

1 まえがき

従来の支持力論の多くは基盤（地盤、岩盤など）を等方性としている。しかし基盤は元来自然物であり、層状になっていたり、断層、節理などがあつたりして異方性であることが多い。本文は、固結度の低い岩盤（第三紀層などのいわゆる軟岩）を対象として、Terzaghi の支持力論を準用した試みについて述べたものである。Terzaghi の支持力論自体も現在では、まだ若干問題点を残し、またこれの固結度の低い岩盤に対する適用については現在、現場実測データの集積の段階であるが、本文では土質力学の分野では、Terzaghi の支持力論自体は問題がないという立場から出発している。いま、基盤の近くにまわりよりもせん断強度の小さな地層があれば、Terzaghi が与えた図-1をもとに考えれば図-2における点Dより地表へ延びるすべり線はある点Tよりこの弱層へ乗り移ることが予想される。図-2について基本的な考え方を述べる。

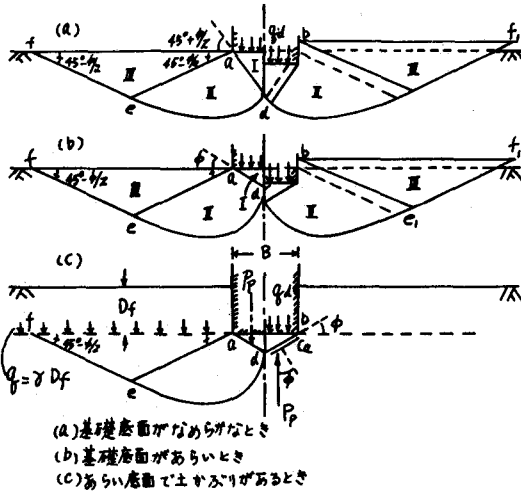


図-1 連続基礎下の地盤内における塑性平衡状態

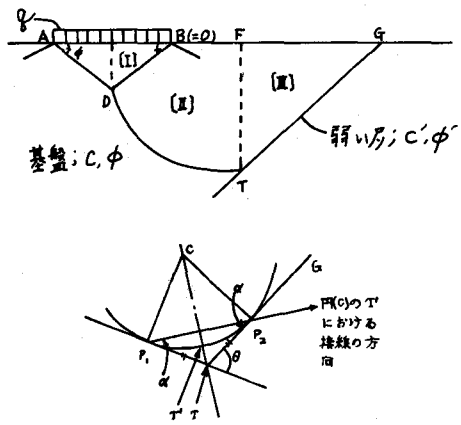


図-2 弱層があるときに予想されるすべり線

- (1) まず載荷面の両端AおよびBより直線すべり線ADおよびBDが生じ、楔状部分ABDは剛体化され、 $AD = BD$ の二等辺三角形となり $\angle BAD = \angle DBA = \phi$ で与えられる。
- (2) BDTは放射線状せん断領域である。この部分では曲線すべり線はBからの放射線と $90^\circ + \phi$ の角で交わる。DT間のすべり線を $r = BD \cdot e^{\theta \tan \phi}$ なる対数螺旋とするとこれはBからの放射線と $90^\circ + \phi$ の角で交わるという条件を満たしている。この曲線上では法線方向に角 ϕ をなす方向は中心O(=B)を向いているから、この曲線上での反力は常に中心O(=B)を向くことになる。
- (3) 面FTにおけるすべり線の方法は $\angle DTG$ に内接する円のTに対応する点での接線方向とする。DTとGTのなす角を θ とすると、すべり線の方法はDTと $\theta/2$ の角をなす(図-2参照)。

