岩盤地すべりにおけるJanbu法の優位性と適用性

On the Predominant and the Applicability of Janbu Method to Rock-mass Landslides

木 下 恵* 榎 田 充 哉*

Megumi KINOSHITA Mitsuya ENOKIDA

Abstract

Janbu method, in case of noncircular slides, is generally respected that the error to strict solution is small. However, several problems are pointed out. The problems are followings. It seems difficult to treat the method that we can not have a clear grasp of the solution, which is smaller or bigger than the strict solution. Is not it unsuitable for land slides those having a steep failure surface, and it is impossible to define the only coefficient of correction in simplified Janbu method. Then we tried to clear these points by investigate internal examples of noncircular slide and models of rock-mass landslides. As a result, we found out following facts. The frequency that solution of Janbu method become bigger than strict solution by more than 1% is as same as Fellenius method which calculate smaller solution than strict solution. The frequency of the error calculated by Janbu method will be less than 1% is double, more than 10% is one third of Fellenius method. Also we confirmed the requirement that the solution of Janbu method does not to converge and the definition of the coefficient of correction. From the results stated above, it was reconfirmed that as to noncircular slide include rock-mass landslides, Janbu method is predominant to Fellenius method and has enough applicability.

キーワード：地すべり，安定解析，Janbu法

1. はじめに

Janbu法は簡易な安定解析法でありながら，非円弧すべりの場合，比較的厳密解に近い安全率を算出することで評価を得ているが，一方では簡易Janbu法における修正係数を一義的に決められないことや岩盤地すべりでの頭部亀裂のように急傾斜のすべり面をなす地すべりに対しては不向きではないかといった問題が指摘されている。また，Janbu法の安全率は厳密解に対する大小関係が一定でなく，簡便法のように常に小さな安全率を算出する方法が良いという意見もある。

今泉ら¹⁾はJanbu法が過度の付加条件式の下で解を求める方法であるということから，推力線の作用位置を示す未知数として λ を仮定し，修正Janbu法として解析を行っている。その結果，修正Janbu法はJanbu法よりわずかに大きな安全率を与えるが，計算時間が長くJanbu法に代わるものとする評価までには至っていない。

一方，広く用いられている簡便法の誤差は一般的に大きく，Bishopらが指摘しているように間隙水圧比が大

きくなるにつれて，また，すべり円弧の中心角が増すにつれて著しく大きくなる²⁾。

中村ら³⁾は全国の現場事例と円弧すべりのモデル断面をもとに極限平衡法の計算式の違いによる，安全率や排土工の効果，必要抑止力について比較を行っている。その結果Janbu法の安全率の誤差が簡便法に比べて小さいこと，一概に簡便法が小さな安全率を与えるとは言えないこと，簡易Janbu法ではSpencer法と同様に簡便法よりも必要抑止力がやや小さく，Spencer法に近い値となることを示している。しかしここでは，比較のために厳密解として採用したMorgenstern & Price法の解析において，安全率に対する未知数 $f(x)$ の影響が小さいとして，すべてのスライス位置で $f(x)=1.0$ と仮定している。 $f(x)$ は各スライス位置でのスライス壁に作用する鉛直力 X と水平力 E の比率を表す任意の関数である。筆者らの研究では $f(x)$ が安全率に与える影響は無視できないほど大きく，一概にすべてのスライス位置で $f(x)=1.0$ と仮定するわけにはいかないことがわかってきた。

本報告では，全国の岩盤地すべりの事例を用いて簡便法との比較を行いJanbu法の優位性について調べた結果や岩盤地すべりのモデル断面を用いてJanbu法の適用限

* 国土防災技術株式会社

界について調べた結果を報告する。また、簡易Janbu法における適正な修正係数の与え方についても検討したのでそれらの結果を報告する。

2. 安定解析理論および解析データの概要

2.1 簡便法

広く用いられている簡便法はもともと円弧すべりに対応した安定解析手法であったが、式の簡便さから岩盤地すべりなどの非円弧すべりにも多く適用されている。この手法の特徴は細片間での力のつり合いを全く考慮していない点にある。また、すべり面が急傾斜をなす細片に水圧が作用する場合は、すべり面に作用する法線力と水圧の差が容易に負の値となる。

