

根切り山留めの設計と施工に関する展望

宮 崎 祐 助 (みやざき ゆうすけ)

広島工業大学教授 工学部

山留めは仮設構造物である。したがってその設計と施工に要求されることは安全であることと経済的であることである。そこで山留めの設計と施工について展望しろと言われれば、必然的に安全性と経済性を念頭において展望することになろう。結論を先に言えば、研究すべき課題はまだたくさんあるといえよう。

1. 山留め設計に関して割り切れること、できないこと

山留めの諸々の現象について、現時点で何がどこまで分かっているのか、あるいは、ここまでは分かったことにしているのか、ということのを思いつくままに挙げて、その内の主な事項を今後の研究課題として展望することとする。

建築学会は、本年2月に13年振りに「山留め設計施工指針」を3年半の歳月をかけて改訂している。この指針改訂を顧みて、ここまでは分かったことにしたこといくつかを紹介してみる。

指針の改訂に際しては、まず、基標準・指針類の功罪を議論したうえで、設計者の自由度を奪うものとし、実用的なものとする、作成者のための指針としない、すなわち、当然のことであるが利用者の立場に立つて作る、といったことを基本的な姿勢とした。

現時点で分かっていることとして指針に提示した主な事項は以下のとおりである。

- 設計計算法として梁ばねモデル法と単純梁モデル法(図-1)をほぼ認容できる計算法であるとして示した。
- 上記の計算法に対応した入力値として設計側圧や土の変形係数 E_s などを具体的に提示した
- 梁ばねモデル法用の設計用側圧の設定に際して平衡側圧の概念を導入した
- ヒービングの検討式はモーメントの釣合いによる方法を妥当な検討法であるとした
- 山留め壁の変形と周辺地盤の沈下の関係式を実測結果を基に提示した
- 切梁の温度応力の算定を具体的なものとした
- 地震時対応は、兵庫県南部地震における調査結果から判断して特に考慮しなくとも良しとした

上記した事項を分かっていることとして具体的に提示するに当たっては、関連文献の調査とともに改訂委員会としての独自の検討も行っている。例えば、設計計算法として単純梁モデル法(図-1)の採用に当たっては、表-1に示すような検討を行った結果、掘削深さ10～

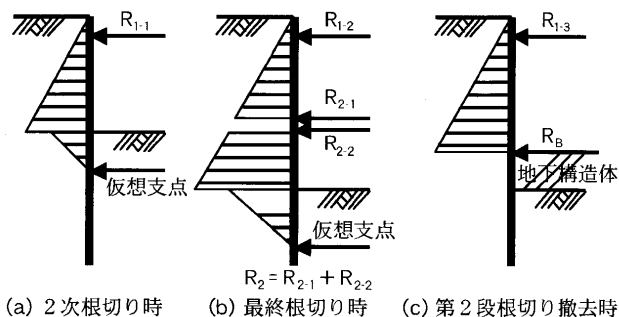


図-1 提示した単純梁モデル法の概念

12 m 程度までの工事の設計に適用可とした。表-1は、計算法として実績のある梁ばねモデル法との計算比較で単純梁モデル法の検証を試みたものである^{1),2)}。また、図-2, 3は、梁ばねモデル法を用いる計算で必要となる水平地盤反力係数 k_h を、委員各自が通常用いている値を取りまとめ、改定委員会として提案したものである。

一方、指針に具体的に提示できなかったこと、つまり現時点ではまだ分かっていない、としたことの主なものは次のような項目である。

- 掘削に伴って減少する側圧の評価
- 偏側圧が作用する場合の設計計算法
- 上載荷重の側圧への評価法
- 切梁に導入するプレロード量の決定法および導入プ

表-1 梁ばねモデル法と単純梁モデル法の計算結果の比較

掘削深さ(m)		5	8	12	15	
切梁支点反力比 単純梁モデルの算定値 梁ばねモデルの算定値	R1	1.10	1.06	0.95	0.82	
	R2		1.01	1.23	1.33	
	R3			1.06	1.31	
	R4				1.34	
最大曲げモーメント比		Mmax	0.90	0.90	0.97	0.78

