

Mô phỏng, phân tích ổn định của mái dốc đất không bão hòa sau mưa

Modelling and analysing the stability of unsaturated slope after rains

Phạm Ngọc Thắng

Tóm tắt

Trong các bài toán phân tích ổn định của mái dốc đất chịu mưa, các cơn mưa lớn, kéo dài đến khi ổn định mái dốc đất giảm đến trị số thấp nhất ở trạng thái cân bằng thủy lực mới, thường được coi là kiểu mưa nguy hiểm nhất để sử dụng khi nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến sự giảm của hệ số ổn định mái dốc (FS). Tác động của các cơn mưa ngắn và mưa theo đợt, trong đó FS có thể tiếp tục giảm sau khi mưa kết thúc, chưa được nghiên cứu đầy đủ. Đề tài này kết hợp hai mô đun Seep/W và Slope/W của bộ phần mềm Địa kỹ thuật GeoStudio để mô phỏng, phân tích mái dốc đất dính chưa bão hòa chịu các kiểu mưa khác nhau nhằm phân tích sự tiếp tục giảm của ổn định của mái dốc đất sau mưa. Kết quả mô phỏng số cho thấy, sau khi mưa kết thúc hệ số ổn định của mái dốc đất có thể giảm liên tục hoặc giảm rồi lại phục hồi. Khi có tổng lượng mưa như nhau, các cơn mưa ngắn có thể an toàn hoặc nguy hiểm hơn cơn mưa dài hơn tùy thuộc vào tốc độ ngấm nước mưa và sự phân bố lại áp lực nước lỗ rỗng trong đất. Đáng chú ý là các cơn mưa theo đợt ít nguy hiểm trong ngắn hạn nhưng trở nên ngày càng nguy hiểm trong dài hạn.

Từ khóa: ổn định mái dốc đất, đất không bão hòa, các loại mưa

Abstract

In analysing the stability of slopes subjected to rainfall, heavy rains, lasting until the slope stability reaching its lowest state at new hydraulic balance, are considered the most dangerous and used to investigate factors that influence the decrease of the Factor of Safety (FS) of the slope. Impacts of short and intermittent rains in which FS still remains decreased after the rain has ended, have not fully studied. This study utilized Seep/W and Slope/W, sub-programs of GeoStudio2018, a geotechnical software, to model and analyze the stability of an unsaturated slope subjected to different types of rains in an attempt to analyse the ongoing decrease in FS after the rains.

The numerical results unveiled that after the rains have ended, FS may keep decreasing or recovering after a reduction. With the same total amount of rain, short rains may be safer or more dangerous than longer ones, depending on the capacity of the slope to retain rain water and distribute pore water pressure within the soil mass. It should be noted that intermittent rains are less dangerous in the short term but become more detrimental in the long term.

Key words: slope stability, unsaturated soil, types of rain

TS. Phạm Ngọc Thắng

Bộ môn Địa kỹ thuật, Khoa Xây dựng

Email: pngochang@gmail.com

ĐT: 0862508860

Ngày nhận bài: 27/5/2021

Ngày sửa bài: 31/5/2021

Ngày duyệt đăng: 02/01/2024

1. Đặt vấn đề

Ảnh hưởng của mưa làm giảm ổn định mái dốc đất đang nhận được sự quan tâm đặc biệt của các nhà khoa học cũng như xã hội khi một loạt các sự cố trượt lở đã xảy ra trong năm vừa qua, gây thiệt hại to lớn về con người và tài sản. Sự thấm của nước mưa vào mái dốc đất làm tăng trọng lượng của khối trượt tiềm năng. Ngoài ra, mưa làm tăng áp lực nước lỗ rỗng trong cả khối đất bão hòa và khối đất không bão hòa gây ra sự giảm ứng suất hiệu quả của đất bão hòa và sự giảm lực hút dính (độ chênh lệch của áp suất khí và áp lực nước trong lỗ rỗng) của đất không bão hòa. Tổng hợp các yếu tố trên làm giảm ổn định của mái dốc đất khi lực gây ra trượt tăng lên trong khi khả năng chống trượt của đất, thành phần tỷ lệ nghịch với áp lực nước lỗ rỗng, giảm đi

Khi nghiên cứu ổn định của mái dốc đất chịu mưa, để xem xét ảnh hưởng của cường độ mưa, thời gian mưa, tính thấm của đất, mực nước ngầm ban đầu đến ổn định của mái dốc đất, các trận mưa lớn thường được mô phỏng kéo dài liên tục cho đến khi hệ số ổn định của mái dốc giảm đến trị số nhỏ nhất ứng với khi mái dốc đất đạt trạng thái ổn định về thủy lực mới. Việc mô phỏng như vậy dẫn đến sự đánh giá quá cao ảnh hưởng của mưa đến ổn định mái dốc đất và bỏ qua hiện tượng tiếp tục giảm của ổn định của mái dốc sau cơn mưa nếu mưa dừng trước khi sự thấm nước chưa đạt trạng thái ổn định. Trong thực tế các trận mưa với cường độ lớn, kéo dài liên tục không nghỉ trong vài ngày hầu như không xảy ra. Các dạng mưa phổ biến hay gặp là các trận mưa lớn kéo dài vài tiếng đến hơn chục tiếng, hoặc xảy ra theo đợt, mưa rồi lại tạnh. Để các mô phỏng sát với điều kiện thực tế, sự giảm của hệ số ổn định mái dốc đất sau mưa cần được nghiên cứu kỹ càng.

