

ISSN 1346-7328

国総研資料 第900号
平成 28 年 3 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.900

March 2016

修正フェレニウス法を用いた円弧すべり解析における 安全性水準の基準間比較

川俣 秀樹・竹信 正寛・宮田 正史

A Comparative Study on Safety Level of Circular Slip Failure Verification Method
between Current and Previous Technical Standards

Hideki KAWAMATA, Masahiro TAKENOBU, Masafumi MIYATA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

修正フェレニウス法を用いた円弧すべり解析における 安全性水準の基準間比較

川俣秀樹*・竹信正寛**・宮田正史***

要 旨

「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19年）」（以下、現行基準という）では、修正フェレニウス法を用いた港湾構造物の円弧すべり照査について、レベル1信頼性設計法（部分係数法）が導入され、期待総費用が最小となる目標破壊確率に基づき、構造形式ごとの部分係数が設定されている。しかし、この部分係数によって設定される断面諸元と旧基準類で用いられてきた安全率法によって設定される断面諸元との間における差異については、これまで詳細な検討がなされていない。

本研究では、円弧すべり照査について、現行基準の部分係数法と旧基準類の安全率法を用いて、それぞれの方法でケーソン式岸壁およびケーソン式混成堤の安全性照査を満足する最小の断面を多数作成し、必要とする断面諸元を比較した。また、部分係数法で決定した断面に対して安全率法を用いて安全率を求めなおし、現行基準および旧基準類の有する安全性の水準を、安全率を指標として比較した。

結果として、部分係数法により設定される断面の安全率は、ケーソン式岸壁の場合、1.11~1.31程度（平均1.23程度）、ケーソン式混成堤の場合0.98~1.27程度（平均1.15程度）の幅広い値を有していることがわかった。これは現行基準の部分係数法に基づき耐力作用比が最小となるように断面諸元を決定した場合、従来の安全率法の適用実績に照らすと危険な断面（計測施工等を実施する場合（1.1以上1.3未満）の下限値近く、あるいは下限値未満）を許容する可能性があることを示している。

また本検討の結果は、次期基準改訂における円弧すべり照査の部分係数の見直しに対する基礎資料として活用されるべく、速報として提示するものである。

キーワード：円弧すべり，修正フェレニウス法，部分係数法，目標安全性水準，岸壁，混成堤

* 港湾研究部 港湾施設研究室 交流研究員（パシフィックコンサルタンツ株式会社）
** 港湾研究部 港湾施設研究室 主任研究官
*** 港湾研究部 港湾施設研究室 室長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所
電話：046-844-5029 Fax：046-844-5081 e-mail: takenobu-m83ab@mlit.go.jp

A Comparative Study on Safety Level of Circular Slip Failure Verification Method between Current and Previous Technical Standards

Hideki KAWAMATA*
Masahiro TAKENOBU**
Masafumi MIYATA***

Synopsis

The level 1 reliability design method (partial factor design method) was introduced as a performance verification method for circular slip failure stability of port facilities, according to the Japanese design standard for port facilities entitled "Technical Standards and Commentaries for Port and Harbor Facilities in Japan (2007)". In the current technical standard, the target safety level (target failure probability) of the circular slip failure verification was assigned to minimize the expected total costs during execution. On the other hand, a simple safety factor method (previous technical standard) had been used for many years for many past port facilities; however, there has been no basic reference study on how the two different design methods result in different structural profiles (cross-sections) of structure.

The purpose of this study is to show the difference in minimum structural profiles (dimensions) of caisson-type port structures (quay wall and breakwater) that are designed by current and previous design methods of circular slip failure verification, respectively. This study also aims to clarify the difference in the safety level by using the "safety factor" as a unified measure for comparison of the two design methods. For this purpose, a series of comparative designs were performed, including 48 design conditions for quay wall and 24 conditions for breakwater, respectively. From the result of this study, we reached the following two conclusions:

- 1) In the current technical standards, required width of the rubble mound foundation is shorter, and width of the caisson is thinner compared with previous standards.
- 2) The safety factor value of the caisson-type quay wall of the current technical standards in this study, is 1.11 to 1.31 (average: 1.23), and for the caisson-type breakwater, 0.98 to 1.27 (average: 1.15), respectively. Especially, in the case of a cohesive soil site, the current technical terms have a low safety rating.

Keywords : Circular slip failure, Modified Fellenius method, Partial factor design method, Safety level,
Caisson type quay wall, Mass concrete block type upright breakwater

* Exchanging Researcher, Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM
(PACIFIC CONSULTANTS Co., Ltd.)

** Senior Researcher, Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM

*** Head, Port Facilities Division, Port and Harbor Department, NILIM

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-468-44-5029 Fax : +81-468-44-5081 e-mail: takenobu-m83ab@mlit.go.jp

目 次

1. 本研究の目的	1
2. 安全率を指標とした安全性水準の基準間比較	2
2.1 検討概要	2
2.2 検討断面	2
2.3 修正フェレニウス法による円弧すべり解析の照査式	4
2.4 検討手順	4
2.5 ケーソン式岸壁における基準間の比較	6
2.6 ケーソン式混成堤における基準間の比較	8
2.7 堤体幅を用いたフィルタリングによる妥当性の検証	10
2.8 すべり円弧の位置・形状，モーメント分布の比較	13
3. 結論	16
謝辞	16
参考文献	16
付録A 計算結果（ケーソン式岸壁）	17
付録B 計算結果（ケーソン式混成堤）	68
付録C 修正フェレニウス法による円弧すべり照査の既往設計基準類の変遷	94

1. 本研究の目的

「港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成19年）」¹⁾（以下、現行基準という）では、修正フェレニウス法を用いた港湾構造物の円弧すべり照査について、レベル1信頼性設計法（部分係数法）が導入された。

円弧すべり照査については、尾崎ら²⁻³⁾が安全率法の有する安全性水準として、破壊確率を求めている。ケーソン式混成堤および消波ブロック被覆堤の場合、安全率法は破壊確率が過剰に小さく、目標とする安全性水準が高すぎるとし、期待総費用が最小の断面設計となる部分係数を提案し、同係数が現行基準で採用されている（図-1.1）。また、ケーソン式岸壁および矢板式岸壁の場合、安全率法は破壊確率が大きい傾向にあるが、ケーソン式混成堤および消波ブロック被覆堤の場合と同様の方法で、部分係数が設定されている（図-1.2）。この破壊確率を指標とした安全性水準の変更は、安全率でどの程度の値に相当するのか、同じ設計条件のもと安全率法および部分係数法で最小断面を設定した場合にどのような差異が発生するのか、などの結果が明示されていない。設計者がその差異を意識することなく港湾構造物の設計を行った場合、過去の設計法で担保されてきた様々な安全性について、思わぬ欠落が生じる可能性がある。

また、現行基準の部分係数法については、竹信ら⁴⁾により次期技術基準の改訂に向けた方向性が提案されている。竹信らは、今後増加が予想される改良設計に関する問題点等を踏まえ、過去に安全率法によって設計された断面が有する安全性水準を、ケーソン式岸壁が有すべき永続状態の目標安全性水準として再設定することが適切であると述べている。あわせて、地盤や基礎が関係する港湾構造物の全体安定性の照査については、荷重抵抗係数アプローチによる設計法への移行を提案している。港湾構造物の円弧すべり照査についても、これらの方向性に沿った検討が今後必要と考えられる。

以上を踏まえ本研究では、円弧すべり照査について、旧基準類⁵⁾の安全率法と現行基準の部分係数法を用いて、それぞれの方法でケーソン式岸壁およびケーソン式混成堤の安定性照査を満足する最小の断面を多数作成し、必要とする断面諸元を比較した。また、部分係数法で決定した断面に対して安全率法を用いて安全率を求めなおし、安全率を指標として、部分係数法および安全率法の有する安全性の水準を比較した。本資料では、これらの結果および部分係数法による円弧すべり照査の有する課題を設計者への技術情報として取りまとめ、次期基準改訂の基礎資料とするものである。

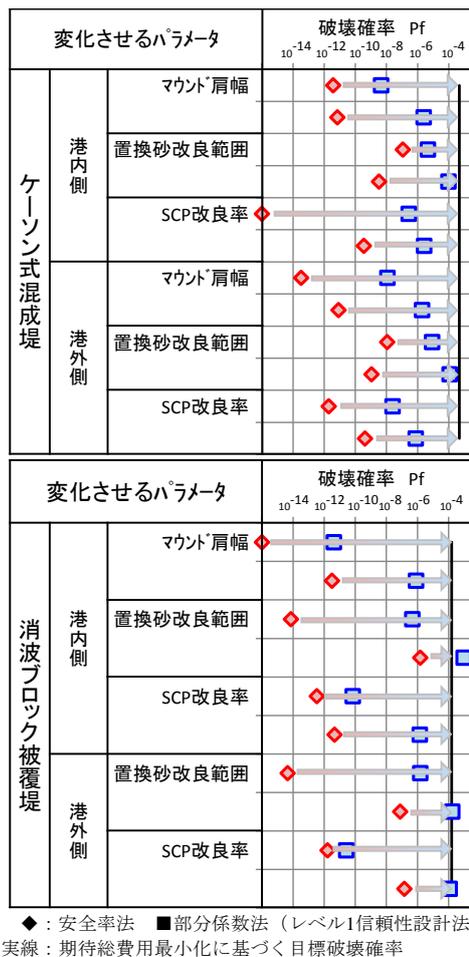


図-1.1 尾崎ら²⁾の防波堤の破壊確率分布 ($P_f < 10 \times 10^{-16}$ の場合、 10^{-16} の位置にプロットしている)

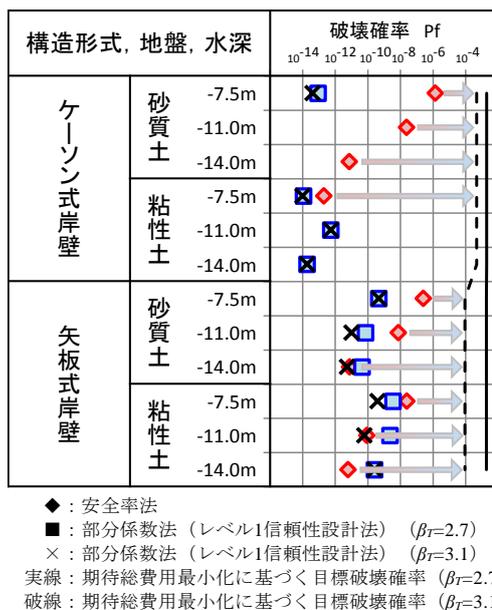


図-1.2 尾崎ら³⁾の岸壁の破壊確率分布 ($P_f = 0$ の場合、プロットから除外した)

2. 安全率を指標とした安全性水準の基準間比較

2.1 検討概要

本検討では、安全率法と部分係数法を用いて、それぞれの方法で照査を満足する最小の断面を作成し、その断面諸元を比較する。また、部分係数法で決定した断面に対し、安全率法により安全率を求めなおし、部分係数法および安全率法の有する安全性の水準を、安全率を指標として比較する。検討のフローを図-2.1に示す。

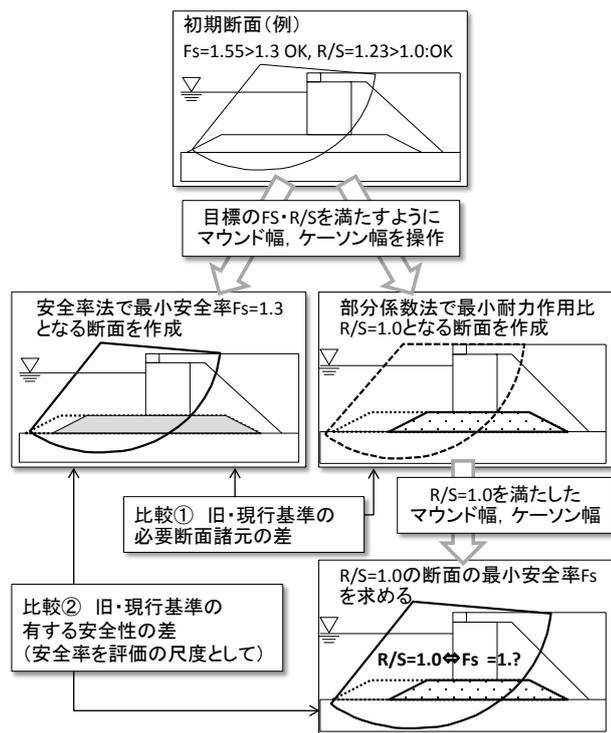


図-2.1 検討のフロー (F_s は安全率法で求まる安全率, R, S は部分係数法で求まる耐力, 作用である)

2.2 検討断面

本検討は、港湾構造物を代表して、ケーソン式岸壁およびケーソン式混成堤を対象とする。断面形状は「港湾構造物設計事例集(平成19年改訂版)」⁶⁾に記載されている設計事例を参考に作成した。

(1) ケーソン式岸壁

ケーソン式岸壁の断面モデルを図-2.2および図-2.3に示す。また、検討条件を表-2.1および表-2.2に示す。

① ケーソン前面水深

ケーソン前面水深の違いによる影響を検討するため、比較的浅い水深、深い水深を想定し、-7.5mと-16.0mの2ケースとする。

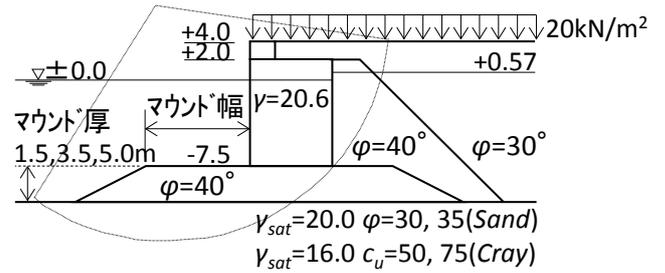


図-2.2 ケーソン式岸壁の断面モデル(積上型マウンド)

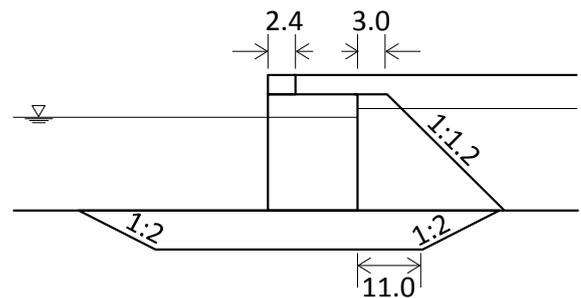


図-2.3 ケーソン式岸壁の断面モデル(掘込型マウンド)

表-2.1 ケーソン式岸壁の検討条件(1)

設計因子	設計値	
潮位[m]	H.W.L.	1.70
	L.W.L.	0.00
	R.W.L.	0.57
ケーソン前面水深[m]	-7.5	
マウンド形状	積上型	
	掘込型	
マウンド厚[m]	1.5	
	3.5	
	5.0	
	20	
上載荷重[kN/m ²]	20	

表-2.2 ケーソン式岸壁の検討条件(2)

	単位体積重量[kN/m ³]		地盤定数	
	湿潤重量	飽和重量		
上部工	22.6	22.6		
裏埋土	18.0	20.0	$\phi=30^\circ$	
ケーソン	20.6	20.6		
裏込石	18.0	20.0	$\phi=40^\circ$	
捨石マウンド	18.0	20.0	$\phi=40^\circ$	
基礎	砂質土	18.0	20.0	$\phi=30^\circ$
				$\phi=35^\circ$
地盤	粘性土	16.0	16.0	$c_u = 50$
				$c_u = 75$

② マウンド形状

マウンド形状の違いによる影響を検討するため、また現行基準で場合分けして部分係数を設定している断面を考慮するため、図-2.2のように海底地盤上にマウンドを設置するケース（積上型）と、図-2.3のように海底地盤を掘り込んでマウンドを設置するケース（掘込型）の2ケースとする。

③ マウンド厚

マウンド厚の違いによる、結果に対する影響を検討するため、1.5m, 3.5m, 5.0mの3ケースとする。

④ 海底地盤水深

a) 積上型マウンド

ケーソン前面水深からマウンド厚（1.5m, 3.5m, 5.0m）を下げた高さを海底地盤水深とする。前面水深-7.5mの場合はそれぞれ-9.0m, -11.0m, -12.5m, 前面水深-16.0mの場合はそれぞれ-17.5m, -19.5m, -21.0mとする。

b) 掘込型マウンド

ケーソン前面水深と同値とする。

⑤ 基礎地盤

海底地盤面以深の基礎地盤を、一様な物性値を持つ地盤であると仮定する。基礎地盤の物性は、せん断抵抗角 ϕ を2種類に変化させた砂質土と、粘着力 c_u を2種類に変化させた粘性土の計4ケースを設定した。検討に用いた単位体積重量と地盤定数を表-2.2に示す。

⑥ 総ケース数

以上の2水深×2マウンド形状×3マウンド厚×4地盤=48ケースの計算を行う。潮位、上載荷重、基礎地盤以外の断面部材の単位体積重量、地盤物性値については全ケース共通とする。

⑦ すべり円弧中心点の制限

ケーソン式岸壁の円弧すべり照査においては、すべり円弧の中心点が水面より下として計算されないよう設定されることが多いため、中心点は水面以上の範囲に制限した。

⑧ すべり円弧通過点

通常の設計に準じ、すべり円弧はケーソン底面の後趾点を通ると仮定し、円弧通過点として固定した。

(2) ケーソン式混成堤

ケーソン式混成堤の断面モデルを図-2.4に示す。また、検討条件を表-2.3, 2.4に示す。

通常、ケーソン式混成堤の円弧すべり照査は港内側、港外側の両方のすべりについて実施するが、本検討は港内側（図-2.4中の例では、ケーソン右側）のすべりを代表して計算を行う。

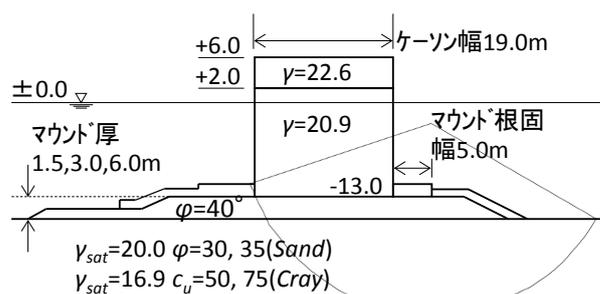


図-2.4 ケーソン式混成堤の断面モデル

表-2.3 ケーソン式混成堤の検討条件(1)

設計因子	設計値
潮位[m]	L.W.L. 0.00
ケーソン設置水深[m]	-13.0 -17.0
マウンド厚[m]	1.5 (-14.5, -18.5)
(底面水深[m])	3.0 (-16.0, -20.0) 6.0 (-19.0, -23.0)

表-2.4 ケーソン式混成堤の検討条件(2)

	単位体積重量[kN/m ³]		地盤定数	
	湿潤重量	飽和重量		
上部工	22.6	22.6		
ケーソン	20.9	20.9		
根固被覆(左)	18.0	20.0		
根固(右)	18.0	20.0		
被覆(右)	18.0	20.0		
捨石マウンド	18.0	20.0	$\phi=40^\circ$	
基礎地盤	砂質土	18.0	20.0	$\phi=30^\circ$
				$\phi=35^\circ$
	粘性土	16.9	16.9	$c_u = 50$ [kN/m ²]
				$c_u = 75$ [kN/m ²]

① ケーソン設置水深

ケーソン設置水深の違いによる影響を検討するため、-13.0mと-17.0mの2ケースとする。

② マウンド厚

マウンド厚の違いによる影響を検討するため、1.5m, 3.0m, 6.0mの3ケースとする。

③ 海底地盤水深

ケーソン設置水深からマウンド厚分（1.5m, 3.0m, 6.0m）を下げた高さを海底地盤水深とする。設置水深-13.0mの場合はそれぞれ-14.5m, -16.0m, -19.0m, 設置水深-17.0mの場合はそれぞれ-18.5m, -20.0m, -23.0mとする。

④ 基礎地盤

海底地盤面以深の基礎地盤を、一様な物性値を持つ地盤であると仮定する。基礎地盤の物性は、せん断抵抗角 ϕ

を2種類に変化させた砂質土と、粘着力 c_u を2種類に変化させた粘性土の4ケースを設定した。検討に用いた単位体積重量と地盤定数を表-2.4に示す。

⑤ 総ケース数

以上の2水深×3マウンド厚×4地盤=24ケースの計算を行う。潮位、基礎地盤以外の断面部材の単位体積重量、地盤物性値については全ケース共通とする。

⑥ すべり円弧中心点の制限

ケーソン式混成堤の円弧すべり照査においては、すべり円弧の中心点は制限しない。

⑦ すべり円弧通過点

通常の設計に準じ、すべり円弧はケーソン底面の後趾点を通ると仮定し、円弧通過点として固定した。

2.3 修正フェレニウス法による円弧すべり解析の照査式

円弧すべり照査にあたっては、修正フェレニウス法を用いる。式(1)、(2)に安全率法、部分係数法による照査式を示す。各物理量の表す意味は表-2.5、図-2.5に示す。

安全率法と部分係数法のいずれにおいても起動モーメントと抵抗モーメントの比を照査のパラメーターとして算出するが、安全率法により求めた値、部分係数法により求めた値をそれぞれ安全率 F_s 、耐力作用比 R/S と表記する。

なお、部分係数法では、現行基準の重力式係船岸（耐震強化施設以外）および混成堤の円弧すべりに関する部分係数（表-2.6、2.7）を用いて検討を行った。

$$F_s = \frac{\sum\{cS + W' \cos^2 \theta \tan \phi\} \sec \theta}{\sum W \sin \theta + \frac{1}{R} \sum P_H a} \quad (1)$$

$$R/S = \frac{\sum\{c_a S + (W'_a + q_a) \cos^2 \theta \tan \phi_a\} \sec \theta}{\gamma_a \left\{ \sum (W_a + q_a) \sin \theta + \frac{a}{R} P_{H_a} \right\}} \quad (2)$$

表-2.5 修正フェレニウス法の物理量

F_s	: 安全率
R/S	: 耐力作用比
c , c_a	: 粘着力[kN/m ²]
ϕ , ϕ_a	: せん断抵抗角[°]
W' , W'_a	: 単位長さ当たりの分割片の有効重量[kN/m]
W , W_a	: 単位長さ当たりの分割片の全重量[kN/m]
θ	: 分割片底面が水平面となす角[°]
S	: 分割片の幅[m]
r	: 円弧すべりのすべり円の半径[m]
a	: P_H の作用位置の円弧すべりのすべり円中心からの腕の長さ[m]
q , q_a	: 分割片上部からの鉛直作用[kN/m]
P_H , P_{H_a}	: 円弧すべりのすべり内の土塊への水平作用[kN/m]

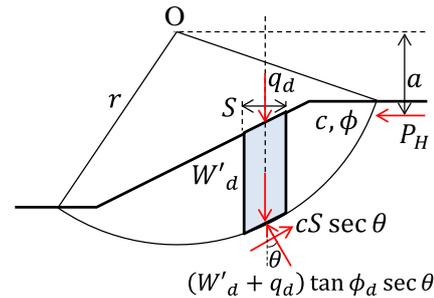


図-2.5 分割片に作用する力、物理量

表-2.6 重力式係船岸の円弧すべりの部分係数

目標システム信頼性指標 β_T	2.7			
目標システム破壊確率 P_{TT}	4.0×10^{-3}			
γ の計算に用いる目標信頼性指標 β_T'	2.89			
	γ	α	μ/X_k	V
γ_c	地盤強度：粘着力	0.90	0.406	1.00 0.04
$\gamma_{\tan \phi'}$	地盤強度：せん断抵抗角の正接	0.90	0.320	1.00 0.04
γ_{W_i}	マウンドが海底面より下に位置する場合			
	1 海底面より上にある地盤、消波工等	1.10	-0.173	1.00 0.03
	2 マウンド、海底面より下にある砂質土	0.90	0.227	1.00 0.03
	3 海底面より下にある粘性土	1.00	0.000	1.00 0.03
	マウンドが海底面より上に位置する場合			
	1 海底面より上にある地盤、マウンド、消波工等	1.10	-0.173	1.00 0.03
	2 海底面より下にある砂質土	0.90	0.227	1.00 0.03
	3 海底面より下にある粘性土	1.00	0.000	1.00 0.03
γ_q	載荷重	1.70	-0.551	1.00 0.40
γ_{RWL}	残留水位	1.10	-0.015	1.00 0.05

表-2.7 混成堤の円弧すべりの部分係数

目標信頼性指標 β_T	3.3			
目標破壊確率 P_{TT}	4.5×10^{-4}			
	γ	α	μ/X_k	V
γ_c	地盤強度：粘着力	0.90	0.285	1.00 0.038
$\gamma_{\tan \phi'}$	地盤強度：せん断抵抗角の正接	0.90	0.380	1.00 0.038
γ_{W_i}	マウンドが海底面より下に位置する場合			
	1 海底面より上にある地盤、消波工等	1.00	-0.007	1.00 0.03
	2 マウンド、海底面より下にある砂質土	0.90	0.070	
	3 海底面より下にある粘性土	0.90	0.125	
	マウンドが海底面より上に位置する場合			
	1 海底面より上にある地盤、マウンド、消波工等	1.00	-0.007	1.00 0.03
	2 海底面より下にある砂質土	0.90	0.070	
	3 海底面より下にある粘性土	0.90	0.125	
γ_q	分布荷重	1.10	-0.463	1.02 0.04

2.4 検討手順

(1) 比較検討を行う項目

初期の断面条件から徐々に断面形状を変化させながら、安全率法で安全率 $F_s \geq 1.3$ を満たす最小の安全率 F_s を持つ断面、部分係数法で耐力作用比 $R/S \geq 1.0$ を満たす最小の耐力作用比 R/S を持つ断面をそれぞれ作成する。

その後、耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面について、特性値を用いた安全率法により最小安全率となる円弧形状を再度探索し、上記の部分係数法で設定された断面に対応する安全率 F_s を求める。

①基準間の決定断面諸元の比較

安全率法で安全率 $F_s=1.3$ に調整した断面と、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面の断面形状の結果を用いて、安全率法と部分係数法で必要とする断面諸元を比較する。

②基準間の安全率の比較

安全率法で安全率 $F_s=1.3$ に調整した断面の安全率 F_s の値と、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面に対し安全率法で求めた安全率 F_s の値を用いて、安全率法と部分係数法の有する安全性水準について、安全率 F_s を指標として比較する。ここで比較される安全率 F_s の大小が安全率法と部分係数法の有する安全性の大小であると考える。

(2) 検討断面の設定方法

目標の $F_s \cdot R/S$ を満足する断面は、初期の断面条件からマウンド幅とケーソン幅を変化させることにより設定した。以下、安全率法で安全率 $F_s=1.3$ に調整した断面、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面の設定方法を示す(図-2.6, 図-2.7)。

はじめに、マウンド幅(ケーソン法線からマウンド法肩までの距離)を0.1mピッチで延長または短縮して、目標の $F_s \cdot R/S$ を満足させる調整を行う。ただし、マウンド幅のみでの調整ができない場合(マウンドを延長しても $F_s \cdot R/S$ が変化しない場合や、マウンドを短縮してマウンド法肩がケーソン法線に到達した場合)には、それまで変化させたマウンド幅を固定してマウンド幅による調整を終了し、さらにケーソン幅を0.1mピッチで延長または短縮して目標の $F_s \cdot R/S$ を満足する断面を探索し、設定する。以上の操作で目標の $F_s \cdot R/S$ を満足しない断面もあり、その場合は結果の集計、検討、グラフのプロット対象から除外する。

(3) 目標の $F_s \cdot R/S$ を満足する断面の作成条件

目標の $F_s \cdot R/S$ より初期断面の $F_s \cdot R/S$ が大きい場合は、それぞれの閾値未満となるまで試行を繰り返し、最後に条件を満たした結果を採用する。また、目標の $F_s \cdot R/S$ より初期断面の $F_s \cdot R/S$ が小さい場合は、それぞれの閾値以上となる最初の結果を採用する。ただし、調整の際、図-2.8に示すイメージ図のように、急激に $F_s \cdot R/S$ が変化する場合があるため、閾値の $F_s=1.3, R/S=1.0$ ちょうどに

調整することは困難であり、ケースによって $F_s \cdot R/S$ の結果にばらつきがある。

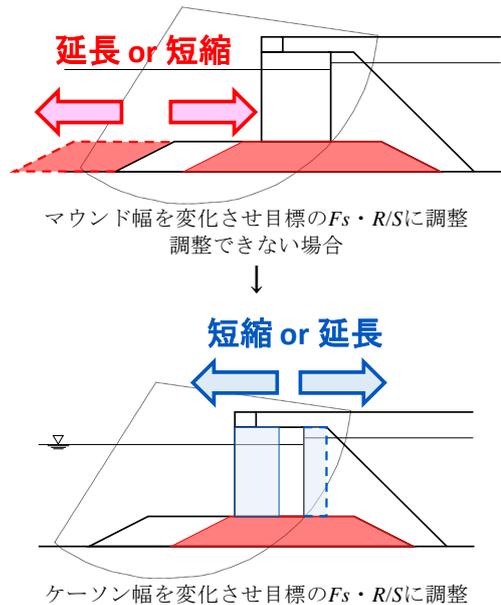


図-2.6 断面の設定方法(ケーソン式岸壁)

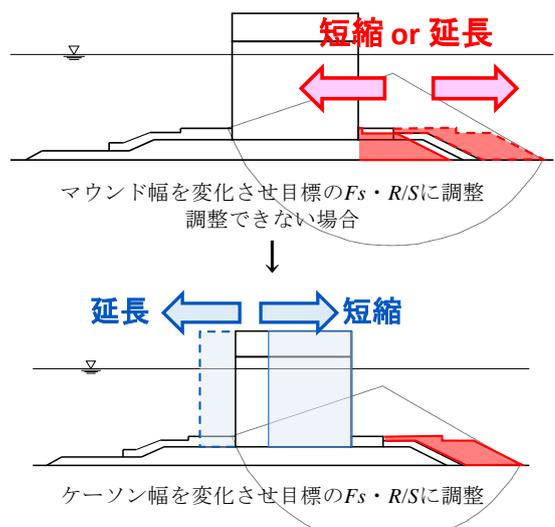


図-2.7 断面の設定方法(ケーソン式混成堤)

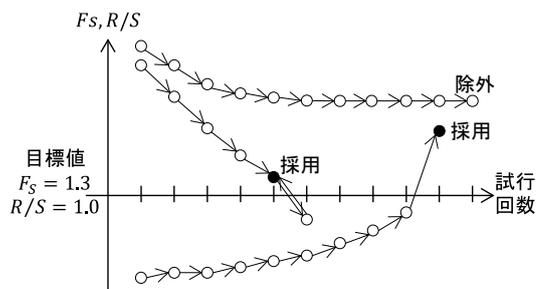


図-2.8 目標の $F_s \cdot R/S$ を満たす断面作成のイメージ

2.5 ケーソン式岸壁における基準間の比較

本節では、ケーソン式岸壁を対象とした円弧すべり照査について、旧基準類の安全率法と現行基準の部分係数法を用いて安全性照査を満足する最小の断面を多数作成し、基準間の相違点に着目した比較結果を示す。なお、すべてのケースの計算結果については、付録Aに示し、ここでは概要および特筆すべき点のみを示す。

(1) 初期断面における安全率と耐力作用比との関係

図-2.9に、ケーソン式岸壁の初期の断面条件における安全率と耐力作用比との関係を示す。本図より、安全率と耐力作用比は、ばらつきを持ちつつも概ね比例関係にあることがわかる。

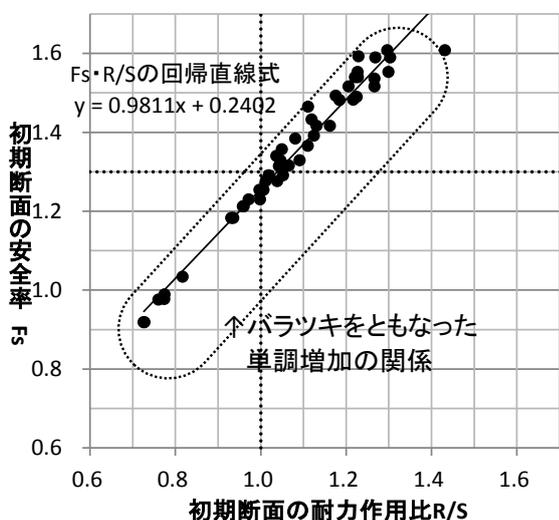


図-2.9 ケーソン式岸壁の初期の断面条件における安全率と耐力作用比の関係

(2) 断面諸元（マウンド幅・ケーソン幅）の基準間比較

図-2.10に、安全率法で安全率 $F_s=1.3$ に調整した断面と、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面の相違を示す。同図より、照査法によりマウンド幅およびケーソン幅にどの程度の差が生じるかを把握できる。安全率法によって算定した値を横軸、部分係数法によって算定した値を縦軸とした。図中の▲印はマウンド幅のみを変化させて目標の $F_s \cdot R/S$ を満たす断面を作成できたケースのマウンド幅を、□印はマウンド幅と併せてケーソン幅も変化させて目標の $F_s \cdot R/S$ を満たす断面を作成できたケースのケーソン幅を示している。なお、安全率法と部分係数法のいずれかが目標の $F_s \cdot R/S$ に調整できなかったケースについては、同図中にプロットしていない。

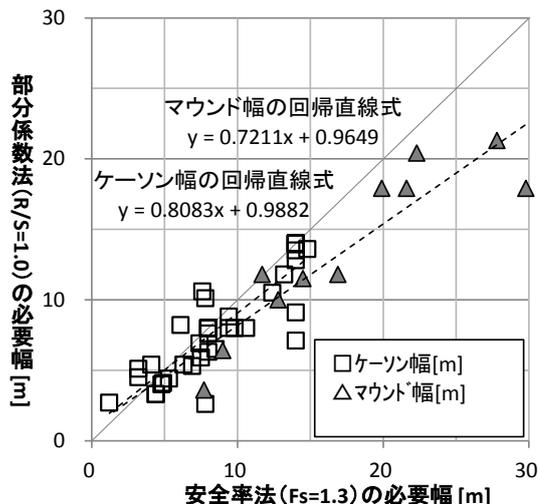


図-2.10 ケーソン式岸壁の安全率法および部分係数法による必要マウンド幅・ケーソン幅の関係

表-2.8 ケーソン式岸壁の断面調整の結果別ケース数

①マウンド幅の操作		ケース数	②ケーソン幅の操作		ケース数
マウンド幅 (部分係数法) >	マウンド幅 (安全率法)	1	ケーソン幅を操作せず 目標 $F_s \cdot R/S$ へ調整		11
マウンド幅 (部分係数法) <	マウンド幅 (安全率法)	10			
マウンド幅のみ 目標 $F_s \cdot R/S$ へ調整不可		37	ケーソン幅 (部分係数法) >	ケーソン幅 (安全率法)	8
			ケーソン幅 (部分係数法) <	ケーソン幅 (安全率法)	27
			ケーソン幅で調整不可		2

①マウンド幅の比較

安全率法と部分係数法により作成した断面の相違を把握するため、表-2.8に断面調整の結果別のケース数を示す。マウンド幅のみを変化させて目標の $F_s \cdot R/S$ を満たしたのは11ケース（図-2.10中▲印）であり、その他の37ケースはマウンド幅のみを変化させては目標の $F_s \cdot R/S$ を満足しなかった。目標の $F_s \cdot R/S$ を満足した11ケースの内訳は、安全率法で決定したマウンド幅より、部分係数法で決定したマウンド幅の方が大きいケースが1ケース、反対に安全率法で決定したマウンド幅の方が大きいケースは10ケースであった。部分係数法の破壊確率に基づく目標安全性水準が、本検討条件下では必要断面諸元を小さくする、つまり安全性水準を下げるように作用したためと考えられる。結果的に、部分係数法で決定した断面の方が、円弧すべり破壊を抑制するカウンターウェイトとしてのマウンド幅が短くても照査を満足した。

これらの結果から、本検討条件下では、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面より、安全率法で安全

率 $F_s=1.3$ に調整した断面の方が、必要マウンド幅が大きく設定される傾向にあると言える。

②ケーソン幅の比較

マウンド幅に加えてケーソン幅も変化させて目標の $F_s \cdot R/S$ に調整できたのは35ケース（図-2.10中口印）であり、残りの2ケースは目標の $F_s \cdot R/S$ を満足しなかった（表-2.8）。目標の $F_s \cdot R/S$ を満足した35ケースの内訳は、安全率法で決定したケーソン幅より、部分係数法で決定したケーソン幅の方が大きいケースが8ケース、反対に安全率法で決定したケーソン幅の方が大きいケースは27ケースであった。これも先述したマウンド幅の場合と同様、現行基準の目標安全性水準の影響により、部分係数法で決定した断面の方が、ケーソン幅が狭くても照査を満足したと考えられる。

これらの結果から、本検討条件下では、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面の方が、安全率法で安全率 $F_s=1.3$ に調整した断面と比較して、必要ケーソン幅が小さく設定される傾向にある。

(3) 安全率を指標とした安全性水準の基準間比較

① 耐力作用比 $R/S=1.0$ の断面に対応する安全率 F_s

図-2.11に、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ の断面を作成できた46ケースに対して、あらためて安全率法で最小安全率となる円弧形状を探索し、最小となる安全率 F_s を求め、その安全率をプロットして示す。図中の横軸は、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面の耐力作用比 R/S の値を示している。縦軸は、それらの断面の安全率 F_s を示している。本図より、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面が、どの程度の安全率を有する断面に相当するのかを把握できる。また、図-2.12には、求めた安全率の結果を頻度分布および相対累積頻度分布としてプロットした結果を示す。

図-2.11より、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面の有する安全率 F_s は、1.114~1.313（平均1.226）の幅広い値となることがわかる。図-2.12の頻度分布からは、 $1.20 < F_s \leq 1.25$ のケースが最も多く、次いで $1.15 < F_s \leq 1.20$ のケースが多いことがわかる。

次に、基礎地盤の地盤種類や地盤強度による安全率 F_s への影響を確認するために、断面の地盤種類、地盤強度ごとの安全率 F_s の平均値を求め、表-2.9に示す。同表から、各地盤、強度ごとの平均値はいずれも1.218 ~ 1.236と差はほとんどなく、全体の平均値1.226とも近いことから、基礎地盤の種類、強度による違いは明瞭ではないと言える。

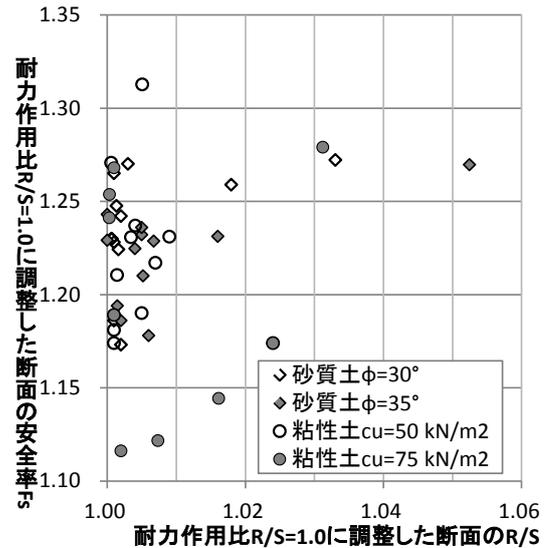


図-2.11 ケーソン式岸壁の耐力作用比 $R/S=1.0$ 程度の断面が有する安全率 F_s

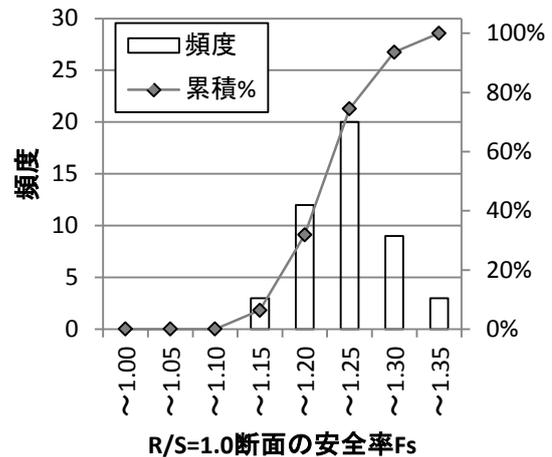


図-2.12 ケーソン式岸壁の安全率 F_s の頻度分布・相対累積頻度分布

表-2.9 ケーソン式岸壁の安全率 F_s の平均値（地盤強度別・全ケース）

地盤強度の検討ケース (調整できたケース数)	安全率 F_s の平均値
砂質土： $\phi=30^\circ$ (12 ケース)	1.236
砂質土： $\phi=35^\circ$ (12 ケース)	1.222
粘性土： $c_u=50$ [kN/m ²] (12 ケース)	1.218
粘性土： $c_u=75$ [kN/m ²] (10 ケース)	1.230
全体(46 ケース)	1.226

② まとめと留意点

以上の結果から、ケーソン式岸壁の円弧すべりを照査する場合、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面は、平均的には安全率1.226の安全性を有することがわかった。また、個々の結果は断面条件によって大きくばらつき、本検討条件下においては、1.114~1.313である。

現行基準では、修正フェレニウス法を用いた円弧すべり照査の解析手法に関する部分係数 γ_a （実質的には最小安全率）は、既往のすべり破壊事例等の経験などから、一般的な下限値として1.3、計測施工等を実施する場合等には1.1以上1.3未満の値が設定された（付録Cに、修正フェレニウス法による円弧すべり照査の既往設計基準類の変遷を示す）。安全率法と部分係数法による上述の比較結果を踏まえると、現行基準の部分係数を用いて最小となる断面諸元を決定した場合、従来の安全率法の適用実績に照らすと危険な断面（計測施工等を実施する場合等）にのみ用いる安全率の下限1.1近く、あるいはそれ未満）を許容する可能性を意味する。

2.6 ケーソン式混成堤における基準間の比較

本節では、ケーソン式混成堤を対象とした円弧すべり照査について、旧基準類の安全率法と現行基準の部分係数法を用いて安全性照査を満足する最小の断面を多数作成し、基準間の相違点に着目した比較結果を示す。なお、すべてのケースの計算結果については、付録Bに示し、ここでは概要および特筆すべき点のみを示す。

(1) 初期断面における安全率と耐力作用比との関係

図-2.13に、ケーソン式混成堤の初期の断面条件における安全率と耐力作用比との関係を示す。本図より、ケーソン式混成堤における安全率と耐力作用比は、ばらつきを持ちつつも概ね比例関係にあることがわかる。

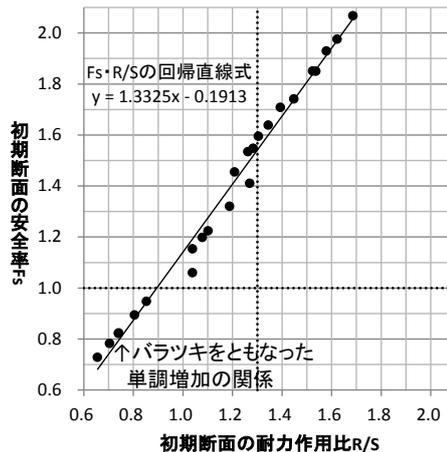


図-2.13 ケーソン式混成堤の初期の断面条件における安全率と耐力作用比の関係

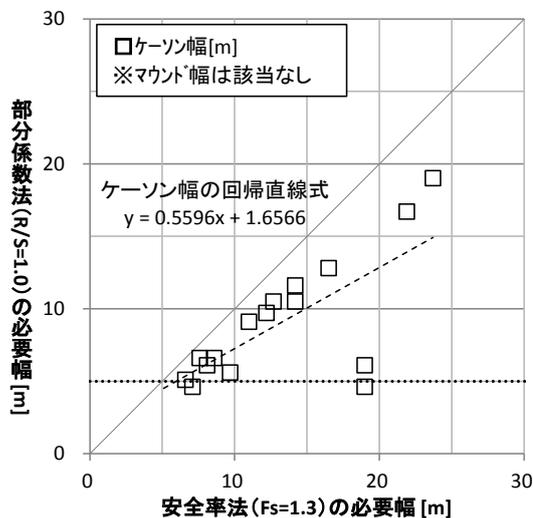


図-2.14 ケーソン式混成堤の安全率法および部分係数法による必要ケーソン幅の関係

(2) 断面諸元（ケーソン幅）の基準間比較

図-2.14に、安全率法で安全率 $F_s=1.3$ に調整した断面と、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面の相違を示す。安全率法の値を横軸、部分係数法の値を縦軸とした。ケーソン式混成堤の場合は、マウンド幅のみを変化させて目標の $F_s \cdot R/S$ を満たす断面を作成できたケースは無かったため、本図では、□印にマウンド幅と併せてケーソン幅も変化させて目標の $F_s \cdot R/S$ の断面を作成できたケースについて、ケーソン幅を示している。

表-2.10 ケーソン式混成堤の断面調整の結果別ケース数

①マウンド幅の操作		ケース数	②ケーソン幅の操作		ケース数	
マウンド幅	>	マウンド幅	ケーソン幅を操作せず	目標 $F_s \cdot R/S$ へ調整	0	
(部分係数法)		(安全率法)				
マウンド幅	<	マウンド幅				
(部分係数法)		(安全率法)				
マウンド幅のみで		24	ケーソン幅	>	ケーソン幅	0
目標 $F_s \cdot R/S$ へ調整不可			(部分係数法)		(安全率法)	
			ケーソン幅	<	ケーソン幅	16
			(部分係数法)		(安全率法)	
ケーソン幅で調整不可						8

安全率法と部分係数法により作成した断面の相違を把握するため、表-2.10に断面調整の結果別のケース数を示す。表-2.10と図-2.14より、目標の $F_s \cdot R/S$ を満足した16ケースでは、部分係数法で決定したケーソン幅の方が、安全率法で決定したケーソン幅より大きい結果が得られた。

よって本検討条件下では、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面の方が、安全率法で安全率 $F_s=1.3$ に調整した断面より、必要ケーソン幅が小さく設定される傾向にあると言える。これは先述のとおり、現行基準の目標安全性水準変更の影響であると考えられる。

(3) 安全率を指標とした安全性水準の基準間比較

① 耐力作用比 $R/S=1.0$ の断面に対応する安全率 F_s

図-2.15に、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ の断面を作成できた21ケースに対して、あらためて安全率法で最小安全率となる円弧形状を探索し、最小となる安全率 F_s をプロットして示す。図中の横軸は、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面における耐力作用比 R/S の値を示している。縦軸は、それらの断面の安全率 F_s を示している。また、図-2.16には、求めた安全率の結果を頻度分布および相対累積頻度としてプロットした結果を示す。

図-2.15より、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面の有する安全率 F_s は、0.980~1.271（平均1.152）の幅広い値となることがわかる。図-2.16の頻度分布からは、 $1.20 < F_s \leq 1.25$ のケースが多く、次いで $1.15 < F_s \leq 1.20$ のケースが多いことがわかる。

次に、基礎地盤の地盤種類や地盤強度による安全率 F_s への影響を確認するために、断面の地盤種類、地盤強度ごとの安全率 F_s の平均値を求め、表-2.11に示す。同表から、まず基礎地盤の種類による相違が顕著であることがわかる。砂質土地盤における安全率 F_s の平均値は、せん断抵抗角 $\phi=30^\circ$ 、および 35° の場合、それぞれ1.202および1.210である。これに対して、粘性土地盤における安全率 F_s の平均値は、1.006 ($c_u=50 \text{ kN/m}^2$) および1.142 ($c_u=75 \text{ kN/m}^2$) であり、粘性土地盤の安全率は、砂質土地盤に比べて明らかに値が小さい傾向にある。

このように、部分係数法による照査結果を安全率に換算した場合に、本検討条件下では、基礎地盤の地盤種類（砂質土、粘性土）、粘性土の場合は地盤強度が支配的であるという結果を得たものの、明確な因果関係、メカニズムは不明である。これは、今後検証すべき課題とする。

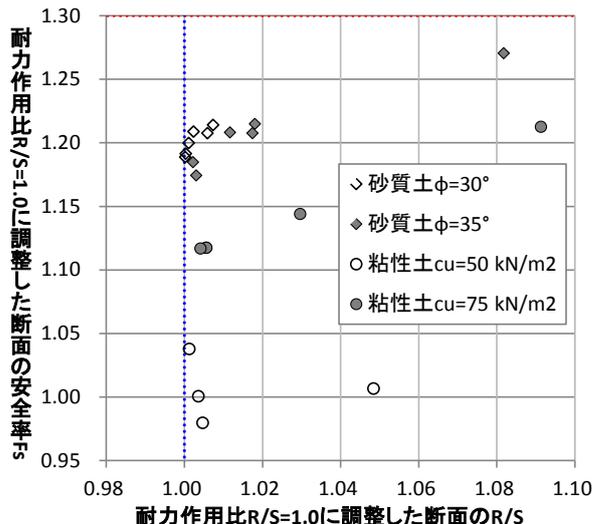


図-2.15 ケーソン式混成堤の耐力作用比 $R/S=1.0$ 程度の断面が有する安全率 F_s

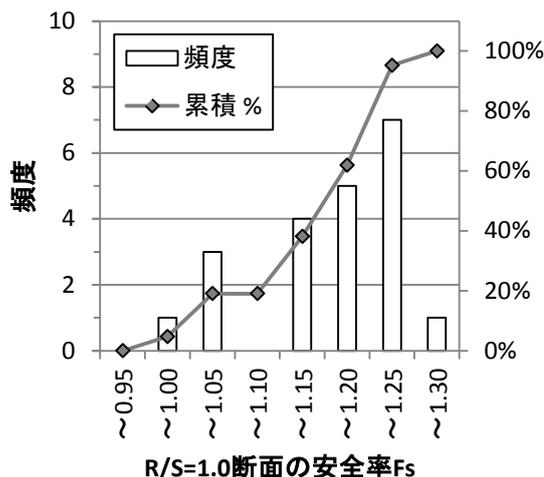


図-2.16 ケーソン式混成堤の安全率 F_s の頻度分布・相対累積頻度分布

表-2.11 ケーソン式混成堤の地盤強度ごと、全ケースの安全率 F_s の平均値

地盤強度の検討ケース (調整できたケース数)	安全率 F_s の平均値
砂質土： $\phi=30^\circ$ (6 ケース)	1.202
砂質土： $\phi=35^\circ$ (6 ケース)	1.210
粘性土： $c_u=50 \text{ [kN/m}^2]$ (4 ケース)	1.006
粘性土： $c_u=75 \text{ [kN/m}^2]$ (5 ケース)	1.142
全体 (21 ケース)	1.152

② まとめと留意点

以上の結果から、ケーソン式混成堤の円弧すべりを照査する場合、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面は、平均的には安全率1.152の安全性を有することがわかった。また、個々の結果は断面条件によって大きくばらつき、本検討条件下においては、0.980~1.271である。また、粘性土地盤の場合に、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面の安全率が、特に小さくなる傾向にあった。

なお、今回の検討結果は、ケーソン式岸壁の場合（2.5節）と同様に、ケーソン式混成堤においても、現行基準の部分係数を利用して最小となる断面諸元を決定した場合、従来の安全率法の適用実績に照らすと危険な断面を許容する可能性を意味する。

2.7 堤体幅を用いたフィルタリングによる妥当性の検証

実際の設計では、他の照査（例えば、図-2.17に現行基準における重力式係船岸の照査フローを示す）によって、本検討の2.5節、2.6節で設定された断面諸元の構造物が全て建設されることはない。

ここまでは、円弧すべり照査のみに着目して断面を設定したため、極端な断面での検討を実施している可能性がある。そこで、検討結果に現実性を持たせるため、既往の知見により示されている現実的と考えられるケーソン寸法を閾値として、2.5節、2.6節の結果をフィルタリングし、フィルタリング後の値を用いて再度集計、検討した場合でも、2.5節、2.6節と同様の結果を示すことができるかを確認する。

(1) フィルタリングの方法

① ケーソン式岸壁のケーソン寸法に関する既往の知見

長尾⁷⁾は重力式係船岸の壁体総高 H と壁体底幅 B を集計し、回帰式 $B = 0.63H - 0.65$ [cm]の関係を提案している。その中でケーソンおよびブロック積係船岸のプロットのおおよその下限値 ($B/H \geq 0.3$) を読み取り、ケーソン式岸壁については、これを満たす結果を抽出する。

② ケーソン式混成堤のケーソン寸法に関する既往の知見

堀川ら⁸⁾によると、ケーソン式混成堤のマウンド天端水深と堤体幅の比はおおよそ0.7を下限値としているため、ケーソン式混成堤については、これを満たす結果を抽出する。

(2) フィルタリングの閾値

(1)に示す既往の知見より、各計算ケースのケーソン前面水深、マウンド天端高さに応じて、表-2.12に示す閾値

を設定した。抽出された断面ケースについては、ケーソン式岸壁およびケーソン式混成堤について、それぞれ付録Aおよび付録Bの一覧表中に示す。

(3) ケーソン式岸壁の検証結果

① ケーソン幅の比較

図-2.18(図-2.10を前述の条件でフィルタリング)に、安全率法および部分係数法による必要マウンド幅、ケーソン幅の関係を示す。ただし、マウンド幅のみを変化させて目標の $Fs \cdot R/S$ に調整できた断面については、フィルタリングに無関係であるので、結果は図-2.10と同様である。

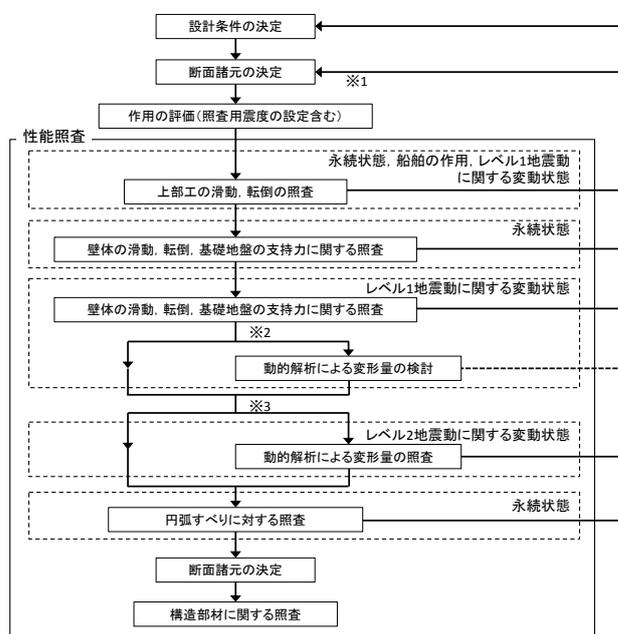


図-2.17 重力式係船岸の照査フロー

表-2.12 ケーソン幅のフィルタリング閾値

ケーソン式岸壁	ケーソン前面水深	ケーソン天端高さ	ケーソン高さ	ケーソン幅の閾値
	- 7.5 m	+2.0m	9.5 m	2.9 m
	-16.0 m		18.0 m	5.4 m
ケーソン式混成堤	マウンド天端高さ	潮位		ケーソン幅の閾値
	-13.0 m	±0.0 m		9.1 m
	-17.0 m			11.9 m

マウンド幅と併せてケーソン幅を変化させて目標の $Fs \cdot R/S$ に調整できたケースは、フィルタリングにより4ケースが除外され、31ケースである(表-2.13)。結果として、安全率法で決定した断面の方が、部分係数法で決定した断面より必要ケーソン幅が大きいケースが多いこ

と、回帰直線式の傾きが1より小さいことから、2.5節で示した結果と同様に、安全率法の決定断面の方が部分係数法の決定断面より大きいという傾向を示し、ケーソン幅については、傾向が変わらないと言える。

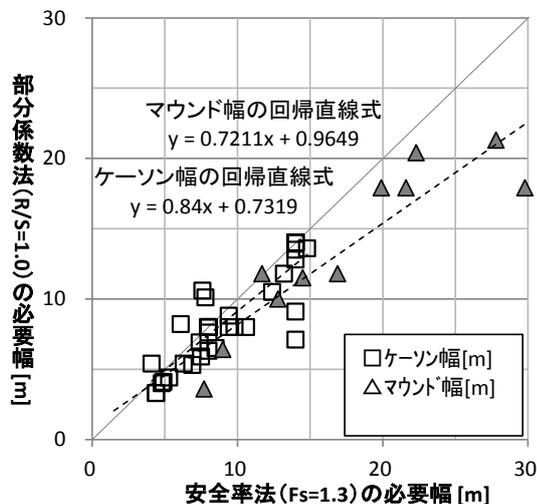


図-2.18 ケーソン式岸壁の安全率法および部分係数法による必要マウンド幅・ケーソン幅の関係 (堤体幅でフィルタリング)

表-2.13 ケーソン式岸壁の断面調整の結果別のケース数 (堤体幅でフィルタリング；カッコ内はフィルタリングにより除外されたケース数)

①マウンド幅の操作		ケース数	②ケーソン幅の操作		ケース数
マウンド幅 (部分係数法) > マウンド幅 (安全率法)		1	ケーソン幅を操作せず 目標 $F_s \cdot R/S$ へ調整		11
マウンド幅 (部分係数法) < マウンド幅 (安全率法)		10			
マウンド幅のみで 目標 $F_s \cdot R/S$ へ調整不可		33 (4)	ケーソン幅 (部分係数法) > ケーソン幅 (安全率法)		5 (3)
			ケーソン幅 (部分係数法) < ケーソン幅 (安全率法)		26 (1)
			ケーソン幅で調整不可		2

②安全率を指標とした安全性水準の比較

図-2.19 (図-2.11を前述の条件でフィルタリング) に部分係数法で耐力作用比 $R/S = 1.0$ に調整した断面について、安全率法で求めなおした安全率 F_s を示す。図-2.19 より、安全率の値が1.1程度から1.3程度に幅広く分布する点については、図-2.11と共通する。

また、地盤種類、地盤強度別の安全率の平均値 (表-2.14；表-2.9を前述の条件でフィルタリング) についても、 $F_s = 1.222 \sim 1.246$ であり、表-2.9 ($F_s = 1.218 \sim 1.236$) と比較して若干大きいものの、地盤種類、地盤強度による違いは見られないという点も共通する。

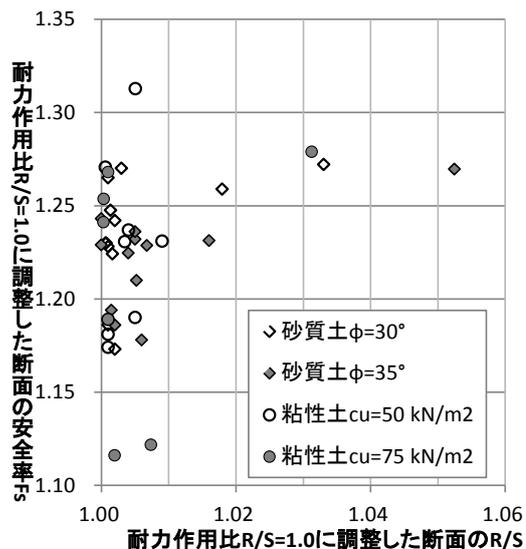


図-2.19 ケーソン式岸壁の耐力作用比 $R/S = 1.0$ 程度の断面が有する安全率 F_s (堤体幅でフィルタリング)

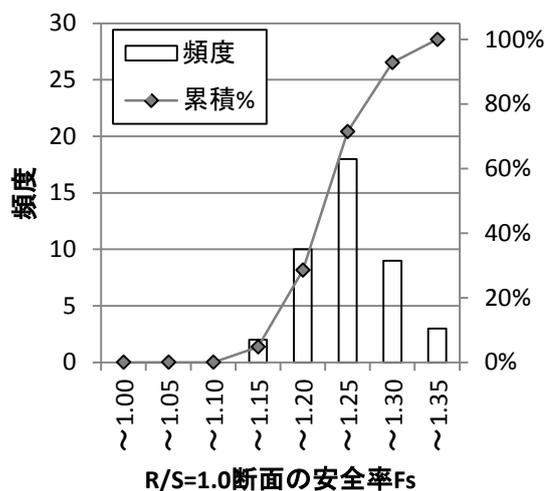


図-2.20 ケーソン式岸壁の安全率 F_s の頻度分布・相対累積頻度分布 (堤体幅でフィルタリング)

さらに、図-2.20 (図-2.12を前述の条件でフィルタリング) の安全率の頻度分布については、 $1.20 < F_s \leq 1.25$ ケースが最も多く、次いで $1.15 < F_s \leq 1.20$ のケースが多い点も、図-2.12と共通する。

表-2.14 ケーソン式岸壁の地盤強度ごと、全ケースの安全率 F_s の平均値 (堤体幅でフィルタリング)

地盤強度の検討ケース (調整できたケース数)	安全率 F_s の平均値
砂質土： $\phi=30^\circ$ (12 ケース)	1.236
砂質土： $\phi=35^\circ$ (12 ケース)	1.222
粘性土： $c_u=50$ [kN/m ²] (9 ケース)	1.224
粘性土： $c_u=75$ [kN/m ²] (9 ケース)	1.246
全体(43 ケース)	1.231

(4) ケーソン式混成堤の検証結果

① ケーソン幅の比較

図-2.21 (図-2.14を前述の条件でフィルタリング)に、安全率法および部分係数法による必要ケーソン幅の関係を示す。マウンド幅のみを変化させて目標の $F_s \cdot R/S$ に調整できた断面はなく、結果は図-2.14と同様である。

マウンド幅と併せてケーソン幅を変化させて目標の $F_s \cdot R/S$ に調整できたケースは、フィルタリングにより10ケースが除外され、6ケースである(表-2.15)。結果として、安全率法で決定した断面の方が、部分係数法で決定した断面より必要ケーソン幅が大きいケースが多いこと、回帰直線式の傾きが1より小さいことから、2.6節で示した結果と同様に、安全率法の決定断面の方が部分係数法の決定断面より大きいという傾向を示し、ケーソン幅については、傾向が変わらないと言える。

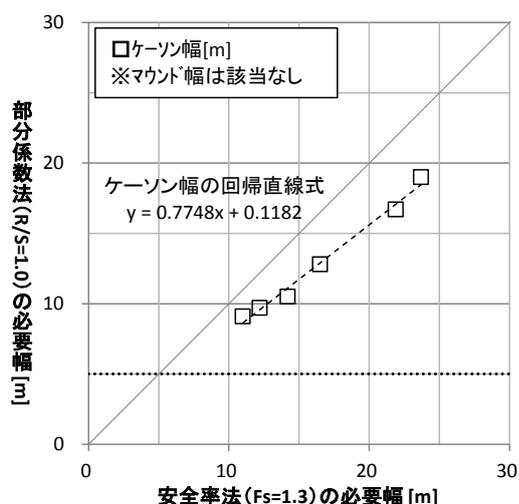


図-2.21 ケーソン式混成堤の安全率法および部分係数法による必要ケーソン幅の関係 (堤体幅でフィルタリング)

表-2.15 ケーソン式混成堤の断面調整の結果別のケース数 (堤体幅でフィルタリング; カッコ内はフィルタリングにより除外されたケース数を示す)

①マウンド幅の操作 ケース数		②ケーソン幅の操作 ケース数	
マウンド幅 (部分係数法) >	マウンド幅 (安全率法) 0	ケーソン幅を操作せず 目標 $F_s \cdot R/S$ へ調整	0
マウンド幅 (部分係数法) <	マウンド幅 (安全率法) 0	ケーソン幅 > (部分係数法) > (安全率法)	0
マウンド幅のみで 目標 $F_s \cdot R/S$ へ調整不可 24		ケーソン幅 < (部分係数法) < (安全率法)	6
		ケーソン幅で調整不可	8

②安全率を指標とした安全試水準の比較

図-2.22 (図-2.15を前述の条件でフィルタリング)に部分係数法で耐力作用比 $R/S = 1.0$ に調整した断面について、安全率法で求めなおした安全率 F_s を示す。図-2.22より、フィルタリングにより、安全率の値の分布 (9ケース) は若干狭まったものの、1.0程度から1.2程度に幅広く分布している。

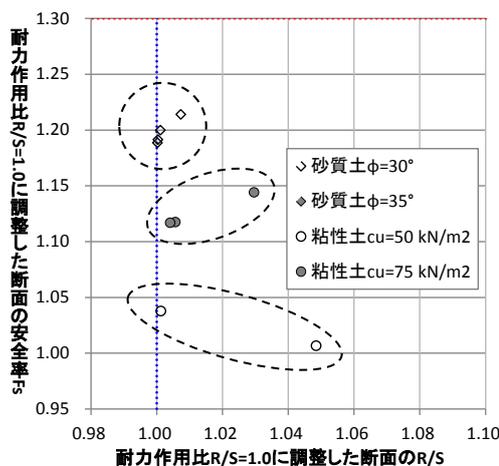


図-2.22 ケーソン式混成堤の耐力作用比 $R/S=1.0$ 程度の断面が有する安全率 F_s (堤体幅でフィルタリング)

また、地盤種類、地盤強度別の安全率の平均値 (表-2.16; 表-2.11を前述の条件でフィルタリング) についても、表-2.11と同様に基礎地盤の種類による相違が顕著である。砂質土地盤における安全率 F_s の平均値は、せん断抵抗角 $\phi=30^\circ$ の場合、1.198である ($\phi=35^\circ$ のケースはフィルタリングによりすべて除外)。これに対して、粘性土地盤の安全率 F_s の平均値は、1.126 ($c_u=50$ kN/m²) および1.135 ($c_u=75$ kN/m²) であり、砂質土地盤の場合と比較して、明らかに安全率の値が小さい傾向は、表-2.11と共通する。図-2.23 (図-2.16を前述の条件でフィルタ

リング)の安全率の頻度分布についても、 $1.00 < F_s \leq 1.05$ の2ケースは $c_u = 75 \text{ kN/m}^2$ の粘性土地盤のケース、 $1.10 < F_s \leq 1.15$ の3ケースは $c_u = 50 \text{ kN/m}^2$ の粘性土地盤のケース、 $1.15 < F_s \leq 1.20$ の3ケースおよび $1.20 < F_s \leq 1.25$ の1ケースは $\phi=30^\circ$ の砂質土地盤のケースであり、地盤種別や地盤強度との安全率の関係は、明瞭に分かれている。

表-2.16 ケーソン式混成堤の地盤強度ごと、全ケースの安全率 F_s の平均値 (堤体幅でフィルタリング)

地盤強度の検討ケース (調整できたケース数)	安全率 F_s の平均値
砂質土： $\phi=30^\circ$ (4 ケース)	1.198
砂質土： $\phi=35^\circ$ (0 ケース)	-
粘性土： $c_u=50 \text{ [kN/m}^2]$ (2 ケース)	1.022
粘性土： $c_u=75 \text{ [kN/m}^2]$ (3 ケース)	1.126
全体 (9 ケース)	1.135

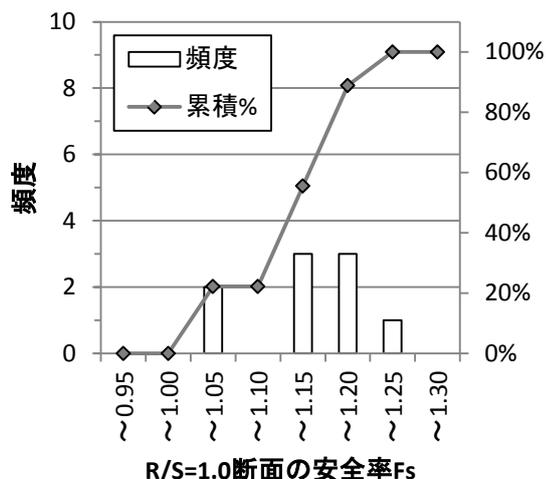


図-2.23 ケーソン式混成堤の安全率 F_s の頻度分布・相対累積頻度分布 (堤体幅でフィルタリング)

(5)まとめ

以上の結果から、ケーソン式岸壁、ケーソン式混成堤の結果に堤体幅のフィルタリングを施した場合であっても、2.5節、2.6節で述べた結果と同様であり、現実的な断面であっても本検討結果が当てはまることを示した。

2.8 すべり円弧の位置・形状、モーメント分布の比較

2.7節までの結果により、現行の部分係数法により設定されるケーソン式岸壁および混成堤の断面における安全

率は、本検討条件下では、それぞれ1.114~1.313, 0.980~1.271と、幅広い値を有していることがわかった。

この要因については今後詳細に検討すべきであるが、本節では、その検討に際しての一助となるよう、まず従来の安全率法および現行の部分係数法で算定されるすべり円弧形状等の比較計算を実施した。比較した項目は、安全率法および部分係数法を用いた照査における、すべり円弧の位置・形状、円弧に作用する起動・抵抗モーメントの分布である。

(1)対象断面

本節の比較対象として、2.5節に示したケーソン式岸壁の解析結果のうち、部分係数法で決定した断面に対する安全率が小さくなるケースのひとつである、付録Aに示す掘込型マウンドの番号0054, 0066, 1054, 1066, 2066を取り上げる。設置水深-7.5m, マウンド厚3.5m, 基礎地盤は砂質土地盤(せん断抵抗角 $\phi=30^\circ$)のケースであり、初期断面のケーソン幅は8.0mである。

(2)各断面の解析結果

図-2.24に、図-2.1の検討フローで示した5つの断面についての解析結果を示す。(a)~(e)の各図は、以下の結果を示しており、各図には断面形状、すべり円弧形状および起動・抵抗モーメントの分布を表示している。モーメントは、円弧すべりの中心点に関して時計回りを正として定義している。

- (a) 初期断面を安全率法で照査した結果
- (b) 初期断面を部分係数法で照査した結果
- (c) 安全率法で決定した最小断面を、安全率法で照査した結果
- (d) 部分係数法で決定した最小断面を、部分係数法で照査した結果
- (e) 部分係数法で決定した最小断面 ((d)に示す断面)を、安全率法で照査した結果

(3)モーメントの定義

式(1)、(2)に示す修正フェレニウス法の式に従う起動モーメント(分母項)、抵抗モーメント(分子項)は力[単位;kN]であり、これは式変形の過程でモーメントのアーム長の単位[m]が分母項・分子項で約分されたため、厳密には起動力、抵抗力[単位;kN]である。また、図-2.24に占めるモーメントは水平方向単位長あたりの抵抗・起動モーメント[単位;kN/m]であり、これを水平方向に積分し、その比を取ることで安全率、または耐力作用比が

求めた。本検討では式(1)，(2)にならぬ起動力，抵抗力を算出，プロットしているが，便宜上，これを起動力・抵抗モーメント，抵抗モーメントとして扱う（市販ソフトウェア等では，この起動力，抵抗力にそれぞれすべり円半径の値を乗じ，起動力モーメント，抵抗モーメント[単位；kN・m]を算出しているものもある。これは分母項・分子項にそれぞれ同値を乗じているため，算出される最小安全率，最小耐力作用比の値は，起動力，抵抗力の比を取った場合と変わらない）。

