

第3章 斜面の安定性に関する水平面（小段）の影響

3.1 はじめに

明り掘削作業における掘削面の勾配と高さの基準である労働安全衛生規則（以下、安衛則）第356条および第357条では、掘削面について奥行きが2メートル以上の水平な段があるときは、当該段より区切られるそれぞれの掘削面をいうと定義されている。すなわち、2m以上の小段を設けることにより下方や上方の斜面を分離して考えることが出来ることを意味している。本章では、小段設置に関する国内の代表的な機関で用いられている規則や設計基準を示し、小段の幅を変化させた剛塑性有限要素解析を行い、小段幅が斜面の安定性や崩壊形状に与える影響について検討を行った。

3.2 国内の各機関で用いられる規制・設計基準における小段の幅と高さに関する調査

国内の各機関で用いられている主要な規制および設計基準にて小段の幅と高さについて記載されたものを表-3.1に示す。各機関の規制や設計基準は、それぞれの目的に応じて決められているため、小段の幅と高さについても様々な記載がなされている。例えば、道路土工 切土工・斜面安定工指針では“小段は、のり面排水と維持管理時の点検作業を考慮して設けるもの”とされている¹⁾。一方、鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物では“犬走りは、のり面を流下する水の流速の抑制や犬走り上に設けた排水工による水の排除のために設けるが、切土の安定性の増加、のり面保守時の通路確保という点も考慮している”とあり、斜面安定にも寄与することが記載されている²⁾。

小段の幅と設置する高さの間隔についても、各機関の規制や設計基準で様々であるが、概ね法高5~10m毎に1~2mの小段を設けるようであるが、林道技術基準では“小段は原則として設けないものとする”と記載されているものもある。また、盛土構造物である堤防については小段幅が3m以上とすると記載されている。

労働安全衛生規則第356条では2m以上の小段を設けることにより斜面を分離して考えることが出来ることから、小段が斜面安定に寄与することを期待しているものと思われる。しかし、小段の幅が斜面安定性にどの程度寄与するのかについては知見がほとんど蓄積されていない。そこで、小段の幅、斜面の勾配と高さ、土質パラメータを変化させた剛塑性有限要素法による数値解析を行い、崩壊形状や安定性の検証を行うこととした。

表-3.1 国内における小段の幅と高さに関する主な基準等

区分	基準等	所管・発行	小段の幅と高さの記載
労働安全	労働安全衛生規則	厚生労働省	第 356 条 (中略) (掘削面は、奥行きが 2 メートル以上の水平な段があるときは、当該段より区切られるそれぞれの掘削面をいう)・・・(以下省略)
造成	宅地防災マニュアル	国土交通省	V 切土 V・3 切土のり面の形状 のり高の大きい切土のり面では、のり高 5m 程度ごとに幅 1~2m の小段を設けるのが一般的である。
道路	道路土工切土工・斜面安定工指針	日本道路協会	6-3-4 切土のり面の小段 (中略) (2)小段の位置及び幅 ①切土のり面では土質・岩質・のり面の規模に応じて、高さ 5~10m 毎に 1~2m 幅の小段を設けるのが良い。
鉄道	鉄道構造物等設計標準・同解説土構造物	鉄道総合技術研究所	4.1.4 切土の形状 (3) 原則としてのり高に応じて設けるものとし、その幅は 1.5m を標準とする。
河川	河川管理施設等構造令	国土交通省	(小段) 第 23 条 堤防の安定を図るため必要がある場合においては、その中腹に小段を設けるものとする。 2 堤防の小段の幅は、3 メートル以上とするものとする。
農林	土地改良事業計画設計基準・設計「農道」技術書	農林水産省	5.4 小段 一般に、切盛土高が高い場合には、法面の途中に小段を設ける、切土法面では土質・岩質・法面の規模に応じて、高さ 5~10m ごとに幅 1~2m の小段を設けるのが標準である。また、盛土法面では法肩から垂直距離 5~7m ごとに幅 1~2m の小段を設けることが望ましい。
	林道技術基準	林野庁	(3) 小段 小段は原則として設けないものとする。ただし、切土高が 10m を超え剥落等の恐れがあるについては、次により設けることができる。 ア 小段幅は 1.0m を標準とする。 イ 小段は画一的に設けるのではなく、法長、土質等の現場条件を考慮し 5~10m の間隔で設置する。なお、土砂類切取の小段設置は十分留意し、安易に設けないものとする。 (以下省略)

3.3 小段幅が斜面の安定性に与える影響に関する剛塑性有限要素解析

3.3.1 剛塑性有限要素解析の概要

剛塑性有限要素法についての概要は、第2章 2.4.1 に詳細に記載されているため、ここでは簡単に紹介する。剛塑性有限要素法は、地盤を剛塑性体と仮定し、上界定理を用いた極限解析を有限要素法によって計算する方法である⁴⁾。弾完全塑性体の物体に力を加えると、降伏するまでは弾性変形、それ以上の力が加わると応力一定のまま塑性変形が進行する極限状態となる。この極限状態は、载荷履歴に関係なく最終的な荷重形態のみで決定され、解析結果として荷重係数 μ を得る。剛塑性有限要素法では、極限状態のみに着目した解析を行うため、極限状態では意味を持たない材料定数や初期応力に関する情報は不要であり、地盤が破壊を起こす瞬間の諸量を求めることができる。ただし、破壊が生じるまでの変化量を求めることはできない。

本解析では、第2章と同様に外力として自重を0から少しずつ増加させて崩壊時の重力加速度を求め、その大きさにより崩壊が現実にかかるかを判定する“重力加速度増加手法”を用いた。

3.3.2 斜面形状と解析ケースについて

小段の幅が斜面の安定性に与える影響を確認するために、図-3.1に示すような6種類の斜面高さ5mと勾配を有する幾何学的条件の斜面について小段の幅を0, 1, 2, 3mとした24種類の形状について対象とした。解析に使用した物性値は表-3.2に示すように、内部摩擦角 ϕ を0~40度まで変化させており、全120ケースの解析を実施した。なお、ダイレイタンシー角 ψ については、関連流れ則($\psi = \phi$)として解析を行っている。

