

掘削における地盤のリバウンド

Ground Heave due to Excavation

佐久間 誠 也 (さくま せいや)

顧問組 土木事業本部 技術第一部長

1. はじめに

リバウンドという言葉は、一般用語としても多方面で用いられている。土木・建築工事においても、杭の打ち止め管理に用いられる杭のリバウンド、コンクリートの強度推定に用いられるリバウンドハンマーなどから本テーマである地盤の開削工事に至るまで様々な場面でリバウンドという言葉が使われている。地盤を掘削することにより掘削底面以深の地山が持ち上がる現象をリバウンドと呼んだのは、その様子が土の荷重が除荷されて圧縮されていた地山が跳ね返るようなイメージが感じられるからであろうかと推察される。

2. 掘削における地盤のリバウンドとは

オープン掘削や土留め掘削などの開削工事において掘るという行為は、今まで平衡状態であった地盤のバランスを変化させる。そして、この時に地盤の中では土圧及び水圧の変化と地盤変位が起こっている¹⁾。広い範囲のオープン掘削においては、端部の法面付近の挙動を除いて地下水の変動が無ければ、土被り圧の減少に伴いその減少量に応じた掘削底面以深地盤の浮上がり（リバウンド）が発生する（図－1参照）。

ただし、実施工では掘削底面高さを設計高さに応じて仕上げるので、リバウンド量は層別沈下計などによる計測を行わないと把握できない。

また、土留め掘削の場合も、掘削側の地盤については、これも地下水位の変動が無ければ鉛直方向に土被り圧が

減少し、掘削底面以深の浮上がり（リバウンド）が発生すると同時に、土留め壁の根入れ部が掘削側に変位し水平方向の圧縮力を受ける（図－2）。

このように、掘削に伴う応力開放とほぼ同時に発生する鉛直方向の地盤の弾性的な即時変形を掘削に伴うリバウンドとして取り扱っている。また、軟弱粘性土地盤におけるヒービングや被圧地下水の揚圧力によって生じる盤ぶくれとは、その発生条件が明らかに異なるものであるが、地盤の浮上がりという現象は似ているので地下水位、土質性状、地層構成などを良く精査して浮上がりの要因を判断する必要がある。

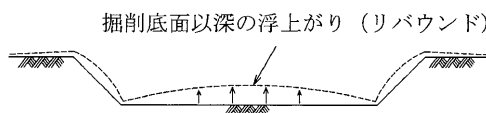
3. リバウンドによる影響

一般的な開削工事においてリバウンドは、深い掘削や逆施工法を採用した時に設計上の配慮をする場合はあるが、その現象が大きな問題となることはほとんど無い。しかし、都市部における工事では、地下構造物が輻輳しておりリバウンドがこれらに影響を与えることが多い。

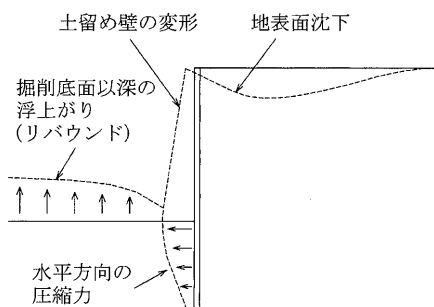
また、建築工事において、低層棟と高層棟の基礎を一体として直接基礎で計画する場合、不同沈下の影響を地中梁や耐圧版の計算に反映して検討する必要がある。施工手順に従って地盤の浮上がり量や沈下量を把握する際には、掘削に伴うリバウンド量が重要な課題となる。したがって、土木・建築工事の掘削においては、その状況に応じてリバウンドによる地盤の挙動を把握し、既設構造物や施工中の構造物への影響を事前に予測して設計や施工に配慮する必要がある。

実際の構造物のリバウンドによる影響を計測した事例は多数あるが、その一例として地下鉄駅舎の大規模開削範囲（幅約22 m、長さ約50 m、深さ約45 m）を縦断するシールドトンネルの内部に沈下計を設置して計測した事例を図－3に示す。この事例では、掘削が進むにつれて徐々にトンネルが隆起しトンネル露出時（3次掘削中：掘削深さ約10 m）に最大12 mmの隆起が計測された。

この時の既設トンネルの構造諸元は、外径φ3 350 mm、鋼製セグメント（桁高125 mm）、二次覆工厚さ200 mmであった。また、既設トンネル以深の土層は、N値12～50の東京層細砂層、N値4～14の東京層粘性土層、N値32～50以上の東京砂層及び砂礫層、N値50以上の江戸川層及び上総層が堆積し、良質な地盤条件である²⁾。