(4) 初期断面の位置づけ（断面(a)と断面(b)）

まず，本断面ケースが検討断面全体の中でどのような位置にあるかを示す。図-2.25は，先に示した図-2.9（初期断面における安全率と耐力作用比との関係図）の図中に，本初期断面（断面(a)，断面(b)）の安全率と耐力作用比をプロットしたものである（点線□印）。図中には，旧基準類における円弧すべり照査の許容安全率（1.3），および現行基準の許容耐力作用比（1.0）の位置も点線で明示している。本図より，本検討断面は，安全率，耐力作用比ともに許容値よりやや余裕がある断面である。

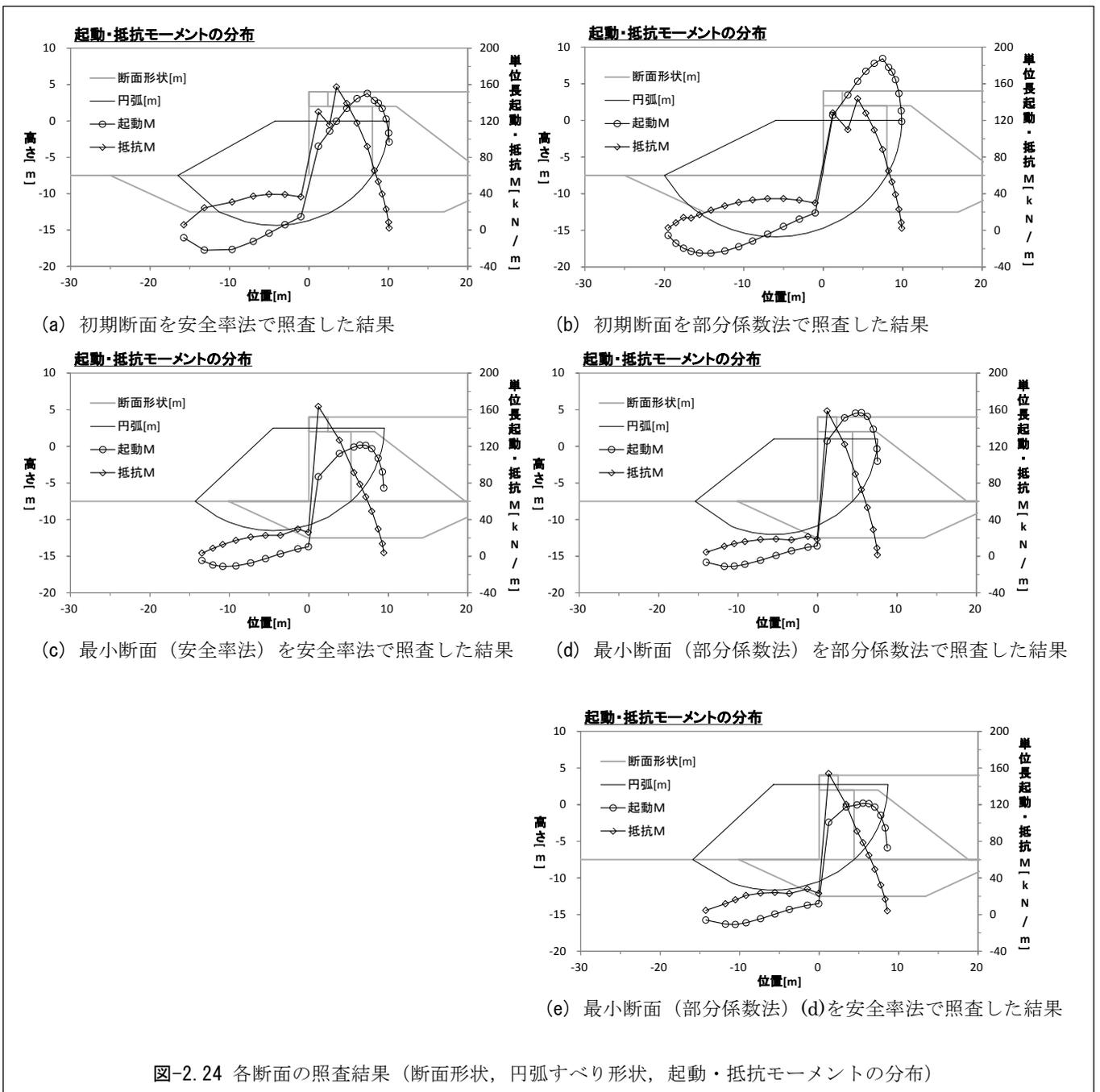


図-2.24 各断面の照査結果（断面形状，円弧すべり形状，起動力・抵抗モーメントの分布）

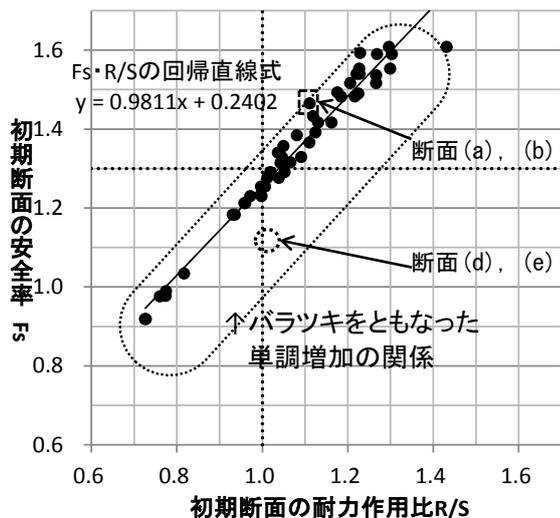


図-2.25 初期断面（ケーソン式岸壁）における安全率と耐力作用比との関係（図-2.9にプロットを追加）

(5) 初期断面の比較（断面(a)と断面(b)）

次に、図-2.24における断面(a)と断面(b)の結果を比較し、安全率法と部分係数法による相違点を説明する。表-2.17には、断面(a)~(e)の安全率、耐力作用比、抵抗・起動モーメント、すべり円弧形状、必要断面諸元の計算結果一覧を示す。

まず特徴的であるのは、安全率法と部分係数法における起動モーメントの大きさが、ケーソンおよびケーソン背後（陸側）の部分で顕著に異なることである。部分係数法の場合における起動モーメントが、安全率法に比較して、大きな値となっている。これは、部分係数法による円弧すべり照査の際、岸壁天端面で考慮している上載荷重（20 kN/m²）と、ケーソン・背後地盤の単位体積重量にそれぞれ部分係数を乗じた結果、陸側のすべり円弧分割片に作用する鉛直力が増加しているためである。表-2.6に示すとおり、これらの部分係数は、上載荷重に対しては1.7、単位体積重量に対して1.1が設定されており、いずれも起動モーメントを増加させる効果をもつ。また海側の地盤については、部分係数（0.9）により単位体積重量を減少させ、起動モーメントを増加させる効果をもつ。

全起動モーメントのうち、ケーソン法線より陸側のケーソン・地盤の重量と上載荷重が発生させるモーメントの占める割合は、表-2.17よりいずれも110%程度、さらにケーソン直下部分（ケーソンの前面と背面に挟まれた区間）では、全体の約89%を占めている。ここで、陸側の起動モーメントの全体に占める割合が100%を超える理由は、ケーソン法線海側の起動モーメントはマイナスの値をとり、全体の起動モーメント合計値を減少させる

効果があるためである。

次に、同図中において抵抗モーメントに着目すると、いずれの断面においても、地盤のせん断強度が支配的であるケーソンの直下部分に位置する抵抗モーメントが特に大きいことがわかる。全抵抗モーメントのうち、ケーソンの直下部分で発生するモーメントの占める割合は、いずれも約65%程度である。

断面(a)と断面(b)の結果より、部分係数法によるすべり円弧の位置は、安全率法と比べ、1.5m程度基礎地盤のより深い位置を通り、かつ3.5m程度ケーソンの海側により張り出ている。

表-2.17 断面(a)~(e)の計算結果の比較

断面	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
安全率 F_s	1.464		1.311		1.228
耐力作用比 R/S		1.111		1.001	
抵抗モーメント	1612	1551	1269	1039	1146
ケーソン直下の割合	63%	62%	60%	60%	53%
陸側の割合	69%	67%	79%	78%	74%
起動モーメント	1101	1396	968	1038	933
ケーソン直下の割合	89%	89%	55%	58%	51%
陸側の割合	114%	112%	105%	104%	103%
中心点x座標 [m]	-4.25	-6.00	-4.50	-5.50	-5.75
〃 y座標 [m]	0.00	0.00	2.50	1.00	2.75
半径 r [m]	14.36	15.88	14.00	13.05	14.43
周長 [m]	37.23	42.08	32.85	31.73	33.92
海側円弧端x[m]	-16.50	-20.00	-14.30	-15.40	-15.90
円弧底面[m]	-14.36	-15.88	-11.50	-12.05	-11.68
マウンド幅 [m]	15.0	15.0	0.1	0.1	0.1
ケーソン幅 [m]	8.0	8.0	5.3	4.4	4.4

(6) 安全率法と部分係数法との比較（断面(c)と断面(d)）

次に、図-2.24において二つの異なる方法（安全率法と部分係数法）で最小断面を決定した、断面(c)と断面(d)について、すべり円弧、モーメント分布の比較を行う。

まず、安全率法の場合、マウンド幅を減少させるのみでは最小安全率1.3となる断面は作成できなかった。このため、ケーソン幅を徐々に減少させていき、最終的にケーソン幅5.3mとなった段階で安全率が1.3となり、断面が確定した。これにともない、円弧すべりの安全率は約1.46から約1.31となっている（断面(a)から断面(c)）。

一方、部分係数法の場合も、マウンド幅を減少させるのみでは最小の耐力作用比1.0となる断面を作成できなかったため、ケーソン幅を徐々に減少させていき、最終的にケーソン幅4.4mで耐力作用比が1.0となり、断面が確定した。断面(c)と断面(d)の結果より、部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ に調整した断面のすべり円弧の位置は、安全率法で安全率 $F_s=1.3$ に調整した断面と比べ、0.6m程度基礎地盤のより深い位置を通り、かつ1.1m程度ケーソン

の海側により張り出ている。

安全率法と部分係数法による両断面（断面(c)と断面(d)）を比較すると、断面(a)と断面(b)の比較に示した内容と同じ傾向を有していると言える。

この結果は、地盤改良の範囲や位置などをすべり円弧の形状を参考として決める場合には、設計法の相違によって円弧形状や位置が変化することを示しており、今後の基準改訂の検討に際して注意が必要なポイントであることを示唆している。

3. 結論

本研究では、旧基準類の安全率法と現行基準の部分係数法を用いた円弧すべり照査について、ケーソン式岸壁およびケーソン式混成堤を対象とした場合の、それぞれの方法で必要とする断面諸元を比較した。また、現行基準および旧基準類の有する安全性の水準を、安全率を指標として比較した。

その結果、本検討の条件下では、部分係数法により設定される断面の安全率は、ケーソン式岸壁の場合は1.11~1.31程度（平均1.23程度）、ケーソン式混成堤の場合は0.98~1.27程度（平均1.15程度）の幅広い値を有していることがわかった。

一方、修正フェレニウス法を用いた円弧すべり照査の最小安全率（現行基準では解析手法に関する部分係数 γ_a ）は、既往のすべり破壊事例等の経験⁹⁾などから、一般的な下限値として1.3が用いられ、また現行基準においては、計測施工等を実施する場合等には1.1以上1.3未満の値が設定された¹⁾。これは、現行基準の部分係数を用いて最小となる断面諸元を決定した場合、従来の安全率法の適用実績に照らすと危険な断面を許容する可能性を意味する。

謝辞

本稿をとりまとめるにあたり、円弧すべり照査の有する安全性、解析手法について、岐阜大学の本城勇介名誉教授、新潟大学の太竹雄准教授、広島大学の土田孝教授、小林正樹氏（元港湾技術研究所所長）、広瀬宗一氏（元国土技術政策総合研究所 副所長）より、懇切丁寧なご指導および適切なご助言、様々な参考情報を頂きました。また、港湾施設研究室の交流研究員である松原弘晃氏、佐藤健彦氏、西岡悟史氏、村上和康氏、高野向後氏、および小泉哲也港湾研究部長、松本英雄港湾情報システム研究官、福永勇介主任研究官には、本稿の執筆方針および検討内容に対して貴重な意見を頂きました。

ここに記して、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2007。
- 2) 尾崎竜三，長尾毅：防波堤を対象とした円弧すべりに関する信頼性設計法の適用，海洋開発論文集第21号，pp.963-968，2005。
- 3) 尾崎竜三，長尾毅，柴崎隆一：経済損失を考慮した期待総費用最小化に基づく港湾構造物の常時のレベル1信頼性設計法，国土技術政策総合研究所資料，No.217，2005。
- 4) 竹信正寛，西岡悟史，佐藤健彦，宮田正史：荷重抵抗係数アプローチによるレベル1信頼性設計法に関する基礎的研究～永続状態におけるケーソン式岸壁の滑動および転倒照査を対象に～，国土技術政策総合研究所資料，No.880，2015。
- 5) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，1999。
- 6) (財)沿岸技術研究センター：港湾構造物設計事例集（平成19年改訂版），2007。
- 7) 長尾義三：港湾工学，1968。
- 8) 堀川洋，神田勝己，堀家正：ケーソン式混成防波堤構造諸元の統計的分析，港湾技術研究所資料，No.644，1989。
- 9) Akio Nakase：THE $\phi_u=0$ ANALYSIS OF STABILITY AND UNCONFINED COMPRESSION STRENGTH, SOILS AND FOUNDATIONS, The Japanese Geotechnical Society, pp.33-50, 1967。

付録 A 計算結果 (ケーソン式岸壁)

	マウント厚 前面水深	地盤 種別	地盤 強度	初期断面		Fs=1.3断面			R/S=1.0断面			
				Fs	R/S	Fs	マウント長 [m]	ケーソン幅 [m]	R/S	マウント長 [m]	ケーソン幅 [m]	Fs
積上型 マウンド	1.5m & -7.5m	砂質土	φ30	1.230	0.998	1.301	23.0	9.4	1.001	15.2	8.0	1.230
			φ35	1.416	1.162	1.317	6.9	8.0	1.007	0.0	7.6	1.229
		粘性土	c50	1.183	0.936	1.314	23.0	4.1	1.004	23.0	5.4	1.237
			c75	1.539	1.228	1.314	0.0	1.2	1.016	0.0	2.7	1.144
	1.5m & -16m	砂質土	φ30	1.276	1.039	1.314	29.8	14.0	1.001	17.9	14.0	1.248
			φ35	1.482	1.217	1.305	0.0	12.4	1.004	0.0	10.5	1.225
		粘性土	c50	0.918	0.728	1.308	58.9	3.2	1.001	58.9	4.5	1.211
			c75	1.212	0.960	1.303	58.9	7.6	1.000	58.9	10.6	1.241
	3.5m & -7.5m	砂質土	φ30	1.316	1.066	1.303	14.5	8.0	1.001	11.5	8.0	1.230
			φ35	1.489	1.225	1.330	9.0	8.0	1.052	6.4	8.0	1.270
		粘性土	c50	1.291	1.052	1.342	16.9	8.0	1.001	11.8	8.0	1.271
			c75	1.590	1.304	1.308	0.0	6.9	1.007	0.0	5.3	1.122
	3.5m & -16m	砂質土	φ30	1.329	1.091	1.301	21.6	14.0	1.018	17.9	14.0	1.259
			φ35	1.516	1.267	1.330	7.0	14.0	1.016	0.0	12.8	1.231
		粘性土	c50	0.976	0.760	1.301	26.0	14.0	1.009	67.9	7.1	1.231
			c75	1.254	1.007	1.317	27.8	14.0	1.000	21.3	14.0	1.254
	5.0m & -7.5m	砂質土	φ30	1.365	1.110	1.302	12.8	8.0	1.002	10.0	8.0	1.224
			φ35	1.535	1.266	1.302	7.7	8.0	1.001	3.6	8.0	1.194
		粘性土	c50	1.357	1.049	1.316	11.7	8.0	1.005	11.8	8.0	1.313
			c75	1.608	1.432	1.302	1.5	8.0	1.002	0.0	6.3	1.116
	5.0m & -16m	砂質土	φ30	1.392	1.125	1.300	19.9	14.0	1.033	17.9	14.0	1.272
			φ35	1.553	1.300	1.308	7.7	14.0	1.005	0.0	13.5	1.210
		粘性土	c50	0.989	0.774	1.313	26.0	14.0	1.003	69.9	9.1	1.231
			c75	1.314	1.054	1.300	22.3	14.0	1.031	20.4	14.0	1.279

	マウント厚 前面水深	地盤 種別	地盤 強度	初期断面		Fs=1.3断面			R/S=1.0断面			
				Fs	R/S	Fs	マウント長 [m]	ケーソン幅 [m]	R/S	マウント長 [m]	ケーソン幅 [m]	Fs
掘込型 マウンド	1.5m & -7.5m	砂質土	φ30	1.230	1.048	1.301	23.0	9.4	1.000	2.3	8.0	1.228
			φ35	1.416	1.220	1.304	0.1	6.3	1.005	0.0	5.0	1.216
		粘性土	c50	1.183	0.984	1.314	23.0	4.1	1.002	23.0	6.9	1.195
			c75	1.539	1.291	1.496	19.0	5.9	1.291	15.0	8.0	1.539
	1.5m & -16m	砂質土	φ30	1.276	1.062	1.303	58.9	14.8	1.002	0.1	12.9	1.239
			φ35	1.482	1.245	1.304	0.0	9.8	1.006	0.1	7.6	1.213
		粘性土	c50	0.918	0.753	1.308	58.9	3.2	1.000	58.9	5.0	1.180
			c75	1.212	0.994	1.302	58.9	7.6	1.000	58.9	13.2	1.216
	3.5m & -7.5m	砂質土	φ30	1.340	1.185	1.303	0.1	7.4	1.012	0.1	5.8	1.150
			φ35	1.492	1.341	1.302	0.0	4.9	1.010	0.0	3.5	1.177
		粘性土	c50	1.291	1.091	1.300	26.0	7.8	1.030	20.5	10.0	1.231
			c75	1.590	1.361	1.460	20.5	6.3	1.068	0.1	2.6	1.174
	3.5m & -16m	砂質土	φ30	1.329	1.142	1.301	0.1	13.2	1.001	0.0	10.7	1.235
			φ35	1.516	1.316	1.301	0.1	8.5	1.004	0.1	5.4	1.191
		粘性土	c50	0.977	0.807	1.301	67.9	6.1	1.002	67.9	7.8	1.190
			c75	1.254	1.040	1.301	67.9	11.6	0.953	51.9	2.3	1.048
	5.0m & -7.5m	砂質土	φ30	1.464	1.322	1.311	0.1	5.3	1.001	0.1	3.3	1.150
			φ35	1.593	1.456	1.306	0.1	4.8	1.002	0.1	2.8	1.124
		粘性土	c50	1.433	1.216	1.307	0.0	4.4	1.019	0.1	2.6	1.114
			c75	1.608	1.481	1.307	0.0	4.4	1.019	0.1	2.6	1.114
	5.0m & -16m	砂質土	φ30	1.384	1.211	1.301	0.0	10.6	1.002	0.1	5.9	1.186
			φ35	1.553	1.374	1.311	0.1	7.5	1.000	0.1	4.9	1.169
		粘性土	c50	1.034	0.859	1.313	69.9	7.8	1.001	69.9	9.8	1.193
			c75	1.314	1.096	1.314	26.0	14.0	1.000	0.1	26.5	1.270

※ハッチしたケースは、目標のFs・R/Sに調整できなかったケースであり、結果の集計、検討、グラフのプロットからは除外した。

ケース番号表

	マウント厚 前面水深	地盤 種別	地盤 強度	初期断面		Fs=1.3	R/S=1.0	
				Fs	R/S	Fs	R/S	Fs
積上型 マウンド	1.5m & -7.5m	砂質土	φ 30	4	16	1004	1016	2016
			φ 35	1	13	1001	1013	2013
		粘性土	c50	7	19	1007	1019	2019
			c75	10	22	1010	1022	2022
	1.5m & -16m	砂質土	φ 30	28	40	1028	1040	2040
			φ 35	25	37	1025	1037	2037
		粘性土	c50	31	43	1031	1043	2043
			c75	34	46	1034	1046	2046
	3.5m & -7.5m	砂質土	φ 30	5	17	1005	1017	2017
			φ 35	2	14	1002	1014	2014
		粘性土	c50	8	20	1008	1020	2020
			c75	11	23	1011	1023	2023
	3.5m & -16m	砂質土	φ 30	29	41	1029	1041	2041
			φ 35	26	38	1026	1038	2038
		粘性土	c50	32	44	1032	1044	2044
			c75	35	47	1035	1047	2047
	5.0m & -7.5m	砂質土	φ 30	6	18	1006	1018	2018
			φ 35	3	15	1003	1015	2015
		粘性土	c50	9	21	1009	1021	2021
			c75	12	24	1012	1024	2024
	5.0m & -16m	砂質土	φ 30	30	42	1030	1042	2042
			φ 35	27	39	1027	1039	2039
		粘性土	c50	33	45	1033	1045	2045
			c75	36	48	1036	1048	2048
	マウント厚 前面水深	地盤 種別	地盤 強度	初期断面		Fs=1.3	R/S=1.0	
				Fs	R/S	Fs	R/S	Fs
掘込型 マウンド	1.5m & -7.5m	砂質土	φ 30	52	64	1052	1064	2064
			φ 35	49	61	1049	1061	2061
		粘性土	c50	55	67	1055	1067	2067
			c75	58	70	1058	1070	2070
	1.5m & -16m	砂質土	φ 30	76	88	1076	1088	2088
			φ 35	73	85	1073	1085	2085
		粘性土	c50	79	91	1079	1091	2091
			c75	82	94	1082	1094	2094
	3.5m & -7.5m	砂質土	φ 30	53	65	1053	1065	2065
			φ 35	50	62	1050	1062	2062
		粘性土	c50	56	68	1056	1068	2068
			c75	59	71	1059	1071	2071
	3.5m & -16m	砂質土	φ 30	77	89	1077	1089	2089
			φ 35	74	86	1074	1086	2086
		粘性土	c50	80	92	1080	1092	2092
			c75	83	95	1083	1095	2095
	5.0m & -7.5m	砂質土	φ 30	54	66	1054	1066	2066
			φ 35	51	63	1051	1063	2063
		粘性土	c50	57	69	1057	1069	2069
			c75	60	72	1060	1072	2072
	5.0m & -16m	砂質土	φ 30	78	90	1078	1090	2090
			φ 35	75	87	1075	1087	2087
		粘性土	c50	81	93	1081	1093	2093
			c75	84	96	1084	1096	2096

フィルタリングした計算結果一覧

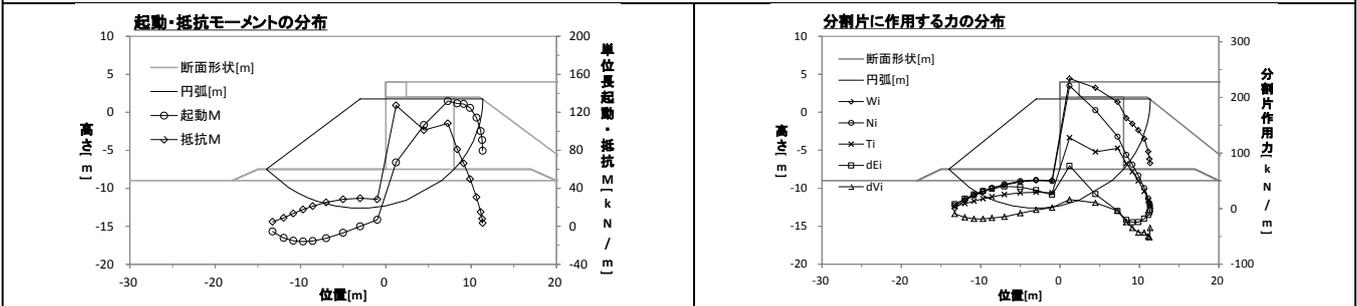
	マウント厚 前面水深	地盤 種別	地盤 強度	初期断面		Fs=1.3断面			R/S=1.0断面				
				Fs	R/S	Fs	マウント長 [m]	ケーソン幅 [m]	R/S	マウント長 [m]	ケーソン幅 [m]	Fs	B/H
積上型 マウンド	1.5m & -7.5m	砂質土	φ30	1.230	0.998	1.301	23.0	9.4	1.001	15.2	8.0	1.230	0.84
			φ35	1.416	1.162	1.317	6.9	8.0	1.007	0.0	7.6	1.229	0.80
		粘性土	c50	1.183	0.936	1.314	23.0	4.1	1.004	23.0	5.4	1.237	0.57
			c75	1.539	1.228	1.314	0.0	1.2	1.016	0.0	2.7	1.144	0.28
	1.5m & -16m	砂質土	φ30	1.276	1.039	1.314	29.8	14.0	1.001	17.9	14.0	1.248	0.78
			φ35	1.482	1.217	1.305	0.0	12.4	1.004	0.0	10.5	1.225	0.58
		粘性土	c50	0.918	0.728	1.308	58.9	3.2	1.001	58.9	4.5	1.211	0.25
			c75	1.212	0.960	1.303	58.9	7.6	1.000	58.9	10.6	1.241	0.59
	3.5m & -7.5m	砂質土	φ30	1.316	1.066	1.303	14.5	8.0	1.001	11.5	8.0	1.230	0.84
			φ35	1.489	1.225	1.330	9.0	8.0	1.052	6.4	8.0	1.270	0.84
		粘性土	c50	1.291	1.052	1.342	16.9	8.0	1.001	11.8	8.0	1.271	0.84
			c75	1.590	1.304	1.308	0.0	6.9	1.007	0.0	5.3	1.122	0.56
	3.5m & -16m	砂質土	φ30	1.329	1.091	1.301	21.6	14.0	1.018	17.9	14.0	1.259	0.78
			φ35	1.516	1.267	1.330	7.0	14.0	1.016	0.0	12.8	1.231	0.71
		粘性土	c50	0.976	0.760	1.301	26.0	14.0	1.009	67.9	7.1	1.231	0.39
			c75	1.254	1.007	1.317	27.8	14.0	1.000	21.3	14.0	1.254	0.78
	5.0m & -7.5m	砂質土	φ30	1.365	1.110	1.302	12.8	8.0	1.002	10.0	8.0	1.224	0.84
			φ35	1.535	1.266	1.302	7.7	8.0	1.001	3.6	8.0	1.194	0.84
		粘性土	c50	1.357	1.049	1.316	11.7	8.0	1.005	11.8	8.0	1.313	0.84
			c75	1.608	1.432	1.302	1.5	8.0	1.002	0.0	6.3	1.116	0.66
	5.0m & -16m	砂質土	φ30	1.392	1.125	1.300	19.9	14.0	1.033	17.9	14.0	1.272	0.78
			φ35	1.553	1.300	1.308	7.7	14.0	1.005	0.0	13.5	1.210	0.75
		粘性土	c50	0.989	0.774	1.313	26.0	14.0	1.003	69.9	9.1	1.231	0.51
			c75	1.314	1.054	1.300	22.3	14.0	1.031	20.4	14.0	1.279	0.78

	マウント厚 前面水深	地盤 種別	地盤 強度	初期断面		Fs=1.3断面			R/S=1.0断面				
				Fs	R/S	Fs	マウント長 [m]	ケーソン幅 [m]	R/S	マウント長 [m]	ケーソン幅 [m]	Fs	B/H
掘込型 マウンド	1.5m & -7.5m	砂質土	φ30	1.230	1.048	1.301	23.0	9.4	1.000	2.3	8.0	1.228	0.84
			φ35	1.416	1.220	1.304	0.1	6.3	1.005	0.0	5.0	1.216	0.53
		粘性土	c50	1.183	0.984	1.314	23.0	4.1	1.002	23.0	6.9	1.195	0.73
			c75	1.539	1.291	1.496	19.0	5.9	1.291	15.0	8.0	1.539	
	1.5m & -16m	砂質土	φ30	1.276	1.062	1.303	58.9	14.8	1.002	0.1	12.9	1.239	0.72
			φ35	1.482	1.245	1.304	0.0	9.8	1.006	0.1	7.6	1.213	0.42
		粘性土	c50	0.918	0.753	1.308	58.9	3.2	1.000	58.9	5.0	1.180	0.28
			c75	1.212	0.994	1.302	58.9	7.6	1.000	58.9	13.2	1.216	0.73
	3.5m & -7.5m	砂質土	φ30	1.340	1.185	1.303	0.1	7.4	1.012	0.1	5.8	1.150	0.61
			φ35	1.492	1.341	1.302	0.0	4.9	1.010	0.0	3.5	1.177	0.37
		粘性土	c50	1.291	1.091	1.300	26.0	7.8	1.030	20.5	10.0	1.231	1.05
			c75	1.590	1.361	1.460	20.5	6.3	1.068	0.1	2.6	1.174	0.27
	3.5m & -16m	砂質土	φ30	1.329	1.142	1.301	0.1	13.2	1.001	0.0	10.7	1.235	0.59
			φ35	1.516	1.316	1.301	0.1	8.5	1.004	0.1	5.4	1.191	0.30
		粘性土	c50	0.977	0.807	1.301	67.9	6.1	1.002	67.9	7.8	1.190	0.43
			c75	1.254	1.040	1.301	67.9	11.6	0.953	51.9	2.3	1.048	
	5.0m & -7.5m	砂質土	φ30	1.464	1.322	1.311	0.1	5.3	1.001	0.1	3.3	1.150	0.35
			φ35	1.593	1.456	1.306	0.1	4.8	1.002	0.1	2.8	1.124	0.29
		粘性土	c50	1.433	1.216	1.307	0.0	4.4	1.019	0.1	2.6	1.114	0.27
			c75	1.608	1.481	1.307	0.0	4.4	1.019	0.1	2.6	1.114	0.27
	5.0m & -16m	砂質土	φ30	1.384	1.211	1.301	0.0	10.6	1.002	0.1	5.9	1.186	0.33
			φ35	1.553	1.374	1.311	0.1	7.5	1.000	0.1	4.9	1.169	0.27
		粘性土	c50	1.034	0.859	1.313	69.9	7.8	1.001	69.9	9.8	1.193	0.54
			c75	1.314	1.096	1.314	26.0	14.0	1.000	0.1	26.5	1.270	1.47

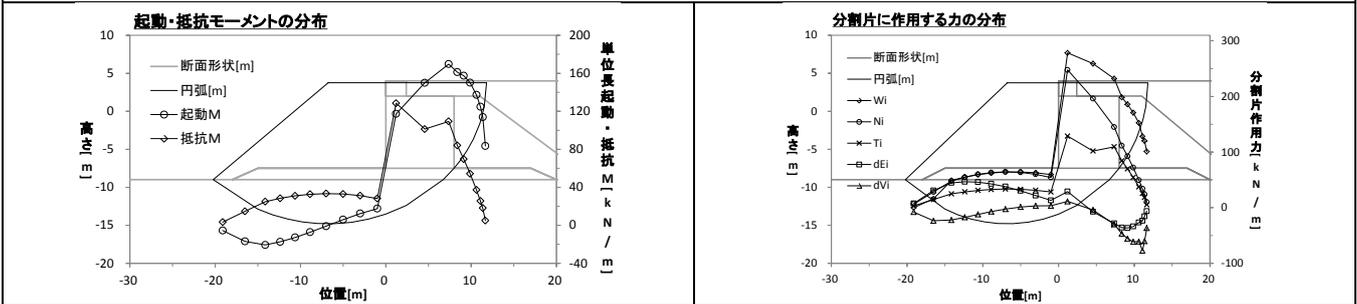
※ハッチングは目標のFs・R/Sに調整できなかったケース、斜線はフィルタリングにより除外したケースである。これらは結果の集計、検討、グラフのプロットからは除外した。

ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

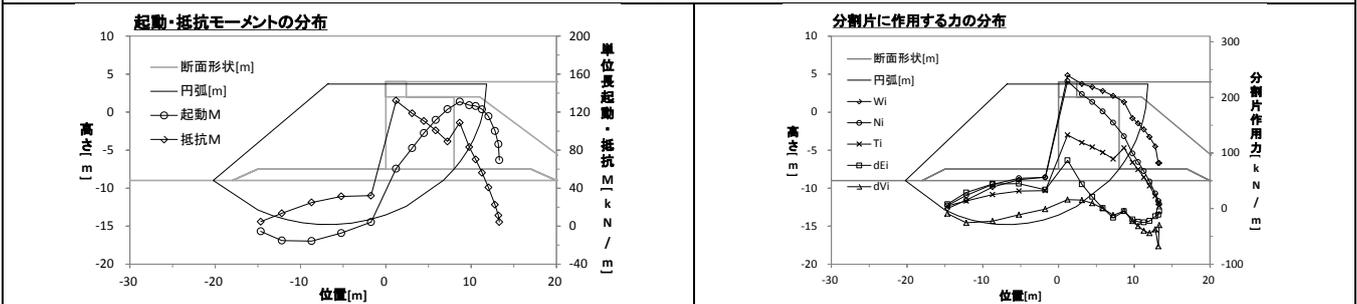
番号：0004 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



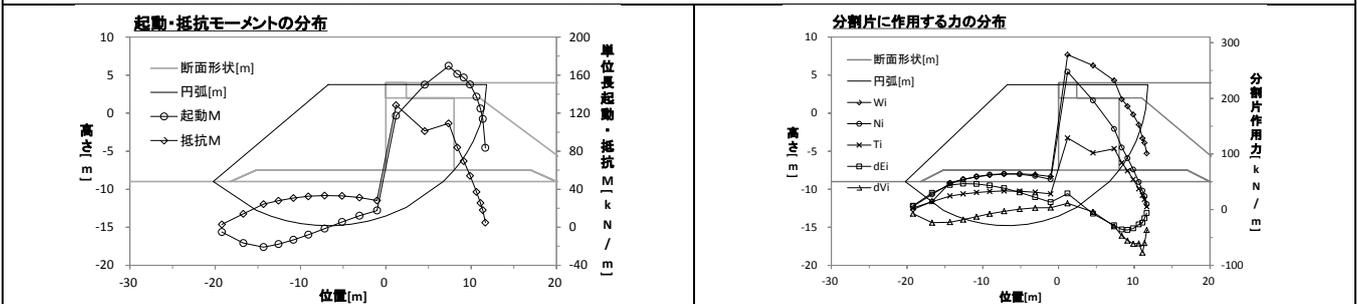
番号：0016 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



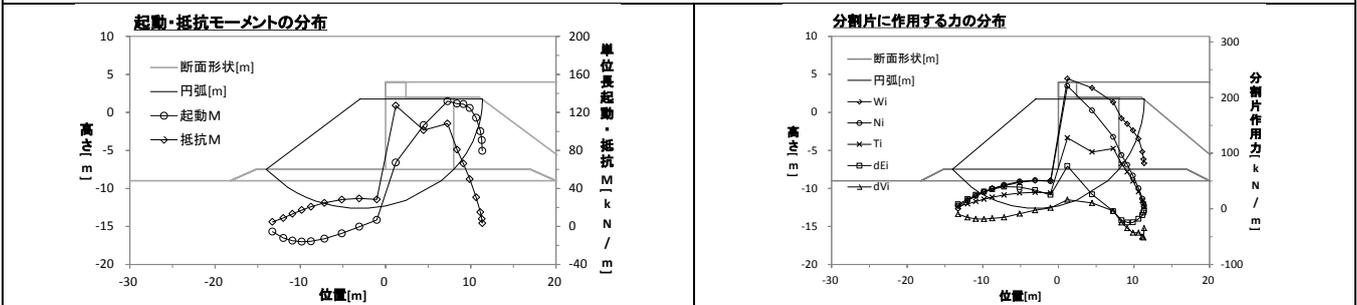
番号：1004 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1016 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

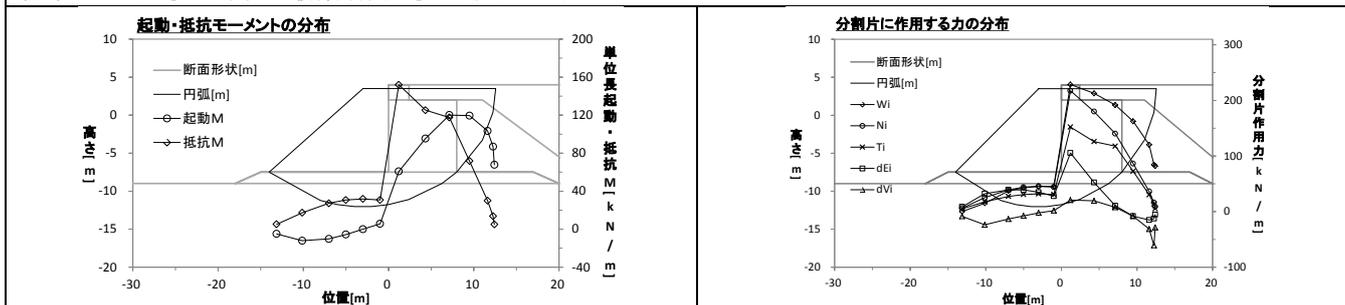


番号：2016 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

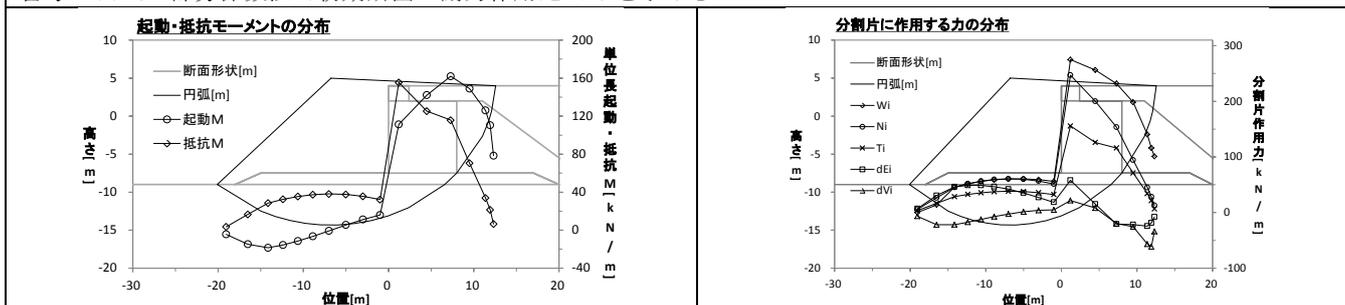


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

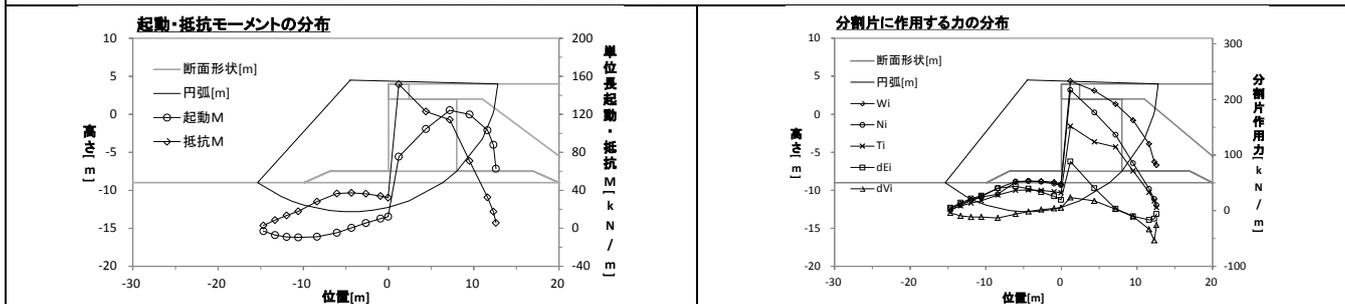
番号：0001 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



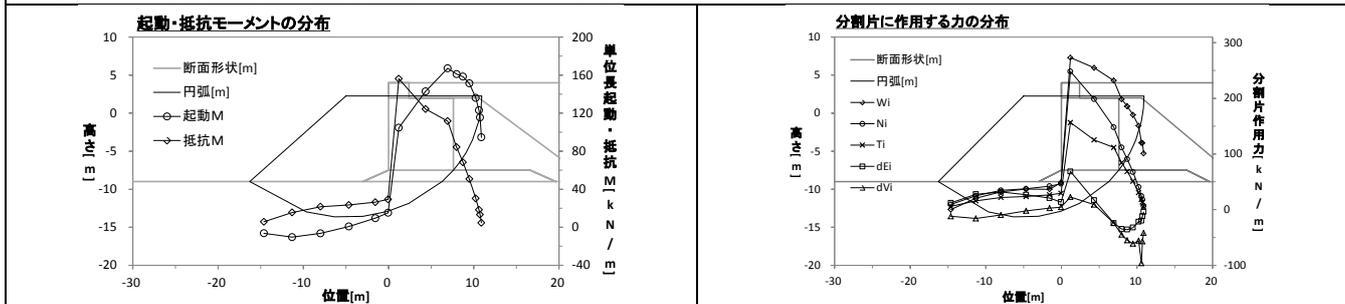
番号：0013 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



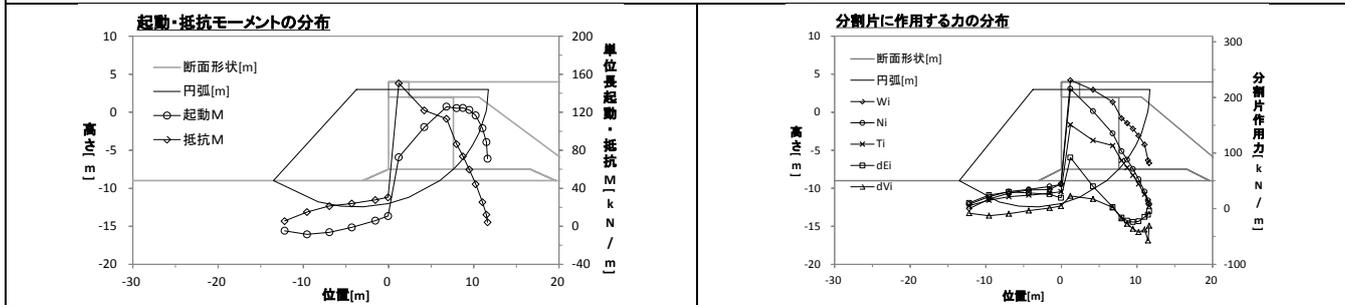
番号：1001 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1013 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

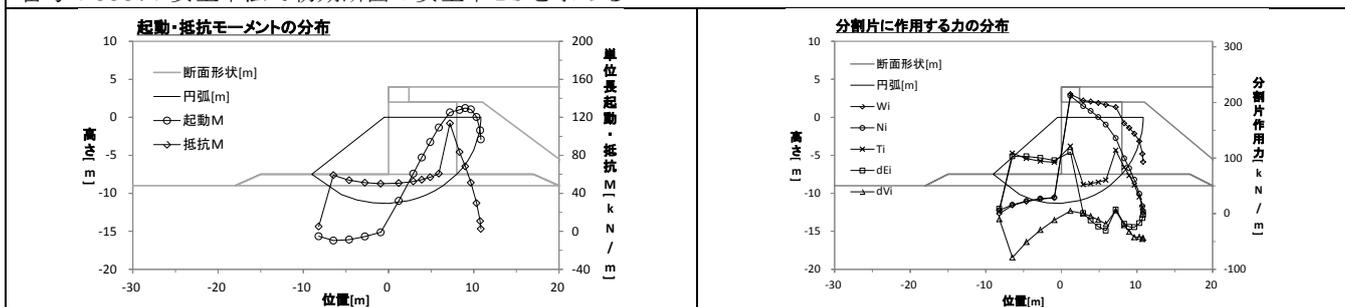


番号：2013 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

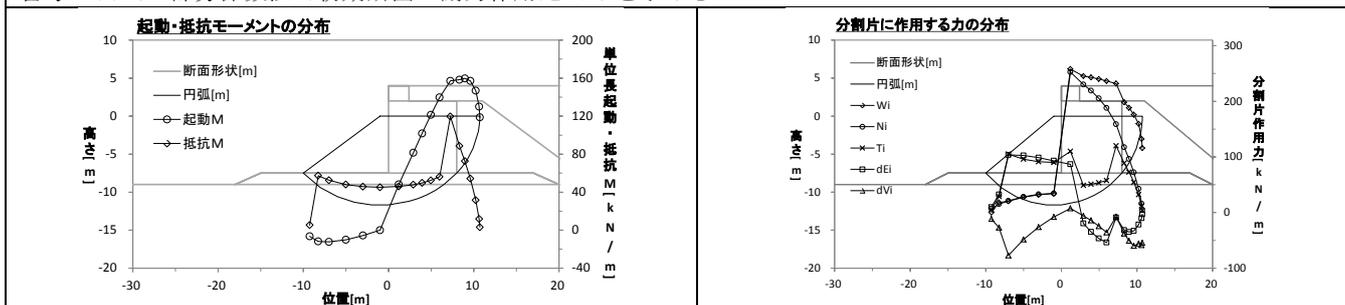


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

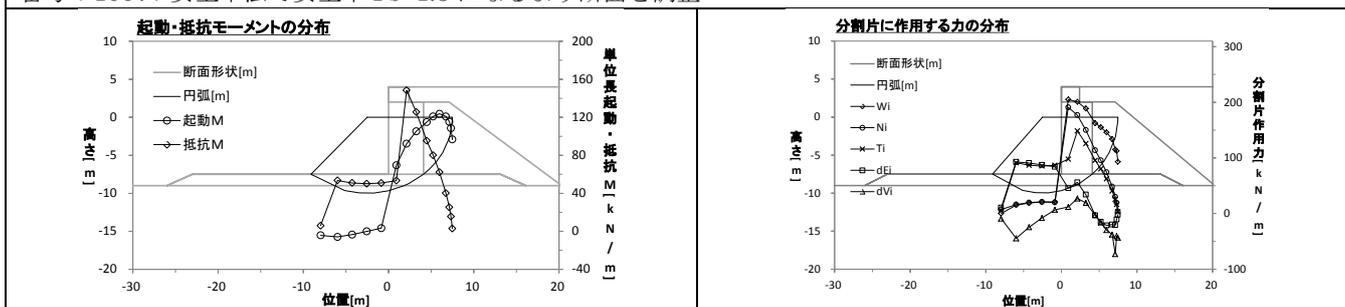
番号：0007 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



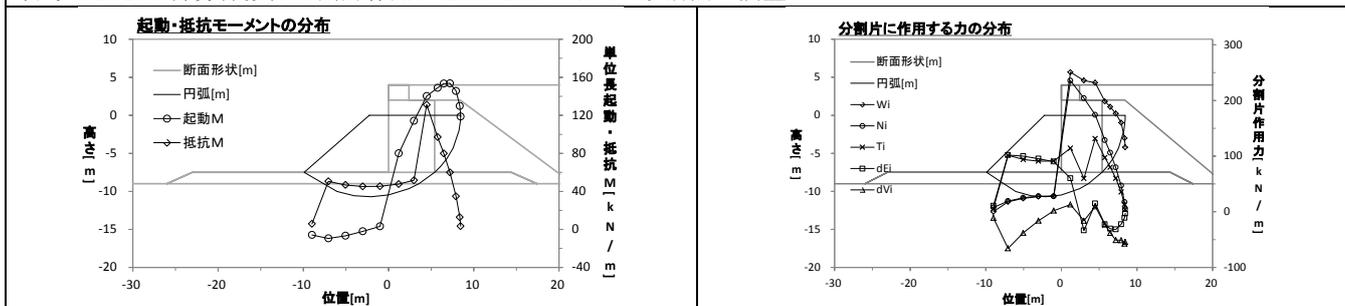
番号：0019 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



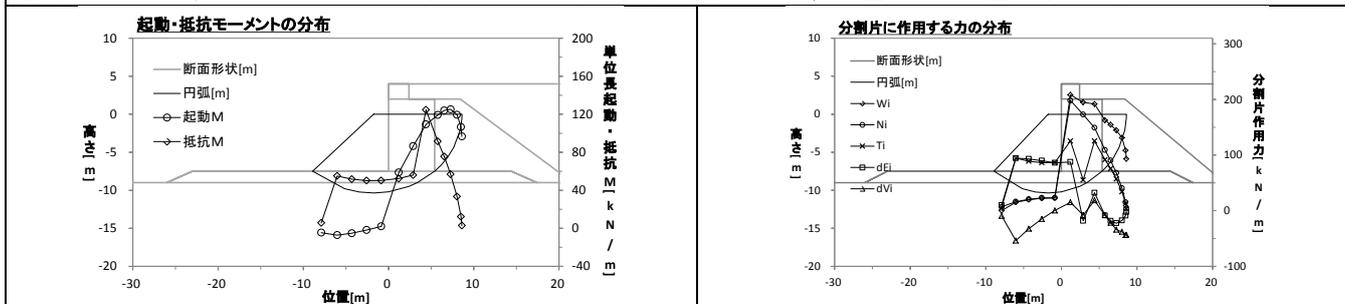
番号：1007 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1019 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

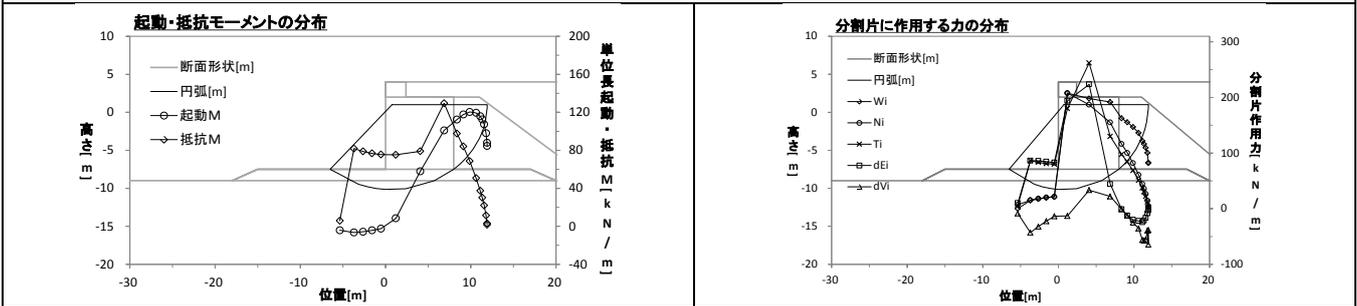


番号：2019 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

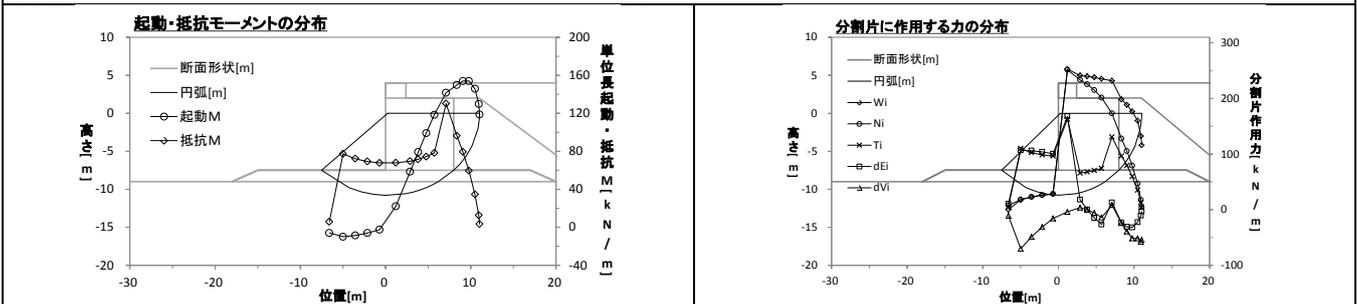


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

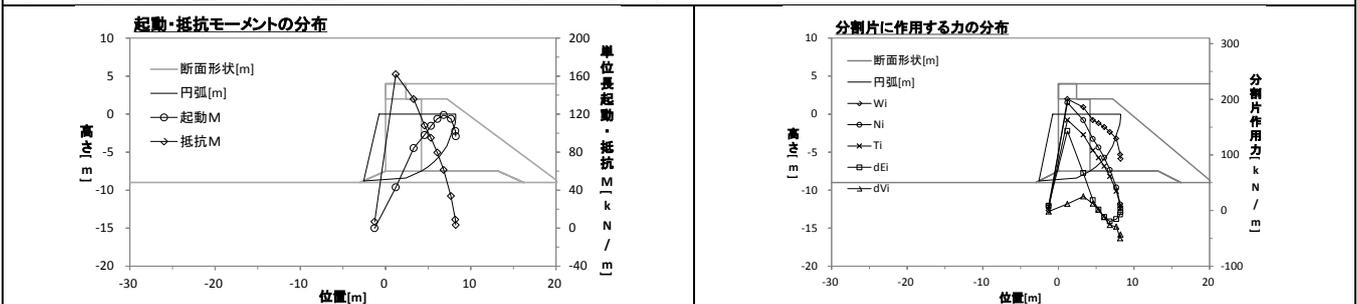
番号：0010 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



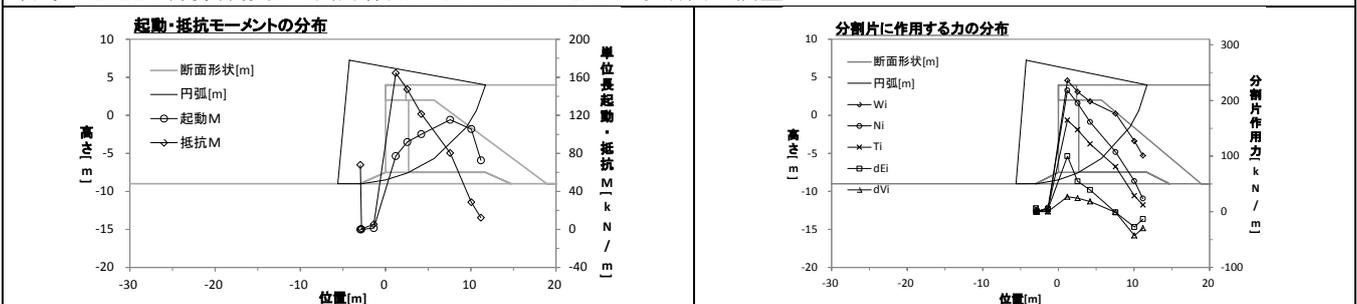
番号：0022 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



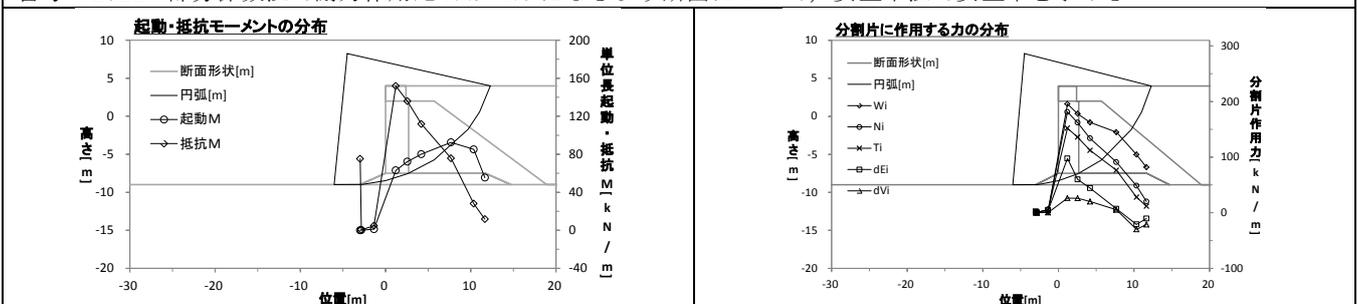
番号：1010 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1022 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

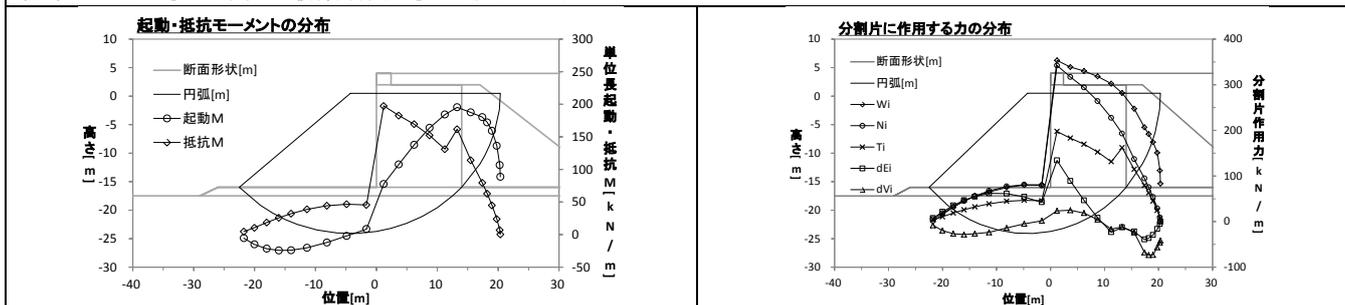


番号：2022 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

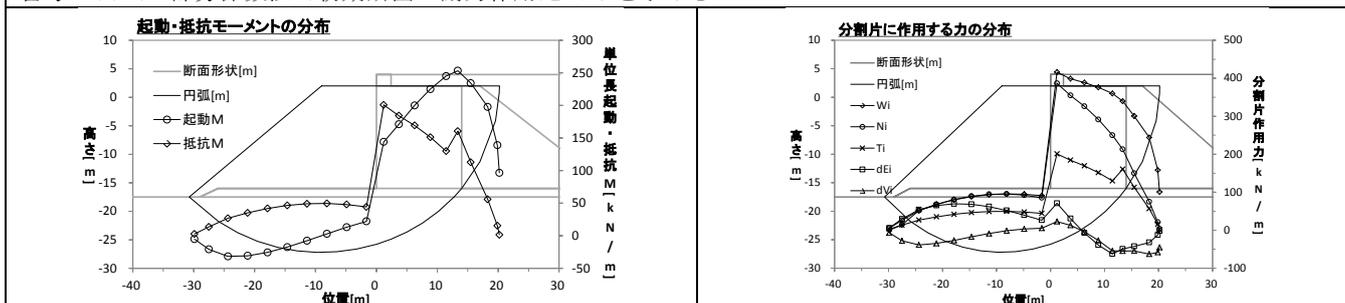


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

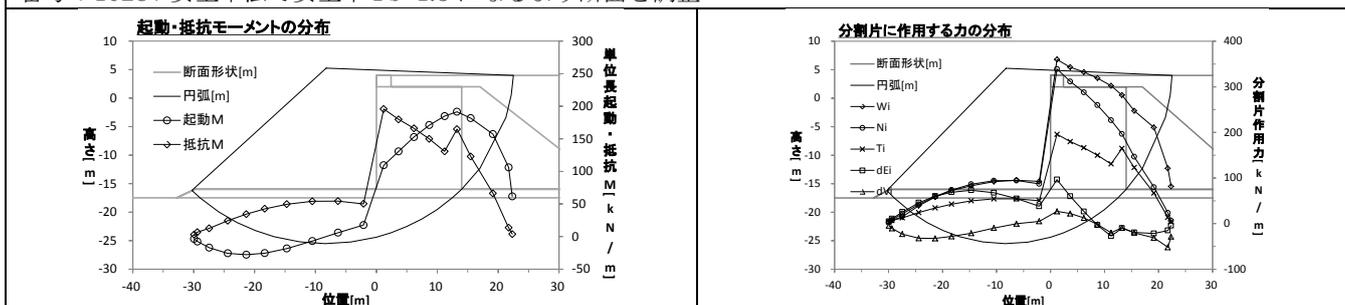
番号：0028 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



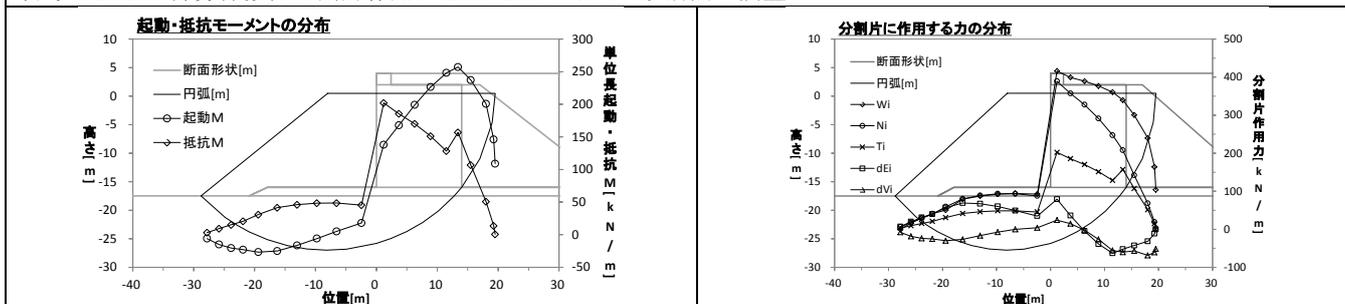
番号：0040 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



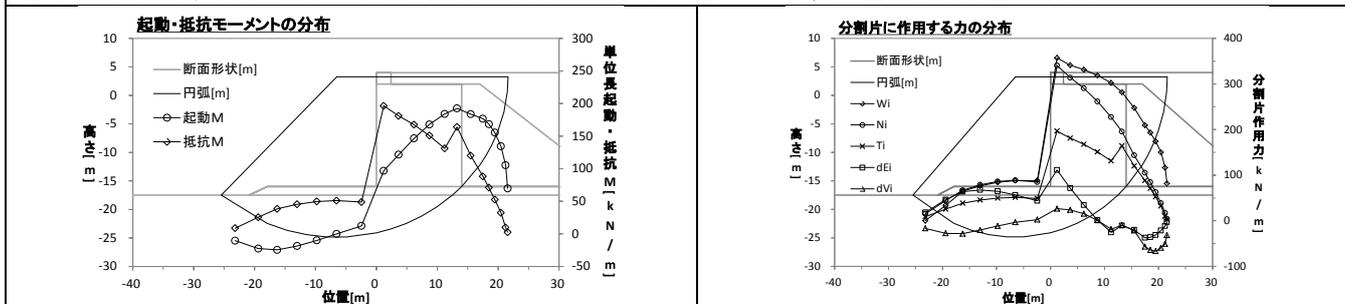
番号：1028 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1040 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

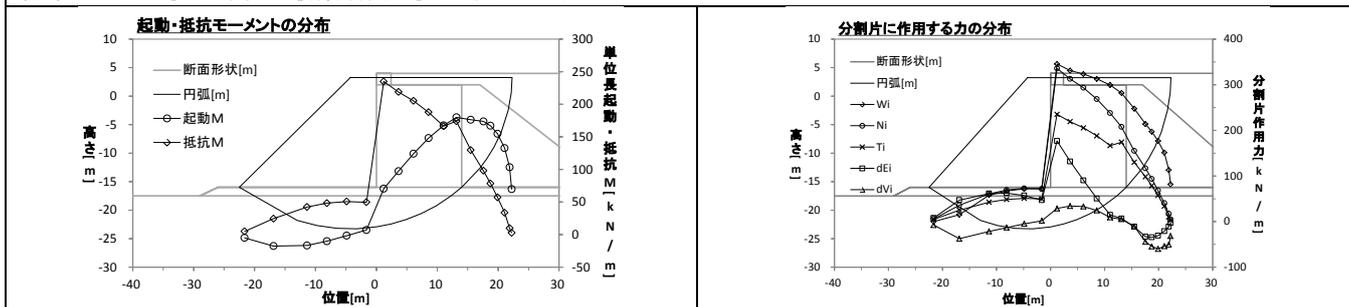


番号：2040 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

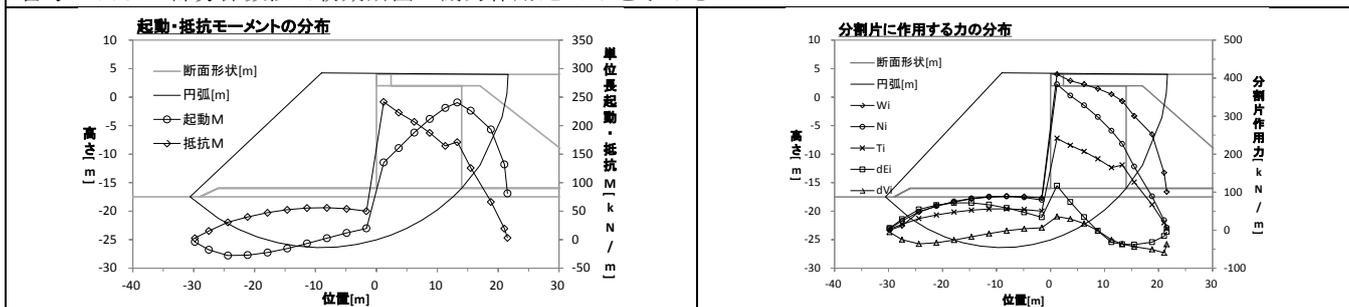


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

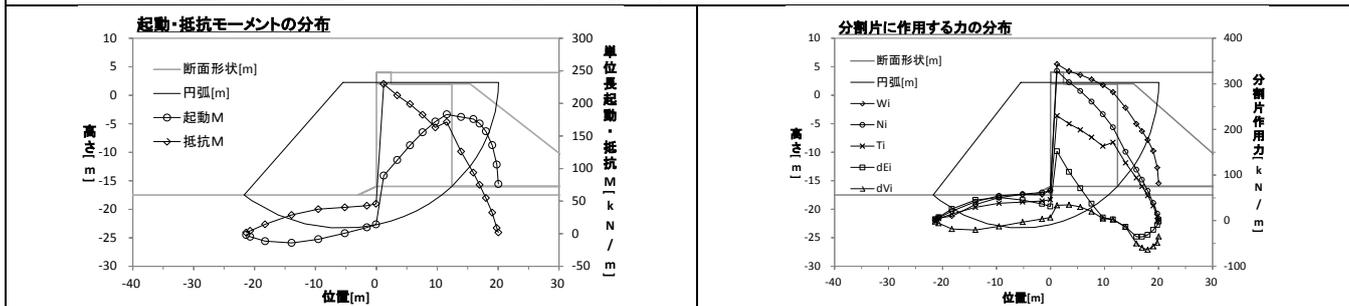
番号：0025 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



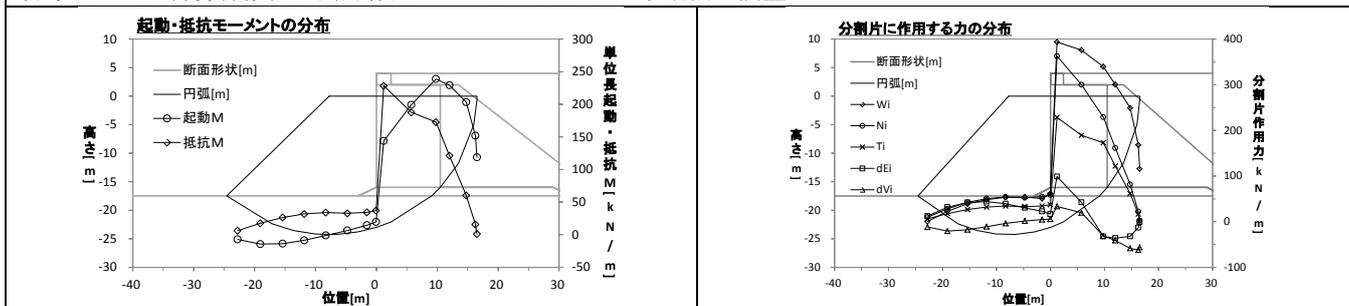
番号：0037 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



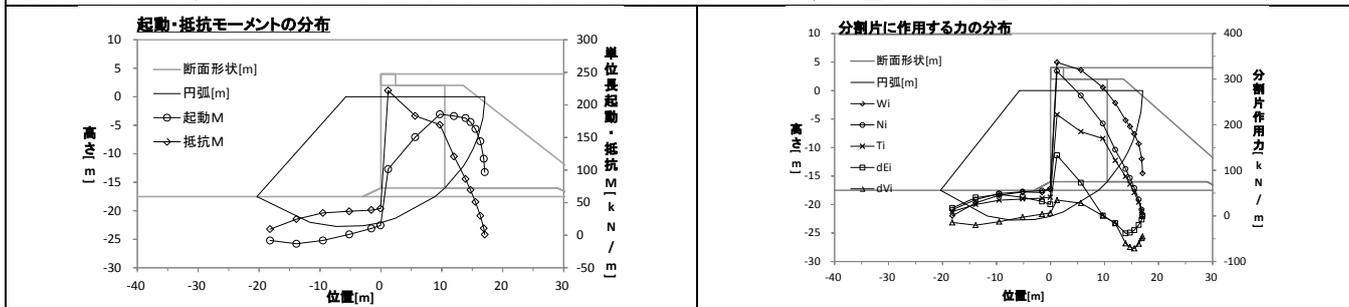
番号：1025 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1037 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