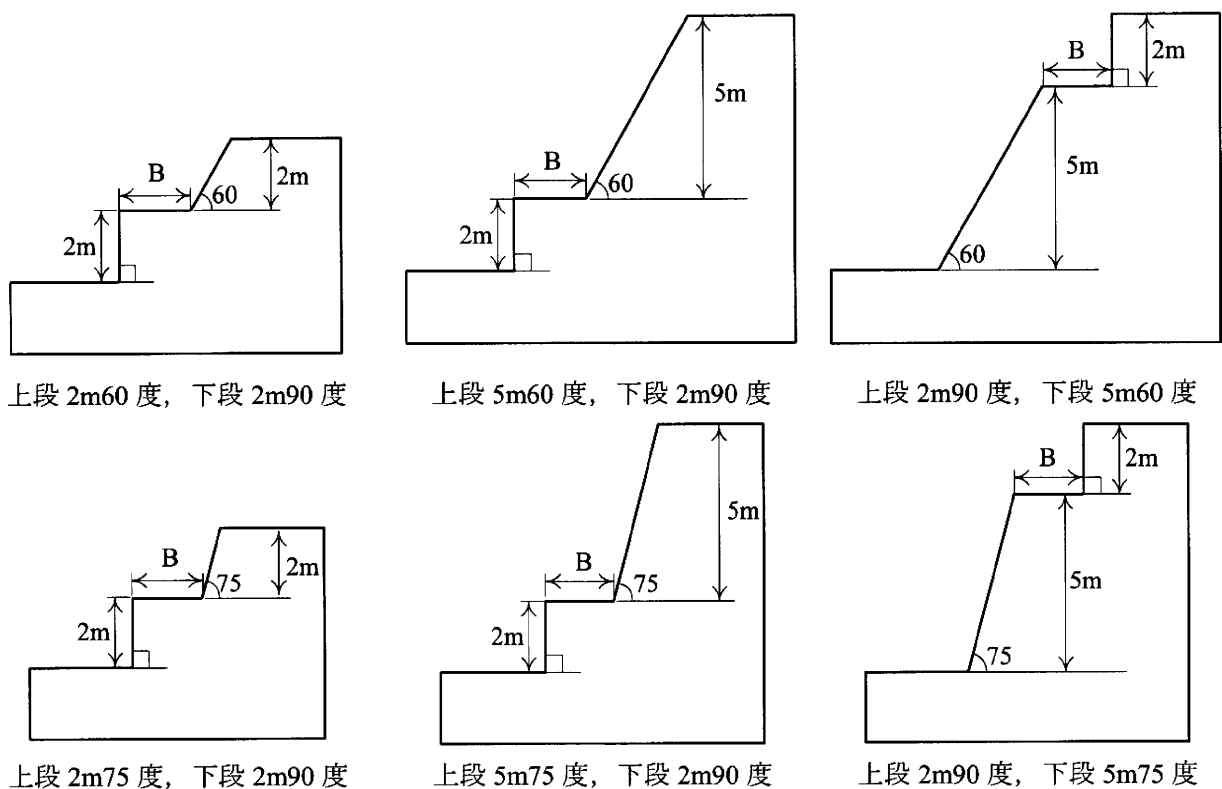


図-3.1 解析した斜面勾配と高さの幾何学形状

表-3.2 材料の物性値

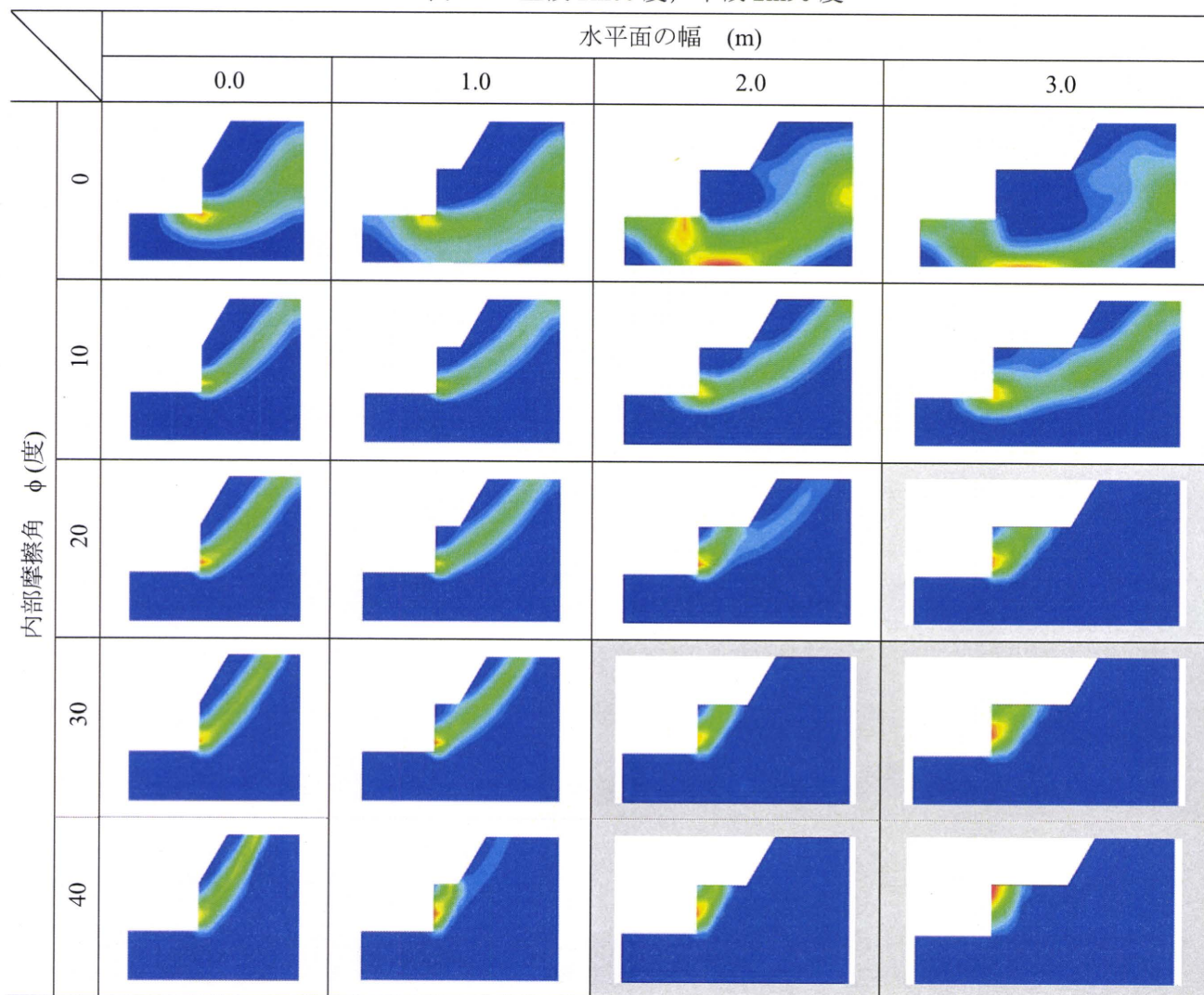
単位体積重量 γ (kN/m ³)	15.7
粘着力 c (kN/m ²)	10.0
内部摩擦角 ϕ (度)	0, 10, 20, 30, 40
ダイレイタンシー角 ψ (度)	ϕ

3.3.3 解析結果

1. 上段 2m60 度, 下段 2m90 度

上段 2m60 度, 下段 2m90 度における相当塑性ひずみ速度分布の一覧を表-3.3 に示す。上段もしくは下段のみ崩壊状態となっているのは, 小段の幅が 2m では内部摩擦角が 30 度からであり, 小段幅が 3m では内部摩擦角が 20 度からとなっている。

