Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 19, No. 11 pp. 750-757, 2018

https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.11.750
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

금속 보강재와 채움재 특성에 따른 보강토교대의 인발거동 분석 연구

김태수[1], 이수양[2*], 남문석[1], 한희수[3]
[1]한국도로공사 도로교통연구원, [2]한국도로공사 재난안전처, [3]금오공과대학교 토목공학과

Pullout Behavior of Mechanically Stabilized Earth Wall Abutment by Steel Reinforcement and Backfill Properties

Taesu Kim[1], Soo-Yang Lee[2*], Moon S. Nam[1], Heuisoo Han[3]
[1]Research Division, Korea Expressway Corporation
[2]Safety and Disaster Management Division, Korea Expressway Corporation
[3]Department of Civil Engineering, Kumoh National Institute of Technology

요 약 보강토교대는 보강토옹벽을 교대로 활용하는 토류구조물로써, 보강토체의 변형을 억제하기 위해, 마찰성능이 우수한 채움재와 비신장성 금속 보강재를 사용하고 있다. 본 연구에서는 보강토교대에 주로 사용되는 비신장성 금속 보강재에 대한 인발거동을 분석하기 위하여, 보강토교대 채움재의 강성 및 입도분포와 보강재의 간격에 따른 인발거동을 검토하였다. 매개분석을 통한 분석결과, 보강토체의 인발력은 최상단 보강재에 가장 크게 작용하였고, 보강토교대의 채움재의 특성과 보강재의 수평간격도 보강토의 인발저항에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 채움재의 내부마찰각은 최소 25도 이상, 균등계수는 4 이상의 사질토 그리고 최상단 보강재의 수평간격은 25cm 이하로 배치해야만 설계기준에 제시된 최소 인발 안전율을 만족하였다. 따라서, 보강토체의 인발저항성능을 확보하기 위해서는 채움재의 특성을 면밀하게 고려하여 설계를 수행하여야 하며, 채움재의 특성뿐만 아니라 하중조건을 고려하여 보강재의 배치도 적절하게 하여야 할 것이다. 시공시에는 설계시 고려한 채움재의 강성과 입도분포에 대한 철저한 품질 및 시공 관리가 필요할 것이다.

Abstract The mechanically stabilized earth wall abutment is an earth structure using a mechanically stabilized earth wall and it uses in-extensional steel reinforcements having excellent friction performance. In order to analyze the pullout behavior of in-extensional steel reinforcements usually applied on the mechanically stabilized earth wall abutment, effects of stiffness and particle-size distributions of backfills and also horizontal spacings were considered in this study. As a result of parametric analyses, the highest pulling force acted on the uppermost reinforcement, and the stiffness and the particle-size distributions of the backfill significantly affected the pulling resistance of the reinforced soils. The internal friction angle of backfills should be at least 25 degrees, the coefficient uniformity factor should be at least 4, and the horizontal spacing of the uppermost steel reinforcement should be less than 25cm. Therefore, in order to secure the pullout resistance of the reinforced soil, it is necessary a properly spacing of reinforcement and more strict quality control for the backfill.

Keywords : Mechanically stabilized earth wall abutment, Pullout behavior, In-extensional steel reinforcements, Backfills, Pullout safety factor

본 논문은 한국도로공사 도로교통연구원의 연구과제로 수행되었음.
*Corresponding Author : Soo-Yang Lee(Korea Expressway Corporation)
Tel: +82-54-811-2770 email: lsy@ex.co.kr
Received September 21, 2018 Revised (1st October 22, 2018, 2nd October 31, 2018)
Accepted November 2, 2018 Published November 30, 2018

1. 서론

국내 대부분의 도로 교량 접속부에서 발생하는 교대와 토공부와의 부등침하로 인한 접속부 단차로 운전자 및 동승자의 주행만족도가 저하되며 이에 따른 민원이 증가하고 있는 실정이다. 국내 대부분의 교대는 강성이 큰 암반에 지지된 말뚝기초로 지지되어 있어서 교대부의 변위는 거의 발생되지 않는다. 하지만 뒤채움과 토공부는 지속적인 침하가 발생되어 교량 접속부에 단차를 유발시킨다. 또한 교대와 뒤채움부의 강성 차이로 인해 덜컹거림은 시간의 경과에 따라 커지게 된다[1].