図－1 オープン掘削におけるリバウンドのイメージ



図－2 土留め掘削におけるリバウンドのイメージ

技術手帳

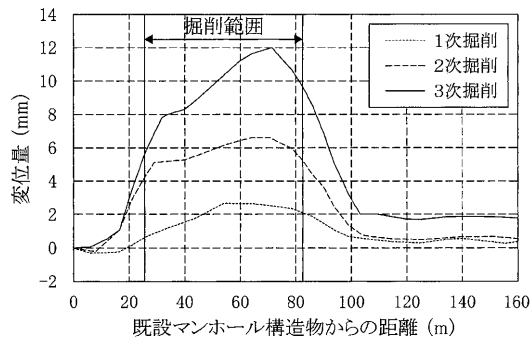


図-3 シールドトンネルの軸方向変位分布の実測値

4. リバウンド量の予測手法

掘削に伴うリバウンド量を予測する手法としては古くから様々な手法が提案され利用されてきたが、大別すると①経験式による方法、②FEMによる方法、③弾性理論に基づく理論予測式による方法の三つがある^{2),3)}。経験式による方法⁴⁾は、実測値に基づくリバウンド量と掘削した土の重量との関係式を用いてリバウンド量を予測するもので簡単であるが汎用性があまり無い。これに対し、FEMによる方法と弾性理論に基づく理論予測式は、地盤の変形係数を種々の試験や実測値に基づく補正係数を用いて求め、地層構成・掘削形状・掘削深度などを考慮して地盤中の任意の点におけるリバウンド量を推定する方法である。最近では地盤工学会や土木学会の年次講演会などでリバウンドをテーマとした種々の報告^{5),6)}がなされており、パーソナルコンピュータや解析ソフトの充実を背景に三次元FEM解析による予測事例も増えている。応力開放問題であるためFEMにおいても適切なモデル、物性値の設定などが重要であり事前予測が容易ではないことも多い。

また、基準類においてリバウンド量を予測する手法が明記されているものとしては「鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル 付属資料 掘削土留め工の設計」がある。この基準の参考資料11「リバウンド量の実態と算出例」にリバウンドについて、弾性論（スタインブレンナー式解法）と二次元FEM解析による予測手法が紹介されている⁴⁾。

5. リバウンド対策

リバウンド対策としては、地下水位を下げ掘削底面以深に置ける地盤の有効重量を増加させる方法が良く取られるが、この他にリバウンドに伴う地盤や構造物の変形を押さえる方法と影響を受ける構造物側で発生応力を緩和する方法などがある。前者の事例としては、図-4に示すようにリバウンドに伴う既設シールドトンネルの浮上りを押さえるために、高圧噴射攪拌工法を門形に施工してその重量と周面摩擦を期待した対策がある。後者の事例としては、既設シールドトンネルの縦断方向の浮上りは許容するがリング間継手のボルトの発生応力な

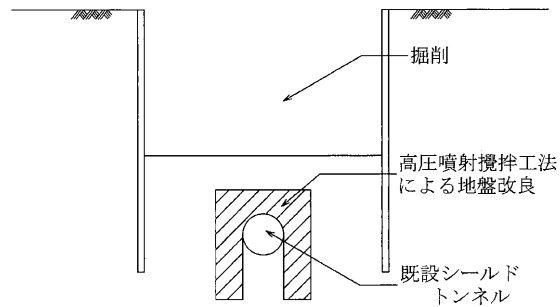


図-4 地盤改良によるリバウンド対策

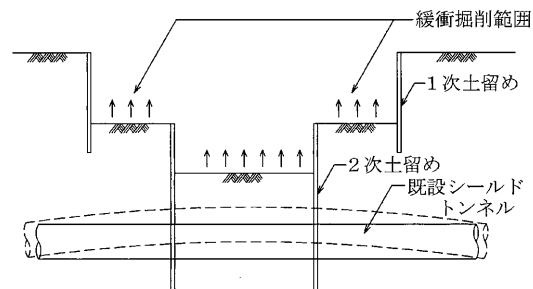


図-5 緩衝掘削によるリバウンド対策

どが厳しいため図-5のように緩衝掘削範囲を設け縦断方向のトンネルの浮上りに伴う変形の曲率を緩和した対策事例がある。また、シールドトンネルのリング間ボルトの応力に対しては、構造物の破壊を避けるためにボルトを故意に切断し剛性を低下させた事例もある⁷⁾。

6. おわりに

リバウンド対策に至る過程においては、既設構造物の挙動を正確に捉える必要がある。そのため、地盤の計測と同時に対象構造物に対する計測を行行情報化施工としている場合が多い。実際の対応においては、第三者との近接施工協議が必要になる事が多いので施工計画時に注意が必要である。

参考文献

- 1) 杉本隆雄・米澤 徹：開削工事に伴う地盤変状の要因，基礎工，Vol. 25, No. 4, pp. 10～16, 1997.
- 2) 岡田 仁・中村益美・笠井靖浩・栗原美津雄・山本 稔：開削による地盤および既設トンネルのリバウンドに関する予測手法，土木学会論文集，No. 763/Ⅵ-63, pp. 53～69, 2004.
- 3) 地盤工学会：根切り・山留め設計・施工に関するシンポジウム発表論文集，pp. 80～84, 1998.
- 4) 財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 開削トンネル，pp. 429～436, 2001.
- 5) 柴崎浩一郎・沼上 清・中沢楓太・蒔苗 齊・高倉 望：大規模掘削工事のリバウンドによる近接鉄道高架橋への影響，第46回地盤工学研究発表会，pp. 819～820, 2011.
- 6) 宮田 亮・水谷年希・中桐秀雄・谷 和博：地下鉄営業線直上における開削トンネル工事に関する報告，土木学会第64回年次学術講演会，pp. 401～402, 2009.
- 7) 小浦場博・西尾誠高・左高茂樹：地下鉄駅舎工事における既設洞道の受け防護工 第45回施工体験発表会，1999. (原稿受理 2012.6.18)