Đề tài này sử dụng kết hợp hai mô đun Seep/W và Slope/W của bộ phần mềm Địa kỹ thuật GeoStudio2018, phát triển bởi GEOSLOPE International Canada để phân tích quá trình thấm nước mưa và ổn định của mái dốc đất không bão hòa chịu các kiểu mưa khác nhau. Mục tiêu chính của đề tài là mô phỏng và phân tích sự giảm ổn định của mái dốc đất không bão hòa sau mưa và ảnh hưởng của các kiểu mưa đến hiện tượng này. Ngoài ra, đề tài cũng tiến hành tổng hợp, phân tích các trường hợp giảm độ bền chống cắt của đất bão hòa và không bão hòa ngấm nước mưa giúp hiểu rõ hơn ứng xử của độ bền chống cắt của đất trong các điều kiện mưa khác nhau.

2. Sự giảm độ bền chống cắt của đất do mưa

2.1. Đất bão hòa

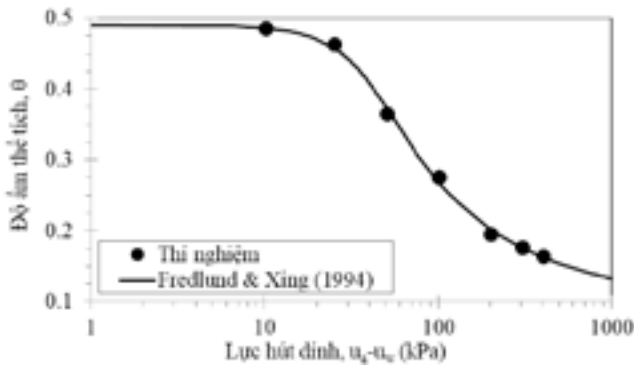
Độ bền chống cắt của đất tại một điểm được định nghĩa bằng giá trị ứng suất chống cắt tối đa mà đất tại điểm đó có thể huy động được bên trong khối đất trước khi hiện tượng cắt (trượt) cục bộ xảy ra. Sự phát triển của trượt cục bộ trong mái dốc đất sẽ dẫn tới sự hình thành mặt trượt của cả mái dốc.

Độ bền chống cắt (trượt) tại một điểm trong khối đất rời (đất dăm, cuội, sạn, sỏi, và các loại đất cát) là sức kháng nội ma sát chống lại sự trượt lên nhau của các hạt đất do đó tỷ lệ với ứng suất nén hiệu quả vuông góc với mặt trượt như biểu diễn ở công thức (1).

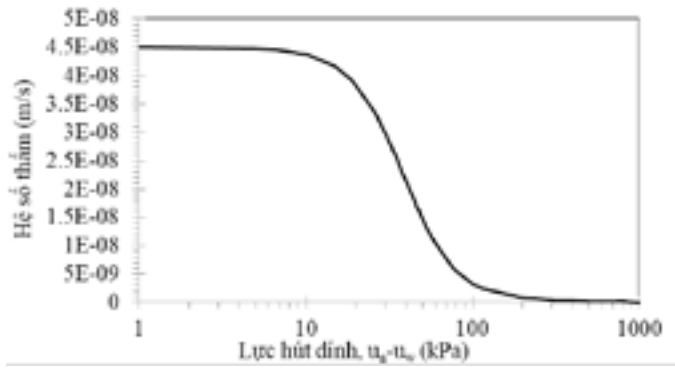
$$\tau = \sigma' \tan \phi(0) \quad (1)$$

Trong đó:

τ : độ bền chống cắt



Hình 1. Đường đặc trưng đất nước SWCC của đất mái dốc



Hình 2. Hệ số thấm của đất trong đới không bão hòa

ϕ' : góc ma sát trong của đất phụ thuộc vào cấp phối hạt

σ' : ứng suất nén hiệu quả vuông góc với mặt trượt

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2)$$

Trong đó:

σ : ứng suất nén tổng vuông góc với mặt trượt do trọng lượng bản thân của vật liệu và tải trọng ngoài gây ra.

u : áp lực nước lỗ rỗng tại điểm đang xét

Trong điều kiện trời mưa, mặc dù nước mưa ngấm vào mái dốc có xu hướng làm bão hòa phần đất nằm trên mực nước ngầm làm tăng ứng suất tổng, sự tăng của ứng suất tổng bao giờ cũng nhỏ hơn sự tăng của áp lực nước lỗ rỗng do đất trên mực nước ngầm bao giờ cũng đã được bão hòa một phần. Kết quả là sự ngấm nước mưa làm giảm ứng suất hiệu quả trong mái dốc đất như thể hiện ở công thức (2) và do đó làm giảm độ bền chống cắt như thể hiện ở công thức (1).