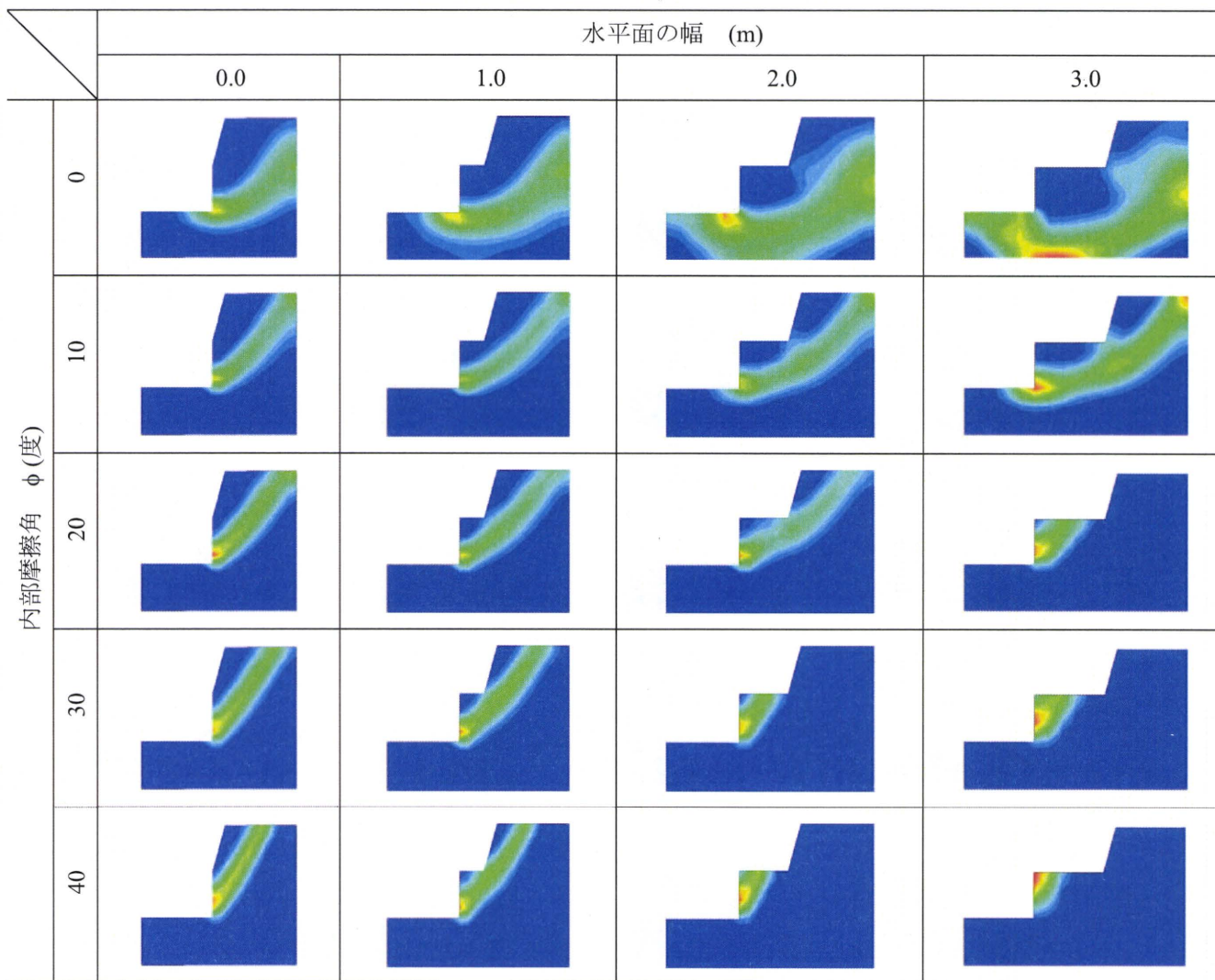
表-3.3 上段 2m60 度, 下段 2m90 度



2. 上段 2m75 度, 下段 2m90 度

上段 2m75 度, 下段 2m90 度における相当塑性ひずみ速度分布の一覧を表-3.4 に示す。上段もしくは下段のみ崩壊状態となっているのは, 小段の幅が 2m では内部摩擦角が 30 度からであり, 小段幅が 3m では内部摩擦角が 20 度からとなっている。

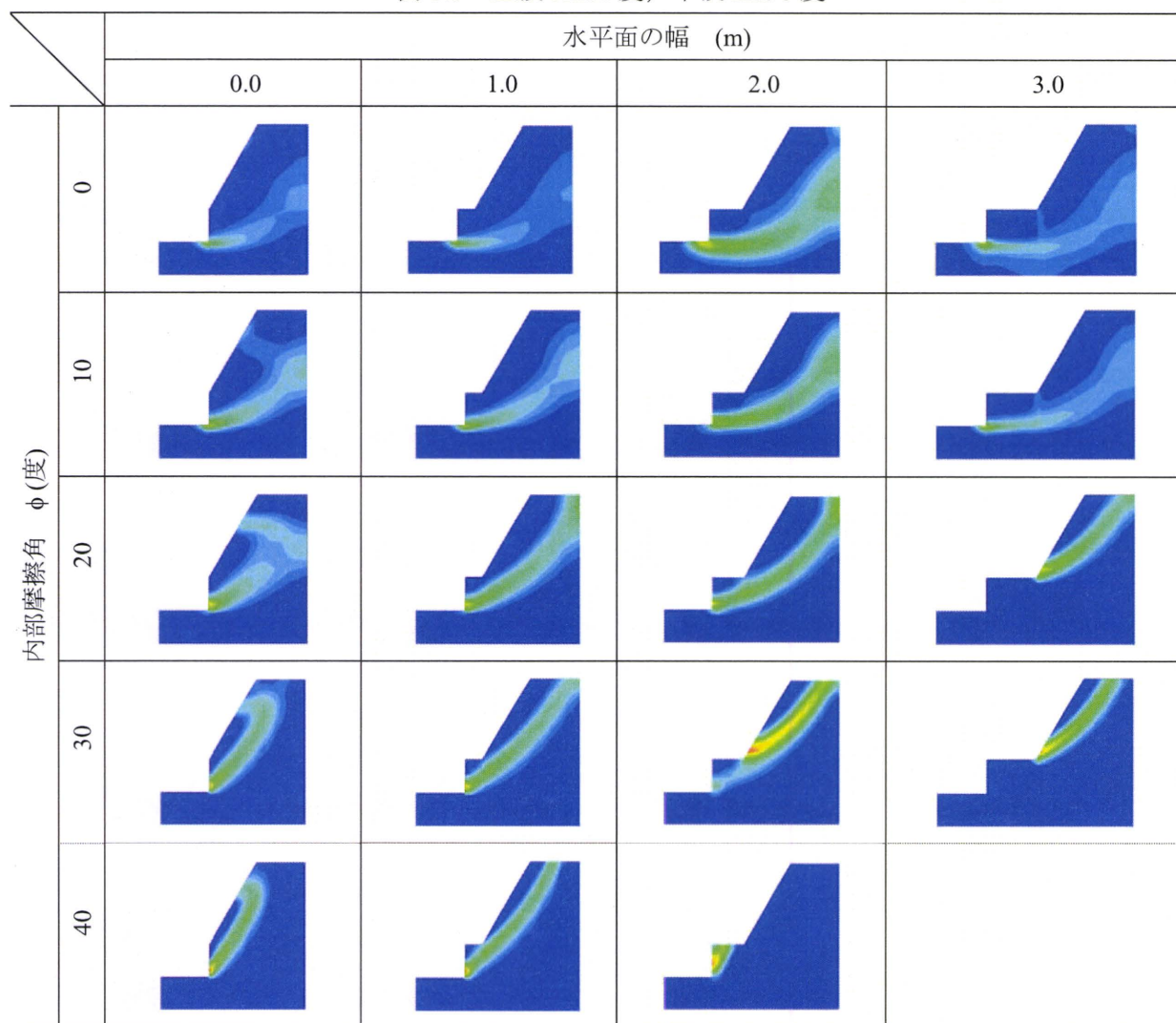
表-3.4 上段 2m75 度, 下段 2m90 度



3. 上段 5m60 度, 下段 2m90 度

上段 5m60 度, 下段 2m90 度における相当塑性ひずみ速度分布の一覧を表-3.5 に示す。上段もしくは下段のみ崩壊状態となっているのは, 小段の幅が 2m では内部摩擦角が 40 度のみであり, 小段幅が 3m では内部摩擦角が 20 度から上段が崩壊状態となった。