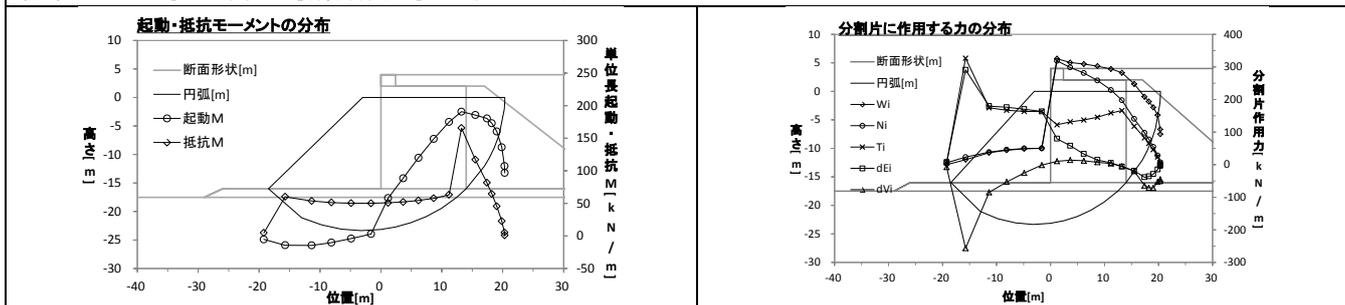


番号：2037 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

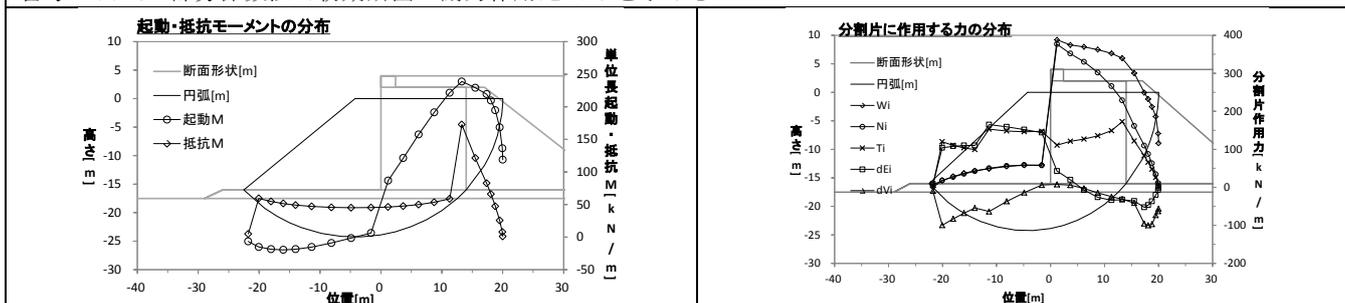


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

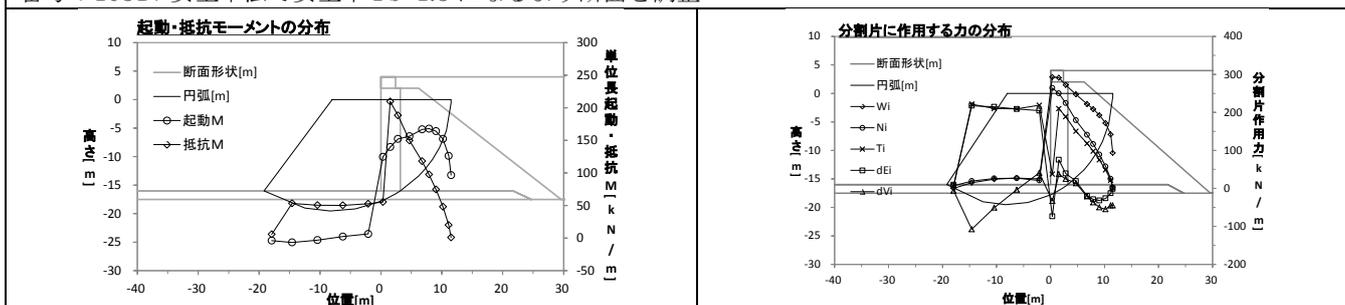
番号：0031 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



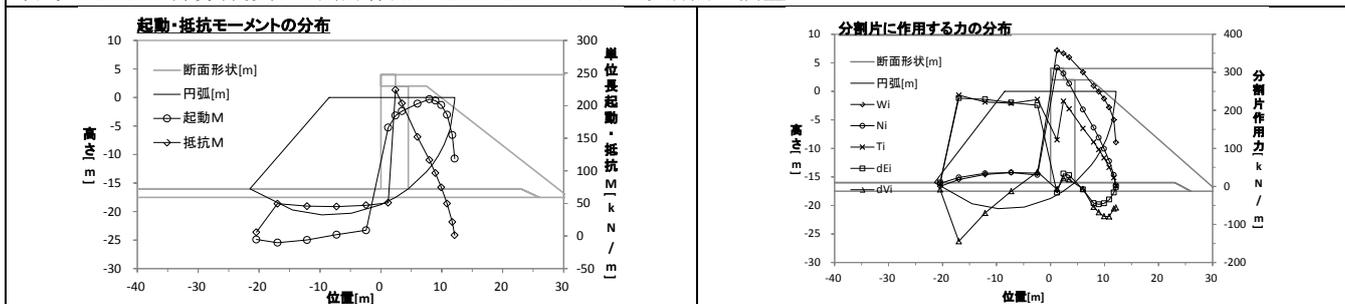
番号：0043 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



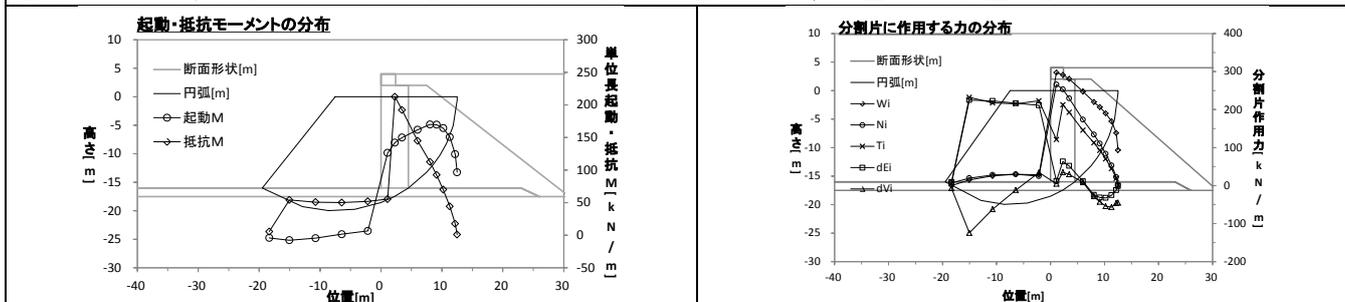
番号：1031 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1043 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

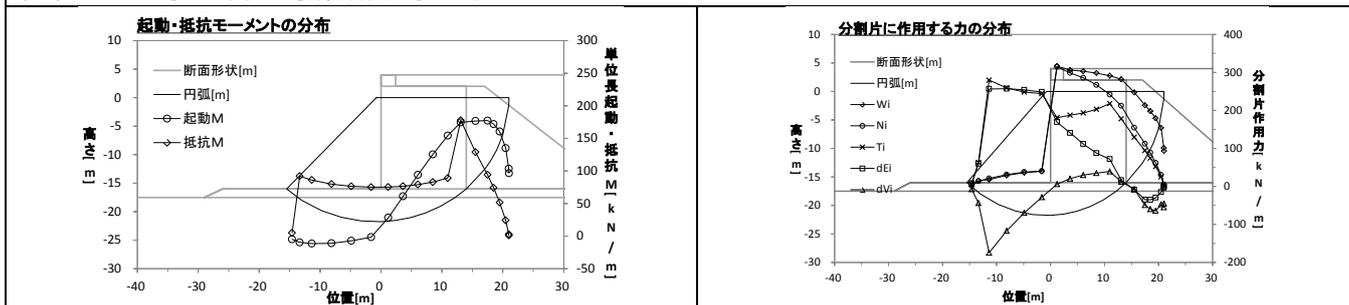


番号：2043 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

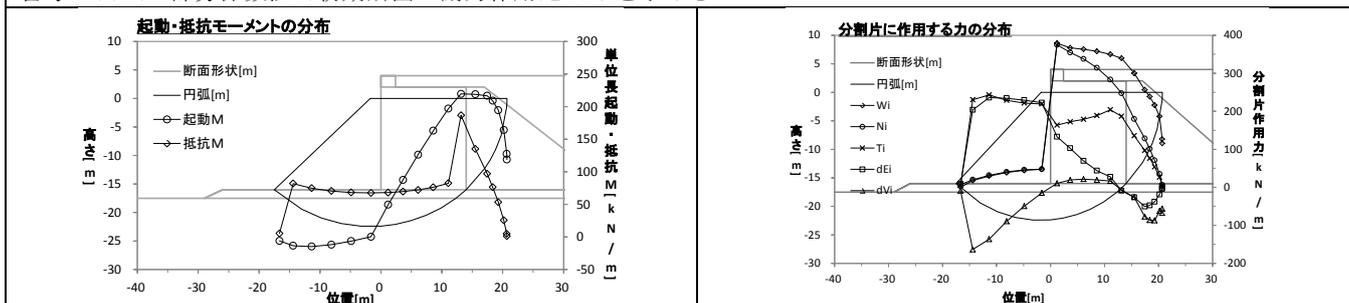


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

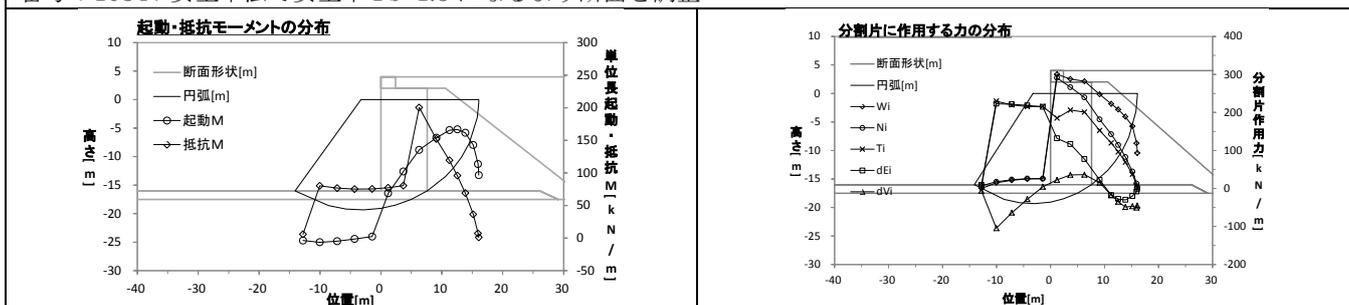
番号：0034 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



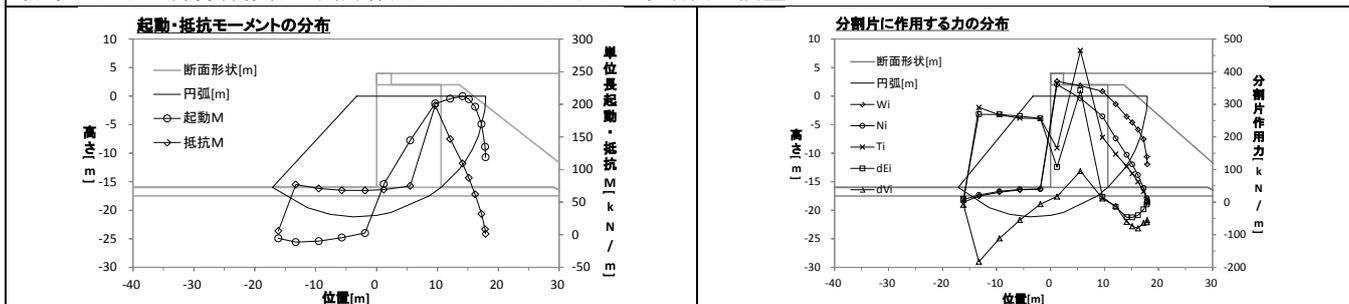
番号：0046 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



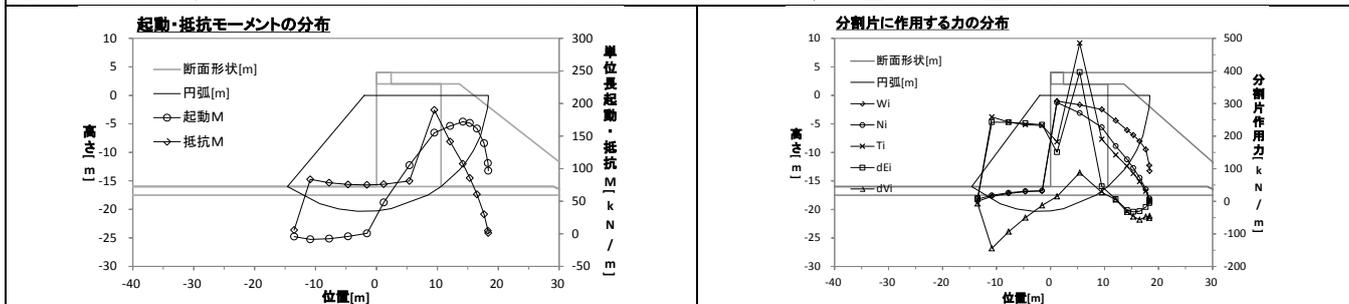
番号：1034 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1046 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

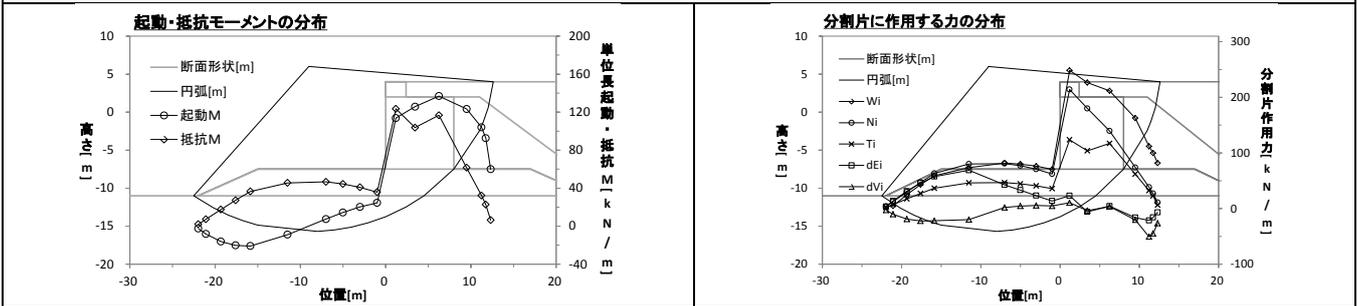


番号：2046 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

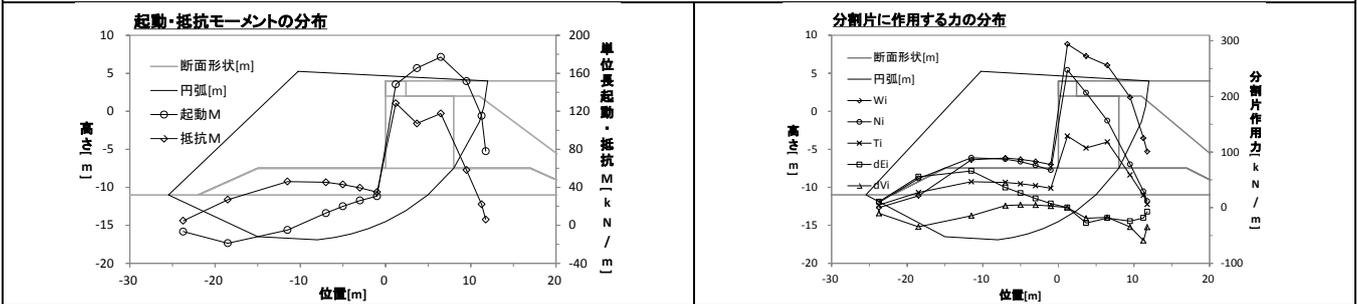


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

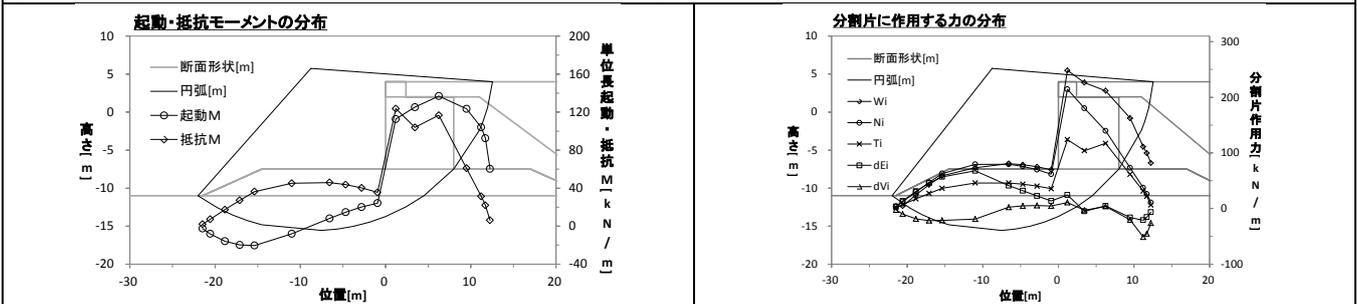
番号：0005 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



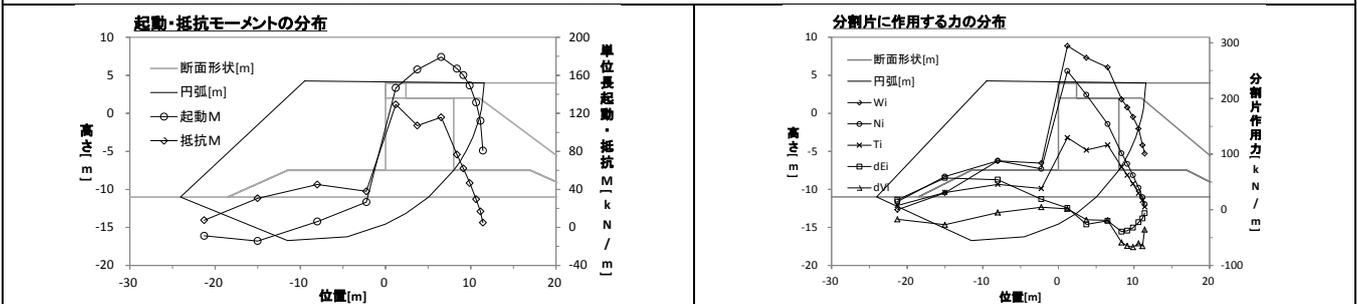
番号：0017 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



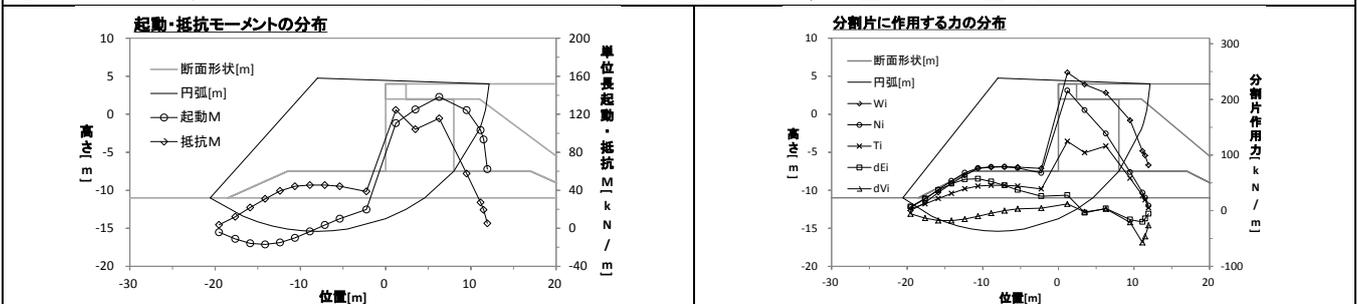
番号：1005 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1017 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

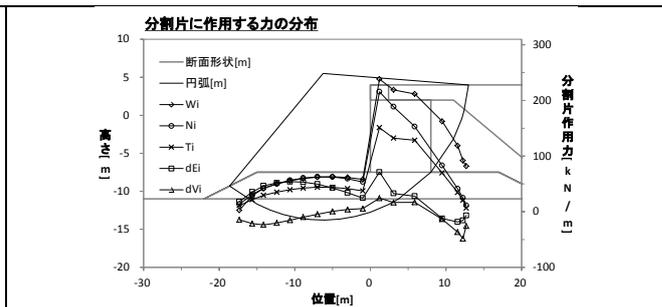
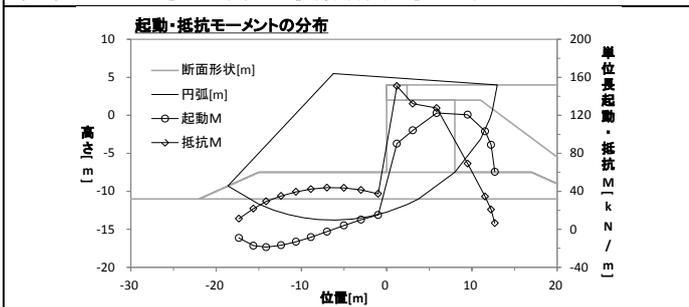


番号：2017 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

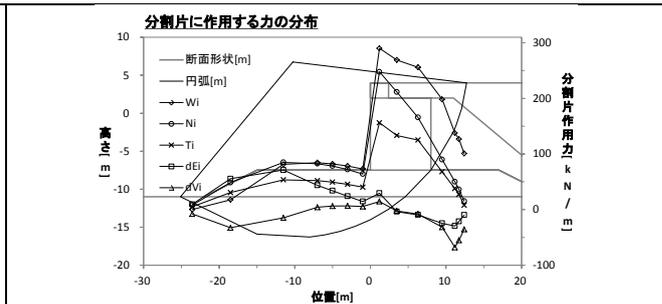
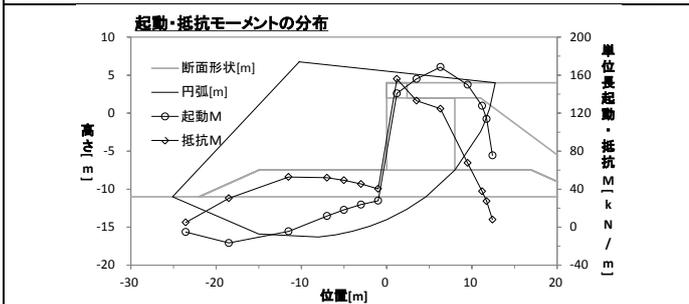


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

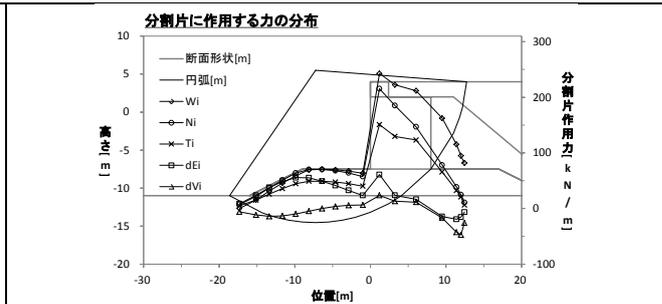
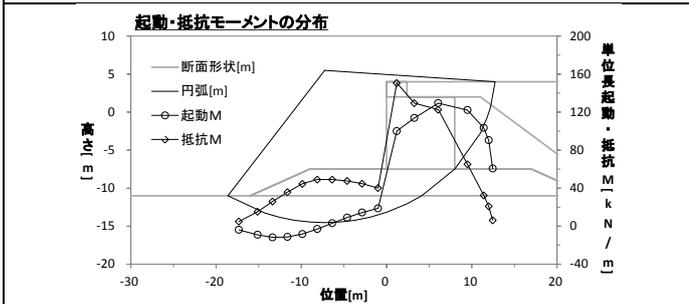
番号：0002 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



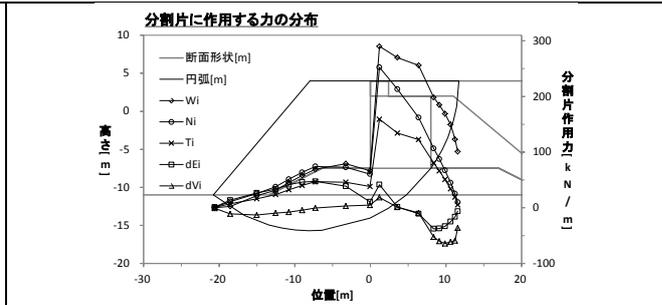
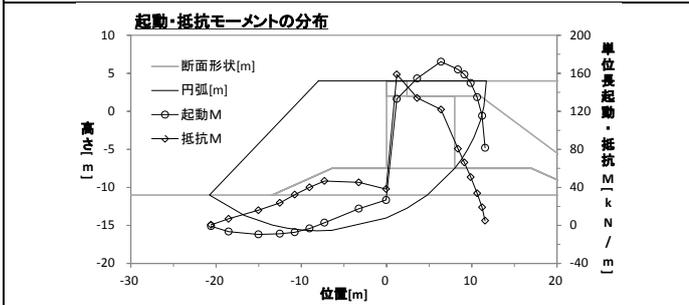
番号：0014 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



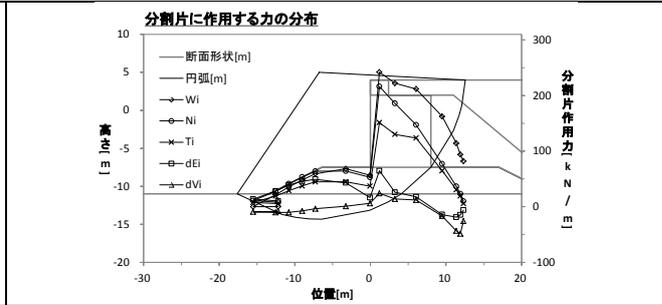
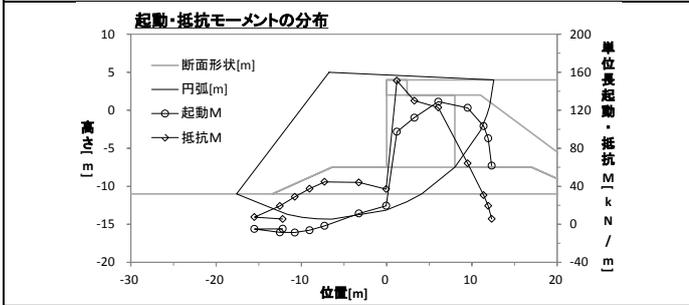
番号：1002 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1014 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

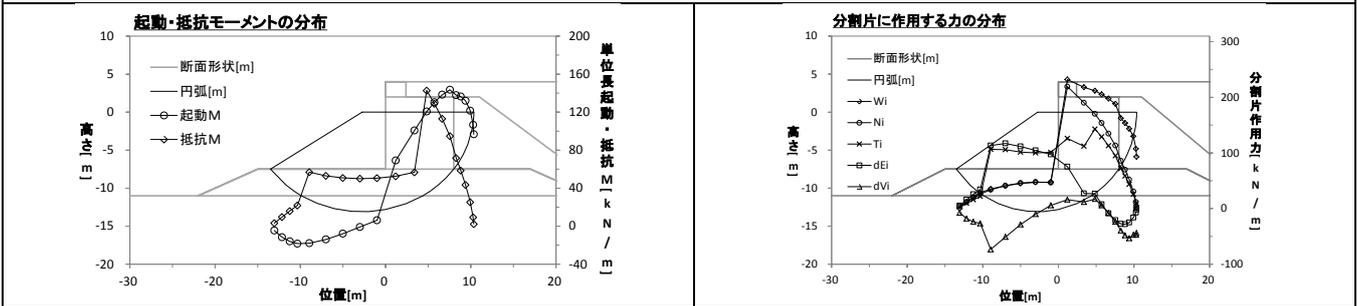


番号：2014 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

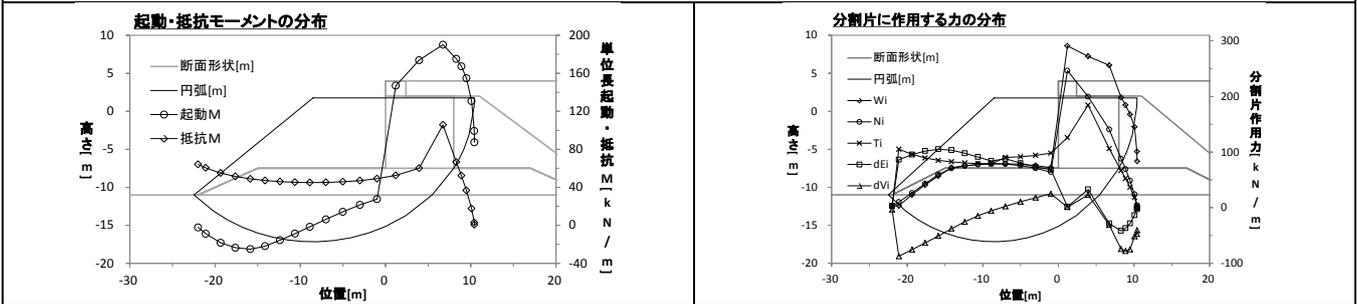


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

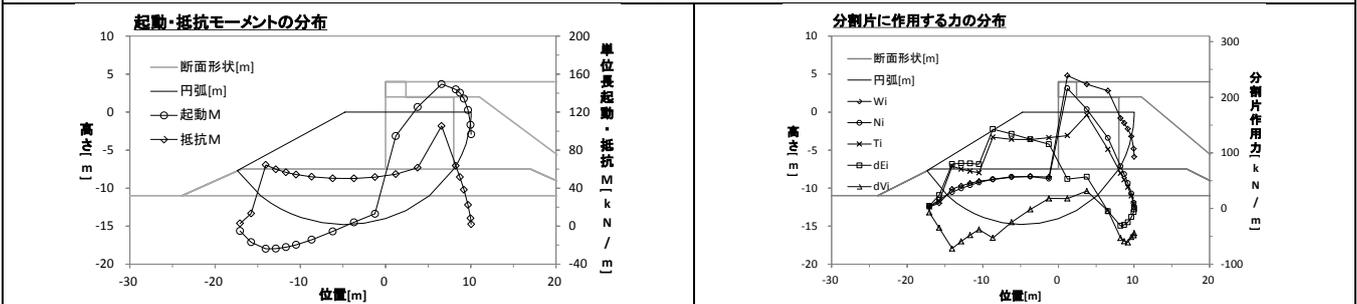
番号：0008 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



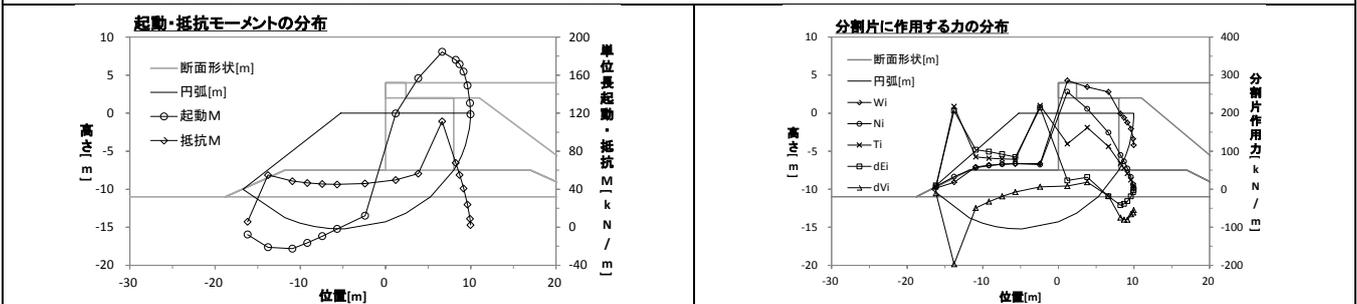
番号：0020 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



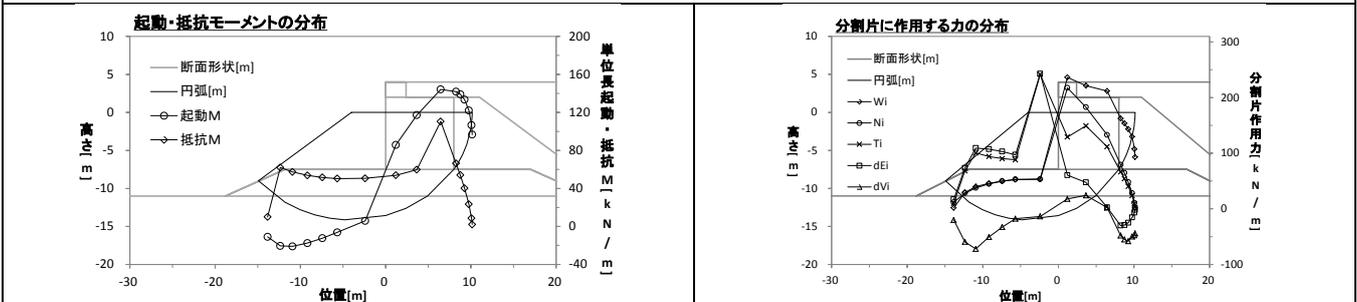
番号：1008 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1020 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

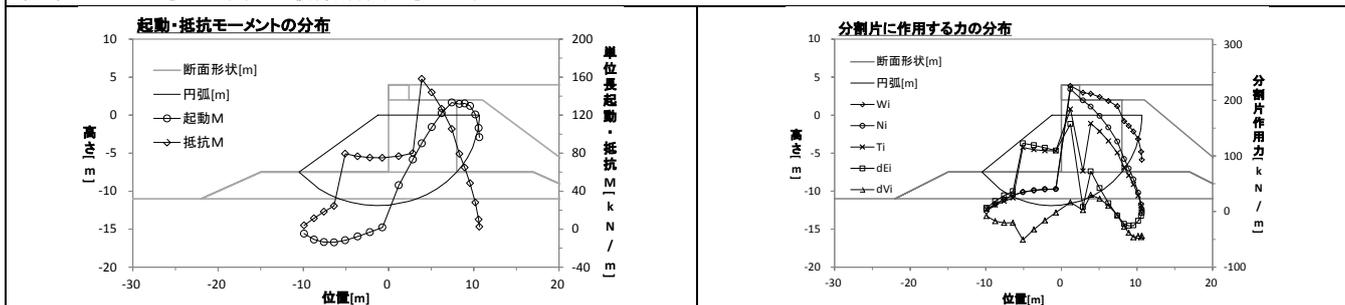


番号：2020 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

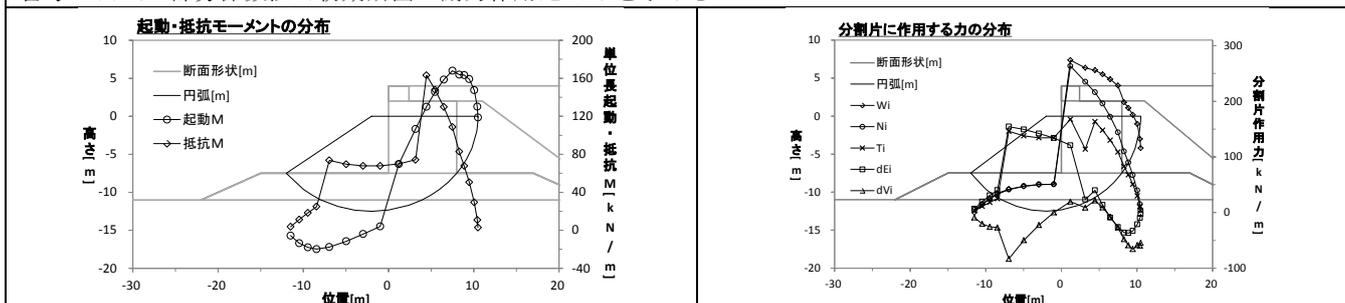


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

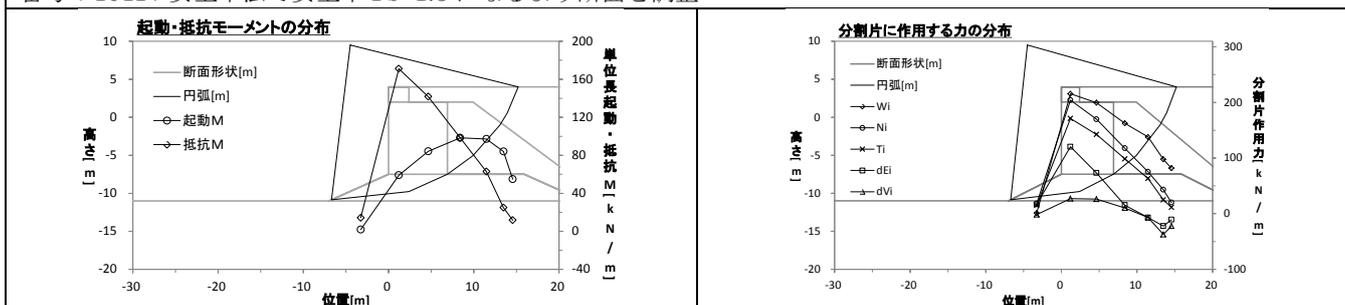
番号：0011 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



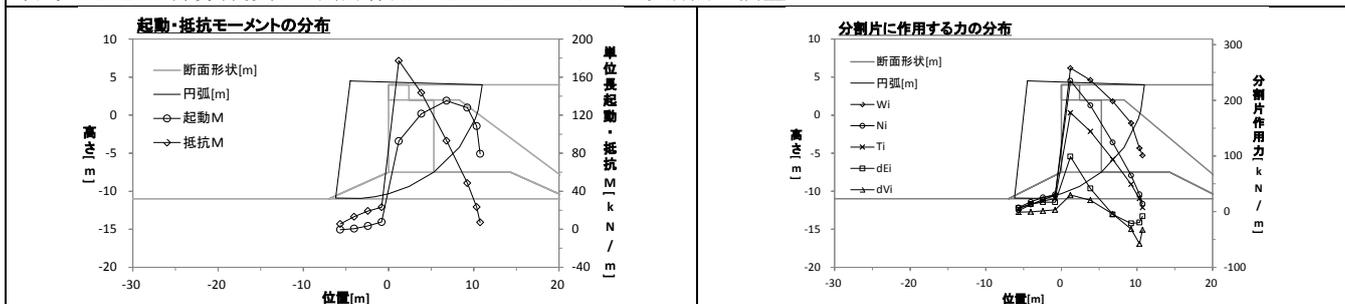
番号：0023 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



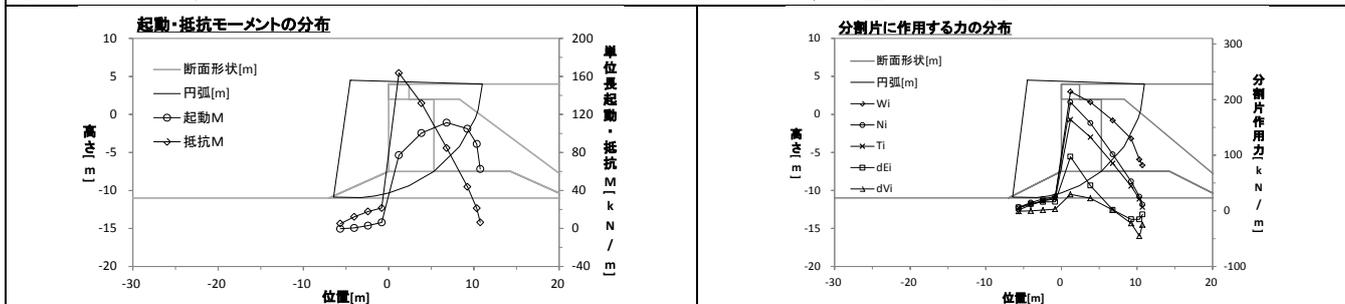
番号：1011 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1023 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

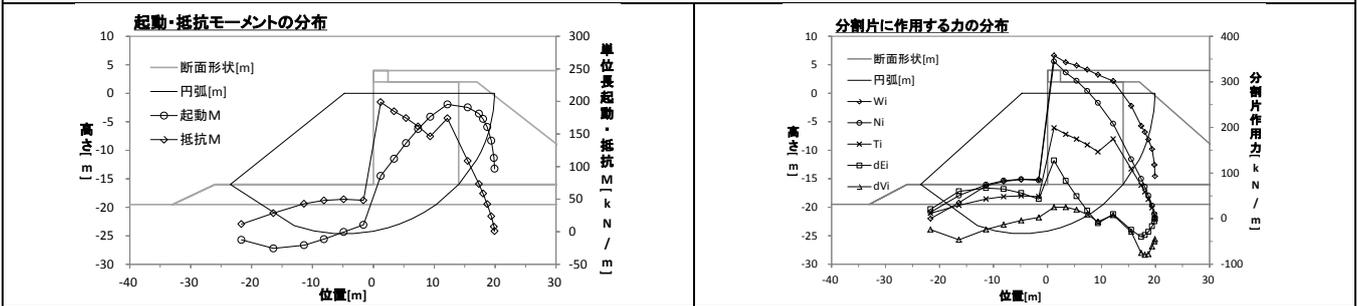


番号：2023 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

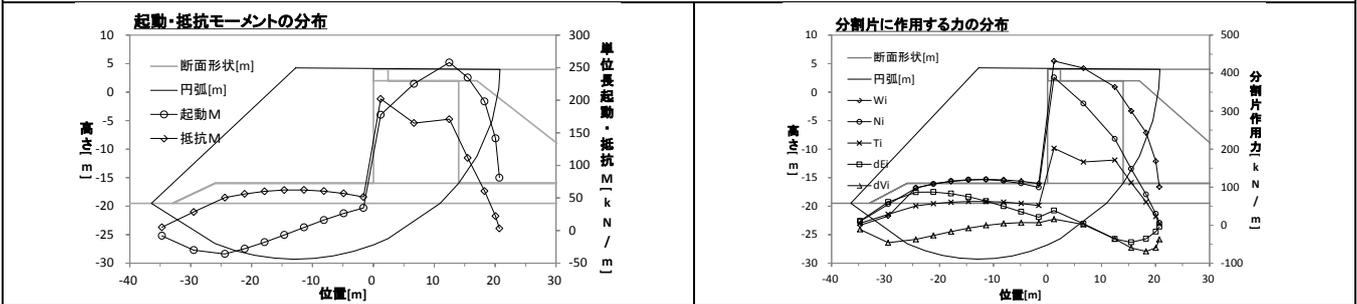


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

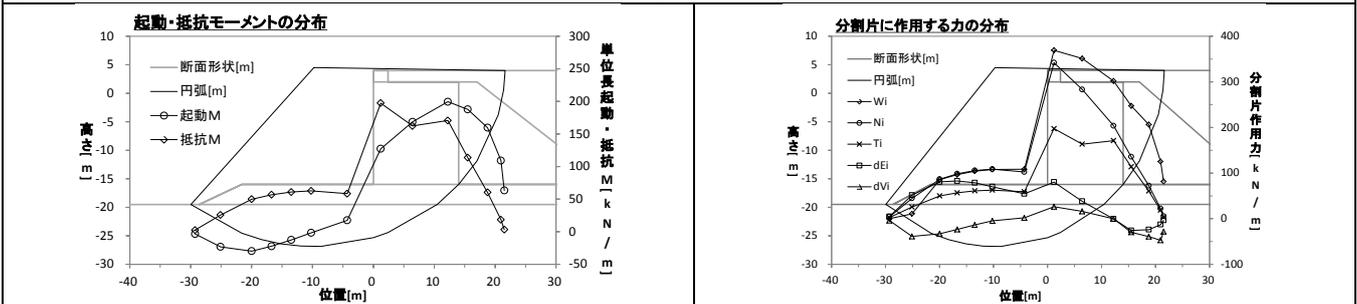
番号：0029 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



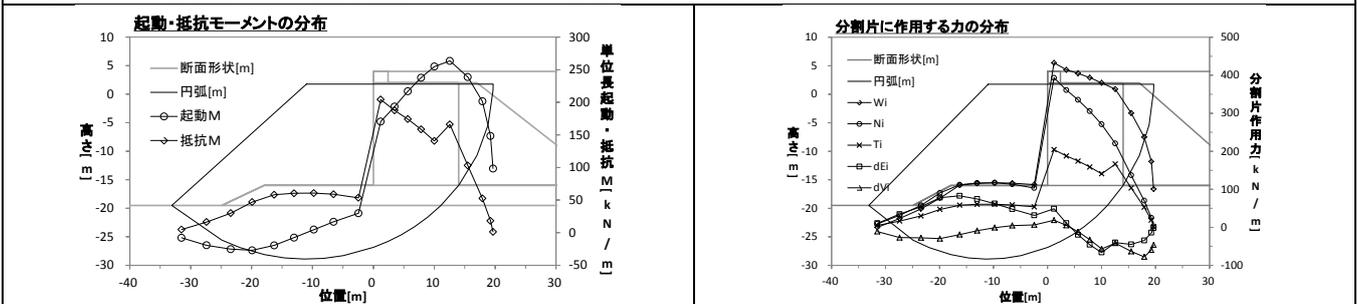
番号：0041 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



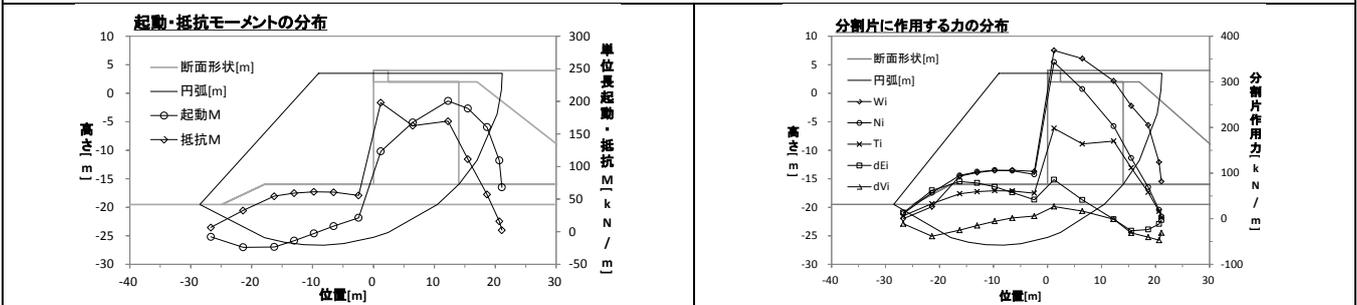
番号：1029 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1041 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

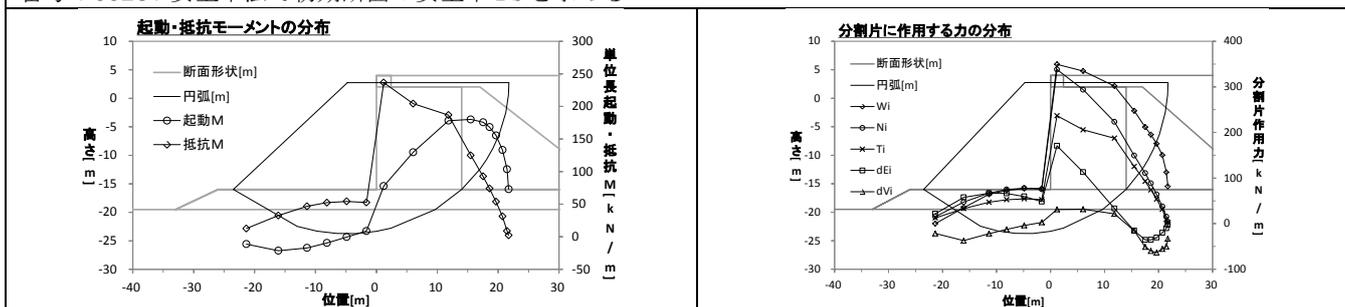


番号：2041 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

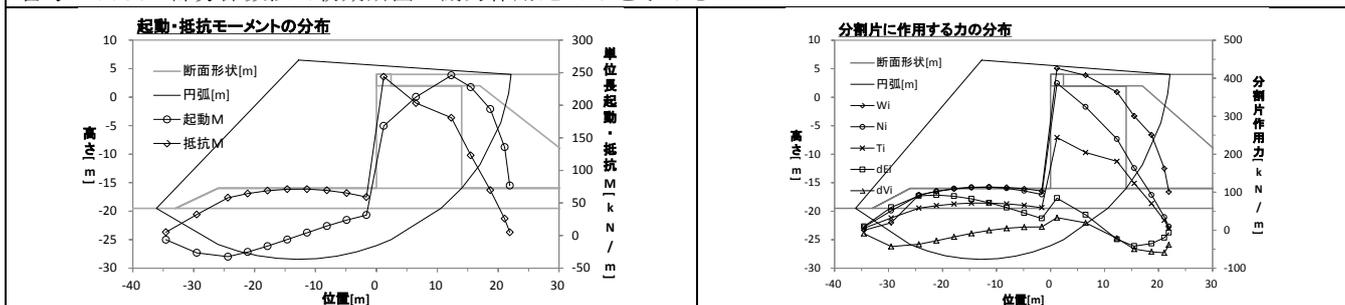


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

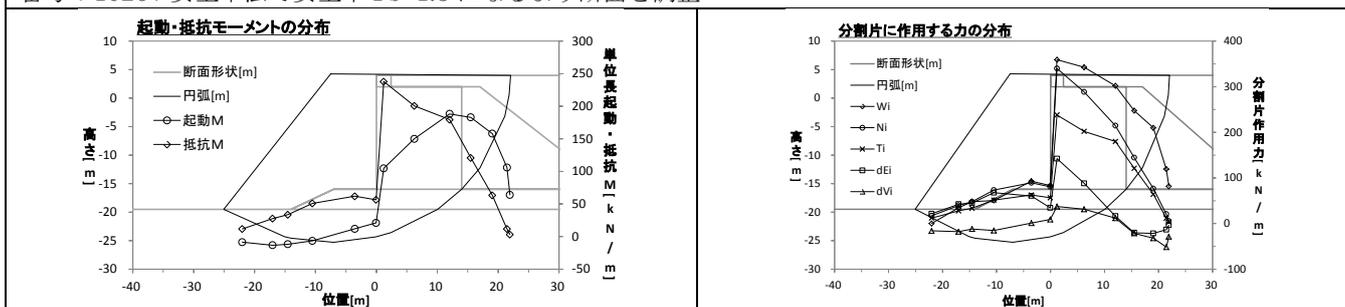
番号：0026 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



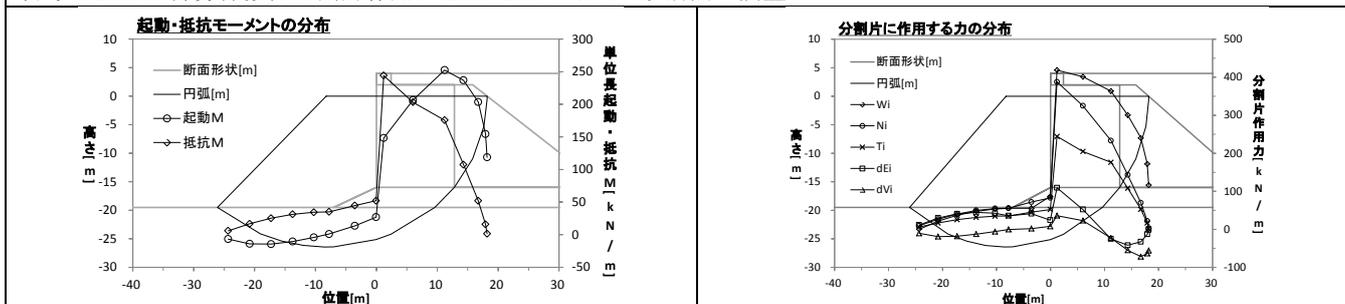
番号：0038 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



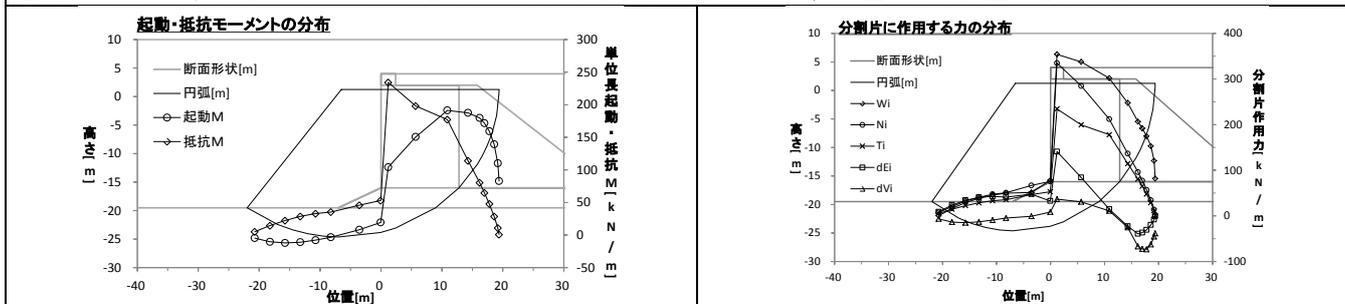
番号：1026 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1038 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

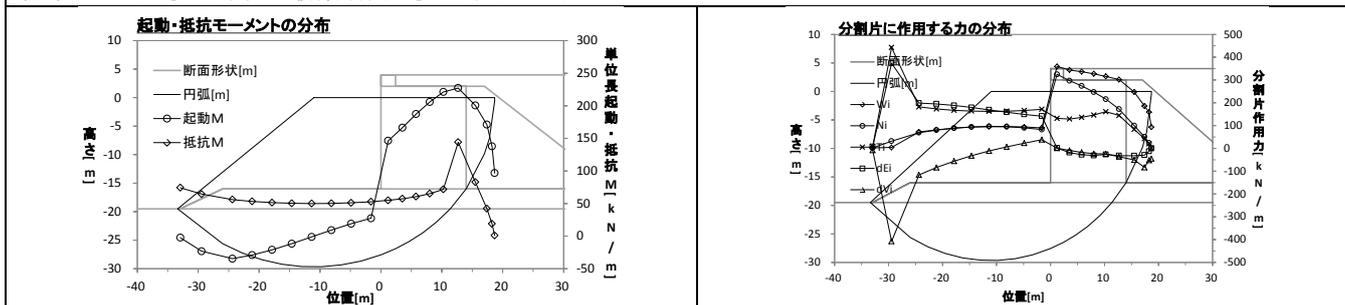


番号：2038 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

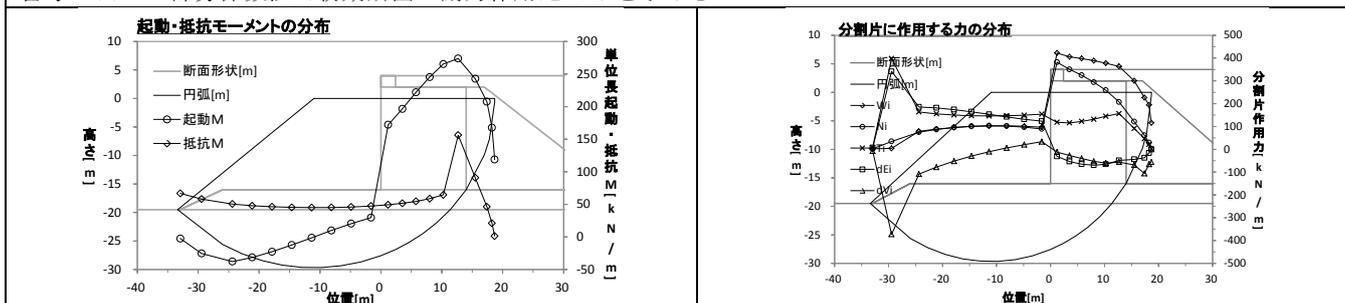


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

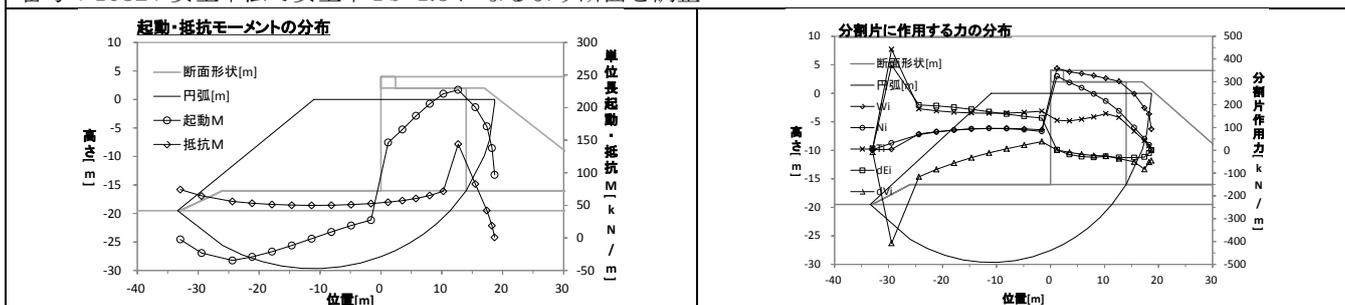
番号：0032 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



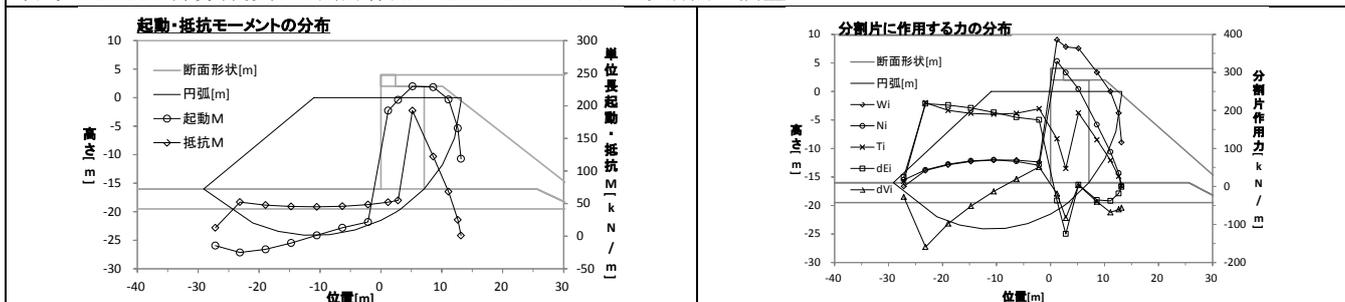
番号：0044 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



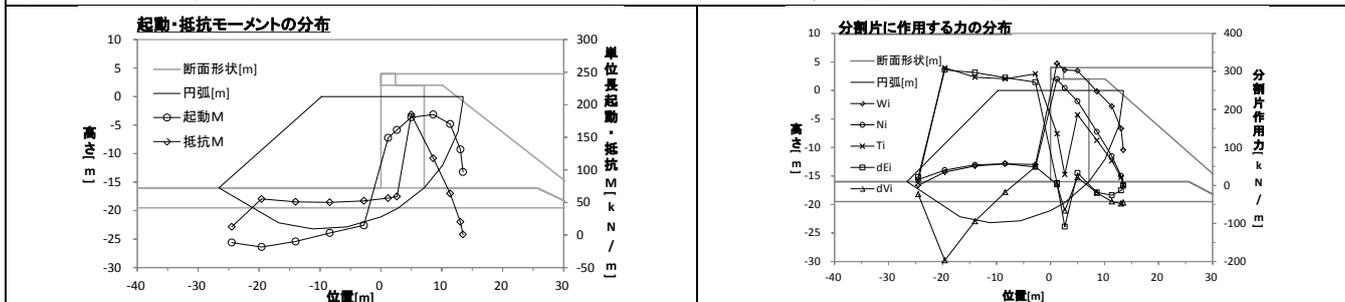
番号：1032 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1044 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

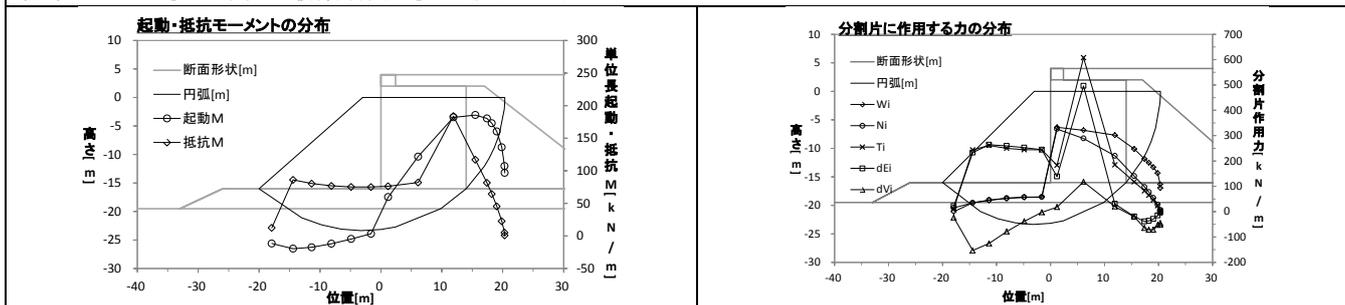


番号：2044 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

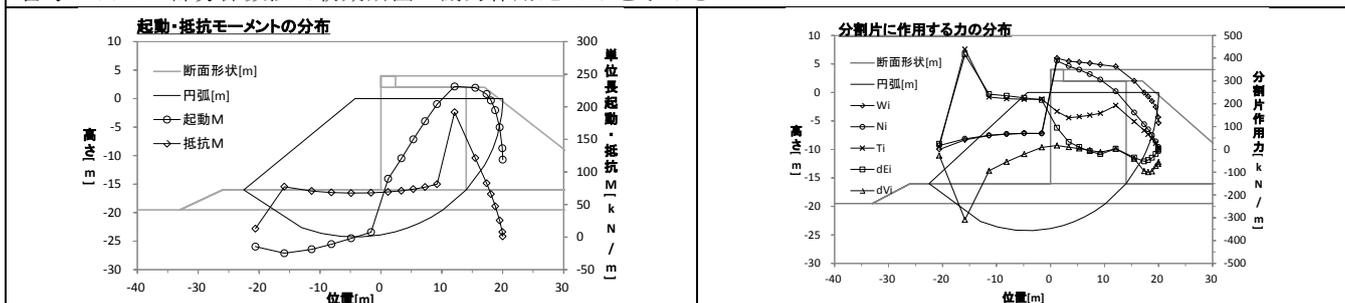


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

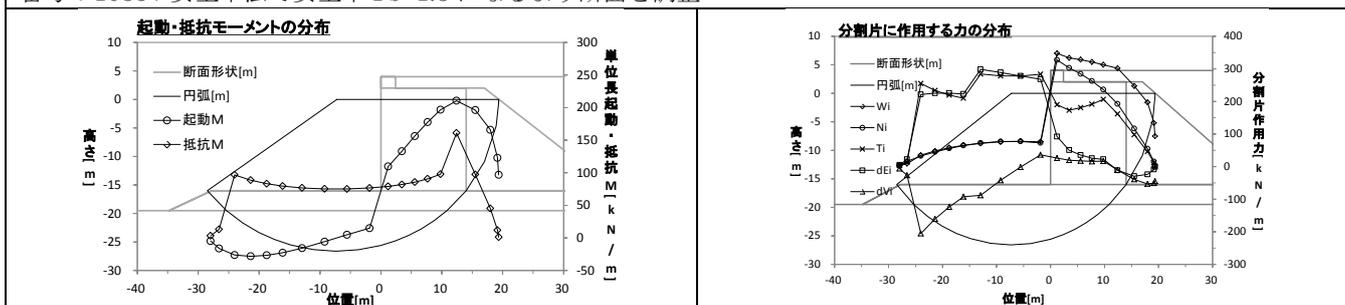
番号：0035 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



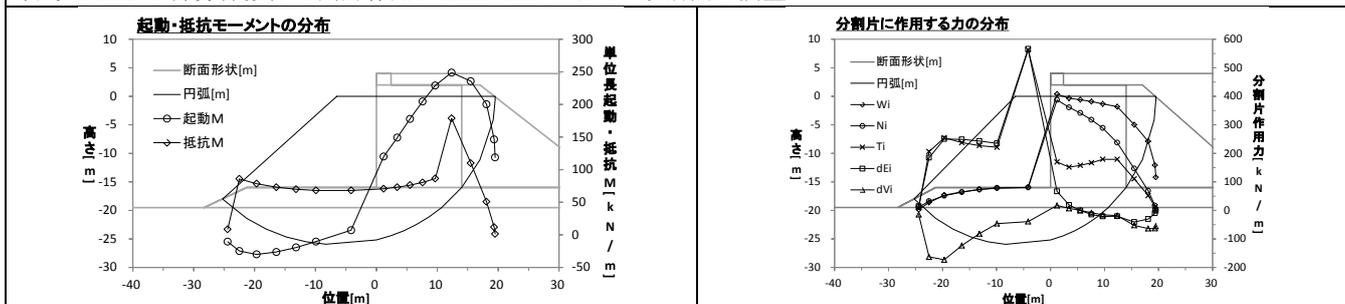
番号：0047 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



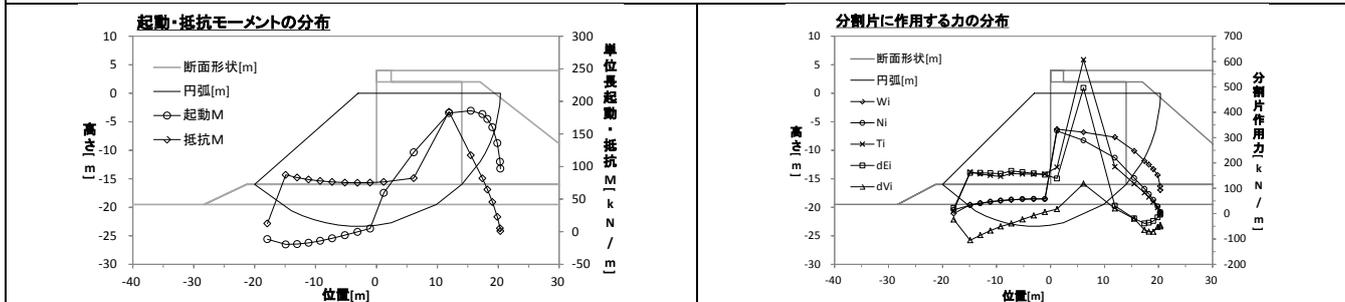
番号：1035 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1047 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

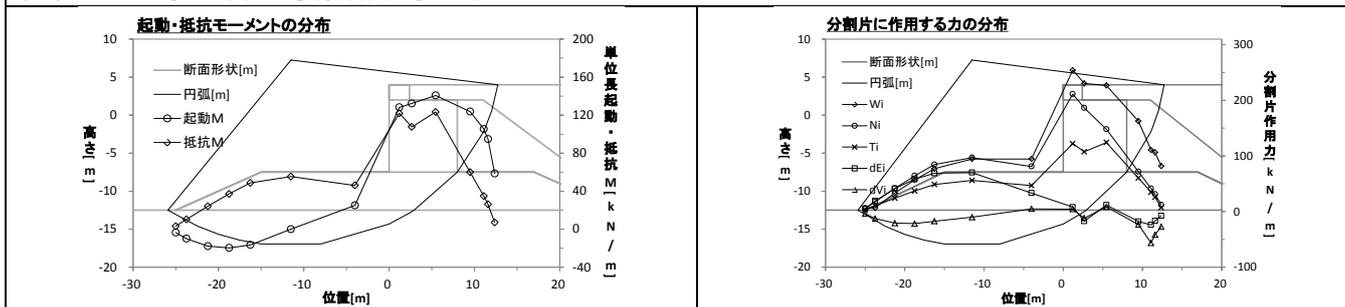


番号：2047 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

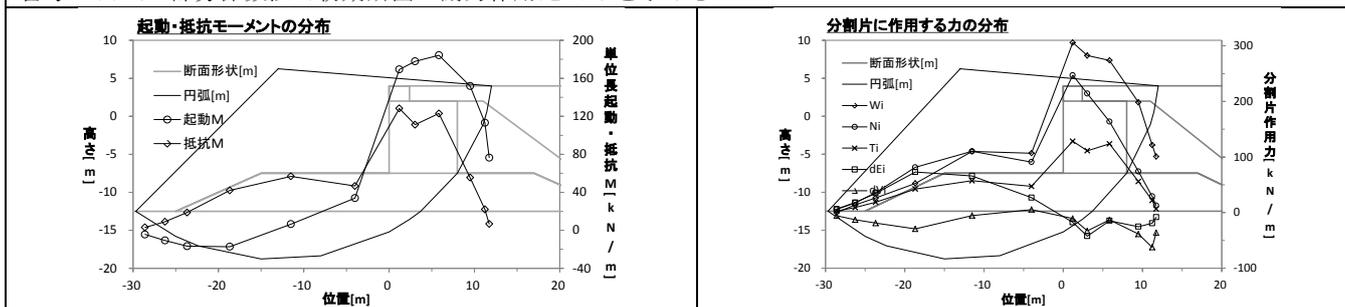


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

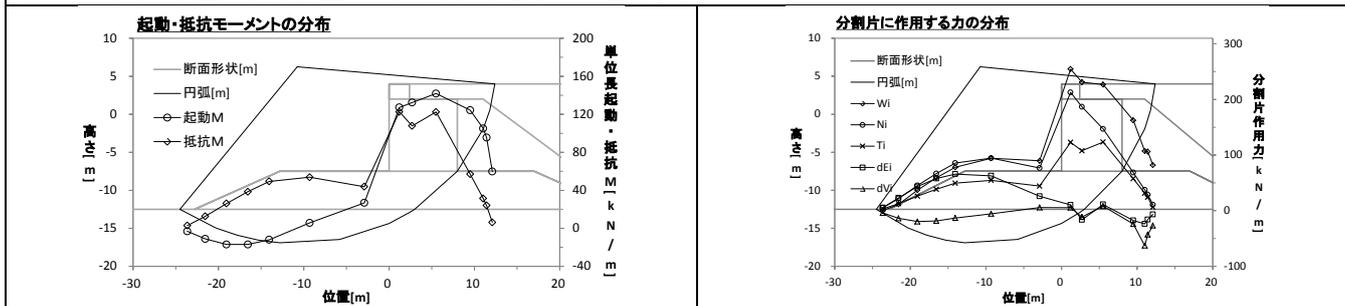
番号：0006 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



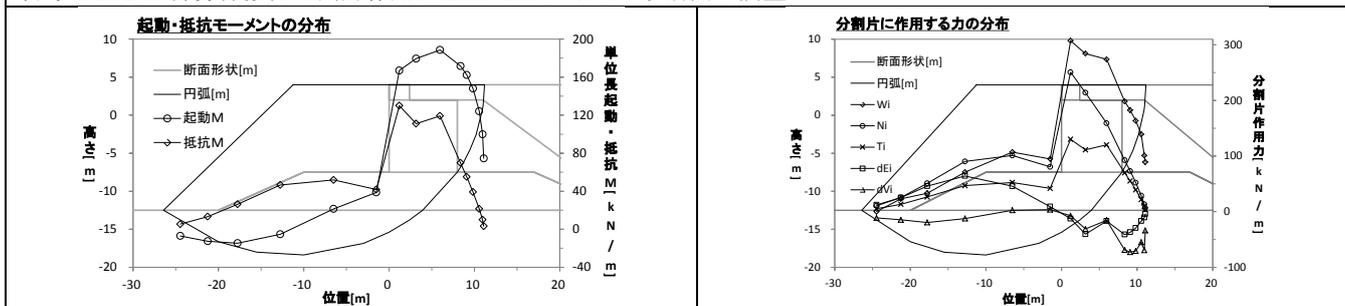
番号：0018 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



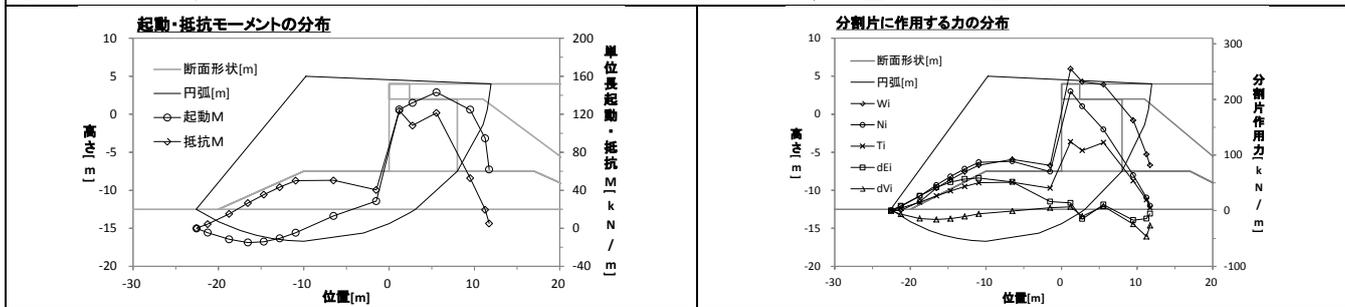
番号：1006 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1018 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

