

中詰材の圧密を考慮した溶接金網製組立網の力学解析

新潟大学大学院自然科学研究科 学生員 松岡 隆博
 新潟大学工学部建設学科 正会員 阿部 和久
 共和ハーモテック (株) 小関 徹

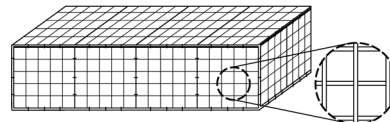


図1 溶接金網を用いた鋼製組立網

1. はじめに

近年考案された溶接金網を用いた鋼製組立網において、施工後の時間経過後に鋼製枠が座屈するという現象が起きている。施工時および施工後に鋼製枠の耐力以上の荷重がかかったとは考えられず、この現象の原因は不明である。なお、原因の1つとして、時間経過に伴う中詰材の圧密による支持力低下の可能性が考えられる。そこで本研究では、圧密や不飽和浸透が中詰材の力学状態の変化や変形の仕方に及ぼす影響について解析を通し検討する。具体的には、外枠と不飽和浸透を考慮した中詰材の有限要素連成解析を行い、不飽和圧密による中詰材の支持力の変化と鋼製枠の座屈の可能性について調べる。

2. 鋼製組立網の概要

溶接金網を用いた鋼製組立網とは、図1に示すような棒鋼同士を溶接して作った格子状の外枠を組み立てて箱状にし、かごの内面にシートを張り、内部に砂や現地の土を充填したものである。また、昨年の研究¹⁾によって、外枠自体の耐力は最大で5kN程度と決して大きくなく、外力に対する抵抗は主に中詰材が持っていることがわかった。このことから、中詰材の力学挙動が鋼製組立網の耐力に大きく影響を与えていると言える。したがって、今回対象としている現象の原因は、中詰材の強度低下によって起きた可能性が高い。

3. 鋼製枠が座屈する仕組についての考察

1. で述べた鋼製枠の座屈については、以下のことが原因として考えられる。

1. 圧密による強度低下

現在、鋼製組立網の施工時において中詰材の充填方法に明確な決まりはなく、各現場において中詰材の充填の仕方はまちまちである。よって、施工後中詰材の自重および上載荷重によって中詰材が圧密を起こすことは十分に考えられる。圧密を起こすことによって中詰材が受け持つはずの荷重が鋼製枠側に転嫁され、これによって座屈を起こした可能性が考えられる。

2. 地下水浸透による強度低下

施工後の地下水位面上昇や雨水の浸透が発生した場

合、間隙水圧が上昇する。これによって中詰材の強度が低下し、短期的な原因と同様に鋼製枠が座屈を起こす可能性が考えられる。

上記のような現象は、どちらも時間経過に伴う中詰材中の間隙水の移動によって起こるものである。さらに、通常中詰材は不飽和状態にあるものと考えられることから、解析では不飽和浸透を考慮する必要がある。よって以下では、上記の「圧密による強度低下」を対象に、不飽和圧密を考慮した中詰材と外枠の連成解析を行う。

4. 鋼製組立網のモデル化

(1) 外枠のモデル化

外枠は鉛直丸棒を弾塑性骨組要素でモデル化する。その際、ひずみは微小、変位は有限と仮定した有限変位理論で定式化する。また、弾塑性解析ではPrandtl-Reussの式を用い剛性方程式を作成する。

(2) 中詰材のモデル化

不飽和圧密解析には、文献³⁾で用いられたBiotの式に基づき定式化を行う。具体的には以下に示すような力のつり合い式と連続式を連立し、変位 u と間隙水圧 p を未知量として求める。なお、変位は節点ごとに与え、間隙水圧については要素ごとに与えることとする。まず、力のつり合い式は次のように書ける。

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = -\bar{\rho} b_i \quad (1)$$

ここで、 σ_{ij} は全応力テンソル、 b_i は物体力ベクトル、 $\bar{\rho}$ は土と間隙水の混合体の密度である。ここで、 $\bar{\rho}$ は次式のよう

$$\bar{\rho} = (1-n)\rho^s + nS_r\rho^f \quad (2)$$

ここで、 n は混合体の間隙率、 ρ^s は土の密度、 ρ^f は間隙水の密度、 S_r は飽和度である。またここで、 σ_{ij} は次式のよう

$$\sigma_{ij} = \sigma'_{ij} + \delta_{ij} \frac{1}{3} p \quad (3)$$

ここで、 σ'_{ij} は有効応力、 p は間隙水圧、 δ_{ij} はクロネッカーのデルタである。式(3)を式(1)に代入して増分形で書き直すと次のようになる。

keywords : 圧密解析, 鋼製組立網, 溶接金網

連絡先 : 950-2181 新潟市西区五十嵐二の町 8050 番地

TEL 025 (262) 7028 FAX 025 (262) 7021

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \Delta \sigma'_{ij} + \frac{\partial}{\partial x_i} \Delta p = -\Delta \bar{\rho} b_i \quad (4)$$

また、連続式は次のように書ける。

$$k \frac{\partial^2}{\partial x_i^2} \left(\frac{p}{\gamma_w} - x_2 \right) - \dot{\varepsilon}_{ii}^s - \frac{n}{K^f} \dot{p} = 0 \quad (5)$$

