



Sand Mat의 대체재로 적용되고 있는 쇠석Mat에 대해 알고 싶습니다.



박신영(한라건설(주) 과장, 토질및기초기술사)

1. 수평배수재의 역할

연약지반내의 시공되는 수평배수재의 역할은 다음과 같다.

- 연약지반상의 압밀축진을 위한 수평배수로
- 압성토내로의 지하수 상승 차단
- 시공장비의 주행성 확보

수평배수재의 역할을 양호하기 위한 품질확보는 다음과 같다.

- 압밀지연이 발생되지 않도록 통수기능이 우수해야 한다.
- 압밀진행에 따라 간극수와 혼합되어 유입되는 연약점토입자를 필터링하여 세립토의 막힘현상(clogging)을 방지함으로써 원활한 배수기능을 확보하여야 한다.
- 간극의 크기가 충분히 작아 인접토사의 유실이 방지되고, 간극이 충분히 커서 유입수의 신속한 배수 축진이 가능해야 한다.

수평배수재로 가장 많은 시공실적이 있는 Sand Mat의 재료는 하천 또는 해안지역에서 충당하고 있으나 최근 수급문제로 인한 비용상승 및 품질관리 어려움 등으로 그 대안 중의 하나로 쇠석Mat가 적용되고 있다.

2. 수평배수재의 두께 산정

2.1 시공장비의 주행성에 따른 두께

일반적으로 원지반의 콘지력에 따른 수평배수재의 두께는 표 1과 같다.

연약지반내 시공장비의 주행성 확보를 위한 수평배수재의 두께는 원지반지력이 시공장비에 의해 발생하는 지중응력 q 이상 되도록 설계되어야 한다.

연약지반의 지지력 산정을 위해 수평배수재 하부에 포설되는 토목섬유의 인장강도를 고려할 수 있는 Prandtl의 지지력 이론을 이용한 Yamanouchi

표 1. 콘 지력에 따른 두께

| 콘 지력, $q_c(t/m^2)$ | 두께(cm) | 비고 |
|--------------------|---------|----|
| 20 이상 | 50 | |
| 20 ~ 10 | 50~80 | |
| 10 ~ 7.5 | 80~120 | |
| 7.5 ~ 5 | 120~150 | |
| 5 이하 | 150 이상 | |

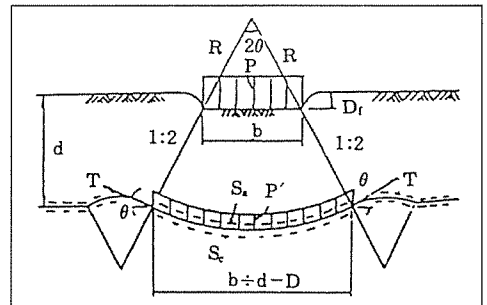


그림 1. Prandtl의 지지력 이론

(1970)의 모델이 이용될 수 있다.

$$q = \frac{1}{F_s} \left(1 + \frac{d - D_f}{b} \right) \cdot \left[\left\{ 5.14 \cdot c + T_a \cdot \left(\frac{2 \cdot \sin \theta}{b} + \frac{1}{r} \right) + \frac{4 \cdot S_a \cdot R(1 - \cos \theta)}{b + d - D_f} \right\} + \gamma \cdot D_f \right]$$

여기서, F_s : 단기안전율(1.5)

d : 배수재 두께

c : 원지반의 비배수 전단강도

T_a : 저면 MAT의 허용인장강도

θ : 저면 MAT의 수평면과 이루는 각

상기 식에서 S_a , γ , D_f 의 영향이 미소하여 무시하면 수평배수재의 두께는 다음과 같다.

$$d = b \left(\frac{q F_s}{5.14c + \frac{2T \sin \theta}{b}} - 1 \right)$$

2.2 배수성능에 따른 두께

$$Q = L \cdot S = K \cdot i \cdot A = \frac{K \cdot \Delta h \cdot d}{L}$$

$$\Delta h = \frac{L^2 \cdot S}{K \cdot d}$$

여기서, Δh : 수평배수재 내의 수위
(d 보다 작아야 함)

L : 배수거리

S : 성토재하시의 평균침하속도

K : 투수계수

d : 수평배수재 두께

3. 쇄석Mat의 품질기준

Sand Mat의 품질기준은 Sand Drain과 같이 까다롭지 않으나 통상적으로 다음과 같은 품질기준을 만족해야 한다(표 2).

쇄석($\Phi 40\text{mm}$, $\Phi 75\text{mm}$) 및 Sand Mat의 입도 분포곡선에 따르면, $\Phi 40\text{mm}$ 및 $\Phi 75\text{mm}$ 모두 0.84mm체 이하 부분에는 시방서 범위를 만족하지만, 그 이상에서의 입도범위는 포함되지 않는다. 투수성이 좋은 재료를 200번체(0.074mm) 통과량이 3% 이하이고, 비교적 투수성이 좋지 못한 재료를 3~15%라고 하면, $\Phi 40\text{mm}$ 와 $\Phi 75\text{mm}$ 모두 투수성이 좋은 재료라고 판단된다(연약지반의 처리공법과 침하계측에 관한 연구, 한국토지공사 토지연구원, 1997.9).