Ngoài sức kháng ma sát, độ bền chống cắt (trượt) tại một điểm trong khối đất dính (đất sét, sét pha, cát pha) làm việc trong điều kiện thoát nước còn có thành phần lực dính không phụ thuộc vào trạng thái ứng suất trong đất như thể hiện ở công thức (3).

$$\tau = \sigma' \tan \phi' + c' = (\sigma - u) \tan \phi' + c' \quad (3)$$

Trong đó c' là lực dính thoát nước (kPa) tương ứng với độ bền chống cắt của đất khi ứng suất hiệu quả bằng không.

Trong điều kiện không thoát nước độ bền chống cắt của đất dính không có thành phần ma sát nhưng có trị số lực dính không thoát nước c_u lớn hơn trị số lực dính thoát nước c' nhiều lần. Công thức thể hiện độ bền chống cắt của đất dính trong điều kiện không thoát nước được trình bày ở công thức (4).

$$\tau = c_u \quad (4)$$

Trong đó c_u là lực dính không thoát nước (kPa)

Công thức (3) và (4) cho thấy rằng ảnh hưởng của mưa đến độ bền chống cắt của các loại đất dính bão hòa phụ thuộc vào điều kiện thoát nước lỗ rỗng khi có sự tăng ứng suất tổng do mái dốc ngấm nước mưa.

Trong điều kiện mưa với cường độ nhỏ, quá trình lún cổ kết do tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng “dư” xảy ra đồng thời

với quá trình tăng của ứng suất tổng (điều kiện thoát nước) thì độ bền chống cắt của đất tính theo công thức (3). Khi đó mức độ giảm của độ bền chống cắt của đất tỷ lệ với sự tăng của áp lực nước lỗ rỗng theo thời gian. Rõ ràng thời gian mưa càng kéo dài, độ bền chống cắt của đất càng giảm. Sau khi dừng mưa, độ bền chống cắt của đất sẽ tăng trở lại cùng với sự giảm của áp lực nước lỗ rỗng trong mái dốc đất.

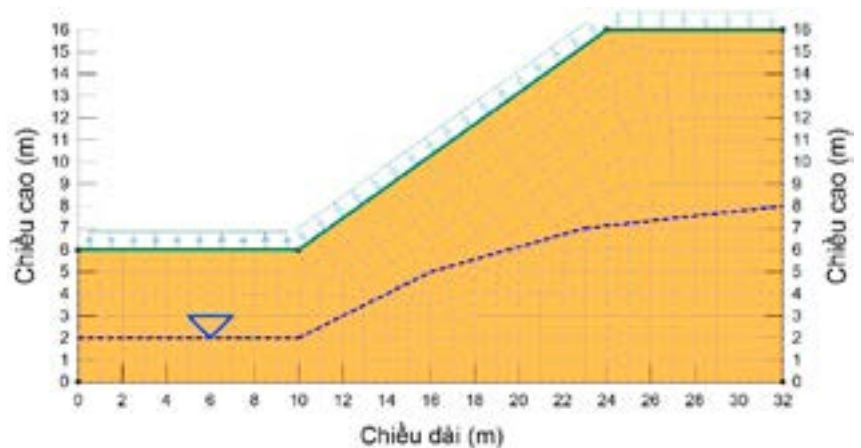
Trong điều kiện mưa với cường độ lớn, quá trình tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng “dư” xảy chậm và có độ trễ so với quá trình tăng của ứng suất tổng (điều kiện không thoát nước) thì độ bền chống cắt của đất tính theo công thức (4). Khi đó độ bền chống cắt của đất là lực dính không thoát nước c_u có giá trị không thay đổi và không bị ảnh hưởng bởi sự tăng của áp lực nước lỗ rỗng trong mái dốc. Trong trường hợp này hệ số ổn định của mái dốc bị giảm khi thời gian mưa tăng lên không phải do sự giảm độ bền chống cắt của đất mà do sự tăng trọng lượng của khối trượt ngấm mưa.

2.2. Đất không bão hòa

Trong đất không bão hòa lỗ rỗng của đất gồm có nước lỗ rỗng thực tế không nén được và khí lỗ rỗng có tính ép co mạnh. Như vậy trong lỗ rỗng có hai loại áp lực: áp lực nước lỗ rỗng (u_w) và áp lực khí lỗ rỗng (u_a). Do nước ít tan và tồn tại sức căng bề mặt của nước khi bị ép bởi khí, Bishop (1959) đã đề nghị xác định áp lực lỗ rỗng trong đất bão hòa theo công thức (5).

$$u = u_a - \chi(u_a - u_w) \quad (5)$$

Trong đó: χ là thông số phụ thuộc vào độ bão hòa (S_r) và kết cấu đất



Hình 3. Mặt cắt tiết diện và mô phỏng mưa của mái dốc

Có thể xác định χ bằng thực nghiệm và nó dường như biến đổi tuyến tính từ 0 với đất khô ($S_r=0$) tới 1 với đất bão hòa ($S_r=1$).

Từ công thức (5) độ bền chống cắt của đất không bão hòa được xác định theo công thức (6).

$$\tau = [(\sigma - u_a) + \chi(u_a - u_w)] \tan g(\varphi') + c' \quad (6)$$

Trong đó: $(\sigma - u_a)$ là ứng suất thực, $(u_a - u_w)$ là lực hút dính.