2 支持力の算定方法

Terzaghi の支持力論を準用してすべり線に沿ってI, II, IIIの領域に分けて、各領域におけ

る力の条件より支持力を求める。この際考察する種々の力を深さに関係するものと、しないものとに分ける（図-3）。

(a) 深さに関係する力

この場合は、 $C = 0$ ， $\phi \neq 0$ ， $r \neq 0$ となる。

(i) 領域Ⅲにおける力
三角形FTGに作用する力は、①自重W；FTGの重心を通り鉛直に作用する。②面GTにおける反力 F'_{GT} ；大きさ

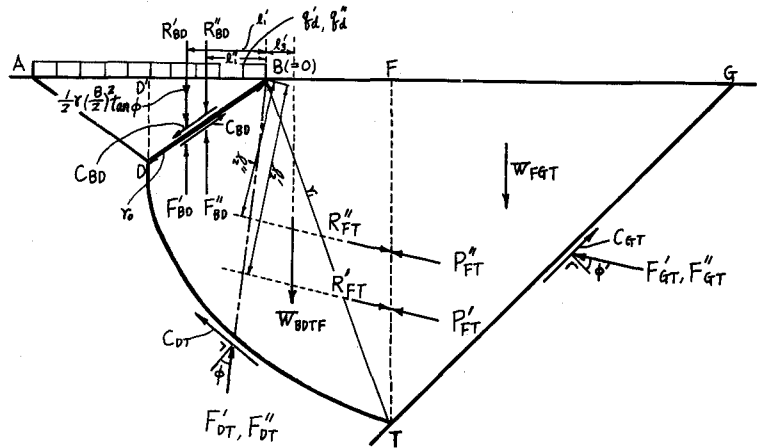


図-3 弱点があるときの支持力算定

未知，方向面GTに直角の方向に角度 ϕ' をなす。③面FTに作用する力 R'_{FT} ；大きさ未知，方向DTと $\theta/2$ の角をなす。この3つの力による力の三角形を作り， R'_{FT} の大きさを求める。

(ii) 領域Ⅱにおける力

領域BDTEに作用する力は、①面FTに作用する力 P'_{FT} ；面FTにおいて，Fより $2/3$ (FT)の深さの点に作用し，大きさは R'_{FT} と同じで方向は反対。②自重W；BDTEの重心を通り鉛直に作用する。③面DTにおける反力 F'_{DT} ；方向は対数螺旋の中心O(=B)を向いている。④面BDに作用する力 R'_{BD} ；BD上点Bより $2/3$ (BD)の点より鉛直に作用する。O点に関するモーメントの和を零であるとすれば， $R'_{BD} = (P'_{FT} \cdot l_1 + W \cdot l_2) / l_3$ が得られる。

(iii) 領域Ⅰにおける力

領域DDBに作用する力は、①面DBにおける反力 F'_{BD} ；大きさ R'_{BD} に等しく方向は反対。②自重；大きさ $\frac{1}{2}r \cdot (\frac{B}{2})^2 \tan \phi$ ，鉛直に作用する。③荷重；大きさ $q'd \times \frac{B}{2}$ ，鉛直に作用する。3つの力の鉛直方向の力の均合いより， $q'd \times \frac{B}{2} = F'_{BD} - \frac{1}{2}r \cdot (\frac{B}{2})^2 \tan \phi$ を得る。

(b) 深さに関係しない力 この場合は， $C \neq 0$ ， $\phi \neq 0$ ， $r = 0$ となる。

(i) 領域Ⅲにおける力

三角形FTGに作用する力は、①面GTに作用する力 C_{GT} ；大きさ $C' \times (GT)$ ，方向面GTの方向。②面GTに作用する反力 F'_{GT} ；大きさ未知，方向面GTに直角の方向に角度 ϕ' をなす。③面FTに作用する力 R'_{FT} ；大きさ未知，方向DTと $\theta/2$ の角をなす。力の三角形より R'_{FT} を求める。

(ii) 領域Ⅱにおける力

領域BDTEに作用する力は、①面FTに作用する力 P'_{FT} ；面FTにおいて，Fより $\frac{1}{2}$ (FT)の深さの点に作用し，大きさは R'_{FT} と同じで方向は反対。②面DTに沿う結合力(粘着力)による力 C_{DT} 。③面DTにおける反力 F'_{DT} ；方向は対数螺旋の中心Oを向いている。④面BDに沿う結合力(粘着力)による力 C_{BD} 。⑤面BDに作用する力 R'_{BD} ；点BよりBD上 $1/2$ (BD)の点より鉛直に作用する。DTに沿う結合力(粘着力)によるモーメントの総和は(図-4参照)， $M_C = \int_0^{\alpha_1} dM_C = C(r_1^2 - r_0^2) / 2 \tan \phi$ となる。O点に関するモーメントの和を零であるとすれば，

$$R'_{BD} = \{ P'_{FT} \cdot \ell'_2 + C(r_1^2 - r_0^2) / 2 \tan \phi \} / \ell'_1 \quad \text{が}$$

得られることになる。

(iii) 領域 I における力

領域 D'_{DB} に作用する力は、①面 BD における反力 F'_{BD} ；大きさ R'_{BD} に等しく方向は反対。②面 BD に沿う結合力（粘着力）による力 C_{BD} ；大きさ $C \times (BD)$ 。③荷重；大きさ $q'_d \times \frac{B}{2}$ ，鉛直に作用する。3つの力の鉛直方向の力の均合いより，

$$q'_d \times \frac{B}{2} = F'_{BD} + \frac{B}{2} \cdot C \cdot \tan \phi \quad \text{を得る。}$$