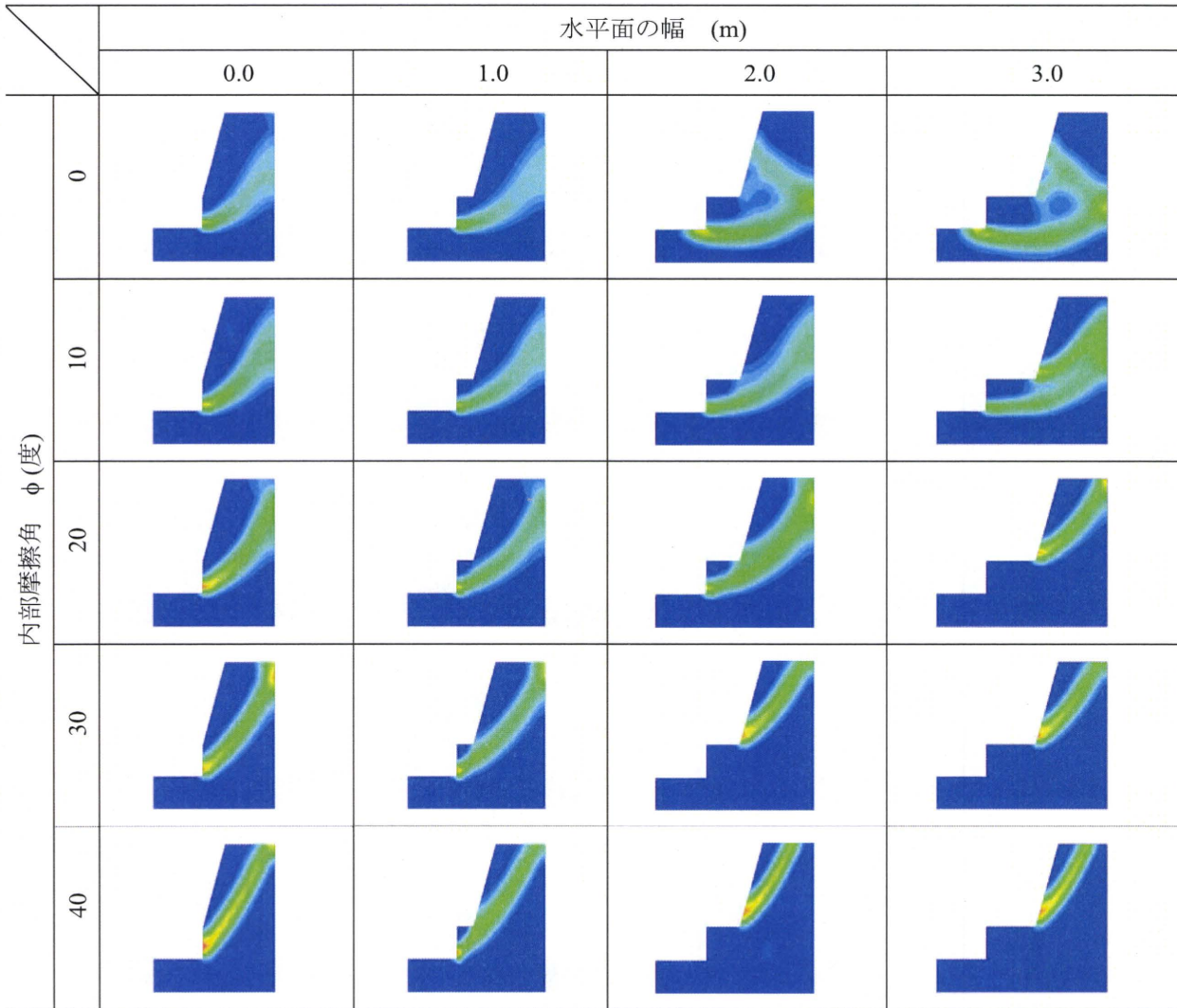
表-3.5 上段 5m60 度, 下段 2m90 度



4. 上段 5m75 度, 下段 2m90 度

上段 5m75 度, 下段 2m90 度における相当塑性ひずみ速度分布の一覧を表-3.6 に示す。上段もしくは下段のみ崩壊状態となっているのは, 小段の幅が 2m では内部摩擦角が 30 度から, 小段幅が 3m では内部摩擦角が 20 度からであり, 全て上段が崩壊状態となった。

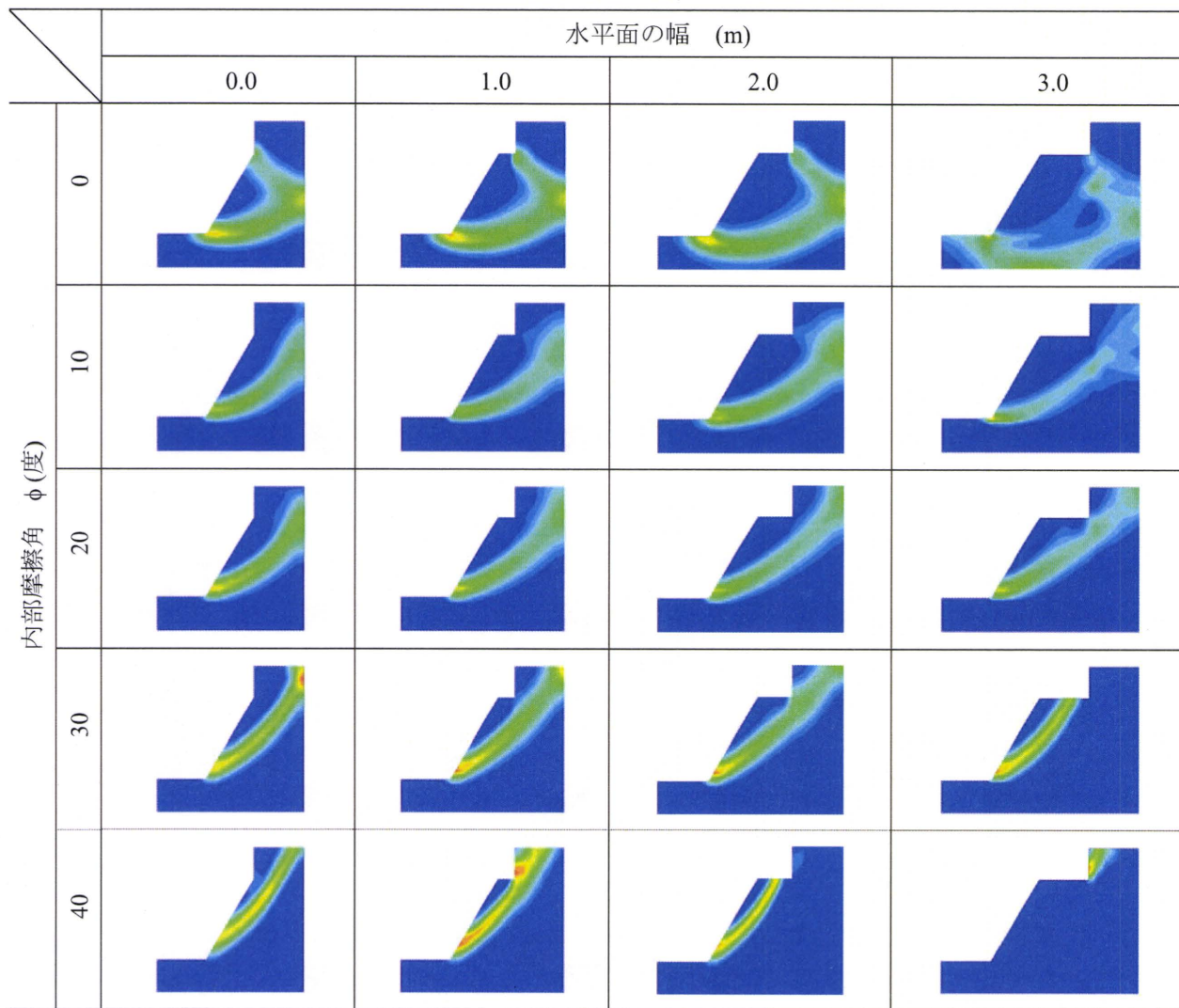
表-3.6 上段 5m75 度, 下段 2m90 度



5. 上段 2m90 度, 下段 5m60 度

上段 2m90 度, 下段 5m60 度における相当塑性ひずみ速度分布の一覧を表-3.7 に示す。上段もしくは下段のみ崩壊状態となっているのは, 小段幅 2m・内部摩擦角 40 度と小段幅 3m・内部摩擦角 30 度が下段で, 小段幅 3m・内部摩擦角 40 度は上段が崩壊状態となった。

