大韓土木學會論文集
第11卷 第3號 · 1991年 9月
pp. 75~84

土木纖維로 補強된 軟弱地盤의 壓密 및 Creep 擧動에 관한 硏究

A Study on the Consolidation and Creep Behaviors of Soft Foundations Reinforced by Geotextiles

鄭亨植* · 安相魯**
Chung Hyung Sik · Ahn Sang Ro

Abstract

When we construct the earth structures such as embankments, on soft ground which are consisted of thick marine silty clay, the foundations deform due to consolidation and creep.

For the stabilization of the earth structures constructed on soft foundations, we usually uses the mattress and they play an important role in increasing an ultimate bearing capacity by the dispersion of load of embankment. The purpose of this paper was to predict rationally a long term deformation of earth structures and to contribute to embankment design and maintenance.

We determined a rheological model of marine clay from experimental data, and developed a computer program using the chosen model and found out the long term behavior of embankment.

The results of this paper are as follows:

1. The developed program can analyze simultaneously consolidation and creep.
2. From the results of creep test, the rheological model of marine silty clay can be represented by the Vyalov model.
3. The displacement of embankment on reinforced foundation were smaller than those of the unreinforced foundation in showing the effects of geotextiles on foundation deformations.

要 旨

防潮堤와 같은 土工構造物을 연약 지반위에 建設할 때에 두꺼운 堆積層의 海成 실트질 粘土로 이루어진 基礎地盤은 壓密과 Creep으로 變形이 발생한다.

軟弱地盤 위에 築造된 土工構造物의 安定化를 위하여 보통 매트리스를 사용하게 되며 이는 堤體의 荷重을 分散시킴으로 인하여 極限地支力을 增加시키는 중요한 役割을 하게 된다. 본 硏究에서는 土工構造物의 장기적인 變形을 合理的으로 豫測하여 防潮堤 設計 및 事後管理에 寄與하고자 한다.

따라서 實驗에 의하여 海成粘土의 流變學的 모델을 決定하고 選定된 모델에 맞는 기존 프로그램인 압밀과 Creep이 각각 해석 가능한 S/W를 두 가지가 동시에 해석가능한 S/W로 수정하여 長期 應力-變形擧動을 究明하였다.

硏究結果 內容을 要約하면 다음과 같다.

*정회원 · 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수
**정회원 · 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

1. 開發한 프로그램은 壓密과 Creep을 동시에 解析할 수 있다.

2. Creep 시험 結果, Rheology 모델은 Vyalov 모델로 나타났다.

3. 軟弱地盤이 補強된 경우는 非補強일 경우 보다 壓密 및 Creep 變位가 작게 나타나 토목 섬유의 效果가 어느 정도 있음을 알 수 있었다.

1. 序 論

海岸을 埋立하거나 防潮堤와 같은 土工構造物을 建設할 때에는 建設目的 및 地形上 軟弱地盤 위에 築造되는 경우가 많으며 보통 海岸地帶에 形成되어 있는 두꺼운 堆積層인 海成 실트질 粘土로 이루어져 있다. 이러한 軟弱地盤 위에 土工構造物을 築造할 경우 基礎地盤은 壓密이 2차원적으로 進行되며 많은 變形이 Creep의 影響을 받는다 하겠다[1,2,4].

軟弱地盤의 補強 및 土工構造物의 安定化를 目的으로 使用되는 材料에는 여러 가지가 있겠으나 海岸軟弱地盤에서 埋立工事 및 防潮堤 등의 施工時 使用되는 補強材는 매트리스를 주로 부설하여 使用하고 있다. 매트리스를 使用하는 地盤 補強材는 비교적 經濟的 施工이 可能하고 그 效果도 좋아 最近에 廣範圍하게 使用되고 있다. 堤體의 安定을 改善하는 데에 使用되고 있는 이와 같은 매트리스는 主로 堤體의 荷重을 分散시킴으로 인하여 地盤의 剪斷破壞 樣相을 局部 剪斷破壞에서 全般 剪斷破壞로 移動시키고 極限 地支力을 增加시키는 役割을 한다[3,5,9].

본 硏究에서는 軟弱地盤 위에 堤體 築造時, 長期的인 堤體의 擧動을 分析할 수 있는 技法을 開發하여 地盤의 擧動 狀態를 糾明하며 施工與件에 부합되는 현실성이 있는 防潮堤 設計 및 事後管理에 寄與하고자 한다.

따라서 實驗에 의하여 海成 粘土의 流變學的 모델을 決定하고 선정된 모델에 맞는 기존 S/W를 해안 연약지반의 거동해석에 적합한 S/W로 수정함으로써 應力-變形 거동을 究明하고자 하였다.

2. 流變學的 모델 硏究

持續荷重 아래에서의 粘土地盤은 時間依存變形을 일으키고 경우에 따라서는 破壞에 이르기도 하는데 그 주된 原因은 Creep 擧動으로 알려져 있다.

