

定常性と鈎合い根入れ長に関する試計算（その1 試計算の検討方針）

鉄道総合技術研究所

正会員 ○讃岐賢太 辻 綾乃

正会員 牛田貴士 松丸貴樹

1. 研究の目的 鉄道における設計標準¹⁾では、近接施工などで弾塑性法による検討を行う際に、土留め壁応力や変形および切ばり反力の定常性から定まる根入れ長（以下、定常性）を計算し必要根入れ長としている。これにより、変位などの制限値の厳しい掘削土留め工において、不確定な事項に対する安全率を上げ、より安定性を確保するよう設計で配慮しているものの、鈎合い根入れよりも根入れ長が増加する。

そこで本稿では、主に定常性や鈎合い根入れ長に着目した試計算を行うにあたり、根入れの決定要因や設計事例の分析及び感度解析を実施した上で検討方針を整理した。

2. 根入れ長の決定要因 定常性根入れについての検討の模式図を図1に示す。定常性は、壁面や支保工等の各応答値を指標にこれらが一定となるまで根入れ長を増加させるものである。既往の設計基準²⁾を参考にすると、土留め壁に作用する側圧や地盤抵抗等の不確実性、支保工や土留め壁の剛性等の不確実性等、掘削土留め工の安定に影響するあらゆる不確実な要素を1つの指標で考慮しているものと解釈できる。ここで、想定される不確実性の影響因子を解析モデルと対比する形式で表1にまとめる。影響度の大小は異なるものの、これらの因子が根入れ長の決定要因に関連しているものと考えられる。また、以上を踏まえると各因子に含まれる不確実性をより厳密に考慮した根入れ長とすることで、土留めの安定を確保しつつ、根入れ長を合理化できる可能性がある。

3. 事例および感度分析 鉄道以外の既往分析³⁾によると、定常性が決定ケースとなる事例が多く、鈎合い根入れ長よりも2m程度長くなることが多いとされている。既往文献^{例えば4)}の鉄道の事例等の全29ケースについて同様の分析を行った結果を図2に示す。本図では、根入れ長の決定ケースと鈎合い根入れ長からの増分（以下、根入れ差）の分布を示している。なお、複数の基準^{例えば5)}で検討項目とされている弾性領域率はその他として整理した。分析の結果、定常性が決定ケースとなる事例が半数を超えた。また、定常性では2~3m程度の根入れ差となる事例が多いものの、3mを超える事例も確認されたことから、根入れ差にも一定の幅があるものと考えられる。

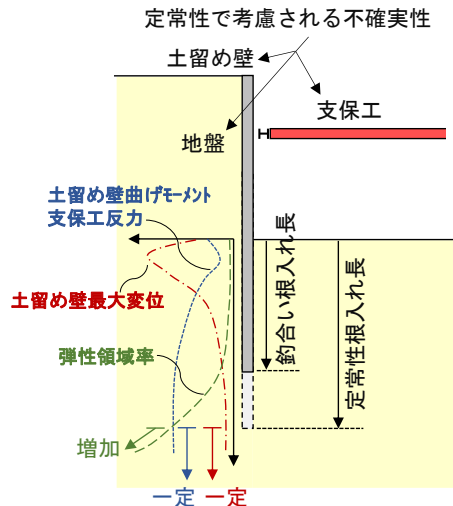


図1 定常性から定まる根入れ長の模式図

表1 想定される不確実性の影響因子

項目	想定因子	モデル化の方法
地盤	強度定数 c, ϕ	側圧係数
	変形係数 E	地盤反力係数, 地盤ばね
土留め壁	曲げ剛性 EI	はり剛性
支保工	軸剛性 EA	弾性支承

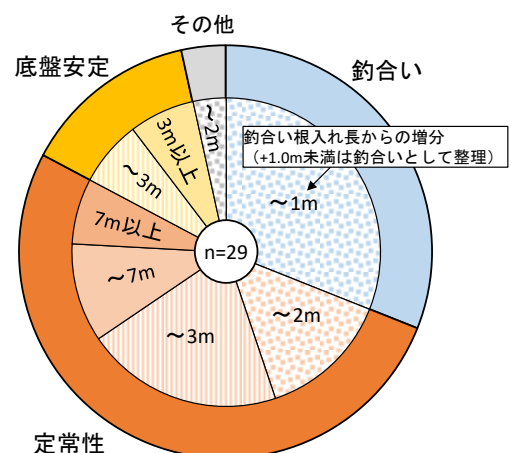


図2 根入れ長決定ケースと根入れ差

キーワード 掘削土留め工, 根入れ長, 弾塑性解析, 粘着力, 内部摩擦角, 切ばり

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 基礎・土構造 TEL 042-573-7261

一例として、**図3**に示すソイルセメント壁を用いた切ばり式土留め工を対象に根入れ長に関する感度分析を実施した。パラメータは、**表1**で示した各種要因の内、比較的感度が大きいと考えられた地盤の強度に関する諸数値（粘着力 c と内部摩擦角 ϕ ）を代表に $\pm 10\sim 20\%$ 程度変化させた。分析の結果を**図4**に示す。地盤の諸数値の低減により根入れ長が長くなる傾向が見られ、根入れ部のみを変化させた場合においても一定の感度が見られた。

