

掘割構造の設計の体系化に関する研究（2）

研究予算：運営費交付金（道路勘定）

研究期間：平 17～平 18

担当チーム：構造物研究グループ（基礎）

研究担当者：中谷昌一、竹口昌弘

【要旨】

近年、掘割構造において、コスト縮減、工期短縮、施工時占用面積の縮小の観点から、仮設土留め壁の本体利用に関する研究事例や施工事例が増加している。本研究は、比較的に深度の浅い掘割構造における土留め壁の本体利用を対象に、事例調査や試設計により各種土留め壁の適用性や要求性能を整理するとともに、合理化構造を開発する際の留意点や課題をとりまとめた。その結果、SMW や鋼管矢板はコスト縮減効果が期待できること、さらなる合理化に向けては、土留め壁の施工精度、品質、耐久性、止水性、および土留め壁と本設壁や床版との結合構造の合理化について検討することが重要であることを明らかにした。

キーワード：掘割構造、土留め壁、要求性能、合理化

1. はじめに

近年、環境問題や景観上の配慮から都市内幹線道路の地下化が進む中、経済性の観点より開削工法による RC 構造のトンネル（以下、掘割構造という）が多く建設されており、今後もその延長は増加するものと考えられている。一般に、掘割構造における開削施工時の土留め壁は仮設構造物でありながら建設コストに占める割合が大きいことから、コスト縮減、工期短縮、施工時占用面積の縮小の観点から仮設土留め壁の本体利用に関する研究が多く実施されるとともに実用化された事例も増加してきている。

しかしながら、掘割構造における本体利用の土留め壁および本体壁の挙動については未解明な部分が多く残っている。今後、構造物の設計が性能規定型の設計に移行していく中で、掘割構造全体の要求性能を考慮した上で本体利用土留め壁の性能をどのように設定し、どのような本体利用効果を活用していくかは必ずしも明確に整理されていないのが現状である。

そこで、本研究は、図-1.1 に示すような比較的に深度の浅い掘割構造における仮設土留め壁の本体利用構造を対象に、既往の研究事例、基準類の調査や試設計を行い、各種土留め壁の適用性の確認や要求性能を整理するとともに、合理化構造の開発に向けた留意点や課題をとりまとめた。

2. 本体利用土留め壁の事例調査

本体利用土留め壁の活用状況と研究状況を把握する

ことを目的に 1980 年から現在に至るまでに発表された文献による事例調査を実施した。ここでは、本体利用する土留め壁の適用構造物を掘割構造に特定せずに、要素実験的な文献も合わせて全 255 件をリストアップし、内容が重複していると思われる文献を除いた 128 件についてデータの収集を行い、壁体材料、本体利用形式、対象構造物などにより分類して整理した。

図-2.1～2.3 に整理した結果を示す。これらの図より、近年、本体利用する土留め壁の形式として SMW が増加してきており、実用化にあたり性能を確認するために多くの実験や解析が行われていることがわかる。また、土留め壁を本体利用する対象構造物としては、掘割構造が約半数を占めており、近年、掘割構造に対する仮設構造物の本体利用が着目されていることがわかる。一般に掘割構造物の土留め壁は、大深度の RC 連壁より比較的浅い SMW 壁が多いため、今後も SMW 壁を中心に本体利用効果の合理化検討が進められていくと思われる。