이러한 주행성 문제를 개선하고자, 유럽과 북미에서는 연성구조물인 보강토 옹벽을 이용한 보강토 교대(Mechanically Stabilized Earth wall Abutment, MSEW abutment)를 1970년대에 개발하여 적극적으로 적용하고 있다. 보강토 교대는 연성구조물로서 도로 성토부와의 강성차이를 최소화하여 주행성이 개선되고 시공성과 경제성이 우수한 것으로 알려지고 있다. 보강토교대는 상부구조를 지지하는 교대를 보강토체에 지지시킴으로서 교대부에 변위를 유발하게 되지만, 양측 교대부의 부등침하를 관리하여 상부구조물의 안정성과 사용성을 만족한다면, 변위가 일부 발생된다고 해서 교량으로써의 적용성이 떨어지는 것은 아니다[2].

보강토교대의 적용조건에 대하여, FHWA (2001) [3]에서는 전면판과 교대와의 이격거리를 50 cm이상, 전면판과 교량받침의 중심간 거리를 100 cm이상 그리고 교대의 접지압을 200 kPa 이하로 제한하고 있다. 또한, 보강토교대의 수치해석적 연구는 국내외에서 활발하게 수행되고 있다[4-7]. 적용조건과 연구결과에 따르면, 보강토교대는 중요 구조물로써 교대의 변형이 작은 금속(비신장성) 보강재만을 사용하도록 하고 있다. Park (2018)[8]은 고속도로 도로부에 시공된 패널식 보강토옹벽의 높이별 안전율과 경제성을 검토하였다. 그 결과, 금속 보강재의 인발안전율이 가장 중요한 설계인자로 판단되었으며, 최상단 보강재가 가장 큰 수평토압을 지지하였다. Park (2018)[9]은 순수형 보강토교대의 슬래브교에 대한 적용성 및 외적/내적 안정성을 검토하였다. 상부구조의 하중에 의해, 인발과 파단 안전율이 급격히 감소되었다. 인발 안전율은 상부구조의 하중에 의한 수평토압에 의해, 금속 보강재의 높이별로 안전율의 차이가 나타났다. 특히, 최상단 보강재의 인발안전율이 가장 작게 산정되었다.

앞서 언급된 연구들은 보강토교대의 거동과 외적/내적 안전율에 대한 연구를 수행하였다. 하지만, 보강토교대는 보강재와 채움재인 흙 간의 마찰력으로 횡방향 토압을 지지하는 토류구조물이다. 특히 채움재인 흙의 공학적 특성이 따른 금속 보강재의 인발 거동에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 규명이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 본 연구에서는 보강토교대의 채움재에 따른 금속 보강재의 인발 거동을 검토하고자 한다.

2. 보강토교대의 이론적 배경

2.1 보강토교대의 개념

보강토교대는 Fig. 5와 같이 말뚝기초가 제거되고, 현장 타설콘크리트의 수량 감소로 인해 공사비가 절감되고, 공기가 단축되어 경제성과 시공성이 우수한 장점이 있다. 또한 연성 구조물로써 내진성능이 우수하며, 연약지반에서의 적용성과 침하, 부등침하에 대한 내력이 우수하다. 또한, 교대 배면의 단차가 제거되며, 전면판에 다양한 무늬나 식생 블록이 가능해 미적으로도 상당한 효과를 가진다[4].

