

44 鋼製砕砂防構造物における中詰材圧の解析法について

防衛大学校 ○石川 信隆 梶元 大介 香月 智

砂防・地すべり技術センター 佐野 清

1 緒言 鋼製砕砂防構造物¹⁾は、屈撓性や土砂・水の透過性などの機能性、工期短縮、品質均一化、省力化、運搬費の節減、あるいは積雪寒冷期の施工が可能であるなど、施工性や経済性の面でコンクリート構造物よりも優れている点も多く、近年、益々増大化の一途を辿っている。しかし、その設計において中詰材の静止土圧係数 K 値の評価が未だ不明のままである。本研究はこのような観点から、玉石や碎石などの中詰材を楕円形要素にモデル化して、形状の異方性を考慮した個別要素法²⁾による新しい解析法を提示し³⁾、これを用いて要素の偏平率や配列が中詰材圧の静止土圧係数にどのような影響を与えるかについて検討したものである。

2 基本式と解析手順 (1)接触判定 図-1に示すように、要素 j が要素 i に接近するとき、楕円 i の中心から θ 方向に直線を仮定すると、その直線上における楕円要素 i, j 間の距離 L は次式のように導かれる。

$$L = \frac{-(a_i^2 R \sin \beta \sin \gamma + b_i^2 R \cos \beta \sin \gamma)}{(a_i \sin^2 \beta + b_i \cos^2 \beta)} - \frac{\sqrt{(a_i^2 R \sin \beta \sin \gamma + b_i^2 R \cos \beta \sin \gamma)^2 - (a_i^2 \sin^2 \beta + b_i^2 \cos^2 \beta) (a_i^2 R \sin^2 \gamma + b_i^2 R \cos^2 \gamma - a_i^2 b_i^2)}}{(a_i \sin^2 \beta + b_i \cos^2 \beta)} \quad (1)$$

ただし、

$$x_0 = a_i \cos \alpha \cos \phi_i - b_i \sin \alpha \sin \phi_i + x_i, \quad \alpha = \tan^{-1} \{a_i (\theta - \phi_i) / b_i\}$$

$$y_0 = a_i \cos \alpha \sin \phi_i + b_i \sin \alpha \cos \phi_i + y_i, \quad \beta = \theta - \phi_j$$

$$R = \sqrt{(x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2} \quad \gamma = \tan^{-1} \{(y_0 - y_j) / (x_0 - x_j)\} - \phi_j$$

ここで、任意の θ の中の最小距離を $\min L(\theta)$ とすると、楕円 i と j との接触開始の条件は、次式によって与えられる。

$$\min L(\theta) \leq 0 \quad (2)$$

ただし、 $\min L(\theta)$ は最小値であるから、そのときの θ は次式を解くことにより求められる。

$$dL(\theta) / d\theta = 0 \quad (3)$$

ここで式(3)は、ニュートン法を用いて数値的に解かれる。

(2)接触点および接触角 図-1に示すように、2つの楕円が点 P_1, P_2 において交わっているとき、楕円 i, j の接触点は、 $P_1 P_2$ の中点において与えられるものとする。さらに、 $P_1 P_2$ の全体座標になす角 ω を、この接触点における楕円 i, j の接触角とする。さらに、 $P_1 P_2$ の全体座標になす角 ω を、この接触点における楕円 i, j の接触角とする。

(3)接触相対変位 時間 $t - \Delta t$ から t までの Δt 時間における楕円 i, j の中心点 O_i, O_j の並進・回転移動量を $\Delta u_i, \Delta v_i, \Delta \phi_i, \Delta u_j, \Delta v_j, \Delta \phi_j$ で表わし、さらにこの間の節点における法線方向および接線方向の相対変位増分を Δu_n (接近を正) および Δu_s (反時計回りを正) とすると $\Delta u_n, \Delta u_s$ は次式で与えられる。

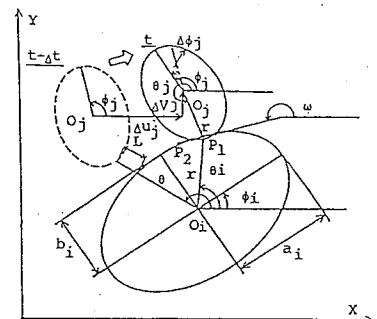


図-1 全体座標系における記号

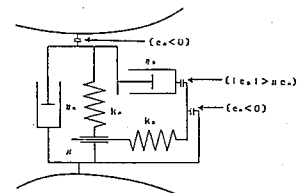


図-2

接点におけるバネおよびダッシュポット

$$\Delta u_n = (\Delta u_i - \Delta u_j) \sin \omega - (\Delta v_i - \Delta v_j) \cos \omega - r_i \Delta \phi_i \cos(\theta_i - \omega) + r_j \Delta \phi_j \cos(\theta_j - \omega)$$

$$\Delta u_s = (\Delta u_i - \Delta u_j) \cos \omega + (\Delta v_i - \Delta v_j) \sin \omega - r_i \Delta \phi_i \sin(\theta_i - \omega) + r_j \Delta \phi_j \sin(\theta_j - \omega) \quad (4)$$