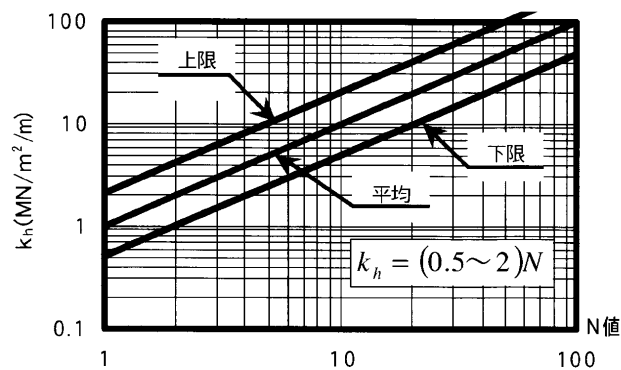
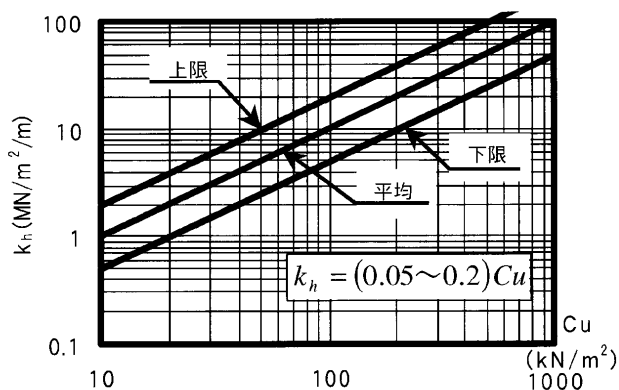


図-2 水平地盤反力係数の推奨範囲(砂地盤)



図—3 水平地盤反力係数の推奨範囲（粘土地盤）

レロードの評価

- ・先行地中梁工法や杭の空打ち部などの評価法

以上が建築学会の「山留め設計施工指針」の改定作業を通して分かっているとされることが、されないこととして認識した事項である。以上を踏まえて、山留めの設計における安全性と経済性を追求する上で、今後どのようなことを研究・調査すべきかを概説してみる。

2. 山留めの設計に関して研究して欲しい課題

山留めの設計における安全性と経済性を追求する上で研究が望まれる課題を次の4項目に分けて考えてみる。

- 1) 設計荷重の設定
- 2) 設計法
- 3) 近接施工
- 4) 地下水処理

1) 設計荷重の設定

a) 側圧の設定に含まれる安全

山留めの設計における安全率は…、と問われたらどのような答が返ってくるのであろうか。多くの人は、材料に含まれる安全率を答えるのではないかと思う。つまり、このようなことは今まで具体的にあまり考えられていなかったことなのである。

山留め設計に含まれる安全は、大きく次の3段階に分けて考えられるのではないだろうか。

- ・側圧の設定に含まれる安全
- ・設計計算法そのものに含まれる安全
- ・材料の許容応力度に含まれる安全

このテーマについて言及するに当たり、手始めに側圧の設定段階にどのような安全性が含まれているかを調べてみたので、一つの話題として紹介しておく³⁾。

調査方法は、精度よく測定されたと判断できる側圧の実測事例を対象として(1)式で設定した側圧と実測値との比を求め、この比をもって側圧設定における安全（係数）とした。

$$P = K\gamma_1 + Z \quad (\text{kN/m}^2) \quad \dots\dots\dots (1)$$

なお、式中の側圧係数 K は、建築学会の「山留め設計施工指針」⁴⁾に示される側圧係数表と筆者が以前に提示した⁵⁾側圧係数算定式との2法で求めた。また、掘削に伴う側圧の減少現象を評価した場合についても試算してみた。側圧の減少評価は、筆者の提案⁵⁾したもので

(2)式に示しておく。

$$K_n = K_0 \{1 - (0.2 \sim 0.25)n\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

[記号]

K_n : 掘削係数 n における側圧係数

K_0 : 掘削前の側圧係数

n : 掘削係数 (= 任意の掘削深さ / 予定する掘削深さ)

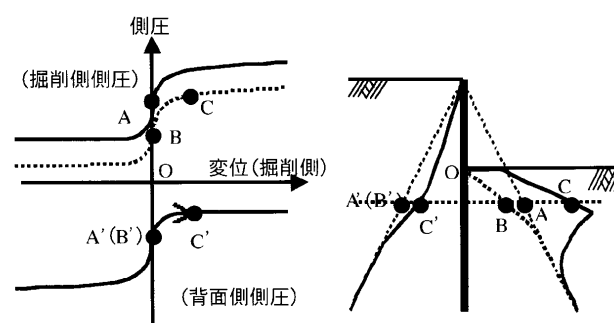
以上のような方法で得た結果をまとめたものが表—2である。すなわち、初期の設定側圧は、実測値の1.2倍程度であるが、これが掘削終了時には2倍（側圧の減少を考慮せず）、もしくは1.6～1.8倍（側圧の減少を評価）となっている。山留めの設計における経済性という観点でこの値をどのように評価すべきか、検討すべき今後の課題として提供しておきたい。すなわち、山留めの安全性と経済性という要求性能をお題目として唱えるのではなく、定量的に考えてみることも必要なのではないかと考える。