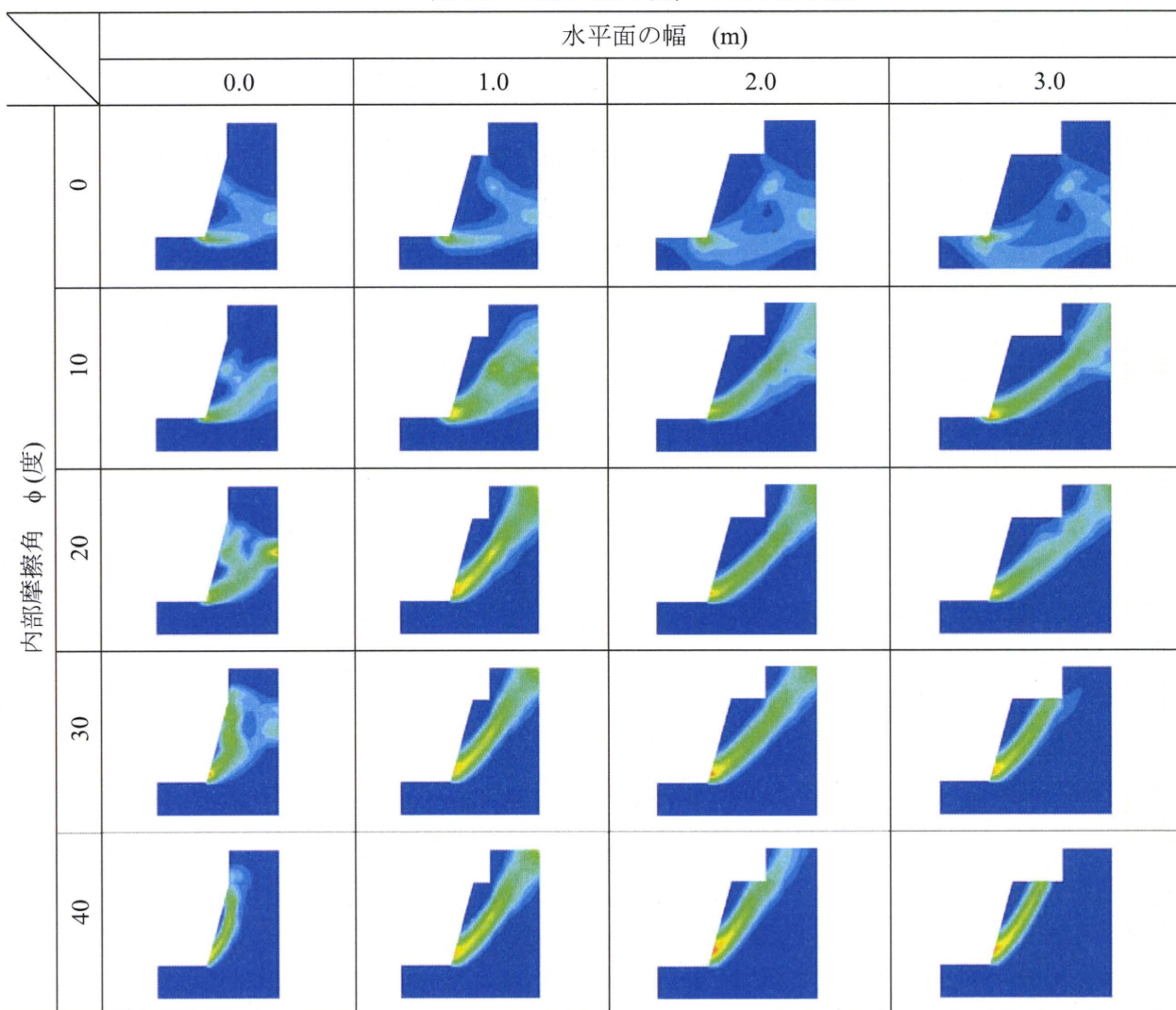
表-3.7 上段 2m90 度, 下段 5m60 度



6. 上段 2m90 度, 下段 5m75 度

上段 2m90 度, 下段 5m75 度における相当塑性ひずみ速度分布の一覧を表-3.8 に示す。上段もしくは下段のみ崩壊状態となっているのは, 小段の幅が 3m で内部摩擦角 30 度から下段が崩壊状態となるのみであり, 小段の幅が 2m では全体で崩壊する形状を示した。

表-3.8 上段 2m90 度, 下段 5m75 度



以上をまとめると, 内部摩擦角が 30 度以上の砂質土地盤の場合, 2m 以上の小段を設けることにより崩壊領域を分断することができる傾向が確認された。しかし, 砂質土地盤でも斜面の勾配や高さによっては崩壊領域が全体となる場合も見られた。一方, 1m 幅の小段では全てのケースで崩壊領域が全領域となり, 分断する効果は無かった。

3.4 まとめ

本報では、(1)小段設置に関する国内の代表的な機関で用いられている規則や設計基準を提示し、(2)小段の幅を変化させた剛塑性有限要素解析から、小段幅が斜面の安定性や崩壊形状に与える影響について検討を行った。以下に得られた知見を示す。

1. 国内の各機関で用いられている主要な規制および設計基準にて記載されている小段の幅と設置する高さの間隔は、各機関の目的に応じて決められていることから各基準で様々ではあるが、概ね法高 5~10m 毎に 1~2m の小段を設けられている。
2. 規制・設計基準には、小段に斜面の安定性に寄与する効果を期待されて設置されるものもある。
3. 小段の幅、斜面の勾配と高さ、土質パラメータを変化させた剛塑性有限要素法による数値解析を行い、崩壊形状や安定性の検証を行ったところ、内部摩擦角が 30 度以上の砂質土地盤の場合、2m 以上の小段を設けることにより崩壊領域を分断することができる傾向が確認された。しかし、砂質土地盤でも斜面の勾配や高さによっては崩壊領域が全体となる場合も見られた。一方、1m 幅の小段では全てのケースで崩壊領域が全領域となり、分断する効果は無かった。

3.5 第 3 章の参考文献

1. 国土交通省監修 鉄道総合技術研究所 編：4.1.4 切土の形状，鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物，pp.157-163，2007.
2. 社団法人日本道路協会 編：6-3-4 切土のり面の小段，道路土工一切土工・斜面安定工指針（平成 21 年度版），pp.151-153，2009.
3. 日本塑性加工学会：非線形有限要素法－線形弾性解析から塑性加工解析まで一，コロナ社，pp.36-37，1994.
4. 小高猛司：地盤工学における剛塑性有限要素法（その 1），講座「有限要素法の基礎と地盤工学への応用」，土と基礎， Vol.49， No.11， pp.33-38，2001.