(4)接触時の作用力 図-2に示すように、求められた接触角に対して、法線方向および、接線方向に弾性ハネおよびダッシュポットを設ける。このハネおよびダッシュポットに生じる力および材料定数は、木山ら²⁾が用いた手法に、接触点における曲率半径を用いて求めた。

(5)運動方程式の差分近似解 法線方向の接触力 $\{f_n\}_i$ および接線方向の接触力 $\{f_s\}_i$ とすると要素 i に関する x 方向分力 X_i 、 y 方向分力 Y_i 並びに中心まわりのモーメント M_i (反時計回りを正)は次式で表される。

$$\{X_i\}_t = \sum \{ -\{f_n\}_t \sin \omega - \{f_s\}_t \cos \omega \}$$

$$\{Y_i\}_t = \sum \{ \{f_n\}_t \cos \omega - \{f_s\}_t \sin \omega - m_i g \}$$

$$\{M_i\}_t = \sum \{ -\{X_i\}_t \cdot r_i \sin \theta_i - \{Y_i\}_t \cdot r_i \cos \theta_i \} \quad (5)$$

ここに、 Σ は接触するすべての要素 j に関する総和を表す。また m_i は要素 i の質量である。よって、式(5)で求めた X_i 、 Y_i 、 M_i を用いて、オイラー法によって、要素 i の t における加速度、速度、変位増分が求まる。

3 解析例 中詰要素の持つ偏平率が側壁に作用する中詰材に及ぼす影響を検討するため、図-3に示す4つのパターンについて解析を行った。パターンA,Bは実際の中詰作業において通常行われていると推測される玉石を千鳥に積む方法であり、パターンAの方がパターンBより偏平率の大きい中詰材(b/a は小)を用いた場合に相当する。パターンCは、比較的理想的な玉石を用いた場合に相当し、パターンDは実際にはありそうもないが比較のために設けたパターンである。図-3の右側に各パターン毎の側壁に発生する中詰材圧の分布を示した。この結果から①偏平率の大きな中詰材(b/a は小)を用いた方が明らかに側壁圧が小さくなっている。②底面に発生する摩擦により最下部の側壁圧は極めて小さくなっている。実際の鋼製枠では水平部材が数段に入っているの、この部材と中詰材との間に発生する摩擦も側壁に影響を及ぼすものと考えられ、これより側壁圧はかなり小さくなるものと推定される。図-4に静止土

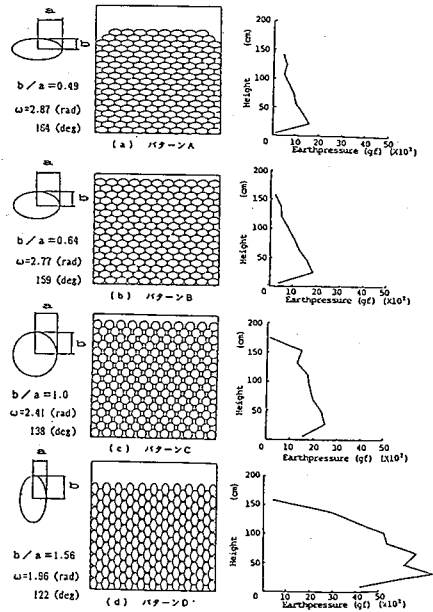


図-3 偏平率毎の配列パターンと側壁に作用する中詰材圧

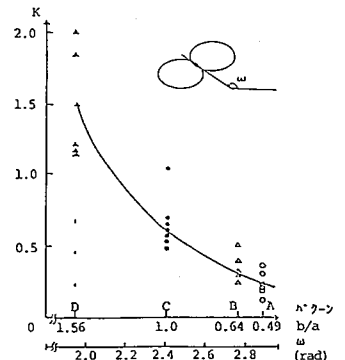


図-4 接触角 ω と土圧係数 K との関係

圧係数 K 値と各パターンとの関係を示した。これより①パターンAになるほど静止土圧係数が小さくなる($K=0.2 \sim 0.3$)。②パターンCにおいては、 $K=0.6$ 程度であるが、パターンDでは、 $K=1.2 \sim 2.0$ 程度にもなることがわかる。

4 結言 本研究は中詰材の持つ形状異性が中詰材圧に及ぼす影響について解析検討したもので、今後現地の中詰材の形状などのデータが把握できれば、静止土圧係数 K 値をかなりの精度で推定できるものと思われる。

参考文献 1)砂防・地すべり技術センター鋼製砂防物研究会：鋼製砂防構造物設計便覧，昭和60年10月
 2)木山・藤村：カンドルの離散剛要素を用いた岩質粒状の重力流動の解析，土木学会論文報告集，第333号，1983年5月，pp. 137~146 3)梶元・香月・石川：楕円形モデルを用いた個別要素法による中詰材の解析法，土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，1988年3月，pp. 24~25