Theo Bishop và Blight (1963) công thức (6) có nhiều hạn chế khi các kết quả thí nghiệm trong phòng cho thấy sự thay đổi của lực hút dính và ứng suất thực không gây ra sự thay đổi tương đương của ứng suất hiệu quả và độ bền chống cắt của đất. Năm 1977, Fredlund và Morgenstern đề xuất sử dụng một góc nội ứng suất riêng cho lực hút dính b và xác định độ bền chống cắt tại một điểm trong đất không bão hòa theo công thức (7).

$$\tau = (\sigma - u_a) \tan g(\varphi') + c' + (u_a - u_w) \tan g(\varphi^b) \quad (7)$$

Kết quả của các thí nghiệm trong phòng cho thấy trị số của $\tan g(\varphi^b)$ nhỏ hơn $\tan g(\varphi)$. Vanapali năm 1996 đề xuất việc xác định $\tan g(\varphi^b)$ theo đường đặc trưng đất nước của đất không bão hòa (Soil water characteristic curve):

$$\tan g(\varphi^b) = \left(\frac{\theta_w - \theta_r}{\theta_w - \theta_r} \right) \tan g(\varphi') \quad (8)$$

Trong đó:

θ_w là độ ẩm thể tích của đất tương ứng với lực hút dính đang xét

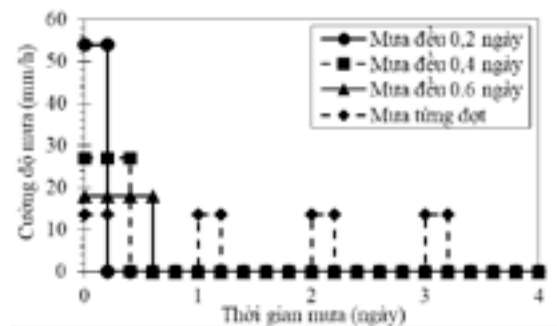
θ_s là độ ẩm thể tích của đất ở trạng thái bão hòa

θ_r là độ ẩm thể tích dư của đất bão hòa xác định từ đường đặc trưng đất nước.

Khi đó công thức (7) được viết dưới dạng:

$$\tau = (\sigma - u_a) \tan g(\varphi') + c' + (u_a - u_w) \left(\frac{\theta_w - \theta_r}{\theta_w - \theta_r} \right) \tan g(\varphi') \quad (9)$$

Trong điều kiện tự nhiên áp lực khí lỗ rỗng trong đất không bão hòa $u_a=0$, trong khi đó áp lực nước lỗ rỗng có giá trị âm. Theo công thức (7) và (9) áp lực nước lỗ rỗng càng nhỏ thì độ bền chống cắt của đất càng lớn. Lý do là sự tồn tại của sức căng bề mặt của nước tại diện tích tiếp xúc với áp lực khí lỗ rỗng có xu hướng kéo các hạt đất lại gần nhau làm tăng trị số của ứng suất hiệu quả. Như vậy khi đất mái dốc ngấm nước mưa, áp lực nước lỗ rỗng âm tăng lên dẫn đến sự giảm độ bền chống cắt của đất không bão hòa.



Hình 4. Mặt cắt tiết diện và mô phỏng mưa của mái dốc

3. Tính chất cơ lý của đất mái dốc

Đất mái dốc được sử dụng trong đề tài này là đất sét pha có các chỉ tiêu cơ lý được cung cấp trong luận án của Tiến sĩ Phạm Huy Dũng về đề tài “Nghiên cứu lý thuyết các đặc trưng cơ lý của đất ảnh hưởng đến ổn định mái dốc đất không bão hòa” và được trình bày trong Bảng 1. Đường đặc trưng đất nước (Soil Water Characteristic Curve) và hàm thấm, hai tham số quan trọng bậc nhất trong phân tích ứng suất của đất không bão hòa được trình bày ở Hình 1 và Hình 2.

Bảng 1. Chỉ tiêu cơ lý của đất mái dốc

Chỉ tiêu cơ lý	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Độ ẩm tự nhiên	W	22,12	%
Trọng lượng riêng tự nhiên	γ	17,0	kN/m ³
Tỷ trọng	G_s	2,68	-
Độ lỗ rỗng	N	48,0	%
Giới hạn chảy	W_L	30,81	%
Giới hạn dẻo	W_p	20,61	%
Chỉ số dẻo	I_p	10,20	%
Góc ma sát trong	φ'	28,3	(độ)
Lực dính thoát nước	c'	9,5	kPa
Lực dính không thoát nước	C_u	80	kPa
Hệ số thấm bão hòa	k_s	$4,2 \cdot 10^{-6}$	m/s

