Egg-Cam Clay 모델 제안 및 지중매설관의 보강효과의 탄소성모델 해석

The Introduction of Egg-Cam Clay Model and Elasto-Plastic Analysis of Reinforcement Effect on Buried Pipe

> 안태봉* · 조삼덕^{**} · 김진만^{***} Ahn, Tae-Bong · Cho, Sam-Duck · Kim, Jin-Man

Abstract

In this study, stress-deformation characteristics of buried pipe are studied. A numerical model, i.e., Egg-Cam Clay is introduced for the analysis of soft clay. Cam Clay model has a difficulty in analyzing soft clay that has two properties of shrinkage and swelling. Egg-Cam Clay model is modified format of Cam Clay model. In addition, Mohr-Coulomb model using finite element method is employed to verify effects of the geogrid, EPS geofoam. Stress deformation of several cases of pipe and other reinforcemnt material combinations are analyzed. Geofoam and geogrid have positive effects on the deformation characteristics.

Keywords : Egg-Cam Clay model, Buried pipe, Geogrid, Geofoam, Finite element

요 지

본 연구에서는 지중내에 설치한 매설관에 작용하는 응력-변형 특성을 분석하였다. 연약지반의 수축과 팽창특성을 고려할 수 있는 Egg-Cam Clay 모델을 소개하였다. 기존에 사용하던 Cam Clay 모델은 연약지반의 수축 및 팽창 특성을 고려하지 못 하는 단점이 있기 때문에 Cam Clay 모델을 수정하여 Egg-Cam Clay 모델을 제안하였다. 이와는 별도로 지중내의 매설관 에 작용하는 응력-변형을 감소시키기 위하여 지오그리드, EPS 지오폼을 매설관과 함께 설치하였다. 탄소성모델을 이용하여 현장에 시험시공한 여러 단면에 유한요소해석한 결과 긍정적인 효과를 얻었다.

주요어 : Egg-Cam Clay 모델, 매설관, 지오그리드, 지오폼, 유한요소

^{*} 정회원·우송대학교 건축토목환경공학부 조교수

^{**} 한국건설기술연구원 토목연구원 수석연구원

^{***} 한국건설기술연구원 토목연구원 선임연구원

1. 서 론

최근 국내 건설은 국가적 차원의 장기 건설계획과 맞물 려 서남해안을 중심으로 대규모 산업단지 조성, 항만, 신공 항 조성 등 해안지역의 개발이 두드러지고 있다. 이러한 국 토의 개발은 부지조성에 따른 건물이나 공업 시설물 등을 위하여 부지내와 부대도로를 따라 상하수도관, 전력구, 통 신구 등 각종 매설관거 및 암거를 요구하게 되는데 매설관 은 지중에 설치하게 되므로 지반의 거동에 따라서 균열, 또 는 지진, 근접시공에 의한 파괴로 많은 재산적 피해를 입고 있다. 실례로 전국에 걸친 상수도관의 파열과 균열로 많은 수자원과 재산을 낭비하고 있는 실정이나 국내의 매설관 연구는 연약지반중에서 매설관과 지반과의 상호작용에 의 한 거동해석분야의 연구가 매우 적은 실정이다. 특히 연약 지반은 압밀특성으로 침하로 인한 매설관의 파괴가 심하 다. 본 연구에서는 매설관의 지중내 거동분석을 위한 연약 지반의 Egg-Cam Clay 수치모델 제시와 이에 따른 외적 하중 조건, 매설관의 특성, 지하수조건 등 변화에 따른 매 설관, 지반의 응력-변형분석 등을 수행하여 연약지반조건 에 맞는 비선형해석기법을 제시하고 그 응력-변형의 예를 해석하여 Egg-Cam Clay 모델의 적용성을 평가하였다. 본 연구에서 사용한 매설관은 최근 그 활용성이 검증되고 사용량이 증가하고 있는 파형강관을 예로 하였다.

2. 지중매설관의 수치해석

유한요소해석의 일반적 해석 절차는 1차원, 2차원, 또는 3차원의 유한요소망을 만든 후 각 요소를 포함하는 전체 구성매트릭스를 식 (1)과 같이 만든다.

$$[K]\{d\} = \{f\}$$
(1)

여기서 [K]는 강성매트릭스, {d}는 변위 벡터, 그리고 {f}는 힘 벡터이다. 각 요소의 강성을 토질시험을 통하여 정한 후 하중조건과 경계조건을 이용하여 각 절점에서 변 형과 각 요소에서 응력을 구한다. 이때 지반의 비선형 응력 -변형률 특성을 변형률 증가법과 반복법으로 해석하는 것 이 일반적이며 이 방법은 토질구조물, 매설관, 옹벽구조물 에 대하여 많이 사용되어 왔다.