第4章 擁壁に残存型枠を利用する施工方法に関する検討

4.1 はじめに

前年度に土止め擁壁施工時の床掘りや急勾配掘削を行った斜面近傍で行う作業をなるべく軽減するような“より安全な”施工方法について調査・検討を行い、以下の6種類の対策方法の提案を行った¹⁾。
すなわち、

- ① 切土勾配を緩くする。
- ② 床掘り斜面を安定化させるために、地山補強や土留め杭を併用する。
- ③ 床掘り斜面を長期間開放しないように、コンクリート打設後型枠を撤去せずに、構造物の裏側を埋め戻す。
- ④ 床掘り斜面から離れたところで型枠を組立て、床掘り斜面付近の作業時間を少なくする。
- ⑤ 床掘り作業を無くすように構造物基礎の支持層定着は、杭基礎や置換えコンクリートを併用する。
- ⑥ 床掘りがない土留め杭（鋼管杭、PC杭等）で築造する。

本章では、これらの対策方法の中で、③の方法である残存型枠を利用した対策方法について、コンクリート構造物築造のための一般型枠との比較・検討を行った。

4.2 残存型枠

4.2.1 残存型枠工

残存型枠工とは、薄肉プレキャスト・セメントコンクリート製の型枠製品と組立て部材を使用し、コンクリート打設後の脱型作業を必要としない型枠工のことであり、1998年頃から砂防堰堤などで使用されるようになった（写真-4.1～4.2）。



写真-4.1 化粧型枠による砂防堰堤



写真-4.2 残存型枠施工中

4.2.2 残存型枠の種類

残存型枠工に用いる型枠工には、意匠性を目的としない残存型枠と、化粧が一体となった意匠性を目的とした残存化粧型枠がある。残存型枠は多くのメーカーが存在するが、代表的な残存型枠を図-4.1 に示す。