b) 根入れ部の側圧の評価

山留めの設計荷重を考えると、根入れ部の側圧をどのように評価すべきかは大変重要なことである。概念的には、一応理解されている。例えば、山留め壁の変位と地盤反力という面で考えれば、図—4のようになろう。つまり、掘削前においては、背面側の側圧 (A') も掘削側の側圧 (A) も釣合った状態にある。この状態で掘削されて山留め壁が変形しないとすれば両サイドの反力は、それぞれ $B'B$ となる。実際には掘削に伴って山留め壁は掘削側へと変形するので反力は、背面側は B' から C' へと減少し、掘削側は B から C へと増大する、と考えられる。このような現象を設計上で具体的にどのように評価すればよいのかが大きな課題である。建築学会では、これを平衡側圧という概念でとらえた。すなわち、(3)式で平衡側圧を与え、図—5に示すように設計用側圧を与えるということにしている。この建築学会方式が

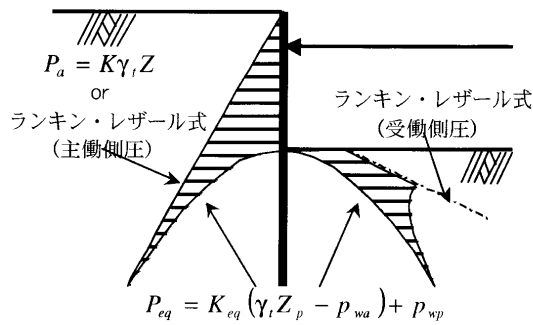
表—2 側圧設定に含まれる安全

側圧推定法	側圧減少係数	掘削進捗状況			
		掘削前	$0 \leq n < 0.5$	$0.5 \leq n < 1.0$	終了
側圧係数法	考慮せず	1.2	1.9	1.9	2.1
	0.20		2.1	1.7	1.7
	0.25		2.1	1.6	1.6
算定式法	考慮せず	1.2	2.6	2.2	2.1
	0.20		2.5	1.8	1.8
	0.25		2.5	1.8	1.7



図—4 地盤反力と変位の関係

展 望



図—5 梁ばねモデル用の設計側圧

実現現象をどのような精度で反映しているかの検証報告が今後多く出てくることを期待したい。

$$P_{eq} = K_{eq} (\gamma_t Z_p - P_{wp}) + P_{wp} \quad \dots\dots\dots (3)$$

[記号]

P_{eq} : 根切り底面からの深さ Z_p における平衡側圧 (kN/m^2)

K_{eq} : 根切り底面からの深さ Z_p における平衡土圧係数
 $K_{eq} = K_0 \cdot \text{OCR}^\alpha$

γ_t : 土の湿潤単位体積重量 (kN/m^3)

Z_p : 根切り底面からの深さ (m)

P_{wp} : 掘削側水圧 (kN/m^2)

K_0 : 静止土圧係数 (一般的には $K_0 = 0.5$ 前後)

OCR: 過圧密比

α : 側圧として扱った場合 $\begin{cases} \text{砂質土 } (\alpha = \sin \phi) \\ \text{粘性土 } (\alpha \approx 0.6) \end{cases}$

根入れ部の側圧に関する研究には、室内での要素試験での報告⁶⁾、山留め架構の実測挙動からの報告⁷⁾、および実測側圧のバランスから考察した報告⁵⁾などがある。建築業界の厳しい現状では、研究のための工事での計測など望むべくもないが、根入れ部の側圧の評価に関する研究の報告が多くされることを望みたい。

