20kg/cm²수준에서도 물에 對한 저항성이 顯著하게 改善되었고 시멘트含量 8%以上, 成形壓力 40kg/cm²以上에서는 Loam質이 Sandy loam質

以下로 吸水率에 낮은 傾向을 보였다.

8. 壓縮強度와 凍結融解損失(L) 및 吸水率(W_a)
間의 高度의 有意性을 가진 負 相關이 成立되었
으며 이들間의 回歸方程式은 다음과 같다.

$$f_c = -7.3206 W_a + 115.6 \quad (r=0.9871)^{**}$$

$$\log f_c = -0.0174L + 1.59 \quad (r=0.7709)^{**}$$

參 考 文 獻

1. American Society for Testing Materials, (1970), Standard Method of Freeze-Thaw Test and Wet-Dry Test in the Laboratory, D-560.
2. Baker, C.N. (1954), Strength of Soil-Cement as a Function of Degree of Mixing, H.R.R. Bull. 98.
3. Bhandari, R.K.M. (1973), An Investigation into the Drying Shrinkage of Cement Treated Mixtures. Indian Geotech J. Vol.3, No. 1, pp. 26-37.
4. _____, (1975), Factors Influencing the Drying Shrinkage of Cement Stabilized Mixtures, Austr. Rd. Re. Vol. 5, No. 7, pp. 9-23.
5. Catton, M.D., (1940), Research on the Physical Relationship of Soil and Soil-Cement Mixtures, Proc. H.R.B., pp. 821-855.
6. _____, (1959), Farly Soil-Cement Research and Development, J. of the High-way Div., ASCE 1899, pp.1-15.
7. Chadda, L.R. (1970), Phenomenon of Aggregation in the Stabilization of Soils with Cement, Indian Conc. J. Vol. 44, No. 5.
8. Chin Fung Kee and Lee Kim Tak, (1971), Some Effect of Sugar as a Retarder in Soil-Cement Stabilization, Pre. 4th. Asian Reg. Conf SM & FE, Eng. Bangkok, pp. 361-365.
9. Ching, Y.C., and Y.S. Chase, (1972), Dynamic Properties of Cement Treated Soils, H.R. R. 379, pp. 39-51.
10. Circeo, L.T., D.T. Davidson, and H.T. David (1963), Abbreviated Freeze-Thaw Test Procedure for Soil-Cement Mix., Iowa State Univ. of Science and Tech., pp. 1-8.
11. Clark, B.E., (1961), Symposium on Grouting, ASCE, J. of SM FE, Civ., pp. 33-42.
12. Glare, A.E. and A.E. Pollard, (1954), The Effect of Curing Tem. on the Comp. Strength of Soil-Cement Mixtures, Geotech. 4, pp. 97-103.
13. Dutron, M.M. and P.R. Cloes, (1961), The influence of Moisture Content and Compaction on the Strength of Soil-Cement, Proc. of the 5th Int. conf. on SM FE 2. pp. 227-234.
14. Filsofov, A.V., (1931), Effect of Portland cement of Properties of Clays, J. Appl. Che., 4, pp. 773-776.
15. Fisher, H.O. and F.H. Newman, (1965), Houston Airport-a Study in Engineer Contractor Harmony, Civil Eng., ASCE, Sep., pp. 32-35.
16. George, K.P. (1968), Shrinkage Characteristics of Soil-Cement Mixtures, H.R.R. 255, pp. 42-58.
17. _____, (1969), Cracking in Cement treated Bases and Means for Minimizing it, H.R.R. 255, pp. 59-71.
18. Herzog, A. and J.K. Mitchell, (1963), Reaction Accompanying Stabilization of Clay with Cement, H.R.R. 36, pp. 146-150.
19. H.R.B., (1943), Use of Soil-Cement Mixtures for Base courses, Wartime Road Problems.
20. Ingles, O.G., (1969), Soil Stabilization in the Building Industry, CSIRO Soil-Mech. Sect., Tech. Memo. (9). p.19.
21. Jack, E.L., (1965), A Study of Cement Clay Interaction, univ. of Calif. Berkery, Eng. Civil 12, pp. 272-273.
22. Mehra, S.R., (1953), Soil Stabilization in Tropical Areas for Mass Construction of cheap permanent Housing, Proc. 3rd Int. conf. 1, pp 272-278.
23. Minkov, M. and D. Evstatiev, (1970), Lining of Balance Reservoirs with Soil-Cement, Proc. 1 Int. Congr. Int. Assoc. eng. Geol. Paris 1, pp. 636-642.
24. Moh, Z.C., Y.P. Chin and S.C. Ng. (1967), Cement Stabilization of Lateric Soils, Proc. 3rd Asian Reg. conf. on SM EF, Bangkok, July 1, pp. 385-390.
25. Neubauer, L.W., (1964), Adobe Brick Construction, Agri. Eng. Year book, ASCE. st. Joseph, Mich.
26. Norling, L.T., (1963), Standard Laboratory