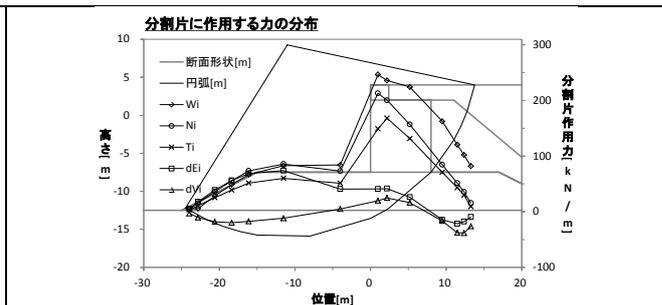
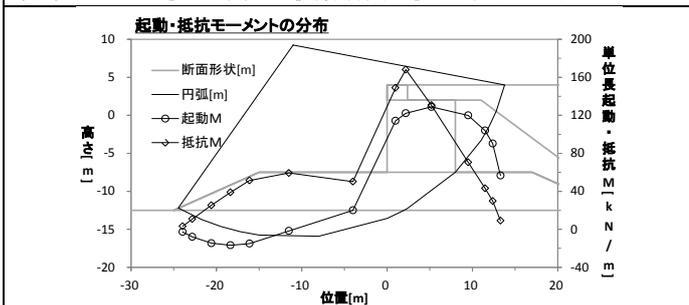


番号：2018 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

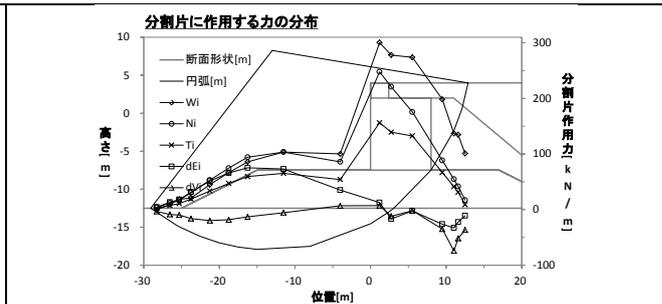
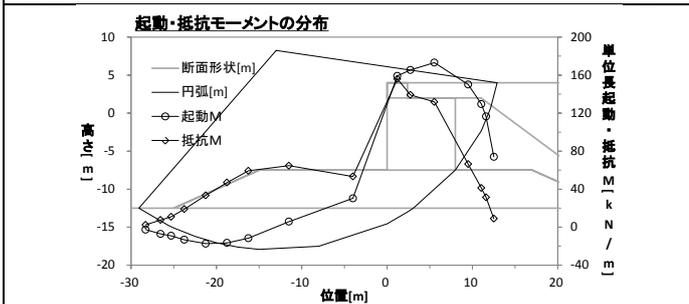


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

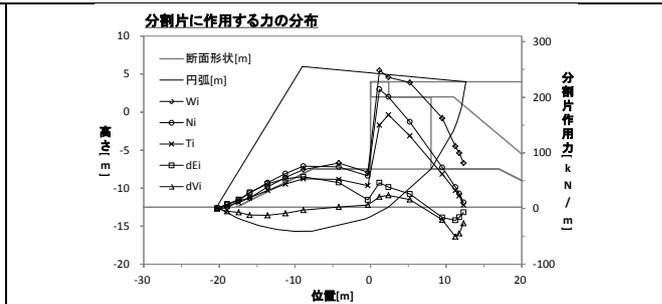
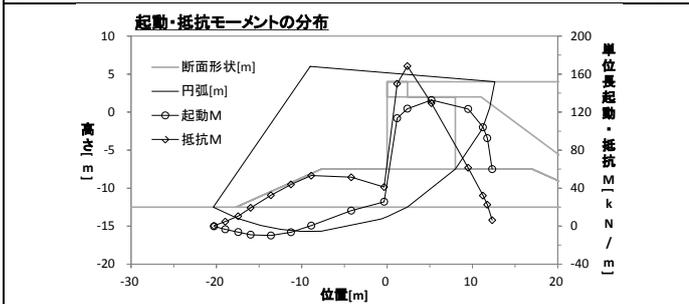
番号：0003 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



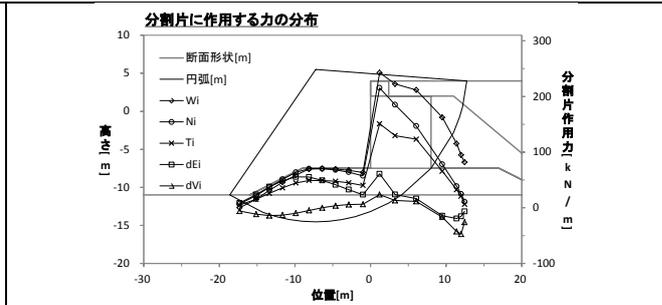
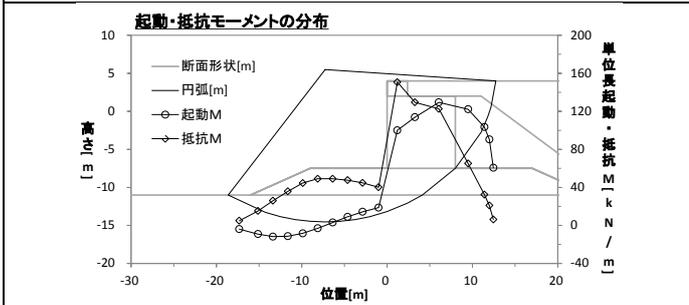
番号：0015 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



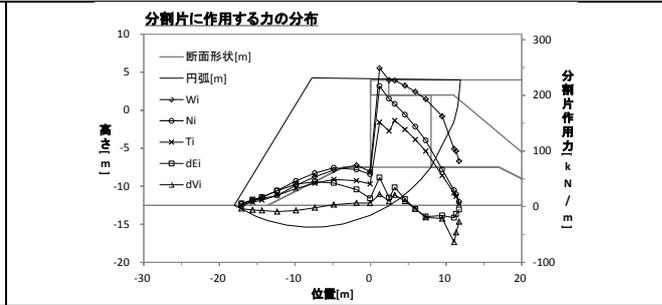
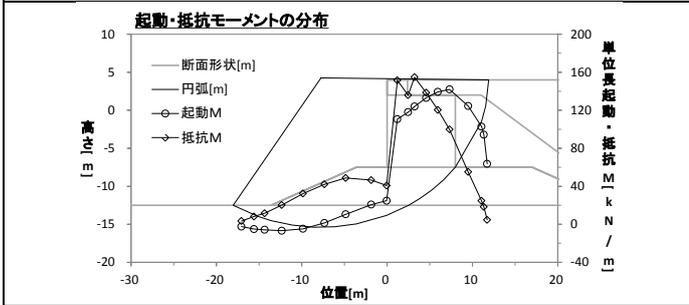
番号：1003 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1015 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

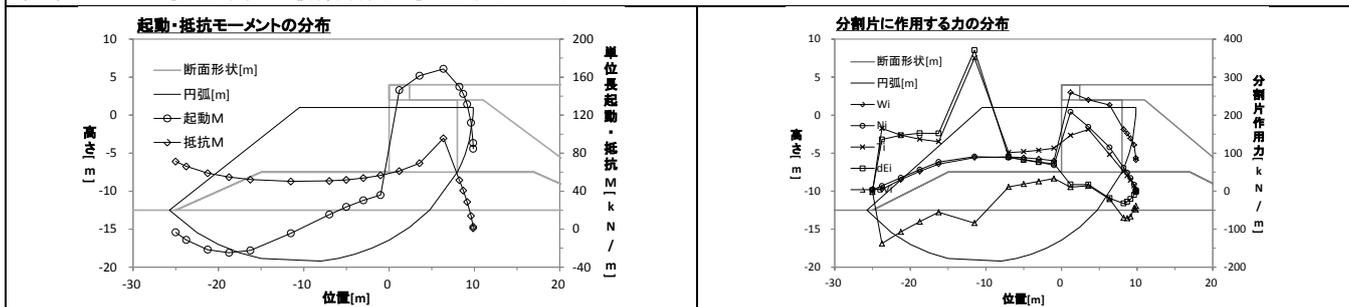


番号：2015 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

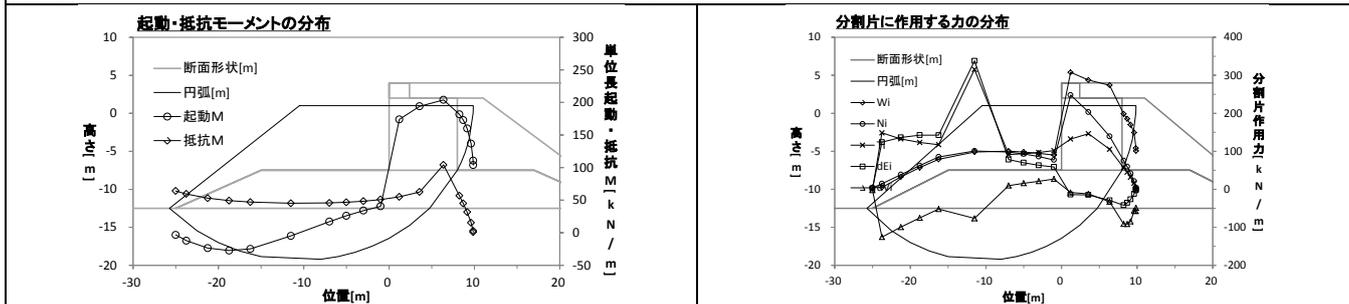


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

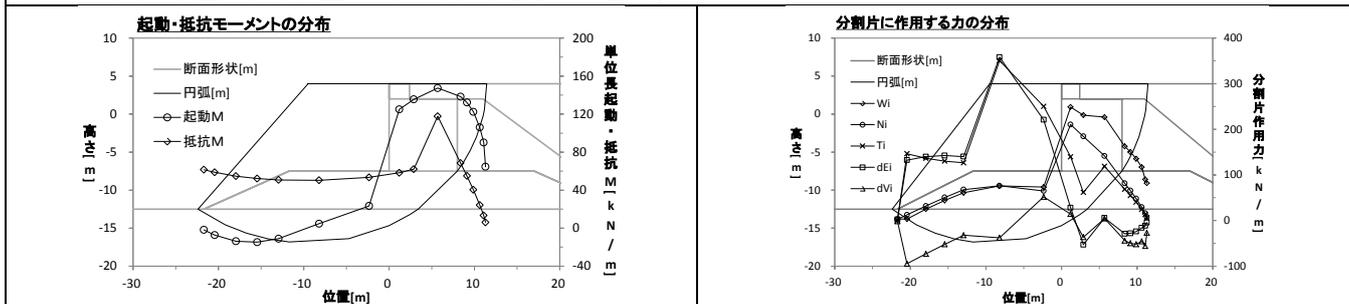
番号：0009 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



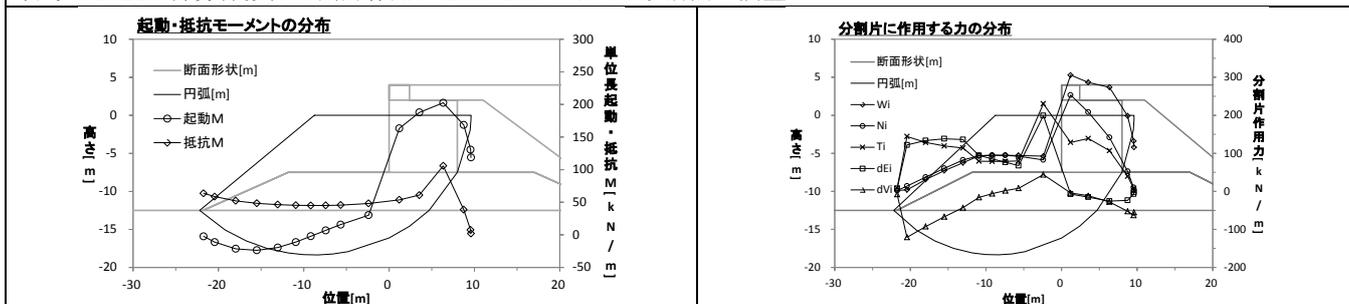
番号：0021 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



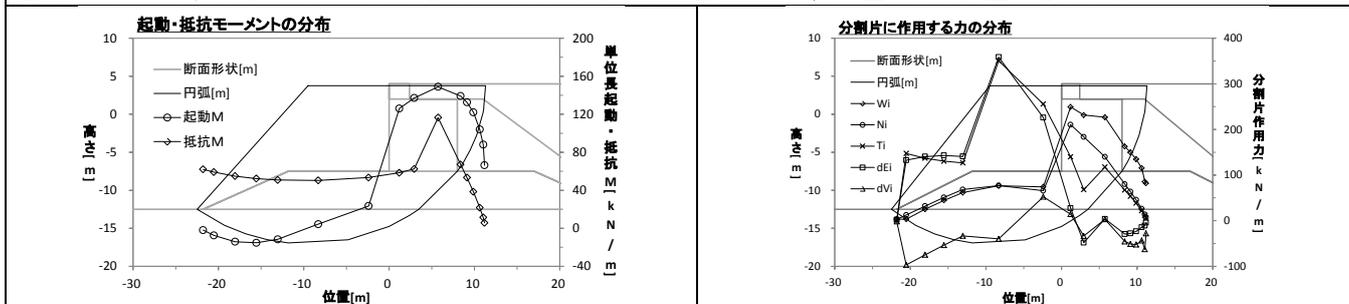
番号：1009 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1021 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

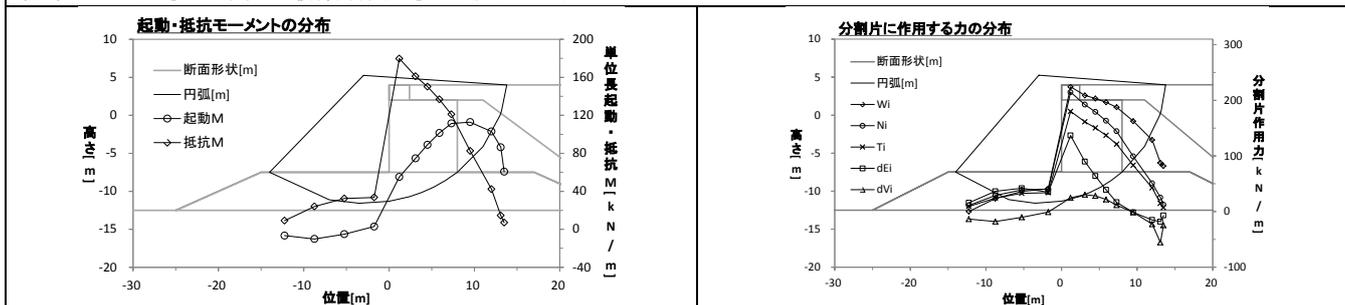


番号：2021 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

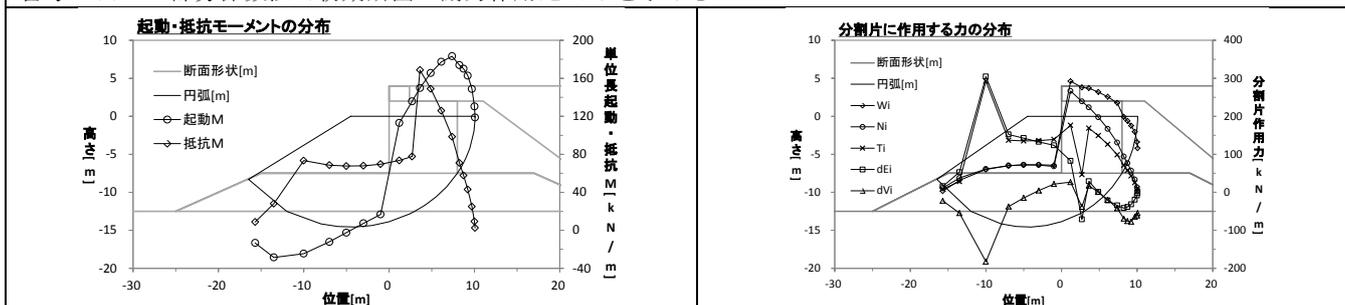


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

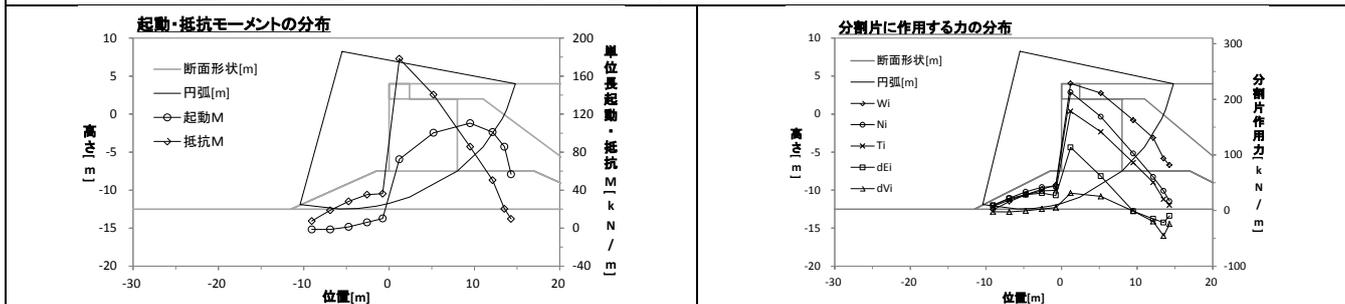
番号：0012 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



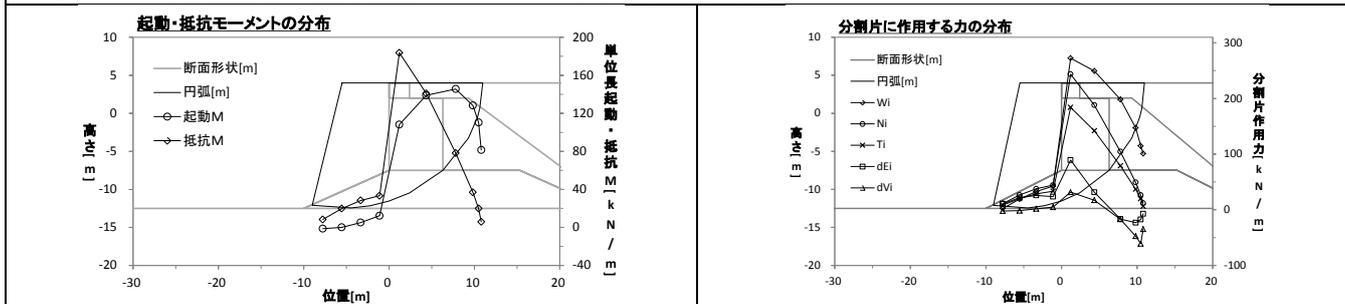
番号：0024 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



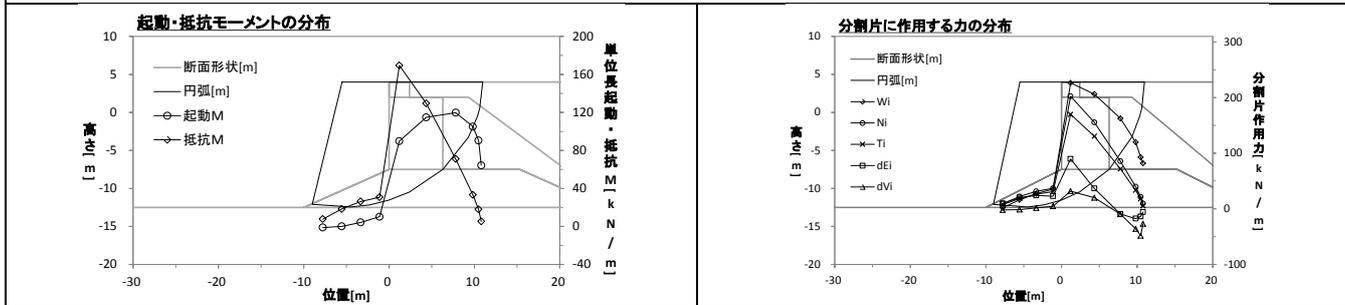
番号：1012 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1024 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

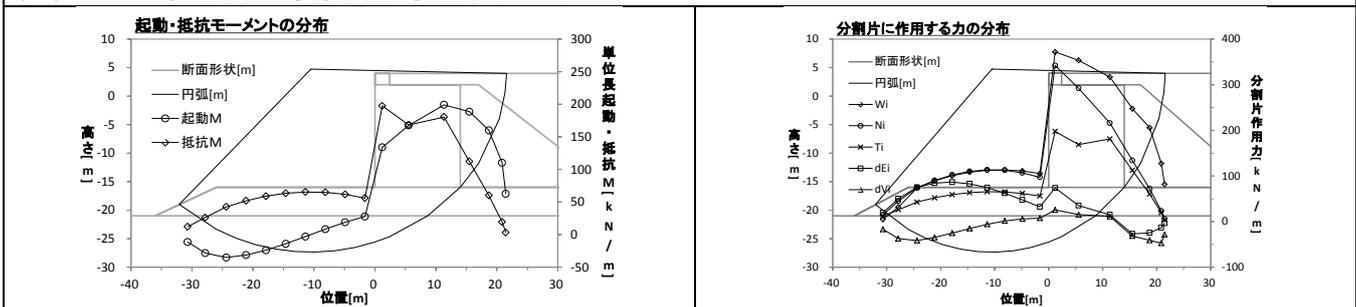


番号：2024 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

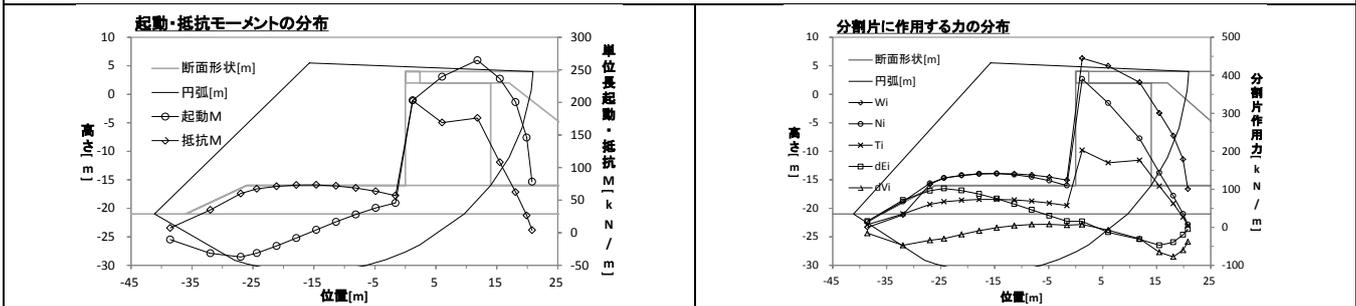


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

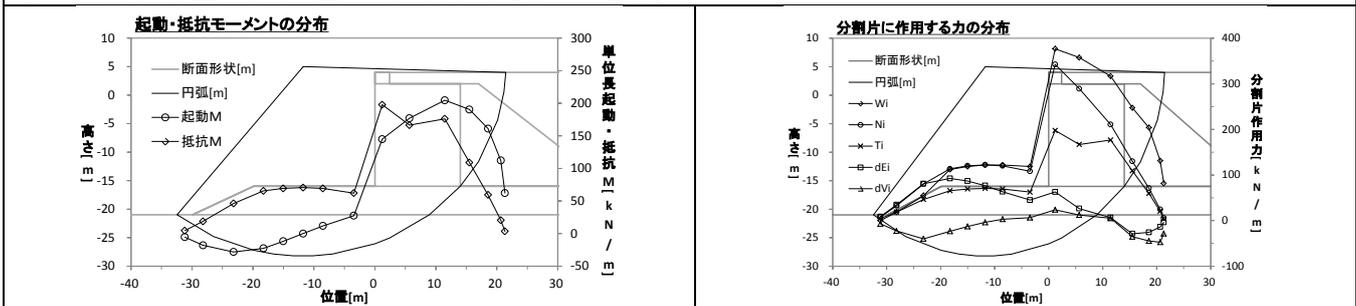
番号：0030 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



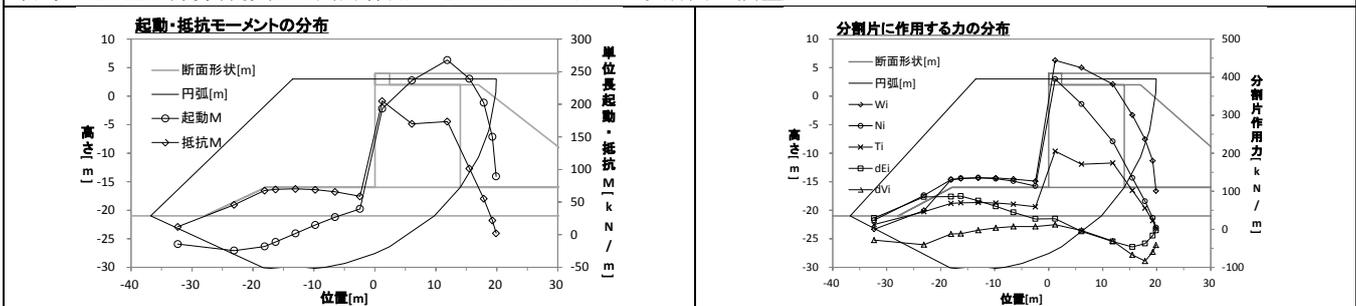
番号：0042 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



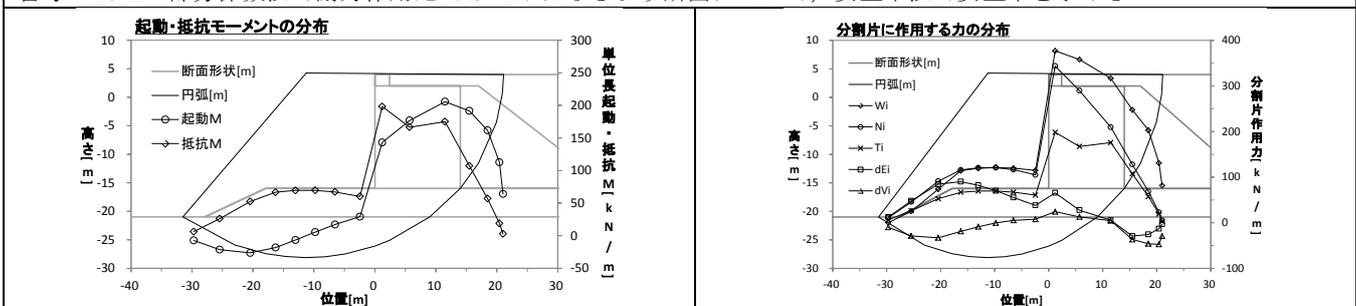
番号：1030 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1042 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

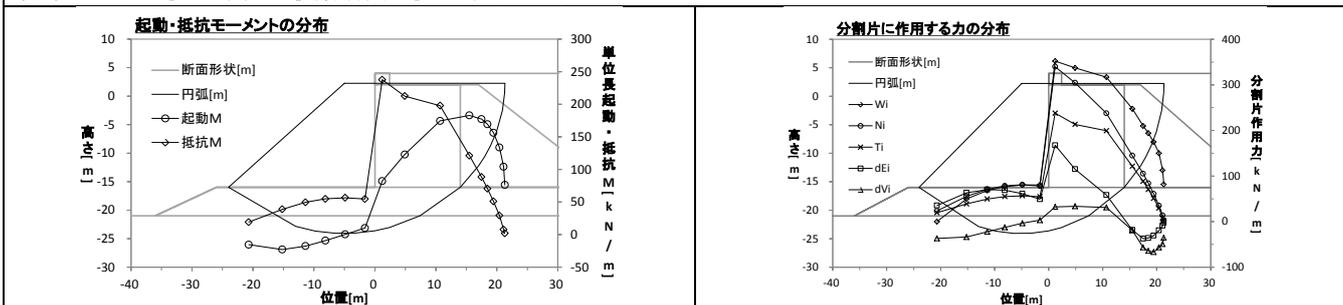


番号：2042 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

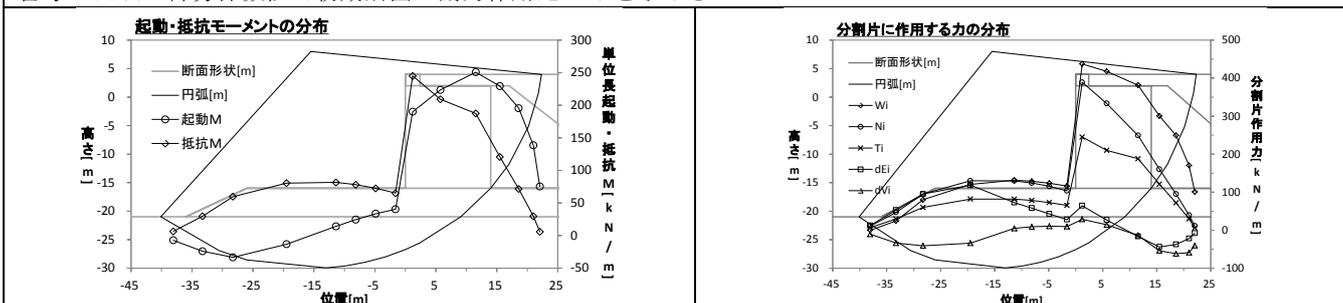


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

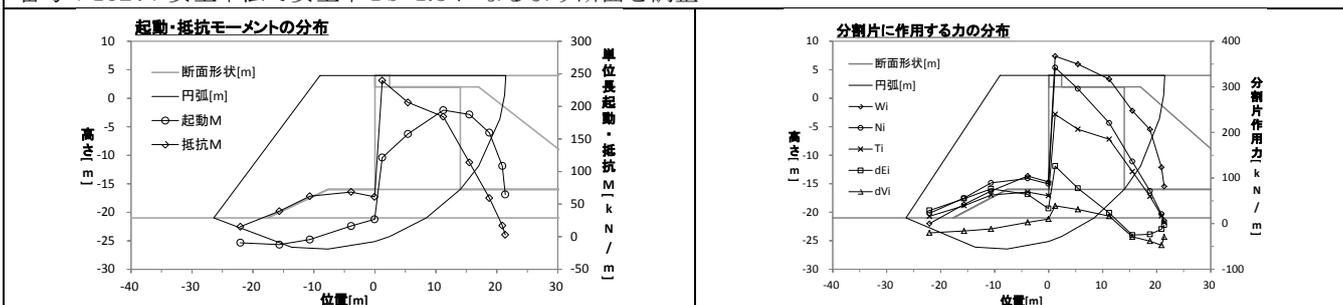
番号：0027 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



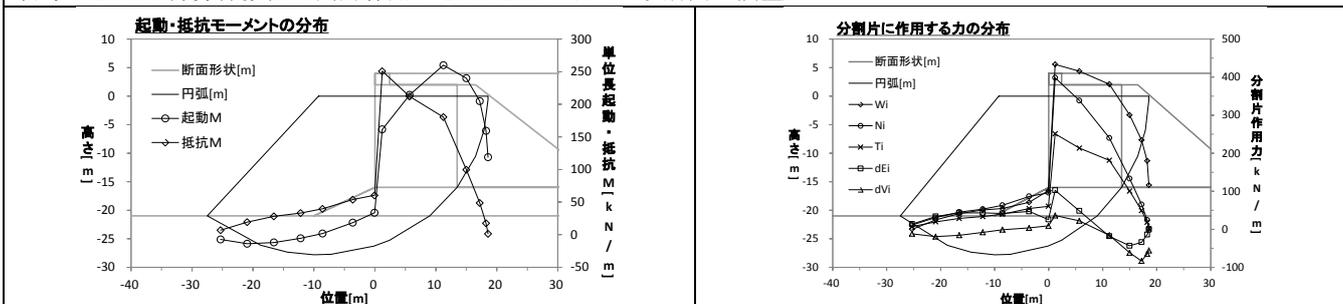
番号：0039 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



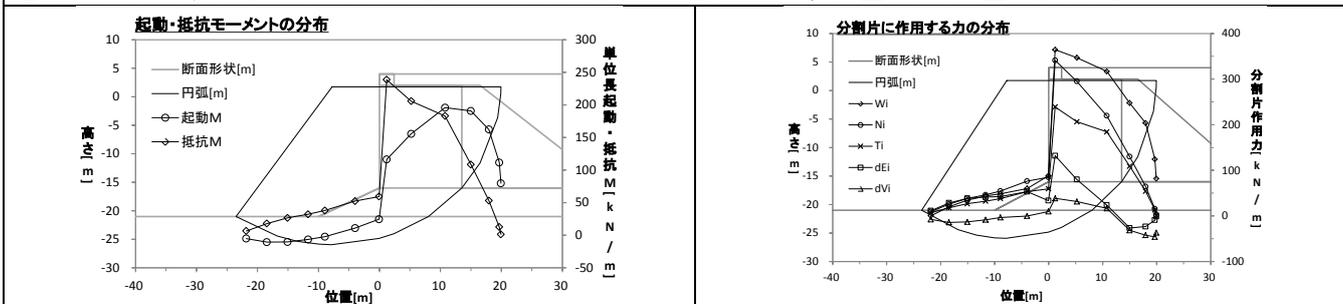
番号：1027 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1039 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

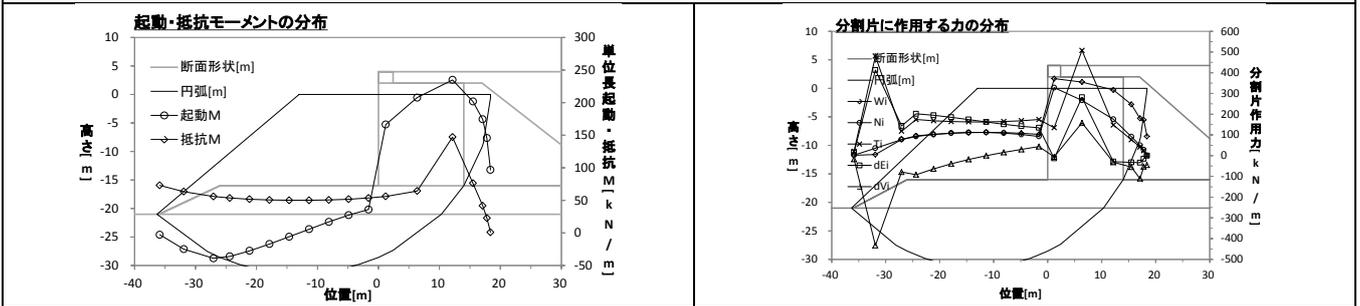


番号：2039 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

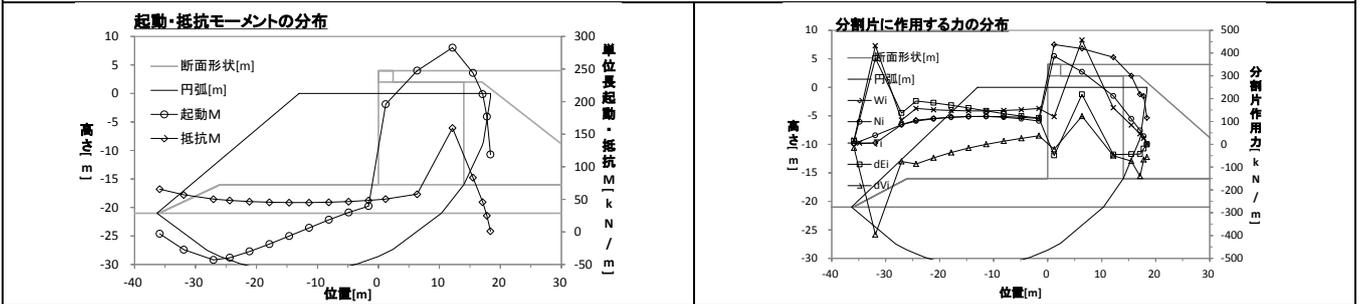


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

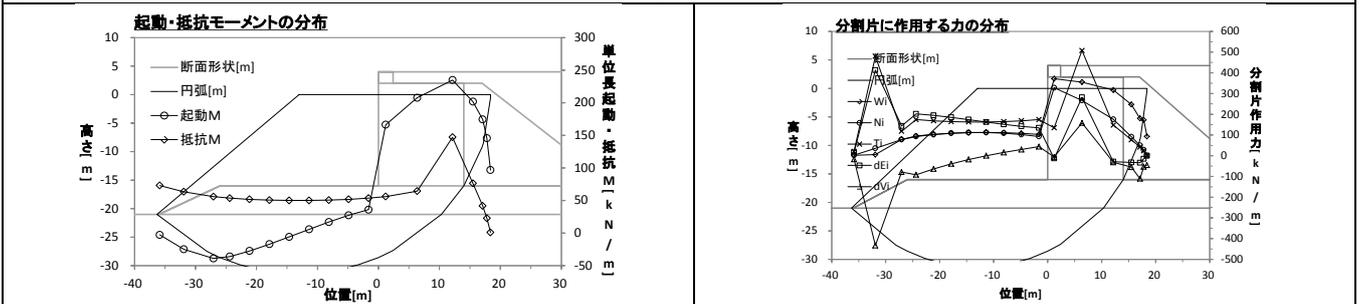
番号：0033 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



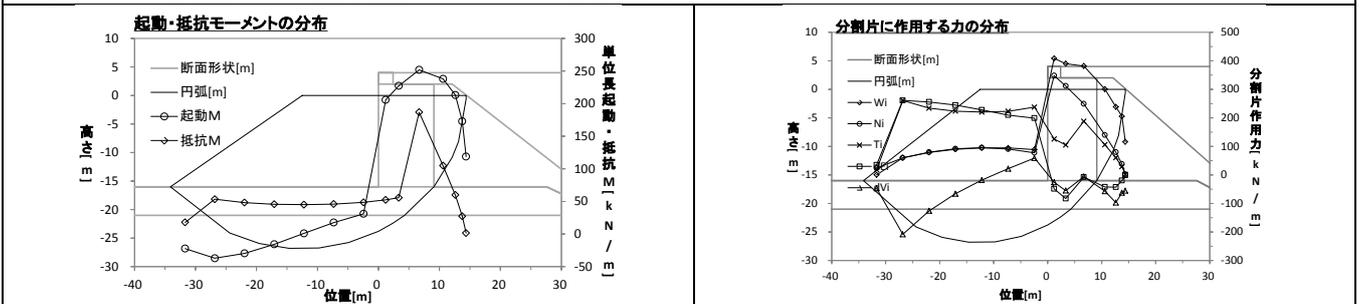
番号：0045 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



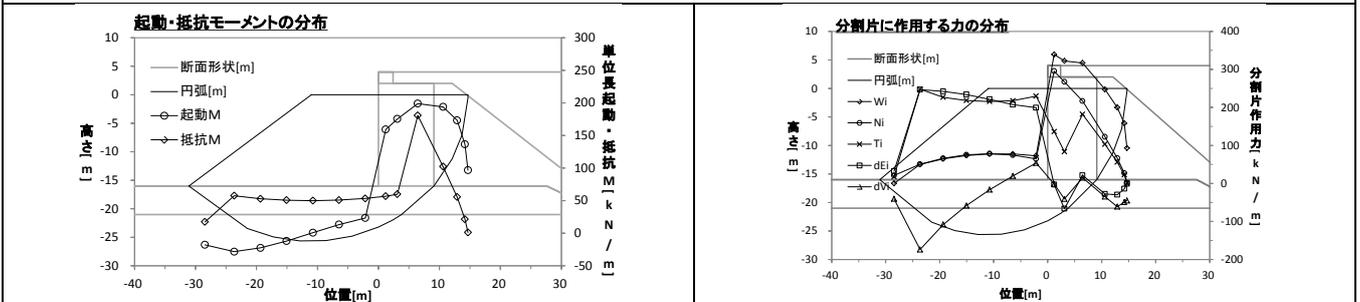
番号：1033 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1045 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

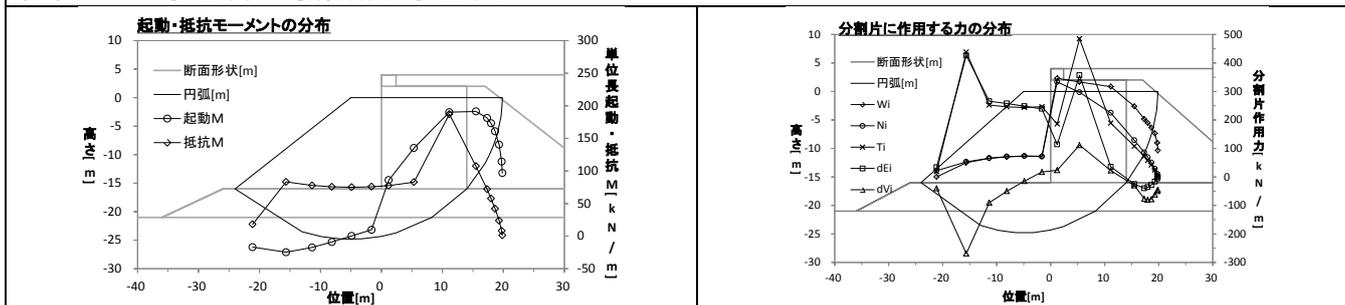


番号：2045 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

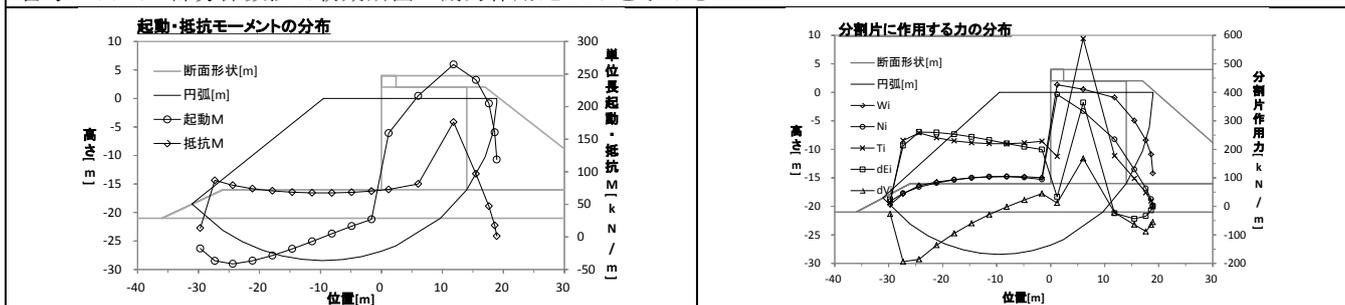


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

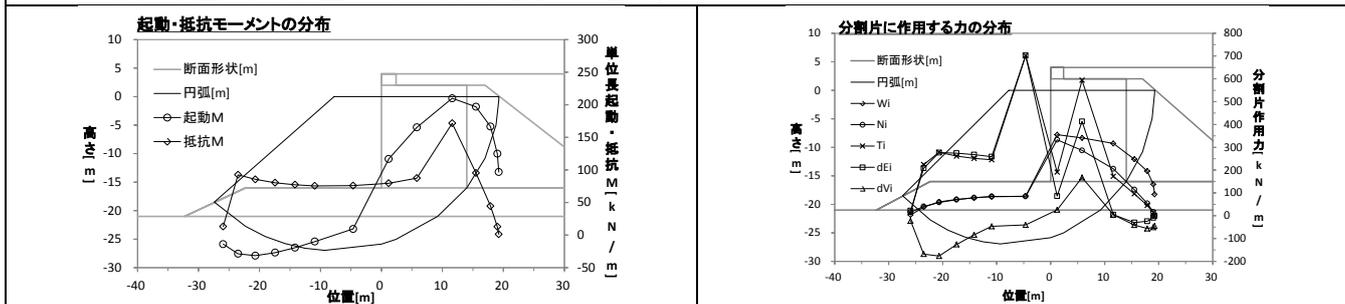
番号：0036 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



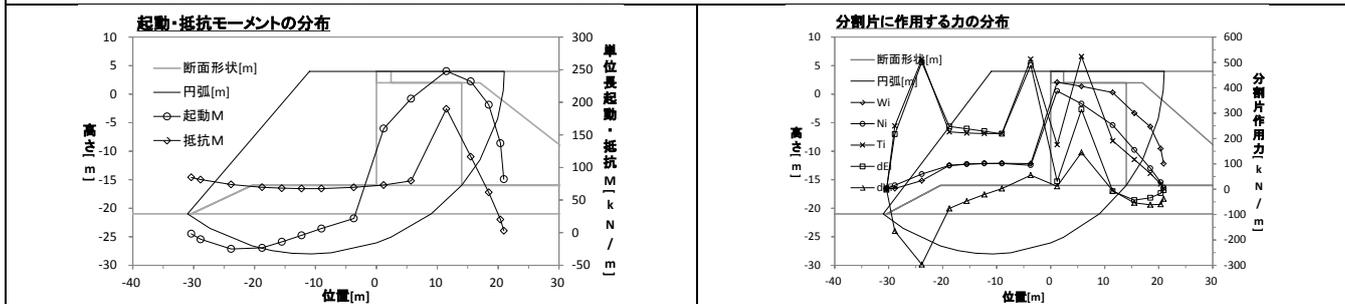
番号：0048 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



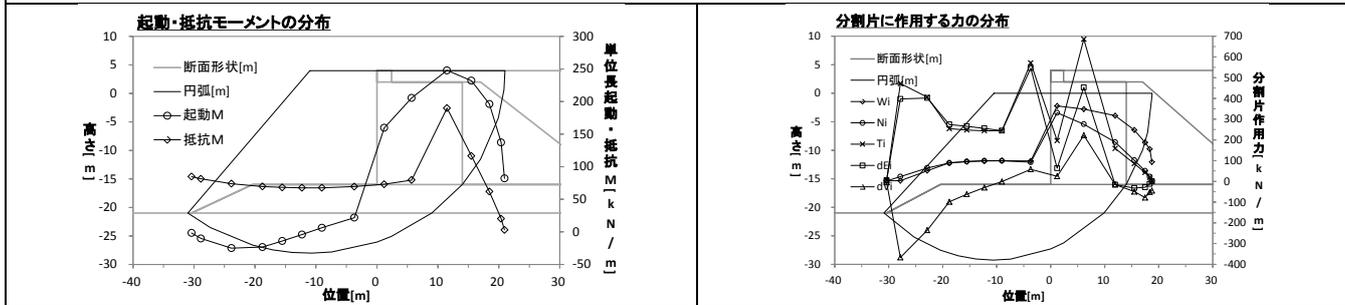
番号：1036 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1048 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

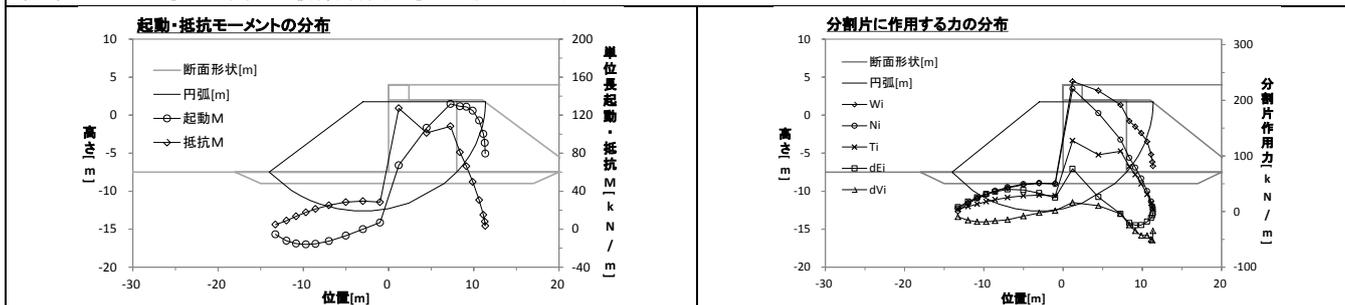


番号：2048 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

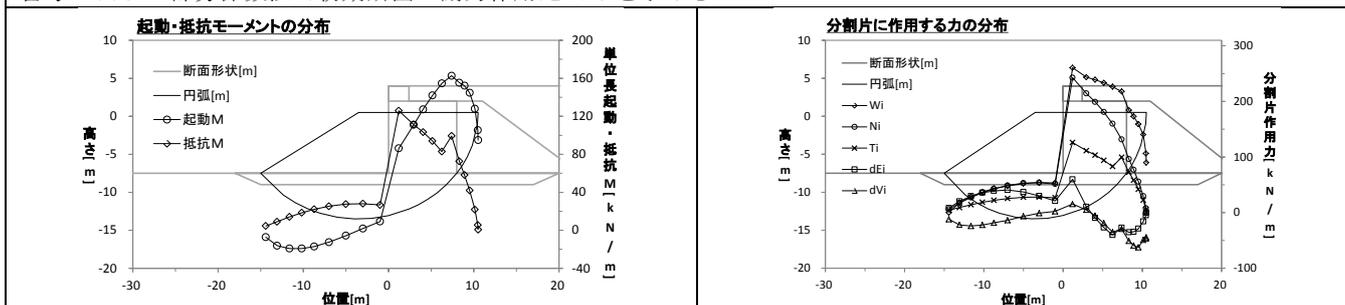


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

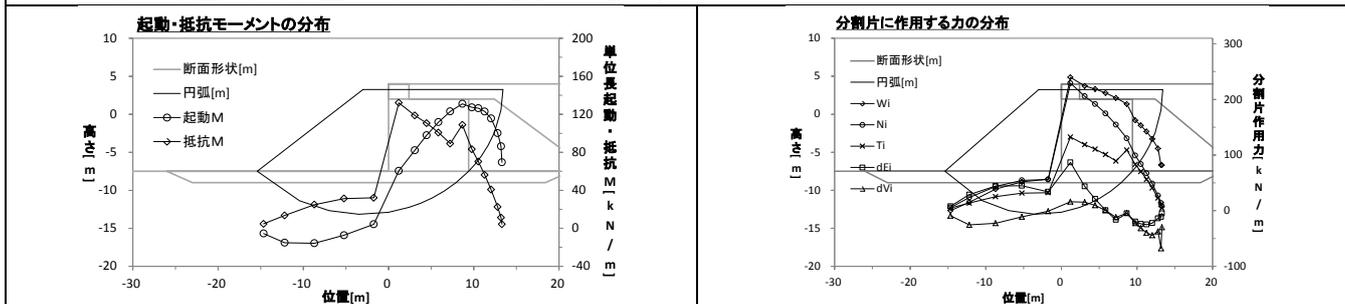
番号：0052 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



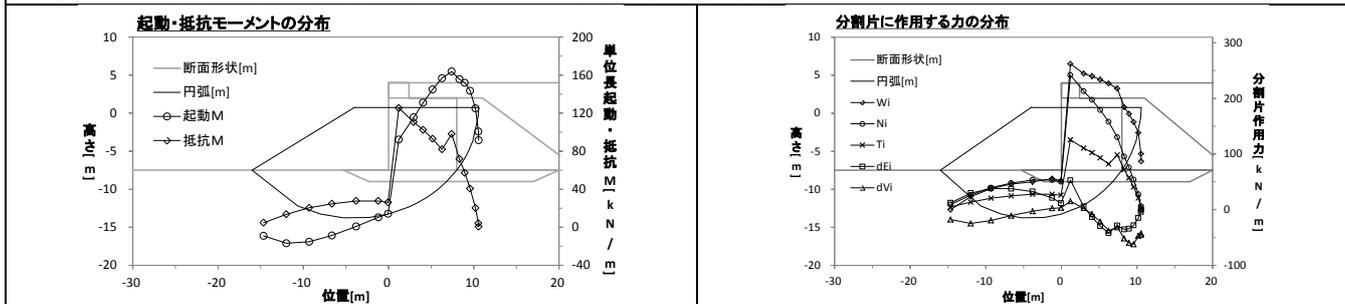
番号：0064 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



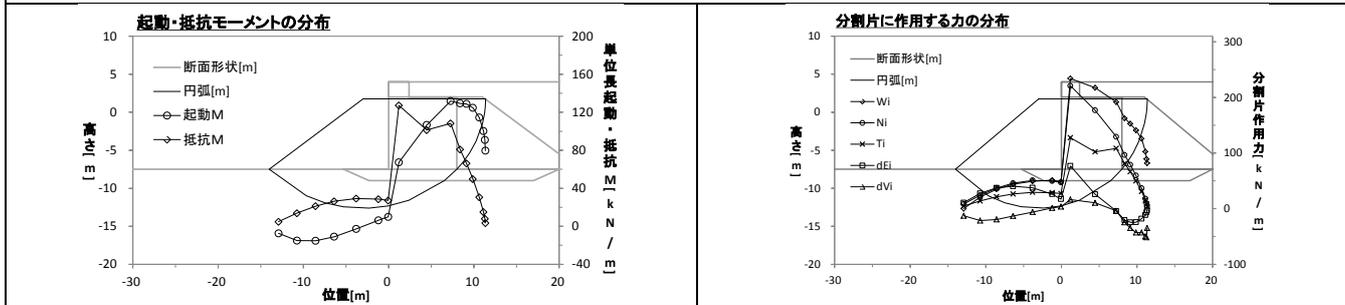
番号：1052 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1064 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

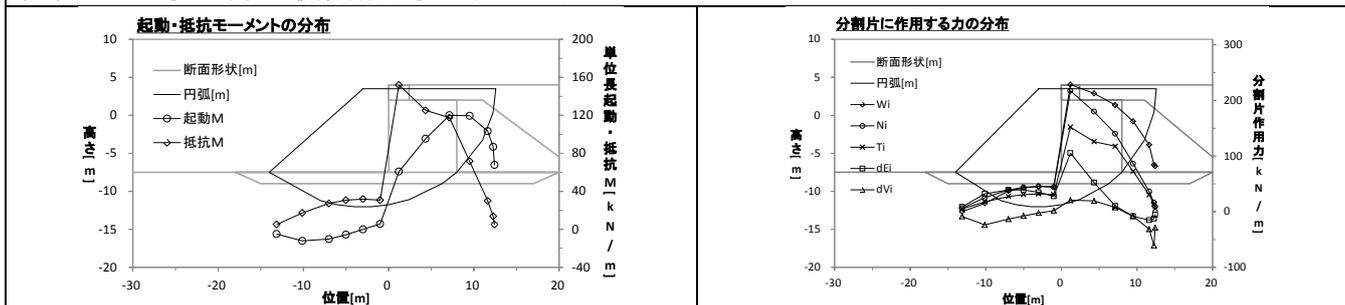


番号：2064 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

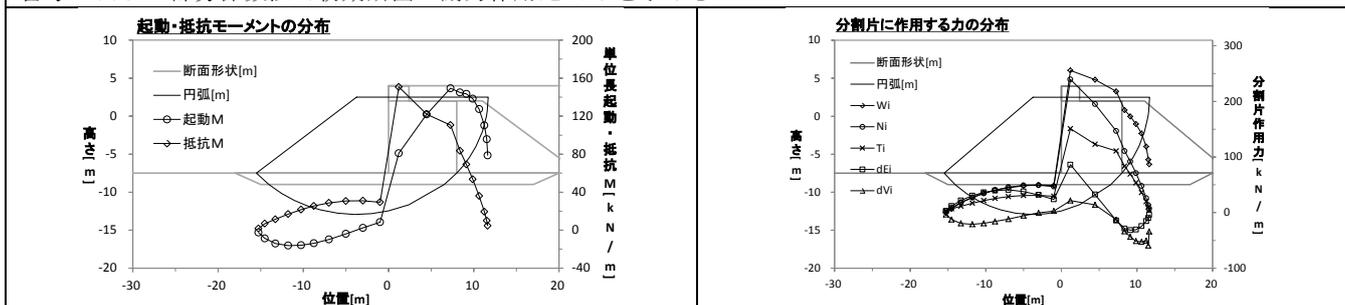


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

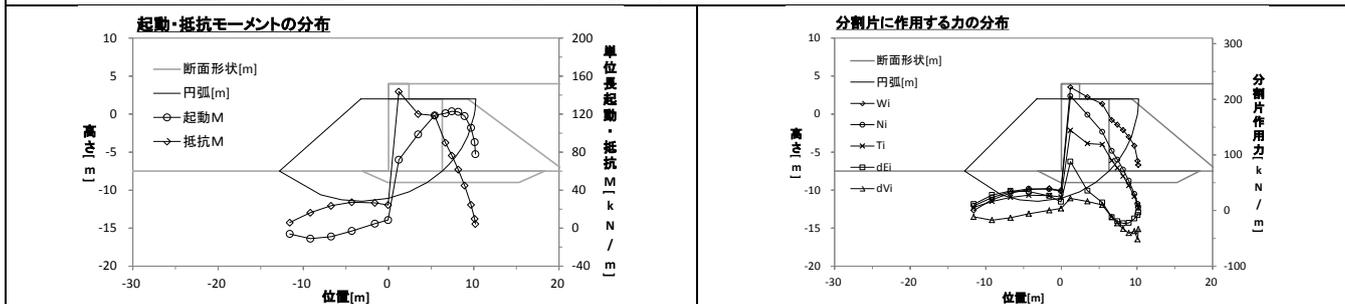
番号：0049 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



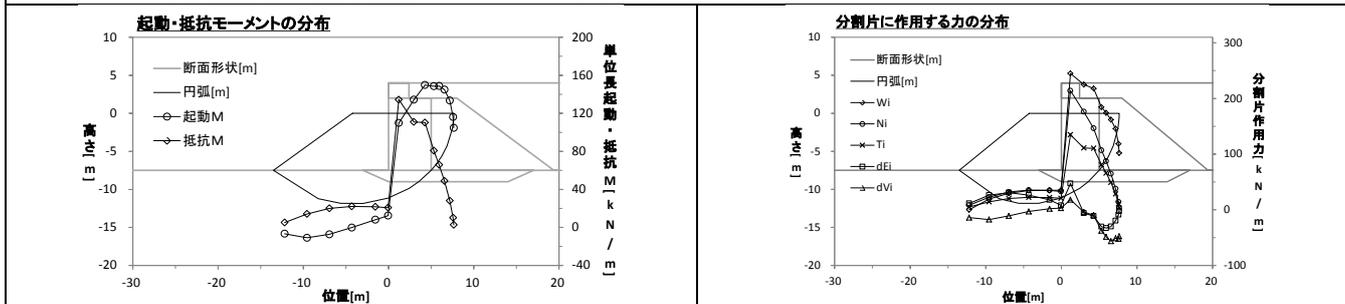
番号：0061 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



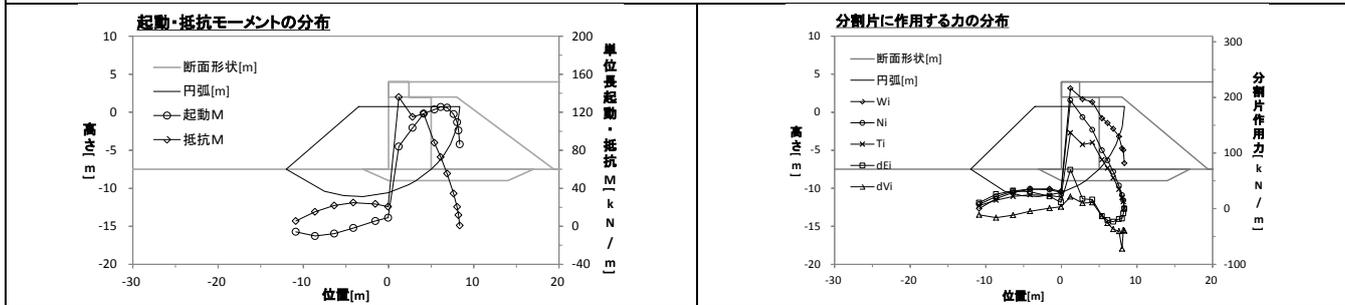
番号：1049 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1061 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

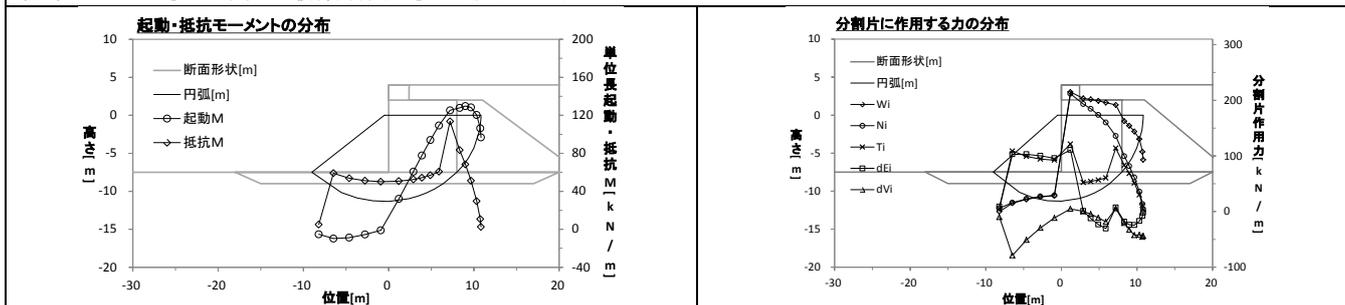


番号：2061 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

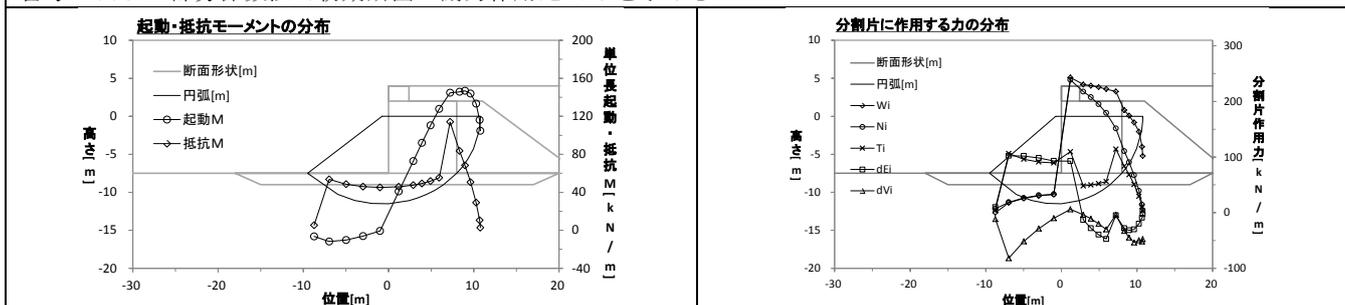


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

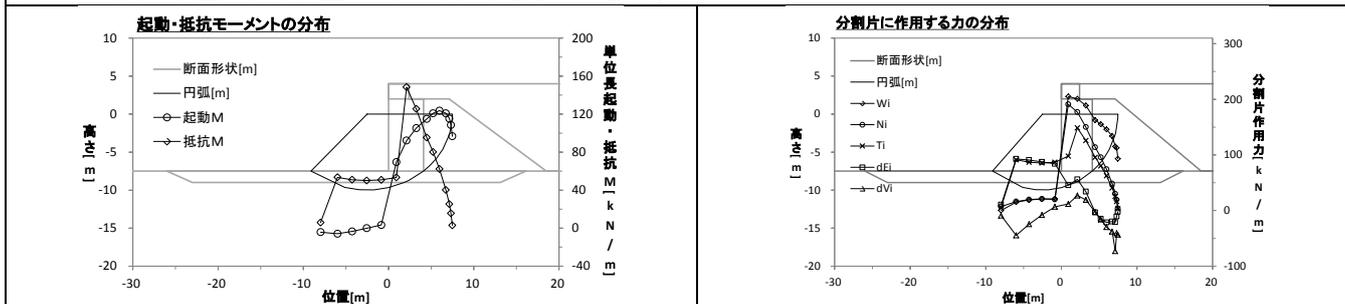
番号：0055 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



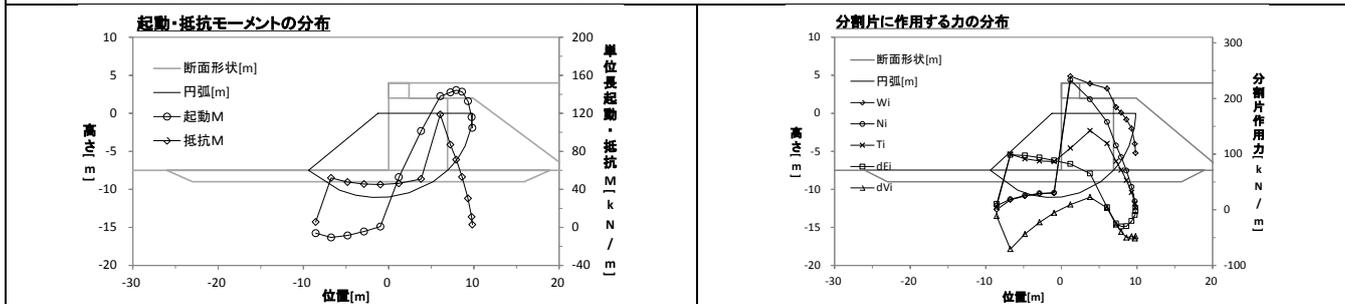
番号：0067 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



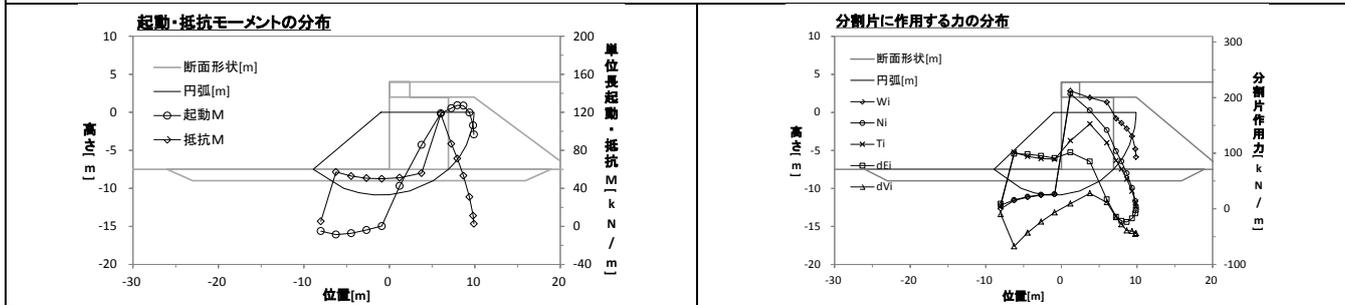
番号：1055 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1067 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

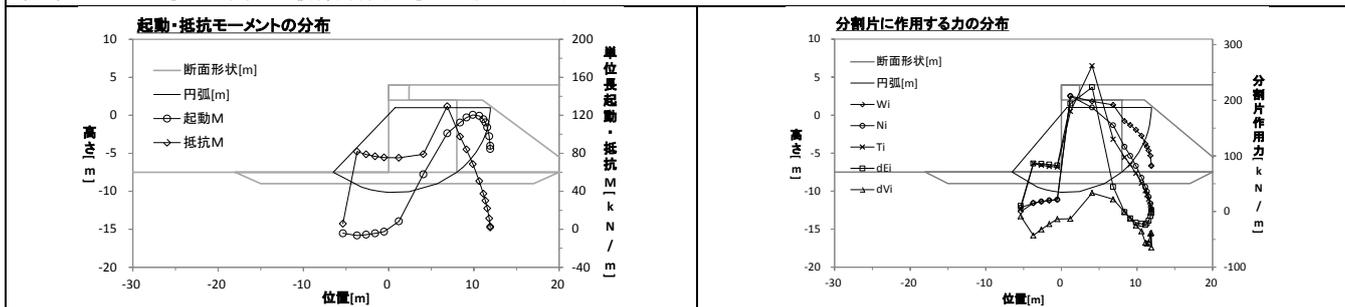


番号：2067 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

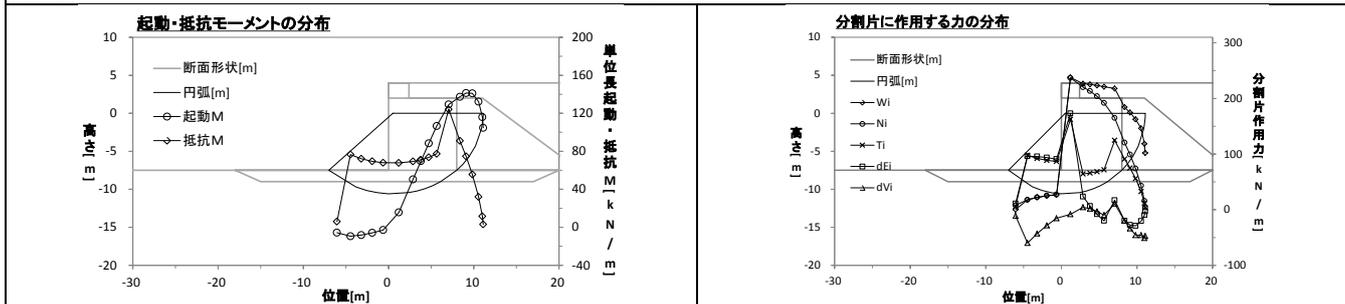


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

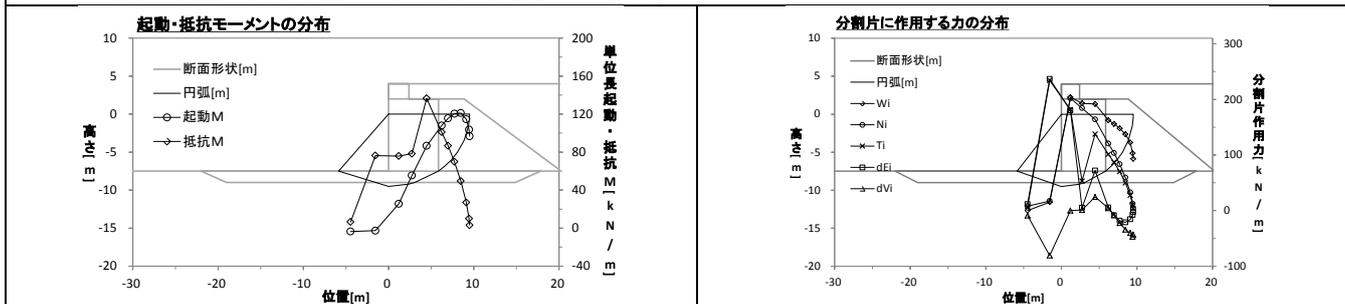
番号：0058 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



