

地盤の非線形性を考慮した弾塑性計算の実設計への適用性に関する検討

非線形性 弾塑性体 土留め壁

(株)複合技術研究所: 正会員 山田 康裕 正会員 矢崎 澄雄
 (財)鉄道総合技術研究所: 国際会員 小島 謙一 正会員 松丸 貴樹
 正会員 桐生 郷史

1. はじめに

鉄道における掘削土留め工の設計は弾塑性法によることを基本¹⁾としており、その際に考慮する地盤ばねは他の基準類と同様にバイリニアでモデル化して用いている。しかし、実際の地盤は異方性、非線形性を有していることから、弾塑性法に考慮する地盤ばねを非線形とした効果について検討を行ってきた。^{2),3)}その結果、地盤の非線形特性を弾塑性法に考慮することで、実測の土留め壁の挙動を現行の設計よりも、より精緻に予測できることが明らかとなった。

これらの結果から、地盤の非線形性を実設計に適用させることを目的として、地盤の非線形性を弾塑性法に適用する際のモデル化について検討を行い、更に決定したばねモデルにより設計される土留め工の経済性について検討を行った。

2. 弾塑性法に用いる非線形地盤ばねのモデル化

本検討では、弾塑性計算に用いる非線形ばねのモデルとして、図1に示す双曲線が妥当であると考え適用させることとした。この双曲線モデルは、破壊比と初期剛性により決定されるものであり、破壊比はばねの上限値、すなわち受動土圧に相当するため従来と同様に 1.0 となる。初期剛性はその感度が大きく、土留め壁の変形を左右する重要なパラメータである。したがって、この双曲線モデルを適用するためには、

初期剛性をどの程度に設定するかが最も重要な課題である。本検討では、土留め工の実測現場データを既往の文献調査により収集し、土留壁変位に着目して、現行の設計標準による予測変位と実測変位、および初期剛性をパラメータとした双曲線モデルによる予測結果とを比較することにより、逆解析的に妥当と考えられる初期剛性の値を決定することとした。

3. 実測データを用いた弾塑性感度解析による初期剛性の検討

表1に実施した計算ケース(全15ケース^{2)~18)}の現場条件の概要を示す。解析は、地盤ばねの効果をできるだけ正確に評価するために、掘削過程で最も単純な断面である1次掘削完了時点に対して行うこととした。パラメータとする双曲線ばねモデルの初期剛性は、現行基準による E_0 に対して2・3・5・10倍の値とした。

図2に土留め壁の変形挙動の例として、砂質土地盤にソイルメント壁を適用しているケースNo.9⁴⁾の結果を示す。同図より、設計基準による計算値は実測値の約4倍になっており、過大に安全側な結果となっていることがわかる。また、計算結果を実測値に近い値とするためには、双曲線モデルの初期剛性を現行基準による E_0 の10倍以上にする必要がある。図3に各ケースの最大水平変位量の比較を示す。同図より設計基準による計算値は、全てのケースで実測値よりも大きな結果となっている。これに対して、双曲線モデルとした場合には、 E_0 の倍率を増加させるほど実測変位に近づ

表1 現場条件の概要(ケース数)

1次掘削深さ		土留め壁種類	
1~2m	4	ソイルメント壁	10
2~3m	8	地下連壁	3
3~4m	3	鋼矢板	1
4m以上	0	鋼管矢板	1
土質種類		土留め壁最大変位量	
砂質土	5	0~20mm	3
粘性土	6	20~50mm	9
互層	3	50~100mm	2
しらす	1	100mm~	1