한편, 응력-변형-시간관계로서의 Creep 擧動을 數學的으로 表現하기 위하여 여러 형태의 流變學的 모델이 提案되어 있고 이들은 Hook의 법칙, Newton 법칙, Saint-Venant 법칙에 의한 彈性, 粘性, 塑性 要素의 조합으로 나타내고 있으며, 그 중 hohenemser-Prager 모델과 Bingham 모델을 그림으로 나타내면 다음과 같다.

또한, Vyalov Model은 다음과 같다.

이 모델은 1959년에 Vyalov에 의하여 제안되었으며 Hohenemer-Prager 모델에 Bingham 모델을 連結한 것으로 다음과 같은 식으로 나타내어 진다[2,4].

$$\varepsilon = \varepsilon^{HP} + \varepsilon^{B} \tag{1}$$

여기서 ε^{HP} : Hohenemer-Prager 모델에 의한 변형

ε^{B} : Bingham 모델에 의한 변형

일정한 전단응력(τ=const.)이 작용할 때 ε^{HP}값과 ε^{B}는 그 값에 따라 다음과 같이 된다.

$\tau < \tau_y$일 때

$$\varepsilon = \frac{\tau}{G_\infty} - \tau\left[\frac{1}{G_\infty} - \frac{1}{G_0}\right]e^{-t/T_p} \tag{2}$$

즉, $\tau < \tau_y$일 때는 Hohenemer-Prager 모델로서 擧動한다.

$\tau \geq \tau_y$일 때

$$\varepsilon = \frac{\tau}{G_\infty} - \tau\left[\frac{1}{G_\infty} - \frac{1}{G_0}\right]e^{-t/T_p} + \frac{\tau - \tau_y}{\eta_p}\,t \tag{3}$$

여기서 G_0 : 初期剪斷係數

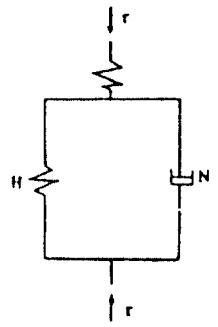
G^∞ : 最終剪斷係數

η_p : 粘性係數

T_p : 殘在效果(破壞變形의 時間)

τ_y : 塑性(Sv) 要素의 極限 剪斷強度

즉, $\tau \geq \tau_y$일 때에는 Hohenemer-Prager 모델과 Bingham 모델 모두가 擧動한다.



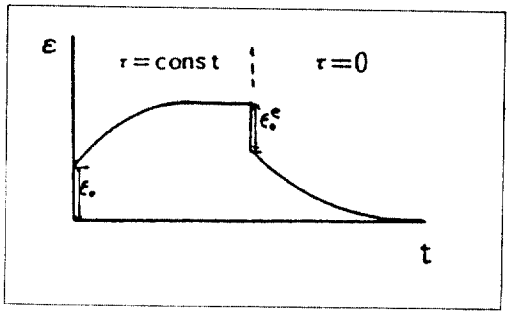
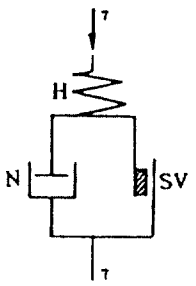


그림 1. Hohenemser-Prager Model.



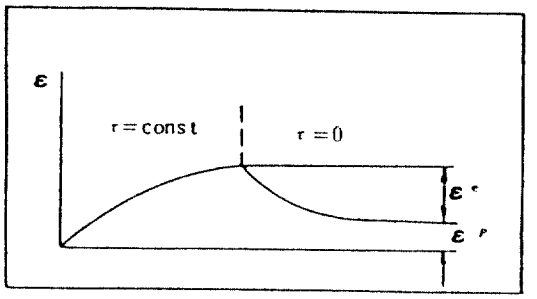


그림 2. Bingham Model.

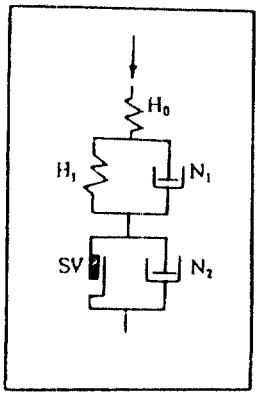


그림 3. Vyalov Model.

3. Creep 實驗

選定된 流變學的 모델에 適用할 土質 定數를 구하기 위한 Creep 實驗을 실시하였다. 試料는 全南 海南郡 黃山面에 위치한 海南防潮堤의 基礎地盤에서 採取한 것으로 이 토질은 海性 堆積土로서 含水가 많고 壓縮性이 큰 세립 실트질 粘土層이나 이 防潮堤 하부에는 海性 堆積土가 15~20 m 深度로 分布되어 있다.

3.1 實驗 裝置

본 硏究에서는 MARUI사 製品인 三軸壓縮試驗機를 使用하여 Creep 試驗을 實施하였으며 試驗機는 電動載荷裝置가 0.00087~0.6 mm/min의 變速範圍에서 軸荷重, 變形量, 體積變化 등이 自動으로 記錄되는 記錄裝置가 附着되어 있으며 一定荷重을 載荷할 수도 있다.

3.2 實驗 方法

供試體는 直徑 5 cm, 높이 12.5 cm로 不攪亂 試料를 다듬어 成形하였으며 直徑 5 cm, 두께 0.1 cm인 얇은 고무막을 이용하여 非排水 상태에서 短期剪斷強度試驗을 實施하였다. 또한 Back Pressure를 가하여 試料成形時 생긴 空隙을 除去하였다.