유한요소법은 역학실험을 통하여 할 수 없는 다양한 하

중조건, 지반조건, 구조물의 특성을 수학적으로 해석할 수 있는 장점이 있으나 현장조건 및 구성모델을 현실과 완전 하게 같게 구현하는 것은 불가능하다.

본 연구에서는 국내에서 연약지반이나 도로배수 설계시 사용이 증가하고 있는 파형강관의 지중내 응력-변형 특성 을 유한요소법으로 해석하여 그 활용성을 평가하였다.

Havenas et al.(1995)는 종방향변형해석을 하였는데 계측데이타 부족으로 해석적 방법을 이용하였다. Havenas et al.는 프로그램 SSTIPN을 사용하였는데 이것은 SAP 프로그램을 Duncan 모델을 이용하도록 하고 경계면요소 를 고려 할 수 있도록 한 것이다.

과거의 연구내용을 종합하면 연구내용은 비선형 기하해 석, 하중재하와 제하, 다짐조건, 편토압, 베딩조건, 지하수 위의 변화로 인한 시간 영향에 대한 연구이다. 지반과 구조 물 상호작용문제에 사용하는 유한요소법은 선형탄성문제 를 해석 할 때와 몇가지 다르다. 이것은 (1) 흙이 변형률 의존특성을 갖고 있고 (2) 연성관은 기하학적으로 비선형 이기 때문이다. (3) 지반과 연성관벽 사이에 이동을 허용 하는 경우가 있다.

지반은 비선형 거동을 보이므로 응력을 변형률증가법으 로 구한다. 매설관은 보요소로 정하고 전단력과 모멘트를 구한다. 매설관과 지반사이는 경계면요소로 설정하기도 한 다. 경계면 요소는 실제 크기는 없으며 마찰력이 한계를 초 과하면 운동학적(kinematically) 변형을 나타내는데 뒤채 움 다짐정도에 따라 다짐 상태가 좋아서 하중전이가 지반과 매설관에 양호하면 경계면요소를 사용하지 않을 수 있다.

유한요소법은 미소변형과 대변형 해석에 사용할 수 있 다. 그러나 지반공학분야에서는 미소변형이론이 대부분이 기 때문에 대변형을 고려하는 경우는 제한적인 경우에 해 당된다. 대변형은 준설토의 자중압밀 등과 같이 변형 후에 지반 및 구조물의 특성이 변하는 경우에 적용할 수 있지만 본 연구의 경우는 미소변형 유한요소법은 미소변형이론을 근거로 하여 개발되었는데 미소변형이론에서는 절점에서 변위와 변형률이 작기 때문에 물성의 변화를 고려하지 않 는다는 것이다. 절점좌표에 근거한 강성매트릭스는 형상함 수로부터 구한 변형률-변위 매트릭스로 강성매트릭스를 구 한다. 미소변형 문제에서는 변형된 모양이 작으므로 이것 을 기하학적 비선형이라 하고 비선형 응력-변형률 거동을 보이면서 큰 변형을 나타내는 해석은 재료 비선형 해석과 더불어 기하학적 비선형으로 해석한다.

3. 매설관 요소별 적용모델 분석

3.1 Egg-Cam Clay 모델

점토질의 흙을 모델링하는데 탄소성모델을 사용하는 것 이 바람직한데 Cam Clay 모델을 시용하는 것은 많이 보 급되어 있다 그러나 Cam Clay 모델은 경화모델과 연화 모델의 구현이 불가능하고 팽창, 수축의 모사가 어려워 이 에 대한 수정을 하게 되었는데 이것이 발전되어 Egg-Cam Clay 모델로 개발되었다 (Groen, 1995).