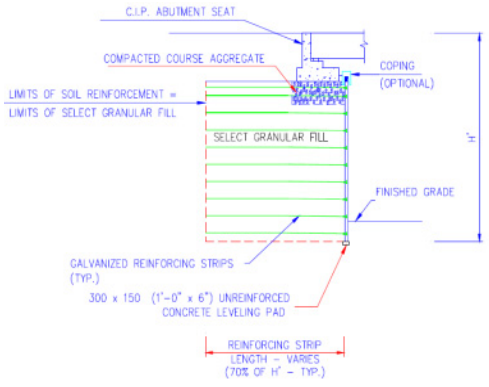


Fig. 1. Shematic of MSEW abutment [4]

2.2 보강토교대의 응력분포 및 설계방법

보강토교대의 보강토체내 수직방향 집중하중의 응력분포는 Boussinesq 2V : 1H 간편법을 적용하여 설계한다[Fig. 5 (a) 참고]. Boussinesq 2V : 1H 간편법은 응력이 보수적으로 산정되어 안전측 설계가 가능하다. Boussinesq 간편법으로 응력은 식 (1)로 계산된다.

$$\Delta\sigma_v = \frac{P_v}{D},\ D = \begin{Bmatrix} B' + Z \\ \dfrac{B' + Z}{2} + d \end{Bmatrix} \begin{matrix} f \text{ or } Z \leq\ FZ_0 \\ f \text{ or } Z \geq\ Z_0 \end{matrix} \quad (1)$$

수평방향 집중하중의 응력분포는 Rankine Plane을 적용하여 설계하는데[Fig. 2 (b) 참고], 여기서. Rankine Plane은 식 (2)로 계산된다.

$$\Delta\sigma_{h,\max} = \frac{2F}{I} \quad (2)$$

여기서, $F = P_h + F_1 + F_2$로 상부구조로 인해 발생되는 수평하중의 합이고, $I = (c + B')\tan(45^\circ + \frac{\phi}{2})$ 이다. $\Delta\sigma_{h,\max}$는 수평하중의 최대 증가, P_h는 줄기초의 선형 길이당 수평 집중하중, F_1은 토압에 의한 횡 방향 힘, F_2는 교통초과에 의한 횡방향 힘, c는 전면판과 기초의 앞 모서리 사이의 거리, I는 수평 하중이 완전히 소멸되어지는 깊이 그리고 ϕ는 보강토의 마찰각이다.

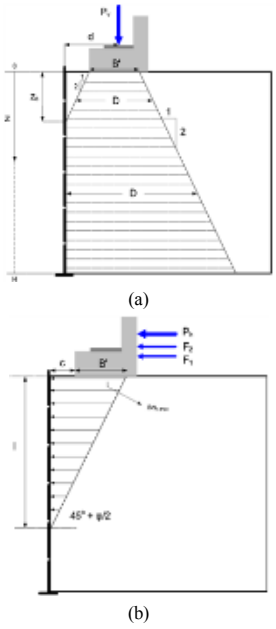


Fig. 2. Stress distribution of reinforced soil caused by load of super-structure [10]
(a) Vertical earth pressure
(b) Horizontal earth pressure

전술하였듯이, 보강토교대는 상대적으로 변형에 발생되지 않는 비신장성의 금속 보강재를 적용한다. 비신장성 보강재에 대한 내적 안정성 검토는 복합중력식 설계법을 적용한다[3]. 보강토교대의 설계는 복합중력식 설계방법을 주로 사용하는데, 해당 설계방법은 보강재의 강성에 따라 벽체 배면의 주동토압 분포 및 파괴형태가 달라지며, 신장성 보강재의 경우 Coulomb 파괴면에 따라 비신장성 보강재는 Bilinear 파괴면을 가진다고 가정한다. 또한 교량 받침부의 형상에 의해 파괴면의 위치가 결정된다.

보강토교대의 설계에 있어서 토압과 함께 가장 중요한 설계인자는 보강재의 최대 인장지점이다. Fig. 3는 교량 받침부의 형상에 따라 최대 인장력의 발생 위치가 달라지는 것을 보여주는 그림이다[10]. 최대 인장응력 지점의 위치는 파괴면과 동시에 발생한다고 가정되어진다. 파괴면을 따라 저항영역과 활동영역으로 구분된다.

