

GIẢI PHÁP XÁC ĐỊNH KHỐI LƯỢNG ĐÀO ĐẮP BẰNG MÔ HÌNH SỐ ĐỊA HÌNH

NGUYỄN QUANG THẮNG, Trường Đại học Mỏ - Địa chất
HỒ QUANG TRUNG, Lớp Cao học Kỹ thuật trắc địa K23

Tóm tắt: Trong trắc địa công trình, để tính khối lượng đào đắp có thể sử dụng nhiều phương pháp khác nhau, trong đó phương pháp tính khối lượng theo mô hình số địa hình có ý nghĩa quan trọng và được sử dụng phổ biến. Ở phương pháp này, thể tích khối địa hình bằng tổng thể tích các khối lăng trụ hình tam giác, với tam giác địa hình (mặt trên) không song song với tam giác đáy. Có những giải pháp khác nhau để tính thể tích khối lăng trụ này. Trong bài báo nêu công thức tính chính xác thể tích khối lăng trụ nêu trên, là cơ sở để chuẩn hóa công thức tính khối lượng đào đắp nhờ mô hình số địa hình.

1. Đặt vấn đề

Trong trắc địa công trình, công tác tính toán tính khối lượng đào đắp trong giai đoạn khảo sát thiết kế cũng như đo vẽ hoàn công có ý nghĩa quan trọng và phải đáp ứng các tiêu chuẩn nhất định [1]. Để tính khối lượng đào đắp có thể sử dụng một trong những phương pháp sau:

- Tính khối lượng theo mặt cắt (đọc hoặc ngang): coi bề mặt địa hình giữa hai mặt cắt biến đổi tuyến tính, thể tích khối giới hạn bởi hai mặt cắt bằng tích của diện tích trung bình của hai mặt cắt đó và khoảng cách giữa chúng. Khối lượng chung bằng tổng các khối lượng thành phần.

- Tính khối lượng theo các đường đồng mức: thể tích khối địa hình giữa hai đường đồng mức bằng tích của diện tích trung bình của hai hình giới hạn bởi các đường đồng mức trên và dưới và khoảng cao đều giữa hai đường đồng mức. Khối lượng tổng hợp bằng tổng các khối lượng thành phần.

- Tính khối lượng đào đắp theo lưới ô vuông: chia khu vực cần tính khối lượng thành các ô vuông với chiều dài cạnh phù hợp. Xác định độ cao các đỉnh ô vuông bằng cách đo trực tiếp hoặc nội suy theo đường đồng mức hay mô hình số địa hình. Thể tích của mỗi khối ô vuông bằng tích của chiều cao trung bình của khối và diện tích ô vuông.

- Tính khối lượng đào đắp theo mô hình số địa hình: dựa vào dữ liệu đầu vào (đo đạc trực tiếp hoặc đo trên ảnh) thành lập mô hình số địa hình dưới dạng lưới tam giác không quy chuẩn

(TIN). Theo bề mặt địa hình và bề mặt thiết kế tính thể tích đào đắp trong từng khối tam giác, lấy tổng lại sẽ được thể tích và khối lượng đào đắp của toàn bộ công trình.

Khi tính khối lượng đào đắp theo mô hình số địa hình TIN, có một số giải pháp trình bày trong các tài liệu [2, 3]. Tuy nhiên chưa có sự phân tích, đánh giá và từ đó nhận xét về khả năng ứng dụng của những giải pháp này. Trong bài báo, ngoài những phân tích, đánh giá về các giải pháp tính còn chứng minh công thức cho phép chuẩn hóa cách tính khối lượng đào đắp theo mô hình số địa hình.

2. Một số giải pháp đã biết tính khối lượng đào đắp theo mô hình số địa hình TIN

Như đã biết, thành lập mô hình số địa hình TIN là một trong những giải pháp tin cậy để biểu diễn bề mặt đất theo số liệu đo đạc khảo sát (trong giai đoạn khảo sát thiết kế) hoặc đo vẽ hoàn công bằng phương pháp trực tiếp, đáp ứng yêu cầu xác định khối lượng đào đắp với độ chính xác cao. Dựa vào dữ liệu đo, có thể lập được mô hình số địa hình TIN theo các thuật toán khác nhau. Từ mô hình số địa hình, thể tích của cả khối địa hình tính được bằng tổng thể tích các khối lăng trụ hình tam giác, với tam giác địa hình (mặt trên) không song song với tam giác đáy (hình 1). Có những giải pháp khác nhau để tính thể tích khối lăng trụ tam giác này.