壓縮試驗은 變形制御方式으로 0.2%/min으로 하였고 구속응력은 0.5 kg/cm^{2}으로 하였으며 Creep 시험시 適用應力 比率은 破壞反應의 50, 75%로 하였다[5,6].

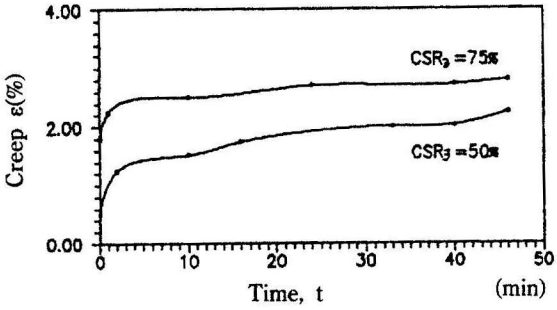


그림 4. The Relation of ε-t.
(a) Viscoelastic Model
(b) Viscoelastic-plastic Model

3.3 實驗結果의 分析

Creep 實驗 結果 適用應力比率이 破壞應力의 50, 75%일 때의 變形率과 時間과의 關係는 다음 그림 4와 같이 나타났다.

또한 流變學的 모델을 決定하기 위한 實驗에서 CSR_3=50%일 때 Loading-Unloading 실험결과 變形率과 時間과의 關係는 그림 5와 같다.
所定의 荷重을 3분간 載荷(1차 Creep 구간)한 다음 荷重을 除荷시켰으며 그 이후 3분 후의 變形은 그림 5(a)와 같이 나타났다.

그림에서 彈性變形은 除荷 즉시 回復되었으며 粘性變形은 일정한 시간의 흐름에 따라 漸次的으로 回復되어 除荷 후 3분 정도에는 거의 殘留變形이 없었다.

또한 그림 5(b)는 30분 載荷 후 (2차 Creep) 除荷시킨 경우의 變形率과 時間과의 關係를 나타낸 것으로 除荷 후에도 變形率이 일부 남아 塑性變形 成分이 存在함을 알 수 있었다.

한편 그림 5(a)는 그림 1과 같은 傾向을 나타내고, 그림 5(b)는 그림 2와 같은 傾向을 나타내고 있으므로 그림 5(a)는 Hohenemser-Prager Model로 볼 수 있고 그림 5(b)는 Bingham Model로 볼 수 있어 본 實驗結果에 의하면 Rheology Model은 그림 3과 같은 Vyalov Model로 나타낼 수 있음을 알 수 있었다.

4. 解釋用 Program

본 硏究에서 開發한 Program는 1984년 영국의

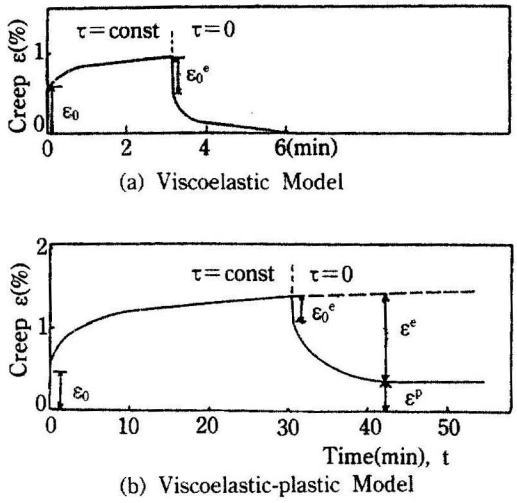


그림 5. Loading and Unloading.

Cambrige대학교에서 開發된 壓密 解析을 위한 有限要素 Program인 CRISP Package와 1980년 영국의 Swansea대학교의 Owen과 Hinton에 의하여 開發된 Creep 해석을 위한 彈-粘塑性 有限要素 프로그램을 하나의 Package로 結合하였으며 그 結果 壓密과 Creep이 각각 계산되어 全體 變形을 나타낼 수 있도록 하였다[7,9,11].

본 프로그램에서 사용한 有限要素의 형상은 사각형이며 이들 각각에 대하여 壓密 및 Creep 과정을 계산할 수 있는 要素가 追加되어 있고 2차원 平面應力, 平面變形, 軸對稱 문제에 대하여 壓密 및 Creep 解析을 할 수 있다. 土質 모델로는 壓密 解析過程에서 Cam-Clay Model, Elastic Model을 사용하고 Creep 해석과정에는 Elasto-Vicscoplastic과 Elasto-Viscoelastic Model을 사용하였다. 境界條件에서는 變形 및 荷重을 부과할 수 있어 편리하게 되어 있으며 특히 堤體의 築造 과정을 Simulation할 수 있어 흙댐이나 防潮堤 등의 擧動解析에 매우 有用한 Program으로 利用될 수 있을 것이다.