2.2 Janbu法

Janbuは鉛直方向と水平方向の力のつりあい、細片底面の破壊条件式から安定解析式を次式で与えた。

$$F = \frac{1}{\sum (W + \Delta X) \tan \alpha + Q} \sum \frac{c' + (W - ub) \tan \phi'}{n_a} \dots (1)$$

$$n_a = \cos^2 \alpha \left(1 + \tan \alpha \frac{\tan \phi'}{F} \right) \dots (2)$$

ここに、 W ：スライス重量、 u ：水圧、 b ：スライス幅、 c' 、 ϕ' ：すべり面強度定数、 α ：すべり面傾斜角、 ΔX ：細片間の鉛直力の差、 Q ：水平外力

Janbu法では推力線の作用位置をすべり面からの細片高さの1/3付近に推定して与え、モーメントのつりあいから細片間の鉛直力 X_i と水平力 E_i の大きさを決定している。初期値として任意の安全率 F を与え、 $F \rightarrow X_i \rightarrow F$ の推定を数回繰り返すことによって解が収束するが、収束し難い場合は ΔF や ΔX_i を調整することで収束させることが可能となる。

簡易Janbu法は $\Delta X_i = 0$ として計算し、修正係数 f_0 を乗じることによって安全率を補正するものである。

$$F = f_0 \frac{1}{\sum W \tan \alpha + Q} \sum \frac{c' + (W - ub) \tan \phi'}{n_a} \dots (3)$$

$$f_0 = \left(50 \frac{d}{L} \right)^{\frac{1}{33.6}} \dots (4)$$

ただし、 f_0 ：修正係数、 $\frac{d}{L} \leq 0.02$ では $f_0 = 1$ とする。

2.3 Morgenstern & Price法

Morgensternらは細片間の垂直力 X と水平力 E の関係式として、未知の定数 λ と内力分布に関する任意の関数 $f(x)$ を用いて

$$X = \lambda f(x) E \dots (5)$$

を導入し、すべり面に垂直な力と水平な力のつりあいから次式を導いている。

$$E_i = \frac{1}{L_i + K_i x} \left(E_{i-1} L_i + \frac{N x^2}{2} + P x \right) \dots (6)$$

$$K_i = \lambda k (\tan \phi' + A) \dots (7)$$

$$L_i = \lambda m (\tan \phi' + A) + I - A \tan \phi' / F \dots (8)$$

$$N = p [\tan \phi' / F + A - r_u (1 + A^2) \tan \phi' / F] \dots (9)$$

$$P = (1 + A^2) c' / F + q [\tan \phi' / F + A - r_u (1 + A^2) \tan \phi' / F] \dots (10)$$

ここに、 E_i ：各スライス左側での E 、 x ：各スライスの左側よりの距離、 r_u ：間隙水圧比、 A 、 B 、 p 、 q ：近似式の定数

また、モーメントのつりあいから次式を得る。

$$M_i = E (y_i - y) = \int_{x_0}^{x_i} \left(X - E \frac{dy}{dx} \right) dx \dots (11)$$

ここに、 y_i ：推力線が作用する y 座標値

λ 、 F の2つの未知数に対して、 $E_n = 0$ 、 $M_n = 0$ の2つの条件が与えられ解が求まる。具体的には任意の λ 、 F を与え、ニュートンラプソン法を用いて適切な λ 、 F を逐次検索して適切な λ と F を見いだす。

静定化条件については分割法の未知数 $6n - 2$ 個に対して、条件式は力とモーメントのつりあい式から $3n$ 個、細片底面の破壊条件式で n 個が通常与えられるが、それにすべり面での法線力 N の作用位置 n 個と X と E の相対関係から $n - 1$ 個の条件式が与えられる。これに新たな未知数 λ が導入されたことで厳密に静定化条件とすべてのつりあい条件を満足する。

2.4 解析に用いる事例データの選別

岩盤地すべりの定義は研究者によって若干異なっているが、本報告においては、冠頭部に陥没帯を生じているような典型的な岩盤地すべりだけでなく、層理面等に規制された平面型のすべり面を有し、冠頭部と末端部が円弧状すべりをなす複合すべり等も解析対象とした。また、一つの現場であっても複数の縦断測線が設けられている場合は主測線だけでなく副測線の断面についても解析の対象とすることにした。