プロテックメイク



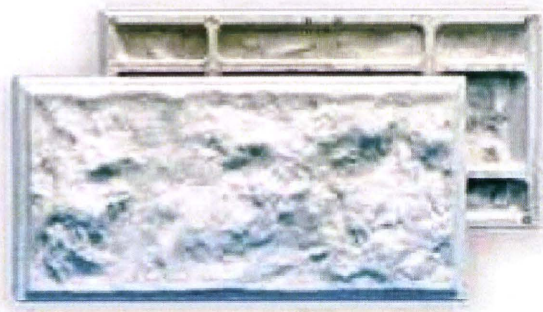
プロテックワンダー



パットウォール・Dウォール



パットウォール・ライナー



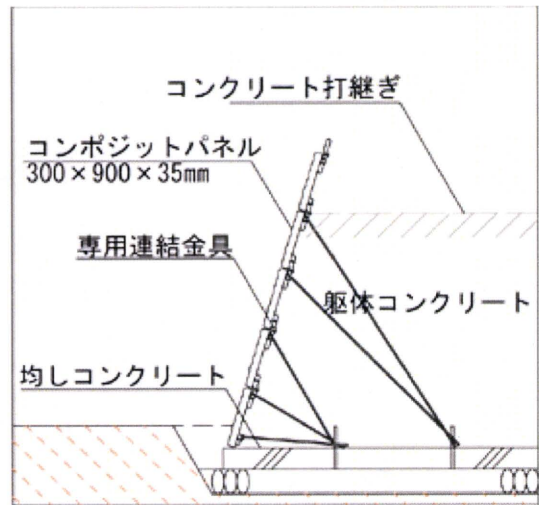
PCF 工法



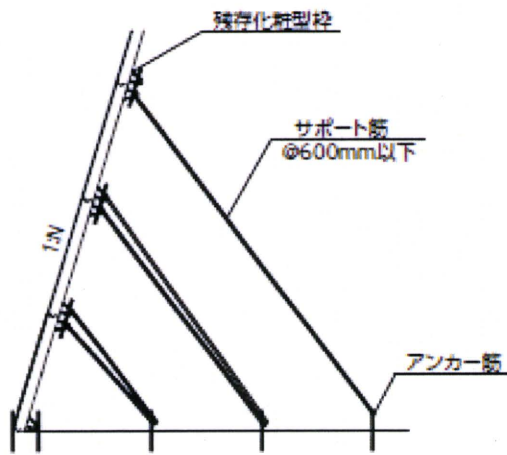
残存メッシュ型枠



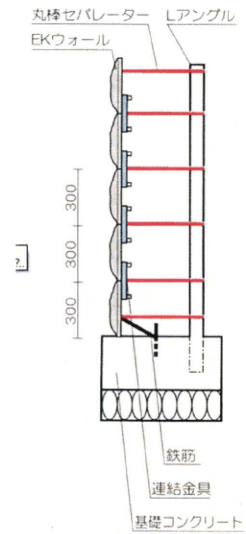
AKY パネル



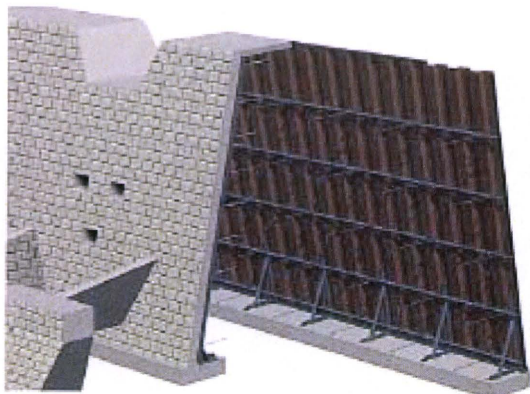
コンポジット残存型枠工法



スーパーコンパネくん



EK ウォール



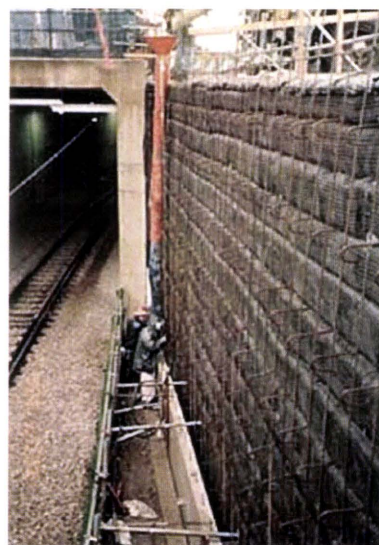
LUC-SB ウォール



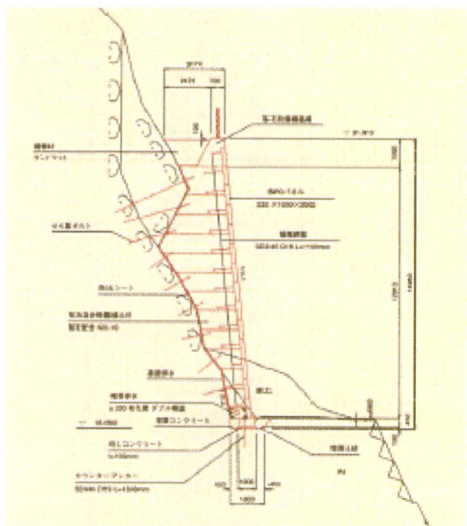
イーウォール



LB パネル



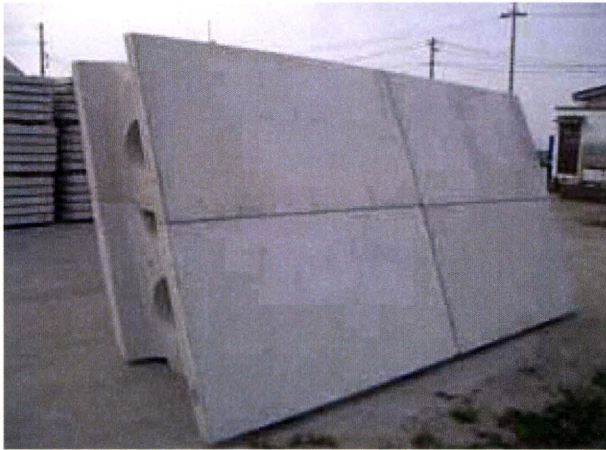
RRR パネル工法



SPCW 工法



ピオマーク



ムジンガー



Riv&Sea パネル

図-4.1 代表的な残存型枠

4.2.3 残存型枠の特徴・留意点

残存型枠の特徴・留意点を以下に示す。

【特徴】

- 1) 工場生産のため、納入後すぐに組立て・設置することができる。
- 2) 軽量化された残存型枠は、型枠組立にクレーンが不要なものがある。
- 3) 組立てが容易にできる。
- 4) 製品の厚さが薄いため、現場での型枠加工（切断）が簡単にできる。
- 5) 外側に型枠や単管等の取外し作業がないため、コンクリート打設後すぐに埋め戻し作業ができる。
- 6) 型枠として使用し取り外さないため建設廃材が減少できる。
- 7) 専用組立部材を使用することで内部より安全に作業ができる。
- 8) 構造物によっては、足場が不要になる。

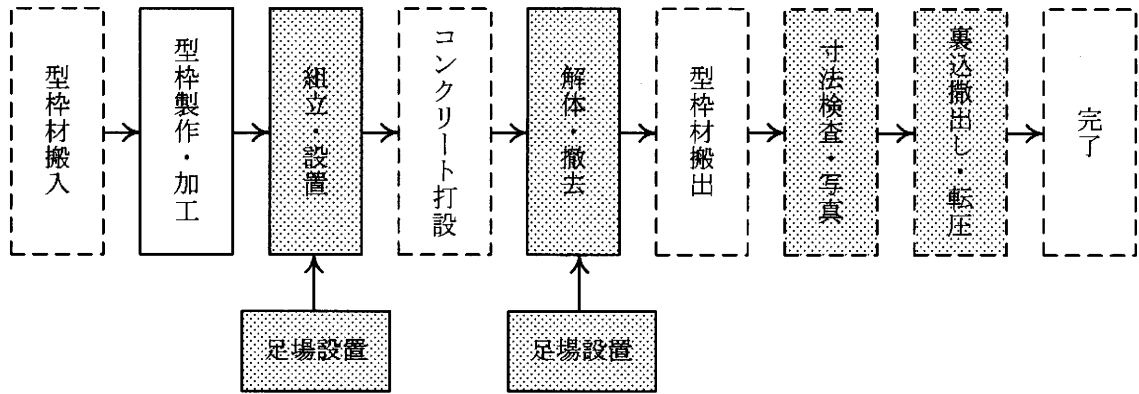
【留意点】

- 1) セパレートの間隔が広いため、1回の打設高さが限定される。
- 2) パネルを曲線にすることはできないため、構造物に曲線がある場合は、目地部を利用して曲線部を施工する。

4.3 一般型枠の施工手順

4.3.1 一般型枠の施工フロー

標準的な一般型枠（コンパネやメタルホーム）の施工フローを図-4.2 に示す。重力式擁壁等の構造物型枠の組立・設置，撤去の工程において，構造物の前面側や背面側（斜面側）で作業する。



網掛けは，構造物の背面側（斜面側）での作業がある

※ 歩掛りに対応しているのは実線部分のみ

図-4.2 一般型枠の施工フロー

4.3.2 一般型枠の施工手順

一般型枠の設置・組立て手順の概要図を図-4.3 に示す。

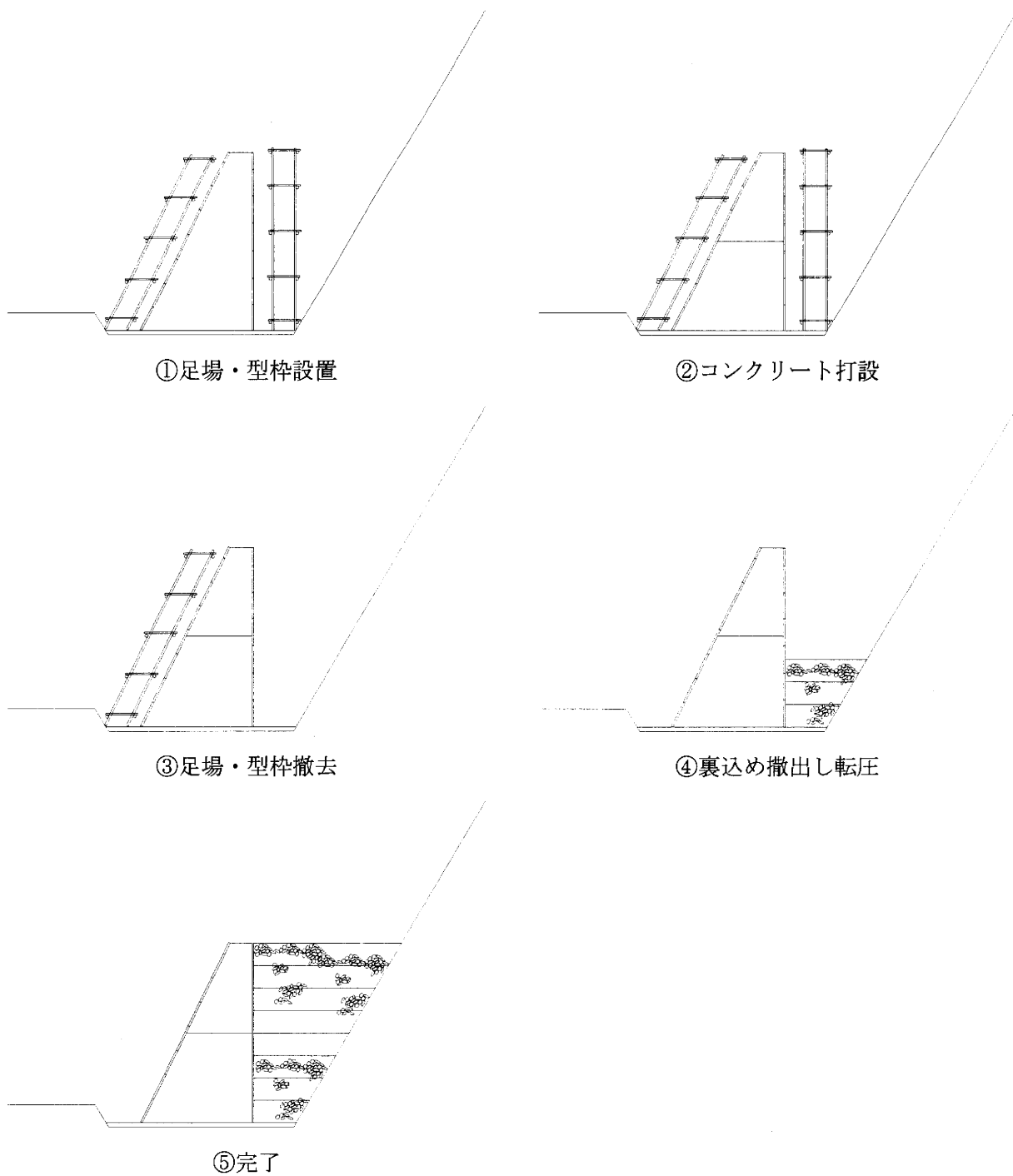
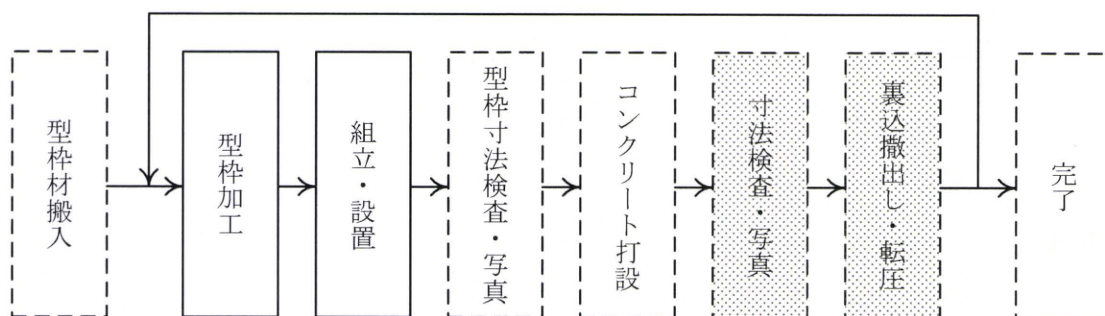