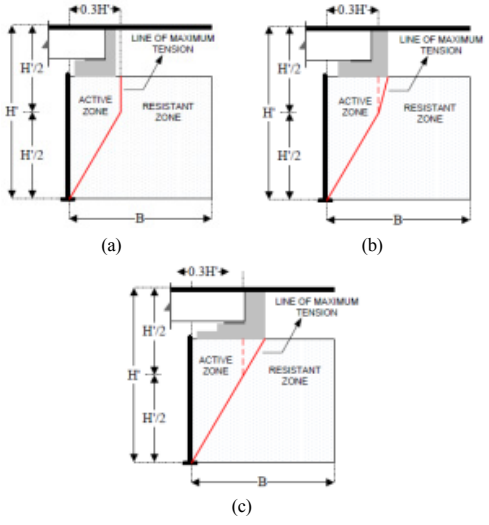


Fig. 3. Location of line of maximum tension on a MSEW abutment depending on seat geometry [10]
(a) Case 1 (b) Case 2 (c) Case 3

2.3 인발저항력 및 안전율 산정

보강토교대는 상부구조의 하중에 의해서 산정된 유발인장력($T_{\max,i}$)을 금속 보강재와 채움재의 마찰에 의한 인발저항력($P_{r,static}$)으로 지지한다. 인발저항력($P_{r,static}$)은 식 (3)으로 산정한다.

$$P_{r,static} = C \times F^* \times \sigma_{v,i} \times L_e \times R_c \times \alpha \quad (3)$$

여기서, C는 보강재 형상계수, F^*는 인발저항계수이다. $\sigma_{V,i}$는 보강재 깊이별 연직응력(kN/m^2)으로써 $\sigma_{V,i}$는 Fig. 2.에 제시된 상부구조에 의한 보강토교대의 응력분포에 따라 산정된다. L_e는 보강재 저항영역 길이(m)이며, L_e는 Fig. 3.에 제시된 최대인장력의 발생지점에 따라 저항영역(resistant zone)에 근입된 금속 보강재의 길이이다. R_c는 보강재가 설치된 면적비이다.

식 (3)에서 금속 보강재와 채움재의 인발저항계수는 채움재의 마찰특성과 입도분포특성에 따라 달라진다. FHWA (2001) [3]에서는 돌기가 없는 금속 보강재(smooth steel strip)의 경우에는 $F^* = 0.4$를 사용할 수 있으며(French MOT, 1980), 돌기가 달린 강재 보강재(ribbed steel strip)의 경우에는 식 (4)와 (5)를 적용하여 인발저항계수(F^*)를 적용한다.

$$F^* = \begin{cases} F_0^* \left(1 - \frac{z}{z_0}\right) + \frac{z}{z_0} tan\phi_r, & \text{for } z \le z_0 = 6.0m \\ \tan\phi_r, & \text{for } z > z_0 = 6.0m \end{cases} \quad (4)$$

$$F_0^* = 1.2 + \log C_u \quad (5)$$

여기서, ϕ_r는 보강재와 지반사이의 마찰각(°), α는 축척현상계수이며 본 연구에서와 같이 돌기를 가진 금속 보강재는 1을 적용한다. C_u는 균등계수이다.

보강토교대의 금속 보강재에 대한 인발 안전율은 활동력인 인발저항력($P_{r,static}$)과 식 (3)으로 산정된 인발저항력($P_{r,static}$)의 비로써 식 (6)과 같다.

$$FS_{PO,static} = \frac{P_{r,static}}{T_{\max,i}} \quad (6)$$

구조물 기초 설계기준 (2015)[12]에서 인발 안전율($FS_{PO,static}$)을 1.5이상으로 제한하고 있다.

3. 해석계획 및 방법

3.1 해석계획

보강토교대에서 상부구조를 지지하기 위한 보강토체의 안정성과 사용성을 확보하기 위해서는 보강재와 채움재와의 마찰에 의한 인발저항능력 확보가 가장 중요할 것이다. 본 연구에서는 실제 보강토교대 단면(Fig. 4)에 대하여 채움재의 강성(내부마찰각) 및 입도분포(균등계수) 그리고 보강재의 수평간격에 따른 보강토교대의 안정성을 매개해석을 통하여 검토하였다(Table 1 참조).