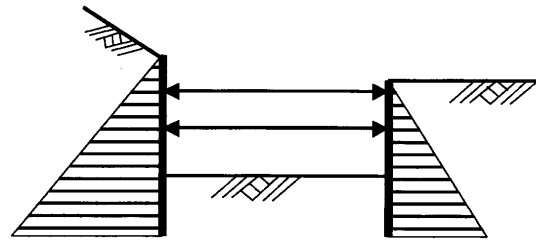
c) その他

経済設計という観点からの課題として以下の2項目をその他として示す。

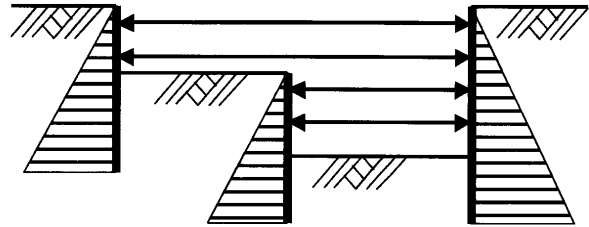
- 掘削に伴う側圧の減少の評価：前述したように経済的な設計という課題に対する大きな要因となるテーマ。学会レベルで国内の実測データをまとめれば良いと考える。
- 上載荷重の側圧への評価：上載荷重を掘削深さに換算する方法、弾性論によって評価する方法などが、多く採られているが、本当にこれで良いのだろうか。精度のグレードは他の項目と整合性は取れているのだろうか、大いなる課題と考える。

2) 設計法としての課題

設計法としては梁ばねモデル法は実績もあり、ほぼ確立された方法と考える。また、単純梁モデル法も、図—1に示すような地中に仮定の支点を想定する方法は、実質的には梁ばねモデル法の実績より多いといえ、山留め設計の安全性と経済性という面で大きな支障となるものではないと考える。そこで、設計法という観点での課題は、特殊なケースでの設計上の考え方をどうするのか、といったことになるのではないかとと思う。例を挙げれば、



図—6 偏土圧を考慮した設計法



図—7 段切り掘削の設計法

図—6, 7に示すような偏圧が作用する場合の考え方があろう。

最も基本的なことを忘れていた。自立山留め設計法が現行の方法で良いのかと、疑問を持っている。自立山留めの設計は、Y. L. Changの式によるにしろ、前述している梁ばねモデル法にしろ、弾性支承された梁という考えで多くが設計されている。梁ばねモデル法による設計法は、実用的に許容し得る精度があると書いたが、それは設計上で重要となる一定以上の応力レベルにおける段階での精度を言ったものである。切梁が架設されない一次掘削段階での精度はまったく異なり、実現現象を表現し得ていないといえよう。山留めの基本は、自立山留めであると考えている。いかにして自立山留めを可能とさせるかということが山留めの工法開発における究極の目的となるものである。したがって、自立山留めの設計法を、判っている事とせず今後とも課題とすべき範疇に入れておきたい。

3) 近接施工、地下水処理などでの課題

誌面の関係からこの2項目については、今後取り組むべき課題のみを挙げておく。

• 周辺地盤の評価

解析法としての提案ではなく、実務者が容易に使用できる検討法(入力値までを整備させる)の提案が望まれる。

• 近接施工における変形・応力などの管理基準値

管理する側(基準値を提示する側)と管理基準値に拘束される側(施工者、施主)の立場の違い、考え方の違い、設定されているクライテリアの工学的妥当性など多岐にわたる問題点を整理できればと思う。

• 水理定数の調査法と評価

透水係数を定める手段として、単項式調査を不適当というのは簡単。それでは広く普及している現状をどう正していけば良いのか、代替案を提示できないのか。

3. 施 工

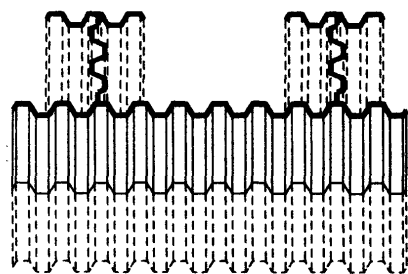
誌面の関係からここではほとんど書けなくなってしまう

った。会場で、工法開発として実施事例が報告されている自立山留め工法（2タイプ）、山留め壁の薄壁化と高耐力化を図ったSRC連続地中壁、1階床を先行することによって浅い掘削の山留めを切梁なしで施工しようとする工法、および中間杭の引抜き抵抗を盤膨れ対策として利用した事例などを紹介した。ここで言いたかったことは、要は、施工面での創意工夫がますます要求される時代になっていることを認識し合う必要があるということである。以下に、創意工夫によって低コスト化・省力化を図った事例のいくつかを紹介しておく。