図-4.3 一般型枠の施工手順

4.3.3 残存型枠の施工フロー

残存型枠の組立・設置は、構造物（型枠）の内側から施工することが標準である。また、残存型枠は一般型枠に比べてセパレートの間隔が広がっているため、コンクリートの標準打設高さは 1.0m～1.5m 程度としている。残存型枠を用いた場合の施工フローを図-4.4 に示す。



網掛けは、構造物の背面側（斜面側）での作業がある

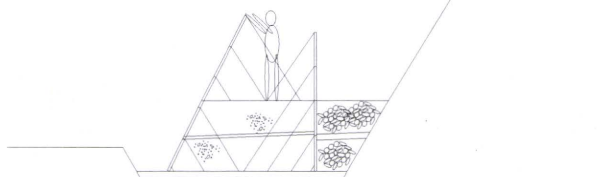
※ 歩掛りに対応しているのは実線部分のみ

図-4.4 残存型枠の施工フロー

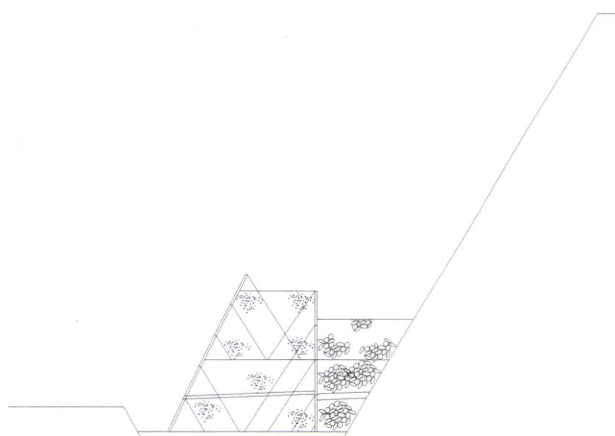
4.3.4 残存型枠の施工手順

残存型枠の設置・組立て手順の概要図を図-4.5 に示す。

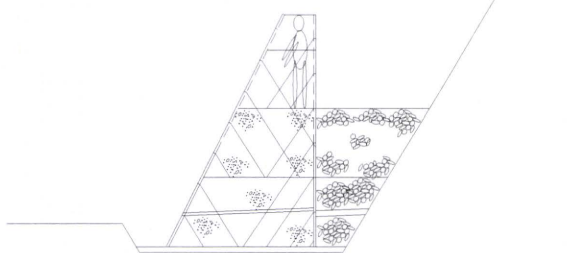




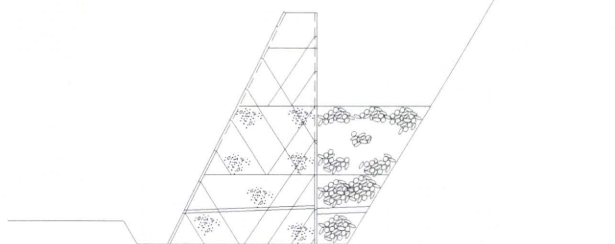
③型枠設置



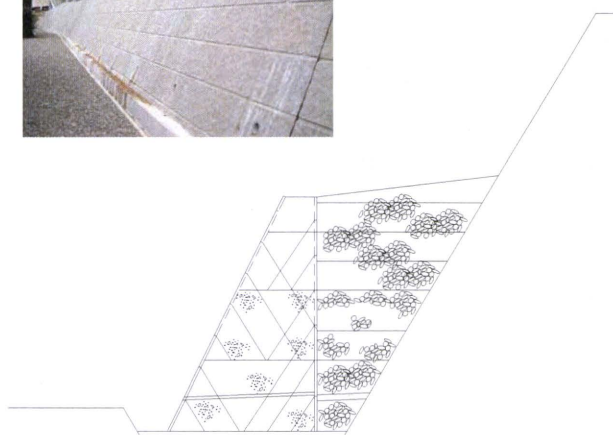
④コンクリート打設・裏込め撤出し転圧



⑤型枠設置



⑥コンクリート打設



⑦完了

図-4.5 残存型枠の施工手順

4.4 一般型枠と残存型枠の概算材工費

一般型枠と残存型枠の型枠 1m²当たりの概算材工費を表-4.1 に示す。なお、歩掛りは「国土交通省土木工事積算基準 平成 19 年度版」²⁾を、労務費および機械賃貸料は「積算資料 2009 年 5 月 東京」³⁾をそれぞれ参照した。

表-4.1 一般型枠と残存型枠の概算材工費

	一般型枠					残存型枠					
	名称	単位	数量	単価	金額	名称	単位	数量	単価	金額	
型枠工	世話役	人	3.1	19,800	61,380	世話役	人	1.7	19,800	33,660	
	型枠工	人	15.7	17,600	276,320	型枠工	人	3.3	17,600	58,080	
	普通作業員	人	10.0	13,800	138,000	普通作業員	人	3.5	13,800	48,300	
	機械賃貸料	日	0.0	49,000	0	機械賃貸料	日	0.0	49,000	0	
	諸雑費	%		23.0	109,411	諸雑費	%		13.0	18,205	
	小 計					585,111	小 計				
型枠費	別工種					パネル類	m ²	100	6,000	600,000	
	小 計					0	小 計				
足場設置工	単管足場 (安全ネットなし)			(100m ² 当たり)		型枠の設置・撤去用足場(設置延長 10m 当たり)					
	世話役	人	1.7	19,800	33,660	世話役	人				
	とび工	人	5.8	17,300	100,340	とび工	人				
	普通作業員	人	1.9	13,800	26,220	普通作業員	人				
	機械賃貸料	日	0.7	49,000	34,300	機械賃貸料	日				
	諸雑費率	%		21	40,849	諸雑費率	%				
小 計					235,369	小 計					0
合 計					820,480	合 計					758,245
m ² 当たり					8,205	m ² 当たり					7,582
※機械賃貸料は、ラフテレーンクレーン t25 とした						※残存型枠は人力施工で行うため機械損料を計上しない。					

一般型枠の工事費は、「国交省土木工事積算基準 コンクリート工 型枠工」より算出した。また、残存型枠工の歩掛りについては、「国交省土木工事積算基準 コンクリート工」には記載されていないため、「国交省土木工事積算基準 砂防 残存型枠工」より算出している。表-4.1 を見ると、m² 当たりの材工費は残存型枠工のほうが安い結果となった。これは残存型枠工の歩掛りを「国交省土木工事積算基準 砂防 残存型枠工」から算出したためではないかと思われる。すなわち、一般的なコンクリート構