

III-A 217

初期および誘導異方性を考慮した斜面安定解析法

防衛大学校 (正) ○茂龍 勇人・正垣 孝晴

1. はじめに

地盤の安定及び変形問題に関する設計を精度良く行うために、自然地盤の異方性を取り入れた解析が必要である。著者らは、直径75mmの通常の固定ピストン式ソールゲージで採取した乱さない試料から非排水強度異方性を測定し、実務でよく用いられる $\phi_u=0$ ・円弧すべり法に非排水強度の初期異方性を考慮した斜面安定解析法を提案した¹⁾。

しかし、 $\phi_u=0$ ・円弧すべり法は、安全率に及ぼすいくつかの誤差要因を有し、それらがキャンセルアウトして調和のとれた設計法になっている²⁾。多くの研究者からそれらの誤差要因に対する補正係数が提案されている³⁾⁴⁾⁵⁾。異方性の影響はその誤差要因のうちの一つに過ぎない。

本稿では、非排水強度の初期異方性に加えて誘導異方性を考慮した斜面安定解析法を提案し、 $\phi_u=0$ ・円弧すべり法の安全率に及ぼすいくつかの要因のなかで、異方性が安全率に及ぼす影響を事例解析を通して検討した。

2. $\phi_u=0$ ・円弧すべり法に及ぼす誤差要因とその補正係数

半沢³⁾は、一面せん断強度を用いた斜面安定解析法を提案した。半沢は、その中で実際のせん断速度と室内試験のそれとの違いを指摘し、室内試験から得られるせん断強度を補正する補正係数を示している。

土田⁴⁾は、ひずみ速度の補正以外にせん断強度に影響を及ぼす要因として (1)異方性、(2)応力解放、(3)試料の乱れ、(4)平面ひずみ、(5)供試体の破壊面が約60°であるが非排水強度は45°として求める、などを指摘している。

また、浅岡⁵⁾は、せん断強度に影響を及ぼす要因として異方性、平面ひずみ、表面過圧密、強度増加の影響をあげ、Cam clay model および関口・太田モデルを用いて解析的に補正係数を求めている。

表-1に彼らによる補正係数をまとめて示す。半沢は K_0 圧密後の一面せん断強度を用いるため、異方性、応力解放、乱れ、平面ひずみの影響を考慮していない。また、土田は平面ひずみの影響とせん断角の影響がキャンセルアウトするとしている。

3. 初期・誘導異方性を考慮した斜面安定解析法

地盤の安定問題に関する設計では、圧密に伴う地盤の強度増加を期待して段階的に盛土を載荷する緩速施工が採用されることが多い。圧密による強度増加は、一般に c_u/p を用いて考慮される。異方性を考慮した斜面安定解析法¹⁾は、初期異方性を考慮していたが、 c_u/p の異方性(誘導異方性)は考慮していない。本稿では、 c_u/p の異方性を考慮するために、Duncan and Seed⁶⁾によって提案された式を用いた。Duncan and Seedの式は、簡便なパラメータで c_u/p の異方性が考慮できる。斜面安定解析において、強度異方性を初期異方性と誘導異方性は和の形で取り入れた。抵抗モーメント M_r は次式で求めた。

$$M_r = \int \left[c_0 f(\theta) + \left(\frac{c_u}{p} \right)_\theta \Delta p U \right] R^2 d\theta$$

表-1 補正係数の一覧表

誤差要因	設計法		
	半沢法	土田法	浅岡法
ひずみ速度	0.85	0.88	-
異方性	1)	0.85	0.69
応力解放	2)	3)	-
試料の乱れ	2)	3)	-
平面ひずみ	-	4)	1.15
地表面過圧密	-	-	1.13
強度増加	5)	5)	1.12

- 1) 一面せん断強度は異方性の影響を考慮しているため、補正係数は1.0としている。
- 2) K_0 圧密することにより除去される。
- 3) 応力解放と試料の乱れの影響を合わせて1.13。
- 4) 平面ひずみと破壊面60°の影響はキャンセルアウトする。
- 5) 強度増加は設計時に考慮する。

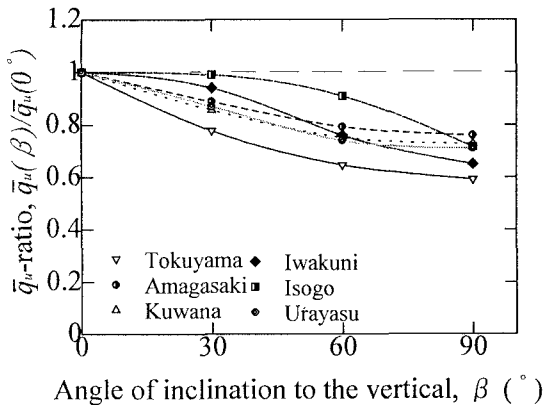


図-1 \bar{q}_u 比と β の関係

ここで、 θ は、円弧すべりの頂角、 c_0 は地盤表層の非排水せん断強度、 $f(\theta)$ は各 θ で非排水強度の初期異方性を表す係数、 $(c_u/p)_\theta$ は各 θ での強度増加率、 Δp は荷重増分、 U は圧密度、 R は円弧半径である。