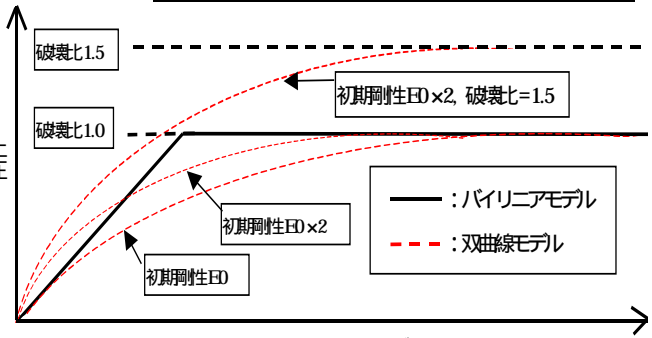


図1. 非線形モデルとバイリニアモデル

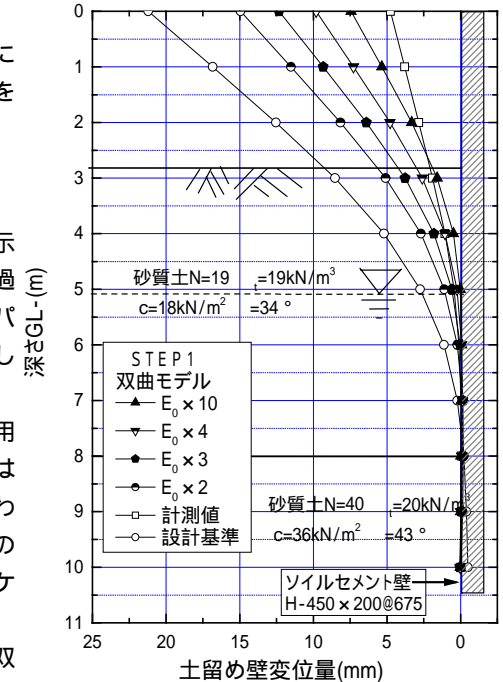


図2. 土留め壁変形挙動例(ケースNo.9)

Examination concerning applicability to real design of Elasto-plastic calculation that considers nonlinearity of the ground: Y.Yamada, S.Yazaki (Integrated Geotechnolgy Institute I.t.d) , K.Kojima,T.Matumaruru,S.Kiryu (Railway Technical Research Institute)

くが、倍率を3倍とした時にケース7,8がほぼ実測値と変わらないものの危険側の結果となり、倍率5倍、10倍とした場合にはケース1,4,5,13,14の計5ケースが、実測変位よりも小さな変位量となり危険側の評価となった。

これらのことから、設計に適用可能な双曲線モデルの E_0 に対する倍率は、施工方法による影響や実際の地盤のばらつき等、設計段階における不確実性を勘定すると2~3倍程度が妥当と判断される。ただし、初期剛性の設定については、三軸試験等土質力学的な観点からも検討を進めており、今後上記の解析結果との整合性を確認する。

4. 非線形ばねを用いた掘削土留め工の経済性の検討

設計に適用する初期剛性として解析的に妥当と判断された現行設計基準の E_0 の2~3倍の双曲線モデルを用いてモデル断面に対する試設計を行い、現行の設計基準により設計される土留構造と比較した場合、地盤の非線形性を弾塑性法に適用した際の合理化・経済化の度合いを定量的に検討した。

今回、実設計を想定したモデルの掘削断面、地盤条件を図4に示す。モデルは、均一粘性土地盤に最終掘削深さ15mを全6ステップで施工する土留め壁掘削工を想定した。土留め壁には、鋼矢板型を適用し、支保工は切梁とした。

上記のモデルで、設計基準と双曲線モデルによるばねを用いて土留め壁の最大水平変位が同程度となるように切梁および腹起しの部材を決定した。その結果、表2に示すように双曲線モデルによる非線形ばねを用いた場合、設計基準によって設計した場合よりも、切梁と腹起しがほぼ全段で1ランクづつ下げられ、工事費削減が可能な結果が得られた。

5. おわりに

掘削土留め工の弾塑性計算において、地盤が有する非線形性を双曲線モデル(破壊比1.0,初期剛性 $E_0 \times 2 \sim 3$)による地盤ばねとすることで、より合理的・経済的な掘削土留め工の設計が可能となることが解析的に確認された。ただし、現在、土のひずみレベルと変形係数の関係から土質力学的に初期剛性の検討を実施しており、上記の解析による検討結果と併せて総合的に評価する予定である。また、これらの結果を現場設計に提案し、地盤ばねの非線形ばねによる弾塑性計算での適用実績を蓄積していくことにより、設計への適用性を確認していきたい。