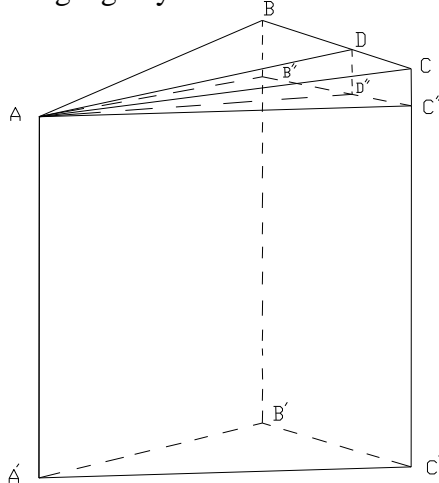
2.1. Công thức tính khối lượng đào đắp theo mô hình số địa hình

Trong tài liệu [3], thể tích khối lăng trụ tam giác địa hình được tính bằng tích của trị trung

bình cộng chiều cao ba đỉnh tam giác so với mặt đáy nằm ngang H_0 và diện tích đáy (hình 1):

$$V = \frac{1}{3} \cdot (h_1 + h_2 + h_3) \cdot S_0 \quad (1)$$

trong công thức (1): h_1, h_2, h_3 - chênh cao của A, B, C so với mặt nằm ngang ($A'B'C'$) có độ cao là H_0 ; S_0 - diện tích của tam giác $A'B'C'$ trên mặt nằm ngang này.



Hình 1

Tài liệu trên chỉ nêu công thức (1) mà không có nhận xét gì về công thức này. Do vậy dường như nó được coi là công thức tính sơ bộ, không phải là công thức tính chính xác thể tích khối lăng trụ tam giác địa hình. Từ đó có một số tác giả đi tìm giải pháp để tính chính xác hơn thể tích khối lăng trụ này khi tính khối lượng đào đắp theo mô hình số địa hình.

2.2. Một giải pháp tính khối lượng đào đắp theo mô hình số địa hình

Một trong số tác giả đã đề xuất giải pháp để tính chính xác hơn thể tích khối lăng trụ địa hình TIN khi tính khối lượng đào đắp theo mô hình số địa hình, được nêu ở tài liệu [2].

Trong tài liệu này, tác giả trình bày giải pháp tính khối lượng đào đắp trên mô hình số địa hình như sau:

1) Từ các điểm “không” (ranh giới giữa phần đào và đắp của mặt địa hình và mặt thiết kế) xác định được đường ranh giới “không” trên toàn bộ công trình. Từ đường ranh giới này và bề mặt thiết kế, lập mô hình số địa hình theo bề mặt thiết kế, đồng thời ta cũng lập lại mô hình số địa hình bề mặt đất theo đường ranh giới với bề mặt thiết kế.

2) Chọn mặt phẳng nằm ngang có độ cao H_0 làm cơ sở để tính khối lượng, độ cao H_0 được chọn theo nguyên tắc:

$$H_0 < \min(H_{TKé}, H_{TTé})$$

tức là H_0 nhỏ hơn độ cao thiết kế và độ cao thực tế nhỏ nhất.

3) Tính khối lượng đào theo bề mặt địa hình thực tế của từng khối tam giác so với mặt nằm ngang H_0 , tính khối lượng đào tổng V_1 bằng tổng khối lượng đào của các khối tam giác thực tế.

4) Tính khối lượng đào theo bề mặt địa hình thiết kế của từng khối tam giác so với mặt nằm ngang H_0 , tính khối lượng đào tổng V_2 bằng tổng khối lượng đào của các khối tam giác thiết kế.

5) Tính khối lượng đào đắp giới hạn bởi bề mặt địa hình thực tế và bề mặt thiết kế theo công thức:

$$V = V_1 - V_2 \quad (2)$$

Thể tích của từng khối tam giác được tính trong các bước 3 và 4 theo công thức:

$$V_i = S_i \cdot h_i \quad (3)$$

trong đó: V_i - thể tích của khối tam giác thứ i tính từ mô hình số địa hình thực tế và thiết kế;

S_i - diện tích của tam giác thứ i ;

h_i - chiều cao của tam giác so với mặt nằm ngang H_0 .

Để việc tính khối lượng đào đắp, tác giả của [2] đã xác định h_i tại trọng tâm của tam giác theo nguyên tắc trung bình trọng số, với trọng số độ cao bằng nghịch đảo bình phương khoảng cách từ điểm trọng tâm đến đỉnh tam giác:

$$h_i = \frac{\sum_1^3 h_i^j \cdot p_j}{\sum_1^3 p_j} \quad (4)$$

trong đó: h_i^j - độ cao của đỉnh thứ j của tam giác so với mặt nằm ngang H_0 ;

p_j - trọng số của h_i^j tính theo công thức:

$$p_j = \frac{1}{d_j^2}$$

d_j - khoảng cách từ điểm trọng tâm đến đỉnh thứ j của tam giác.