5. 數値解析

5.1 解析斷面의 有限要素 Mesh

본 硏究에서의 解析斷面은 軟弱地盤 위에 築造된 堤體와 基礎地盤의 變形과 沈下現像을 알기 위한 것이며 海南防潮堤에서 가장 沈下가 크다고 豫想되

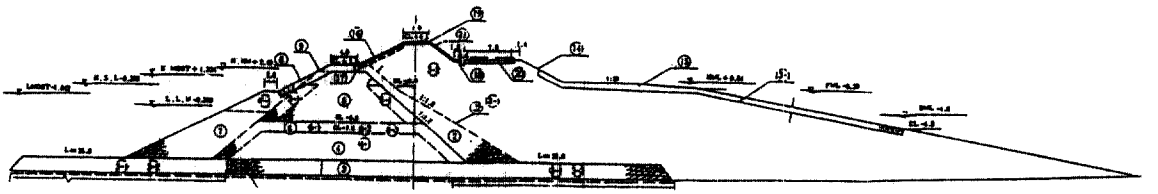


그림 6. The Cross Section of Embankment.

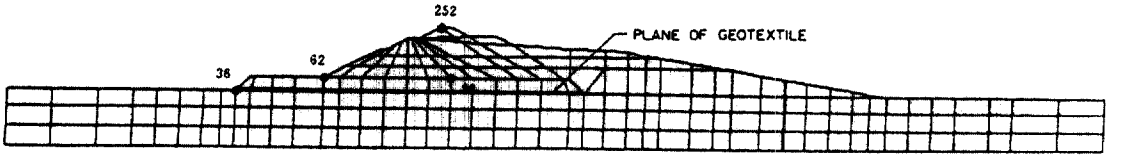


그림 7. F.E.M. Mesh of Embankment.

는 부분의 堤體의 橫斷面圖를 基本으로 하고 있으며 軟弱地盤의 두께 역시 가장 깊은 20 m 까지 고려하였다.

또한 주변 地盤의 沈下, 隆起, 變形關係를 糾明하기 위하여 變形이 크게 豫想되는 海岸쪽은 중심부에서 Toe까지 거리의 3배까지 解析하므로써 有限要素 解析時 境界條件에 의한 影響을 最小化하도록 하였다.

有限要素解析을 위한 Mesh는 사각형으로 하였으며 補強材까지 考慮하여 Element 수는 234이고 Nodal Point 수는 289개로 하였다.

아래 그림 6, 7은 解析에 使用된 防潮堤의 標準斷面圖와 有限要素 Mesh이며 그림 7에서 진하게 나타낸 선은 매트리스가 부설된 위치를 나타내고 있다.

5.2 解析方法

有限要素 Mesh는 堤體를 施工順序에 따라 3단계로 分離 解析하였으며 1단계와 2단계의 築造期間은 각각 3개월, 3단계의 축조期間은 6개월로 하였고 1년 후에는 堤體가 완전히 築造되는 것으로 하였다. 한편, 施工 중에 發生하는 變形을 모두 解析할 수 있도록 각 段階別로 Computer Simulation을 實施하였으며 築造 完工 후에도 3년, 5년, 10년 경과시 堤體 및 地盤의 壓密과 Creep 擧動을 究明할 수 있도록 하였다. 또한 MAT 부설시 堤體 및 地盤의 擧動도 위와 같은 절차에 의하여 解析하였다[8,9].

5.3 入力資料의 決定 方法

본 硏究에서 必要한 主要 入力資料는 Creep 시험결과를 이용하여 구할 수 있으며 결정과정을 관계식과 그림으로 요약, 정리하면 아래와 같다.

2차원 Creep법칙 중 본 연구에서 적용한 점탄성 영역에서의 관계식은 다음과 같다[10].

$$\dot{\varepsilon}^{ve}_{ij}=(\sqrt{3/2})\,\dot{\varepsilon}_{ss}\left[1+B\varepsilon_a\exp(\xi t)\right]\sigma'_{ij}/\sqrt{J_2}) \qquad (4)$$

여기서 $\xi=B\dot{\varepsilon}_{ss}$*

$\sigma_{ij}'=\sigma_{ij}-\delta_{ij}(\sigma_{11}+\sigma_{22}+\sigma_{33})/3$

$\dot{\varepsilon}_{ss}=A(3J_2)^{n/2}$

또한 $\dot{\varepsilon}_{ss}=A(3J_2)^{n/2}$은 Creep의 應力依存性을 일반적으로 나타낸 식이다.

여기서 $\dot{\varepsilon}_{ss}$: Steady－State Creep Rate

$J_2=\sigma_1\sigma_2+\sigma_2\sigma_3+\sigma_3\sigma_1$

A : 재료상수

n : 응력 지수인 상수

5.3.1 Fitting Parameter(A, B)와 상수(n)의 결정

식 $\dot{\varepsilon}_{ss}=A(3J_2)^{n/2}$에 log를 취하여 정리하면 식 (5)와 같이 되고 응력과 Creep의 관계도는 그림 8과 같다.

$$\log\,\dot{\varepsilon}_{ss}=n/2\;\log(3J_2)+\log A \qquad (5)$$

그림에서 절편은 A를 나타내며 기울기에서 n을 결정할 수 있다. 식 (4)에서 Creep 시간이 0인 경우의 관계식을 나타내면 다음과 같다.