Morgenstern & Price法（以下、M&P法と呼ぶ）の $f(x)$ の設定に関する詳細は後述するが、推力の作用位置がミドルサードに収まるか、または $f(x)$ の違いによる安全率の変化が小さいことを条件に断面を選別した。

現場数16, 断面数51

図-1 解析に用いた現場データの地質帯区分

この結果全国の16ヶ所の地すべり地から得られる51断面のデータを解析に用いることになった。このうち、第三紀層は43断面、破碎帯は7断面、古生層は1断面である。

3. 解析結果

3.1 M&P法での安全率算出

まず、比較の基準となるM&P法の安全率が $f(x)$ の仮定のしかたによってどのように変化するかを検討したのでその結果を示す。

図-2は断面Aにおいてすべてのスライス位置で $f(x) = 1.0$ に設定した場合の断面内での内力分布を示したものである。図-3は断面Aにおいて $f(x)$ を推力の作用位置がほぼミドルサードに収まるように適切に設定した場合の内力分布であるが、図-2と比較すると末端部の推力線作用位置 y_t と垂直力 X の分布に違いが見られる。

それぞれの場合の安全率は図-2の場合が $F = 1.042$ 、図-3の場合が $F = 1.006$ であった。つまり、断面Aにおいてすべてのスライス位置で $f(x) = 1.0$ と設定した場合の安全率は適切な $f(x)$ を与えた場合に比べ3%以上の

図-2 $f(x)$ を一定にした場合の内力分布 (断面A)

大きな誤差を含んでいることになる。このような例は他にも多数確認された。つまり、M&P法の安全率に対する $f(x)$ の影響は大きく、一概にすべてのスライス位置で $f(x) = 1.0$ と仮定するわけにはいかないことがわかる。

そこで、比較の基準となるM&P法の安全率は、原則として、推力の作用位置がミドルサードに収まるように $f(x)$ を設定して求めるものとした。また、推力の作用位置がミドルサードに収まらない場合でも $f(x)$ による安全率の違いが1%以内であれば $f(x) = 1.0$ としたときの安全率を採用した。これら以外の場合については検討の対象から外した。

3.2 簡易Janbu法の修正係数について

簡易Janbu法に対する批判の一つに修正係数を一義的に決定できないことが挙げられている。Janbuが示している簡易Janbu法の修正係数の与え方は、図-4に示すように断面形状 d/L と土質強度から推定するもので、

図-3 適切な $f(x)$ を用いた場合の内力分布 (断面A)

$c', \phi' > 0$ の場合よりも、 $c' = 0$ の場合は小さめに、 $\phi' = 0$ の場合は大きめに与えて補正するというものである。この修正係数の妥当性について検討した結果を示す。

ここでは、 $c', \phi' > 0$ の場合の修正係数を²⁾が示している(12式(修正係数1))で定義し、 $c' = 0$ の場合と $\phi' = 0$ の場合の修正係数を回帰計算により求めた(13式)で定義した(修正係数2)。

$$\text{修正係数 1 : } f_0 \equiv \left(50 \frac{d}{L}\right)^{\frac{1}{33.6}} \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{修正係数 2 : } f_0 = a + b \left(\frac{d}{L}\right) + c \left(\frac{d}{L}\right)^2 + d \left(\frac{d}{L}\right)^3 \dots\dots (13)$$

図-5は $c' = 0$ と $\phi' = 0$ の場合について、常に修正係数1を用いる場合と、修正係数2を用いて係数を変える場合で、どちらがM&P法の安全率に近いかを調べたものである。横軸にはM&P法に対する安全率比、縦軸には累積度数の百分率をとっている。傾きの大きな箇所が頻度の高い場所であり、その箇所が安全率比=1.0の線に近いほどM&P法の安全率に対する誤差が小さいことを示している。この図を見ると、 $c' = 0$ の場合、修正係数2のグラフの中心は修正係数1の場合より左へずれている。逆に $\phi' = 0$ の場合は修正係数2のグラフの中心が右にずれており、どちらの場合も誤差が大きくなっていることがわかる。したがって、 $c' = 0$ の場合や $\phi' = 0$ の場合に修正係数2を採用するよりも、修正係数1を採用する方が誤差は小さいということになる。