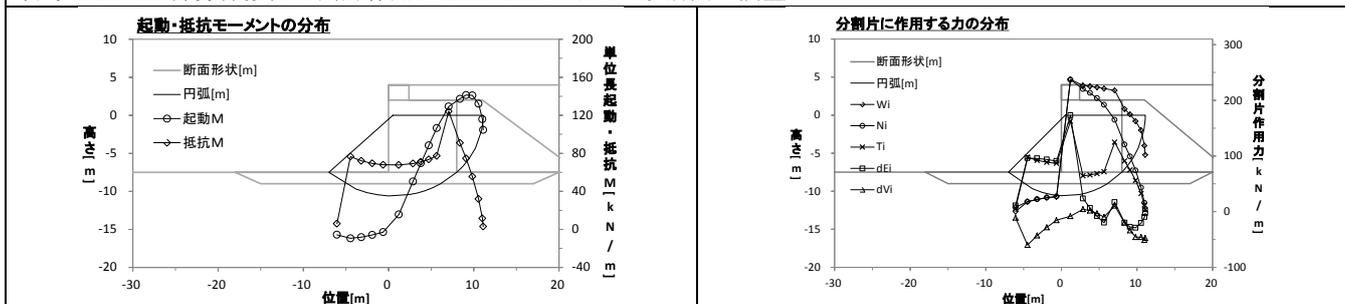
番号：0070 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



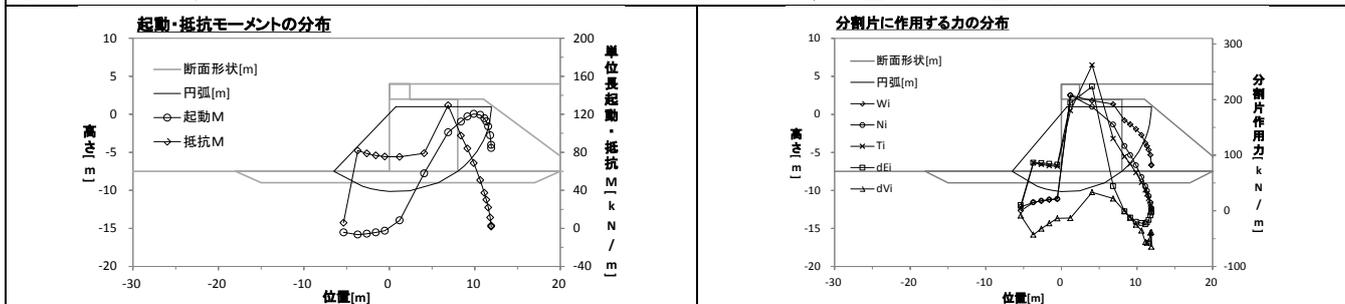
番号：1058 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1070 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

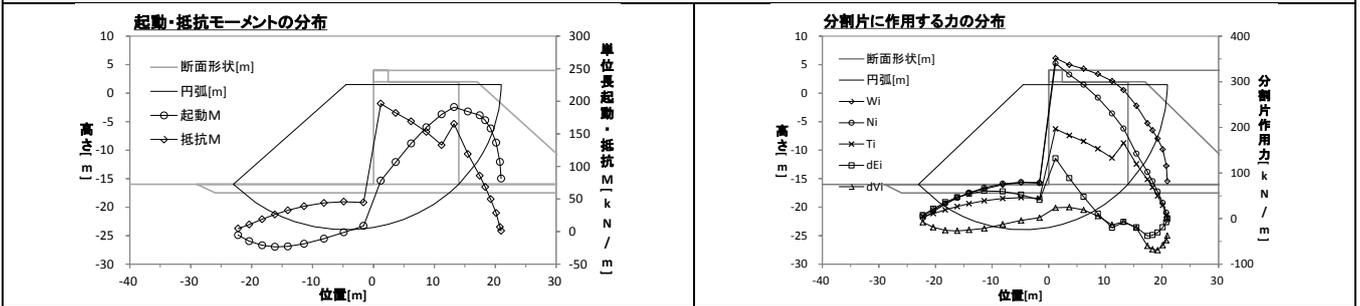


番号：2070 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

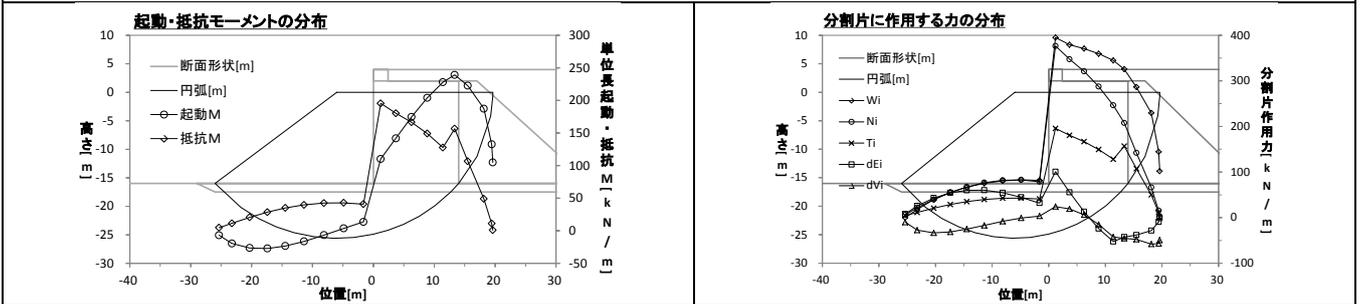


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

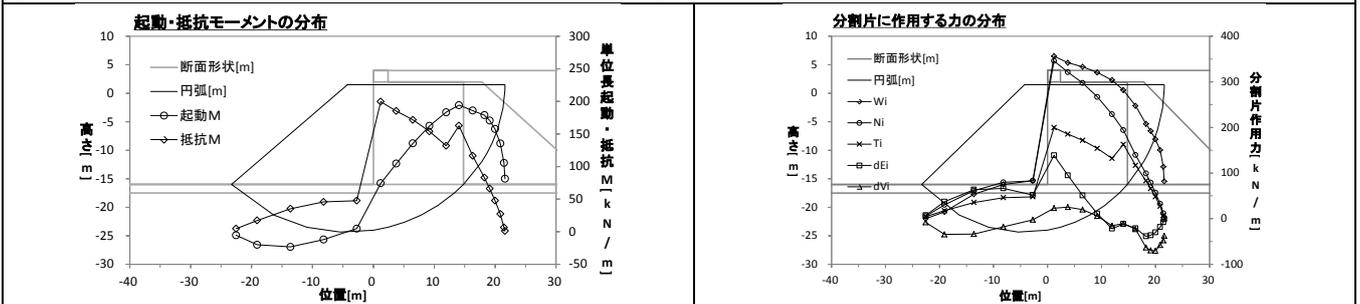
番号：0076 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



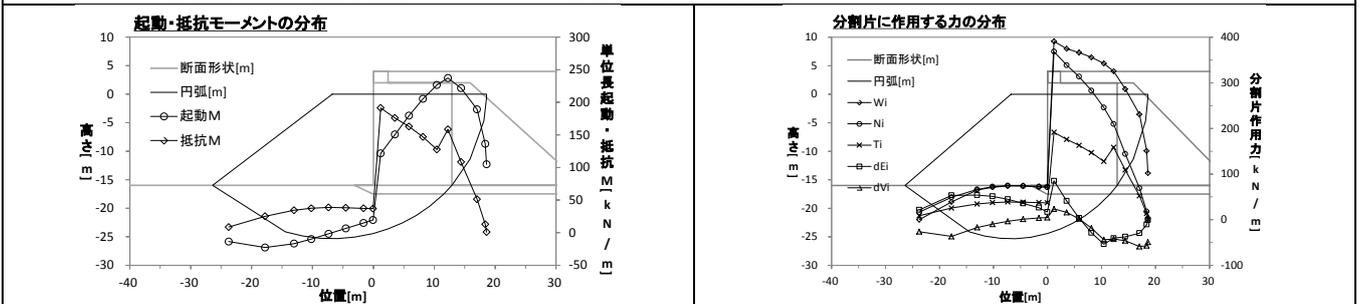
番号：0088 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



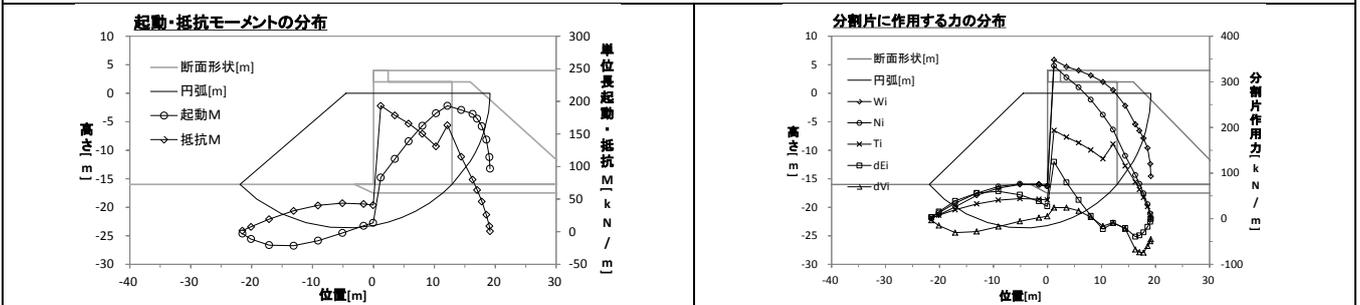
番号：1076 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1088 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

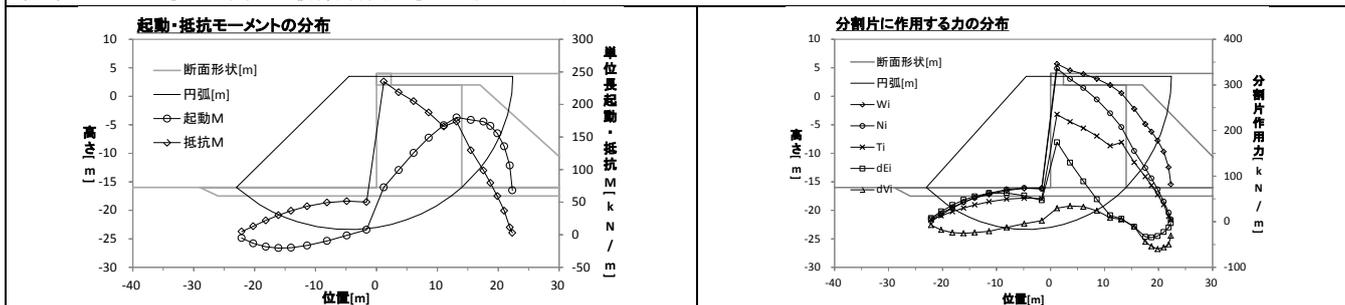


番号：2088 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

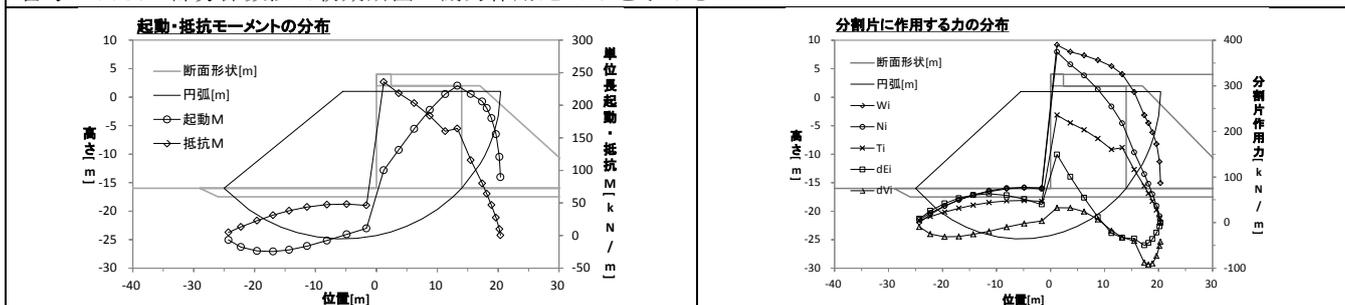


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

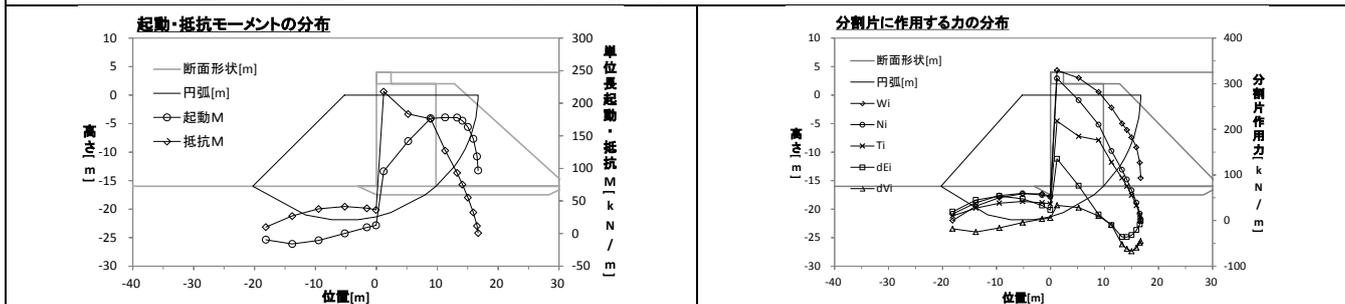
番号：0073 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



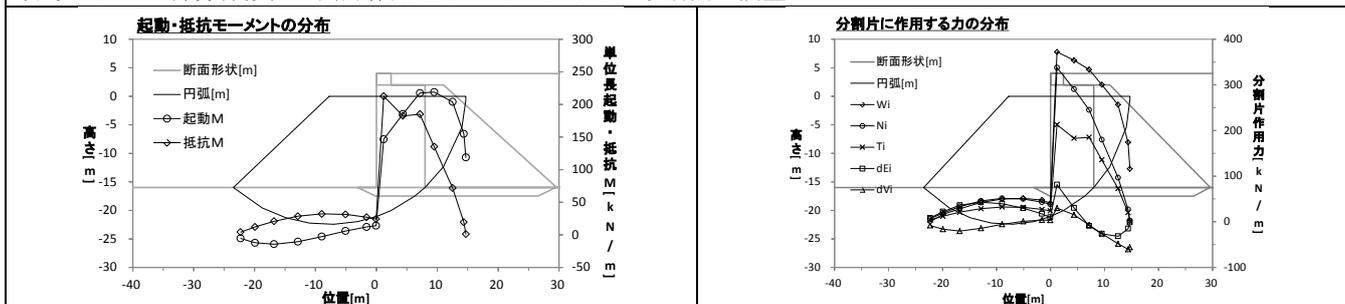
番号：0085 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



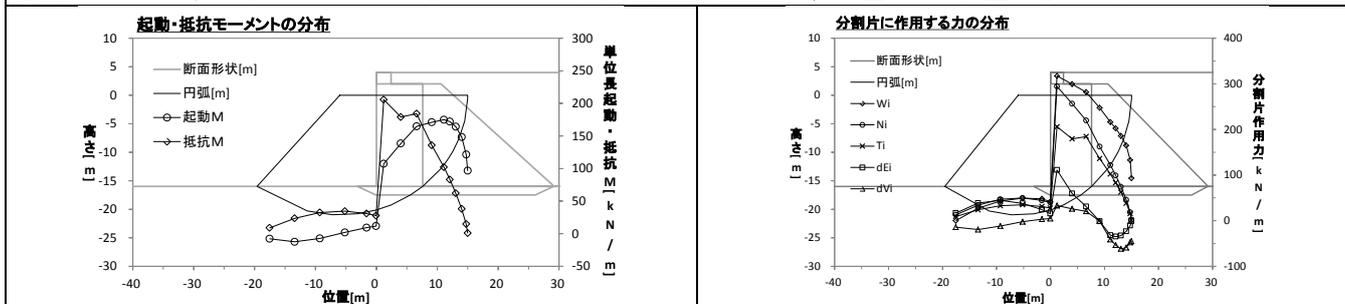
番号：1073 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1085 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

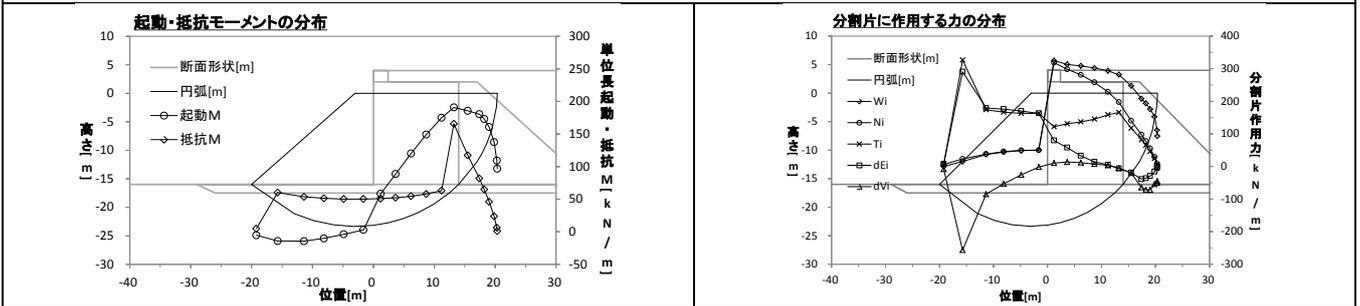


番号：2085 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

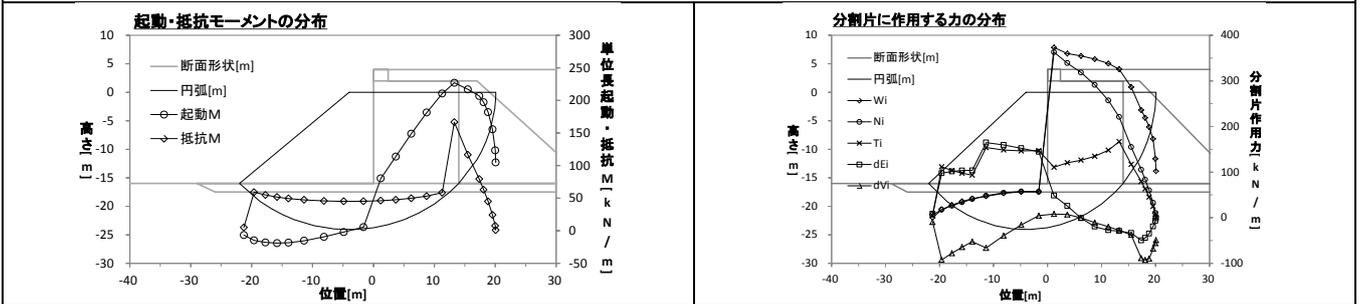


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

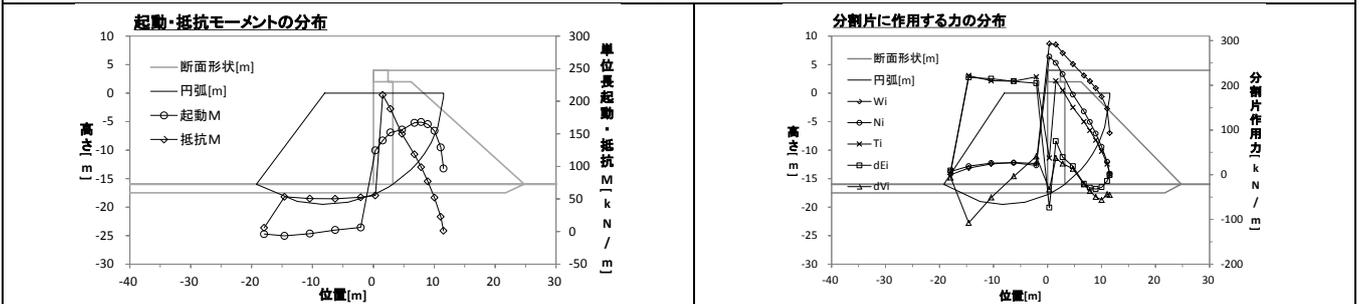
番号：0079 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



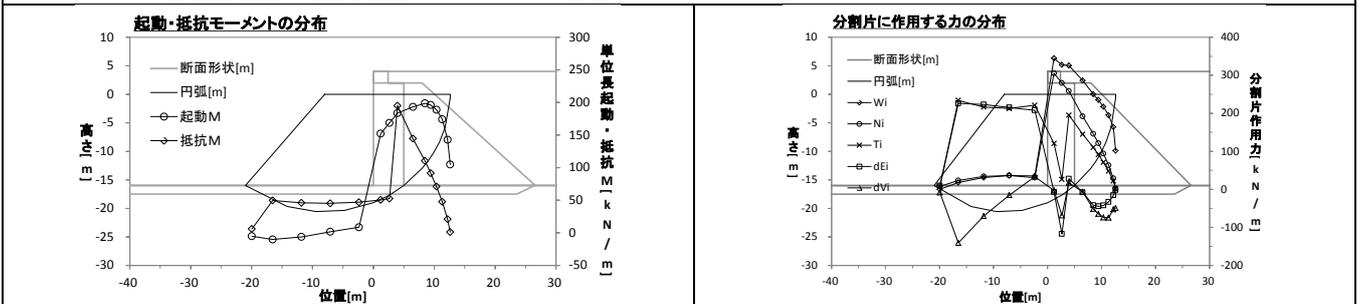
番号：0091 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



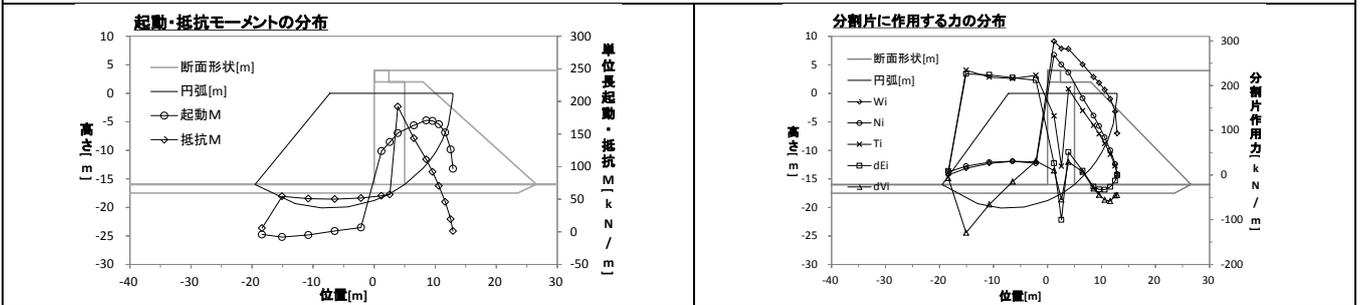
番号：1079 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1091 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

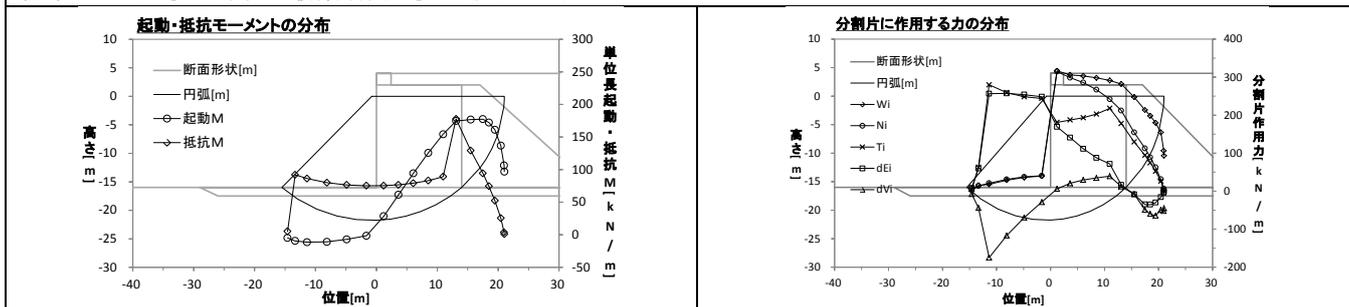


番号：2091 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

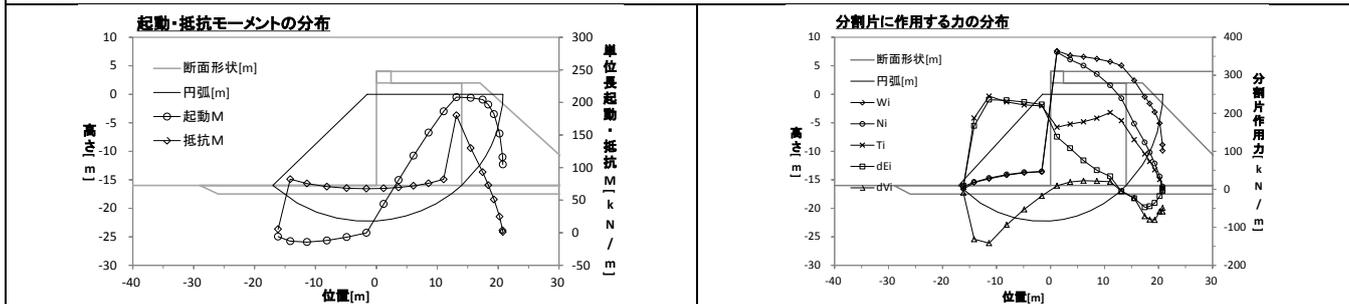


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

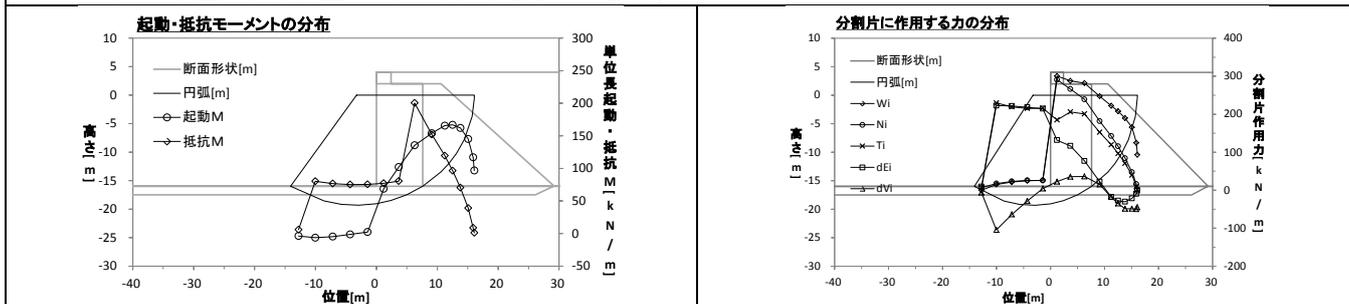
番号：0082 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



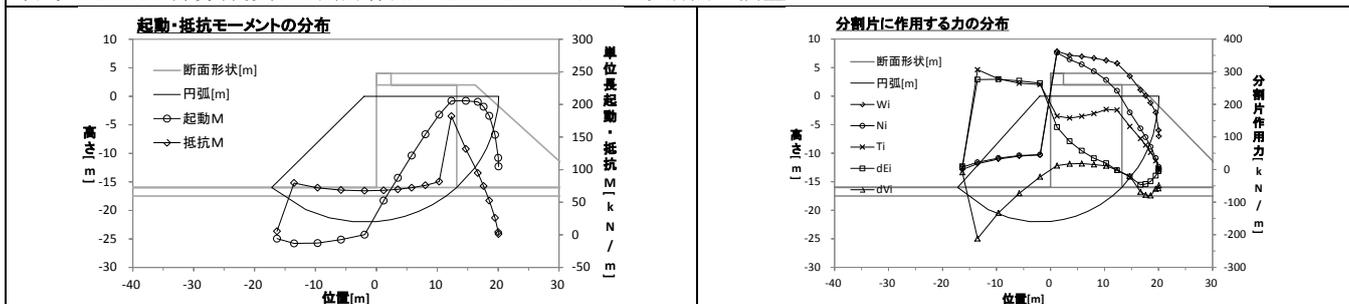
番号：0094 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



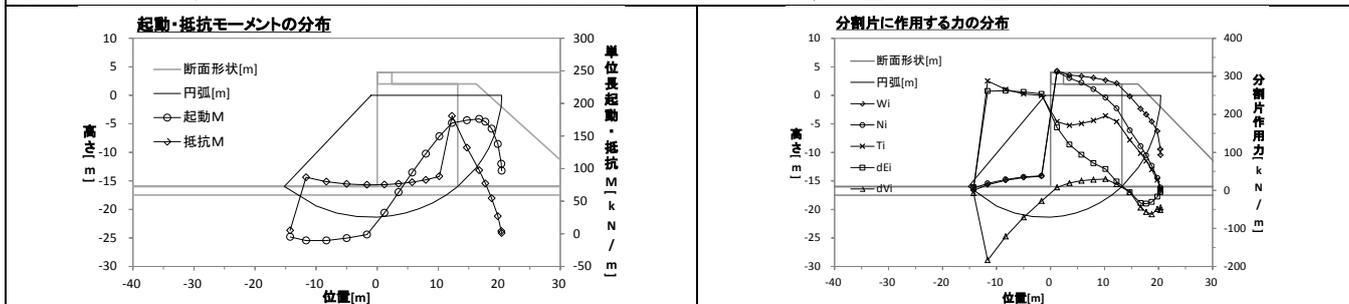
番号：1082 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1094 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

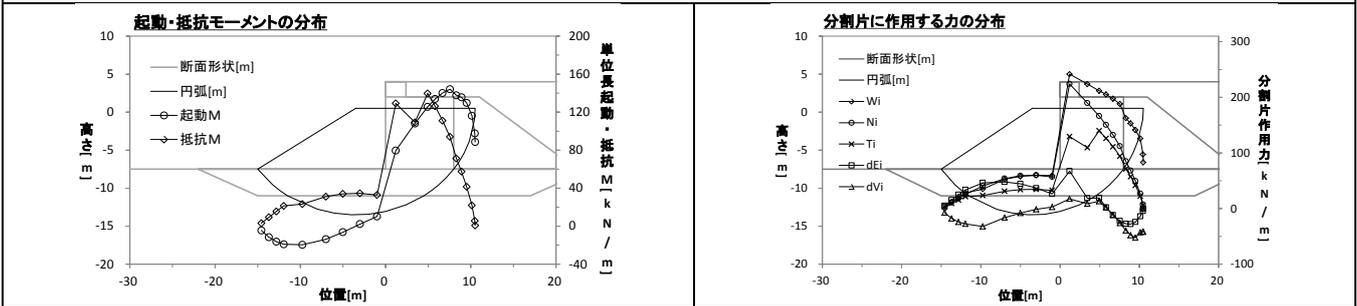


番号：2094 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

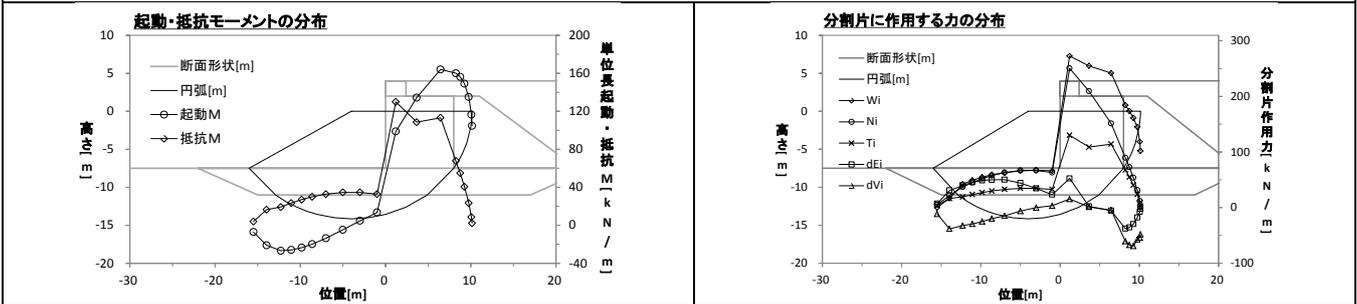


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

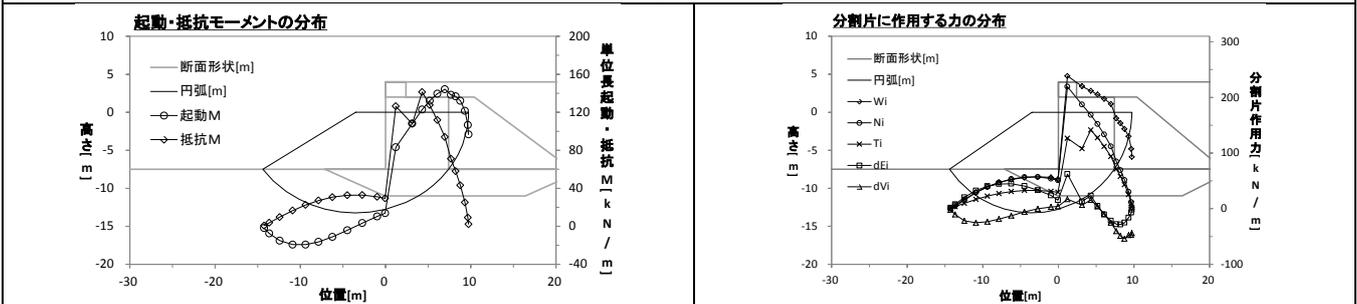
番号：0053 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



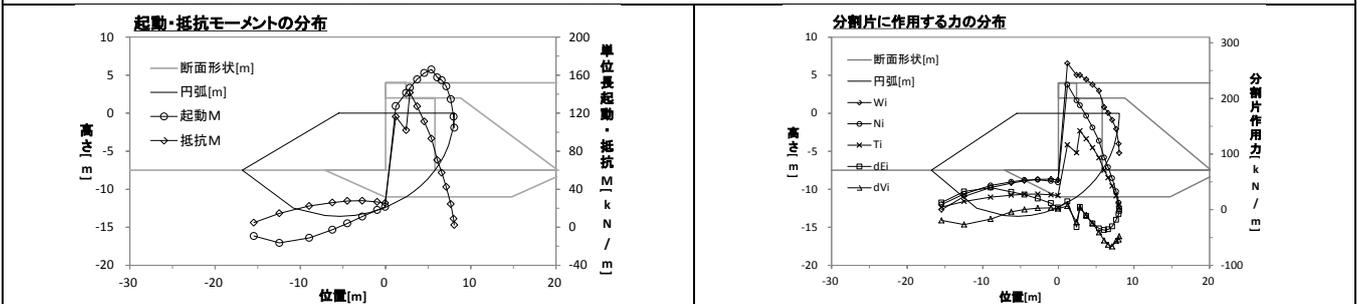
番号：0065 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



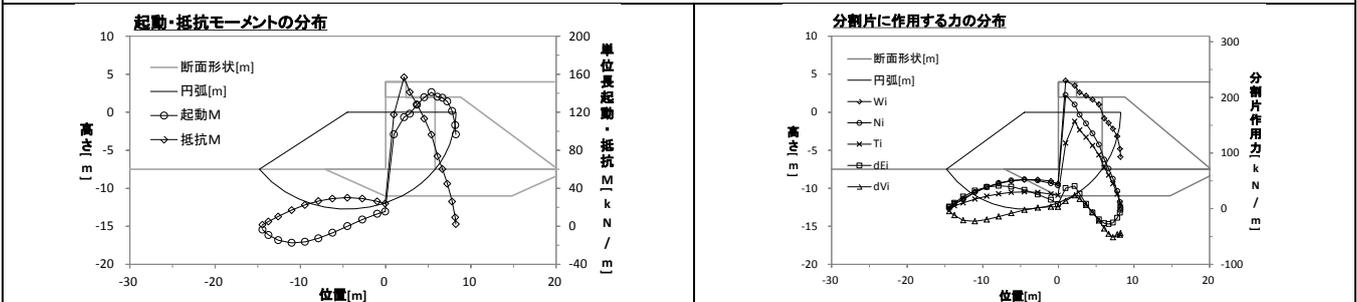
番号：1053 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1065 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

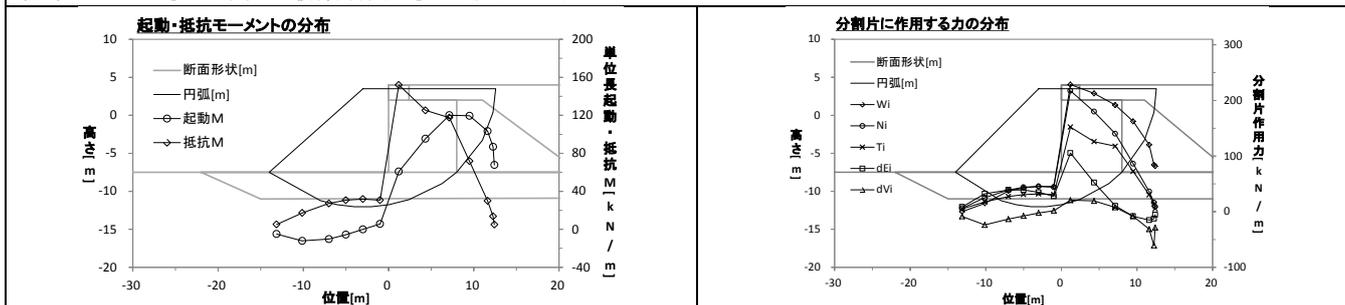


番号：2065 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

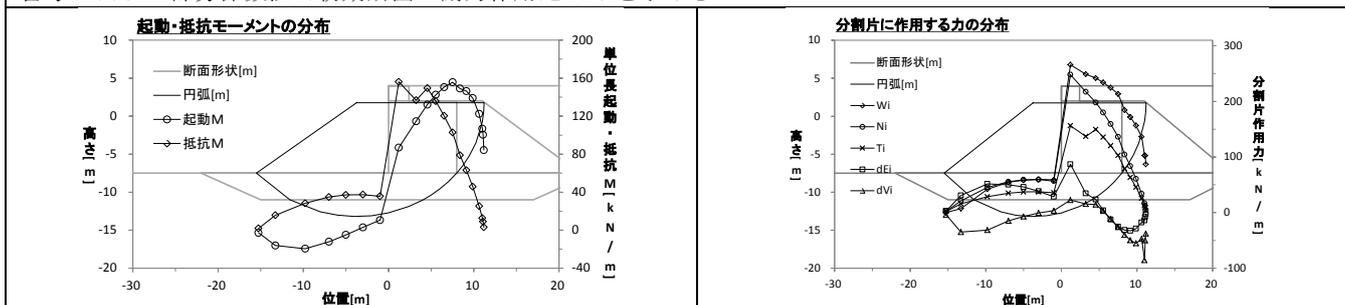


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

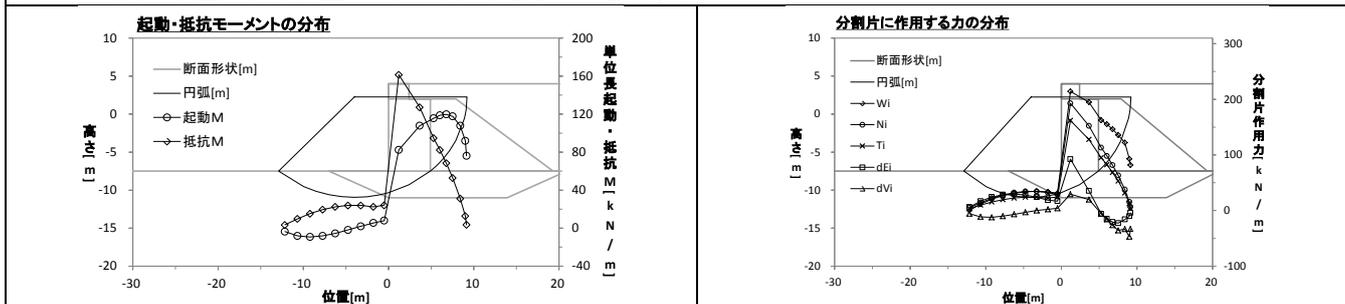
番号：0050 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



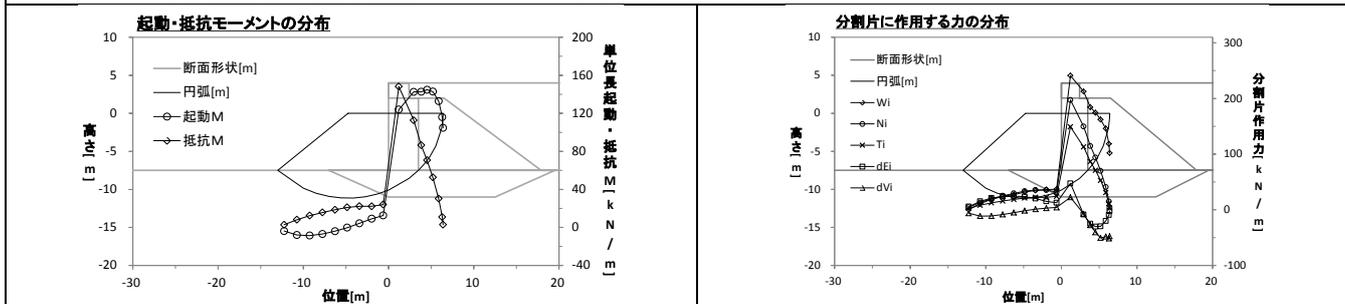
番号：0062 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



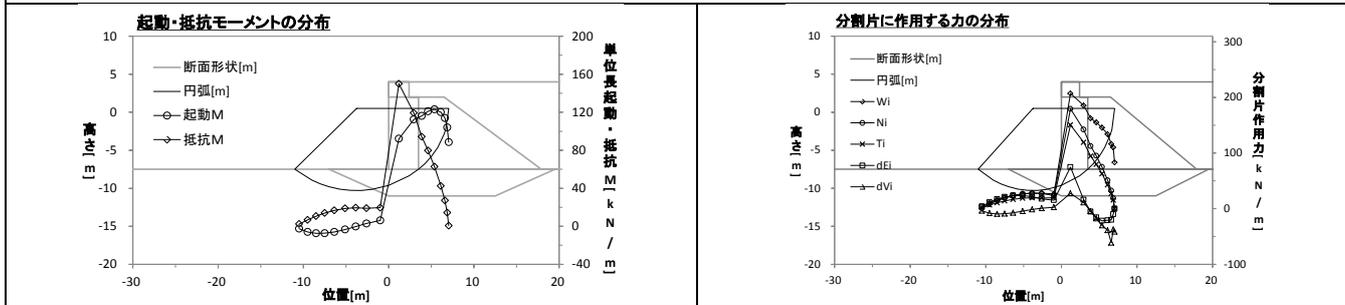
番号：1050 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1062 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

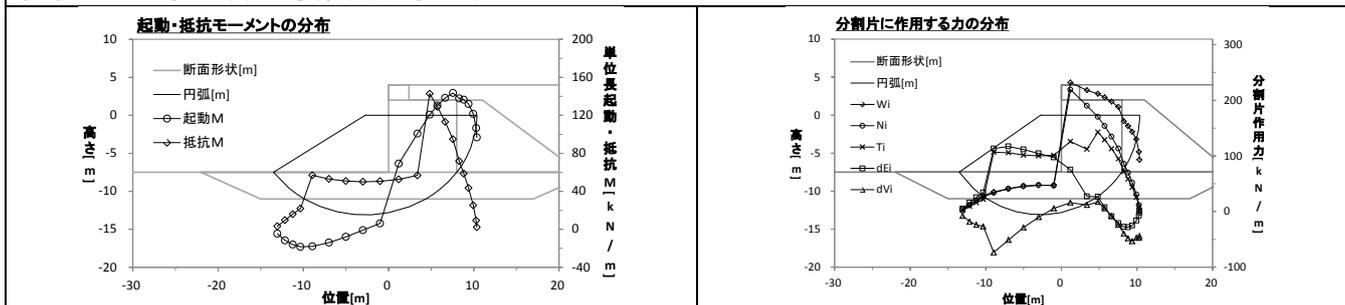


番号：2062 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

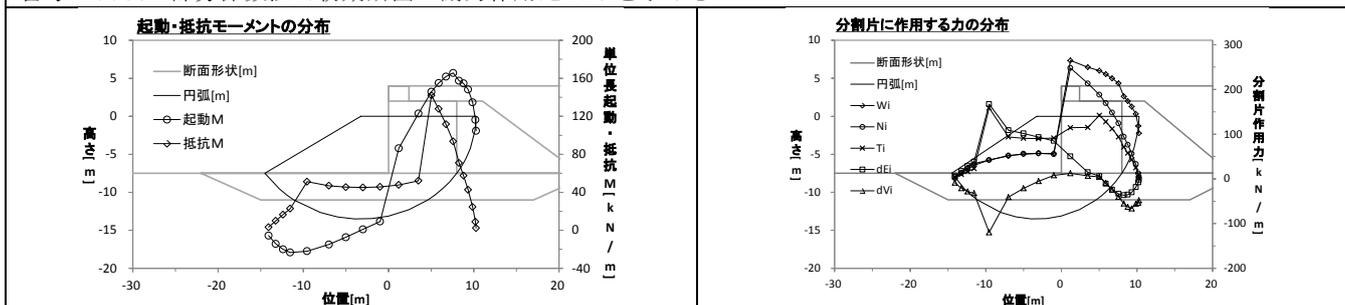


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

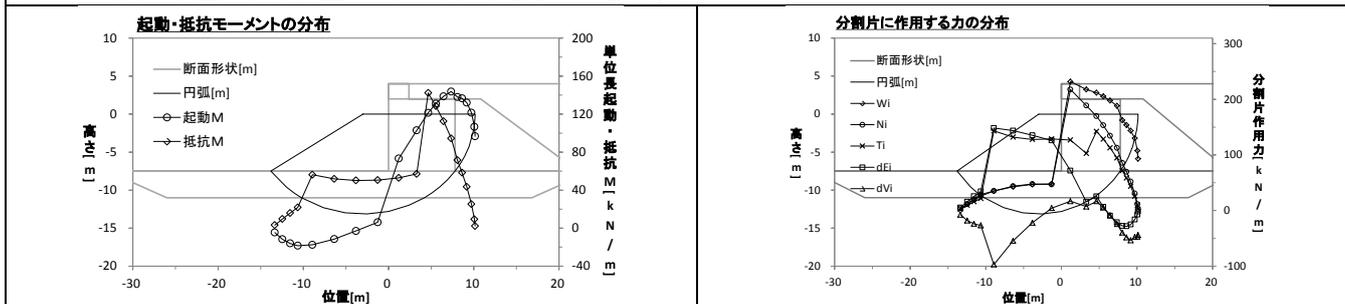
番号：0056 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



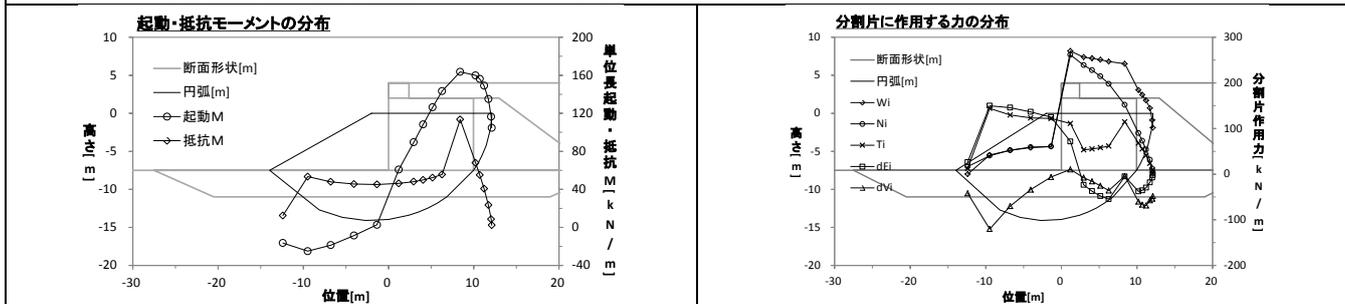
番号：0068 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



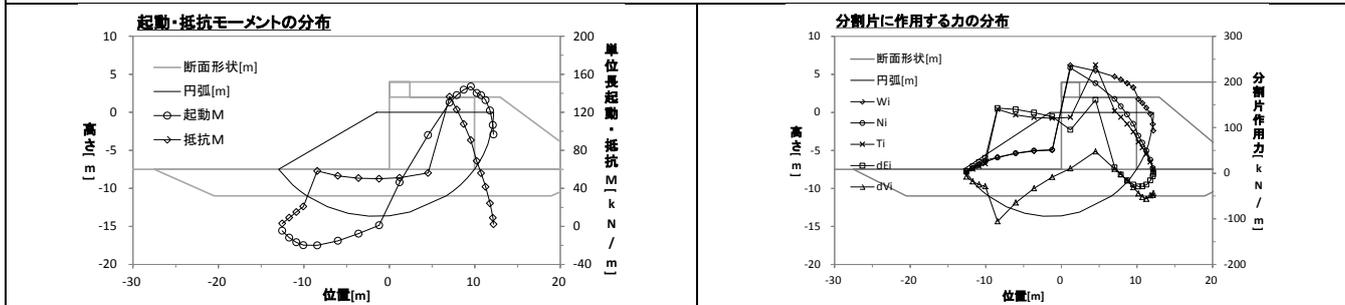
番号：1056 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1068 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

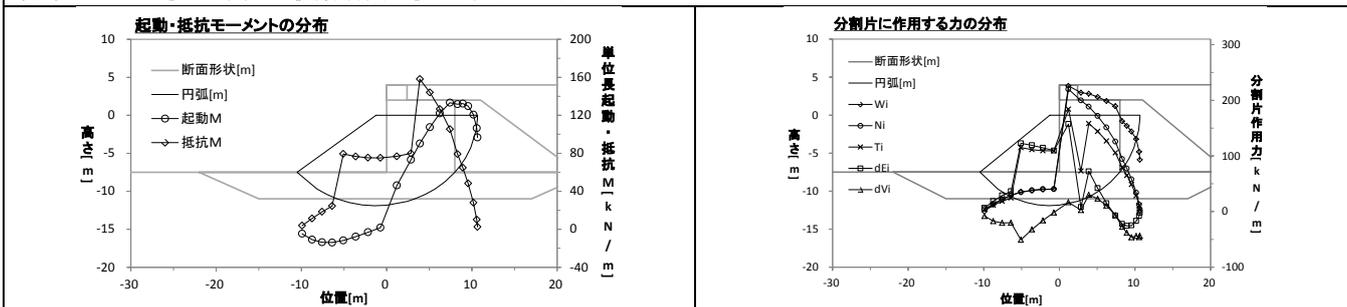


番号：2068 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

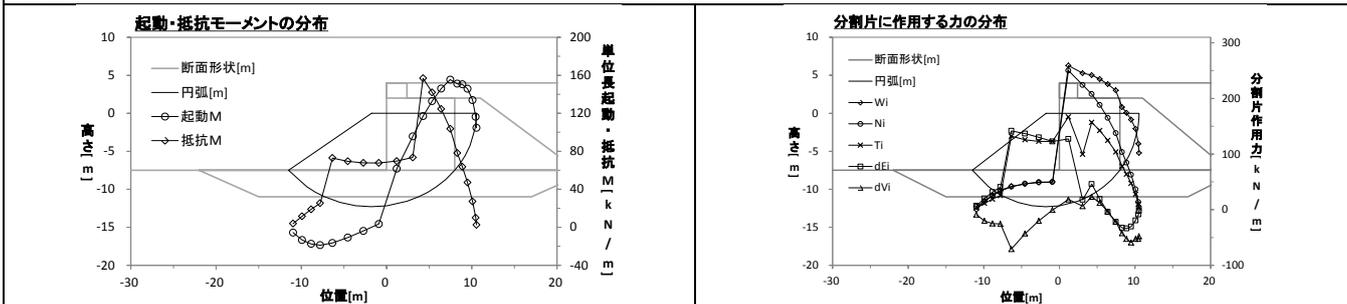


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

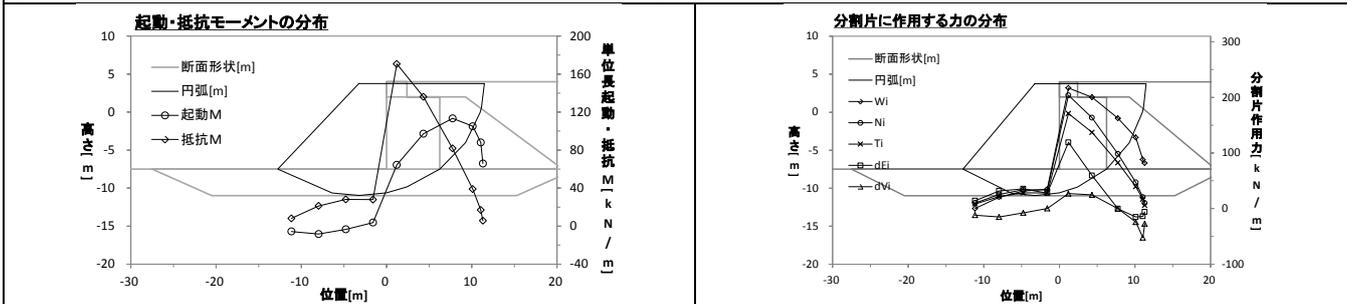
番号：0059 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



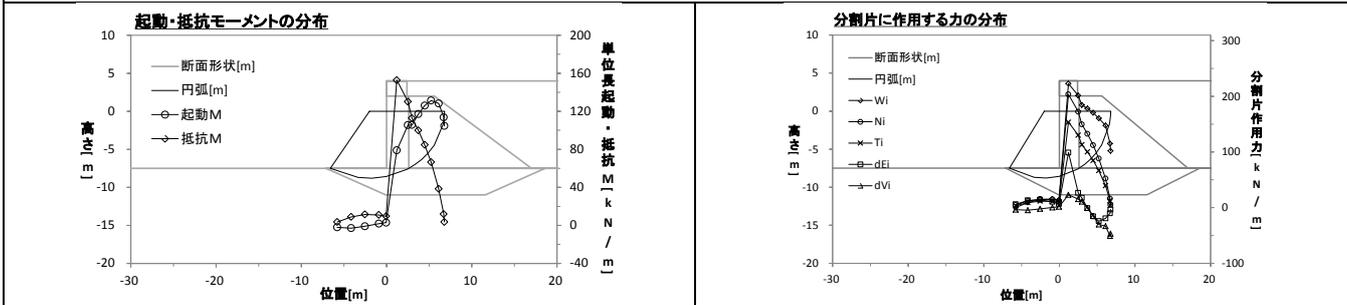
番号：0071 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



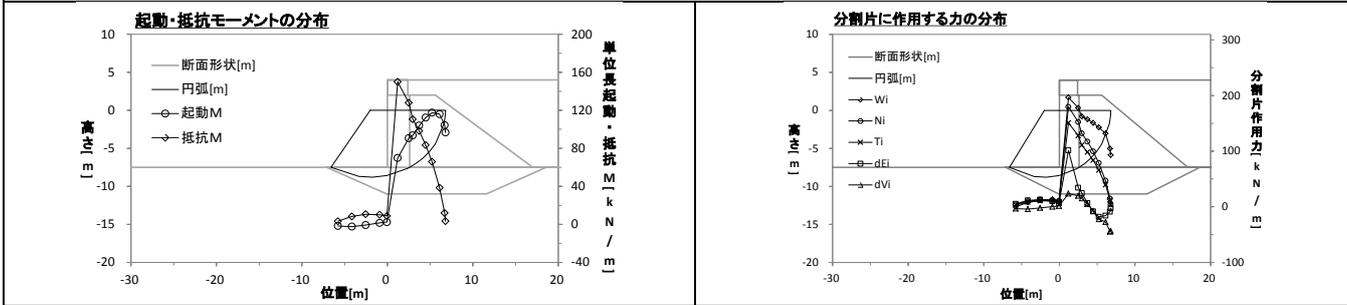
番号：1059 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1071 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

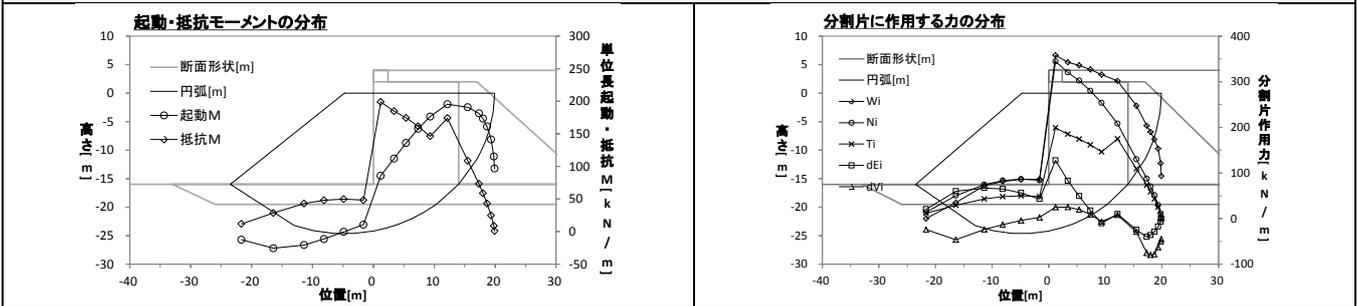


番号：2071 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

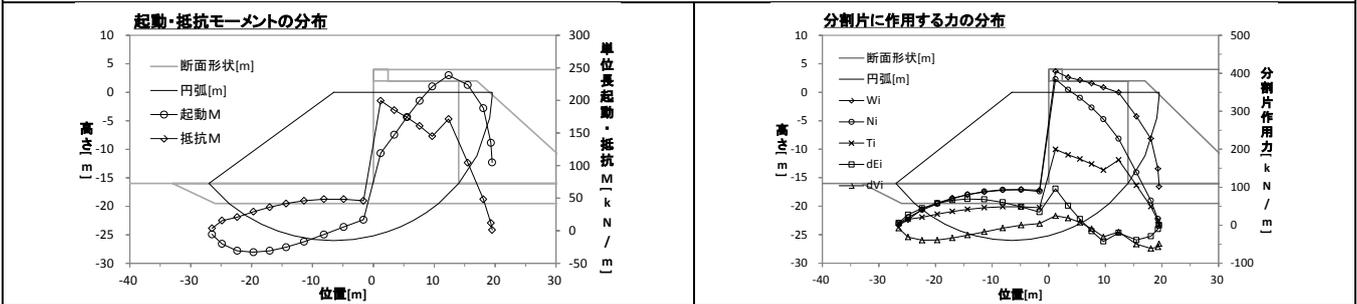


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

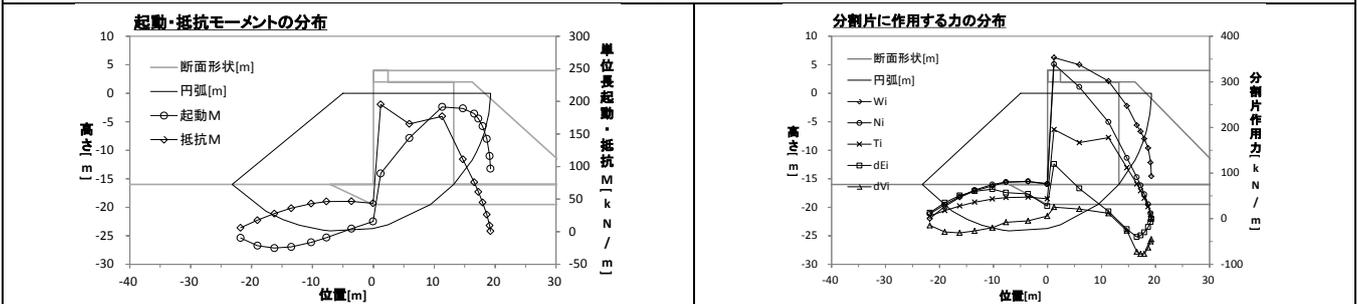
番号：0077 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



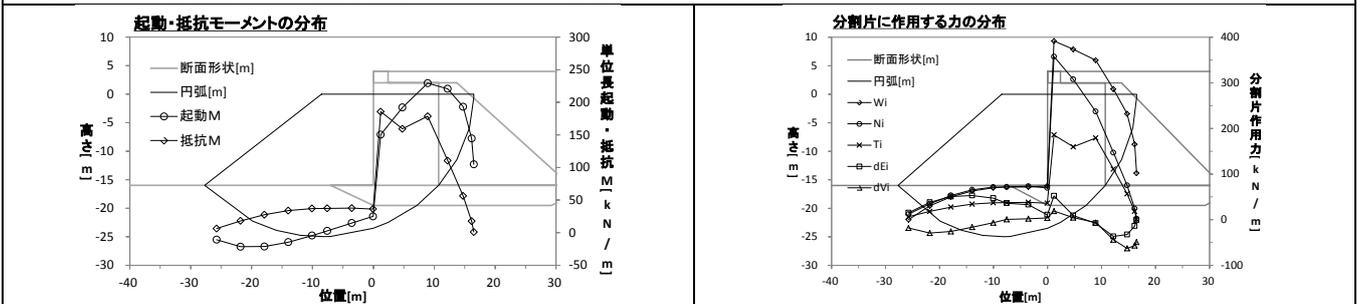
番号：0089 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



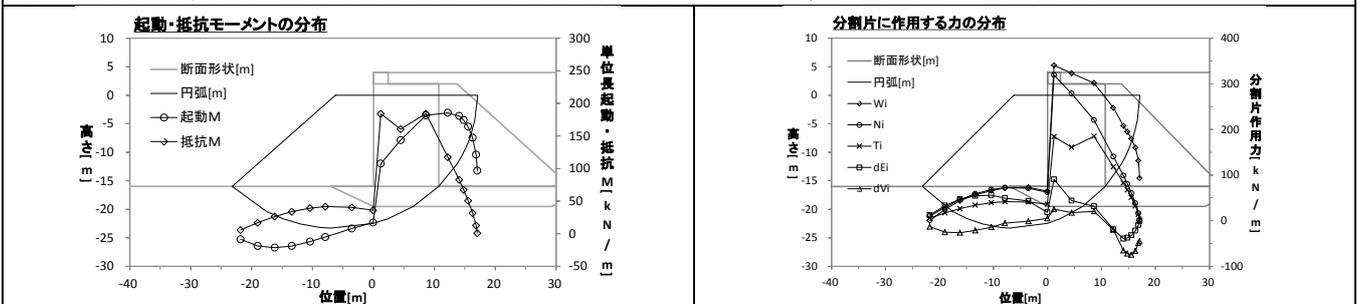
番号：1077 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1089 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

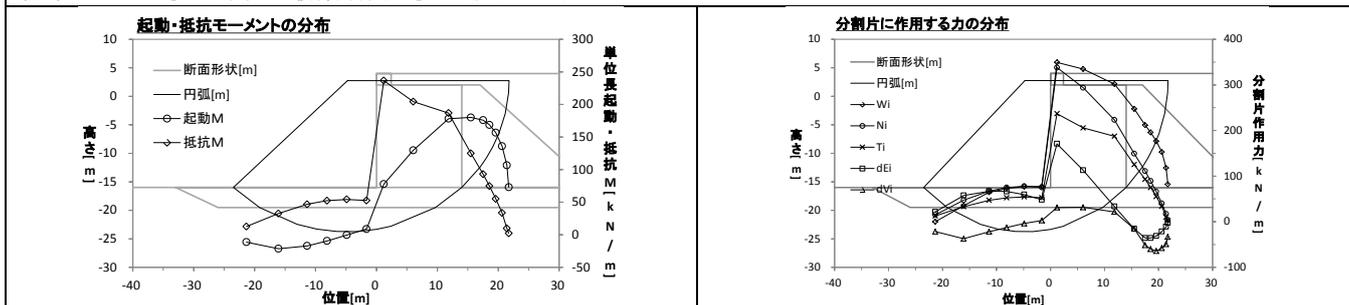


番号：2089 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

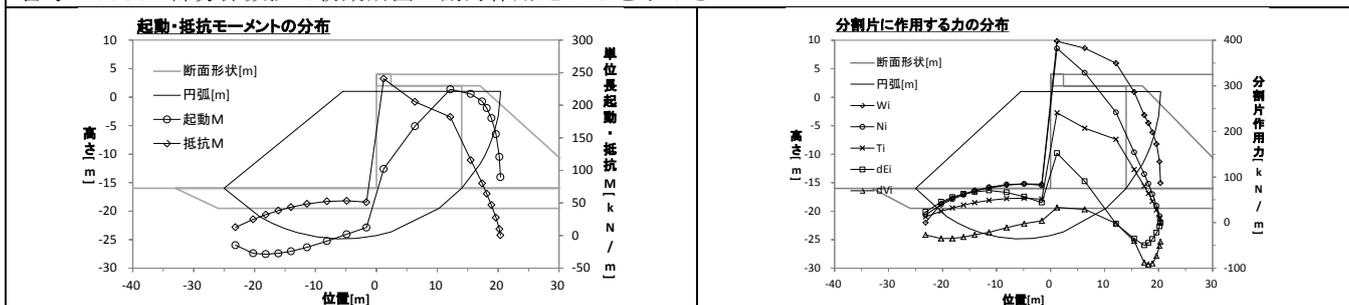


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

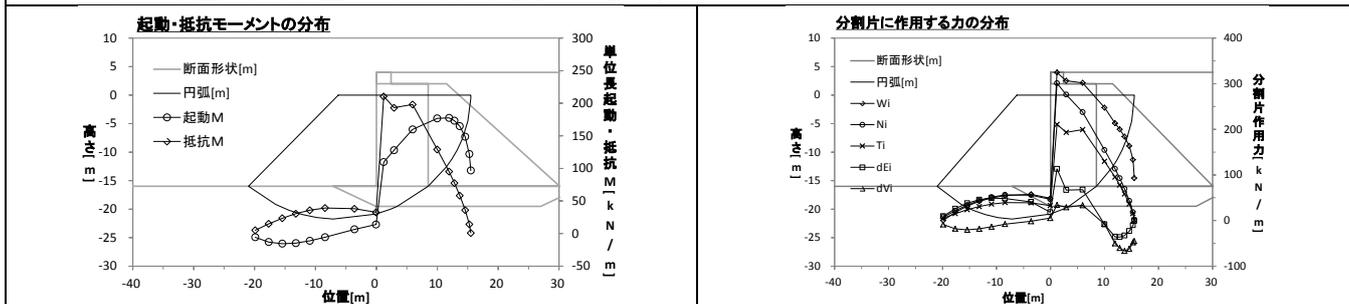
番号：0074 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



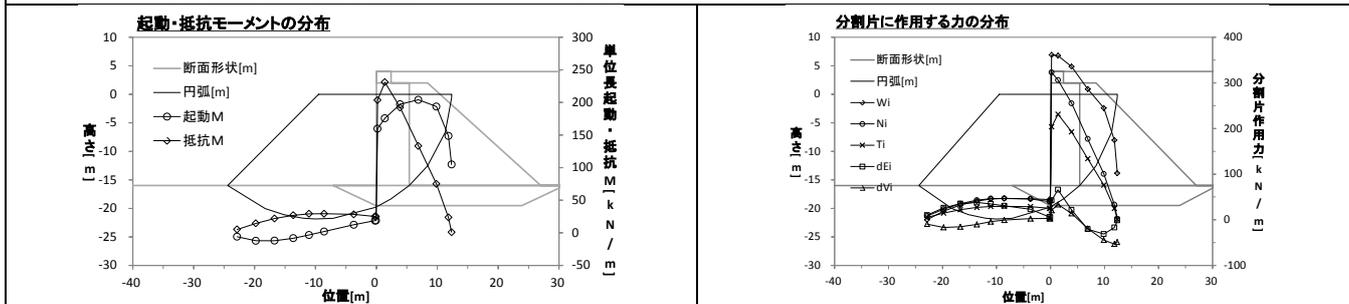
番号：0086 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



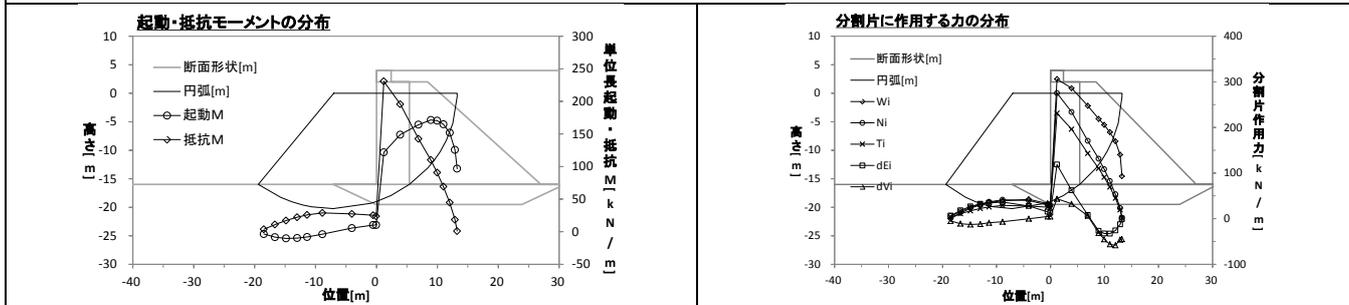
番号：1074 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1086 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

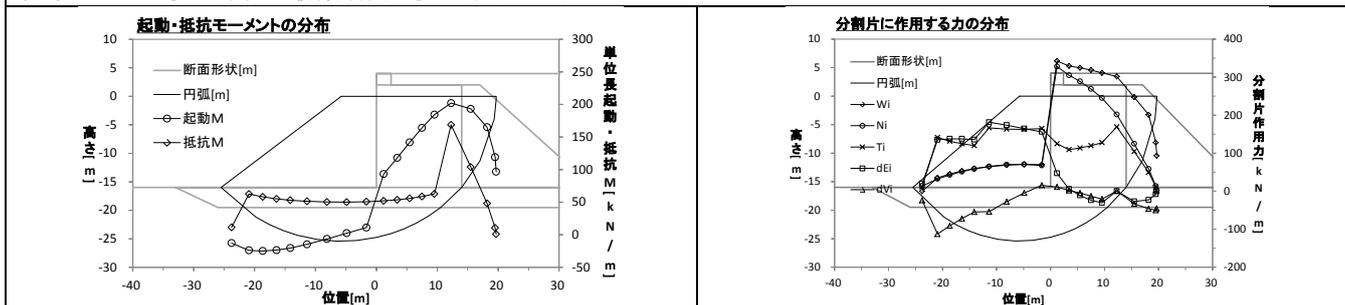


番号：2086 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

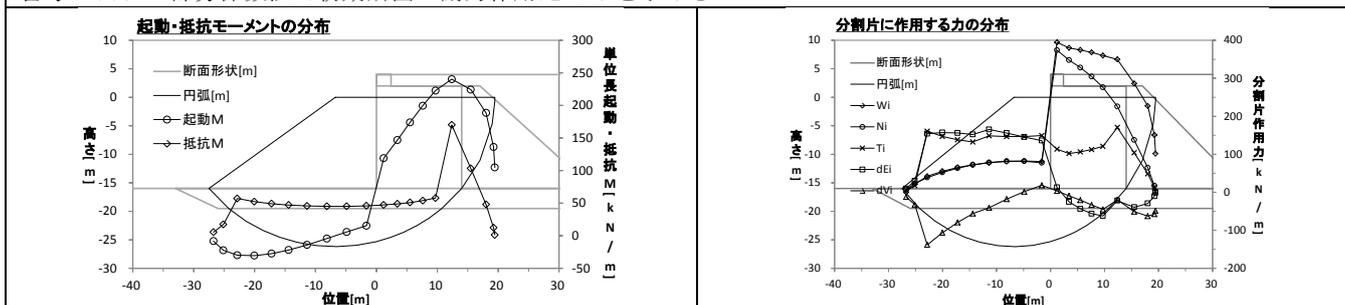


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

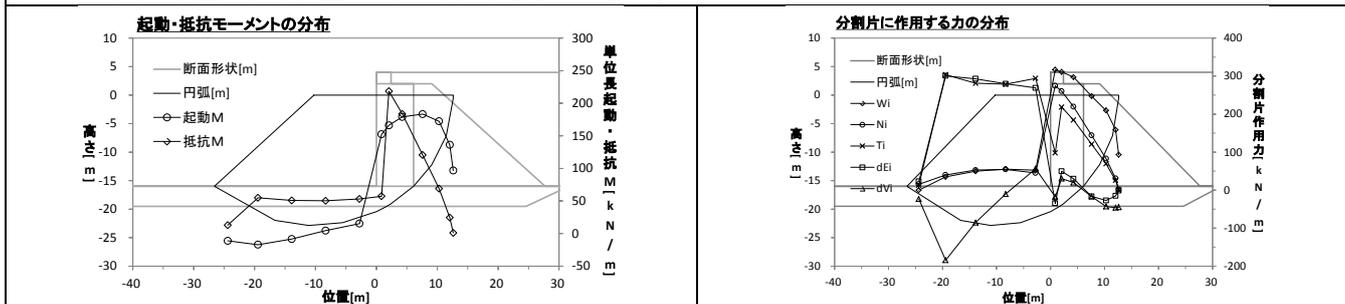
番号：0080 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