ここで、 k は透水係数、 γ_w は間隙水の単位体積重量、 ε_{ii}^s は土の体積ひずみ、 K^f は見かけの間隙水の体積弾性係数である。また、 $\bar{K}^f$ は次の式のように与える。

$$\frac{1}{\bar{K}^f} = \frac{S_r}{K^f} + \frac{C}{n\gamma_w} \quad (6)$$

ここで、 K^f は間隙水の体積弾性係数、 C は比水分量とする。以上のようにして求めた式 (4)、(5) を連立して変位と間隙水圧を求める。なお、土は、弾塑性連続体とし、一般化塑性論に基づく Pastor の非関連流動則²⁾を用いてモデル化している。また、空間離散化には有限要素法を適用し、式 (5) の間隙水圧に対してのみ空間差分を用いる。

また圧密浸透の解析に当り、まず最初に初期飽和度より求めた間隙水圧を下限値としてこの値より下回らないように設定する。そして、時間ステップ毎に間隙水圧から飽和度、透水係数および比水分量を求め、更新してゆく。

なお、中詰材と棒材の間には引張に抵抗しない非線形バネを導入し、接触を表現する。

5. 解析結果

(1) 解析条件

二次元平面ひずみ条件下で、高さ 50cm、奥行き 40cm の鋼製組立網を要素分割した。なお中詰材は、1 辺 2.5cm の 4 節点要素で離散化している。なお鋼製棒は右端にのみありと想定し、左端は対称面とした。

(2) 解析例

今回の解析では解析初期から順に、中詰材のみに荷重をかける状態Ⅰ、中詰材と鋼製棒の両方に荷重をかける状態Ⅱ、そしてある一定荷重に達したら上載荷重を一定に保ち中詰材の圧密過程のみ進行させる状態Ⅲの 3 つの载荷条件を設定した。そして、状態Ⅲの際には、外枠荷重の低下により座屈を判定することとする。上部押込み変位と荷重との関係を図 2 に示す。本解析では、状態Ⅰから状態Ⅱへ移項する際の荷重値を 4kN、状態Ⅱから状態Ⅲへ移項する際の荷重値を 7kN と設定した。またその他のパラメータとして、初期飽和度を 0.5、透水係数を 1.0×10^{-4} m/s、初期間隙比を 0.6、地下水面の高さを供試体底面位置とした。図 2 より荷重が 7kN に達した後も中詰材の荷重の減少が起こっており、これによって外枠が受け持つ荷重が増加し、さらに外枠のたわみが増加して、その結果中詰材の支持力がますます低下して行く過程が生じていることが推測できる。また、状態Ⅲに移った直後と解析終了時の間隙水圧を図 3 に示す。これらを比較すると、状態Ⅲ移項直後の間隙

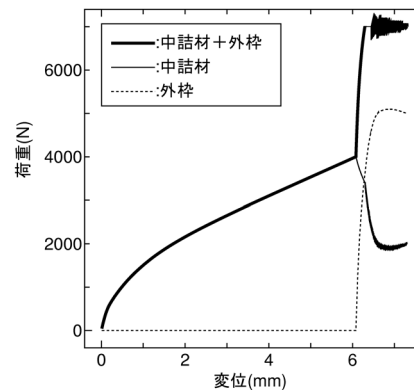
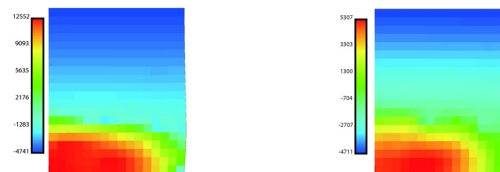


図 2 荷重 - 変位曲線



(a) 状態Ⅲ移行時の間隙水圧 p (Pa) (b) 解析終了時の間隙水圧 p (Pa)

図 3 間隙水圧の推移

水圧の最大値は約 12kPa ほどであるが、解析終了時には約 5kPa まで減少している。これは、状態Ⅲに移行し、外枠が座屈したことで、中詰材の拘束力が急激に低下したことが原因しているものと考えられる。以上のことから、中詰材が圧密を受けることで外枠が負担する分の荷重が増加し、座屈を起こしたと考えられる。

地下水面の高さの影響を調べるために、地下水面の高さを供試体底面の位置から 10cm の高さに設定した解析を行った。地下水面の高さを底面とした場合と底面から 10cm とした場合の鋼製棒の座屈荷重を比較すると、前者は約 5.10kN、後者は約 4.95kN であり、地下水面が上がることで座屈荷重がわずかに低下している事がわかる。これは、地下水面が高くなることで状態Ⅰでの中詰材の強度が低下して中詰材のはらみが増加し、これによって状態Ⅱ移行時の鋼製棒のたわみ量が大きくなり、座屈荷重の低下を起こしたものと考えられる。以上のことから、地下水面の高さが鋼製棒の座屈強度の低下に影響を及ぼすことがわかる。

6. おわりに

今回の解析から、圧密によって外枠が座屈する可能性が十分にあることがわかった。今後は、3. で述べた「地下水浸透による強度低下」の可能性についても調べてゆきたい。

参考文献

- 1) 松岡 隆博, 阿部和久, 小関徹: 溶接金網を用いた鋼製組立網の力学特性に関する基礎的研究, 第 63 回年次学術講演会講演概要集, 975-976, 2008.
- 2) M.Pastor, 'Generalized plasticity and the modelling of soil behaviour', International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol.14, 151-190, 1990.
- 3) 小高猛司, 岡二三生ほか: 不飽和浸透 - 変形連成解析による河川堤防の安全性評価, 第 50 回地盤工学シンポジウム, 平成 17 年度論文集, 347-354, 2005