Tác giả của công trình [2] chưa phân tích được mức độ tin cậy, cũng như ưu điểm và khả

năng ứng dụng của giải pháp tính khối lượng đào đắp theo mô hình số địa hình đã trình bày.

3. Công thức tính chính xác thể tích từng khối tam giác địa hình trong mô hình số TIN

Ở đây chúng ta sẽ xây dựng công thức tính chính xác thể tích khối lăng trụ tam giác địa hình trong mô hình số TIN.

Hình 1 biểu diễn một khối lăng trụ tam giác địa hình trong mô hình số TIN đã được thành lập theo phương pháp phù hợp.

Trên hình 1: A, B, C là 3 điểm trên mặt đất có tọa độ mặt bằng (x_A, y_A); (x_B, y_B) và (x_C, y_C);

H_A, H_B, H_C - độ cao của các điểm A, B, C, trong đó điểm A có độ cao nhỏ nhất:

$$H_A = \min(H_A, H_B, H_C);$$

A', B', C' - hình chiếu của A, B, C trên mặt phẳng nằm ngang có độ cao H_0 ;

A'', B'', C'' - hình chiếu của A, B, C trên mặt phẳng nằm ngang đi qua A.

Ký hiệu:

$$\Delta H_0 = \Delta H_A = H_A - H_0;$$

$$\Delta H_{BA} = H_B - H_A; \Delta H_{CA} = H_C - H_A.$$

Thể tích của khối địa hình giới hạn bởi các tam giác ABC và $A'B'C'$ là tổng của 2 khối:

$$V_{(ABC, A'B'C')} = V_{(AB''C'', A'B'C')} + V_{(A, BCC''B'')}, \quad (5)$$

trong đó:

$V_{(AB''C'', A'B'C')}$ - thể tích của khối lăng trụ giới hạn bởi tam giác trên $AB''C''$ và tam giác dưới $A'B'C'$;

$V_{(A, BCC''B'')}$ - thể tích của hình chóp có đỉnh là A, đáy là tứ giác $BCC''B''$.

Những thể tích này lần lượt được tính như sau:

1) Tính thể tích lăng trụ ($AB''C''$, $A'B'C'$):

Thể tích lăng trụ này được tính theo công thức:

$$V_{(AB''C'', A'B'C')} = \Delta H_0 \cdot S_{A'B'C'} \quad , \quad (6)$$

trong đó:

$S_{A'B'C'}$ - diện tích tam giác hình chiếu của tam giác ABC trên mặt phẳng nằm ngang có độ cao H_0 , được tính theo công thức Héron:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)} ;$$

$$p = \frac{a+b+c}{2}$$

a, b, c - chiều dài các cạnh của tam giác $A'B'C'$, tính được bằng cách giải bài toán trắc địa nghịch dựa vào tọa độ của các điểm A', B', C' .

2) Tính thể tích hình chóp ($A, BCC''B''$):

Thể tích hình chóp ($A, BCC''B''$) được tính theo công thức:

$$V_{(A, BCC''B'')} = \frac{1}{3} \cdot h \cdot S_{BCC''B''} \quad (7)$$

trong đó: h - chiều cao của hình chóp hạ từ đỉnh A đến đáy ($BCC''B''$);

$S_{BCC''B''}$ - diện tích tứ giác đáy ($BCC''B''$).

a. Tính diện tích tứ giác đáy ($BCC''B''$):

$$S_{(BCC''B'')} = \frac{1}{2} \cdot (BB'' + CC'') \cdot B''C'' \quad (8)$$

trong đó: $BB'' = \Delta H_{BA}$; $CC'' = \Delta H_{CA}$;

$$B''C'' = \sqrt{(x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2} \quad . \quad (9)$$

b. Tính đường cao h:

Trong mặt phẳng ($AB''C''$) kẻ $AD'' \perp B''C''$; vẽ mặt phẳng ($AD''D$) chứa đường thẳng AD'' và vuông góc với mặt phẳng đáy ($BCC''B''$), mặt phẳng này cắt mặt bên (ABC) theo giao tuyến AD. Ta thấy $AD'' \perp D''D$, mặt khác $AD'' \perp B''C''$, do vậy AD'' vuông góc với mặt phẳng đáy ($BCC''B''$). Nghĩa là AD'' là đường cao của hình chóp ($A, BCC''B''$).