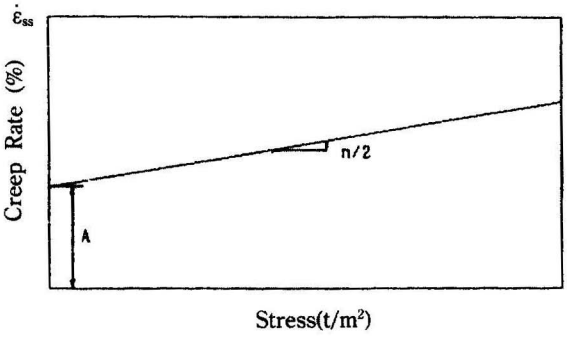


그림 8. The Relation of Creep Rate and Stress (log-log Scale).

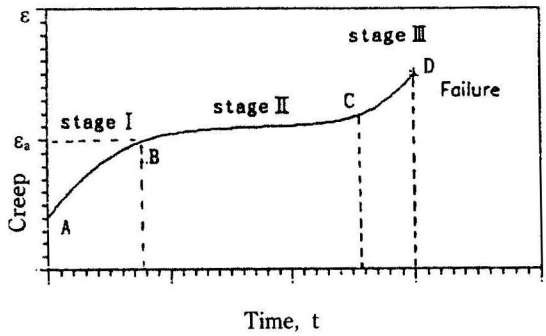


그림 9. The Relation of ε-t.

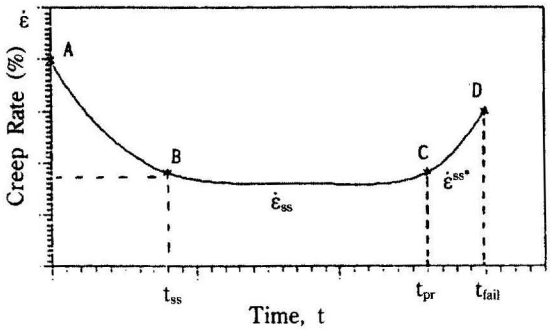


그림 10. The Relation of $\dot{\varepsilon}$-t.

$$\dot{\varepsilon}^{ve}_{ij}=(\sqrt{3/2})\ \dot{\varepsilon}_{ss}+(\sqrt{3/2})B\varepsilon_a\ \dot{\varepsilon}_{ss}\sigma'_{ij}/\sqrt{J_2}) \qquad (6)$$

Creep 시험에서 구한 $\dot{\varepsilon}^{ve}_{ij}$, σ_{ij}', J_2의 값과 다음 항에서 구한 $\dot{\varepsilon}_{ss}$, ε_a값을 대입하여 B값을 결정한다.

5.3.2 Asymptotic Transient Strain(ε_a)의 결정

그림 9의 변곡점 B에서 ε값을 취한 것으로 소성영역의 경계부분임을 나타낸다.

5.3.3 Critical Creep Rate($\dot{\varepsilon}_{ss}^*$)의 결정

본 연구에서는 실험적 制約條件을 감안하여 $\dot{\varepsilon}_{ss}=\dot{\varepsilon}_{ss}^*$로 간주하고 $\dot{\varepsilon}_{ss}$값을 구하여 사용하는 것으로 하였다.

5.4 入力資料

Program에서 使用되고 있는 入力 파라메타는 국내의 Dam 및 防潮堤에서 使用되어 온 資料와 實驗에서 구한 값을 基礎로 하였으며 入力資料는 다음 표 1과 같다. 여기서 Type 1은 基礎地盤, Type 2는 Mat, Type 3과 Type 4는 堤體에 관한 入力 資料를 나타낸다.

5.5 數値解析 結果 分析 및 考察

堤體의 擧動을 解析하기 위하여 여러 가지 경우에 대한 Computer Simulation을 實施하였다.

그림 11은 頂点에서의 (Node 252) 垂直變位를 堤體築造 完工 후 1년, 3년, 5년 및 10년 경과시 Creep과 壓密에 의한 擧動을 解析한 結果이다.

그림에서 처럼 Creep에 의한 變位는 壓密에 의한 變位보다 큰 값을 나타내고 있으며 壓密과 Creep을 더한 값은 壓密만에 의한 變位보다 약 2배가 넘는 큰 값을 나타내고 있다.

그림 12는 堤體 築造 중 中央點(Node 98)에서의 鉛直變位를 나타내고 있다. 그림에서 나타나듯이

표 1. Input Parameter

Type / 변수	Type 1 (기초지반)	Type 2 (mat)	Type 3 (제체 1)	Type 4 (제체 2)
$E_o(t/m^2)$	8,000	250,000	12,000	1,000
ν^o	0.4	0.15	0.23	0.25
$G(t/m^2)$	2857.14	10,000	4878.05	4,000
$\gamma_w(t/m^3)$	1.03	1.03	1.03	1.03
ρ	0.17	0.07	0.21	0.2
K(m/sec)	1×10^{-9}	1×10^{-5}	1.5×10^{-8}	1.48×10^{-8}
$C^o(t/m^2)$	1.6×10^{-4}	7×10^{5}	26×10^{-5}	29×10^{-5}
Φ(°)	17	0	31	23
$A(t/m^2)$	0.1×10^{-2}	0	0	0
B(sec)	110	0	0	0
n	2.5	0	0	0
$\dot{\varepsilon}_{ss}(sec^{-1})$	0.1×10^{-2}	0	0	0
ε_a	1.3×10^{-2}	0	0	0