以上より、地盤の強度に関する諸数値を例に弾塑性解析の入力値を低減し、不確実性を考慮した釣合い根入れ長とする方法の有効性が示された。ただし、本事例では根入れ差が1m以下と小さく、釣合いと定常性の根入れ長が均衡する地盤条件では、不確実性を考慮した場合は釣合い根入れ長が定常性根入れ長より長くなることも懸念される。事例分析でも根入れ差に一定の幅が見られたことも勘案すると、根入れ差の異なる地盤条件に応じて適切な低減率を設定する必要があることを示すものである。

4. 入力値の低減による試算の手順 不確実性を考慮した釣合い根入れ長とした場合の応答値や照査値への影響について、試算による検証を実施した。試算の検討方法についての模式図を**図5**に示す。なお、試算の結果は次報⁹⁾で報告する。

設計条件の不確実性を、弾塑性法の入力条件を補正して釣合い根入れ長で決定するとし、補正する入力条件は地盤の強度に関する諸数値や土留め壁および支保工の各入力値を用いた。試算の検討フローを**図6**に示す。釣合い根入れ長から定常性根入れ長に伸ばすことにより、弾塑性法の応答値が低減するが、前述したように根入れ差が一定でないため、低減幅は地盤条件等で異なる。そのため、この値を一旦、入力条件の低減率（同図のA）として用いて釣合い根入れ長を算出し、照査値（同図のB）の余裕代に収まることに加えて、増減量の絶対値を比較（同図のB>A）することで定常性根入れ時と同等以上の安全率を担保可能か検証した。また、最終的に別途所定の弾性領域率⁹⁾以上であることを検証し土留め全体系の安定性を担保することとした。

5. まとめ 掘削土留め工の根入れ長の決定要因と根入れ長への影響度を分析した結果に基づき、試算の検討方針およびフローを立案した。試算の結果の詳細は次報⁹⁾で報告する。

参考文献 1) 国土交通省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 トンネル・開削編，2021.2) 土木学会：2016年制定 トンネル標準示方書 [共通編]・同解説 / [開削工法編]・同解説，2016.3) 鈴木ら：土留め壁の根入れ長に関する評価について，土木学会年次学術講演会概要集，Vol.59，pp.701-702，2004.4) 桑原ら：営業線高架橋直下の地中連壁に関する計測管理，土木学会年次学術講演会概要集，Vol.58，pp.731-732，2003.5) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼矢板・設計から施工まで，2014.6) 辻ら：定常性と釣合い根入れ長に関する試算（その2 試算結果），土木学会年次学術講演会概要集，Vol.77（投稿中）

ソイルセメント壁	c (kN/m ²)	ϕ (°)	N値
粘性土	30	—	4
砂質土	—	32	23
砂質土	—	35	28
粘性土	100	—	10

図3 設計条件

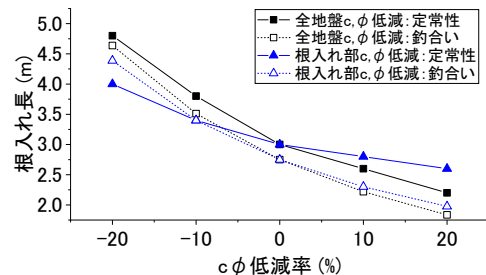


図4 根入れ長の感度分析結果

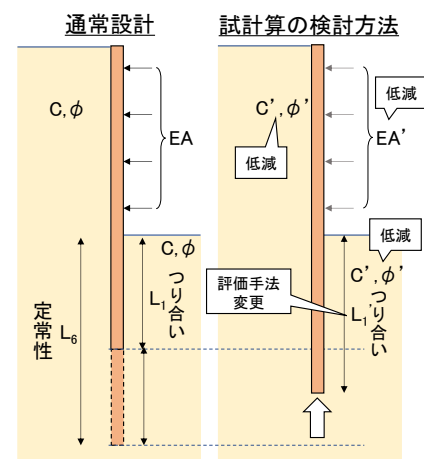


図5 検討方法の模式図

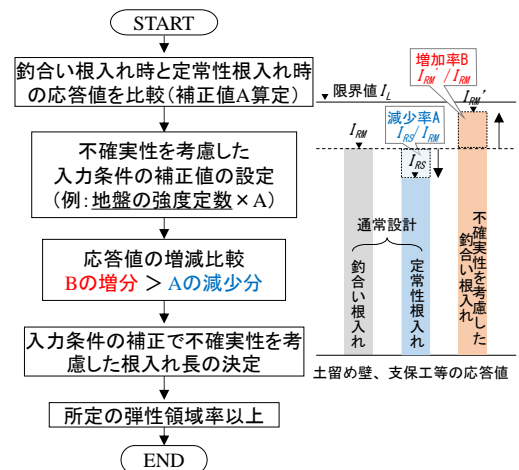


図6 検討方法のフローチャート例