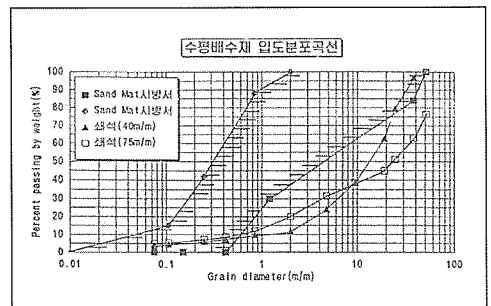


그림 2. 쇄석과 Sand의 입도분포곡선

표 2. Sand Mat의 품질기준

| D15 입경(mm) | D85 입경(mm) | #200체 통과량(%) | 투수계수(cm/sec) | 비 고 |
|------------|------------|--------------|-----------------------|-----|
| 0.074~0.9 | 0.4~8.0 | 15 이하 | 1×10^{-3} 이상 | |



4. 쇄석Mat의 적용사례

4.1 양산시 OO현장

(1) 개요

- 시험시공 : 45 m × 50m
- 지반개량공법 : PBD공법

(2) Sand Mat 및 쇄석Mat의 비교결과

표 3 참조

4.2 목포시 OO현장

(1) 개요

- 시험시공
 - CASE 1 : Sand 30cm + 쇄석 40cm
 - CASE 2 : Sand 20cm + 쇄석 50cm
- 지반개량공법 : S.C.P 및 S.D공법

(2) CASE별 비교결과

표 4 참조

표 3. Sand Mat 및 쇄석Mat의 비교결과

| 항 목 | Sand Mat | 쇄석 Mat(φ40mm) |
|--------|---|---|
| 두께 | 50cm | 50cm |
| 입도분포 | <ul style="list-style-type: none"> • D15 : 0.075~0.9mm • D85 : 0.4~8.0mm • 0.074mm통과량 15% 이하 | <ul style="list-style-type: none"> • Sand Mat기준 부적합 • 0.84mm 이하에서만 Sand Mat기준 만족 • 0.074mm통과량 : 3% 이하로 투수성 양호 |
| 토목섬유 | • 저면부 : PP MAT | <ul style="list-style-type: none"> • 저면부 : PP MAT • 쇄석상부 : PET MAT |
| 배수성능 | <ul style="list-style-type: none"> • 쇄석보다 배수성능 저하 • 투수계수 : $k=2.54 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ • 배수량 : $8.33 \text{cm}^3/\text{sec}$ | <ul style="list-style-type: none"> • Sand보다 양호 • 투수계수 : $k=9.04 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ • 배수량 : $183 \text{cm}^3/\text{sec}$ |
| 시공성 | <ul style="list-style-type: none"> • PBD 및 SCP시공 양호 • 장비 주행성 양호 | <ul style="list-style-type: none"> • PBD 및 SCP 타입시공 가능 • 장비 주행성 양호 |
| 경제성 | <ul style="list-style-type: none"> • 쇄석보다 고가 • 수급곤란 | <ul style="list-style-type: none"> • 경제적 • 현장조건에 따라 다름 |
| 압밀침하량 | 쇄석과 비교할 때 낮은 배수기능으로 초기침하가 작고 간극수로 인해 실제성토하중이 작게 전달되어 압밀지연 | 배수기능이 양호하여 초기침하가 크고 실제성토하중이 상대적으로 커서 압밀 촉진 |
| 과잉간극수압 | 상대적으로 압밀소산 지체 | 압밀소산 빠름 |

표 4. CASE별 비교결과

| 항 목 | Sand(20cm)+쇄석(50cm) | Sand(30cm)+쇄석(40cm) |
|--------------|--|--|
| 두께 | 70cm | 70cm |
| 입도 분포 | Sand | 품질기준 만족 |
| | 쇄석 | <ul style="list-style-type: none"> • 입도불량 • 0.60mm 이하, 20.8mm 이상에서는 만족 • 0.074mm통과량 : 3% 이하로 투수성 양호 |
| 토목섬유 | • 저면부 : PP MAT | • 저면부 : PP MAT |
| 배수성능 | • 배수량 : 217 ~233L/min | • 배수량 : 217 ~280L/min |
| 압밀침하량(동일기간내) | 8.9cm | 9.6cm |
| 압력수두(H=1.3m) | 1.62cm | 2.28cm |
| 평가 | Sand(20cm)+쇄석(50cm)의 경우가 배수능력 및 압밀침하속도가 더 빠름 | |

5. 결론

- 1) 쇄석Mat 시공사례에 따르면, 쇄석의 입도분포는 대체로 Sand Mat의 시방기준을 만족하지 않으나 0.074mm통과량이 약 3% 이하로 나타나 투수성이 매우 양호하였으며, 계측분석에서도 상대적으로 배출유량 및 동일기간 내에 발생하는 압밀침하 등이 더 크고 과잉간극수압 소산 속도도 빠른 것으로 나타나 Sand Mat의 대체 공법으로 가능성이 있는 것으로 나타났다.
- 2) 그러나, 쇄석의 입도불량으로 인한 상부 세립

- 토에 의한 막힘(clogging)현상에 따른 압밀지연과, 쇄석부설시 저면MAT의 찢김 발생 등이 제기됨에 따라 기존 적용사례에서는 배수재 하단부는 일정두께의 Sand Mat를 포설하고, 상단부는 PP MAT 등 차단층을 시공하거나 Sand Mat에 준하는 입도분포기준을 만족하는 재료로 시공하였다.
- 3) 쇄석Mat가 Sand Mat의 대체재료로 활용되기 위해서는 시공시 저면MAT의 찢김 및 세립분에 의한 막힘현상에 대한 정량적인 검토를 수행해야 할 것으로 판단된다.