

財団法人砂防フロンティア整備推進機構：高梨和行、○小野貴稔、下尾崎泰宏

京都大学大学院農学研究科：水山高久

1. はじめに

平成13年4月から土砂災害防止法が施行され、都道府県では土砂災害特別警戒区域を速やかに指定するために県版基礎調査マニュアル(案)の策定が進められているところである。急傾斜地の告示式(国土交通省告示第332号第2の1)には多数のパラメータが含まれており、このうち内部摩擦角(Φ)は土砂災害特別警戒区域の設定範囲に大きく影響するものである。また、 Φ の値には大きな幅がある。災害データや土質試験データが数多くある県では、そのデータを用いて内部摩擦角(Φ)の検討を行い、その結果を県版基礎調査マニュアル(案)に反映させ灾害実態に基づいた特別警戒区域の設定をおこなうこととしている。鈴木ら¹⁾によれば、告示式における内部摩擦角(Φ)は、一般的な土質定数として道路土工指針などに示されている値よりも小さな値を用いる必要があり、過去の災害データ等を整理、分析し、それぞれの地域特性を把握して特別警戒区域を設定することが重要であるとされている。さらに、本報告では内部摩擦角(Φ)の検討手法として、災害データに基づく計算による手法と、土質試験による直接算定手法(災害データに基づく検証を同時に実施)を紹介する。

2. 災害データに基づく包含率による手法

災害データからの崩土の到達距離を包含する内部摩擦角(Φ)を算定する手法である。

(1) 災害事例の収集・整理

がけ崩れ災害実態調査(国土交通省国土技術政策総合研究所)及び災害関連緊急急傾斜地崩壊対策事業(S. 48~H. 11)について、崩土の流下が家屋等に妨げられていない一般的な急傾斜地の崩壊であると考えられる事例を抽出し、崩壊部までの高さ、斜面勾配、崩土の到達距離を整理した(全23事例)。

(2) 土石等の移動の高さ(hsm)の設定

災害データから災害の規模が極端に大きなものを除き、最大崩壊深の発生頻度を整理した結果(図-1)、最大崩壊深2.0m以下に約93%の急傾斜地の崩壊が集中しており、最大崩壊深2.0mを境にして相対度数が少なくなっている。これより、通常起こり得る急傾斜地の崩壊を、最大崩壊深2.0m以下と考えた場合、hsmはその1/2として1mと設定される。

(3) 内部摩擦角(Φ)の検討

内部摩擦角(Φ)を 20° 、 25° 、 30° とし土石等の移動の高さ(hsm)を1mとして告示式を用いて到達距離を計算し、災害時の崩土の到達距離との比較を行った(表-1)。

事例では、 $\Phi=25^\circ$ とすれば災害時の崩土の到達距離を100%包含することとなる。

3. 災害データに基づく逆解析による手法

災害データからの崩土の到達距離と告示式を用いて計算した到達距離が一致する内部摩擦角(Φ)を逆解析により求める手法である。

(1) 災害事例の収集・整理

がけ崩れ災害実態調査(国土交通省国土技術政策総合研究所、S. 48~H. 11)について、崩土の流下が家屋等により著しく妨げられていない一般的な急傾斜地の崩

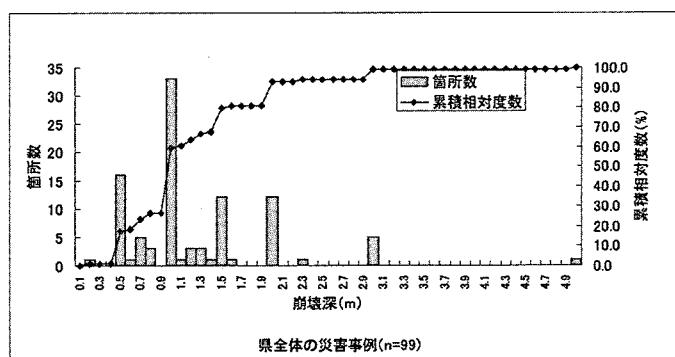


図-1 最大崩壊深の頻度と累積相対度数

表-1 災害時の崩土の到達距離を包含する告示式の内部摩擦角(hsm=1m)