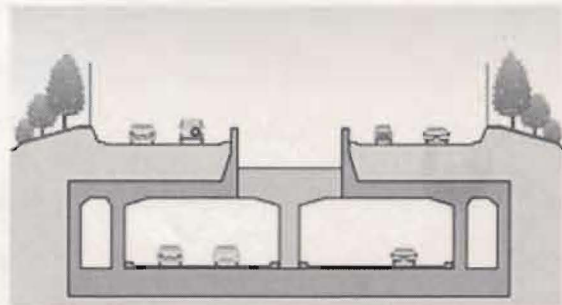


図-1.1 掘割構造（道路構造物）のイメージ

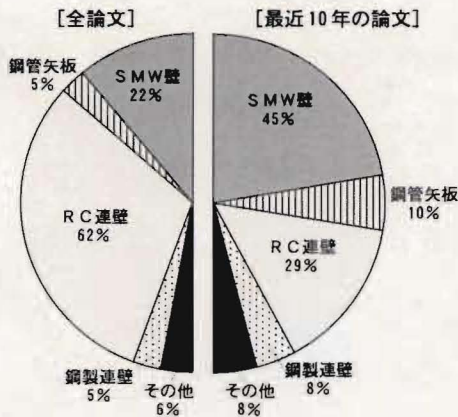


図-2.1 本体利用形式の分類

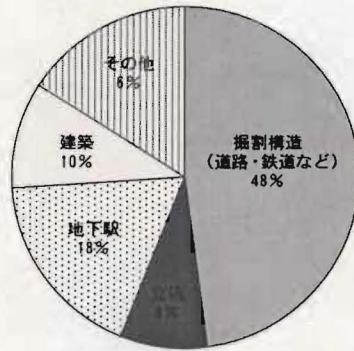


図-2.2 対象構造物の分類

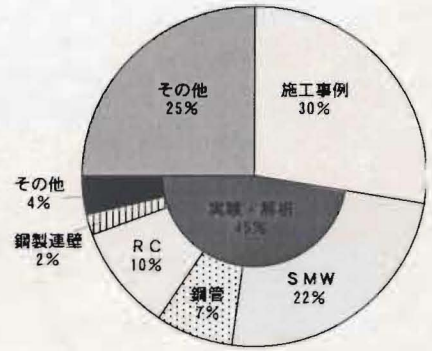


図-2.3 論文内容の分類

表-3.1 試設計の地盤条件

地盤 Case		Case1	Case2
地下水位 (GL±)		-1.0m	-1.0m
土層①	N 値	5(Ac)	20(As)
	φ (degree)	0	30
	c (kN/m ²)	30	0
土層②	N 値	30(Ds)	
	φ (degree)	35	
	c (kN/m ²)	0	

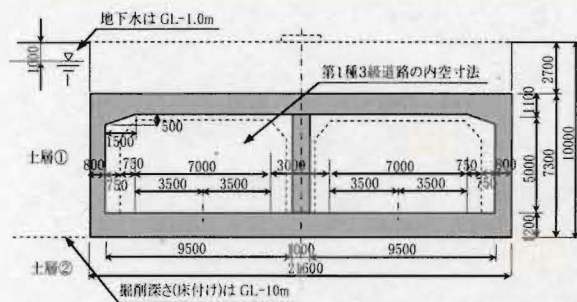


図-3.1 試設計に用いる検討断面

表-3.2 試設計結果 (地盤 Case2)

土留め形式	本設壁形式	施工順序	頂版厚 (mm)	側壁厚 (mm)	底板厚 (mm)
基本(SMW)		順巻	1100	800	1200
SMW	一体	順巻	900	500	1100
		逆巻	1100	500	1100
鋼管矢板	単独	逆巻	1000	0	1000
	一体	逆巻	1000	500	1000
RC 連壁	単独	逆巻	700	0	900
	一体	逆巻	800	500	900
鋼製連壁	単独	逆巻	800	0	1000
	一体	逆巻	900	500	1000

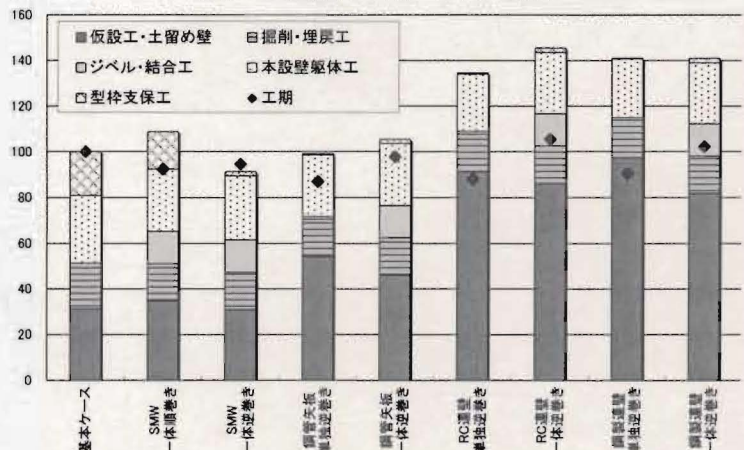


図-3.2 コスト及び工期の比較 (粘性土地盤)

*基本ケースの総コストと工期を100とした比率

3. 試設計によるコスト・工期縮減効果の検討

3.1 試設計結果

従来の掘削構造に対して、本体利用土留め壁のコスト縮減効果と工期短縮効果を検討するために、図-3.1および表-3.1に示す仮定条件による試設計を行った。試設計の対象構造物は、最近の都市部掘削道路を想定し、第1種3級道路を10m深度に構築するという断面を仮定した。試設計は、土留め壁の本体利用を行わない1ケース(基本ケース)と、土留め壁の形式(SMW壁、鋼管矢板、RC連壁、鋼製連壁)、本体壁形式(一体壁、土留め単独壁)、