成形壓力이 Soil-Cement의 強度 및 耐久性에 미치는 影響에 關한 研究

- Test for Soil Cement Development, Purpose and History of Use, H.R.R. 36, pp. 1-5.
27. Pendola, H.J., T.W. Kennedy, and W.R. Hudson, (1969), Evaluation of Factors Affecting the Tensile Properties of Cement Treated Materials, Texas Univ. Austin Texas
28. Rallin, R. (1971), The Effect of Pretreatment Moisture Content on the Properties of Cement, and Lime Stabilized Clay Soils, Austr. Rd. Res. Vol. No. 4 pp. 10-31.
29. Tyagi, K.S., (1973), Soil-Cement Interaction Indian Geotech. J. Vol. No. 4, pp. 4-9.
30. Uppal, H.L., (1967), Research on Soils and Inferior Aggregation Towards Economizing Cost of const. Projects in India, Proc. S.E. Asian Reg. Conf. Soil Eng., Bangkok, pp. 461-470.
31. Wissa, A.E.Z., C.C. Ladd, and T.W. Lamb, (1965), Effective Stress Strength Parameter of Stabilized Soils, Proc. 6th Int. Conf SM& FE. 1, pp. 412-416.
32. Zwol, B. and F.A. Souis, (1969), Soil Cement Dumping Stone in closing Tidal Inlets, Proc. 7 Int. conf. SM FE, Mexico city, pp.397-403.
33. 高松昌, (1974), Pozzolan 反應, 土と基礎22-1, (191), 4
34. 三木五三郎, 山内豊聰, (1961), 土質安定の理論と實際, オム社
35. 内田一郎, 松本鍊三, (1956), セメント及び石灰による土質の改良, 土と基礎 Vol. 4, No. 4-9
36. 全夢角, (1970), Soil-Cement工法에 關한 研究 (1)(2), 연구보고서 제 1집, 建設部 國立建設研究所,
37. 曹鎮久, (1974), Soil-Cement의 物理的 性質에 關한 研究, 韓國農工學會誌, Vol. 16, No. 3, pp. 69-74.
38. 鄭寅峻, (1967), Soil-Cement에 關한 調査研究, 科學技術處 E67~G13 R-17, pp. 1-21.
39. 姜父默, (1971), 흙의 粒度 分布가 다짐 效果와 壓縮強度 및 透水係數에 주는 影響에 關한 研究, 忠南大 大學院
40. 金文基, (1965), 흙-시멘트의 混合物에 關한 基本的인 性質, 서울大學校 大學院 農工學科
41. 金桓吉, (1970), 흙의 Cement處理와 道路鋪裝工事에의 適用.
42. 金在英, 姜父默, (1975), 시멘트含量 및 다짐 含水比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. 1.
43. 金周範, 朴完淳, 柳基松, 金成教, (1975), 低塑性 Silt質 흙의 흙-시멘트에 關한 研究, 韓國農工學會誌, Vol. 17, No. 2, pp. 64-69.
44. 金在英, (1976), 자연재르서 前분이 Cement混合土에 미치는 影響, 忠南大學校 大學院 農工學科.
45. _____, (1967), 含水比, 養生溫度 및 흙의 粒度가 Soil-Cement의 壓縮強度에 미치는 影響에 關한 研究, 韓國農工學會誌 Vol. 19, No. 4.
46. 李石贊, (1972), 흙의 다짐에 關한 研究, 韓國農工學會誌 Vol. 14, No. 2, pp. 69-75.
47. K.S.F. 2327-2331, (1970), 흙 Cement의 室內試驗方法
48. 흙의 安定 處理法, (1969), 國立建設研究所, 技術指導所 24.
49. 崔洙明, (1975), 다짐回數가 흙-시멘트의 壓縮強度 및 透水係數에 미치는 影響에 關한 研究 서울大學校 大學院