Table 1. Parametric Analysis Plan

Internal Friction (°)	uniformity coefficient (Cu)	Horizontal Spacings (m)
20, 25, 30	2, 4, 6, 8	0.25, 0.50, 0.75

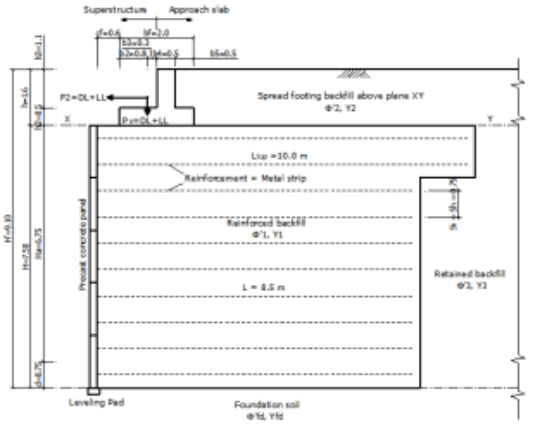


Fig. 4. Cross Sectional View of MSEW abutment

3.2 설계조건

본 연구에서 검토된 보강토교대 단면의 구조해석을 통해 산정된 슬래브교의 반력을 적용하여, 보강토교대의 외적/내적 안정성을 검토하였다. 설계 방법은 FHWA(2001) [3]와 구조물기초설계기준 (2015) [11]을 적용하였으며, 보강토옹벽의 설계 및 해석은 MIDAS사의 Soilworks REwall 모듈을 이용하였고, 지반 물성은 Table 2와 같다. 여기서, 뒤채움재의 강성은 Table 1과 같이 변수로 적용했다.

Table 2. The input data for design of soils on the MSE wall

Classification	γ_t (kN/m^3)	ϕ (deg)	c (kPa)
Foundation soil	19.0	30.0	0.0
Reinforced soil	19.0	varable	0.0
Retained soil	19.0	30.0	0.0

Table 3은 순수형 보강토교대의 안정성 검토에 적용된 하중조건을 나타낸 것이다. 구조해석에서 수행된 연장 15.0m의 슬래브교의 해석 결과를 기준으로 수평하중과 수직하중을 적용하였다.

Table 3. Load condition applied to stability evaluation of true MSEW abutment

Load Case	Load Type	Load (kN)	Line Load (kN/m)	Contact Pressure (kPa)
Horizontal load	DL+LL	806	64.76	
Vertical load	DL	3500	281.12	192.77
	LL	1300	104.42	

보강토교대의 보강토체의 내/외적 안전율에 대한 최소 안전율은 Table 4와 같이 도로설계편람(MLTMA, 2008) [12]에 제시된 최소 안전율과 같다.

Table 4. Minimum factor of safety on MSE wall

Division		Static	Seismic
External stability	Sliding (FS_{sl})	1.5	1.1
	Overturning (FS_{ot})	1.5	1.1
	Eccentricity (e/L)	0.167	0.250
	Bearing capacity (FS_{bc})	2.5	2.5
Internal stability	Pullout (FS_{po})	1.5	1.1
	Overall ($FS_{overall}$)	1.0	1.0

보강토교대의 비신장성 보강재는 돌기형 강재 보강재(ribbed metal strip)을 적용하였는데, 강재 보강재의 단위 폭당 장기허용인장력은 식 (3)와 같이 산정할 수 있다.

$$T_d = \frac{FS \cdot F_y \cdot A_c \cdot R_c}{b} \quad (3)$$

여기서, F_y는 보강재의 항복강도 (kN/m^2)이며, FS는 강도감소계수, b는 돌기형 강재 보강재의 단면 폭 (mm), A_c는 상용 중 손실되는 면적을 반영한 보강재의 단면적이며, R_c는 보강재 간격에 대한 폭의 비 ($R_c = b / S_h$), S_h는 보강재의 수평간격이다.

Table 5은 돌기형 강재 보강재의 장기 허용인장력을 산정한 것이다. 순수형 보강토교대의 공용연한은 100년이고, 부식을 고려한 단면적 (A_c)은 398.40 mm^2이다. 수평간격 (S_h)은 0.75m로 가로와 세로의 폭이 1.5 m이 패널식 전면판에 총 4개가 배치되도록 하였다. 식 (3)으로 산정된 장기허용인장력(T_d)은 131.5 kN/m이다. 장기허용인장력은 내적 안정성에서 파단에 대한 검토에서 중요한 설계인자이다.