(c) 支持力の算定

実際の基盤では， C ， ϕ ， $r \neq 0$ であるから，(a) - (iii) での

q'_d と (b) - (iii) での q_d を加えたものが極限時でも荷重分布を等分布とした時の載荷面にかかる極限荷重強度である。 $q_d = q'_d + q_d$ とすると総荷重 Q_d は $Q_d = q_d \times B$ となる。したがって， $Q_d = 2(F'_{BD} + F'_{BD}) + B \cdot C \tan \phi - r \left(\frac{B}{2}\right)^2 \tan \phi$ で与えられる。これが巾 B の連続載荷面（フーチング）の単位長さ（1 m）当りの極限支持力となる。

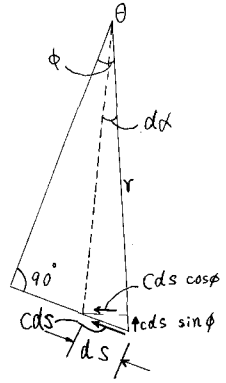


図-4

3 支持力算定の例

載荷面の巾 $B = 5 \text{ m}$ ，基盤の密度 $r = 2 \text{ t/m}^3$ ，載荷面端 B より弱層までの距離 $d = 10 \text{ m}$ ，弱層の傾斜角 $\delta = 45^\circ$ （水平に対して），基盤の結合力（粘着力） $C = 10 \text{ kg/cm}$ ，せん断抵抗角 $\phi = 35^\circ$ ，弱層の結合力（粘着力） $C' = 5 \text{ kg/cm}$ ，せん断抵抗角 $\phi' = 15^\circ$ なる条件が与えられている時の支持力を求める。まず DT 間のすべり線を $r = BD \cdot e^{\theta \cdot \tan 35^\circ}$ の対数螺旋として図上に描く（図-3 参照）。この図をもとにして，前述の方法に従って支持力を求めると， $Q_d = 18311 \text{ t/m}$ （ 3662 t/m^2 ）となる。基盤に弱層がなければ，Terzaghi が与えた式 $Q_d = B(CN_C + rD_r N_q + \frac{1}{2} \cdot rBN_r)$ によって Q_d を求めると， $Q_d = 28813 \text{ t/m}$ ，基盤が弱層ばかりである場合は，同様にして， $Q_d = 3210 \text{ t/m}$ が求められる。また基盤に弱層がない場合について， $(BT) = (BD) \cdot e^{\tan \phi \cdot \angle DBT}$ ， $\angle GBT = \angle BGT = 45^\circ - \phi/2$ の条件より T を決め， FT 面に作用する P'_{FT} ， P'_{FT} の方向を水平として（ BTG は受働状態），前述と同様な図解法で Q_d を求めると， $Q_d = 28595 \text{ t/m}$ となった。

4 基盤と弱層の境界上の一点において，すべり線が弱層へ乗り移る可否の検討

半無限基盤に等分布帯状荷重（ q ）が作用した時，ある点（ p ）における主応力は Jacob によって， $\sigma_1 = q(2\varepsilon + \sin 2\varepsilon)/\pi$ ， $\sigma_2 = q(2\varepsilon - \sin 2\varepsilon)/\pi$ で与えられている。ここで ε は位置によって定まるから主応力の大きさは， q と一次の関係にある。任意の点（ p ）において主応力が与えられている時この点を通る任意の傾角の面 BC 上の応力は， $\sigma_\alpha = (\sigma_1 + \sigma_2)/2 + (\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\alpha/2$ ， $\tau_\alpha = (\sigma_1 - \sigma_2) \sin 2\alpha/2$ で与えられる。そしてまた σ_2 ， τ_α は図-6 に示す如く $OM = (\sigma_1 + \sigma_2)/2$ なる M 点を中心として半径 $(\sigma_1 - \sigma_2)/2$ のモールの応力円上にある。図-5 の④の部分では，せん断強度は $\tau = C + \sigma \tan \phi$ で，⑤の部分では $\tau = \sigma \tan \phi'$ で規定されているとすると，図-6 のモールの円で 2α が図-5 の④の部分に対応する範囲は，そのせん断強度は， $\tau = C + \sigma \tan \phi$ で，⑤の部分に対応する範囲は， $\tau = C' + \sigma \tan \phi'$ で規定される。荷重

q が増加して基盤が破壊する極限で図-1の点Dからのすべり線が弱層のある点(P)に乗り移るか否かは、その点の主応力が方向は変わらずに大き

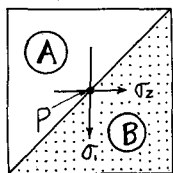


図-5

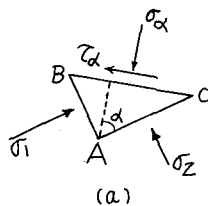
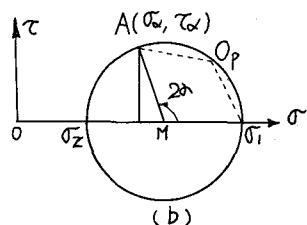