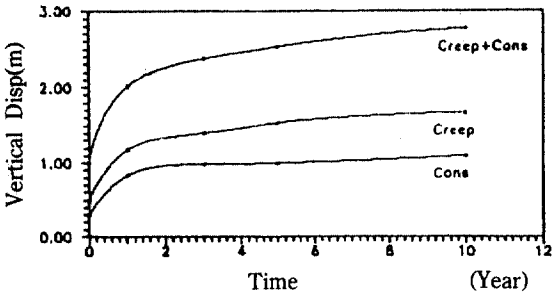


그림 11. Vertical Displacement at the Vertex of Embankment.

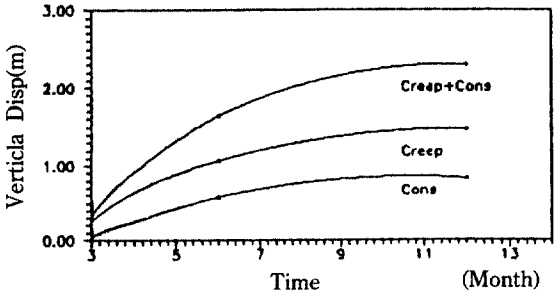


그림 12. Vertical Displacement at the Center Point of Embankment.

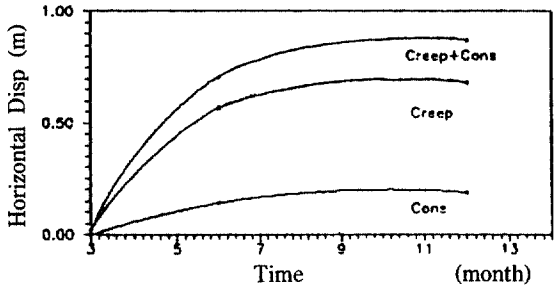


그림 13. Horizontal Displacement at the Slope Toe of Embankment.

Creep에 의한 變位는 壓密에 의한 變位보다 큰 값을 보이고 있으며 y축 절편값으로 보아 堤體築造 開始 후 3개월 경과시 Creep에 의한 沈下量은 큰 값을 나타내고 있으나 壓密에 의한 沈下量은 Creep量에 비하여 매우 작은 값을 나타내었다. 이는 3개월 동안 堤體의 築造과정 중 荷重增加로 인하여 壓密量은 적으나 相對的으로 Creep 沈下量은 크게 나타났음을 알 수 있었다.

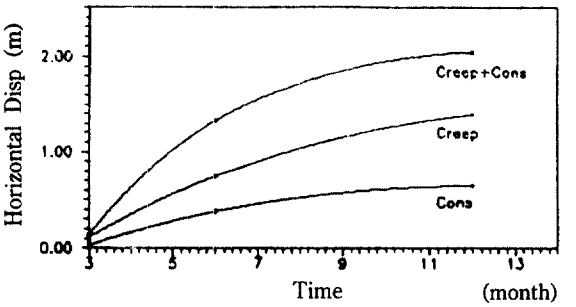


그림 14. Horizontal Displacement in the Toe of Embankment.

또한 그림 13은 堤體 築造 중 堤體斜面 끝지점(Node 62)에서의 水平變位를 나타내고 있으며 Creep에 의한 變位은 壓密에 의한 變位보다 무려 3배 이상의 큰 값으로 移動함을 보여준다.

그림 14는 堤體築造中 堤體 Toe部分(Node 36)에서의 水平變位를 나타내고 있으며 3개월간 堤體築造時 壓密에 의한 水平變位量보다 Creep에 의한 水平變位量이 크게 나타나고 있다.

그림 15는 堤體 및 基礎地盤의 中心線에서 補強 및 非補強시 水平變位量을 나타내고 있다. 그림 15(a)는 非補強인 경우이며 堤體에서 壓密과 Creep 變形은 큰 차이를 보여주고 있고 基礎地盤에서는 거의 같은 값인 약 0.7 m 만큼 좌측으로 變形되었다. 또한 壓密과 Creep을 同時에 考慮한 變形은 대부분 1.2 m만큼 左側으로 變形되었다.

한편 그림 15(b)는 MAT 부설시 變形을 나타내고 있으며 壓密은 (−) 방향, Creep은 (+) 방향으로 變形되어 壓密과 Creep를 동시에 考慮한 變形은 堤體 上端部를 除外하고 약 0.5 m만큼 左側으로 變形되었다.

그림 16은 補強 및 非補強時 基礎地盤 상단의 鉛直沈下量을 나타낸다. 그림 16(a)는 非補強時의 경우이며 堤體의 中心部가 位置하는 基礎地盤의 鉛直沈下量은 매우 큰 값을 보여주고 있고 Toe 부근에서는 全體 變位量이 오히려 隆起現象을 나타내고 있다. 또한 그림 16(b)는 補強時의 경우이며 堤體 兩端을 제외하고는 非補強時 變位와 類似한 傾向을 보여주고 있다.