従って、簡易Janbu法の修正係数は $c', \phi' > 0$ の場合の修正係数で統一することが望ましいと考える。

3.3 岩盤地すべりに対する安定解析式の適性

岩盤地すべりの現場事例に対して安定解析式ごとの安

図-4 簡易Janbu法の修正係数

表-1 修正係数2の定数表

	$c' = 0$	$\phi' = 0$
a	1.0005	1.0003
b	0.3745	0.7879
c	-0.8644	-1.6979
d	0.6359	1.3468

全率の誤差を比較することで安定解析式の適性について検討した。図-6は、同一の断面に同一の c', ϕ' を採用した場合の簡便法、簡易Janbu法、Janbu法の安全率をそれぞれ算出し、それらのM&P法の安全率に対する安全率比(以下、M&P比と呼ぶ)の頻度分布を示したものである。簡便法は最頻値がM&P比1.0より小さく、一般的に言われる傾向と一致する。また、分布範囲が広く安全率のパラツキが大きい傾向を示している。簡易Janbu法とJanbu法の場合は最頻値がM&P比1.0となり、ほとんど誤差の無い場合が最も多いことがわかる。また、分布範囲も狭く、安全率のパラツキが小さい傾向を示している。

図-7は簡便法、簡易Janbu法、Janbu法の安全率について、M&P比1.0の場合を誤差0%として比率で誤差を表現し、誤差の絶対値の分布を円グラフで示したものである。図-7を見ると、誤差の絶対値が1%以下のものが簡便法では全体の20%であるのに対して、簡易Janbu法では全体の42%、Janbu法では40%となっている。また、誤差10%以上のものをみると簡易Janbu法では全体の2%、Janbu法では全体の4%と小さな割合になっているのに対して簡便法では全体の14%を占めている。

(a) $c' = 0, \phi' > 0$ の場合

(b) $c' > 0, \phi' = 0$ の場合

図-5 簡易Janbu法の修正係数による安全率の違い

る。簡易Janbu法、Janbu法の誤差の絶対値が簡便法に比べて極めて小さいことがわかる。

また、図-8は各安定解析式の誤差をM&P比そのものの分布で見たもので、同じく円グラフで示している。M&P比が0.99~1.01の場合の頻度は図-7の誤差1%以下の頻度と一致する。一般的に簡便法は厳密解よりも安全率が小さくなるといわれており、図-8からも、その傾向が見られるが、簡便法のM&P比が1.01より大きくなっている割合が全体の27%もあり、簡便法の安全率が厳密解より大きくなる断面が無視できないほどに多く存在することがわかる。

ここで簡易Janbu法とJanbu法の結果を比較してみると、Janbu法の方が誤差が大きい結果となっている。この理由の一つにJanbu法において推力の作用位置をすべり面深度の1/3の高さに固定して ΔX を推定していることが考えられる。推力の作用位置はミドルサード内に設定されるもので、1/3の高さだけに固定されているわけではない。そのため、推力の作用位置を1/3の高さに固定することで断面によっては応力分布が不自然になり、誤

差が大きくなる場合がある。このような場合はミドルサード内で適正な応力分布となるような作用位置を決定すれば、さらに精度の良い結果が得られるはずである。一方、簡易Janbu法の場合は $\Delta X = 0$ とする代わりに一般性を保ちうる修正係数 f_0 を決定し採用しているため、Janbu法よりも優位な結果が得られていると考えられる。

3.4 Janbu法の適用限界

頭部に急傾斜のすべり面を有する岩盤地すべりについて

上段: M&P比でみた誤差, 下段: 全体に占める割合

(a) 簡便法の場合

(b) 簡易Janbu法の場合

(c) Janbu法の場合

図-6 M&P比の頻度分布

(a) 簡便法

(b) 簡易Janbu法

(c) Janbu法

図-7 各安定解析式における誤差絶対値の割合

図-8 各安定解式のM&P比の割合

てJanbu法を適用する場合の限界を調べるためにモデル断面による試算を行った。

モデル断面は図-9に示すように急傾斜すべり面の傾斜角 θ と地すべり全体の斜面長に対する急傾斜すべり面部分の割合を変化させ、それらの影響について調べた。

中腹部のすべり面傾斜角を標準的な岩盤地すべりの値として 10° に設定し、頭部のすべり面傾斜角 θ は 60° , 70° , 80° の3種類、斜面長は水平距離にして20, 50, 100, 200, 500, 1,000, 2,000mの7つの場合に変化させている。斜面長1,000m以上の超巨大地すべりを想定したのは、