4. Bài toán nghiên cứu

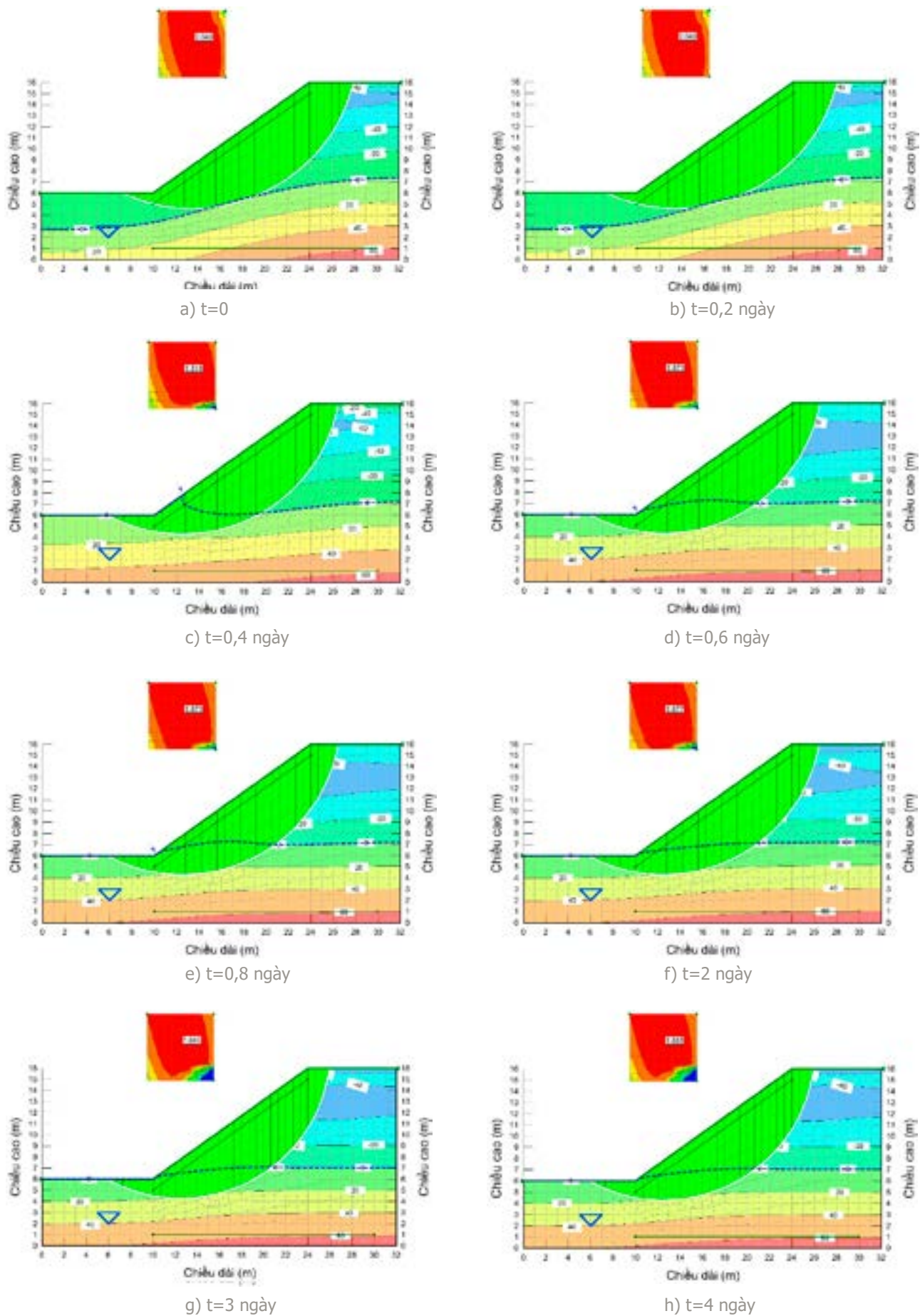
Mái dốc đất sét pha chịu mưa cao 10m có tiết diện mặt cắt và vị trí mực nước ngầm ban đầu được thể hiện ở Hình 3. Bốn kiểu mưa khác nhau nhưng có cùng tổng lượng mưa là 259mm được biểu diễn ở Hình 4 (ba kiểu mưa tập trung có cường độ mưa lần lượt là 54mm/h, 27mm/h, và 18mm/h; kiểu mưa theo đợt có cường độ mưa là 13,5mm/h).

Ở mỗi trường hợp mưa khác nhau, mái dốc đất đầu tiên được mô phỏng bởi mô đun Seep/W nhằm có được sự phân bố áp lực nước lỗ rỗng, sự thay đổi về độ ẩm trong phạm vi mái dốc trong khoảng thời gian khảo sát 4 ngày. Kết quả phân tích mái dốc của Seep/W được liên kết với Slope/W để phân tích ổn định chống trượt tại các thời điểm khác nhau nhằm đánh giá sự thay đổi của hệ số ổn định mái dốc theo thời gian cho mỗi kiểu mưa.

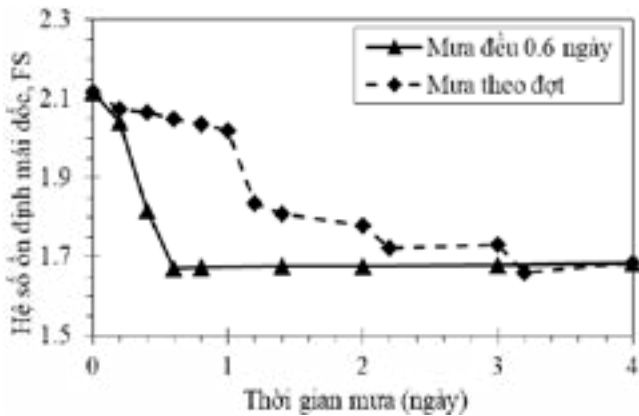
5. Kết quả và thảo luận

Hình 5 trình bày kết quả phân tích phân bố áp lực nước lỗ rỗng trong mái dốc đất, vị trí mực nước ngầm, mặt trượt nguy hiểm nhất và hệ số ổn định khi mái dốc chịu trận mưa liên tục trong 0,6 ngày (14,4 giờ) có cường độ 18mm/h tại các thời điểm khác nhau (trước khi mưa, trong quá trình mưa, và sau khi mưa đã dừng).