Table 5. Long-term allowable tensile force of the ribbed metal strip

F_y (MPa)	FS	A_c (mm^2)	b (m)	S_h (m)	R_c	T_d (kN/m)
450	0.55	398.4	0.10	0.75	0.13	131.5

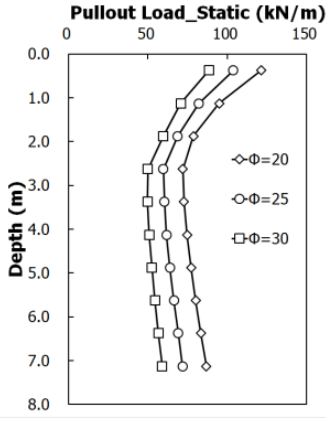
4. 해석결과

4.1 채움재 강성에 따른 인발거동

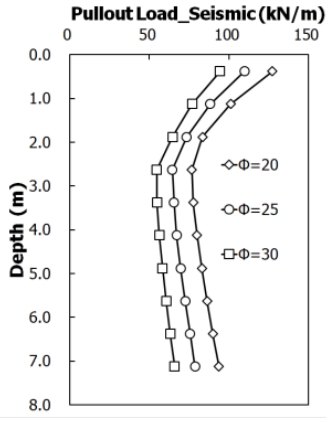
보강토체 채움재의 강성을 좌우하는 채움재의 내부마찰각 변화 (20 ~ 30°)에 따른 보강토체 높이별 상시와 지진시의 인발력 분포를 살펴보면 (Fig 5), 최상단 전면판의 보강재 (1 ~ 2단)에서 가장 큰 인발력이 작용되는 것으로 나타났다. 여기서, 보강재의 수평간격 s_h는 0.25 m이다. 지진시보다는 상시에 더 큰 인발하중이 작용되었으며, 내부마찰각의 감소에 따라 더 큰 인발력에 유발되었다.

보강토체 채움재의 내부마찰각 변화 (20 ~ 30°)에 따른 최상단 보강재 (1단)의 인발 안전율 변화를 나타낸 것이다 (Fig. 6). 여기서, 상부구조의 하중으로 인발력이 가장 크게 작용하는 Fig. 4와 5의 최상단 전면판의 최상부의 보강재만을 도시하였고, 보강재의 수평간격 s_h는 0.25 m이다.

뒤채움재의 내부마찰각이 20° 일때는 최상단 보강재의 인발안전율이 최소안전율 1.5를 만족하지 못하였다. 뒤채움재의 내부마찰각이 25° 일 때, 최상단 보강재의 인발안전율이 최소안전율 1.5를 만족하였다. 지진시에도 상시와 동일하게 내부마찰각 25° 이상에서 최상단 보강재의 인발 안전율이 최소안전율 1.5를 만족하였다(Fig. 6). 본 검토결과를 토대로 보강토교대의 내부마찰각은 내적안정성 검토를 통해 일정 강도이상을 확보하도록 제한하여야 할 것으로 판단된다.



(a)



(b)

Fig. 5. Pullout load by variation of internal friction angles of backfill.
(a) Static condition (b) Seismic condition

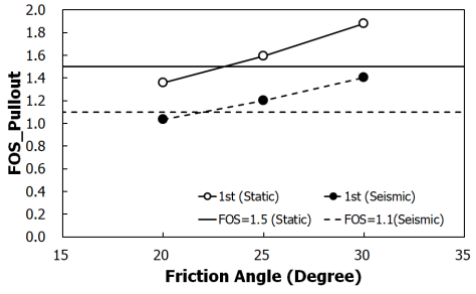


Fig. 6. Pullout Safety Factors by variation of Internal Friction Angles of Backfill

4.2 채움재 균등계수에 따른 인발거동

보강토 채움재의 입도분포를 좌우하는 균등계수 변화 (2 ~ 8)에 따른 상단 보강재 (2단)의 인발 안전율 변화를 나타낸 것이다(Fig. 7). 이때의 보강재의 수평간격 (s_h)는 0.5m이다. 균등계수의 증가에 따라 인발 안전율이 증가되었다. 그 이유는 식 (4)와 (5)에 제시된 인발저항계수(F^*)가 균등계수의 증가에 따라 선형적으로 증가되기 때문이다. 따라서, 균등계수의 경우 4이상을 확보하여야 설계기준의 최소 인발알전율을 만족하는 것으로 나타났다.