Ta có công thức tính diện tích tam giác $AB''C''$:

$$S_{AB''C''} = \frac{1}{2} \cdot AD'' \cdot B''C'' = S_{A'B'C'} \quad , \quad (10)$$

$$\text{do vậy: } h = AD'' = 2 \cdot \frac{S_{A'B'C'}}{B''C''} \quad . \quad (11)$$

Thay (6), (7), (8), (11) vào (5), dễ dàng chứng minh được:

$$V_{(ABC, A'B'C')} = \frac{1}{3} \cdot (\Delta H_A + \Delta H_B + \Delta H_C) \cdot S_{A'B'C'} \quad . \quad (12)$$

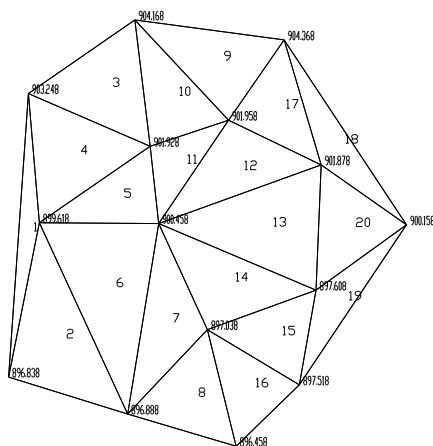
Công thức (12) đồng nhất với công thức (1), là công thức tính chính xác thể tích khối lăng trụ tam giác địa hình. Từ đó cho phép chuẩn hóa việc tính toán khối lượng đào đắp theo mô hình số địa hình TIN.

4. Thực nghiệm

Để minh họa cho giải pháp tính khối lượng đào đắp bằng mô hình số địa hình đã trình bày, chúng tôi đã tiến hành thực nghiệm tính toán

khối lượng đào đắp cho một mô hình gồm 20 điểm theo các cách tính như sau:

a) Từ các điểm nêu trên (có tọa độ và độ cao cho trước) tiến hành lập mô hình số địa hình đảm bảo tiêu chí sát thực nhất so với thực (hình 2). Sau đó tiến hành tính khối lượng đào đắp so với mặt phẳng nằm ngang có độ cao $H_0 = 890.00m$;



Hình 2

b) Từ lưới tam giác đã lập tiến hành tính trực tiếp khối lượng đào đắp (bằng Excel), cũng so với mặt phẳng nằm ngang có độ cao bằng H_0 .

Kết quả tính toán theo hai cách như sau:

Tổng khối lượng đào đắp tính theo cách 1: $16.112,88 m^3$;

Tổng khối lượng đào đắp tính theo cách 2: $16.112,884 m^3$.

Như vậy kết quả tính theo hai cách là thống nhất.

5. Kết luận

Từ những nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm nêu trên, có thể rút ra một số kết luận sau:

1) Sự phân tích, đánh giá các giải pháp tính khối lượng đào đắp theo mô hình số địa hình TIN cho chúng ta thấy bức tranh khái quát về các phương pháp tính khối lượng này, từ đó đánh giá được khả năng ứng dụng của những giải pháp đã nêu.

2) Trong bài báo đã chứng minh công thức (12) là công thức tính chính xác thể tích khối lăng trụ tam giác địa hình thành phần. Từ đó cho phép chuẩn hóa việc tính toán khối lượng đào đắp theo mô hình số địa hình TIN, khẳng định tính ưu việt của phương pháp tính này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TCXDVN 309:2004. Công tác trắc địa trong xây dựng công trình - Yêu cầu chung. Hà Nội, 2004.
- [2]. Vũ Văn Thặng, 2010. Nghiên cứu xây dựng mô hình số địa hình bằng thiết bị và công nghệ hiện đại ứng dụng trong khảo sát, thiết kế, xây dựng công trình giao thông, thủy lợi. Đề tài cấp Bộ, mã số B2008-03-47-TĐ.
- [3]. Department of the army USA, 2002. Engineering and design hydrographic surveying, Washington DC.

SUMMARY

Solution of determining volumes of excavation and backfill by using digital terrain model

Nguyen Quang Thang, *University of Mining and Geology*
Ho Quang Trung, *Master student of Geodesy K23*

There are many ways to calculate the volumes of excavation and backfill in engineering surveying, and digital terrain model plays an important role and it is one of methods which used commonly. In this method, terrain volume is the total of triangular prismatic blocks with upper terrain triangles are not paralleled to the bottom triangles. Many measures are used to calculate the volumes of these prismatic blocks. This paper shows the formula to calculate the prismatic volumes exactly and this is the base to standardize the volumes of excavation and backfill formula by using digital terrain model.