

## 15. [地中構造・基礎構造]

とりまとめ：豊澤康男（(独)労働安全衛生総合研究所）

論文題目：“異なる断面形状の浅い地下空洞を有する砂質土地盤の支持力”

著者：山本健太郎, A.V.Lyamin, S.W.Sloan, A.J.Abbo  
掲載：Vol.54A, pp.918-927, 2008年3月

## ◆討議 [小林薫 (飛鳥建設(株)技術研究所)]

ライニングを考慮した支持力は解析することができますか。また、ライニング自体の安定性(応力的な評価)は評価できるのでしょうか。

◆回答：ライニングを考慮した支持力を解析することは可能です。ただ、ライニングのパラメータの問題もあり、今回は考慮していません。また、自重での空洞崩壊を防ぐための、内部圧力などを求めることもできます。

## ◆討議 [小林薫 (飛鳥建設(株)技術研究所)]

土被りが浅い方が安定性は低下すると思いますが、今回の解析では  $H/D=2\sim 3$ 、(土かぶり径がトンネル径の  $2\sim 3$  倍)では崩壊して解が得られず、 $H/D=1$ では解が求まっています。実際の現象と解析結果が逆の結果になっているように思えますが、いかがでしょうか。

## ◆回答：

これらのケースでは、 $H/D=1\sim 2$ において、小さな引張応力が作用しています。そして、 $H/D$ が大きくなると実行解なしとなります。空洞内部の圧力による破壊を表すために考慮されており、本研究のような上載圧としての荷重が引き起こすものではないので、対象外となります。ご指摘は、自重による切羽の安定性に関してだと思われまます。地盤条件が良ければ、ご指摘のように土被りが浅いほど崩壊する危険性が増えると考えられます。

## ◆討議 [豊澤康男 ((独)労働安全衛生総合研究所)]

1. 土被りが浅い  $H/D=1\sim 2$  で崩れず、より深い  $H/D=3$  で崩れる結果(Fig.26(a)など)は常識と異なる印象を受けます。 $H/D$ の適用範囲はあるのでしょうか。
2. 荷重の載荷幅  $L$  を無限大とすることと現実の問題との関係はどうですか、どの程度影響してきますか。

## ◆回答：

1. 引張応力が生じているところでは、もはや支持力問題として捉えることはできません。シールドトンネルと異なり、空洞内部の圧力は考えず、支持力問題として捉えるならば、テンションカットなどがプログラム中で必要と考えられます。
2. 現実問題では荷重の載荷幅は限定され、荷重の載荷幅によって、支持力は大きく変化します。ここでは、支持力が最大となる載荷幅  $L$  の無限大を考えています。次のステップとして、荷重の載荷幅  $L$  の影響も当然ながら検討したいと考えています。

論文題目：“被圧水頭下の開削トンネル工事における杭状盤ぶくれ対策工について”

著者：小林薫, 松元和伸, 阿保寿郎, 熊谷幸樹, 近久博志  
掲載：Vol.54A, pp.940-949, 2008年3月

## ◆討議 [落合俊博 (日本下水道事業団)]

1. 実際の施工例として、どれくらいのコスト削減効果がありましたか。
2. 初の施工例として、発注者とどのような協議を行ったのでしょうか。参考までにお聞きしたい。

## ◆回答：

1. 本工事においては、地下水位低下工法の採用が困難であったため、底盤改良による盤ぶくれ対策工と比較して、工期短縮とともに概ね  $50\%$ 以上のコスト削減効果が得られました。

2. 盤ぶくれ対策について比較検討を行い、本工事で採用可能な地盤改良を当初提案しました。

しかし、設計と共に対策工の概算費用を提出しましたが、費用が高額であり発注者からもっと知恵を出して対策工を提案して欲しいという意見がありました。

水中掘削、圧気工法やグラウンドアンカーによる浮き上がり抑止力導入など、これまでに創意工夫された設計例・実施例を収集し、本工事に適用できる方法を検討し、その中で、グラウンドアンカーの様に能動的に導入力を入れるのではないが、ロックボルトに類似した機構になる受動的な効果を期待できる方法として、中間杭を活用した対策工を提案し、発注者の設計部門メンバーも加わり協議(数回)した上で採用して頂きました。