躯体構築手順(順巻き施工、逆巻き施工)をパラメータとした本体利用ケースの8ケースとし、土質条件については都市部道路構造物で多く見られるゆるい砂質土と軟弱粘性土の2種類を対象とした合計18ケースについて実施した。

試設計の結果として、本設部材の寸法一覧を表-3.2に、コスト及び工期の比較を図-3.2に示す。なお、地盤条件による試設計結果への影響は少なく、各ケースの比較を行った場合にほぼ同様の傾向であったため、ここでは粘性土地盤の検討結果を示している。

3. 2 コスト縮減効果

当該条件で最も経済的な構造は、SMW 一体壁逆巻き利用による掘削構造であった。これは、土留め壁の本体利用により、本体側壁と一体化するためのジベル筋の施工が追加されるものの、本体側壁のコンクリートと型枠を低減できること、逆巻き施工のため上床版の型枠支保工が低減できるとともに掘削時の切ばり支保工も低減できることなどによるコスト縮減効果が大きいためである。これに対し SMW 一体壁順巻き工法は、本体利用による本体側壁のコンクリートと型枠が低減できるものの、これと比較して土留め壁の断面増加やジベル筋の追加施工などにより、当該条件での掘削構造では基本ケースよりも割高となることが確認された。

次に鋼管矢板は、基本ケースと比較してほぼ同程度から若干の割高の範囲にあり、鋼管矢板の高い市場単価が今後低減されれば、コスト縮減の候補として対象になりうると考えられる。

一方、RC 連壁や鋼製連壁は、他の工法では適用できない大深度掘削にも適用が可能であるという利点もあるが、掘削構造の土留め壁のように他の工法でも対応が可能な浅い構造物に対しては、設備・機械が高価であるためにコストの面で本体利用効果が得られていない。なお、これらは、深い掘削を伴う駅構造や立坑など、掘削に RC 連壁や鋼製連壁が必要な場合には本体利用の対象となるものと考えられる。

以上より、掘削構造における土留めの本体利用は、経済性の観点より主に逆巻き工法を対象とした SMW や鋼管矢板壁が有効であると考えられる。

3. 3 工期短縮効果

基本ケースに対して一体壁形式では結合部施工が増えるが、本体壁断面や掘削数量が減少するため、同等から 5%程度の工期短縮効果が期待できる結果となった。一方、土留め単独壁形式では、基本ケースに比べ土留め壁断面が増加するが、掘削数量の減少や本体壁が省略できることにより 10%程度の工期短縮が期待できることが確認された。

4. 本体利用土留め壁の要求性能と今後の課題

4. 1 要求性能

2. の文献調査のうち実際の設計・施工に関するものについては適用されている基準類の調査を行い、本体利用土留め壁の要求性能を整理した。

表-4.1 に調査した基準類を示す。また、表-4.2 にその概要を示す。表にはこれらの基準類および道路橋示方書 V 耐震設計編を基に、各荷重状態における要求性能と、

それに対する一体壁と隅角部の限界状態も併せて整理した。これらの基準類においては、土留め壁本体利用壁の設計法が詳細に規定されているだけでなく、基本的には土留め壁と本設壁とが一体となって挙動するよう接合部にジベル筋等を配置することにより、従来方式の壁構造と同等とみなした設計法が用いられている。なお、土留め壁と本設壁との合成断面としての評価法や壁と床版との結合部（隅角部）の耐力評価法などについては、模型載荷実験等でその妥当性が検証されている。

4. 2 今後の課題

掘削構造における土留め壁の本体利用に対して工費縮減、工期短縮効果を向上させるためには、新しい材料、構造、工法の開発が望まれる。そこで、上述の調査検討結果を踏まえ、これらの開発技術が、4. 1 に示した要求性能を満足するかどうかを確認する際に留意すべき点や今後検討すべき課題を整理した。主な検討課題を以下に示す。