본 검토결과를 토대로, 보강토교대의 채움재는 내적 안정성 검토를 통해 일정 입도분포를 지닌 채움재를 사용하도록 제한하여야 할 것으로 판단된다.

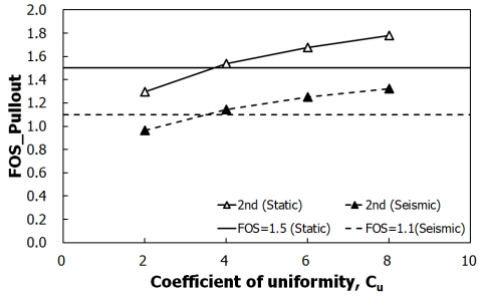


Fig. 7. Pullout Safety Factors by variation of uniformity coefficient of Backfill

4.3 보강재 수평간격에 따른 인발거동

금속 보강재의 수평간격 (S_h)의 변화 (0.25 ~ 0.75 m)에 따른 최상단 보강재의 인발 안전율 변화를 검토하였는데, 최상단 보강재의 인발 안전율은 수평간격 (S_h)가 0.25 m일 때만 상시 및 지진시 인발안전율을 만족하는 것으로 나타났다(Fig. 8). 앞서 검토된 내부마찰각과 균등계수과 동일하게 수평간격 (S_h)에 따라 보강토체의 인발거동에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

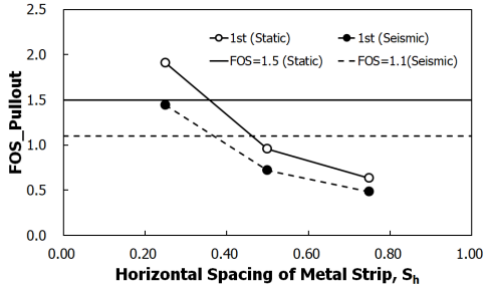


Fig. 8. Pullout Safety Factors by variation of reinforcement spacing

5. 결 론

본 연구에서는 보강토교대 채움재의 강성 및 입도분포와 보강재의 간격에 따른 인발거동을 검토하였고, 그 결론은 다음과 같다.

1) 보강토교대는 상부구조의 하중을 금속 보강재로 지지하기 때문에, 보강토체의 최상단에 가장 유발 인장력이 발생되었다. 그 이유는 복합중력식 설계법에 따라, 금속 보강재는 보강토체의 상부에 정지토압계수를 사용하기 때문이다. 그리고, 상부구조의 하중에 의한 추가적인 토압이 작용하기 때문이다.
2) 보강토교대의 채움재의 특성에 따른 영향성을 검토한 결과, 강도정수인 내부마찰각 (ϕ_1)이 25° 이상일 때 최상단 전면판에 설치된 보강재가 최소 인발 안전율을 만족하는 것으로 나타났으며 (보강재 간격 0.25m), 균등계수 (c_u)는 4이상일 때 최소 인발 안전율을 만족하는 것으로 나타났다 (보강재 간격 0.5m).
3) 보강토교대의 금속 보강재에 대한 인발 안전율은 활동력인 인발저항력($P_{r,static}$)과 인발저항력($P_{r,static}$)의 비이다. 인발저항력은 금속보강재와 채움재간의 인발저항계수(F^*)에 따라 지배되기 때문에, 이를 증가시킬 수 있는 양질의 채움재를 선별적으로 사용하여야 한다.
4) 금속 보강재의 수평간격 (S_h)은 0.25 m일 때만 최상단 보강재의 상시 및 지진시 인발안전율을 만족하는 것으로 나타났다. 최상단 금속 보강재는 상부구조의 하중에 의한 최대 유발인장력을 지지해야 되므로, 수평간격 (S_h)을 0.25 m로 설계 및 시공하는 것이 필요하다.