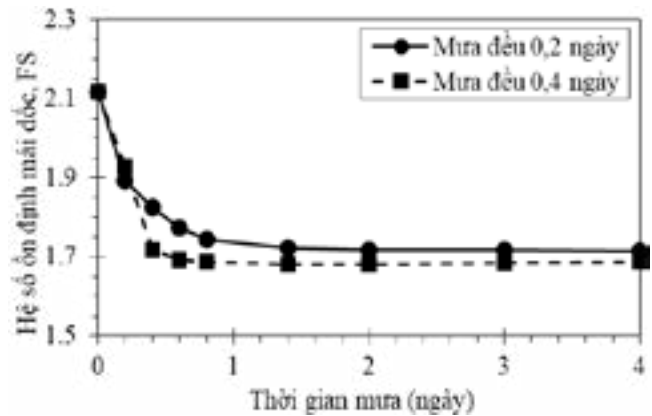
Có thể thấy rằng trong quá trình mưa, mực nước ngầm dâng lên nhanh ở chân mái dốc dưới sự kết hợp của việc ngấm nước mưa trực tiếp và dòng chảy hướng xuống trong khối đất. Trong phạm vi đất không bão hòa, áp lực nước lỗ rỗng tăng và một số khu vực gần sát mặt trên đỉnh dốc được bão hòa cục bộ. Khi nhận thêm nước mưa, trọng lượng khối trượt tăng lên, trong khi khả năng chống cắt của đất giảm trong cả khối bão hòa và không bão hòa bởi sự tăng lên của áp lực nước lỗ rỗng. Kết quả là hệ số ổn định của mái dốc giảm nhanh trong quá trình mưa (Hình 6). Sau khi mưa kết thúc, hệ số ổn định của mái dốc nhanh chóng được phục hồi. Điều này có thể được giải thích khi quan sát sự tiêu tán áp



Hình 5. Kết quả phân tích mái dốc đất chịu trận mưa liên tục trong 0,6 ngày cường độ 18mm/h



Hình 6. Sự thay đổi của hệ số ổn định mái dốc trong các cơn mưa kéo dài 0,6 ngày và mưa theo đợt



Hình 7 Sự thay đổi của hệ số ổn định mái dốc trong các cơn mưa kéo dài 0,2 và 0,4 ngày

lực nước lỗ rỗng khá nhanh ở khu vực gần chân mái dốc sau mưa như thể hiện ở Hình 5d và 5e.

Hiện tượng tiếp tục giảm của hệ số ổn định mái dốc không xuất hiện trong trường hợp mưa này. Đó là do sau khi mưa kết thúc có hai quá trình vận chuyển nước xảy ra đồng thời trong mái dốc đất: quá trình tiếp tục phân phối nước mưa trong mái dốc làm giảm hệ số ổn định và quá trình tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng làm tăng ổn định. Ở đây, quá trình ngấm nước mưa có ảnh hưởng nhỏ hơn nên hệ số ổn định của mái dốc được phục hồi ngay sau khi dừng mưa.

Các kết quả phân tích ổn định của mái dốc chịu các cơn mưa theo đợt (xem Hình 6) cho thấy xuất hiện sự giảm liên tục của hệ số ổn định sau khi mưa dừng. Sau khi kết thúc đợt mưa 0,2 ngày, hệ số ổn định mái dốc vẫn tiếp tục giảm nhẹ, trước khi giảm nhanh khi chịu đợt mưa thứ 2. Sau đợt mưa thứ 2, hệ số ổn định của mái dốc tiếp tục giảm giống như hiện tượng xảy ra với đợt mưa 1. Đến đợt mưa thứ 3 và thứ 4, không còn xuất hiện sự giảm của hệ số ổn định. Ngược lại, hệ số ổn định có xu hướng phục hồi khi mưa kết thúc. Rõ ràng sự giảm hay phục hồi của hệ số ổn định phụ thuộc vào việc sự phân phối nước mưa vào mái dốc có ảnh hưởng lớn hơn sự tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng hay không. Hiện tượng này, vì vậy, phụ thuộc vào cường độ mưa, tính thấm của đất, vị trí mực nước ngầm ban đầu và hình dạng của mái dốc.

Hình 7 trình bày sự biến đổi của hệ số ổn định mái dốc chịu các cơn mưa liên tục kéo dài 0,2 ngày và 0,4 ngày.