4. 事例解析と考察

軟弱地盤上で施工された盛土の破壊事例のデータをを用いて、 $\phi_u=0$ ・円弧すべり法の安全率に及ぼす異方性の影響を検討した。事例解析に用いた盛土は、北海道岩見沢⁷⁾、静岡県袋井⁸⁾、愛知県幸田⁹⁾、広島県呉¹⁰⁾、神奈川県船子¹¹⁾で施工されたものである。船子以外の盛土は破壊している。これらの地盤は、泥炭もしくは泥炭と粘性土の互相であり、解析に用いた地盤強度は、事前に行われた土質調査結果から決定した。

著者らは、臨海部に堆積する粘性土に対して、堆積方向からの供試体の切り出し角度 β を変化させた一軸圧縮試験から非排水強度異方性を測定した¹⁾。図-1に各試料の $\beta=0^\circ$ の \bar{q}_u に対する各 β の \bar{q}_u の比と β の関係を示す。ここで、 \bar{q}_u は2~3個の q_u の平均値である。解析に用いた初期異方性は、解析対象領域では測定されていないため、図-1の平均的な曲線を用いた。

初期・誘導異方性を考慮した斜面安定解析を行った。

この場合、異方性以外の誤差要因に対しては表-1に示す補正係数を用いた。表-2に各解析法による安全率の結果を示す。提案法は、本稿で提案した斜面安定解析法であり、慣用法は、実測の \bar{q}_u を用いる通常の $\phi_u=0$ ・円弧すべり法である。浅岡法は、慣用法とほぼ同じ安全率を与える。半沢、土田法と提案法は同様な値を示し、初期・誘導異方性を考慮した斜面安定解析法は、これらの設計法と同程度の強度異方性を与えると判断される。しかし、破壊事例の安全率が1.0以上の値を示している。

泥炭地盤では一般的にその含有物や構造に起因して粘性土より大きな異方性を持つことが指摘されている¹¹⁾。そこで、破壊事例に対して安全率を1.0として地盤の異方性を推定した。図-2にその結果を示す。岩見沢で最も大きな強度異方性を示し、 $\beta=90^\circ$ の \bar{q}_u 比は約0.2である。また、幸田のそれが最も小さく $\beta=90^\circ$ の \bar{q}_u 比は約0.6である。泥炭は有機物含有量が大きいと K_0 値が小さくなる¹²⁾。岩見沢の有機物含有量は(40~70)%であるのに対して、幸田のそれは約24%である。このことは図-2の結果と符合する。破壊事例に対して安全率を1.0として求めた異方性に関する補正係数は、地盤によって異なるが、(0.49~0.70)の値であった。土田、浅岡が示した補正係数よりかなり小さい値である。泥炭もしくは泥炭と粘性土の互相の地盤の場合、粘性土地盤に比較して異方性に関する補正係数が小さな値を持つ。

参考文献

1)正垣ら, 第40回地盤工学工学ソポゾム発表論文集, pp.229-236, 1995. 2)松尾,地盤工学,技報堂,1984. 3)半沢, 直接型せん断試験の方法と適用に関するソポゾム発表論文集, pp.87-94,1995. 4)土田ら, 港湾技術研究所報告, Vol.28, No.3,pp.81-145,1989. 5)浅岡ら, Proc. 4th Int. Sympto. on Numerical Models in Geomechanics, pp.839-849, 1992. 6)Duncan and Seed, A.S.C.E,SM5,Vol.92,pp.21-50,1966. 7)日本道路公団, 岩見沢試験盛土工事報告書, 1977. 8)山本・星, 道路, No.11, 1967. 9)室町・渡辺, 鉄道技術研究所報告書, No.154, 1962. 10)安達・宮浜, 土と基礎, Vol.10, No.5, pp.9-16, 1962. 11)山口ら, 土木学会論文集, 第364号, III-4, pp.189-198, 1985. 12)土質工学会編, 高有機質土の工学, 土質工学会, pp.103-212, 1990.

表-2 各解析法による安全率

解析法	岩見沢 (破壊)	袋井 (破壊)	幸田 (破壊)	呉 (破壊)	船子 (非破壊)
慣用法	1.04	0.65	0.76	1.54	0.69
半沢法	1.40	1.22	1.43	1.52	1.03
提案法	1.25	1.11	1.37	1.42	0.97
土田法	1.45	1.27	1.48	1.58	1.07
提案法	1.30	1.15	1.42	1.47	1.01
浅岡法	1.04	0.66	0.76	1.54	0.69
提案法	1.44	1.57	1.57	1.63	1.12

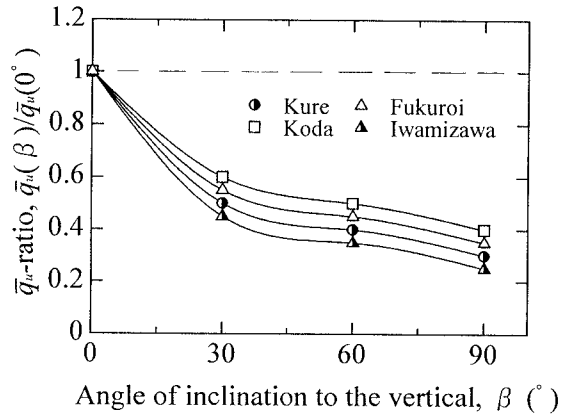


図-2 \bar{q}_u 比と β の関係(推定結果)