その協議では、課題に対する対応策を協議すると共に、FEMによる掘削底面の安定性評価(安全率や塑性領域評価)を実施しました。また、同時に不確定要素が含まれるため、地中変位計、地盤内温度、被圧水頭および中間杭(H鋼杭)へのひずみ計の設置を提案し、発注者と事前協議した計測管理計画書を基にして、安全性を確認しながら情報化施工を実施しました。

## ◆討議 [幸左賢二 (九州工業大学)]

設計で苦労するところと思いますが、杭の摩擦はどの位でしょうか。また、どのように評価したのでしょうか。

◆回答：中間杭の施工は、セメントミルク ( $\phi 600\text{mm}$ , 設計基準強度  $=21\text{N/mm}^2$ ) で根固めしており、周辺地盤との周面摩擦力については、発注者側の鉄道構造物等設計標準・同解説(開削トンネル)を基に、N値を用いて砂質土は  $2\text{N}$  ( $\leq 10\text{kN/m}^2$ )、粘性土は  $10\text{N}$  ( $\leq 80\text{kN/m}^2$ ) としました。また、中間杭(H形鋼)に設置したひずみ計により評価した粘性土部分の周面摩擦力度は、設計時に想定した  $80\text{kN/m}^2$ を超える値が得られました。なお、周面摩擦力度は、原位置の実地盤において引き抜き試験により算定することが最も適切な評価方法ではありますが、本現場では実施していません。

論文題目：“基盤段差型不整形地盤における地震時地盤変位分布と最大ひずみ推定のための新しいスペクトルの提案”

著者：古川愛子，大塚久哲，橋義規，青木克憲  
掲載：Vol.54A, pp.950-958, 2008年3月

◆討議 [松本敏克 (株ニュージェック)]

基盤段差型不整形地盤の2次元FEMの動的解析では段差間の傾斜幅Lの影響はあまり大きくはないという知見が得られたとのことですが、最大ひずみ推定の為のスペクトルを算出する1自由度系の簡易モデルを用いた場合、ひずみを算出するには深い基盤のモデルと浅い基盤のモデルの間の相対量を除するための基準長が必要な気がします。

簡易モデルで傾斜幅Lをどのように扱われているのでしょうか。

◆回答：ひずみを導出する式展開において、傾斜幅Lの影響を考慮しています。傾斜幅Lは分子と分母の両方に含まれ、最終的なひずみ量は傾斜幅Lに依存しない式となりました。よって、簡易手法において、ひずみ量は傾斜幅Lに依存しません。

◆討議 [幸左賢二 (九州工業大学)]

最大軸ひずみをFEMでどうしていますか。幅と点で違うのでは？ひずみの定義はどうしていますか。

◆回答：平面ひずみ要素を用いて地盤をモデル化し、要素毎の平均的な軸ひずみを用いています。メッシュ幅を徐々に細かくしていき、メッシュ幅の減少に対してひずみ量が一定となるような、十分に細かいメッシュ幅を採用しています。

◆討議 [豊澤康男 ((独)労働安全衛生総合研究所)]

地盤底面を固定した境界条件を用いていますが、これによるとせん断波速度 $V_s$ が無限大となり、地盤の増幅特性が考慮されないことと、有限要素法で下面を固定してしまうと、深さに無関係に同位相の波動が入ってしまうと思います。 $V_s$ を考慮した場合、本論文の解析結果はどう変わってきますか。

◆回答：本研究では、工学的基盤面のせん断波速度 $V_s$ が無限大と仮定できる場合の検討を行いました。無限大でないせん断波速度 $V_s$ を考慮した場合、地盤の増幅特性などによって深さによる位相差が生じますので、本研究の簡易手法はこのままの形では適用できないと考えます。定式化において、工学的基盤面の $V_s$ を考慮した改良が必要と考えます。

論文題目：“地中構造物の地震時損傷度評価における荷重強度指標に関する一考察”

著者：松本敏克，澤田純男，坂田勉，中村晋  
掲載：Vol.54A, pp.959-970, 2008年3月

◆討議 [豊澤康男 ((独)労働安全衛生総合研究所)]

地震動の強度指標として加速度を指標とするより、速度を指標としたほうが望ましいことを述べた論文であり、良くまとめられていると思います。

論文の最後に、大開駅の場合は「構造系全体としての剛性が比較的小さい」とされ、「地盤に比べて構造物が剛である場合、地盤が堅固である場合は本論の想定から外れる」とありますが、具体的にはどのように「外れる」ことになるのでしょうか。今後の研究の展開も含めて、ご見解をお願いいたします。