Sau khi kết thúc đợt mưa 0,2 ngày, hệ số ổn định mái dốc tiếp tục giảm trong hơn nửa ngày, trước khi đạt trạng thái ổn định 1 ngày sau. Hiện tượng tương tự xảy ra đối với trận mưa 0,4 ngày, tuy nhiên trường hợp này có hệ số ổn định mái dốc sau mưa luôn nhỏ hơn hệ số ổn định mái dốc trường hợp mưa 0,2 ngày tại cùng thời điểm. Hiện tượng này có thể do trận mưa 0,2 ngày có cường độ mưa lớn hơn khả năng tiếp thụ của đất mái dốc do đó một lượng nước mưa sẽ chảy xuống dọc theo mặt mái dốc không gây tác động đến trạng thái ứng suất trong khối đất.

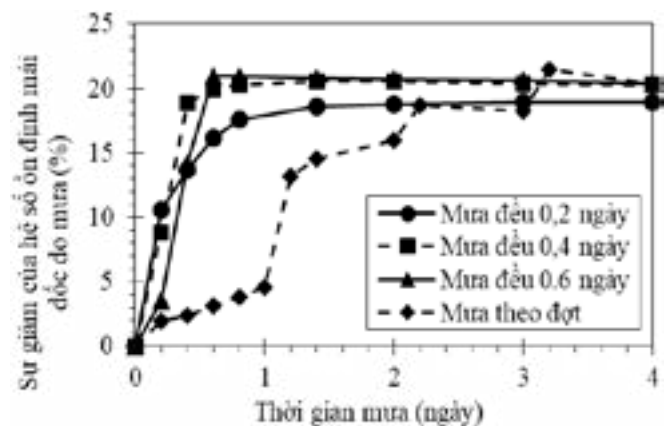
Sự giảm của hệ số ổn định mái dốc khi chịu các kích bản mưa khác nhau trong đề tài này được trình bày ở Hình 8.

Ở đây sự giảm của hệ số ổn định mái dốc

$$= \left(\frac{FS_0 - FS_t}{FS_0} \right) \cdot 100\%$$

Trong đó:

FS_0 là hệ số ổn định mái dốc ở thời điểm ban đầu



Hình 8. Sự giảm của hệ số ổn định mái dốc đất do mưa

FS_t là hệ số ổn định mái dốc ở thời điểm t sau khi mưa

Hình 8 cho thấy, xét trong thời gian ngắn hạn (nhỏ hơn 3 ngày) trận mưa nguy hiểm nhất đối với mái dốc là trận mưa 0,6 ngày, gây ra sự giảm 21% của FS, trong khi trận mưa ít nguy hiểm nhất là mưa theo đợt gây ra sự giảm 18,7% của FS. Tuy nhiên, khi xét trong thời gian lớn hơn 3 ngày, mưa theo đợt lại gây ra sự giảm lớn nhất của FS với 21,5% trong khi trận mưa tập trung trong 0,2 ngày ít nguy hiểm nhất khi chỉ gây ra 18,95% sự giảm của FS. Sự thay đổi của FS theo thời gian khi mái dốc chịu các cơn mưa theo đợt như biểu diễn ở Hình 8 chỉ ra rằng mức độ nguy hiểm của kiểu mưa này đến mái dốc đất được tích lũy theo thời gian và sẽ là kiểu mưa nguy hiểm nhất trong các trận mưa dài ngày.

6. Kết luận và kiến nghị

Kết luận

Mưa làm tăng trọng lượng khối trượt của mái dốc, làm tăng áp lực nước lỗ rỗng trong đất bão hòa và không bão hòa dẫn đến sự giảm của hệ số ổn định mái dốc.

Có 2 quá trình thủy lực cùng xảy ra trong mái dốc đất trong và sau khi mưa kết thúc. Đó là quá trình phân phối nước mưa vào sâu trong mái dốc và quá trình tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng dư do mưa gây ra. Trong khi quá trình đầu làm giảm ổn định của mái dốc, quá trình sau giúp cho mái dốc đất phục hồi lại. Vì vậy sự ổn định của mái dốc đất tiếp tục giảm hay phục hồi phụ thuộc vào mức độ ảnh hưởng của 2 quá trình trên.

Với cùng tổng lượng mưa, trong ngắn hạn, các cơn mưa tập trung gây nguy hiểm hơn cho mái dốc đất so với ảnh hưởng của các cơn mưa theo đợt. Khi xét quãng thời gian dài ngày, quá trình tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng chiếm ưu thế làm giảm ảnh hưởng của mưa tập trung, các cơn mưa theo đợt trở nên ngày càng nguy hiểm hơn khi lượng mưa mới bổ sung vào lượng mưa được tích lũy trong khối trượt trước đó. Điều này giải thích hiện tượng quan sát được trong thực tế khi có nhiều mái dốc an toàn trong các cơn mưa to nhưng lại

bị mất ổn định trong các cơn mưa nhỏ theo đợt.

Kiến nghị

Khi phân tích ổn định mái dốc đất chịu mưa, nên sử dụng số liệu đo đạc mưa thực tế tại khu vực để xây dựng các kịch bản mái dốc chịu mưa khác nhau nhằm đánh giá chính xác sự thay đổi của hệ số ổn định theo thời gian, xác định sớm các kịch bản mưa nguy hiểm để kịp thời ngăn ngừa và cảnh báo sự cố./.