그림 17(a)~(c)는 非補強時 施工 完工 直後 壓密, Creep, 壓密+Creep에 의한 變位벡타를 나타낸

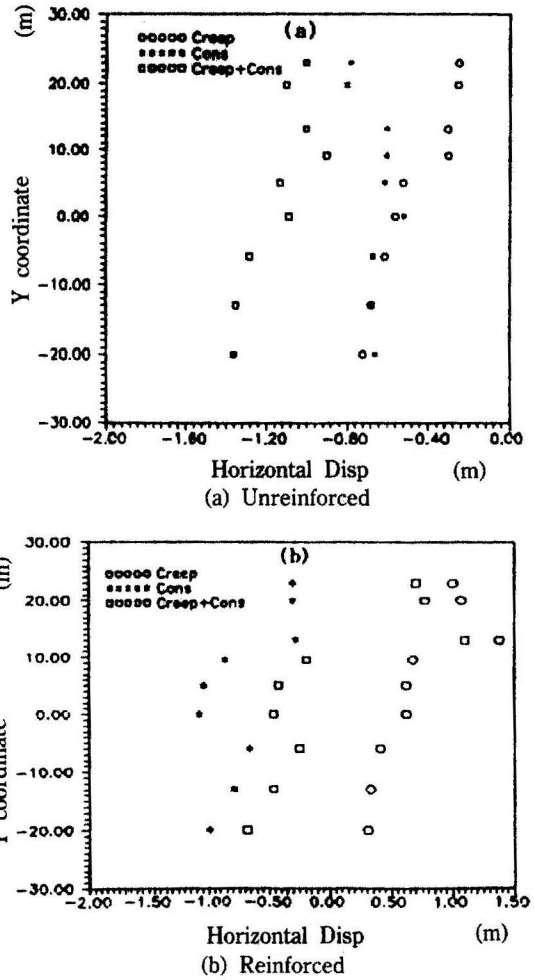


그림 15. Horizontal Displacement in the Center Line of Embankment and Foundation.

것이다. 그림에서와 같이 3가지 모두 堤體 中央部에서 아래 방향으로 變位가 發生하였으며 下部에서는 左右側部로 향하고 있다. 특히 堤體는 그림 17(c)에서와 같이 壓密變位와 Creep 變位가 함께 作用하여 보다 큰 變位를 나타내고 있다.

그림 18은 補強時 施工 完工直後 壓密, Creep, 壓密+Creep에 의한 變位 Vector를 나타낸다. 그림 18(a)와 그림 18(b)에서 알 수 있듯이 Creep量은 補強인 경우가 非補強인 경우에 비하여 압밀과 Creep 변형은 각각 작은 값을 보이고 있으며 그림 17(c)에서 처럼 全體 變位 Vector量도 보다 작은 값을 나타낸다.

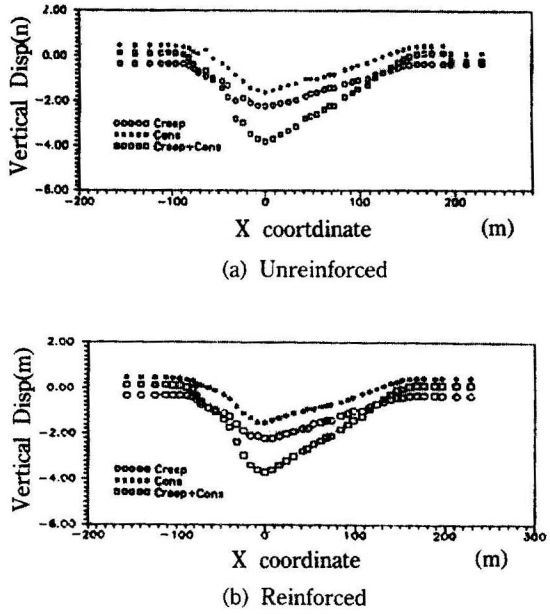


그림 16. Vertical Displacement at the Surface of Foundation.

6. 結 論

본 研究에 있어서 土工構造物에 의한 軟弱地盤의 變形特性을 室內 試驗과 數値解析을 한 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1) 본 研究에서 開發한 Program은 壓密과 Creep을 同時에 解析할 수 있다.

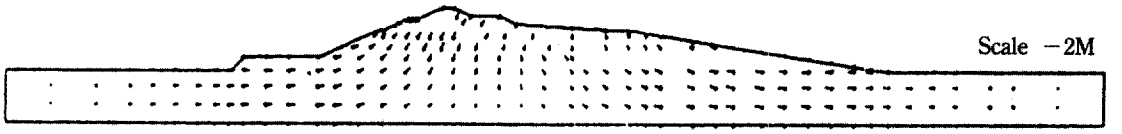
2) 실내 시험 결과 海岸 防潮堤 基礎地盤의 Rheology model은 Vyalov model로 나타났다.