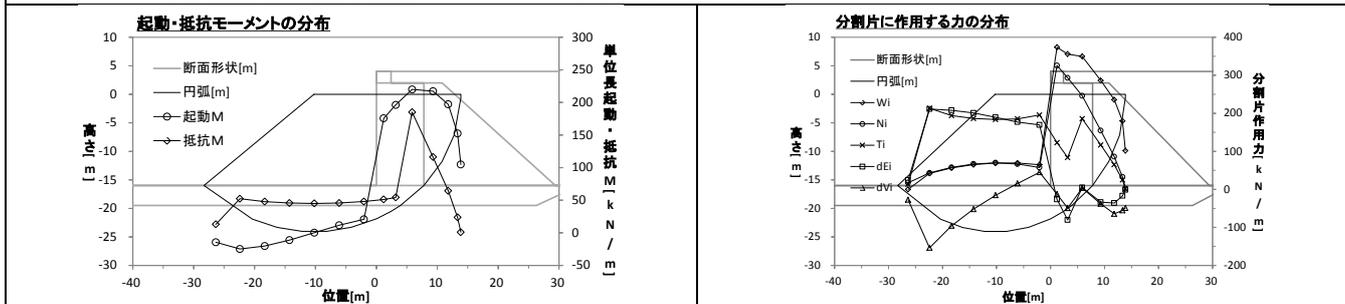
番号：0092 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



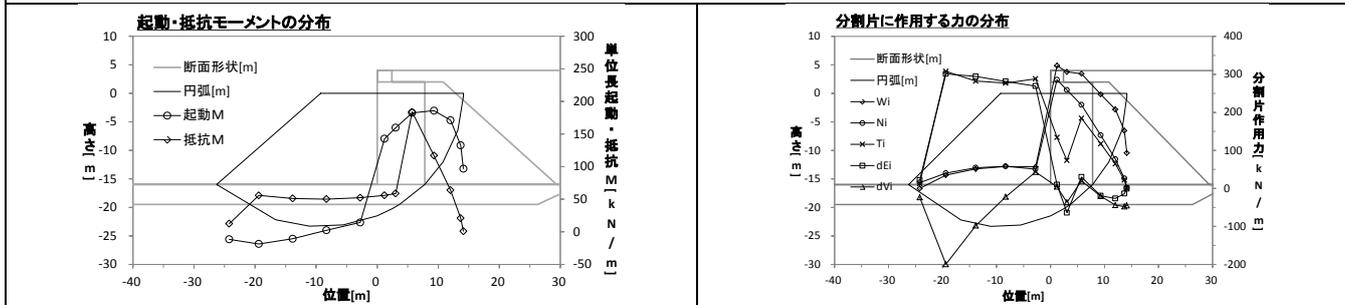
番号：1080 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1092 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

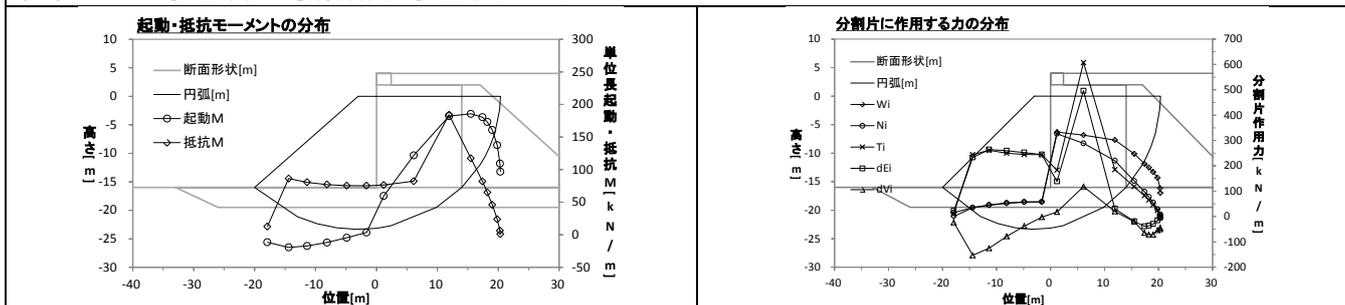


番号：2092 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

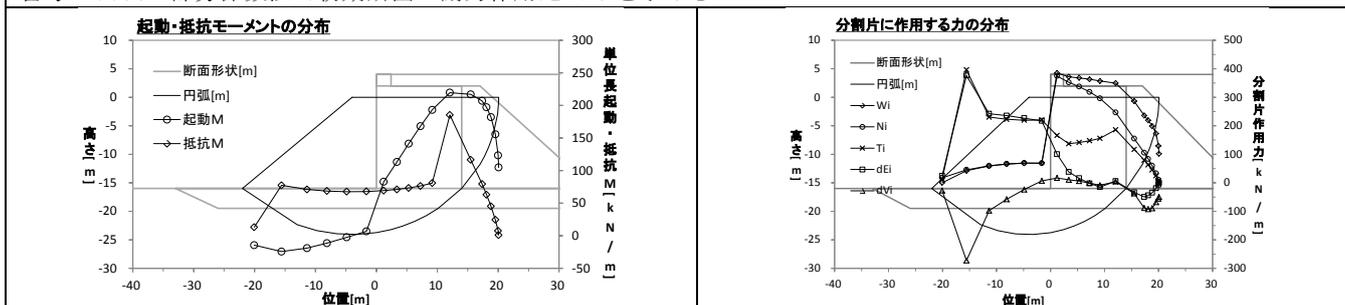


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

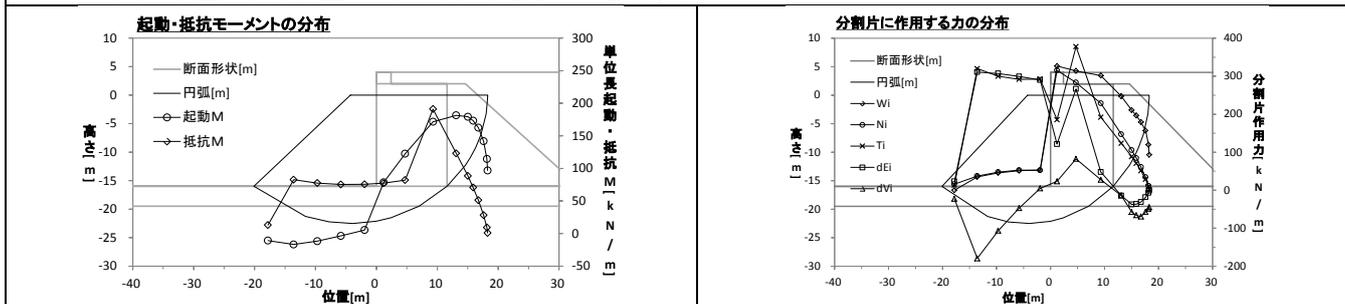
番号：0083 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



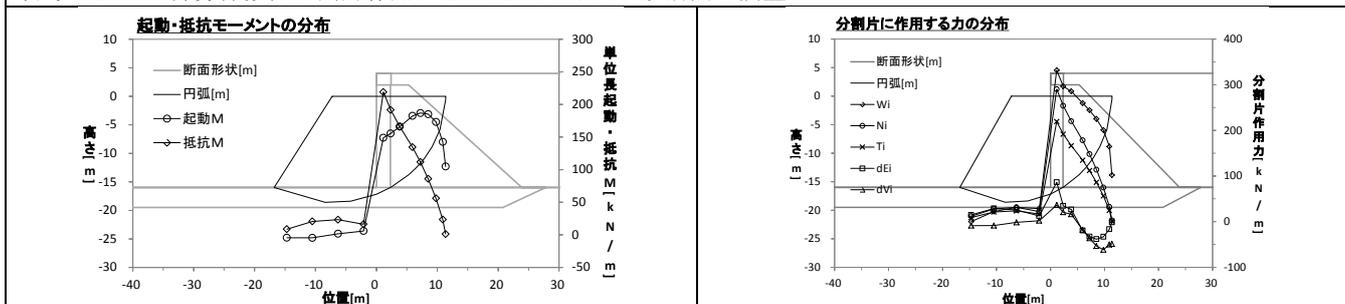
番号：0095 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



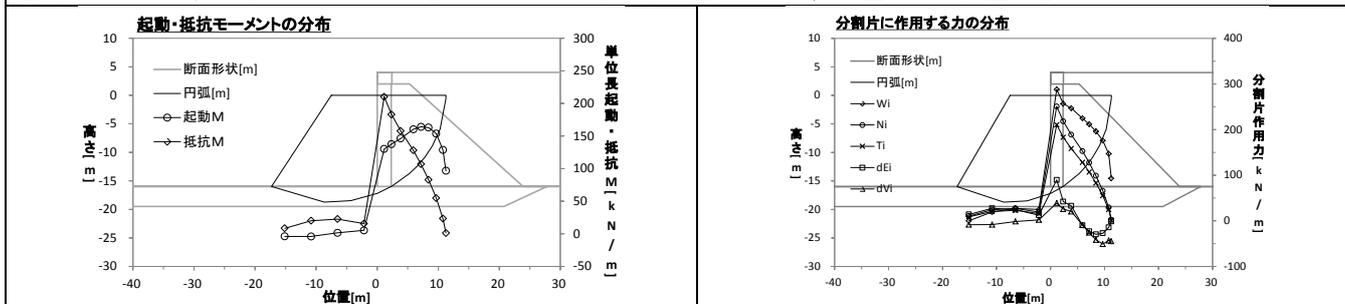
番号：1083 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1095 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

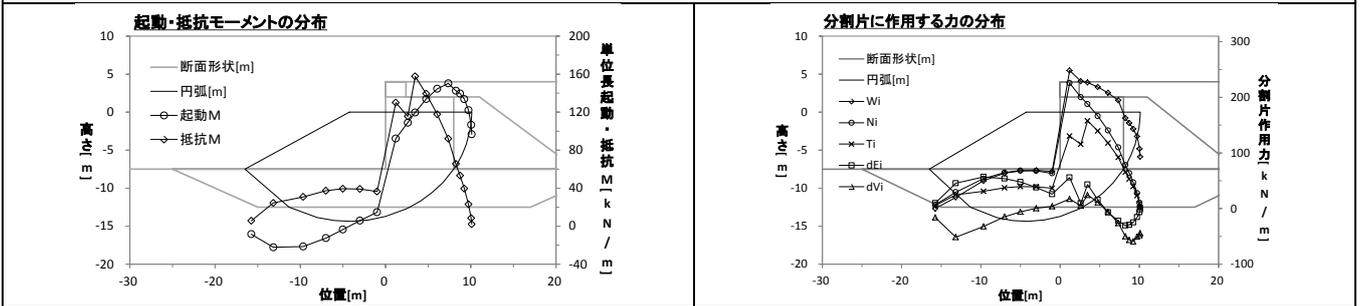


番号：2095 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

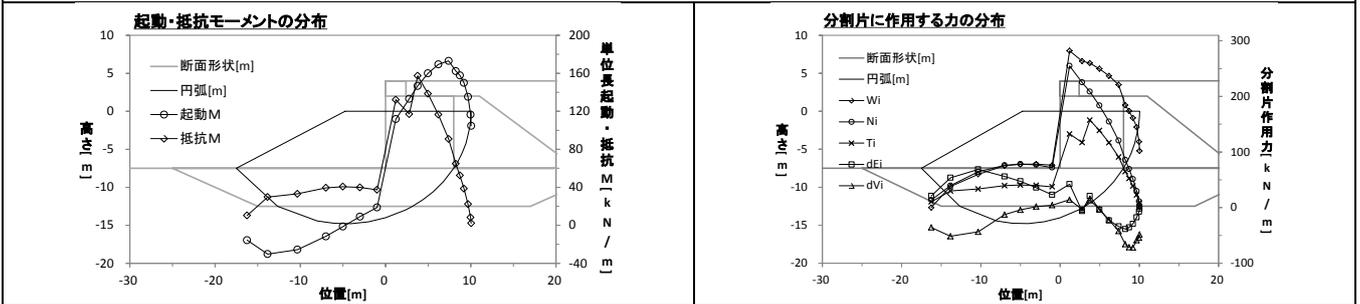


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

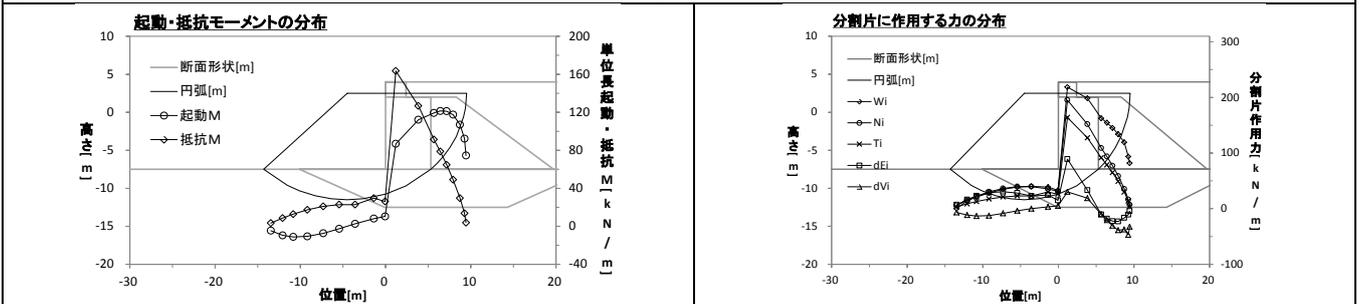
番号：0054 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



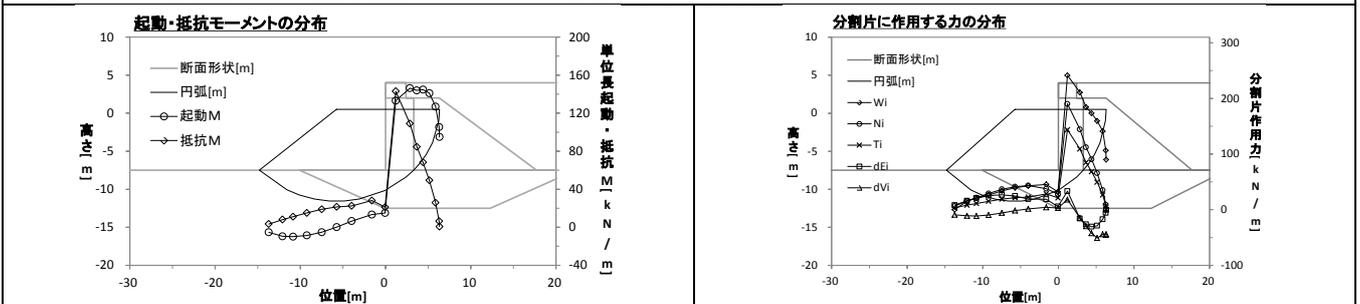
番号：0066 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



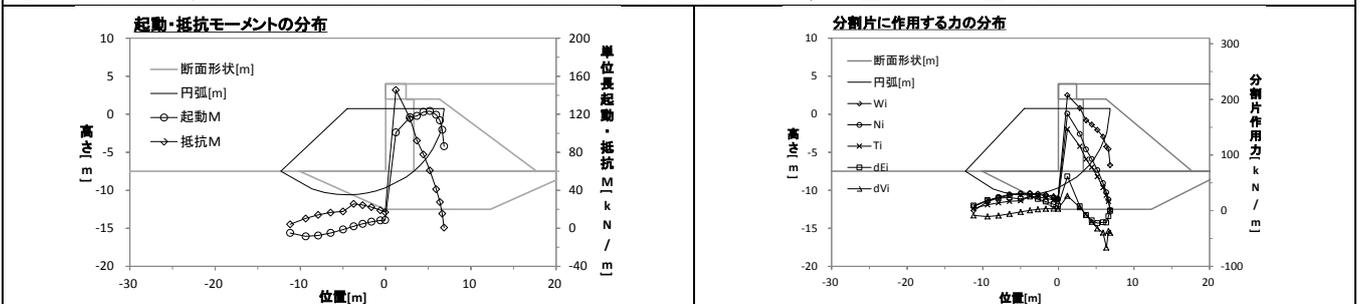
番号：1054 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1066 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

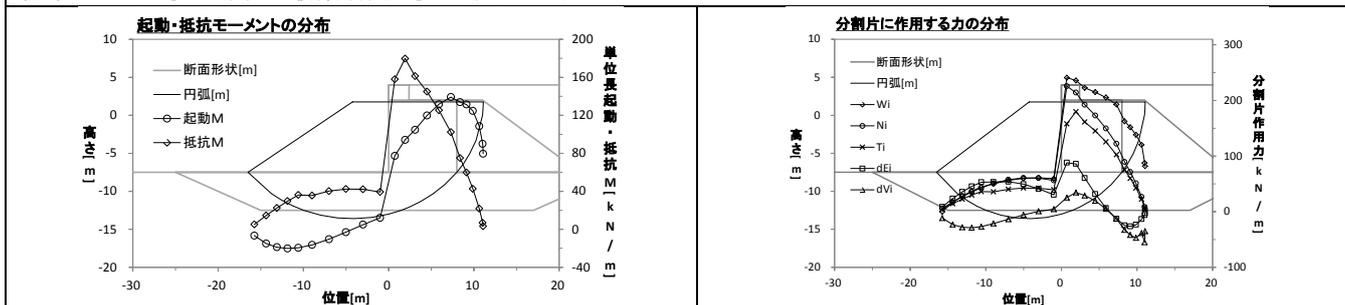


番号：2066 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

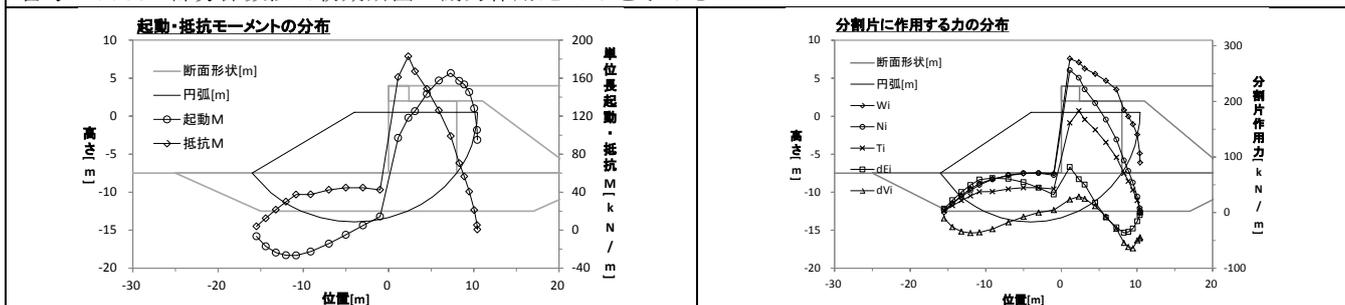


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

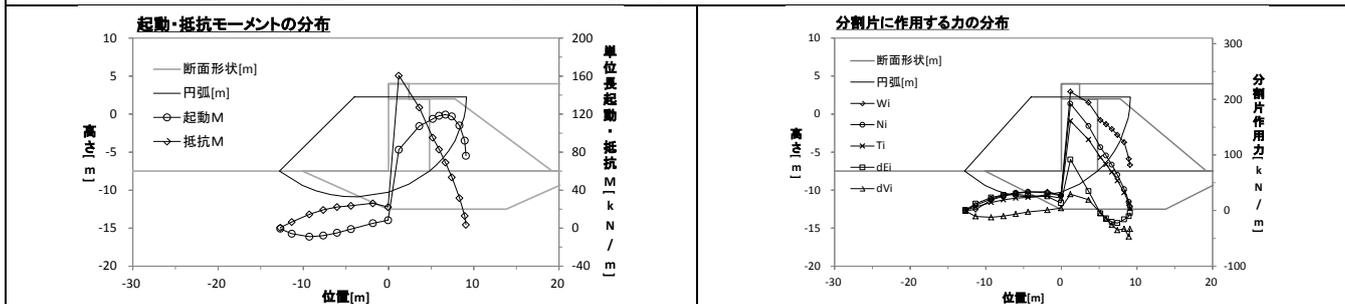
番号：0051 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



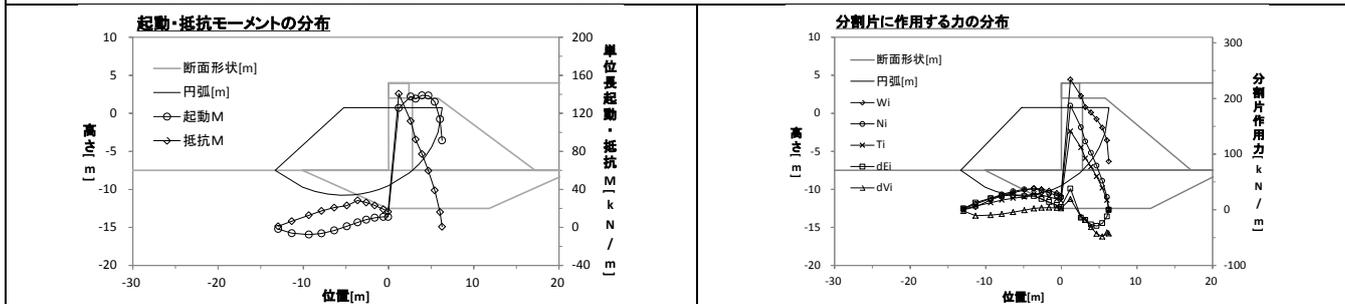
番号：0063 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



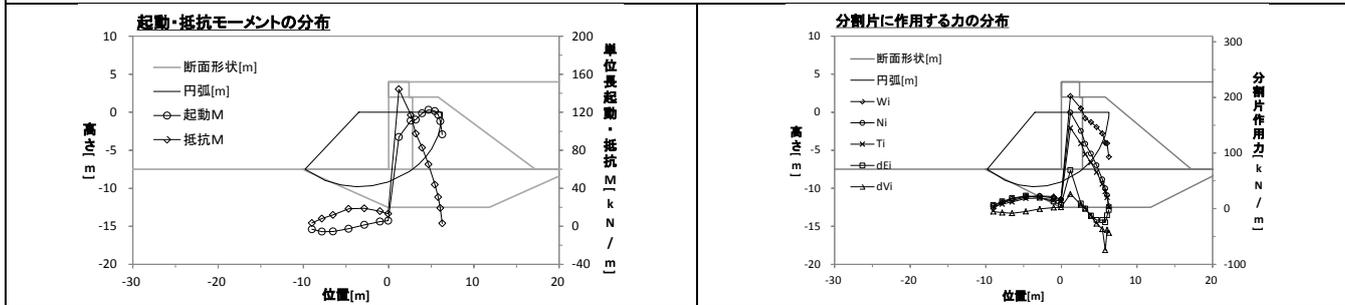
番号：1051 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1063 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

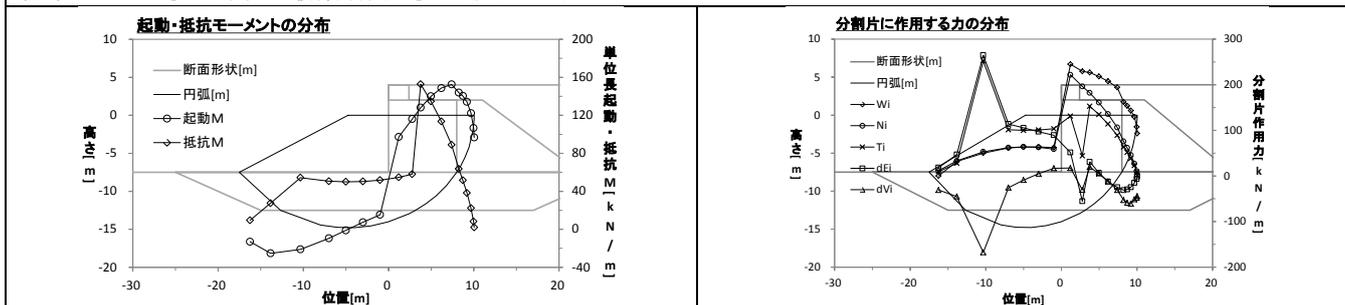


番号：2063 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

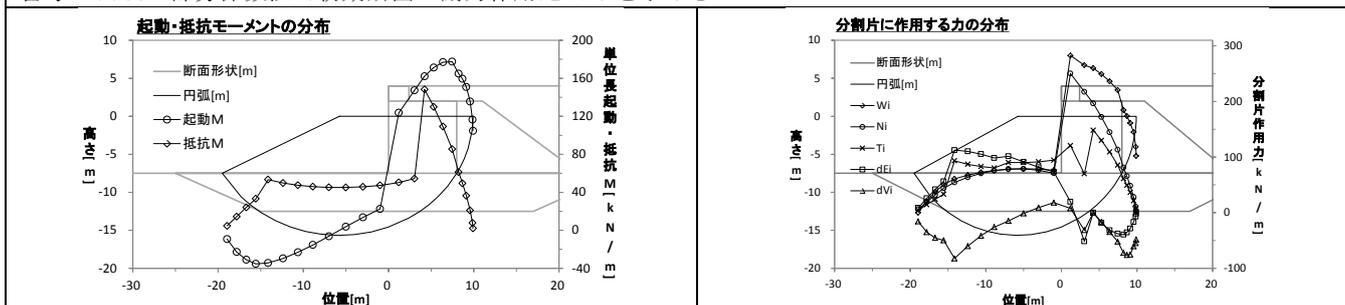


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

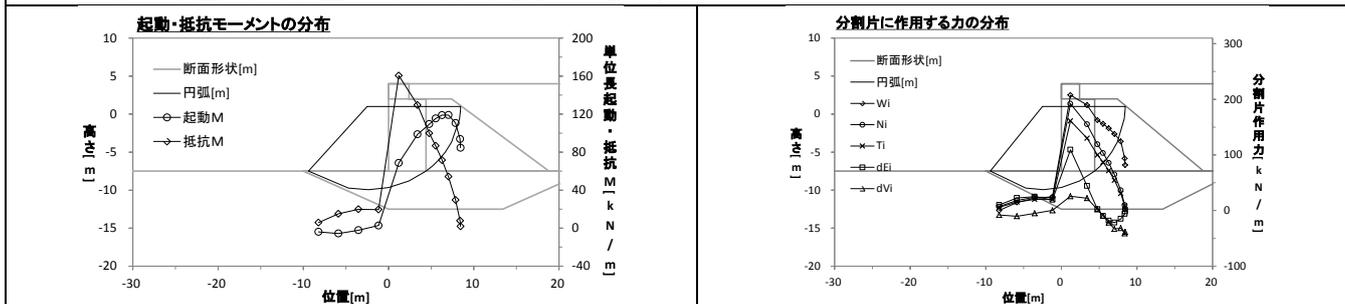
番号：0057 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



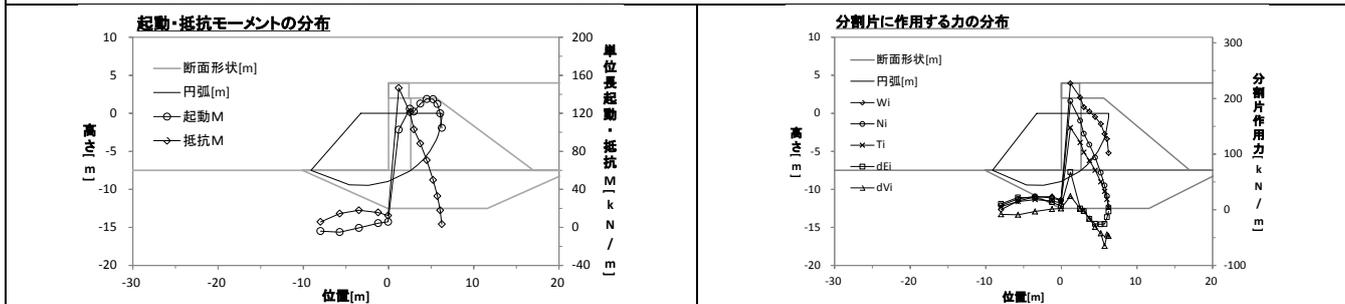
番号：0069 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



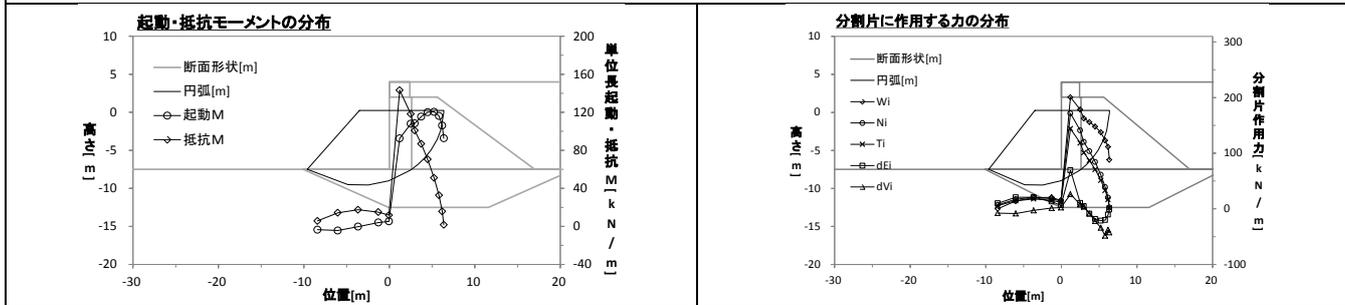
番号：1057 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1069 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

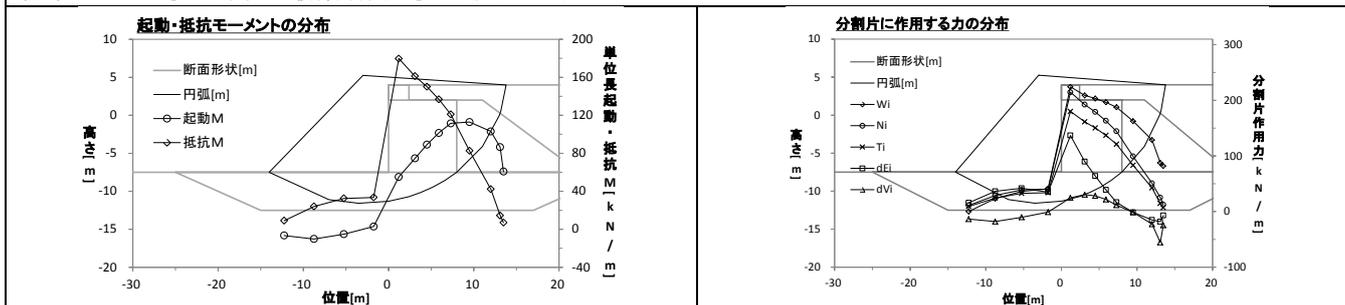


番号：2069 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

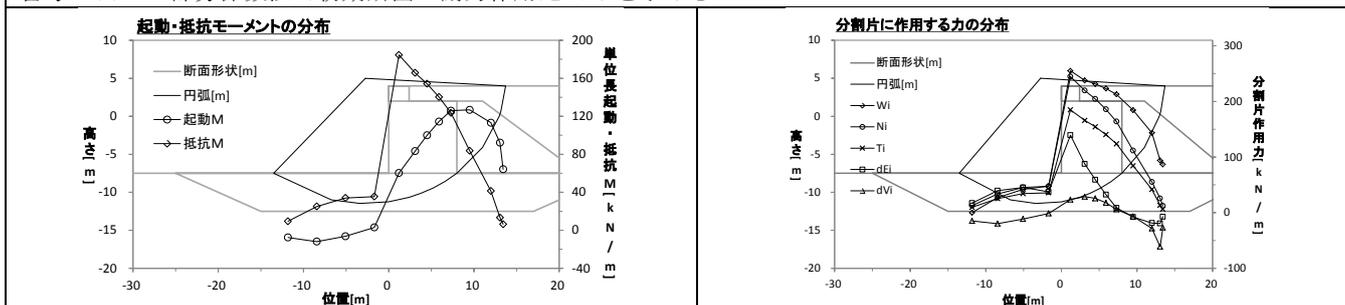


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

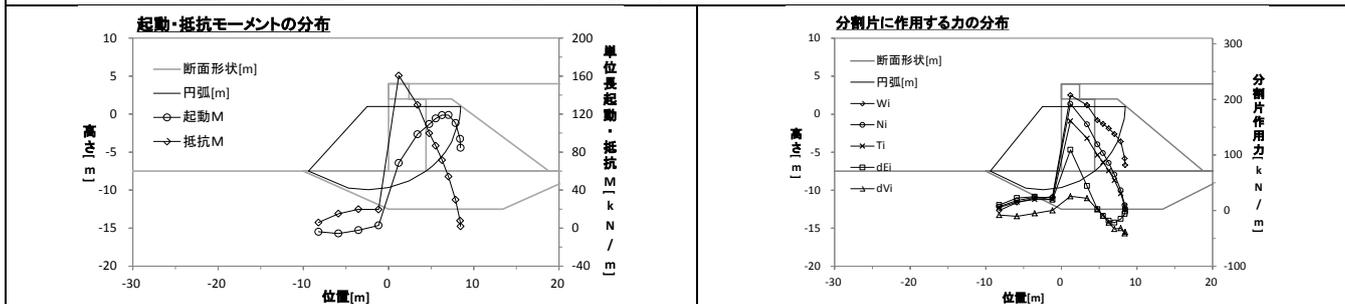
番号：0060 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



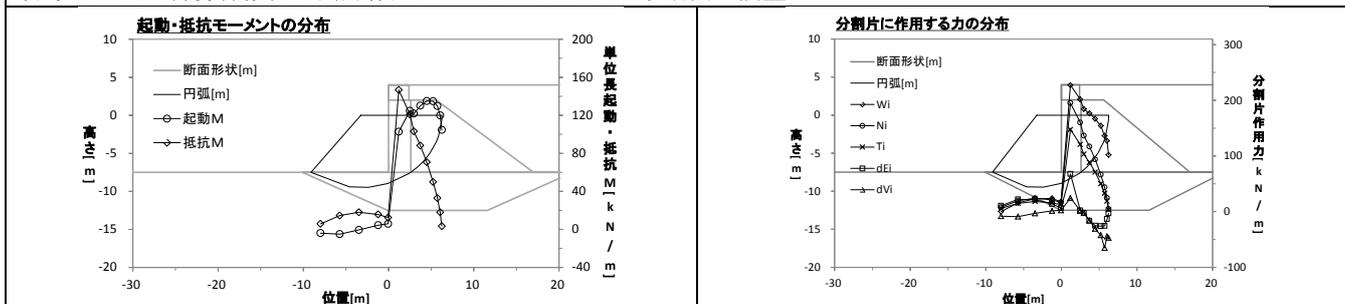
番号：0072 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



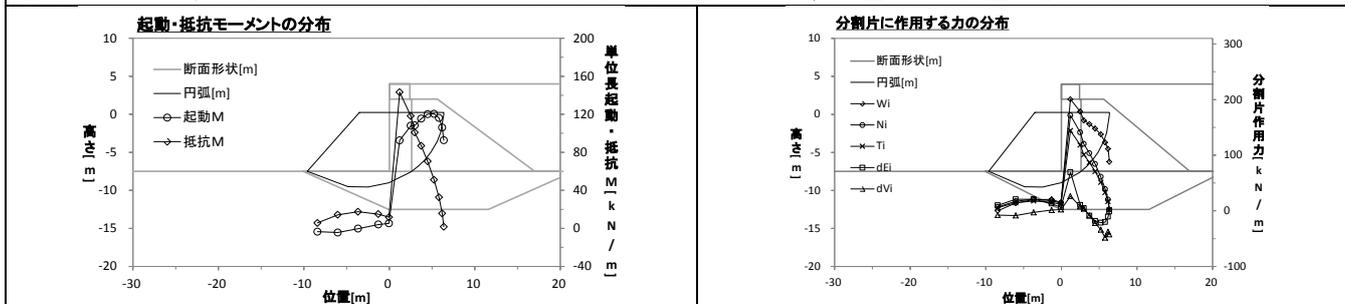
番号：1060 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1072 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

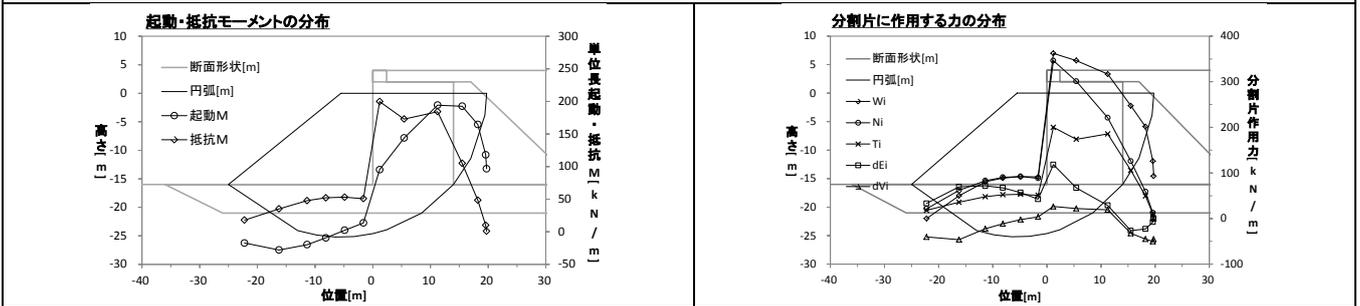


番号：2072 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

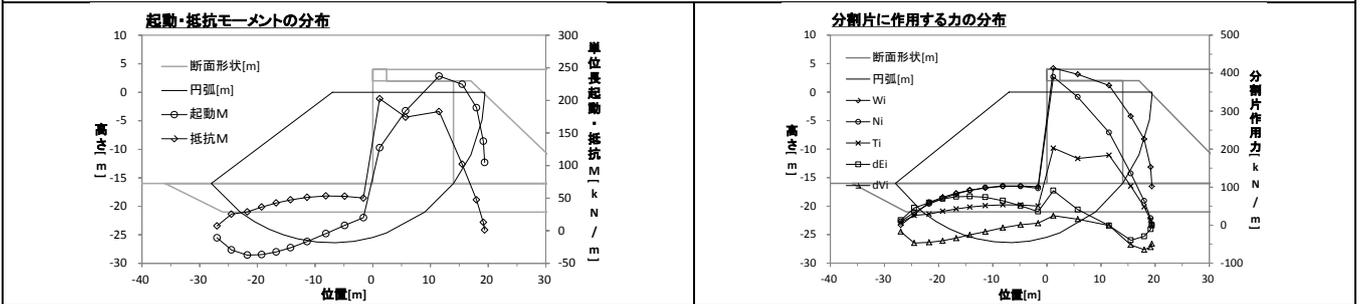


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

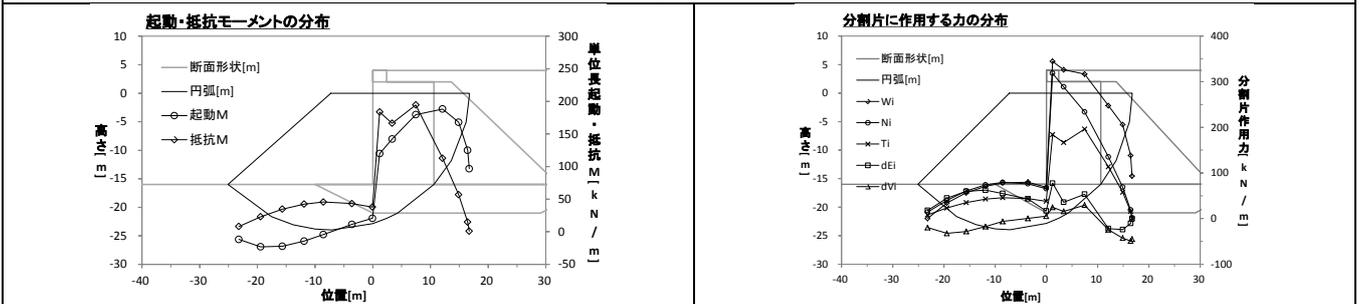
番号：0078 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



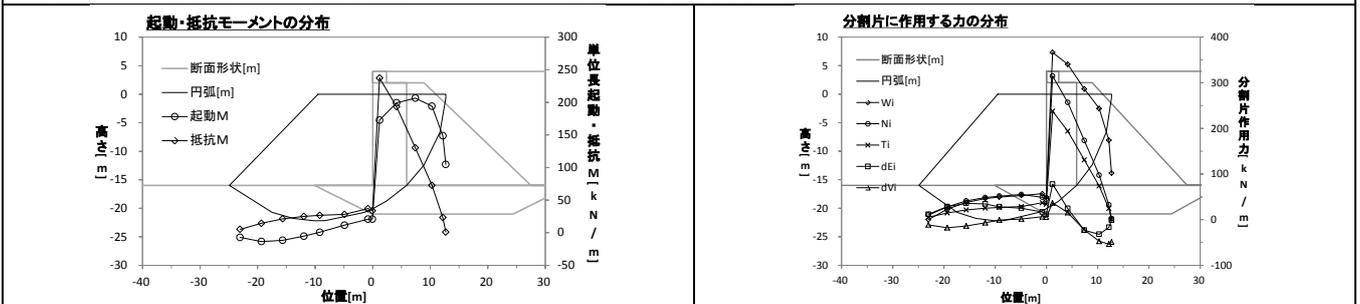
番号：0090 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



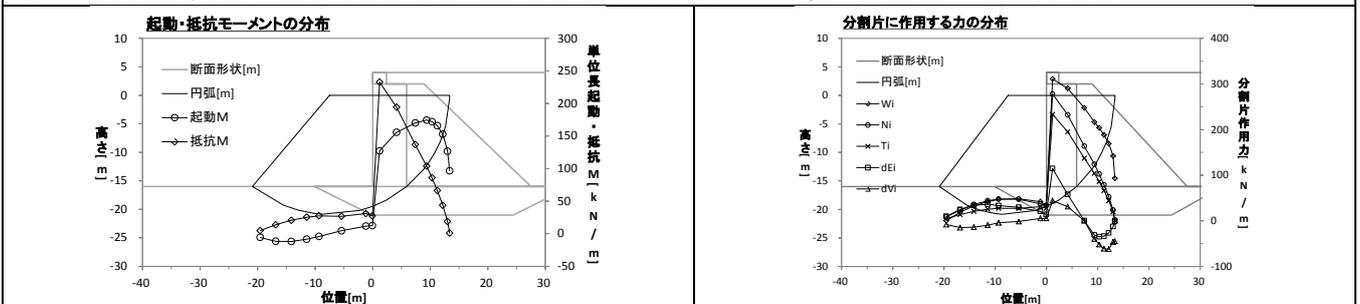
番号：1078 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1090 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

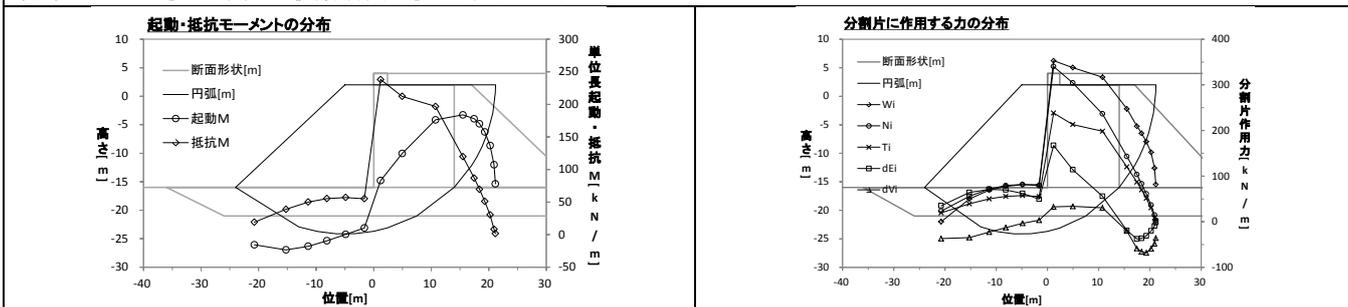


番号：2090 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

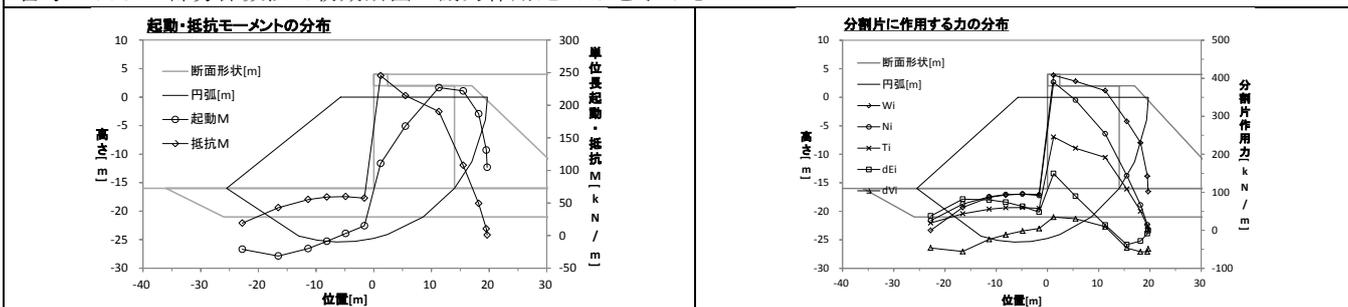


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

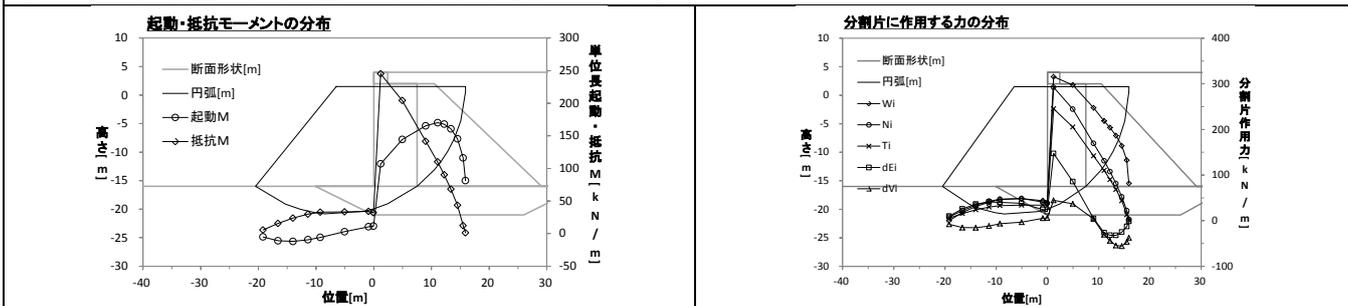
番号：0075 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



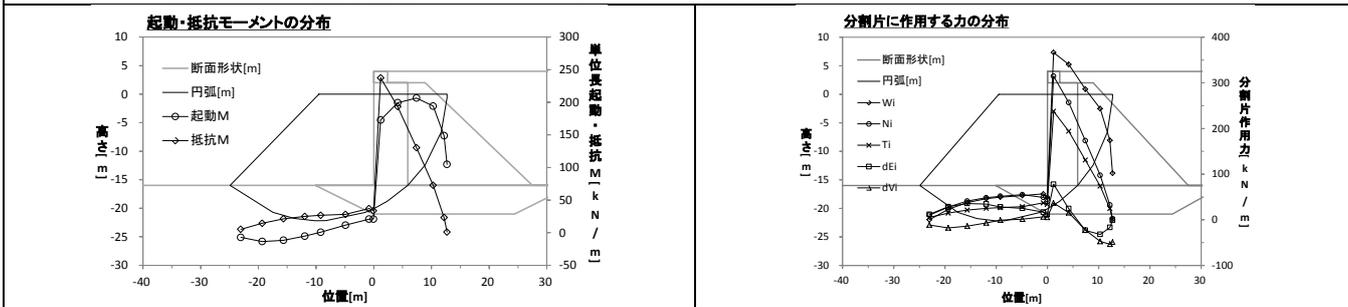
番号：0087 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



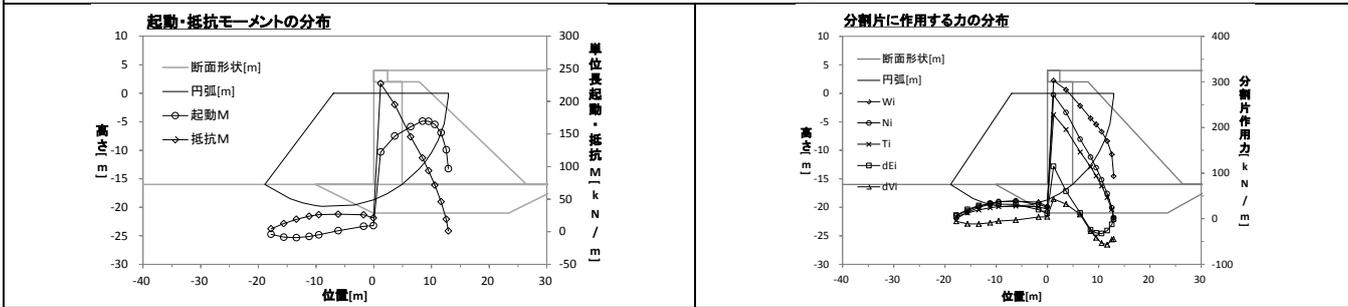
番号：1075 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1087 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

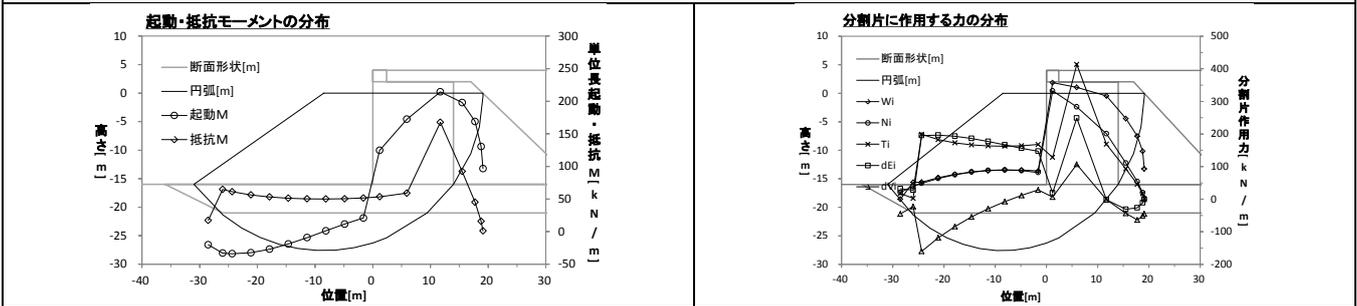


番号：2087 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

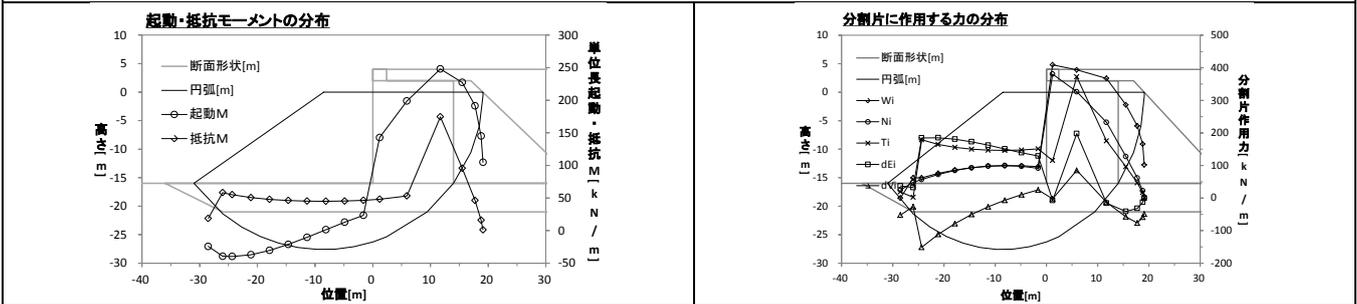


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

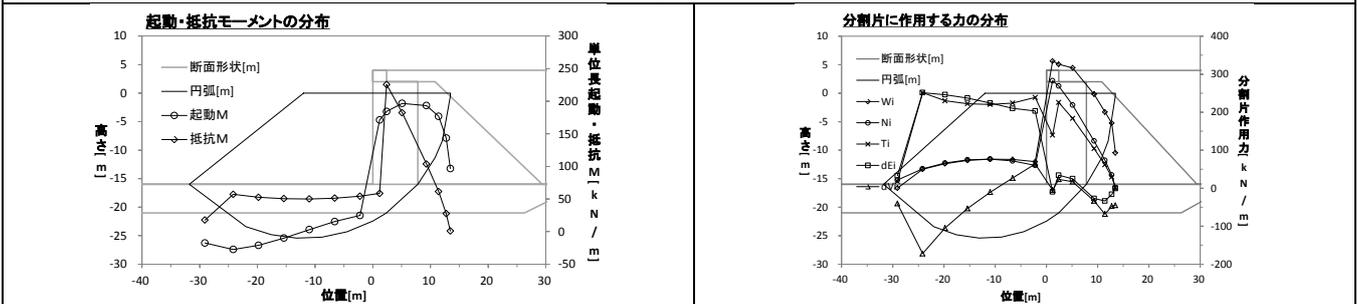
番号：0081 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



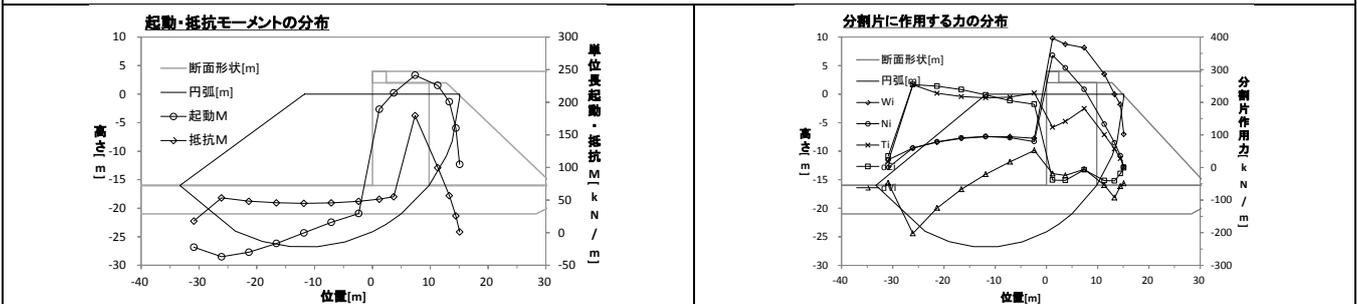
番号：0093 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



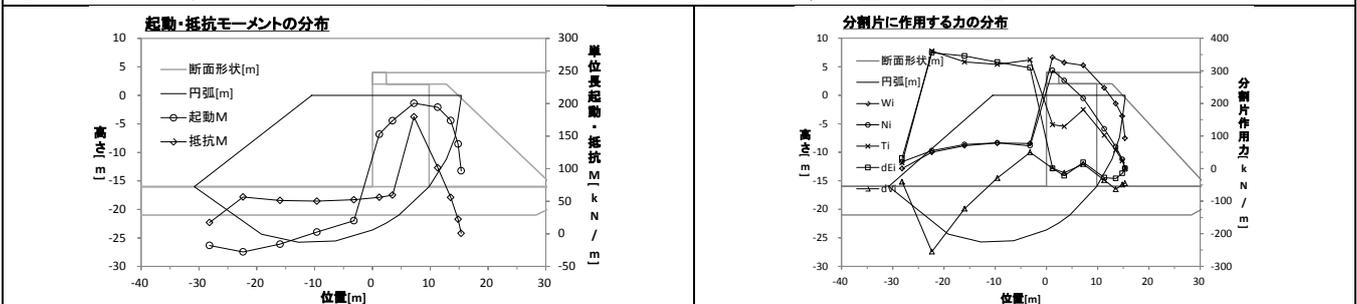
番号：1081 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1093 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

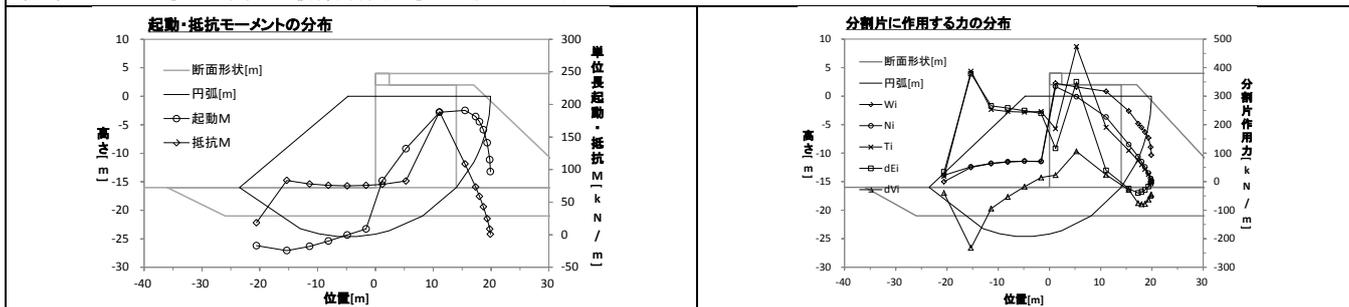


番号：2093 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

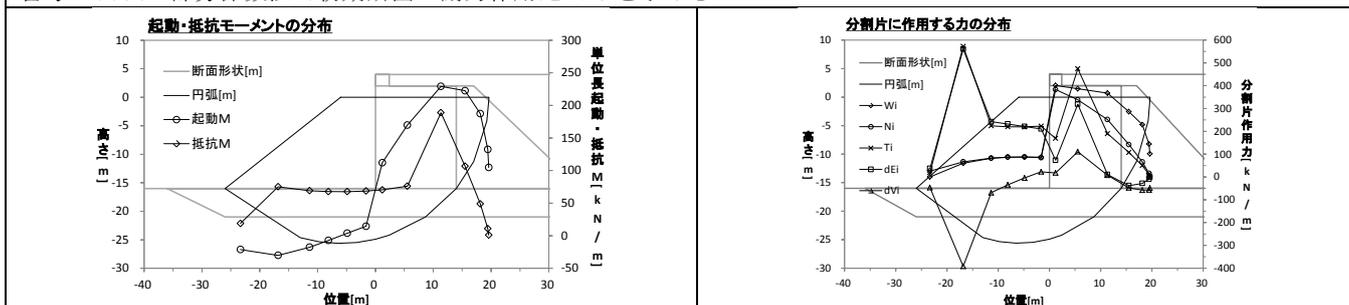


ケーソン式岸壁のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

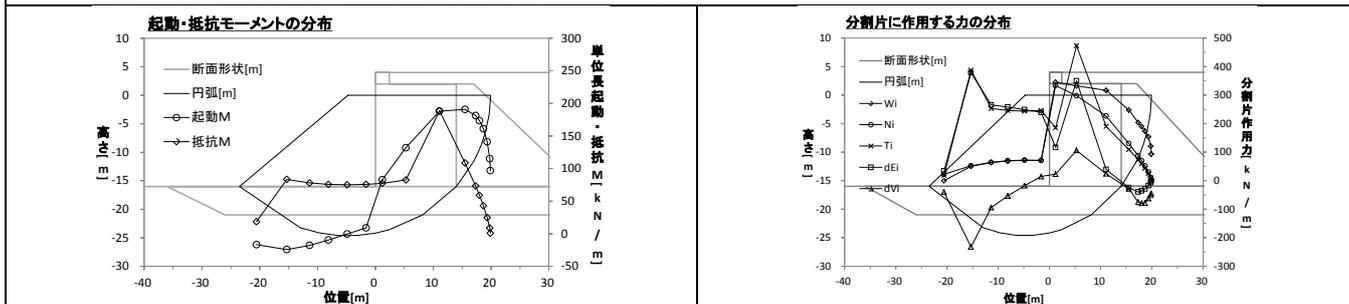
番号：0084 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



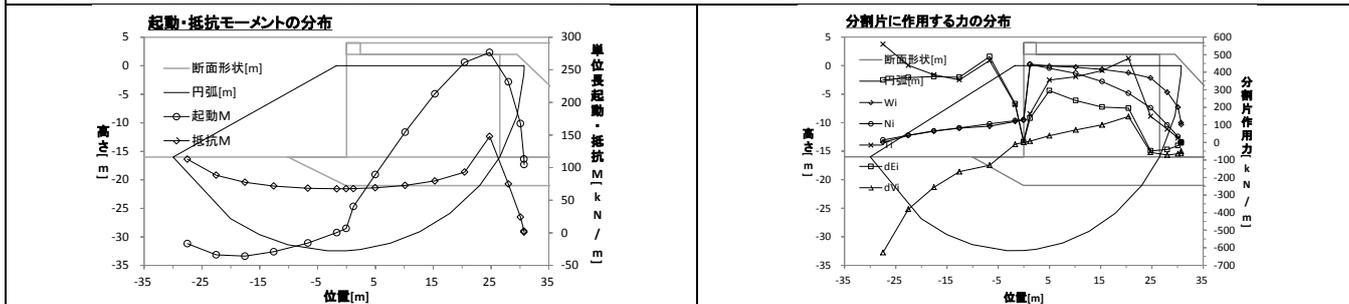
番号：0096 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



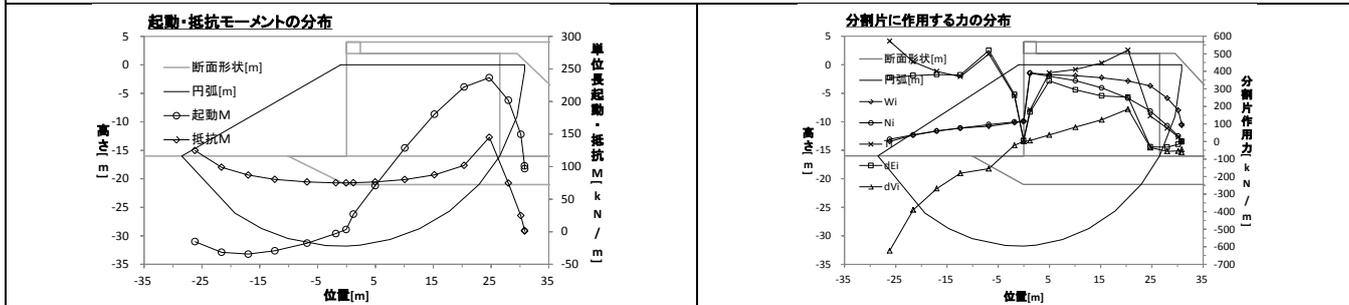
番号：1084 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：1096 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整



番号：2096 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める



付録 B 計算結果 (ケーソン式混成堤)

マウント厚 設置水深	地盤 種別	地盤 強度	初期断面		Fs=1.3断面			R/S=1.0断面			
			Fs	R/S	Fs	マウント長 [m]	ケーソン幅 [m]	R/S	マウント長 [m]	ケーソン幅 [m]	Fs
1.5m & -14.5m	砂質土	φ30	1.709	1.394	1.306	0.0	11.0	1.007	0.0	9.1	1.214
		φ35	2.067	1.687	1.311	0.0	6.6	1.018	0.0	5.1	1.215
	粘性土	c50	0.948	0.853	1.111	50.2	2.9	1.001	31.2	12.9	1.038
		c75	1.410	1.269	1.301	0.0	5.1	1.240	0.0	16.8	1.378
1.5m & -18.5m	砂質土	φ30	1.595	1.304	1.304	0.0	12.7	1.002	0.0	10.5	1.209
		φ35	1.930	1.579	1.327	0.0	8.1	1.012	0.0	6.1	1.208
	粘性土	c50	0.823	0.741	0.953	31.2	7.9	0.820	50.2	25.2	0.911
		c75	1.224	1.102	1.306	14.6	19.0	1.006	0.0	4.6	1.117
3.0m & -16.0m	砂質土	φ30	1.639	1.345	1.304	0.2	12.2	1.001	0.2	9.7	1.200
		φ35	1.976	1.623	1.305	0.2	7.1	1.002	0.2	4.6	1.185
	粘性土	c50	0.894	0.805	1.151	28.2	3.4	1.048	28.2	28.2	1.007
		c75	1.321	1.189	1.300	2.8	19	1.091	0.2	6.1	1.213
3.0m & -20.0m	砂質土	φ30	1.534	1.262	1.306	0.2	14.2	1.006	0.2	11.6	1.207
		φ35	1.851	1.524	1.307	0.2	8.6	1.017	0.2	6.6	1.208
	粘性土	c50	0.782	0.704	1.082	28.2	3.1	0.800	47.2	25	0.889
		c75	1.154	1.038	1.300	28.2	21.9	1.006	0.2	16.7	1.117
6.0m & -19.0m	砂質土	φ30	1.548	1.283	1.303	0.0	14.2	1.000	0.0	10.5	1.189
		φ35	1.850	1.537	1.301	0.0	7.6	1.082	0.0	6.6	1.271
	粘性土	c50	0.822	0.740	1.323	41.2	43.4	1.004	22.2	8.8	1.001
		c75	1.198	1.078	1.307	12.1	19.0	1.030	0.1	19.0	1.144
6.0m & -23.0m	砂質土	φ30	1.455	1.208	1.303	0.0	16.5	1.000	0.0	12.8	1.191
		φ35	1.741	1.448	1.300	0.0	9.7	1.003	0.0	5.6	1.174
	粘性土	c50	0.728	0.655	1.316	41.2	32.4	1.005	41.2	6.8	0.980
		c75	1.060	1.038	1.306	23.1	23.7	1.004	9.6	19.0	1.117

フィルタリングした計算結果一覧

マウント厚 設置水深	地盤 種別	地盤 強度	初期断面		Fs=1.3断面			R/S=1.0断面				
			Fs	R/S	Fs	マウント長 [m]	ケーソン幅 [m]	R/S	マウント長 [m]	ケーソン幅 [m]	Fs	B/H
1.5m & -14.5m	砂質土	φ30	1.709	1.394	1.306	0.0	11.0	1.007	0.0	9.1	1.214	0.70
		φ35	2.067	1.687	1.311	0.0	6.6	1.018	0.0	5.1	1.215	0.39
	粘性土	c50	0.948	0.853	1.111	50.2	2.9	1.001	31.2	12.9	1.038	0.99
		c75	1.410	1.269	1.301	0.0	5.1	1.240	0.0	16.8	1.378	
1.5m & -18.5m	砂質土	φ30	1.595	1.304	1.304	0.0	12.7	1.002	0.0	10.5	1.209	0.62
		φ35	1.930	1.579	1.327	0.0	8.1	1.012	0.0	6.1	1.208	0.36
	粘性土	c50	0.823	0.741	0.953	31.2	7.9	0.820	50.2	25.2	0.911	
		c75	1.224	1.102	1.306	14.6	19.0	1.006	0.0	4.6	1.117	0.27
3.0m & -16.0m	砂質土	φ30	1.639	1.345	1.304	0.2	12.2	1.001	0.2	9.7	1.200	0.75
		φ35	1.976	1.623	1.305	0.2	7.1	1.002	0.2	4.6	1.185	0.35
	粘性土	c50	0.894	0.805	1.151	28.2	3.4	1.048	28.2	28.2	1.007	2.17
		c75	1.321	1.189	1.300	2.8	19	1.091	0.2	6.1	1.213	0.47
3.0m & -20.0m	砂質土	φ30	1.534	1.262	1.306	0.2	14.2	1.006	0.2	11.6	1.207	0.68
		φ35	1.851	1.524	1.307	0.2	8.6	1.017	0.2	6.6	1.208	0.39
	粘性土	c50	0.782	0.704	1.082	28.2	3.1	0.800	47.2	25	0.889	
		c75	1.154	1.038	1.300	28.2	21.9	1.006	0.2	16.7	1.117	0.98
6.0m & -19.0m	砂質土	φ30	1.548	1.283	1.303	0.0	14.2	1.000	0.0	10.5	1.189	0.81
		φ35	1.850	1.537	1.301	0.0	7.6	1.082	0.0	6.6	1.271	0.51
	粘性土	c50	0.822	0.740	1.323	41.2	43.4	1.004	22.2	8.8	1.001	0.68
		c75	1.198	1.078	1.307	12.1	19.0	1.030	0.1	19.0	1.144	1.46
6.0m & -23.0m	砂質土	φ30	1.455	1.208	1.303	0.0	16.5	1.000	0.0	12.8	1.191	0.75
		φ35	1.741	1.448	1.300	0.0	9.7	1.003	0.0	5.6	1.174	0.33
	粘性土	c50	0.728	0.655	1.316	41.2	32.4	1.005	41.2	6.8	0.980	0.40
		c75	1.060	1.038	1.306	23.1	23.7	1.004	9.6	19.0	1.117	1.12