Tài liệu tham khảo

1. Bishop, A. W. (1959). The principle of effective stress. *Teknisk ukeblad*, 39, 859-863.
2. Bishop, A. W., & Blight, G. E. (1963). Some aspects of effective stress in saturated and partly saturated soils. *Geotechnique*, 13(3), 177-197.
3. Brooks, R. H., & Corey, A. T. (1964). *Hydraulic properties of porous media* (Doctoral dissertation, Colorado State University Libraries).
4. Fredlund, D. G., & Morgenstern, N. R. (1978). Stress state variables for unsaturated soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 104(ASCE 14170 Proc Paper).
5. Mualem, Y. (1976). A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water resources research*, 12(3), 513-522.
6. Phạm Huy Dũng (2019), Luận án Tiến Sĩ, Nghiên cứu lý thuyết các đặc trưng cơ lý của đất ảnh hưởng đến ổn định mái dốc đất không bão hòa.
7. Vanapalli, S. K. (2009, November). Shear strength of unsaturated soils and its applications in geotechnical engineering practice. In *Keynote Address. Proc. 4th Asia-Pacific Conf. on Unsaturated Soils*. New Castle, Australia (pp. 579-598).

Tính toán liên kết chốt kích hoạt bằng năng lượng...

(tiếp theo trang 23)

Do $V_u = 1,8 \text{ kN} < \phi P_{nb} = 0,8.2,9 = 2,3 \text{ kN}$ nên liên kết đủ chịu lực.

Độ bền nhỏ nhất khi chịu cắt

$$2,78 \text{ mm} < t_2 = 5 \text{ mm} < 19,1 \text{ mm} \rightarrow \text{Đạt.}$$

$$2,69 \text{ mm} < d_s = 4 \text{ mm} < 5,23 \text{ mm} \rightarrow \text{Đạt.}$$

Do PAF được lắp đặt vào thép cơ bản qua độ sâu 0,6t2 nên độ bền nhỏ nhất danh nghĩa do cắt được xác định theo công thức:

$$P_{nos} = \frac{d_{ae}^{1,8} t_2^{0,2} (F_{y2} E^2)^{1/3}}{30} = \frac{4^{1,8} 5^{0,2} (250.203000^2)^{1/3}}{30}$$

$$= 12135 \text{ N} = 12,1 \text{ kN.}$$

Do $V_u = 1,8 \text{ kN} < \phi P_{nov} = 0,6.12,1 = 7,3 \text{ kN}$ nên liên kết đủ chịu lực.

Độ bền xé rách tấm trên

Xé rách do cắt

$$dh = 1,1ds = 1,1.4 = 4,4 \text{ mm.}$$

$$A_{nv} = 2nte_{net} = 2.1.0,5(25 - 4,4/2) = 22,8 \text{ mm}^2.$$

$$P_{nv} = 0,6F_u A_{nv} = 0,6.450.22,8 = 6156 \text{ N} = 6,2 \text{ kN.}$$

Do $V_u = 1,8 \text{ kN} < \phi P_{nv} = 0,5.6,2 = 3,1 \text{ kN}$ nên liên kết đủ chịu lực.

Xé rách do kéo

$$A_{nt} = A_g - n_b d_h t = 30.0,5 - 1.4.4.0,5 = 12,8 \text{ mm}^2.$$

Tra bảng 2 có $U_{sl} = 1$.

$$\rightarrow A_e = U_{sl} A_{nt} = 1.12,8 = 12,8 \text{ mm}^2.$$

$$\rightarrow P_{nt} = F_u A_e = 450.12,8 = 5760 \text{ N} = 5,8 \text{ kN.}$$

Do $V_u = 1,8 \text{ kN} < \phi P_{nt} = 0,5.5,8 = 2,9 \text{ kN}$ nên liên kết đủ chịu lực.

Kết luận chung: Liên kết đủ chịu lực.

4. Kết luận và kiến nghị

Trên đây đã trình bày cấu tạo, các dạng phá hủy và tính toán liên kết chốt kích hoạt bằng năng lượng khi chịu kéo hoặc cắt. Các công thức tính toán chịu kéo hoặc cắt là rõ ràng, cụ thể. So với liên kết vít, liên kết PAF có thêm dạng phá hủy nhỏ nhất do cắt và không có dạng phá hủy xé rách do cắt khối. Tuy nhiên, tài liệu [3] chưa đưa ra cách tính toán PAF khi chịu cắt và kéo kết hợp. Ví dụ minh họa cho thấy việc tính toán liên kết PAFs là đơn giản và dễ áp dụng trong thực hành tính toán kết cấu công trình.

Các nhà sản xuất cần tiến hành các thí nghiệm để đưa ra giá trị độ bền nhỏ nhất danh nghĩa của các PAF khác nhau để các kỹ sư có số liệu tính toán. Cần có các nghiên cứu tiếp theo về trạng thái chịu lực kéo và cắt kết hợp trong PAF./.

Tài liệu tham khảo

1. Powder-Actuated Tool Manufacturers' Institute Inc, Powder-actuated fastening systems Basic Training Manual, Saint Charles - Missouri, 2014.
2. Light Gauge Steel Engineers Association, Technical Note on Cold-Formed Steel Construction, Washington DC, 2001.
3. American Iron and Steel Institute, North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, Washington DC, 2016.
4. American Institute of Steel Construction, Specification for Structural Steel Buildings, Chicago, 2016.