3) 軟弱地盤 위에 堤體築造時 基礎地盤의 擧動解析을 研究하기 위해서는 Creep 解析을 必히 遂行하여야 한다.

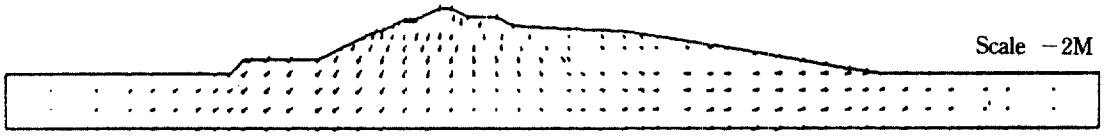
4) 基礎地盤에 Mat를 부설한 경우 變位 Vector量은 非補強時 보다 작은 값을 보임으로써 그 效果를 나타내었다.

感謝의 말

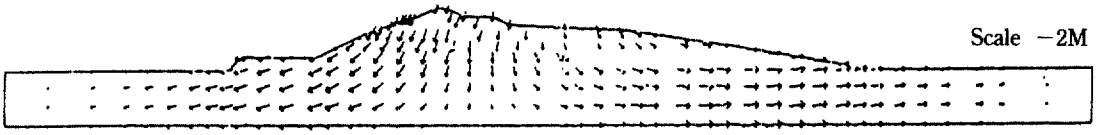
본 研究는 1990년도 社團法人 産學 協同財團 學術研究費 後援에 의한 것이며, 이에 깊은 感謝를 드립니다.



(a) Cons.

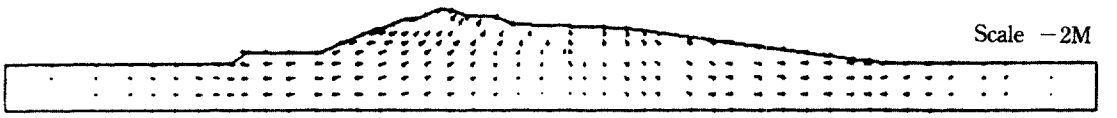


(b) Creep

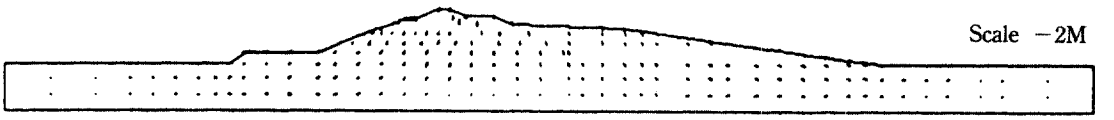


(c) Cons.+Creep

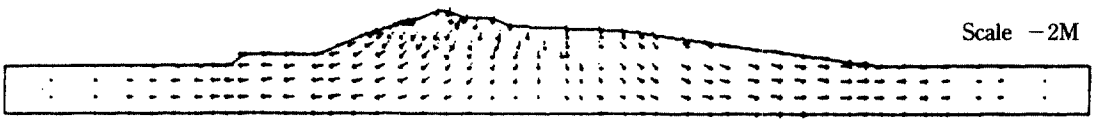
그림 17. The Displacement Vecter at end of Construction (Unreinforced).



(a) Cons.



(b) Creep



(c) Cons.+Creep

그림 18. The Displacement Vector at end of Construction (Reinforced).

참 고 문 헌

1. M.J. KEEDWELL, 'International Conference on Rheology and Soil Mechanics", Elsevier Applied Science Publishers, 1988, pp. 336-354.
2. 川本眺万, 林正夫, "地盤工學における有限要素 解析", 培風館, 1978, pp. 225-251.
3. 石井靖丸, "沖積粘土の工學的性質に關する研究", 土木學會論文集 第30號, 1955, pp. 1-93.
4. S.S Vyalov, "Rheological Foundamentals of Soil Mechanics", Elsevier Science Publishers, 1986, pp. 147-266.
5. 村山朔郎, 栗原則夫, 關口秀雄, "粘土のクリ-プ 破壞についで", 京大防災研究所年報 第301號, 1980. 9, pp. 93-104.
6. 柴田徹, 關口秀雄, "盛土基礎地盤の彈・粘塑性擧動解析と破壞豫測", 土木學會論文報告集, 第301號, 1980, pp. 93-104.
7. D.R.J. Owen & E. Hinton, "Finite Elements In Plasticity (Theory and Practice)", Swansea Univ., U.K., 1980, pp. 271-318.
8. 柴田徹, 關口秀雄, "軟弱地盤の側方流動", 土木學會論文報告集, 第382號, 1987. 6, pp. 14.
9. CHI MAN KWOK, "Finite Elements Studies of Reinforced Embankment on Soft Ground", Ph.D. Univ. of Sheffield, 1987, pp. 1-50.
10. Constitutive Properties of Salt from Four Sites", Techical Report, ONWI-314, INTERA Environmental Consultants, Inc. Houston, 1983. pp. 1-84.
11. VISCOT User's Manual, Technical Report ONWI-437 INTERA Environmental Consultants. Inc. Houston, 1983, pp. 1-224.

(接受 : 1990. 12. 20)