(a) 急傾斜すべり面の傾斜角の影響

(b) 急傾斜すべり面の割合の影響

図-9 モデル断面

今回の現場事例でも斜面長1,800mの岩盤地すべりが実在することによる。

モデル断面に対し複数のすべり面強度定数を与え、どのような条件で収束しないかを調べた。結果を図-10に示す。

ここでは斜面長の割合の影響による収束限界を見いだすことはできないが、すべり面傾斜角に関しては $\theta = 70^\circ$ の場合に収束しないケースが見られ始めることから、このモデル断面の場合、すべり面傾斜角の収束限界が 70° 程度であることがわかる。このモデル断面では中腹部のすべり面傾斜角を 10° と設定したため、それが変わればすべり面傾斜角に関する収束条件も変わるとは思われるが、実際の岩盤地すべりの中腹部のすべり面傾斜角は 10° 前後であることが多く、収束条件が大きく変わることはないと思われる。

これらの結果から、Janbu法は 70° 程度より大きいすべり面傾斜角を有する岩盤地すべりには不向きであると思われる。

4. 考察

厳密解に対する安全率の誤差はこれまで一般的に簡便法よりJanbu法が小さいといわれてきたが、このことが岩盤地すべりに対する検討でも明らかになった。また、簡便法による安全率が厳密解より大きくなる場合も多く

(a) $\theta = 60^\circ$ の場合

(b) $\theta = 70^\circ$ の場合

(c) $\theta = 80^\circ$ の場合

図-10 解析条件による収束状況の違い

存在することがわかった。このことについては、中村ら³⁾も「簡便法を用いていれば必ず安全側であるという考え方はできない」と述べているとおりである。

一方、M&P法は厳密解を求めるためのすぐれた安定解析手法であるが本論で述べたように $f(x)$ の与え方に試行錯誤が必要であり、一義的に解を求められない欠点がある。

このように実用性や安全率の誤差の面から判断すれば、岩盤地すべりにおいてJanbu法が簡便法やM&P法より優位であるといえる。

急傾斜のすべり面を有する岩盤地すべりに対してJanbu法がどの程度適用できるかについては、 70° 以上

の極端な急傾斜の頭部すべり面を有する場合を除いて適用可能であるということがわかった。しかし、傾斜角が 70° を超えるような事例が稀であると思われることから、実用面でのJanbu法の適用性は十分であると言える。また、Janbu法が適用できないような急傾斜を有する事例においては、地下水が形成されている場合、簡便法においてもすべり面に働く法線力 $N' = W \cos \alpha - ul < 0$ となる細片が発生し、修正を加えなければならないという問題があるため、より厳密な安定解析法を適用すべきであると考える。

簡易Janbu法の修正係数については、 $c' = 0$ や $\phi' = 0$ の場合に推定式をかえるとかえって誤差を大きくする危険があるという結果となった。したがって一般には常に $c', \phi' > 0$ の場合の推定式を用いるのが適当と考える。

5. まとめ

以上のことから、岩盤地すべりにおいてJanbu法が簡便法やM&P法よりも優位であり、適用性も十分であることが明らかになった。

現在でも、計算が簡単であることや誤差が安全側であるという理由から、広く簡便法が利用されているようであるが、安全率の誤差が大きければ土質強度の逆算値にも大きな誤差が生じ、対策工効果の評価を正しく行えなくなる。対策工効果の適正な評価のためにも安全率の誤差が小さいということは優位な点であり、今後は、各安定解析法の適性を踏まえた上で、より適切な安定解析手法が利用されることを期待する。