図-6



さがqに比例して大きくなった場合、図-5における④の方向の部分と⑤の方向の部分とでどちらが先に破壊するかと言う問題になる。したがって、弱層の存在による応力のみだれがないと仮定すれば、弱層が図-7の斜線で示された範囲に入る方向にあれば、すべり線は弱層に乗り移ることになる。またこれより弱層がどの方向にあれば乗り移るかを示したものが図-8で斜線の範囲に弱層があれば、すべり

線は弱層に乗り移り得るものと考えられる。

5. あとがき

2において点D

(図-3)からの対

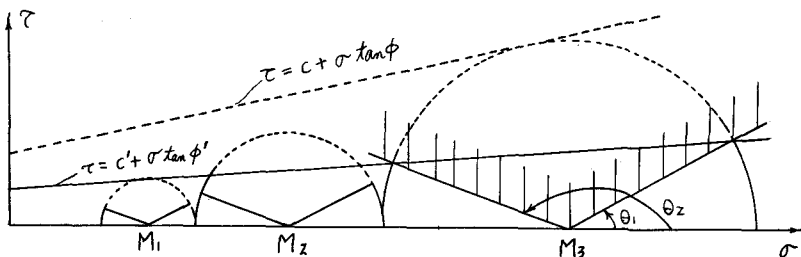


図-7 荷重増加によるモールの円と破壊線との関係

数螺旋のすべり線は、弱層とぶつかった点Tより弱層へ乗り移るものとしたが、これは4に述べたことにより検討する必要がある。しかし弱層のある点で塑性状態になればそれは弱層に沿って逐次進行することが考えられ、この結果、4に述べた方法では乗り移り不可能な範囲でも実際は乗り移り得ることになると考えられる。以上、Terzaghiの理論を準用して考察したが、この理論を固結度の低い岩(第三紀層などの軟岩)など従来土質力学で取扱われて来たもの以外のものに対して適用し得るかと言う点が最も問題である。これは現場での実測データの集

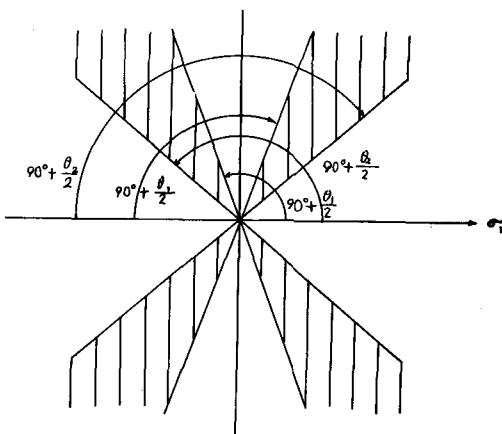


図-8

積を待たねばならないが、ただ粘性土のようなものは破壊時の変位が大きいものに対して、軟岩などでは比較的小さいから破壊現象を応力状態からだけでなく、変位の要素も入れて考えるべきであるとするとはやはり問題を残していると言えよう。

参考文献

- (1) F.Ishii, R.Iida, S.Kishimoto, "A Method discussing the Safety of Foundation Bedrock", Proc.of 1st Int. Congress on Rock Mechanics, 1960 Lisboa
- (2) 安江朝光, "弱い地層をはさんでいる基盤の支持力算定に関する一試案(その一)", 土木研究所資料 第167号, 1966.4

A method discussing the bearing capacity of foundation
including a weak stratum

Tomomitsu Yasue

Public Works Research Institute
Ministry of Construction

Summary

The method is proposed in this paper, to calculate the bearing capacity of foundation of so called soft bedrock (for example, Tertiary rock) including a weak stratum, applying Terzaghi's bearing capacity theory.

In this case, following fundamental assumptions are used.

- (1) In the state of plastic equilibrium, well-known Kurdjumoff's wedge-shaped zone locates beneath the loaded strip.
- (2) Surface of sliding between the corner of the wedge-shaped zone and the weak stratum appears as logarithmic spiral which intersects the straight lines through one edge of loaded strip at angles of $90^\circ + \phi$.
- (3) On the surface of FT in Fig. 2, the direction of sliding is tangent to the circle which inscribes the angle LDTG, at the point correspond to T.

One example calculated in this method is shown in this paper.

Also, the method is proposed, to discuss the problem whether the surfaces of sliding appear along the weak stratum or not, by using Mohr's diagram.