| 土質区分 | No. | 災害実績 到達距離 L | $\Phi^{(*)}$ | | | 逆解析内 部摩擦角 Φ | |
|--------|--------|-------------------|------------------|----------|----------|------------------------|--|
| | | | L内は告示式による土砂の到達距離 | | | | |
| | | | 20 | 25 | 30 | | |
| 粘土・シルト | 2 | 3.0 | OK(2.0) | OK(9.1) | OK(8.8) | 41 | |
| | 26 | 3.0 | OK(8.7) | OK(15.1) | OK(2.1) | 51 | |
| | 38 | 5.0 | OK(2.0) | OK(9.5) | OK(7.4) | 38 | |
| | 49 | 3.0 | OK(2.4) | OK(9.9) | OK(8.0) | 49 | |
| | 52 | 6.0 | OK(0.7) | OK(8.1) | OK(8.1) | 30 | |
| | 63 | 0.8 | OK(6.6) | OK(5.2) | OK(4.2) | 63 | |
| | 64 | 0.9 | OK(6.6) | OK(5.2) | OK(4.2) | 61 | |
| | 87 | 2.0 | OK(2.6) | OK(10.2) | OK(8.4) | 80 | |
| | 94 | 7.0 | OK(3.2) | OK(0.7) | OK(8.7) | 35 | |
| | 18 | 10.8 | OK(1.6) | OK(0.6) | X(8.8) | 25 | |
| 砂質土 | 97 | 5.0 | OK(2.8) | OK(10.3) | OK(8.4) | 42 | |
| | 14 | 6.0 | OK(3.8) | OK(11.1) | OK(9.1) | 40 | |
| | 20 | 2.1 | OK(6.9) | OK(3.4) | OK(10.6) | 50 | |
| | 34 | 6.0 | OK(0.1) | OK(7.9) | OK(8.2) | 31 | |
| | 40 | 8.0 | OK(4.3) | OK(11.5) | OK(9.3) | 33 | |
| | 47 | 6.0 | OK(4.8) | OK(1.9) | OK(9.8) | 43 | |
| | 59 | 8.5 | OK(6.4) | OK(2.8) | OK(9.8) | 32 | |
| | 75 | 5.0 | OK(7.1) | OK(5.0) | X(4.6) | 27 | |
| | 77 | 2.0 | OK(3.6) | OK(4.2) | OK(3.4) | 42 | |
| | 78 | 3.0 | OK(8.3) | OK(6.5) | OK(5.2) | 43 | |
| 砂・礫混 | 79 | 4.0 | OK(18.1) | OK(3.1) | OK(10.7) | 50 | |
| | 90 | 3.0 | OK(9.5) | OK(7.5) | OK(6.0) | 45 | |
| | 98 | 1.3 | OK(7.2) | OK(5.7) | OK(4.5) | 56 | |
| | 包含率(%) | | 100.0 | 100.0 | 91.3 | | |

壞であると考えられる事例を抽出し、崩壊部までの高さ、斜面勾配、崩土の到達距離を整理した（全12事例）。

（2）内部摩擦角（ Φ ）の逆解析

災害時の崩土の到達距離と告示式を用いて計算した到達距離が一致する時の内部摩擦角（ Φ ）を逆算した。逆算する時の諸元である土石等の移動の高さ（ h_{sm} ）は実際の最大崩壊深の1/2とした。