参考文献

- 1) 今泉繁良, 山口柏樹, 大橋健二: 一般分割法による斜面の安定解析, 土と基礎, Vol. 36, No. 5, 1988
- 2) 申潤植: 地すべり工学-理論と実践-, 山海堂
- 3) 中村浩之, 新田邦弘: 極限平衡法による地すべり斜面安定計算式の比較と応用, 土木研究所資料第2805号, 1989
- 4) 中村浩之: 地すべり斜面の安定計算式の検討, 土木技術資料 20-8, 1978
- 5) 中村浩之, 坂元靖秀: 排土方法による地すべり安定化の検討, 地すべり, 第15巻, 第2号, 1978
- 6) 中村浩之: Morgenstern and Price法による地すべり斜面の安定解析法, 土木研究所資料第1510号, 1979
- 7) 土質工学会: 土質工学会ハンドブック, 1982
- 8) 古谷保: 厳密な一般分割法のやさしい解き方, 地すべり, 第21巻, 第1号, 1984
- 9) 鶴飼恵三, 細堀建司: 分割法における帯片側面の水圧の処理, 土と基礎, Vol. 33, No. 4, 1985
- 10) 古谷保: 定常浸透状態における水中重量法と一般分割法の計算式, 地すべり, 第33巻, 第1号, 1996
- 11) 近藤観慈, 林拙郎: Morgenstern-Price法とSpencer法の類似性と一般性, 地すべり, 第34巻, 第1号, 1997

(原稿受理日 平成12年3月3日)

三次元有限要素浸透流解析に基づく排水ボーリング効果の定量的評価法

「地すべり」Vol. 37, No. 3 (通巻143号) pp. 1～9, 2000年 (平成12年) 12月

西田憲司, 山上拓男, 蔣 景彩

排水ボーリング効果を定量的に評価し得る新たな三次元有限要素解析法を提案した。従来, 排水ボーリングは専ら圧力水頭ゼロの節点として取り扱われていたが, 提案手法では排水ボーリングを透水係数を有する一次元有限要素として表現している。室内モデル実験のシミュレーションと実規模仮想斜面への適用を通して, 提案手法の妥当性を確認した。さらに, 従来法では排水ボーリング効果を正確に評価できないことも確認された。

地すべり土の回復強度と鉱物組成の関係

「地すべり」Vol. 37, No. 3 (通巻143号) pp. 10～17, 2000年 (平成12年) 12月

中村真也, 宜保清一, 江頭和彦, 吉永安俊

地すべり土の回復強度の発現とその支配要因について検討し, 次の結果を得た。石英と長石が卓越する試料では強度の回復が顕著である。石英, 長石に加え, かなりの量の雲母と緑泥石を有する場合, 高い垂直応力レベルに対して強度の回復はわずかである。スメクタイト等の配向性鉱物が卓越する試料では, 鏡肌を呈する程の残留せん断面の発達により, 強度の回復はほとんど認められない。

地すべり土の回復強度と垂直応力の影響

「地すべり」Vol. 37, No. 3 (通巻143号) pp. 18～24, 2000年 (平成12年) 12月

中村真也, 宜保清一

滑動・停止を繰り返す移動量の大きい地すべりでは, すべり面強度は残留強度にまで低下するが, 静止時に土かぶり圧による再圧密により強度を回復し, すべり抵抗を微増させることが考えられる。本研究では, 物理的性質の異なる地すべり土を用いて, 地すべりの滑動・停止・再発を想定してリングせん断試験を行い, 再圧密による強度回復について検討した。その結果, 大変位せん断後の再圧密による強度の回復は, 砂分を多く含有する試料で150kPa以下の低い有効垂直応力に対して顕著であったが, 粘土分を多く含有する試料では無視できる程度であった。

岩盤地すべりにおけるJanbu法の優位性と適用性

「地すべり」Vol. 37, No. 3 (通巻143号) pp. 25～31, 2000年 (平成12年) 12月

木下 恵, 榎田充哉

Janbu法は, 非円弧すべりの場合, 厳密解に対する誤差が小さいという点で評価を得ている。しかし一方では, 算出される解が厳密解より大きいのか小さいのかが把握し難く扱い難い, 急傾斜をなす地すべりには不向きではないか, 簡易Janbu法の修正係数を一義的に決められない等の問題点が指摘されている。そこで, これらの問題点について全国の非円弧すべりの現場事例とモデル断面を用いて検討した。その結果, Janbu法の解が厳密解より1%以上大きくなる頻度は, 一般的に厳密解より小さな解を算出するといわれている簡便法と同程度であること, 誤差が1%未満となる頻度は簡便法の約2倍であること, 逆に誤差が10%以上となる頻度が簡便法の3分の1以下であることがわかった。また, Janbu法が収束しない条件や簡易Janbu法の修正係数の一義的な与え方についても検証されたことで, 岩盤地すべりに代表される非円弧すべりにおいてJanbu法が簡便法よりも優位であり, 実用性も十分であることが再確認された。