◆回答：地震動の強度指標としての速度は、長周期側の特性を反映し易い指標であることは本文中で言及したとおりです。

一方、対象といたしました構造物は、開削トンネルであり、比較的可軟かい地盤に建設されることが多いと考えられます。このような箱型地中構造物の挙動は、一般に周辺地盤の変形挙動に追随するとされています。そのため、構造物の固有周期は地盤の固有周期と同程度となる場合が多く、可軟かい地盤であることを踏まえると比較長周期となるものと考えられます。当該構造物は部材の塑性化が進んでおり、構造系全体としての剛性が小さくなっており。

そのため、周辺地盤の変形挙動によく追随する傾向は強いものと考えられます。

当該構造物の1次の固有周期は1秒程度でありましたが、一般的な箱型地中構造物の場合、数分の1秒から数秒程度となるものと思われます。本論では、このように比較長周期が卓越するよう系を前提としております。

地盤に比べて構造物が剛である場合や、地盤が堅固である場合には、系の固有周期がこのような周期帯から短周期側に外れる可能性があります。その場合には、速度を指標として適用するのは慎重に判断すべきと考えます。

また、構造物の固有周期が短周期である場合には、短周期側の特性を反映し易い加速度指標を用いることが適切かと思われます。構造条件、地盤条件に応じて、強度指標の選定も異なることになると考えられますので、今後明らかにしていく必要があると思われます。

論文題目：“重合メッシュ法による杭-地盤系の有限要素解析”

著者：太田篤志，小野祐輔，清野純史  
掲載：Vol.54A, pp.971-978, 2008年3月

◆討議 [豊澤康男 ((独)労働安全衛生総合研究所)]

1. 斜杭の重合メッシュ法の計算結果と通常メッシュでの計算結果が合っていないようですが、その理由について説明していただけませんか。
2. 不規則形状を対象としたメッシュ・ジェネレータが発達している現状を考えると本方法が生きるのは、三次元などの複雑なモデルでだと思えますが、ある程度複雑なモデルで検証しなければ重合メッシュ法の妥当性や優位性を示したことはないのではないのでしょうか。

◆回答：

1. 重合メッシュ法ではローカルとグローバルの材料特性が異なる場合、そのまわりの材料特性が同じ部分( $\Omega B$ )をかいて、材料特性が異なるローカル部分( $\Omega C$ )に応力が伝わります。斜杭の解析では $\Omega B$ の領域が不十分であったためローカル材料に伝わるべき力が十分に伝わらずに解に誤差が生じたと考えられます。また、比較対象のメッシュ形状が異なったことも原因だと考えられます。
2. 今回の解析では重合メッシュ法の優位性を十分に示せたとはいえませんが、斜杭では一致はしなかったものの妥当性についてはある程度示せたと思います。複雑なモデルでの解析は今後の課題です。

◆討議 [山本健太郎 (鹿児島大学)]

1. パイルドラフトのような問題では全体挙動も重要であるから重合メッシュ法を使わなくてもよいのではないのでしょうか。
2. グローバルとローカルとではメッシュ形状 (3 角形, 4 角形要素) なども変えられますか。
3. 現状では重合メッシュ法の利点はあまり大きくないようですが、どのような場合に効果的となってきますか。

◆回答：

1. 無理に使う必要はないですが、メッシュ作成が困難な場合には重合メッシュ法を使う利点もあります。
2. 今回では、4角形平面要素とはり要素を組み合わせましたが、同じ方法でローカルに異なるメッシュ形状を組み合わせることは可能です。
3. おっしゃるとおり今回の解析では重合メッシュ法の利点はあまりありません。重合メッシュ法の利点は対象を単純なメッシュの組み合わせによってモデル化することができることなので、メッシュ作成自体が困難な三次元等の複雑なモデルの場合に効果的です。他にも既存の構造物に補強をする場合、今までのメッシュに補強部分だけのメッシュを追加して解析することができ、メッシュを 0 から作り直さなくても済みます。また、複雑なモデルでも歪 (いびつ) なメッシュが必要ない、という利点もあります。

◆討議 [古川愛子 (九州大学)]

材料の非線形性を考慮する場合、定式化においてどのような工夫が必要ですか？

- ◆回答：材料の非線形性を考慮する場合、増分形式になるだけで定式化も線形と同じです。詳しくは参考文献16)を参照してください。