逆解析した内部摩擦角（ Φ ）は、最大値24°、最小値16°、平均値21.5°となった（表-2）。

表-2 逆解析した内部摩擦角（ Φ ）

| No. | 逆算した内部摩擦角（ Φ ） |
|-----|---------------------|
| 1 | 16 |
| 2 | 18 |
| 3 | 21 |
| 4 | 19 |
| 5 | 24 |
| 6 | 19 |
| 7 | 27 |
| 8 | 24 |
| 9 | 26 |
| 10 | 20 |
| 11 | 21 |
| 12 | 23 |
| 最大値 | 24 |
| 最小値 | 16 |
| 平均値 | 21.5 |

4. 土質試験による直接算定手法³⁾

土質試験用のサンプリングを行い、土質試験から内部摩擦角（ Φ' ）を算定する手法である（災害データに基づく検証を同時に実施している）。

（1）各地質ブロックの分類と粒度・土質区分

兵庫県においては、県内の地質状況から地域を9ブロックに分類し、地質ブロック毎に代表箇所を1地区選定し、サンプリング（1ブロックで3サンプル、計27サンプル）及び土質試験（三軸圧縮試験、土粒子の密度試験、自然含水比試験、粒度試験）を行っている。粒度試験結果から、地質ブロック毎に標準的な粒度区分及び土質区分を行っている。

（2）三軸圧縮試験による内部摩擦角（ Φ' ）

27サンプルについて、三軸圧縮試験から、地質ブロック毎に内部摩擦角（ Φ' ）の平均値を求め、5°毎に切り捨てを行い整理値を求めている。結果を表-2に示すように、地質区分、粒度区分、土質区分毎の内部摩擦角（ Φ' ）としてまとめられている。

（3）移動中の内部摩擦角（ Φ ）の算定

土石等の移動による力を算定する際の土石等の内部摩擦角（ Φ ）は移動中の土石等の内部摩擦角（ Φ ）であり、堆積時の内部摩擦角（ Φ' ）をそのまま用いることはできない。そこで、江頭、芦田らによる研究²⁾によると動摩擦係数（ μ_k ）と静摩擦係数（ μ_s ）との比（ $\mu_k/\mu_s=0.8$ ）が示されていることから、土石等の移動による力を算定する際の土石等の内部摩擦角を $\Phi = \tan^{-1}(0.8\tan\Phi')$ として求めることとしている。

5. 終わりに

以上のようにそれぞれの手法について紹介した。これらの検討に当たっては、崩土の到達距離や崩壊位置等、解析に必要な情報が適切な精度で整理されている災害関連資料や既往調査結果が必要である。土砂災害特別警戒区域では財産権の制限を伴うことから、災害実態等に則した内部摩擦角（ Φ ）を設定し区域設定を行うことが重要であり、検討するにあたっては、検討体制の専門性を図ることが必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 水山高久、高梨和行、渡部康弘、臼杵伸浩、鈴木篤：急傾斜地の土砂災害特別警戒区域設定におけるパラメータに関する考察、砂防学会研究発表会概要集（平成14年度）
- 2) 芦田和男、江頭進治、神矢弘：斜面における土塊の滑動・停止機構に関する研究、京大防災研究所年報 第26号B-2（昭59.4）
- 3) 兵庫県但馬県民局豊岡土木事務所：兵庫県基礎調査マニュアル等作成業務報告書（平成15年3月）

表-3 地質毎の内部摩擦角（ Φ' ）

| 地質区分 | 粒度区分 | 土質区分 | 内部摩擦角 |
|------|------|--------------|--------------|
| 1 | ③ | 砂質土 | 30° |
| 2 | ② | 粘性土 | 25° |
| 3 | ① | 粘性土 | 25° |
| 4 | ① | 粘性土 | 25° |
| 5 | ⑤ | 礫質土 (砂質土) | 35° (30°) |
| 6 | ③ | 砂質土 | 30° |
| 7 | ④ | 砂質土 | 30° |
| 8 | ⑤ | 礫質土 (砂質土) | 35° (30°) |
| 9 | ④ | 砂質土 | 30° |

注：地質区分番号5、8は、標準土質区分を礫質土としているが、崖崩堆積物のところでは、砂質土であることが多いので、それを（ ）で示した。