3.2 Egg-Cam Clay 모델의 응력과 변형률

재료를 모델링할 때 응력텐서를 등방응력텐서와 축차응 력텐서의 두 부분으로 나누는 것이 편리하다. 평균응력 P'식 (2)와 같이 정의하고 축차응력텐서, ξ는 (3)과 같다.

$$P' = -\frac{1}{3} \left(\sigma'_{xx} + \sigma'_{yy} + \sigma'_{zz} \right) = -\frac{1}{3} I_{1}$$
(2)

$$\xi = S\sigma$$
(3)

여기서, I₁은 1차응력텐서의 불변량이고 등방압력 (3) 의 S는 식 (4)와 같으며 유효축차응력 q는 (5)와 같다. 또한 ζ는 괄면체에 작용하는 전단응력텐서를 가리킨다.

$$S = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6 \end{bmatrix}$$
(4)

$$q = \sqrt{-\frac{3}{2}} \xi^{-T} R\xi = \sqrt{3} J_2$$
 (5)

여기서, J₂는 2차 응력텐서 불변량이며, 5는 팔면체에 작용하는 전단응력텐서를 가리킨다. R은 식 (6)과 같은 대칭매트릭스이다.

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 \end{bmatrix}$$
(6)

변형률은 약간 다른 방법, 즉 (7)과 같이 체적변형률, ɛ "을 사용하며 전단변형률, ɣ는 (8)을 사용한다. Q는 R과 P의 매트릭스 곱을 나타낸다.

$$\varepsilon_{v} = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}$$
 (7)

$$\mathbf{y} = Q\mathbf{\varepsilon} \tag{8}$$

Cam Clay 모델은 비선형탄성과 소성모델의 복합모델 로 체적변형률과 축차 변형률의 합으로 표현한다(식, (9)).

$$\varepsilon_v = \varepsilon_v^e + \varepsilon_v^p$$
 and $\Im = \Im^e + \Im^p$ (9)

여기서 첨두첨자 e와 p는 각기 탄성측과 소성측 변형을 의미한다.

비선형탄성은 (10)과 같이 수축, 팽창을 하며 (11)과 그림 1과 같은 관계를 갖는다.

$$K_t = \frac{1+e}{k} p' \tag{10}$$

$$e = \frac{V_p}{V_m} = \frac{V - V_p}{V_m} = \frac{V}{V_m} - 1 \qquad (11)$$

제3권 제2호 2002년 6월 7



그림 1. 압축시 흙의 거동

그림 1은 탄성변형을 가정하며 K_t는 (13)과 같이 변형 할 수 있다.

$$\dot{p}' = -K_t \dot{\varepsilon}_v^e$$
 (12)

$$K_{t} = \frac{1+e}{k} (p' + p_{t})$$
(13)

체적변형과 간극비로부터 비선형탄성이론은 식 (14)에 서 (24)까지 나타난 바와 같다.

$$\dot{V} = \dot{\varepsilon}_v V \tag{14}$$

$$\dot{e} = \frac{\dot{V}_p}{V_m} = \frac{\dot{V} - \dot{V}_m}{V_m} = \frac{\dot{V}}{V_m} = \dot{\varepsilon} \frac{V}{V_m}$$
(15)

$$\dot{e} = \dot{\varepsilon}_v (1+e) \quad \therefore \quad \dot{\varepsilon}_v = \frac{\dot{e}}{(1+e)}$$
(16)

$$\int_{t}^{t+\Delta t} \dot{\varepsilon}_{v} d\mathfrak{V} = \int_{t}^{t+\Delta t} \frac{\dot{e}}{1+e} d\mathfrak{V}$$
(17)

$$\Delta \varepsilon_v = \ln \left| \frac{1 + e^{t + \Delta t}}{1 + e^t} \right| \tag{18}$$

$$e^{t+\bigtriangleup t} = (1+e^t) \exp\left(\bigtriangleup \varepsilon_v\right) - 1 \tag{19}$$

$$\frac{d p}{p + p_t} = -\frac{1+e}{K} d\varepsilon_V^0$$
(20)

$$p' = -p_t + (p_0' + p_t) \exp(-\frac{1+e_0}{K} \triangle \varepsilon_V^0)$$
 (21)

$$K_{t} = -\frac{d p'}{d \triangle \varepsilon_{V}^{0}} = \frac{1 + e_{0}}{K} (p' + p_{t}) \quad (22)$$

$$G_{t} = \frac{3}{2} K_{t} \frac{1 - 2v}{1 + v}$$
(23)

$$v_{t} = \frac{3 K_{t} - 2G}{6 K_{t} + 2G} \tag{24}$$

3.3 항복함수

수정 Cam Clay 모델의 항복함수는 다음과 같이 정의 할 수 있다(Desai and Siriwardane, 1984).

f= q² + M²p'(p'-2a)
여기서 ;
$$M = \frac{6\sin\Phi}{3-\sin\Phi}$$

위 식에서 a는 과압밀비를 나타내며 선행압밀하중의 반 으로 본다. 수정 Cam Clay 모델은 초기 과압밀응력을 과 도하게 산정하는 단점이 있고 Cam Clay모델은 인장응력 을 평가할 수 없는 단점이 있다. 따라서 항복파괴면은 다음 과 같이 수정할 수 있다.