References

[1] Expressway & Transportation Research Institute, “Evaluation and Improvement of Ride Discomfort at Bridge Approaches in Service”. Korea Expressway Corporation, 2012.

[2] Expressway & Transportation Research Institute, “Developement of A New Concept Abutment”, EXTRI-2016-47-534.9607, Korea Expressway Corporation, 2016.

[3] FHWA, “Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design and Construction Guidelines”, FHWA-NHI-00-043, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transfortation, Washington, DC, 2001.

[4] Yoo, C. S., Jeon, H. Y., “Long-Term Behavior of Geogrid Reinforced Soil Abutment - A Numerical Investigation”, Journal of the Korean geotechnical society, Vol. 27, No. 1, pp. 65-76, 2011.
DOI: https://doi.org/10.7843/kgs.2011.27.1.065

[5] Abdelouhab, A., Dias, D. Freitag, N., “Numerical analysis of the behaviour of mechanically stabilized earth walls reinforced with different types of strips." Geotextiles and Geomembranes, Vol. 29, No. 2, pp.116-129, 2011.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2010.10.011

[6] Yoo, C. S., “Numerical Modeling of Long-Term Behavior of Geosynthetic Reinforced Soil Wall used in Bridge Abutment”, Korae Geosynthetics Society, Vol.10, No.4, 2011.
UCI: http://uci.or.kr/G704-002164.2011.10.4.004

[7] Yoo, C. S., Jeon, H. Y., “Long-Term Behavior of Geogrid Reinforced Soil Abutment - A Numerical Investigation”, Journal of the Korean geotechnical society, Vol. 27, No. 1, pp. 65-76, 2011.
DOI: https://doi.org/10.7843/kgs.2011.27.1.065

[8] Park, M. C., “A Study on Stability and Economic feasibility according to Height on the MSE Wall with Pacing Panel”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 19, No. 5, pp. 54-63, 2018
DOI: http://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.5.54

[9] Park, M. C., “ A Study on Applicability and External / Internal Stability of true MSEW abutment with Slab”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 19, No. 5, pp. 263-274, 2018
DOI: http://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.5.54

[10] Brabant, K., "Mechanically Stabilized Earth walls for support of highway bridges." Advanced Foundation Engineering UMASS Lowell – Course(14.533), 2001.

[11] Korean Geotechnical Society, Structure foundation design standards specification, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2015.

[12] MLTMA, “Road design manual”, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2008.

김 태 수(Kim-Tae Su) [정회원]

- 1993년 2월 : 서울대학교 공과대학원 토목공학과 (토목공학석사)
- 2017년 8월 : 금오공과대학교 토목공학과 (토목공학박사)
- 1996년 11월 ~ 현재 : 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원

<관심분야>
토목공학, 기후변화, 정보통신

이 수 양(Soo-Yang Lee) [정회원]

- 2012년 8월 : 고려대학교 사회환경시스템공학과(공학석사)
- 2017년 8월 : 아주대학교 건설교통공학과 (박사수료)
- 1997년 7월 ~ 현재 : 한국도로공사 근무중(팀장)

<관심분야>
교통, 토질 및 기초, 사면안정, 보강토 옹벽

남 문 석(Moon S. Nam) [정회원]

- 2000년 2월 : 경성대학교 공과대학원 토목공학과 (지반공학석사)
- 2004년 8월 : 휴스턴대학교 공과대학원 토목공학과 (지반공학박사)
- 2005년 3월 ~ 2006년 1월 : 한국건설기술연구원 박사후연구원
- 2006년 10월 ~ 현재 : 한국도로공사 도로교통연구원 책암연구원

<관심분야>
구조물기초, 토류구조물

한 희 수(Heui-Soo Han) [정회원]

- 1989년 2월 : 서울대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 토목공학과 (공학석사)
- 1999년 12월 : South Dakota School of Mines Technology (공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
토질 및 기초, 사면안정, 보강토옹벽