＜鋼矢板による自立山留め工法＞

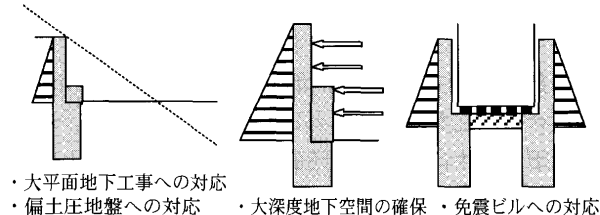
（工法の説明）

山留め壁（シートパイル）の背面側に図に示すようにシートパイルをT型に組み込んで設置し、支圧と周面摩擦力とで側圧に抵抗させ、4～5mの自立掘削を可能としている。



＜RC地中壁による自立山留め工法＞

＜無支保工化＞ ＜高耐力化＞ ＜構造体への兼用＞



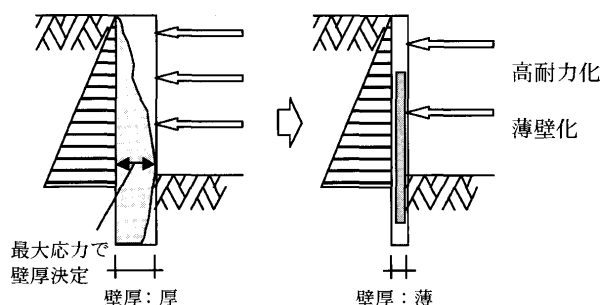
（工法の説明）

RC山留め壁の面外方向にリブを付けて剛性を高め自立掘削を可能とする方法で、極軟弱地盤でも約12mの深さを自立掘削した実績がある。

＜SRC地中壁による山留め壁のスリム化＞

＜従来のRC地中壁＞

＜SRC地中壁＞



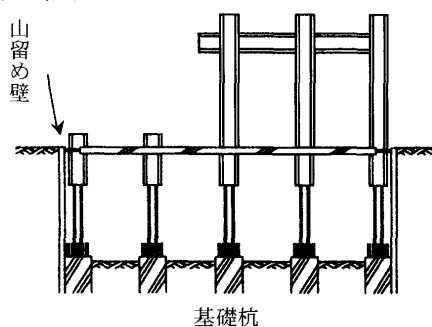
（工法の説明）

RC山留め壁で応力が大きくなる部分にH型鋼を配置し、山留め壁の壁圧をスリム化させて高耐力を図るとともに排土量の低減、敷地の有効利用など多方面にわたる効果をねらっている。

＜1階床先行工法＞

（工法の説明）

1階床を先に施工し、これに支持させて地下2階程度までの掘削を切梁なしで施工する。

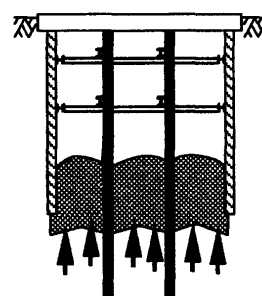


地下部のコンクリートは、1階床と山留め壁の間を部分的に空けておき、ここからコンクリートを順打ちする。すなわち逆打ちではなく、これがこの工法の特徴。

＜中間杭の盤膨れ抵抗評価＞

（工法の説明）

切梁の中間杭の摩擦抵抗を被圧水に抵抗する要素として考え、盤膨れ対策をしている。



4. ま と め

山留め部門には、上述したようなことに加えて、設計法に対応した設計用入力値のデータベース化、設計法と入力値の感度調査などまだまだやらなければならない課題が多くあると考えている。山留めの設計で最も留意すべき点は何か、また、施工面ではどのような創意工夫が要求されるかなど、原点に戻った議論も必要であると考え。是非ともその場を地盤工学会に設けてもらいたいと思っている。

参 考 文 献

- 1) 石塚・宮崎：山留め設計法における単純梁モデルの適用性について（その1）、日本建築学会大会梗概集，2000.
- 2) 田村・宮崎・石塚：山留め計算法における単純梁モデルの適用性について（その2）、日本建築学会大会梗概集，2001.
- 3) 田村・宮崎：山留め設計における安全係数（その1）、日本建築学会大会梗概集，2002.
- 4) 建築学会編：山留め設計施工指針，2002.
- 5) 宮崎：実測に基づく山留め設計用外力に関する研究，日本建築学会構造系論文集，No. 458. 1994.
- 6) 石塚・大西：山留め壁に作用する側圧の評価（その2）、第31回地盤工学研究発表会，1996.
- 7) 内山・桂：土被り圧減少による掘削側側圧変化の検討，第32回地盤工学研究発表会，1997.
- 8) 衛藤・豊澤・藤田・佐藤・江口：自立式鋼矢板工法における控え壁の影響に関する研究，第37回地盤工学研究発表会，2002.
- 9) 小林・近久・松元・熊谷・杉本：杭形式による盤膨れ対策工の設計・施工とその計測結果の評価，地盤工学会，軟弱地盤における地下建設技術に関するシンポジウム論文集，2002.

（原稿受理 2002.9.3）