$$f = q^{2} + \frac{M^{2}}{\beta^{2}} ((p' + \Delta P)(p' + \Delta P - 2a) + \Delta P - 2a) + a^{2} (1 - \beta^{2})$$
(25)

β와 a는 재료의 물성특성인 매개상수를 나타낸다.여기서 ; β는 ɣ if $p' + \triangle p \le a$ $\frac{1}{a}$ if $p' + \triangle p > a$

$$d\varepsilon_{v} = d\varepsilon_{v}^{e} - d\lambda \frac{\partial f}{\partial p} = d\varepsilon_{v}^{e} - 2d\lambda \frac{M^{2}}{\beta^{2}}(p + \triangle p - a)$$
(26a)

8 한국지반환경공학회 논문집

$$d\mathfrak{X} = d\mathfrak{X}^{e} + d\lambda \frac{\partial f}{\partial q} \frac{\partial q}{\partial \xi} = d\mathfrak{X}^{e} + 3d\lambda \xi \qquad (26b)$$

3.4 경화거동(Hardening Behavior)

소성모델에 대하여 경화매개변수의 결정이 매우 중요한 데 기존의 Cam Clay모델에 비하여 a의 경화 매개변수를 다음과 같이 사용한다. *P* ' 는 선행압밀하중을 나타낸다.

$$a = \frac{1}{2} \dot{p_c} \quad \therefore \quad da = -\frac{1+e}{\lambda-k} a d\varepsilon_v^p \quad (27)$$

$$a = a_0 \exp\left(-\frac{1+e_0}{\lambda-k} \,\vartriangle \, \varepsilon_v^{\,p}\right) \tag{28}$$



(a) Standard yield contours



(b) Enhanced yield contour 그림 2. Egg-Cam Clay 모델

4. 매설관의 매설조건에 따른 유한요소해석

지중내의 매설관의 응력-변형을 해석하기 위한 기본 가

정은 (1) 평면변형률 문제 (2) 종방향으로는 변위가 없으 며 (3) 파형강관의 단면의 변형은 모든 단면에서 같다고 가정한다. 이 가정하에서 매설관의 지중내 응력-변형 특성 을 해석하였다. 해석을 위한 물성입력치 및 지반조건등은 표1에 나타나 있으며 본 연구에서는 지반공학에서 범용으 로 사용하는 Geo-Slope사에서 개발한 SIGMA/W를 사용 하였다.

4.1 매설관의 단면방향 및 길이방향 해석기법 수립

매설관의 지중내 거동특성을 파악하기 위하여 아래와 같 은 5가지의 매립형태를 분석하였다. 이것은 현장실험을 실 시한 현장조건과 같은 것으로 현장실측 데이터와 비교하였 다. 여기서 5가지의 매립형태는 다음과 같다(그림 3).

- (1) A 형태 : 관지름 0.6m, 매설깊이 1.0m
- (2) B 형태 : 관지름 1.0m, 매설깊이 1.5m, 10cm두께의 모래베딩 (다짐도 90%)
- (3) C 형태 : 관지름 1.0m, 매설깊이 1.5m
- (4) D 형태 : 관지름 1.0m, 매설깊이 1.5m, 파형관위에 폭 1.0m, 두께 15cm의 EPS 설치
- (5) E 형태 : 관지름 1.0m, 매설깊이 1.5m, 파형관위
 에 폭 1.0m, 두께 15cm의 EPS 설치하고 그 위에 지오그리드를 포설



여기에서 사용된 역학적 물성특성은 표 1에 나타나 있 다. 표에 나타난 매립토, 표토는 내부마찰각과 점착력을 구 하여 Mohr-Coulomb의 탄소성 구성모델을 사용하였고 뒤채움흙, 모래베딩층, EPS, 지오그리드는 탄성모델을 사 용하였다.