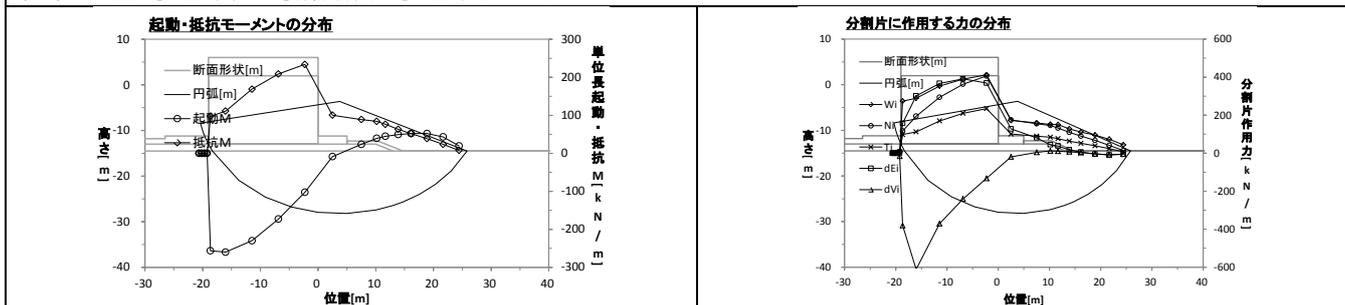
※ハッチングは目標のFs・R/Sに調整できなかったケース、斜線はフィルタリングにより除外したケースである。これらは結果の集計、検討、グラフのプロットからは除外した。

ケース番号表

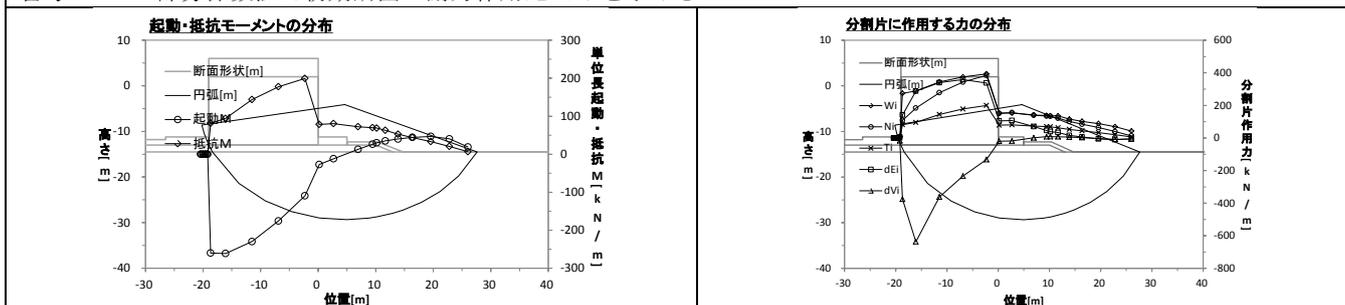
マウント厚 設置水深	地盤 種別	地盤 強度	初期断面		Fs=1.3	R/S=1.0断面	
			Fs	R/S	Fs	R/S	Fs
1.5m & -14.5m	砂質土	φ30	42	242	142	342	442
		φ35	43	243	143	343	443
	粘性土	c50	44	244	144	344	444
		c75	45	245	145	345	445
1.5m & -18.5m	砂質土	φ30	52	252	152	352	452
		φ35	53	253	153	353	453
	粘性土	c50	54	254	154	354	454
		c75	55	255	155	355	455
3.0m & -16.0m	砂質土	φ30	2	202	102	302	402
		φ35	3	203	103	303	403
	粘性土	c50	4	204	104	304	404
		c75	5	205	105	305	405
3.0m & -20.0m	砂質土	φ30	12	212	112	312	412
		φ35	13	213	113	313	413
	粘性土	c50	14	214	114	314	414
		c75	15	215	115	315	415
6.0m & -19.0m	砂質土	φ30	22	222	122	322	422
		φ35	23	223	123	323	423
	粘性土	c50	24	224	124	324	424
		c75	25	225	125	325	425
6.0m & -23.0m	砂質土	φ30	32	232	132	332	432
		φ35	33	233	133	333	433
	粘性土	c50	34	234	134	334	434
		c75	35	235	135	335	435

ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

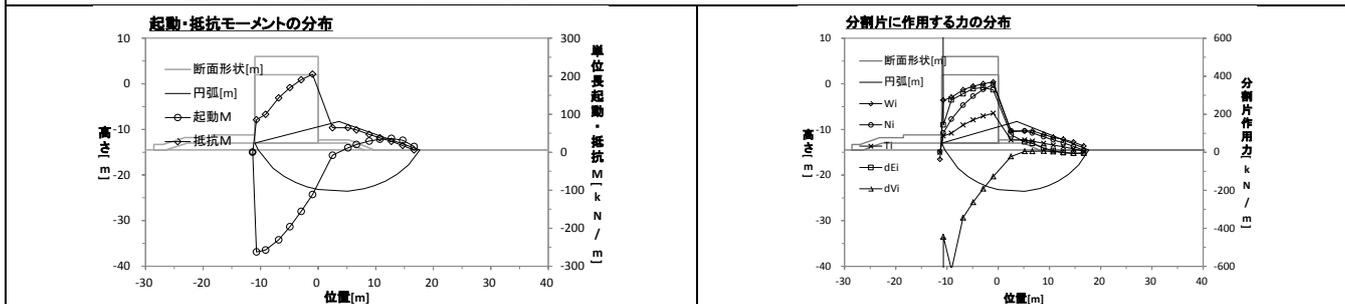
番号：042 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



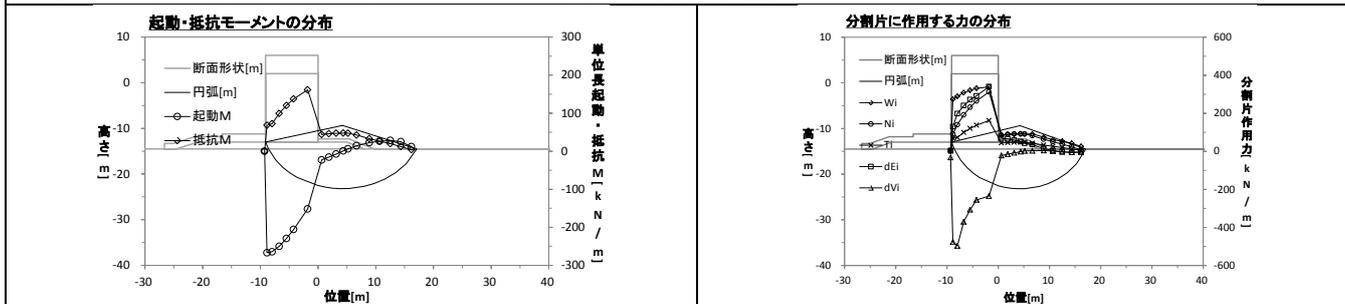
番号：242 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



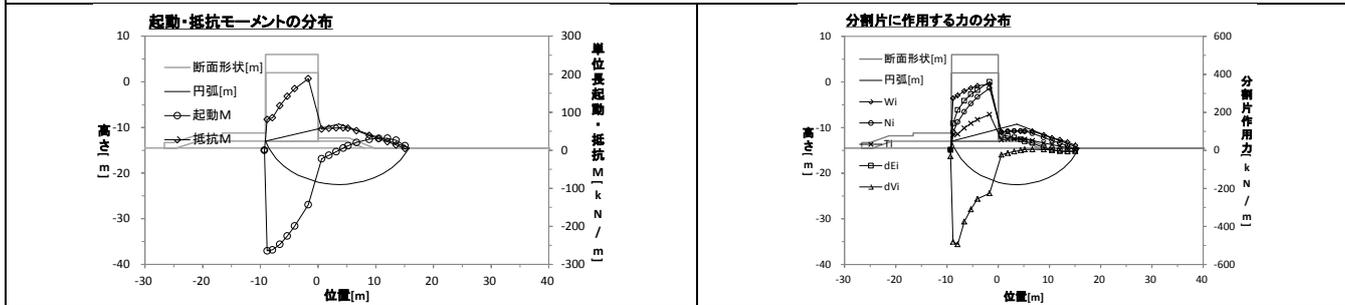
番号：142 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：342 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

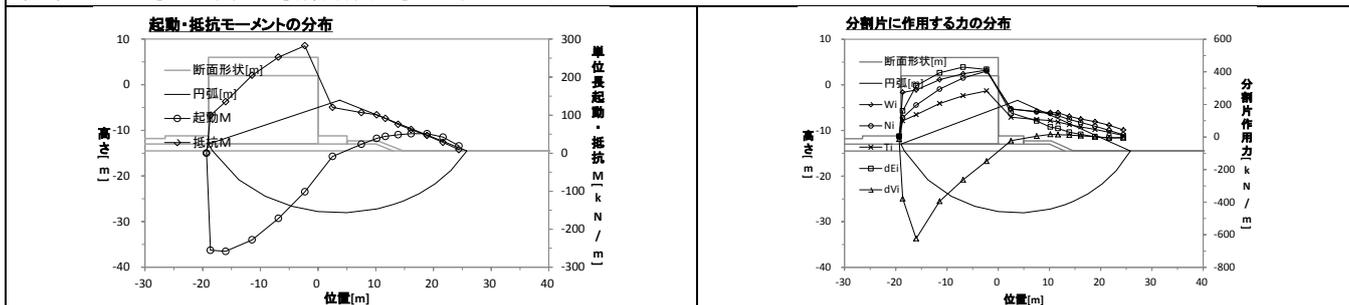


番号：442 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

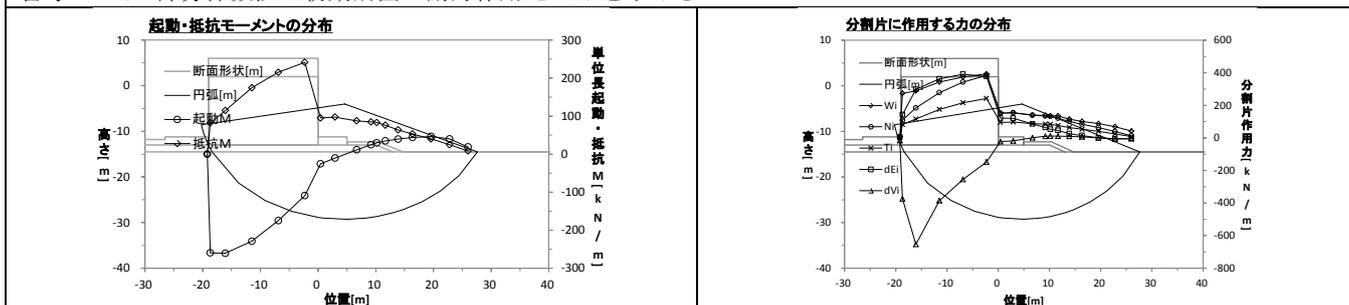


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

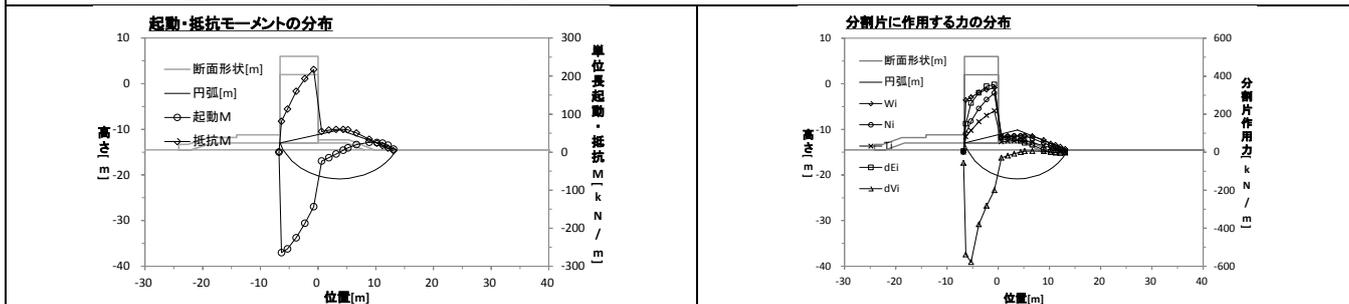
番号：043 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



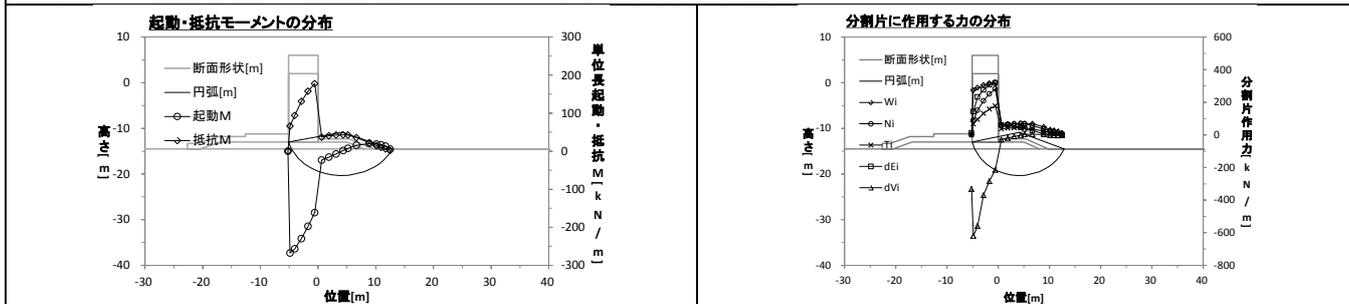
番号：243 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



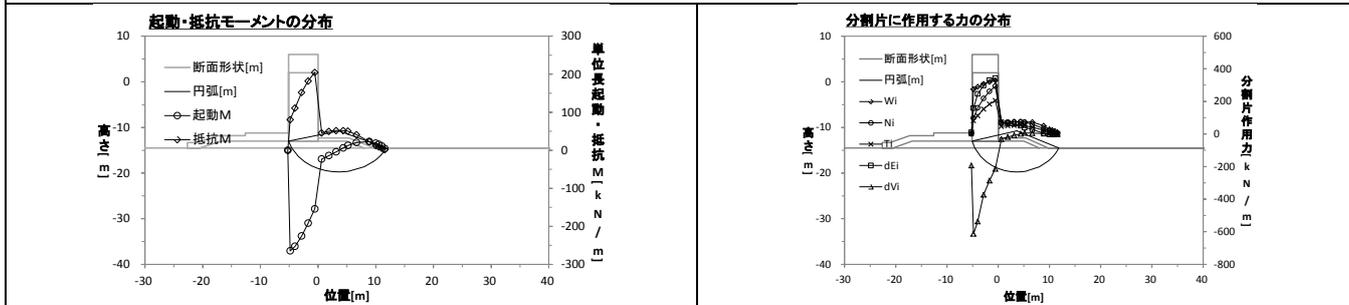
番号：143 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：343 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

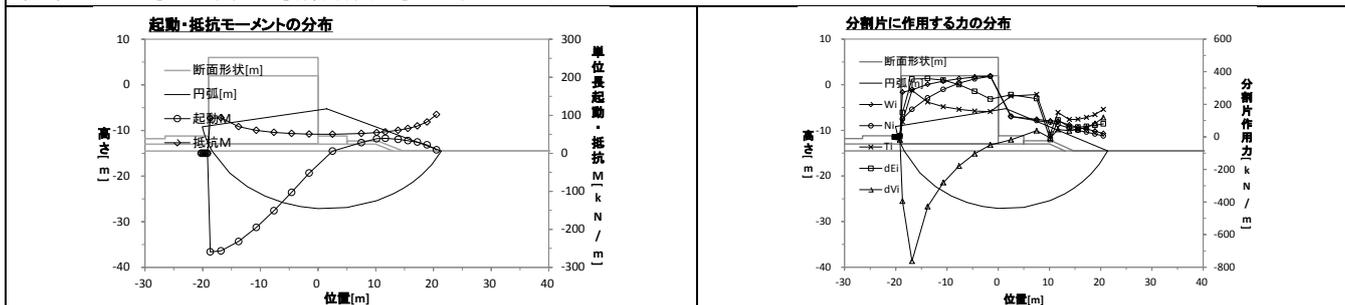


番号：443 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

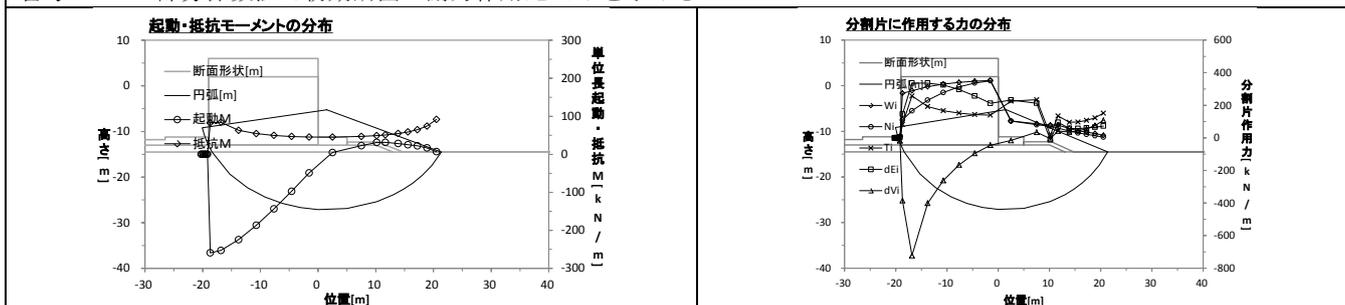


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

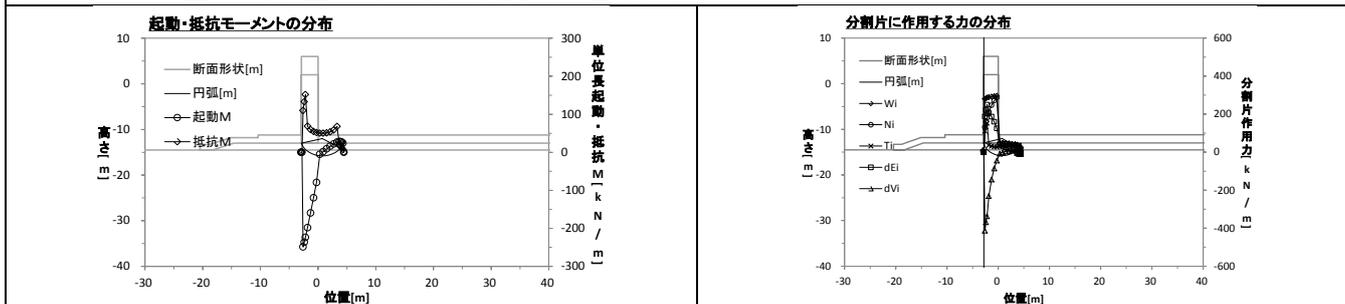
番号：044 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



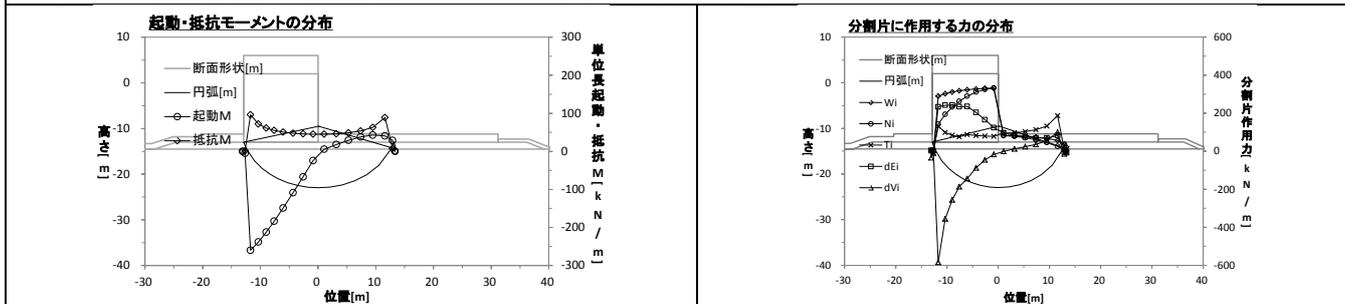
番号：244 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



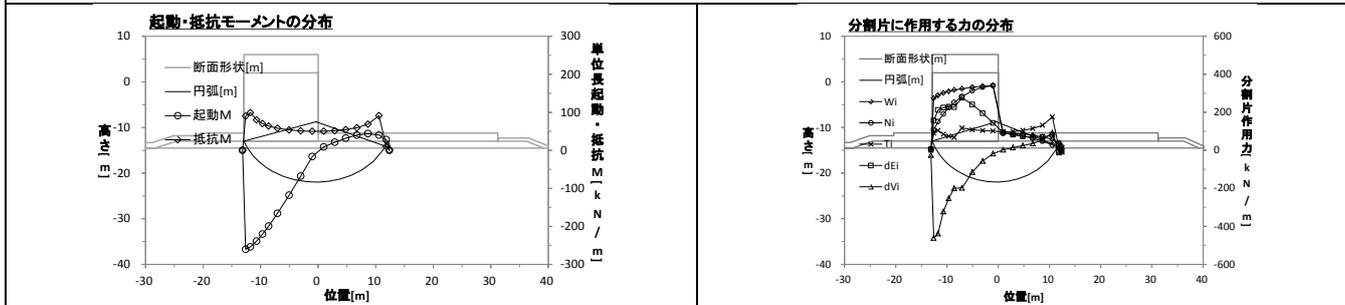
番号：144 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：344 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

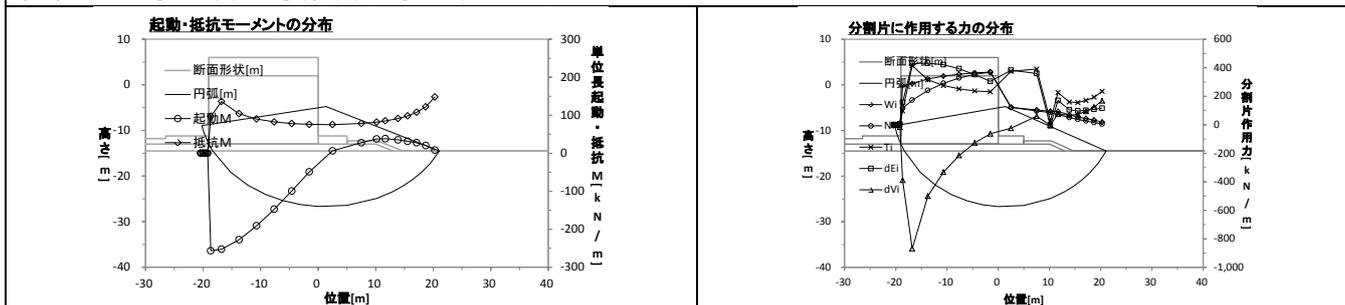


番号：444 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

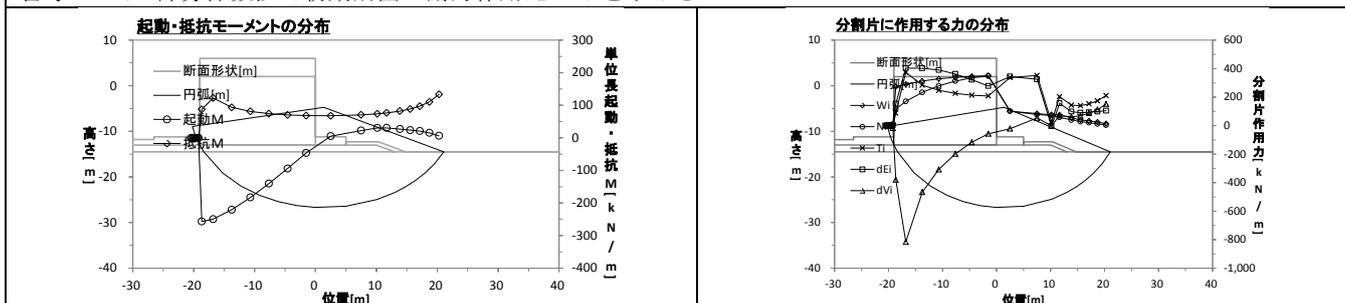


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

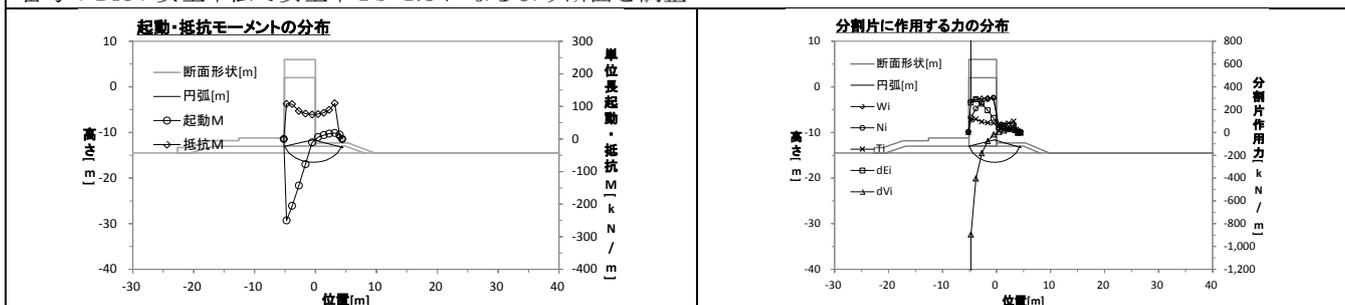
番号：045 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



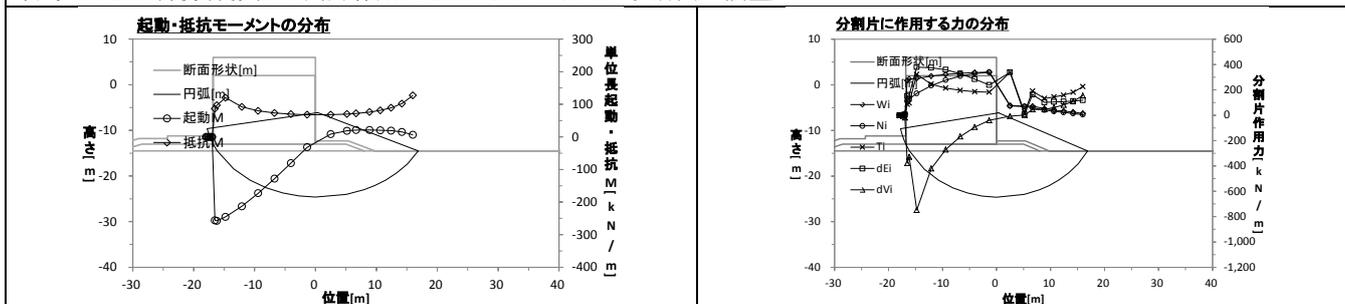
番号：245 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



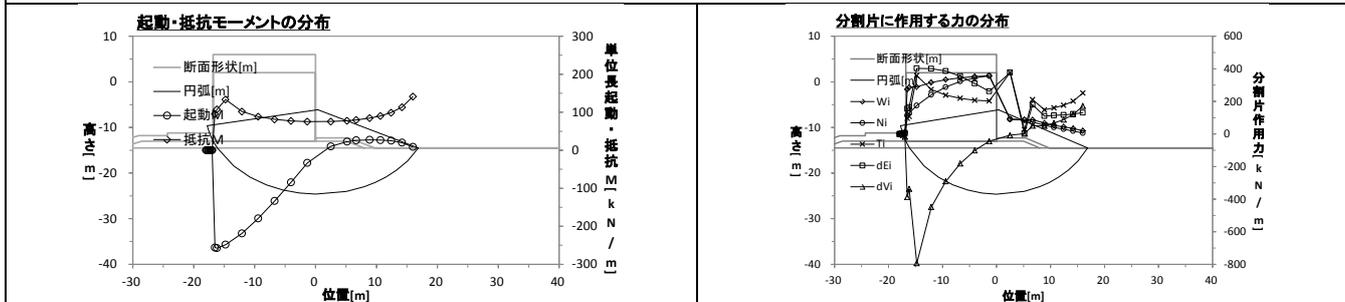
番号：145 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：345 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

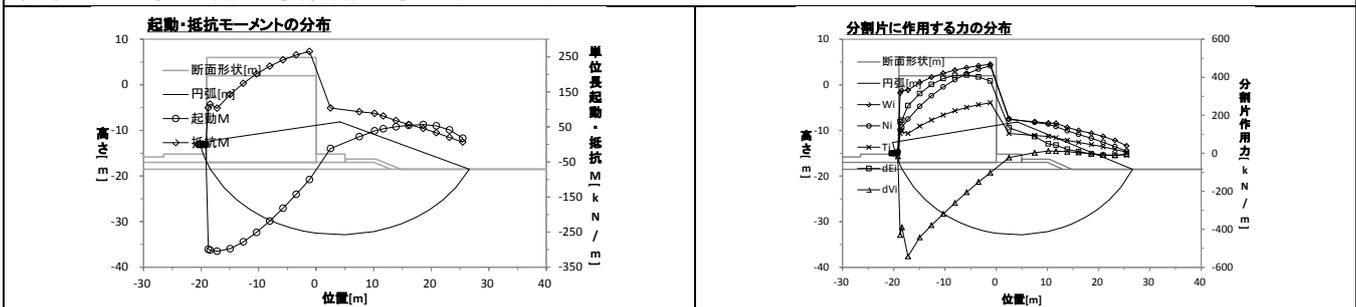


番号：445 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

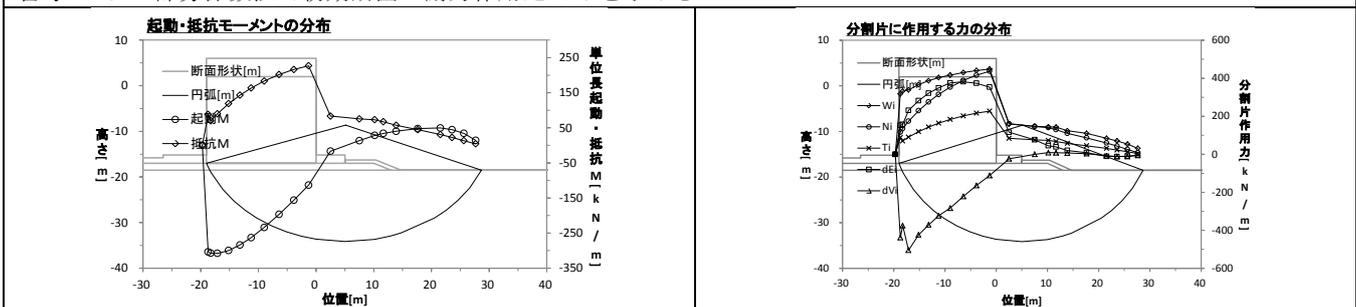


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

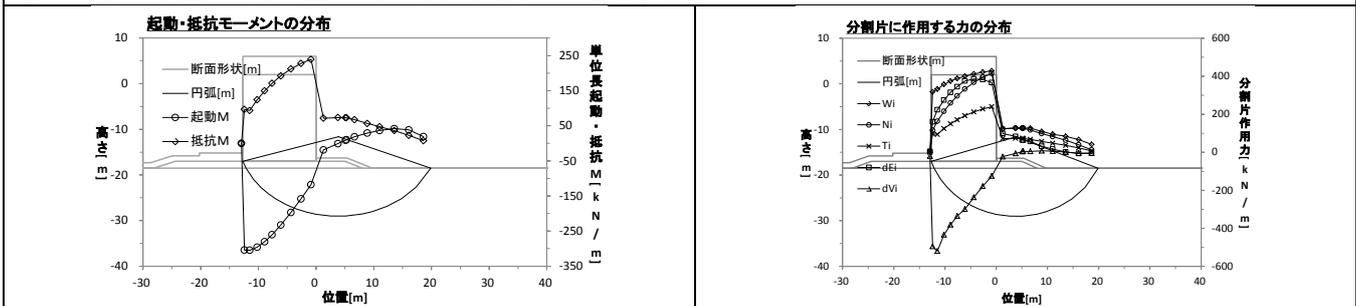
番号：052 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



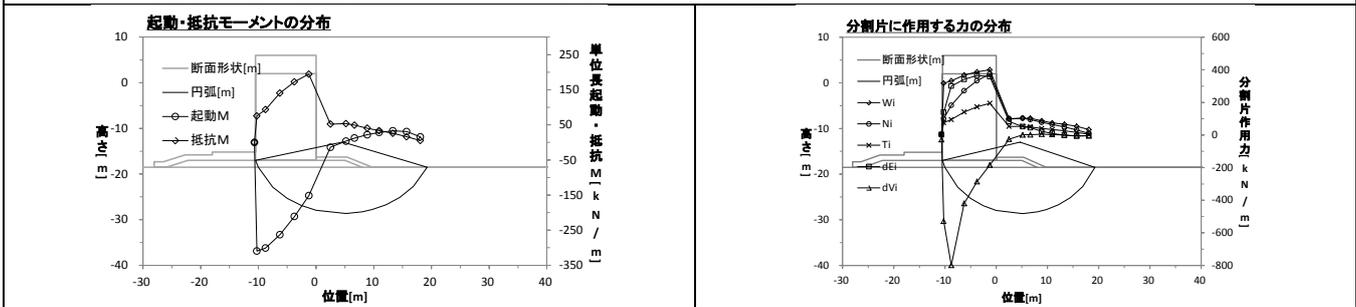
番号：252 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



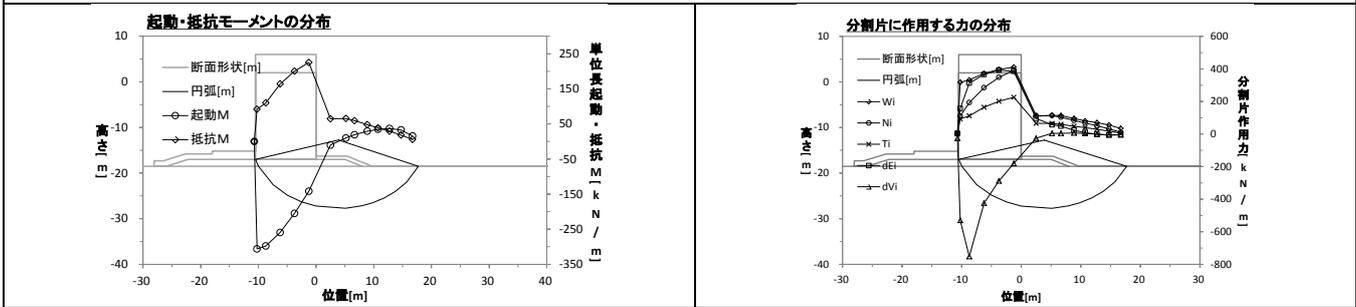
番号：152 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：352 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

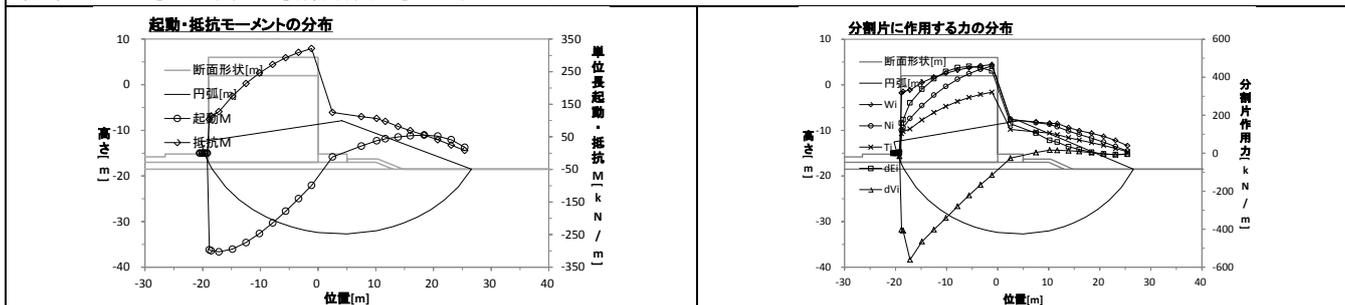


番号：452 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

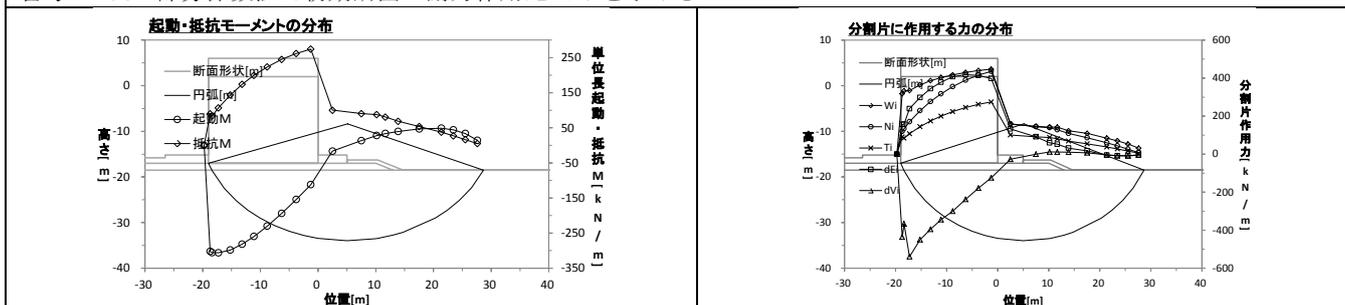


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

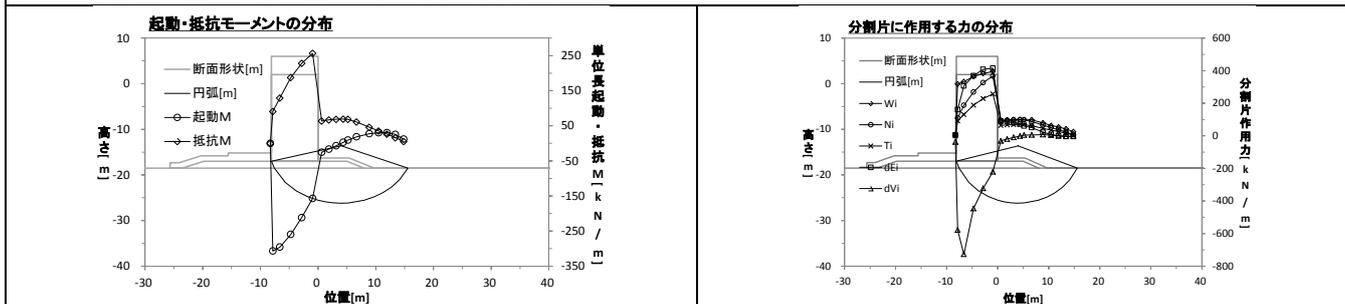
番号：053 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



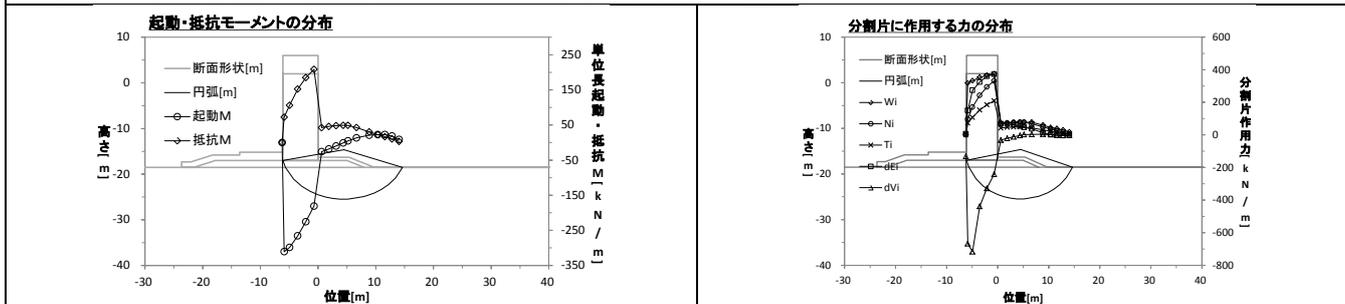
番号：253 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



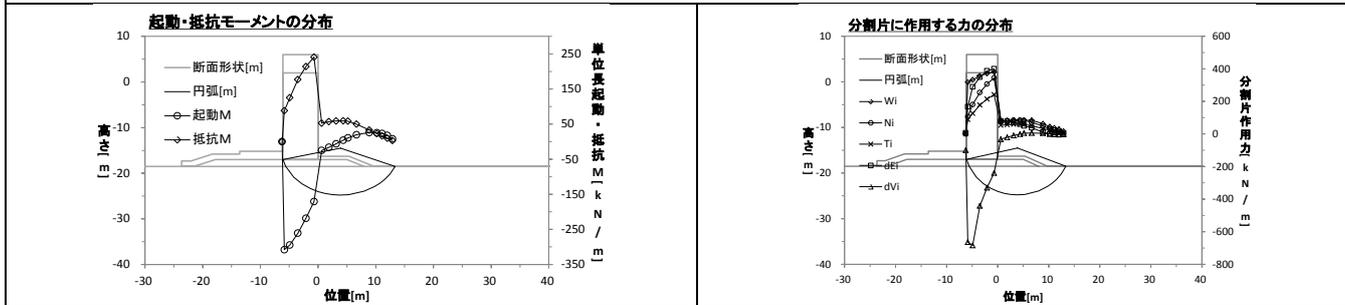
番号：153 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：353 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

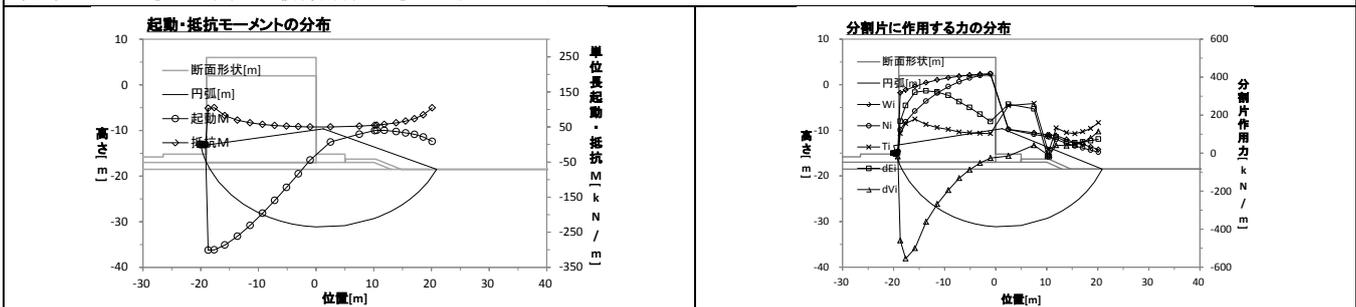


番号：453 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

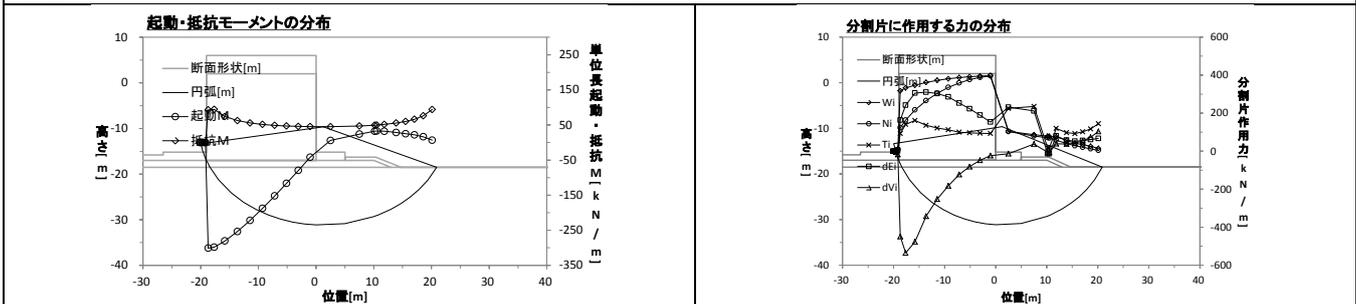


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

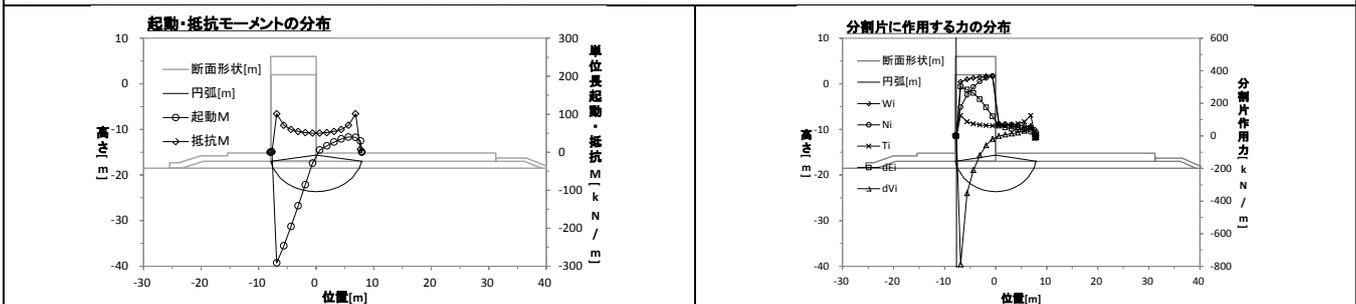
番号：054 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



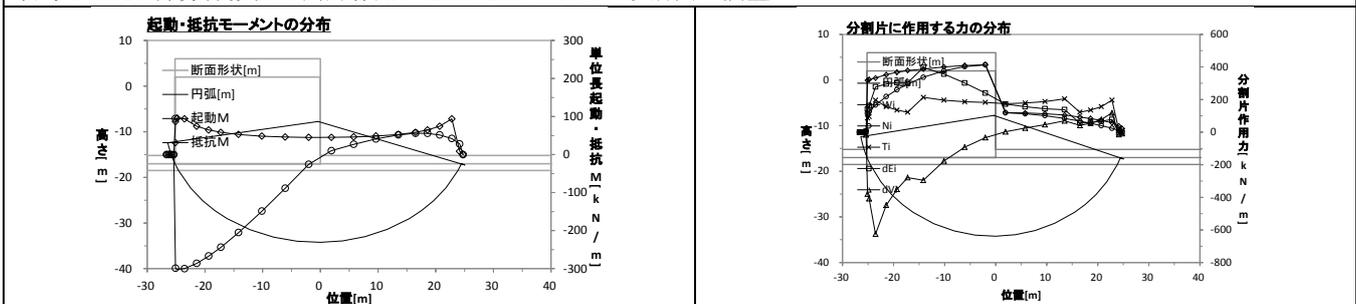
番号：254 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



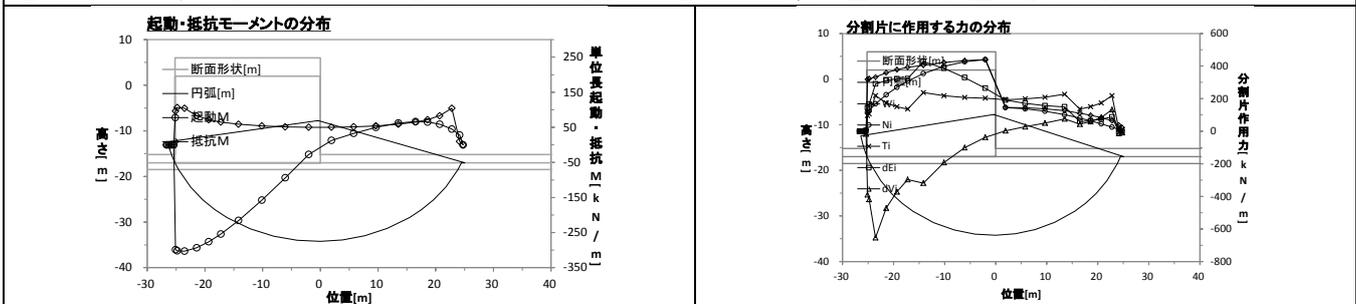
番号：154 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：354 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

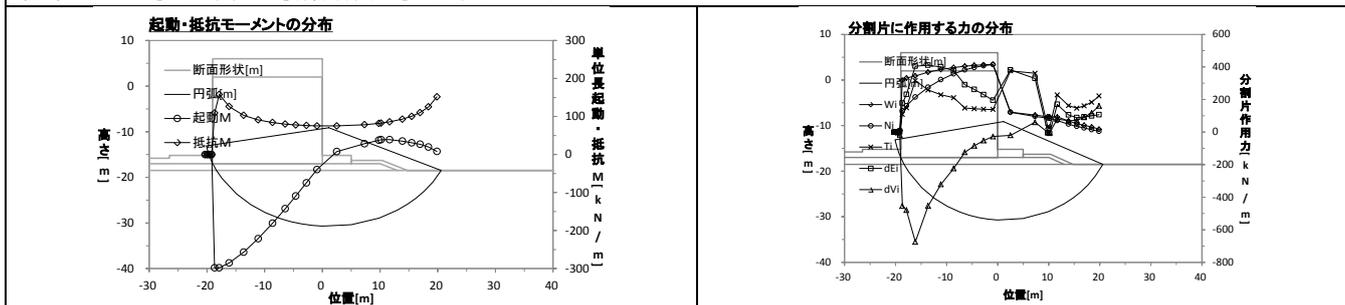


番号：454 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

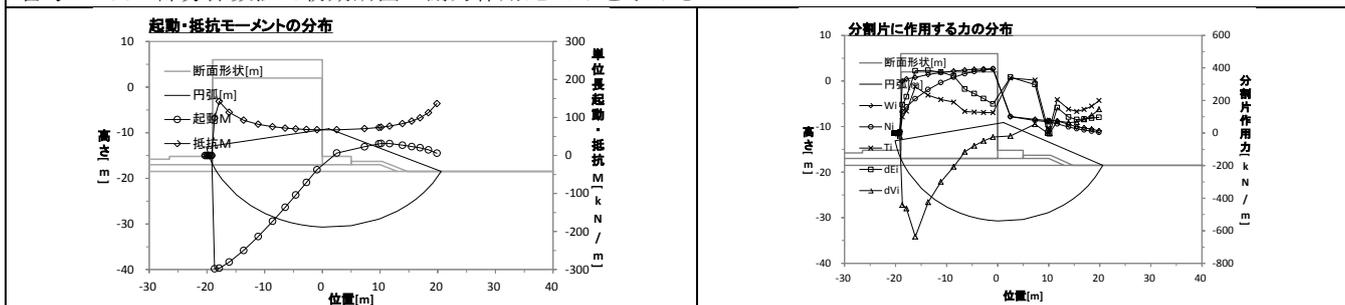


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

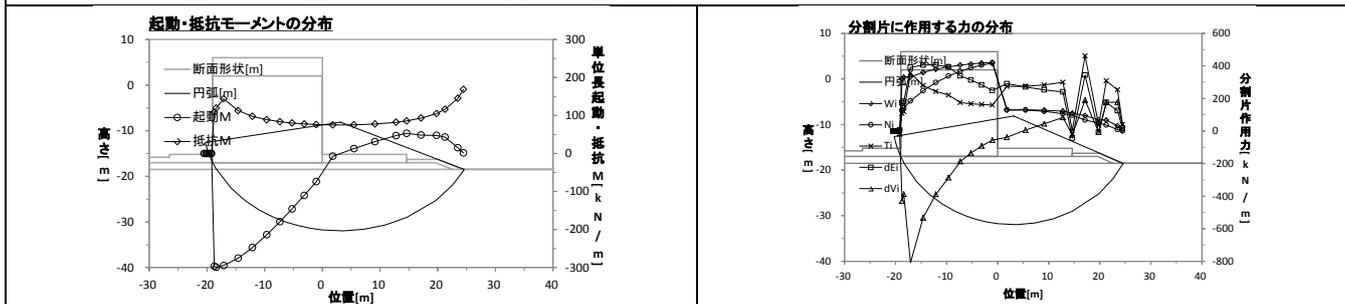
番号：055 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



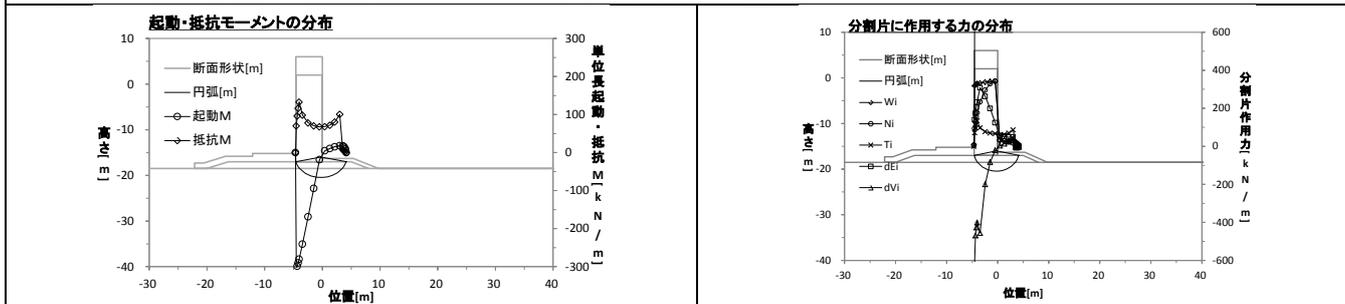
番号：255 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



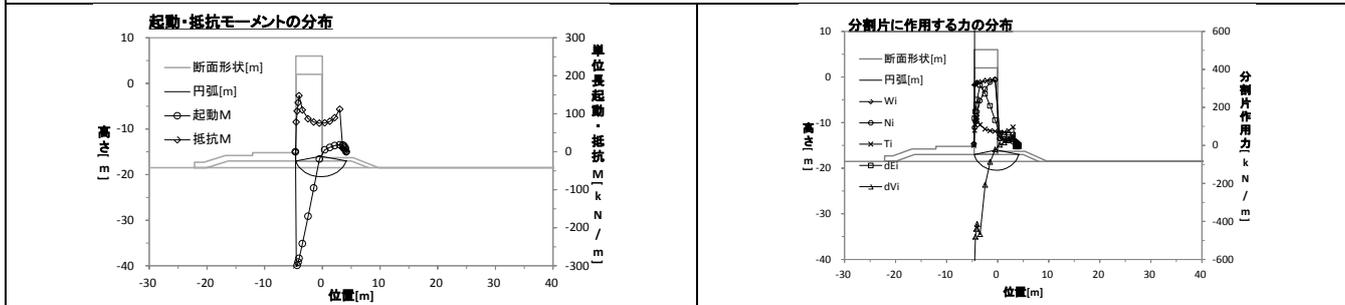
番号：155 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：355 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

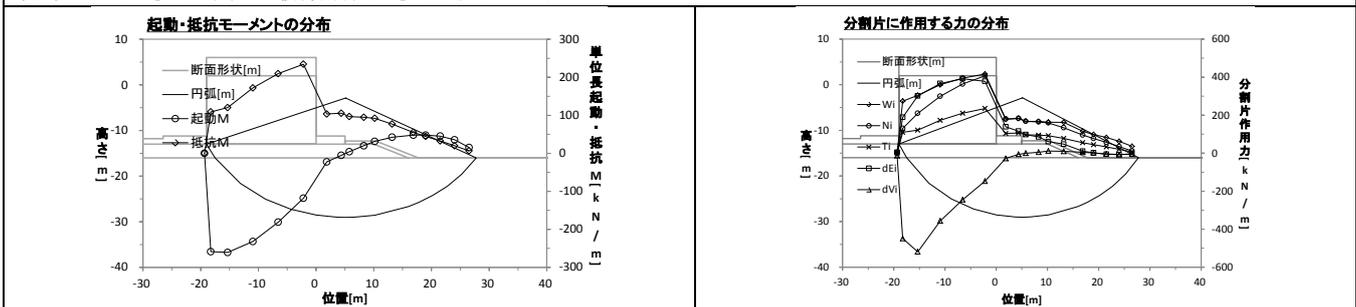


番号：455 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

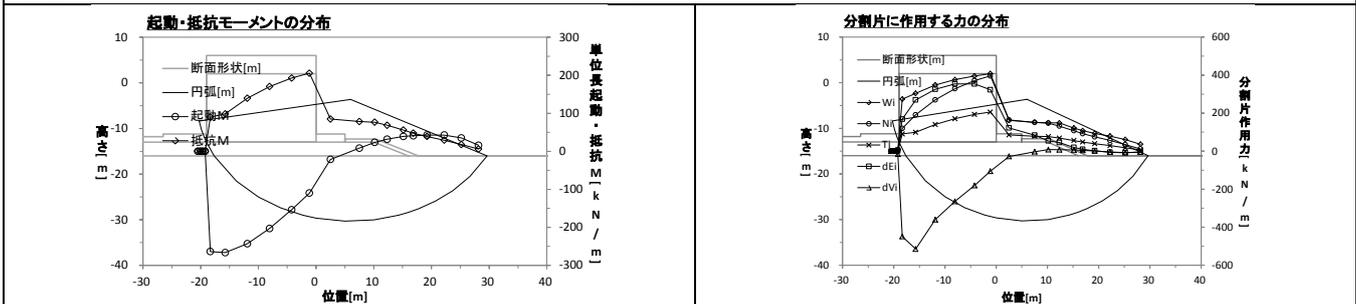


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

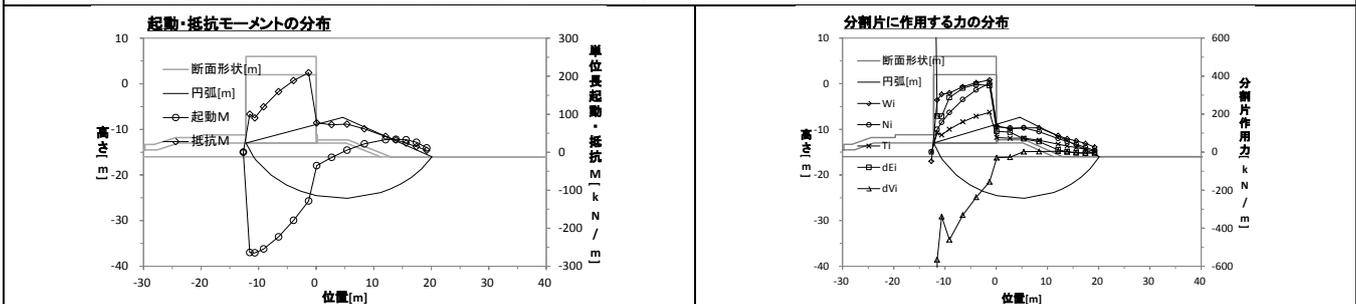
番号：002 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



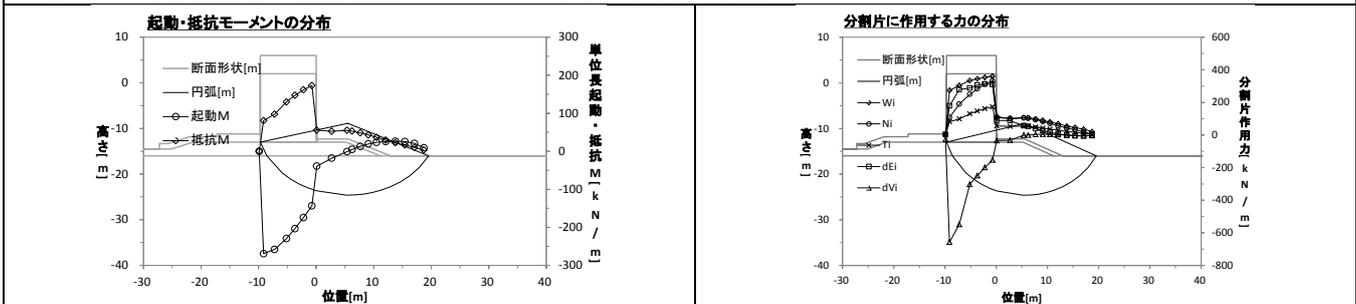
番号：202 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



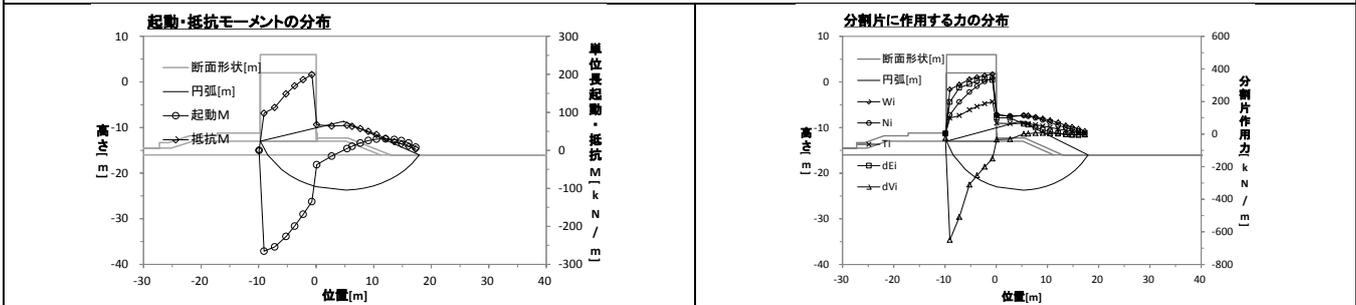
番号：102 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：302 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

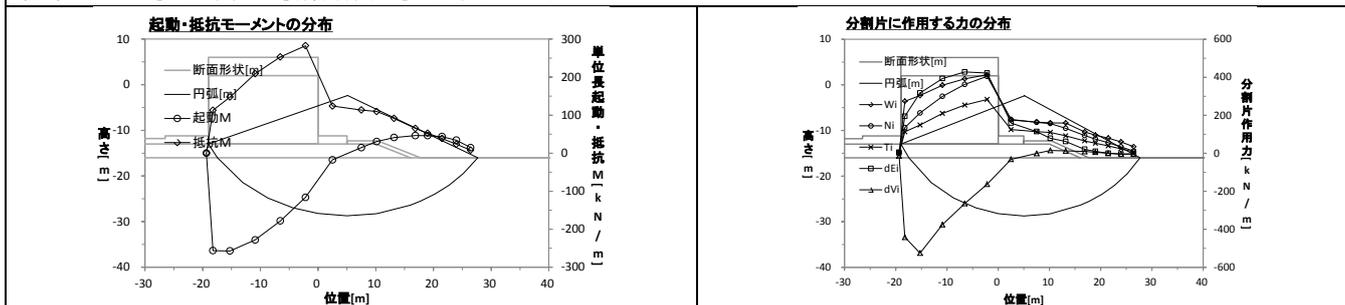


番号：402 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

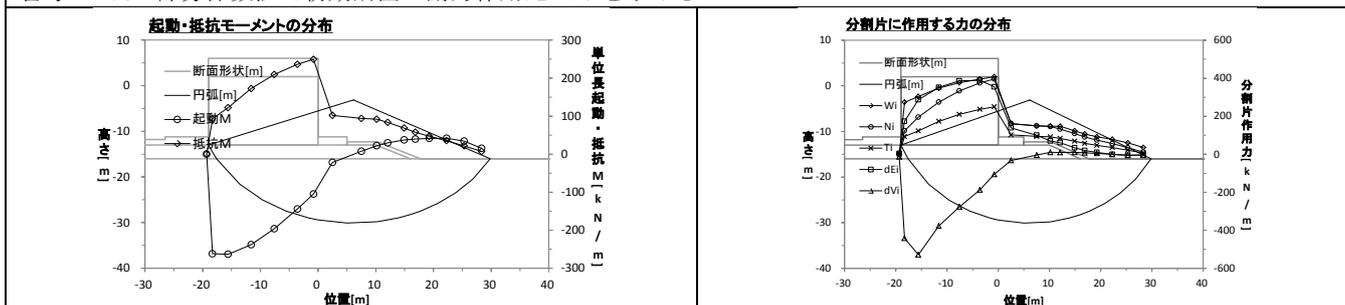


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

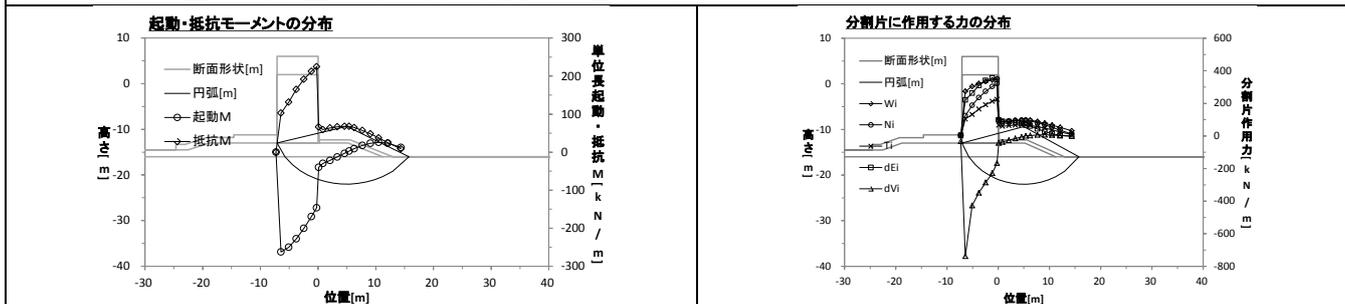
番号：003 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



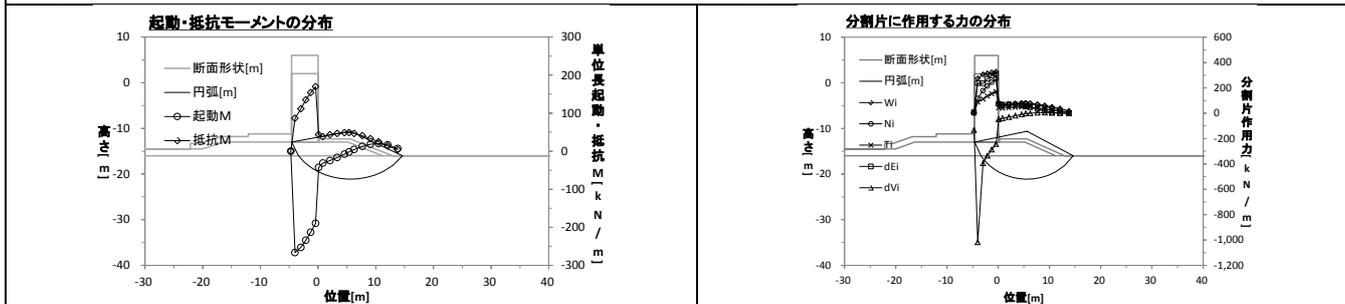
番号：203 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



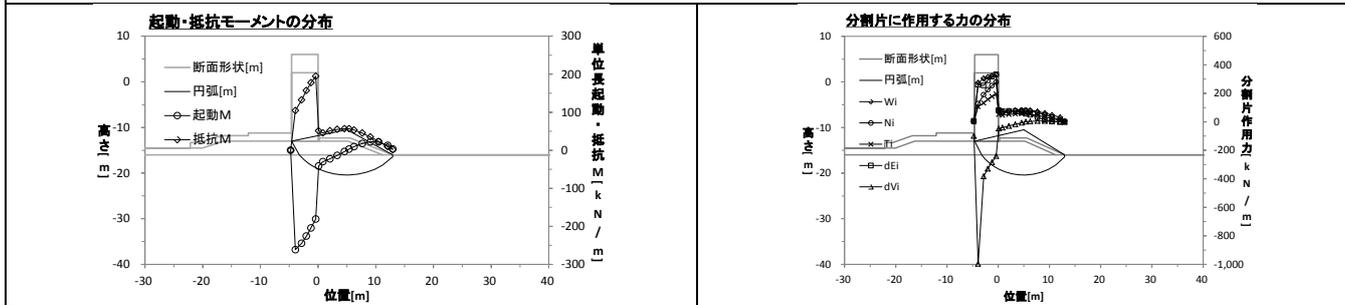
番号：103 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：303 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

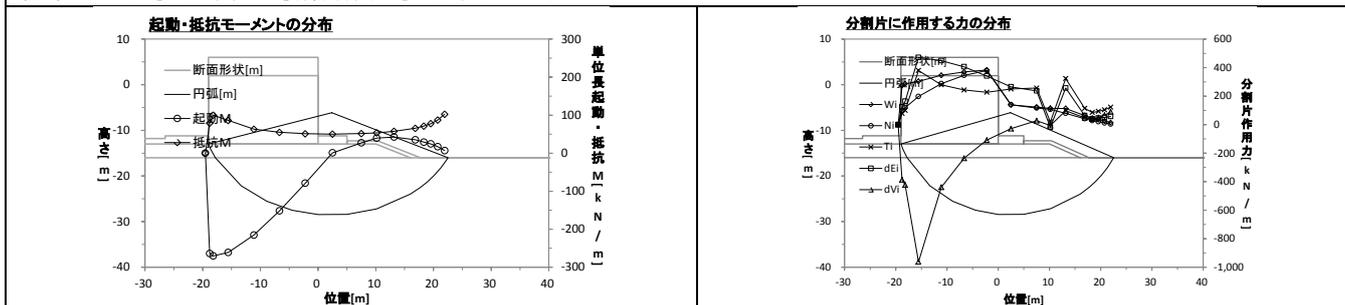


番号：403 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

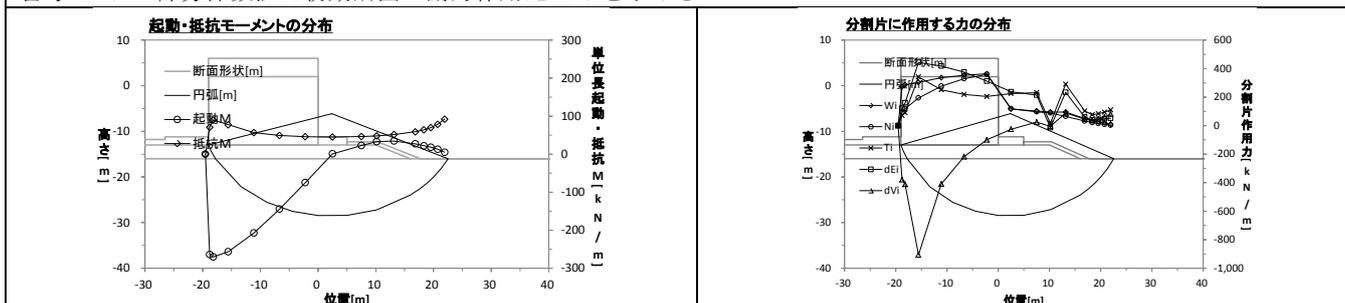


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

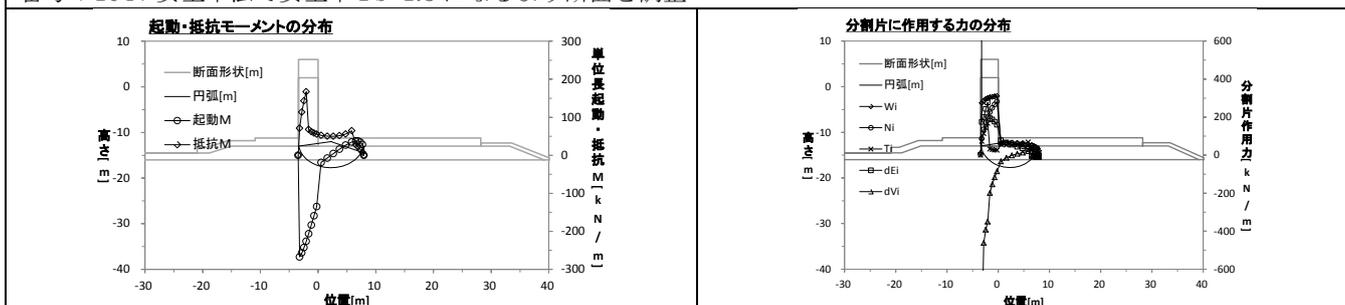
番号：004 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