<参考文献>

- 1) (財)鉄道総合技術研究所編, 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, 2001.3
- 2) 矢崎, 小島, 野村: 実現場データを用いた弾塑性法における地盤および補強材ばねの非線形効果に関する検討, 地盤工学会第40回年次講演会, 2005.7
- 3) 矢崎, 小島, 野村: 大径補強材を用いた掘削土留め工における補強材ばねの非線形特性に関する検討, 土木学会第60回年次学術講演会, 2005.9
- 4) 菅原, 青木, 佐藤ら: 外壁と内壁を繋いだ二段山留め壁の挙動, 地盤工学会第40回年次講演会, 2005.7
- 5) 中井ら: ソイルセメント壁工法における山留め計測結果の報告, 地盤工学会第21回年次講演会, 1986.6
- 6) 桜木, 秋場, 窪倉: 京浜地区における山留めについて, 地盤工学会第21回年次講演会, 1986.6
- 7) 木村ら: 逆打ち躯体を用いたオープンカット工事-山留め架構の挙動-, 地盤工学会第28回年次講演会, 1993.6
- 8) 青木, 佐藤, 吉岡, 西岡: 深層混合処理工法を用いた自立山留め挙動, 地盤工学会第29回年次講演会, 1994.6
- 9) 立石, 堀口, 青木, 垣田: 大規模開削工事での土留め壁の変形, 地盤工学会第30回年次講演会, 1995.6
- 10) 森ら: 挿入式傾斜計を用いた山留め壁の変位測定に関する-考察, 地盤工学会第31回年次講演会, 1996.6
- 11) 篠崎, 青木, 平井ら: 山留め壁背面側の地盤改良による変位抑止効果, 地盤工学会第37回年次講演会, 2002.7
- 12) 杉江, 石井ら: ソイルセメント柱列壁による土留めの3次元要素法解析, 地盤工学会第37回年次講演会, 2002.7
- 13) 石井, 森: 先行切梁による山留め壁の変形抑制効果, 地盤工学会第36回年次講演会, 2001.6
- 14) 東, 井坪, 阿部, 荘家: 御幸ビルディング新築工事における山留め工事, 基礎工, 1981年9月号
- 15) 吉富, 山本: 鹿児島共同ビル建設における山留め工事, 1986年5月号
- 16) 元井, 石井: 生石灰杭による山留め壁への地盤改良効果, 日本建築学会大会学術講演会, 2001.9
- 17) 幾田, 丸岡, 青木, 佐藤: 根切り山留めの観測施工法に関する研究 工事例, 竹中技術研究報告第38号, 1987.11
- 18) 幾田, 丸岡, 青木, 佐藤: 根切り山留めの観測施工法に関する研究 工事例, 竹中技術研究報告第38号, 1987.11

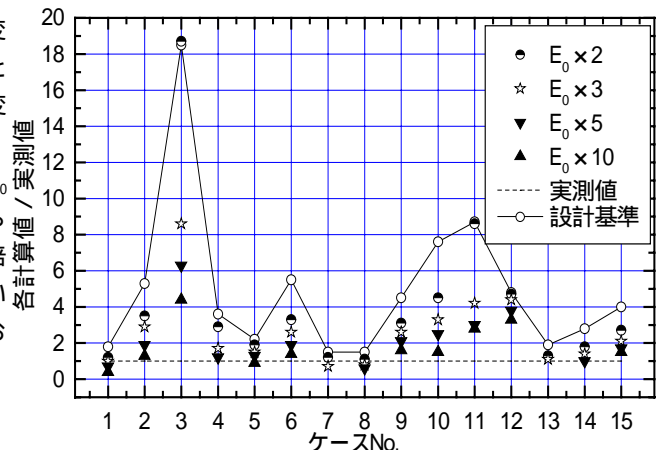


図3. 各ケースの最大水平変位量の比較

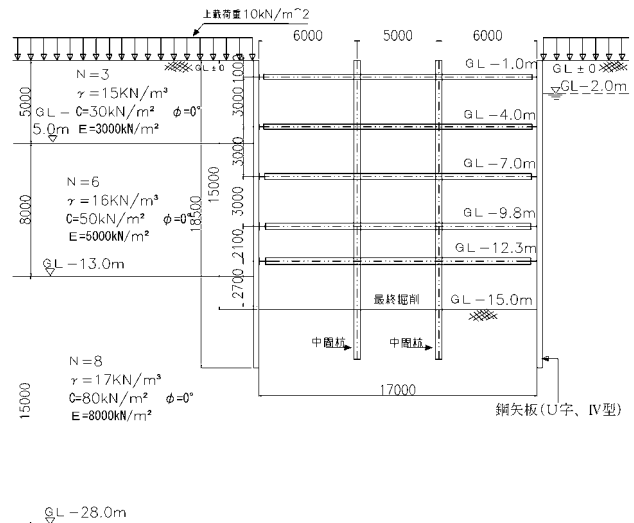


図4. 検討モデル断面

表2. 初期剛性2・3倍との部材比較

		設計基準	双曲線モデル	
			$E_0 \times 2$	$E_0 \times 3$
土留め壁 (鋼矢板、U字型)		FSP-型	FSP-型	FSP-型
切ばり 腹起し	1段目	H-300 x 300	H-250 x 250	H-250 x 250
	2段目	H-300 x 300	H-250 x 250	H-250 x 250
	3段目	H-400 x 400	H-350 x 350	H-350 x 350
	4段目	H-400 x 400	H-350 x 350	H-350 x 350
	5段目	H-350 x 350	H-350 x 350	H-300 x 300
変位量 (mm)	壁頂最大変位量 _{top}	23.14	24.57	12.53
	最大変位量 _{max}	35.38	35.37	32.61