		매립토	모래베딩	표토	뒷채움토	EPS	지오그리드
입도분포	유효입경, D ₁₀	0.067	0.135	0.210		-	-
	균등계수, Cu	4.627	4.741	6.024		-	-
	곡률계수, C _c	0.583	0.683	1.057		-	-
연경도	액성한계(LL)	68.67	-	32.08		-	-
	소성지수(PI)	35.7	NP	7.15		-	-
흙분류		SC	SP	SW		-	-
비중		2.684	2.674	2.669		-	-
습윤단위 중량	(kN/m^3)	15.4	18.1	18.3	17.6	-	-
다짐	건조단위중량 (kN/m ³)	13.1	17.5	17.1		0.15	0.98
	최적함수비	33.22	11.95	15.45		-	-
강도정수	Φ(°)	20.14	34.47	20.57		-	-
	$C_u(kN/m^2)$	43.1	18.6	10.0		-	-
탄성계수	kN/m^2	40,000	50,000	50,000	60,000	30.6	3,061
포아슨비	V	0.25	0.3	0.3	0.3	0.08	0.3

표 1. 유한요소해석을 위한 물성특성

4.2 유한요소해석 입력 파라미터 및 경계조건 결정

유한요소해석을 위한 요소망은 그림 4에 나타난 바와 같 이 파형관은 탄성계수와 관성모멘트, 단면적을 갖고 있는 보요소로 하고 원모양을 나타내기 위하여 그림과 같이 여 러 직선의 보요소로 나누어서 전체적으로는 원형관의 모양 을 나타내었다. 주변지반(매립토 및 베딩)은 사절점요소로 나누었고 사절점으로 나누기 어려운 곳에는 삼각형모양의 요소로 나누었다.



그림 4. 파형관 주위의 유한요소망 구성

10 한국지반환경공학회 논문집

5. 유한요소해석 결과

5.1 A 단면

A 단면을 주어진 물성특성과 단계적인 뒤채움을 통하여 아래 그림 5와 같이 유한요소망을 작성하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 좌우측 경계면의 x, y 방향 모두 고정하였 으며 하단 바닥은 y 방향으로 고정하였다. 이 파형관단면 의 유한요소해석결과 변형된 지반의 모습을 그림 6에 50 배 확대된 모습으로 나타내었다.





수직변위의 깊이별 분포를 그림 7에 표시한 결과 수직변 위는 지표면으로부터 감소하다 파형관위에서 급격히 증가 하며 파형관의 바닥부에서는 다시 감소하는 것을 그림 7에 서 알 수 있다. 이것은 퍼형관강관이 관위의 약 1.5m 두께 의 토층으로 인한 누적수직변위를 감당하기 때문이다.



그림 7. 단면 수직변위의 비교(A 형)

지반내의 수직응력 분포는 그림 8과 같으며 파형관 정상 부에서 감소함을 알 수 있다. 수직응력을 깊이에 따라 그림 9에 표시하였으며 깊이에 따라 증가하다 파형관 정상부에 서는 파형관의 변형으로 인하여 수직응력이 감소함을 알 수 있다. 파형관 바닥에서는 다시 증가한다. 이것은 수직변 위가 증가한 위의 그림 7과 일치한 것으로 상호작용의 결 과인 아칭현상 때문이다.



그림 8. 수직응력의 분포도(A 형)



그림 9. 깊이에 따른 수직응력의 비교(A 형)

5.2 B, C, D, E 단면

직경 1.0m의 파형관을 성토고 1.5m의 지반내에 매설 하고 파형관 아래에 모래베딩을 한 경우 (B 형), 모래베딩 을 하지 않은 경우(C 형), 파형관 위에 EPS를 포설한 경 우(D 형), EPS와 지오그리드를 포설한 경우(E 형)를 각 각 유한요소법을 이용하여 지반내 응력-변형을 분석하였 다.

가. B 형

B 형의 50배로 확대된 변형 모양을 그림 10에 나타내었 으며 그림 11에 수직응력분포를 나타내었다. 수직응력분 포에서 나타난 바와 같이 파형관의 정상부에서 수직응력이 0에 가까운 값을 나타내고 있다. 변형모습에서는 굴착부와 성토부의 경계면에서 다른 곳보다 큰 변위가 발생하는 것 을 알 수 있다.



제3권 제2호 2002년 6월 11



그림 11. 수직응력의 분포도(B 형)

나. C 형

C 형은 1.0m 직경의 파형관에 1.5m 뒷채움 한 것으로 파형관 아래에 모래베딩을 15cm 두께로 설치한 것이다(그 림 12). 모래베딩 부분의 요소망은 사절점요소와 삼절점 요소를 사용하여 요소망을 작성하였다(그림 13).



그림 12. 모래베딩 사용시 유한요소망(C 형)



그림 13. 모래베딩의 요소망

12 한국지반환경공학회 논문집

C 형의 변형모습(그림 14)과 수직응력분포(그림 15) 는 앞의 경향과 비슷하다.