(1) 土留め壁の施工精度、品質

土留め壁を本体利用する場合は、土留め壁は本体構造物と同等の性能が要求され、これを満足するための施工精度と品質が必要となる。これに対し、一般に仮設構造物としての土留め壁は、本体構造物に比べて、材質のばらつきが大きいほか、施工精度（断面寸法、鉛直性、回転など）が劣る。また、4. 1 で述べた本体利用土留め壁の現行設計法においては、土留め壁と本設壁との合成断面としての評価法や壁と床版との結合部（隅角部）の耐力評価法などは、これらの影響を考慮していない要素実験で検証されたものである。そのため、土留め壁が有する施工精度や品質のばらつきが性能に及ぼす影響や土留め壁が設計で想定している性能を発揮するための施工・品質管理手法を検討する必要がある。

(2) 耐久性

本体利用する土留め壁は、本体構造物と同等の腐食などに対する耐久性が要求される。土留め壁は、本体完成後の点検や補修が困難であるため、それ自身の長期耐久性が要求されるほか、本設壁の耐久性を確保するうえで本設壁との接合部における止水構造に十分な配慮が必要である。

(3) 土留め壁と本設壁、床版との結合方法

コスト縮減効果の向上を図るうえでは、土留め壁と本設壁や床版との結合部構造の合理化が重要なポイントの一つである。特に土留め壁と床版との結合部は、その構造や耐力評価法について、これまでに様々な要素実験で実験的に検証が行われているが、土留め壁の根入れされている効果まで考慮した検討は少なく、合理化できる可

表-4.1 本体利用土留め壁の設計基準類

土留め形式	本設壁体	基準	発行
SMW 壁	一体壁	「合成土留め壁設計・施工要領(案)」/阪神高速道路公団大阪建設局	H12.10
		「H型鋼を芯材とする土留め壁本体利用の設計手引き」/日本トンネル技術協会	H14.7
鋼管矢板	一体壁/単独壁	(中日本高速道路株式会社 研究成果)	—
RC 連壁	一体壁/単独壁	「鉄道構造物設計標準・同解説 開削トンネル」/鉄道総合技術研究所	H13.3
		「トンネル標準示方書(開削工法編)」/土木学会	H8.7
		「大深度土留め設計・施工指針(案)」/先端建設技術センター	H6.10
鋼製連壁	一体壁/単独壁	「鋼製地中連続壁工法 設計施工指針(案)」/鋼製地中連続壁協会	H17.6
		「鉄道構造物設計標準・同解説 開削トンネル」/鉄道総合技術研究所	H13.3

表-4.2 各基準類における設計手法概要

荷重状態	要求性能	限界状態 (一体壁 結合部)	照査項目			備考
			安定性	応力度・耐力	変位・変形	
仮設時 (施工時)	施工時に周辺構造物への影響や 本体構造物施工に支障をきたさ ない性能	—	根入れ長 地盤安定	曲げ応力度 せん断応力度	変形量 (周辺影響)	
常時	常時状態で道路としての健全性 を損なわない性能	一体壁として力学的特性が弾性 域を超えない限界の状態	—	曲げ応力度 せん断応力度	—	仮設時残留応 力を考慮
L1 地震時	地震によって道路としての健全 性を損なわない性能	一体壁として力学的特性が弾性 域を超えない限界の状態	—	曲げ応力度 せん断応力度	—	
L2 地震時	地震による損傷が限定的なもの にとどまり、道路としての機能 の回復が速やかに行い得る性能	損傷の修復が容易に行い得る限 界の状態	—	せん断耐力	部材曲率 層間変形角	

能性が大きい。これらを考慮した実験を行うなど結合部構造の合理化に向けたさらなる検討が望まれる。

6. まとめ

本研究は、比較的浅い深度に構築する掘削構造における仮設土留め壁の本体利用構造を対象に、既往の研究事例、基準類の調査や試設計を行い、各種土留め壁の適用性の確認や要求性能を整理するとともに、合理化構造の開発に向けた留意点や課題をとりまとめた。主な検討結果は以下のとおりである。

- (1) 掘削構造における土留め壁の本体利用では、土留め形式として SMW や鋼管矢板にコスト縮減効果が期待できる。また、この場合の躯体の施工手順として、逆巻き施工が効果的である。

- (2) 土留め壁を本体利用する場合の要求性能を満足することを確認する際の留意点や今後の検討課題として、①土留め壁の施工精度、品質が性能に及ぼす影響やその管理手法、②土留め壁の長期耐久性、本設壁との接合部における止水構造、③土留め壁と本設壁および床版との結合構造の合理化、などがある。

なお、本研究では、掘削構造における土留め壁の本体利用の適用性、要求性能、および留意点や検討課題を整理したが、これらの成果は今後、本構造の合理化や信頼性向上に向けた検討、基準類の改訂などに活用していく予定である。