다. D 형

D 형은 파형강관에 작용하는 토압을 감소시키기 위하여 파형강관 위에 EPS를 파형관의 지름과 같은 길이로 포설 하여 다소 큰 변형과 관주변의 복잡한 수직응력분포를 나 타낸다(그림 15, 16).





라. E 형

EPS를 포설한 후 EPS 위에 지오그리드를 포설한 경우 의 변형과 수직응력의 분포를 나타낸 결과는 그림 17, 그 림 18과 같다.



5.3 B, C, D, E 단면의 해석결과 비교

B, C, D, E 단면의 유한요소해석 결과는 그림 19에 수 직변위와 그림 20의 수직응력을 비교하였다. 수직변위와 수직응력은 파형관의 중앙부 바닥에서 지표면까지의 값을 나타내는 것이다. 수직변위는 파형강관의 상충부까지는 B 와 C 형태가 D와 E 보다 작은 변위를 나타내지만 파형강 관의 변위는 D와 E가 작은 변위를 나타내올 알 수 있다. B와 C는 거의 같은 변위를 보이고 D와 E도 거의 같은 변 위 값을 보여준다.

수직응력은 D와 E 단면이 파형관 상부에서는 B나 C의 경우보다 수직응력이 현저히 작게 나타나고 파형관 상단부 에서는 D와 E의 경우가 B와 C의 경우보다 크게 나타나고 파형관 바닥에서는 C형 보다 매우 작다. 이것은 EPS가 파 형관 상부에서 응력을 흡수하고 있기 때문이다. 지오그리 드를 설치하는 것은 수직변위와 수직응력 에는 EPS만을 사용했을 때보다 별다른 차이를 보이지 않는다.



그림 19. B, C, D, E 단면 수직변위의 비교



제3권 제2호 2002년 6월 13

6. 결 론

본 연구에서는 지중매설관의 지중내 응력 거동분석을 위 하여 유한요소법을 실시하였다. 연약지반내에서의 응력-변 형을 해석하기 위한 방법으로 Egg-Cam Clay 모델에 대 한 이론적 고찰을 실시하였다. 기존의 모델은 연약지반의 수축과 팽창을 고려하기가 어려웠으나 이 모델은 효과적으 로 이 문제를 해결할 수 있는 방법으로 제안된다. 또한 지 오그리드, EPS 등을 매설관과 함께 시공하였을 때의 변형 에 미치는 영향을 분석하였으며 매설관에 작용하는 수직응 력을 감소시키는 것으로 나타났다. 이것은 매설관 상단과 단에 수직응력을 감소시키는 효과가 있기 때문이다. EPS 를 매설한 경우 압축성이 큰 재료를 설치하므로써 매설관 상부의 토층은 수직변위가 증가하지만 매설관에 작용하는 응력은 감소시키는 것으로 분석되었다. 지오그리드를 설치 한 것은 지오그리드를 설치함으로써 변위 및 응력을 감소 시킬 목적이었으나 본 해석에서는 효과가 없는 것으로 나 타났다. 이에 대한 분석은 더 진행될 것이며 추후과제로는 제시한 Egg-Cam Clay 모델을 현장계측과 비교하는 연구 를 수행할 것이다.

(접수일자 : 2001. 12. 7)

참 고 문 헌

- 1. Bathe, K.-J.(1996), Finite Element Procedures, Prentice-Hall.
- Borja, R.(1991), Cam-Clay Plasticity. Part II: Implicit integration of constitutive equations based on a nonlinear elastic stress predictor, Comp. Meth. Appl. Mech. Eng., 88, pp. 225-240.
- 3. Britto, A. M., and Gunn, M. J.(1987), Critical State Soil Mechanics via Finite Elements, John Wiley & Sons.
- Groen, A. E.(1995), Two elastoplastic models for the behaviour of soils, Tech. Rep. 03.21.0.31.12, Delft University of Technology.
- Van Eekelen, S. J. M., and Van Den Berg, P.(1994), The Delft Egg Model, a Constitutive Model for Clay. In DIANA Computational Mechanics '94, G. M. A. Kusters and M. A. N. Hendriks, Eds., Kluwer, pp. 103-116.
- 6 Groen, A. E., Borst, R. de and S. J. M. van Eekelen(1995), An elastoplastic model for clay : Formulation and algorithmic aspects, Proceedings for Numerical Models in Geomechanics - NUMOG V, Pande & Pietruszczak (eds.), Balkema, Rotterdam, ISBN 90-5410-568-2, pp. 27-32.