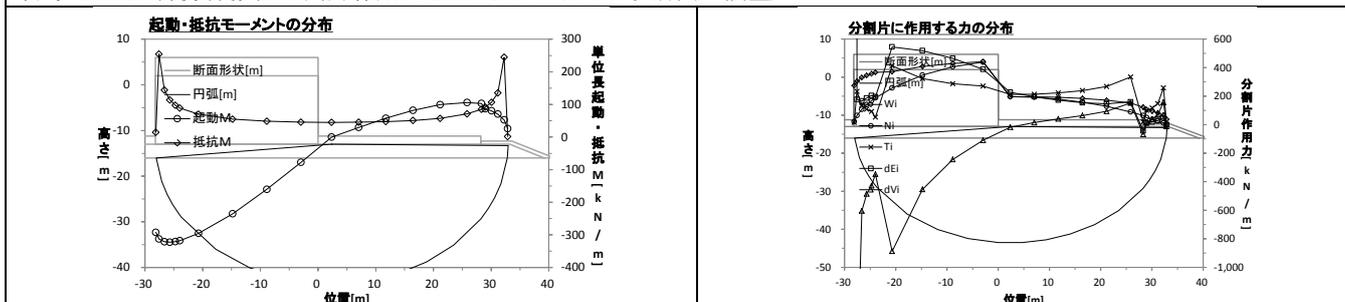
番号：204 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



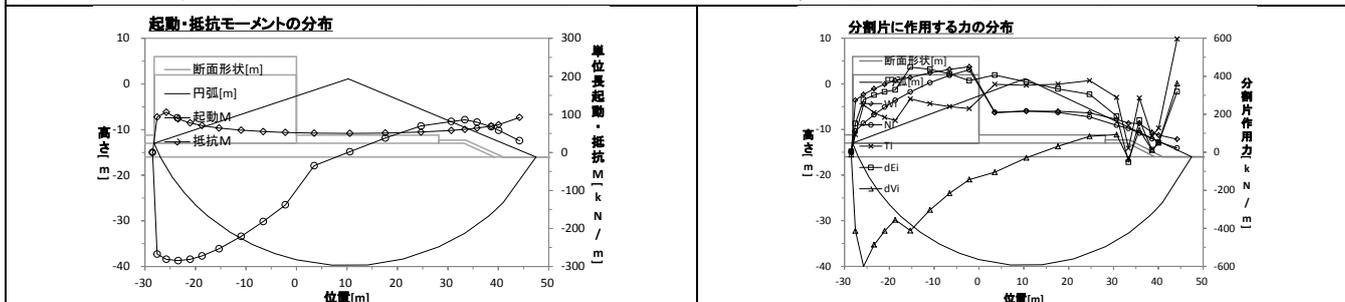
番号：104 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：304 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

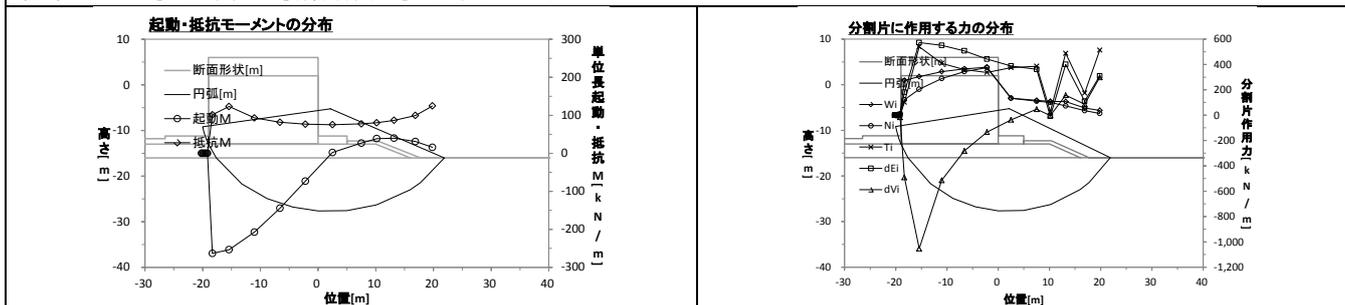


番号：404 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

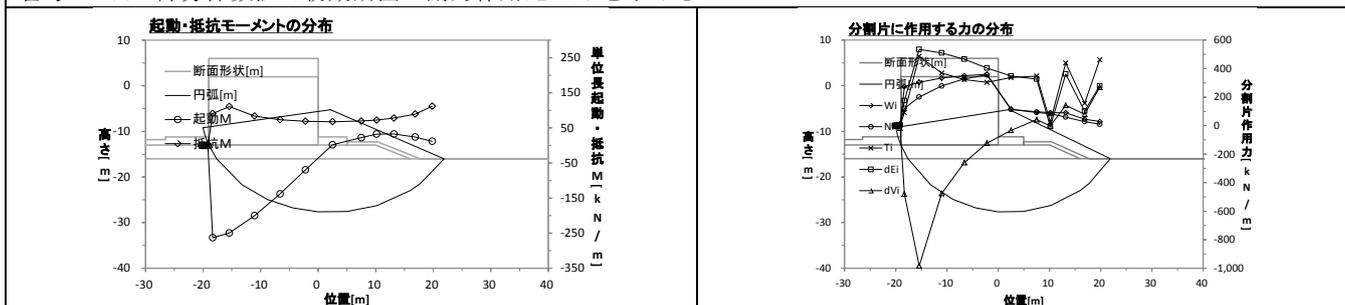


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

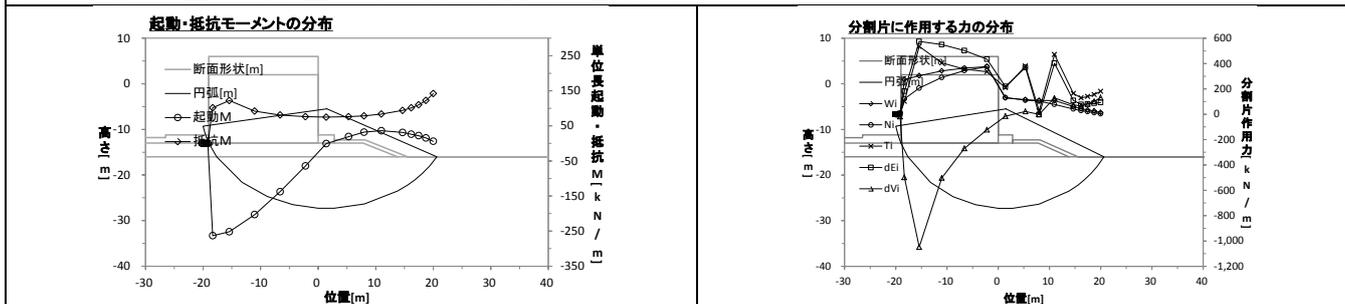
番号：005 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



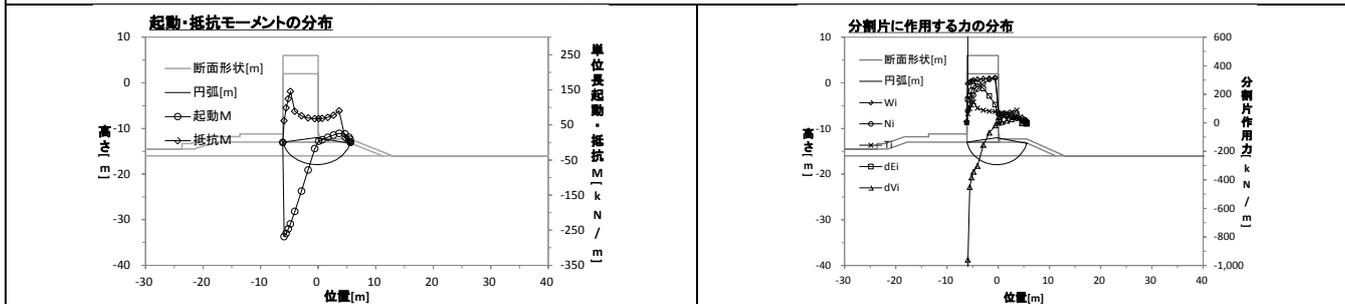
番号：205 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



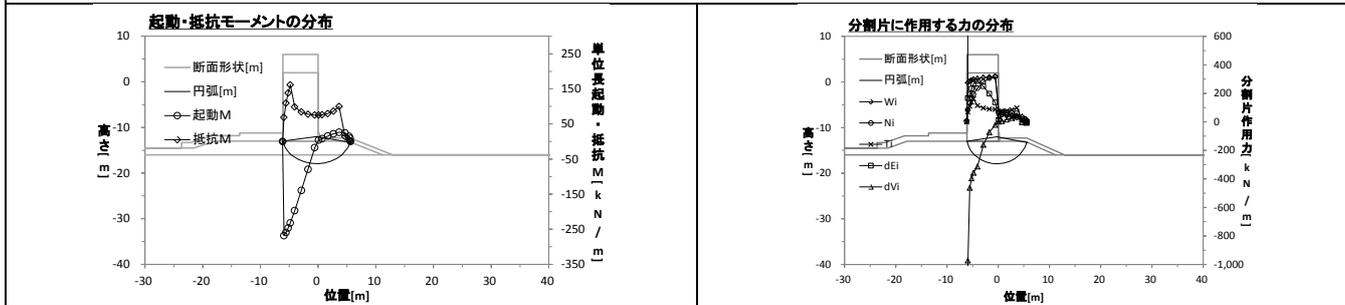
番号：105 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：305 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

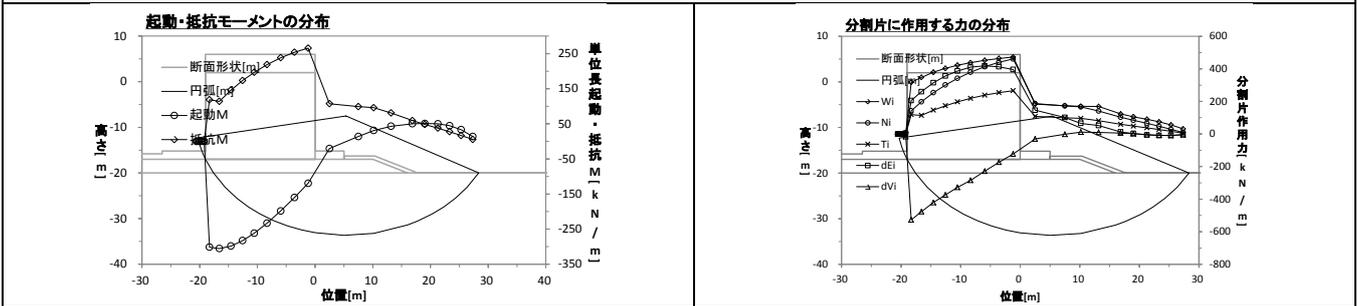


番号：405 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

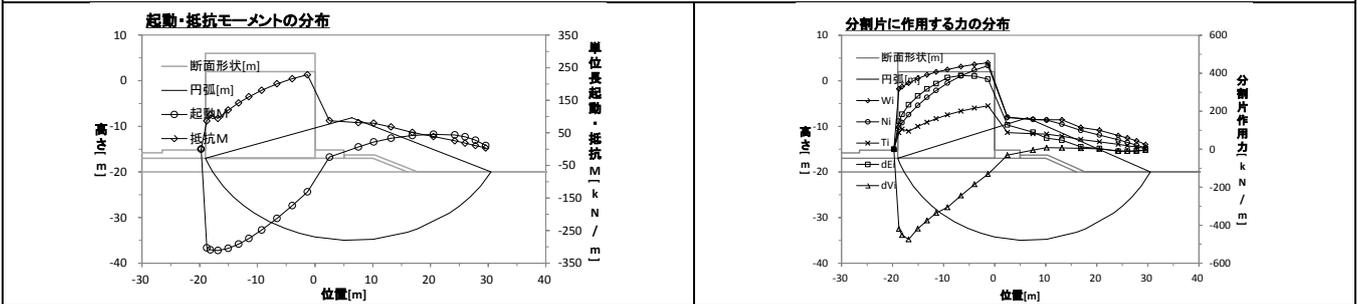


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

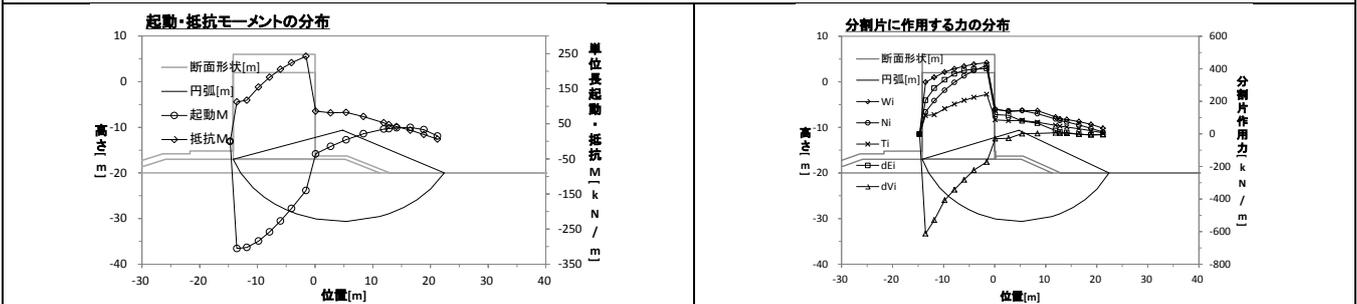
番号：012 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



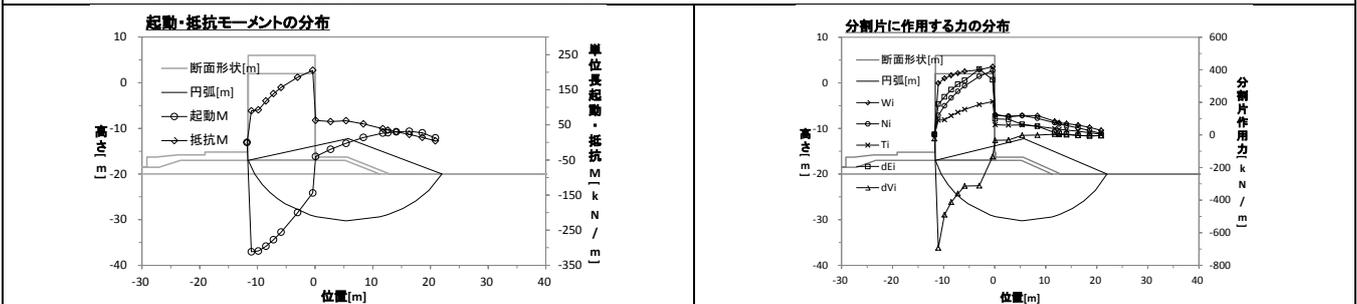
番号：212 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



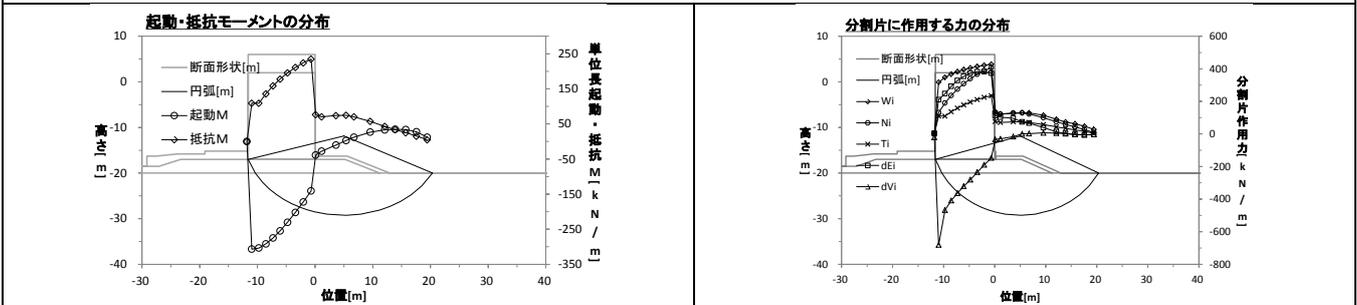
番号：112 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：312 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

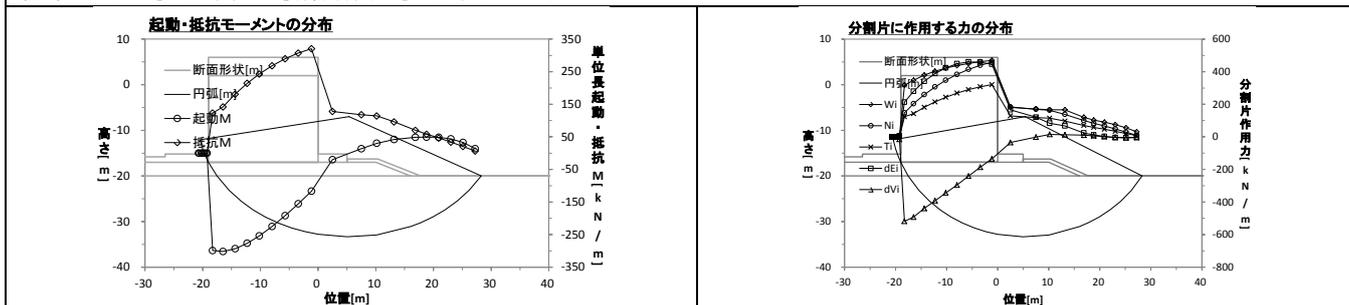


番号：412 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

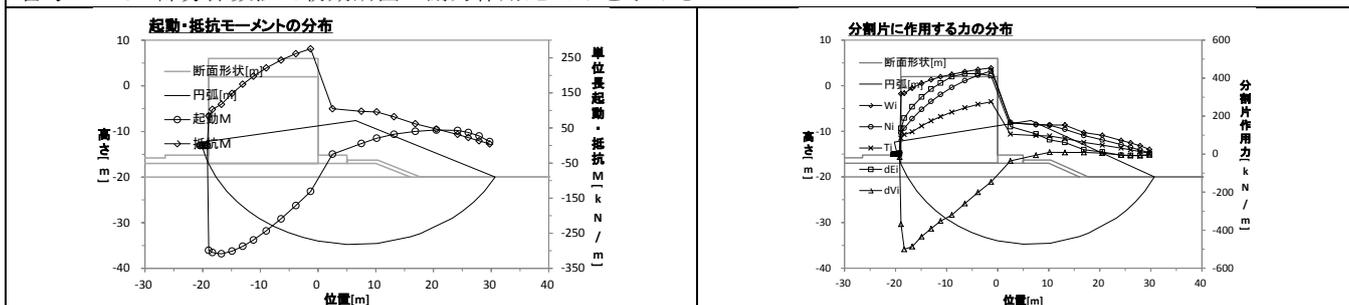


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

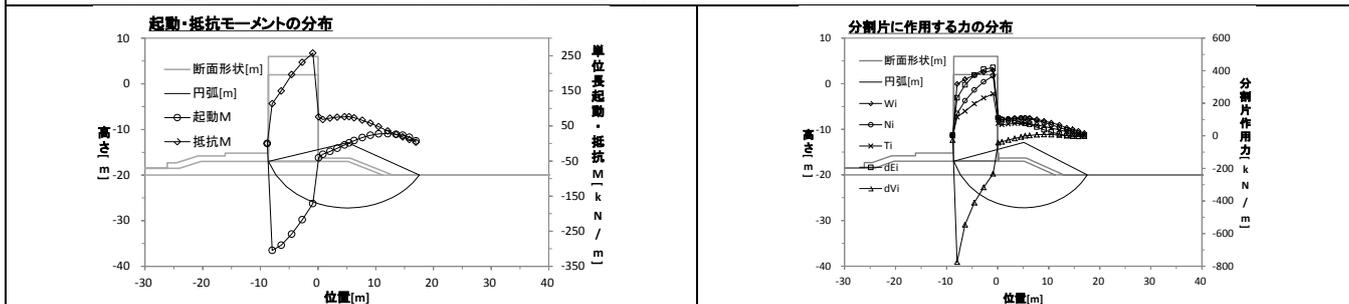
番号：013 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



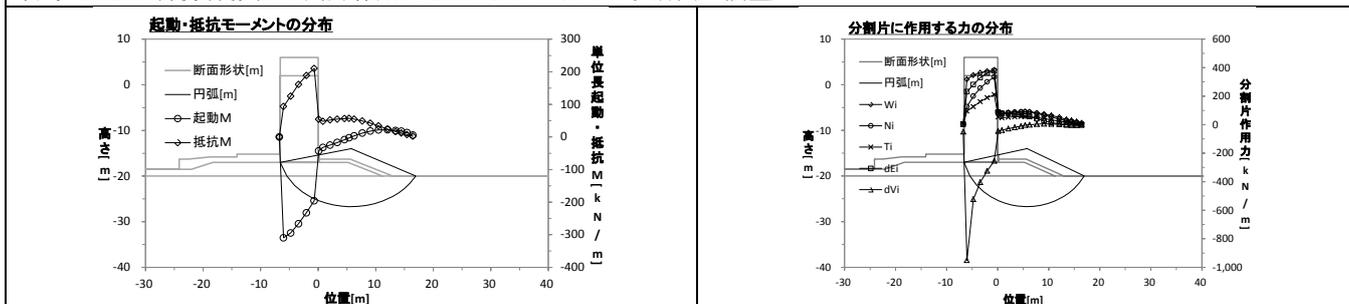
番号：213 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



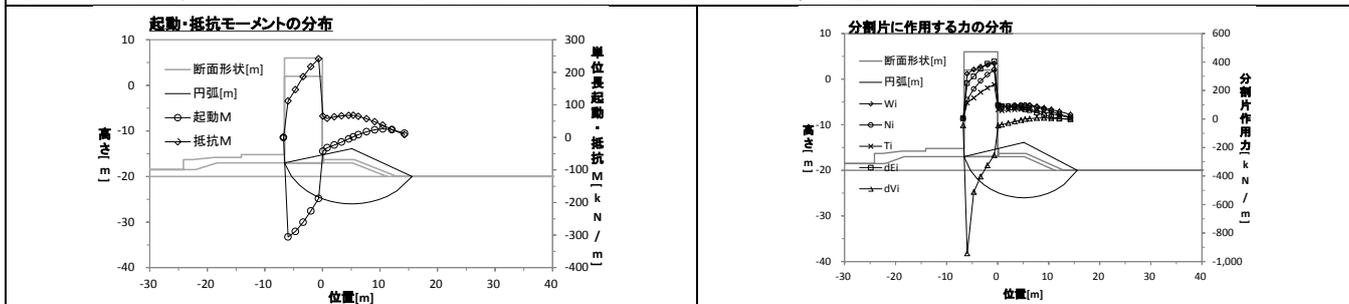
番号：113 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：313 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

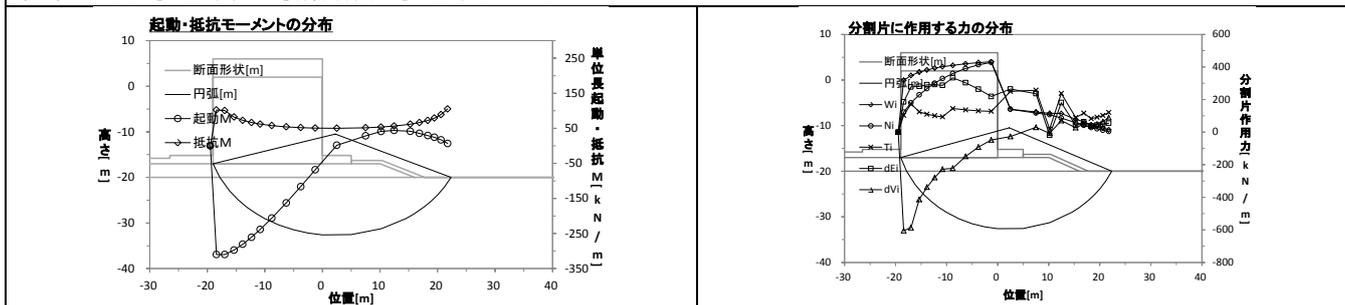


番号：413 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

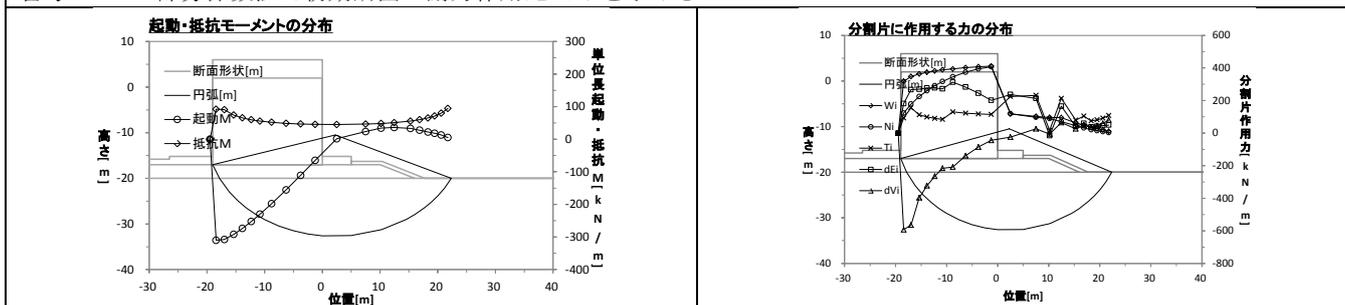


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

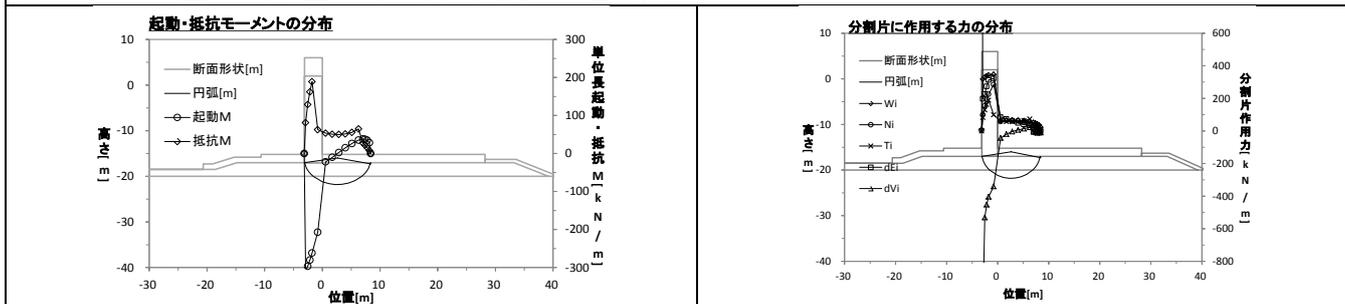
番号：014 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



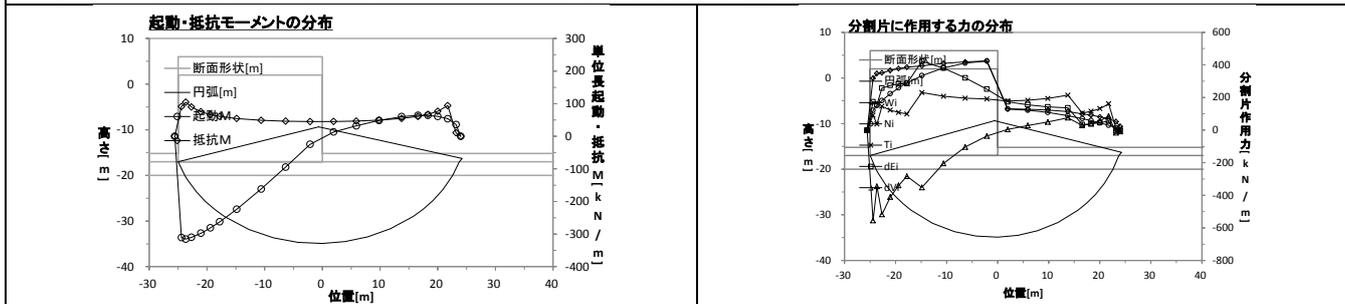
番号：214 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



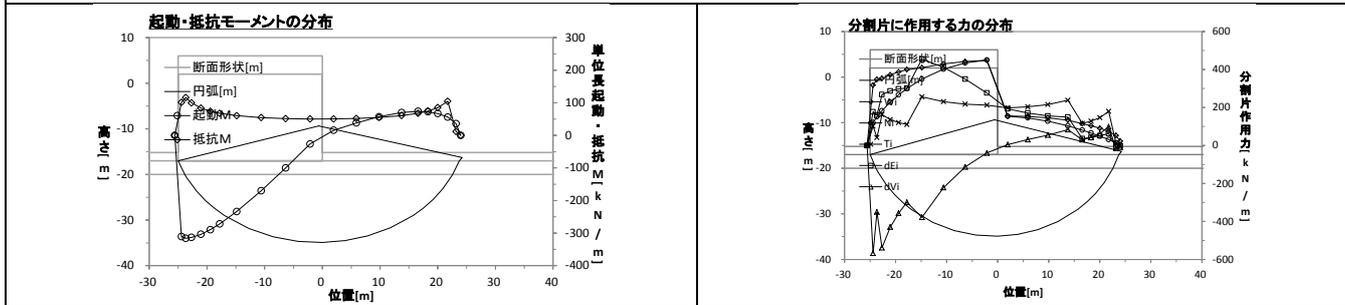
番号：114 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：314 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

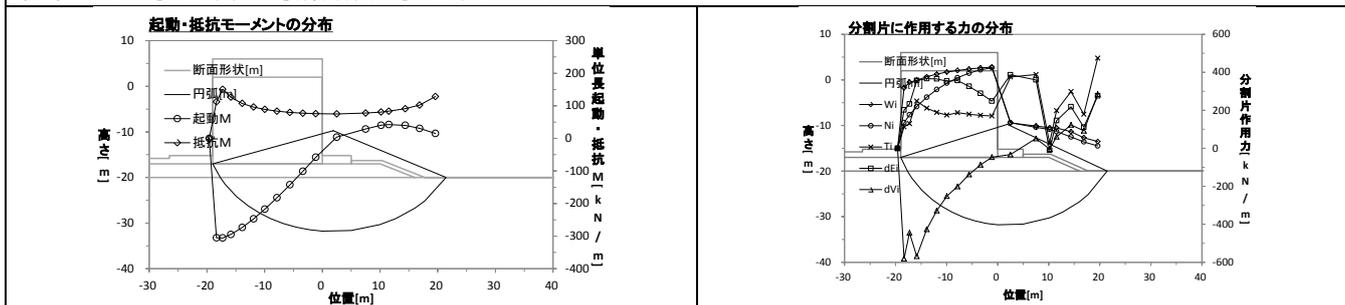


番号：414 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

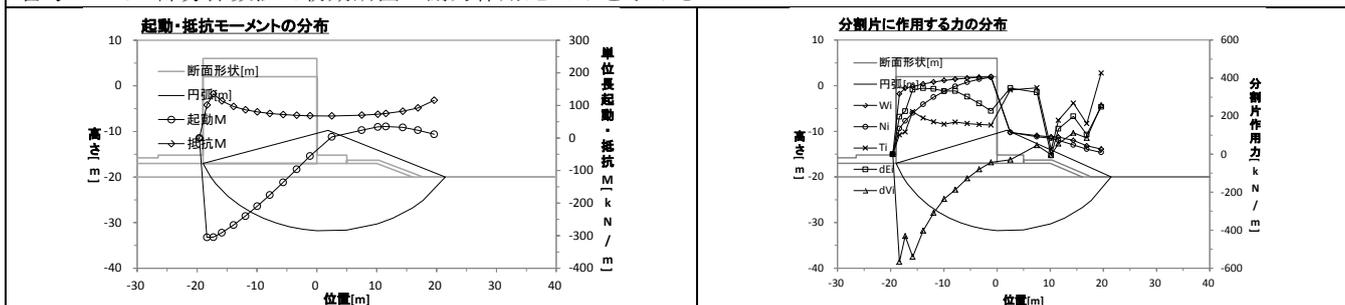


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

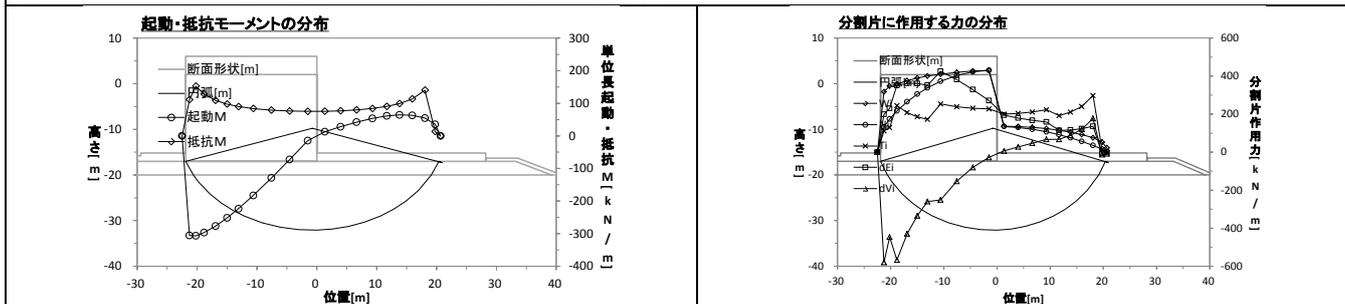
番号：015 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



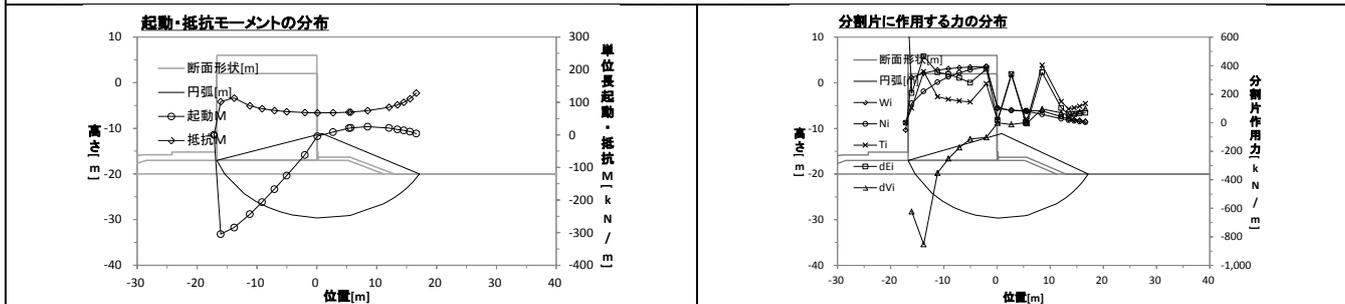
番号：215 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



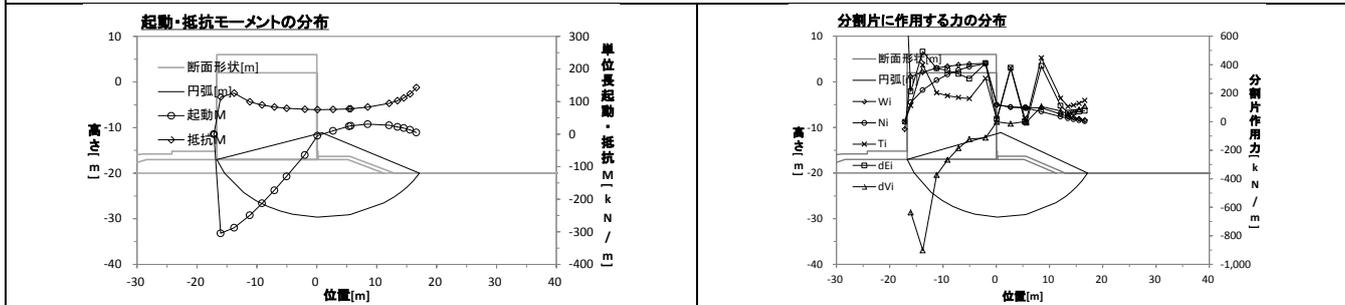
番号：115 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：315 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

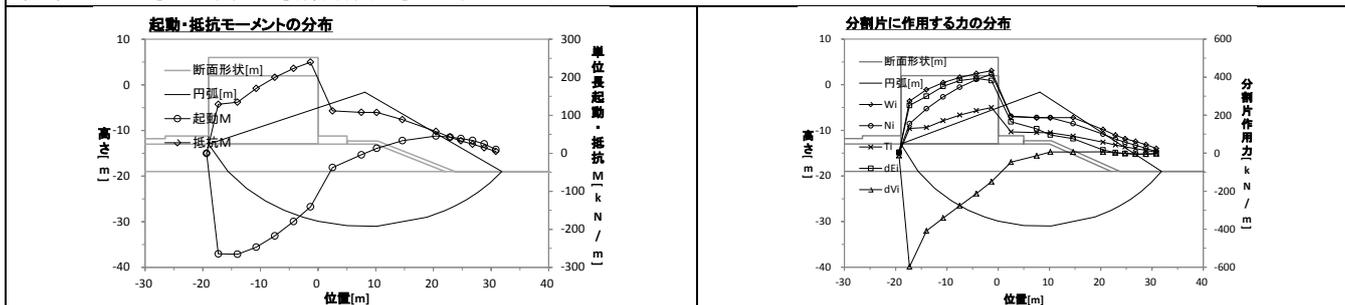


番号：415 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

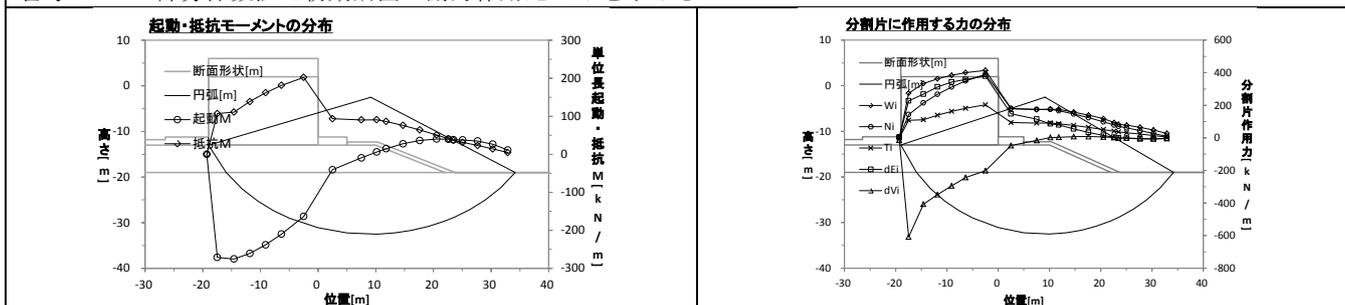


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

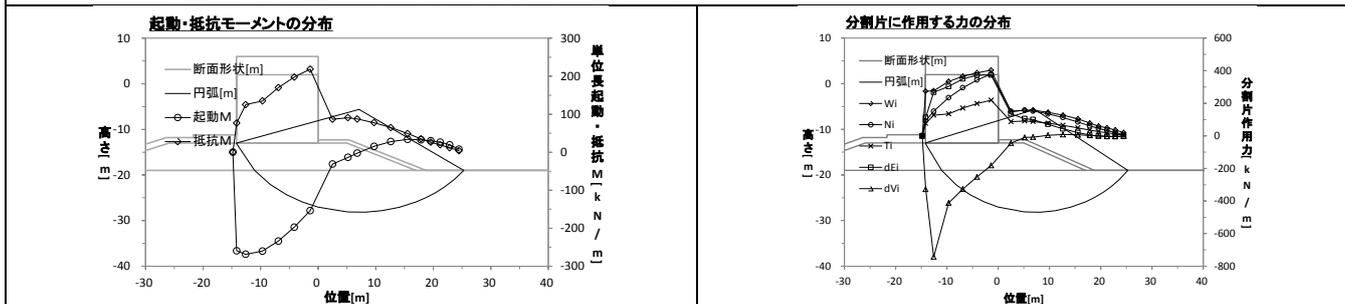
番号：022 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



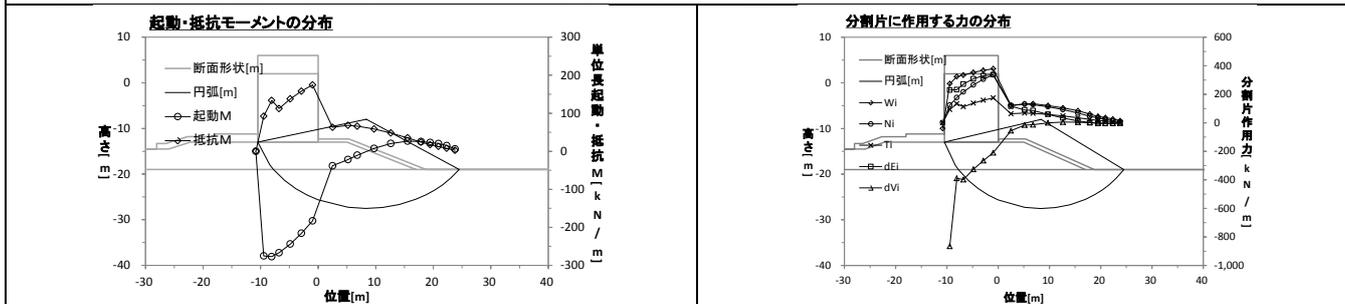
番号：222 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



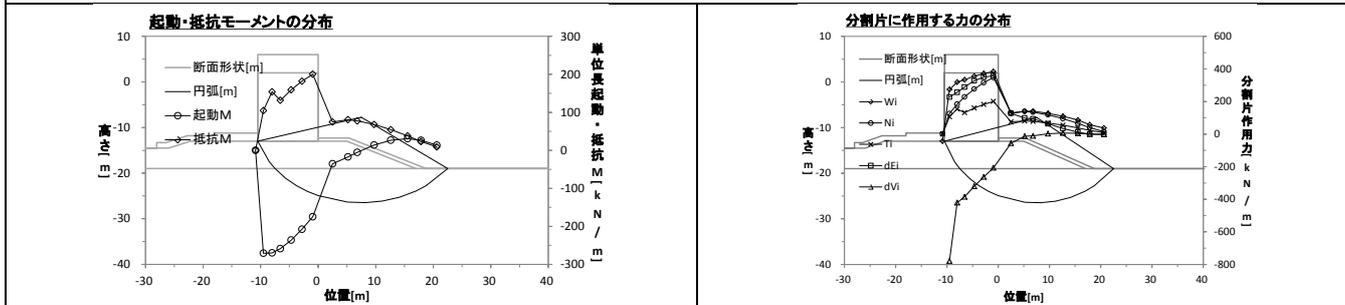
番号：122 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：322 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

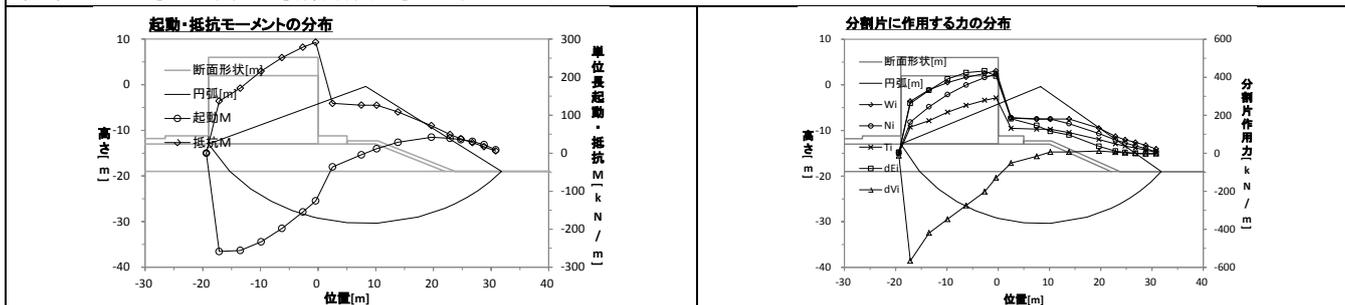


番号：422 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

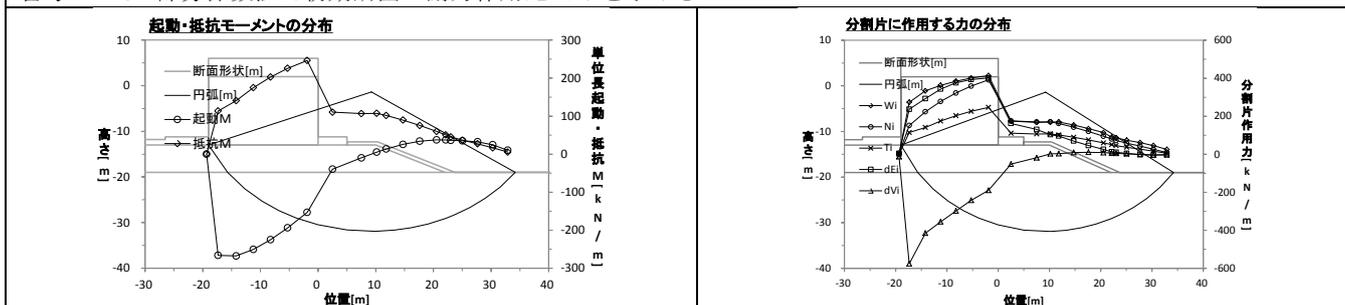


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

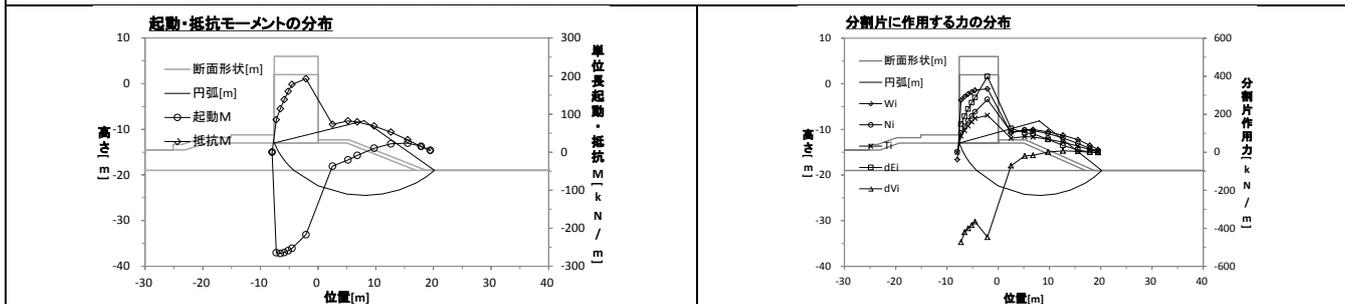
番号：023 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



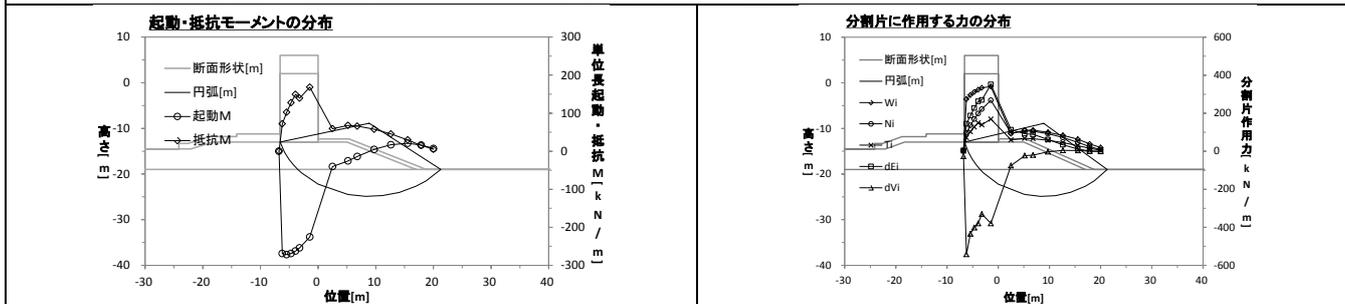
番号：223 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



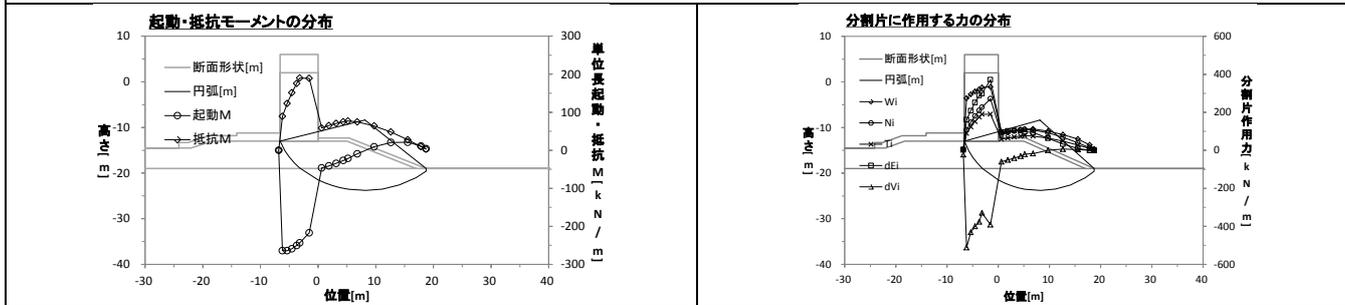
番号：123 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：323 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

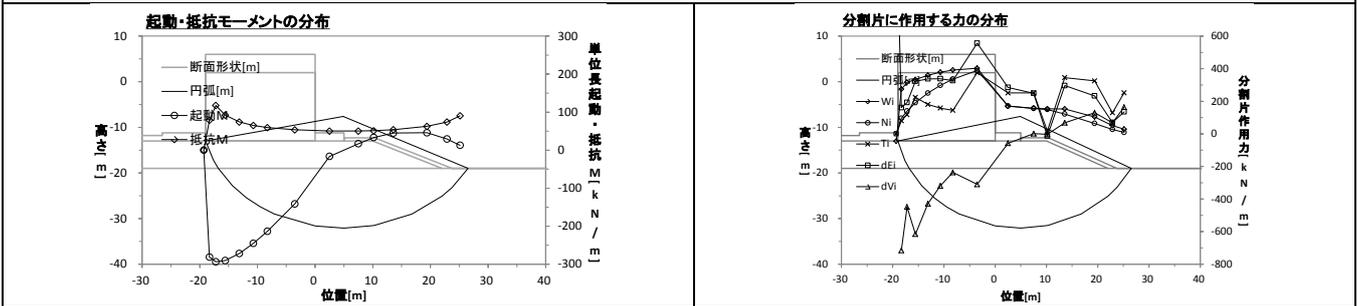


番号：423 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

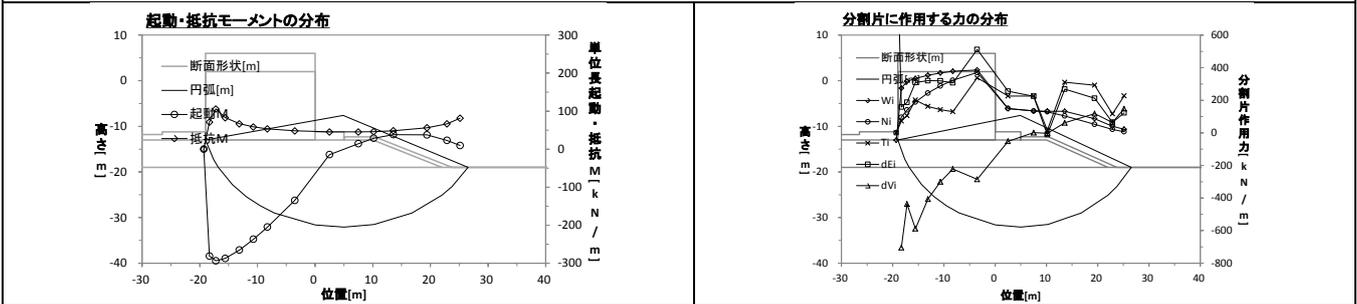


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

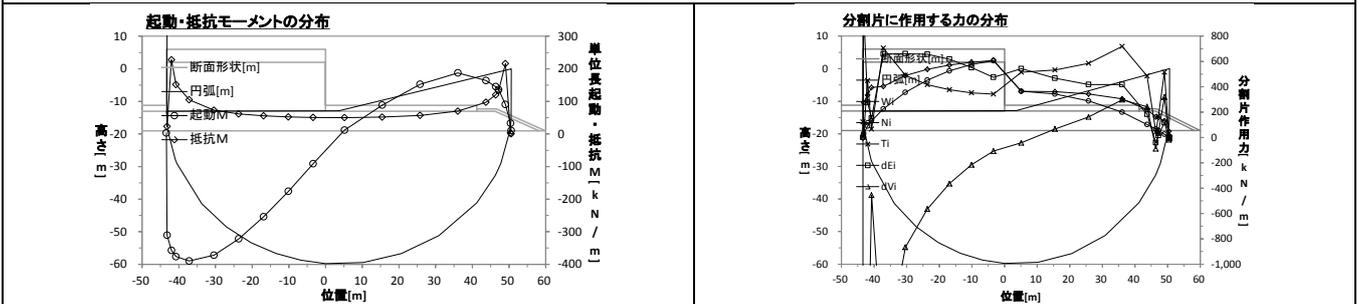
番号：024 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



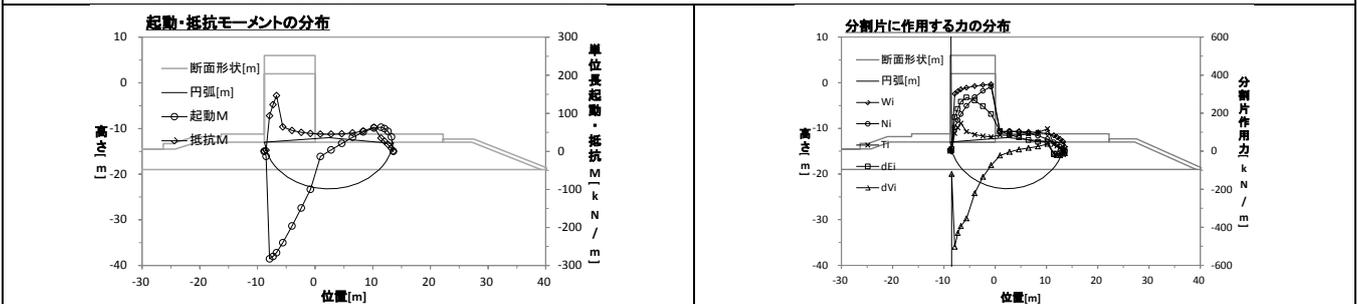
番号：224 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



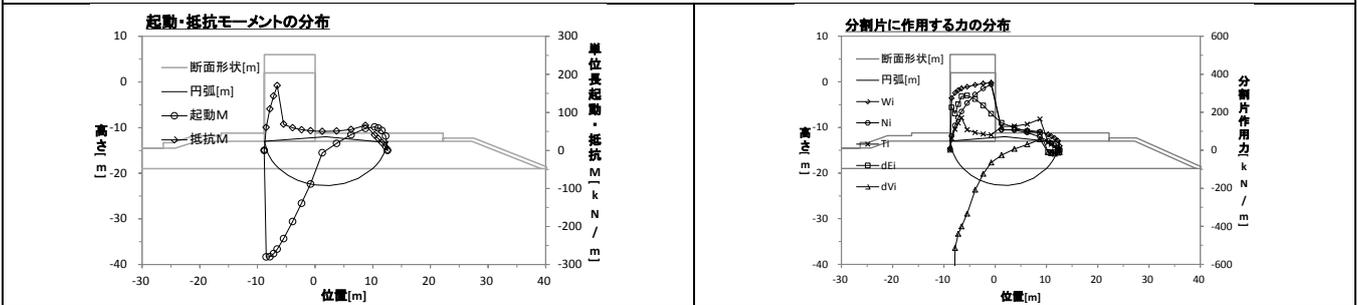
番号：124 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：324 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

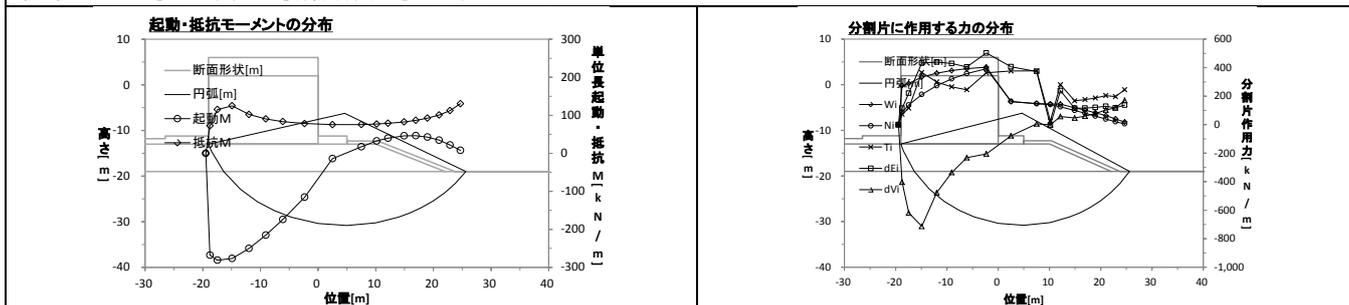


番号：424 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

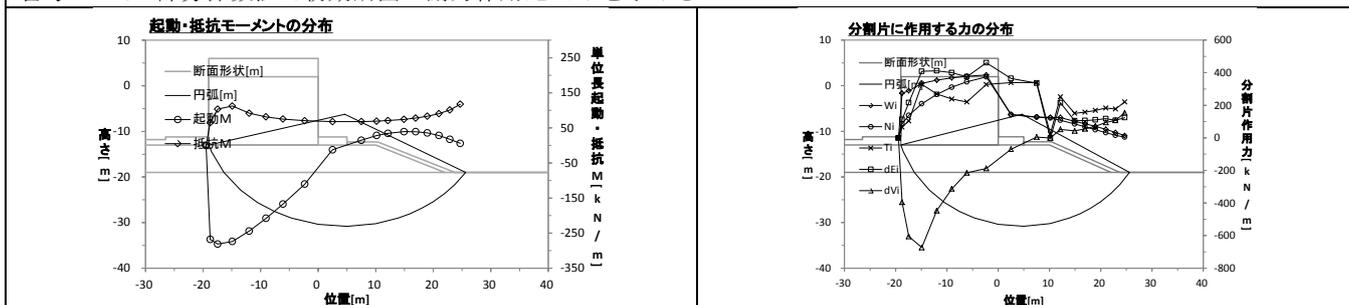


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

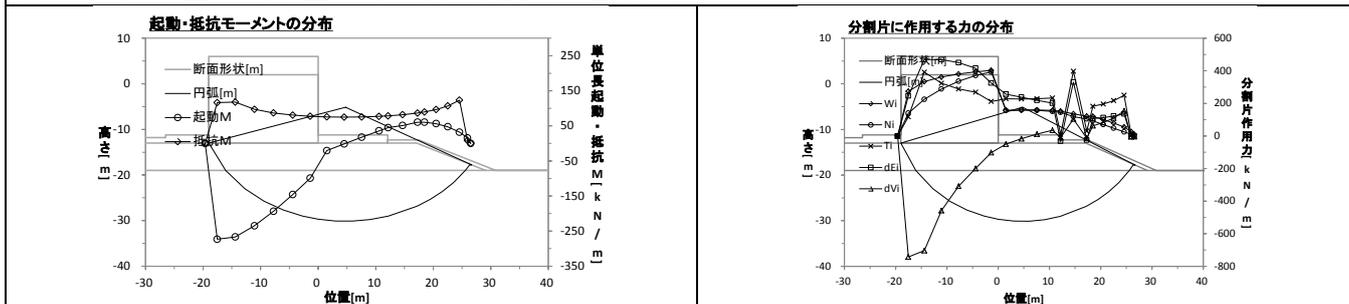
番号：025 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



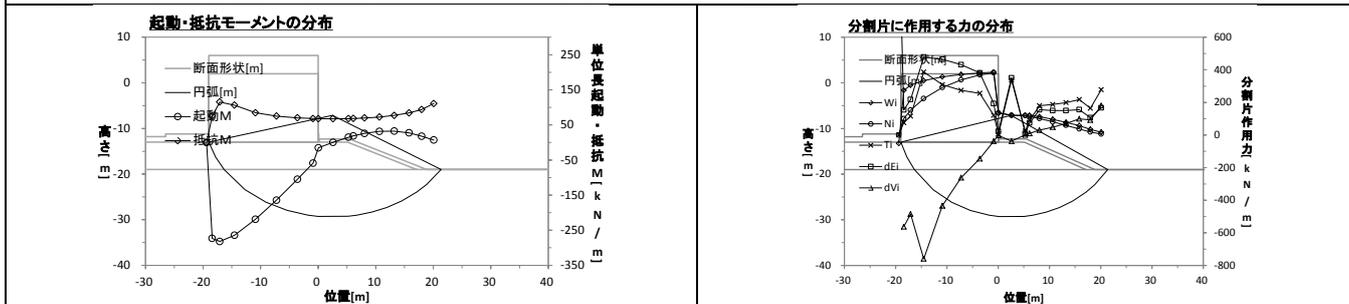
番号：225 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



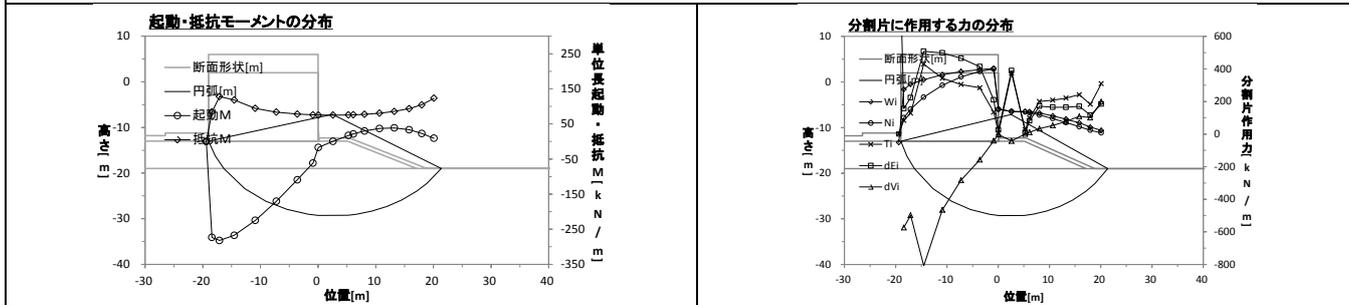
番号：125 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：325 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

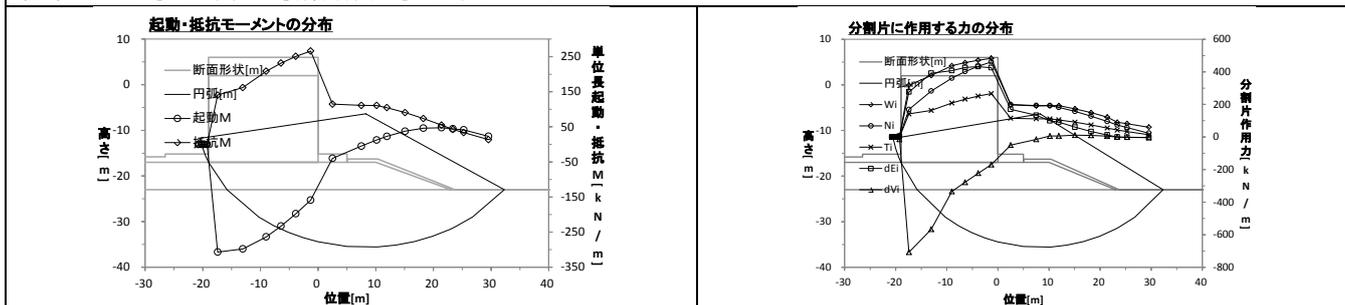


番号：425 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

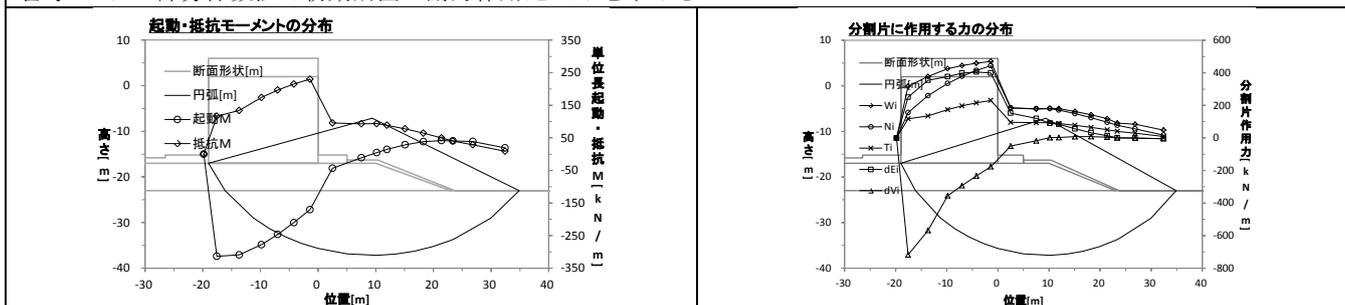


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

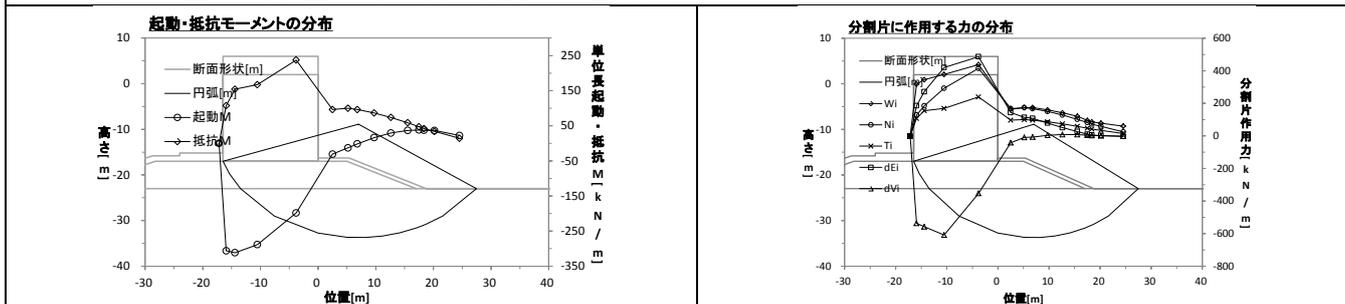
番号：032 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



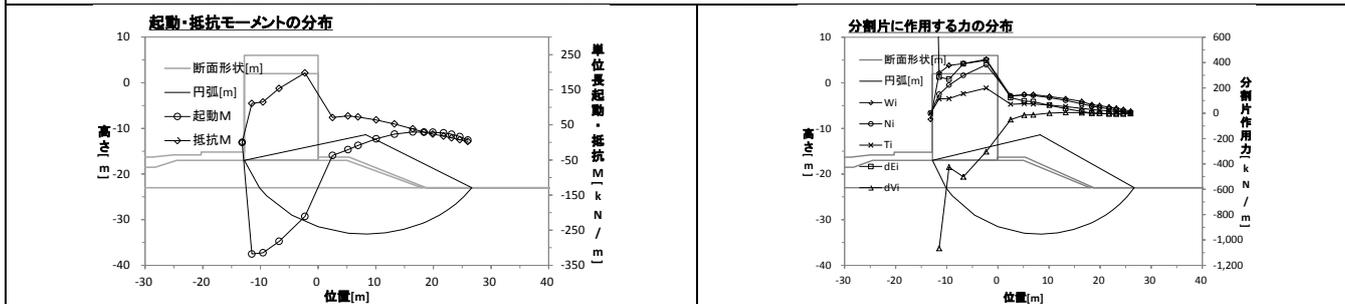
番号：232 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



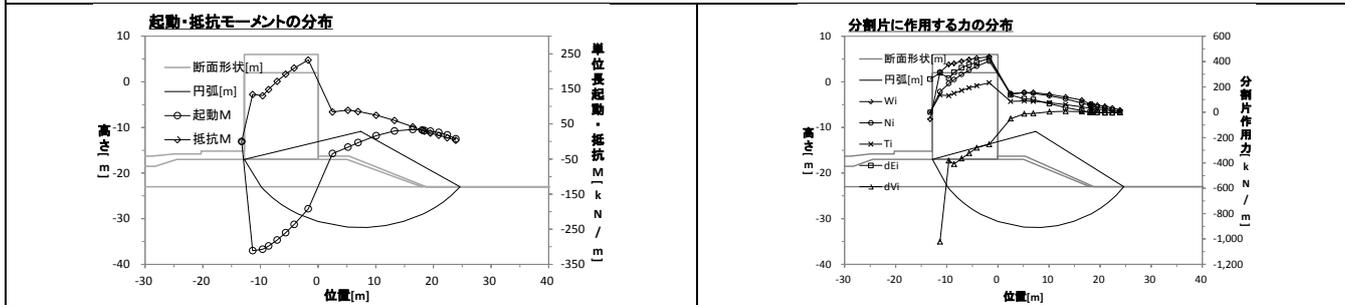
番号：132 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：332 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

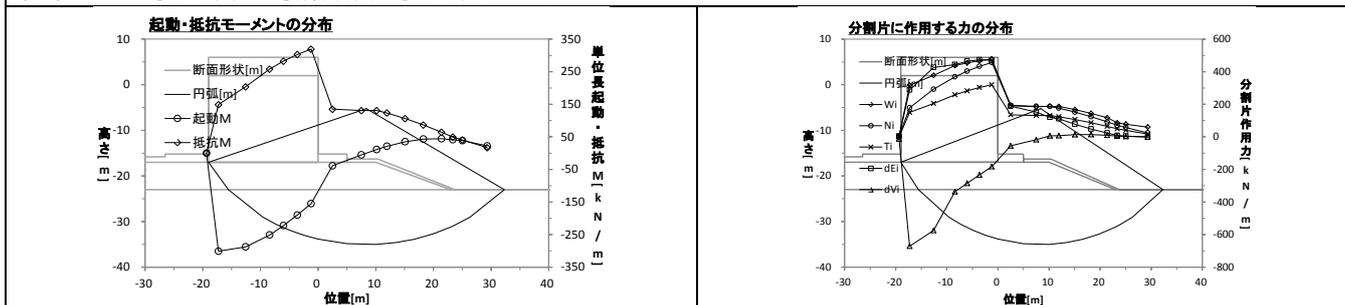


番号：432 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

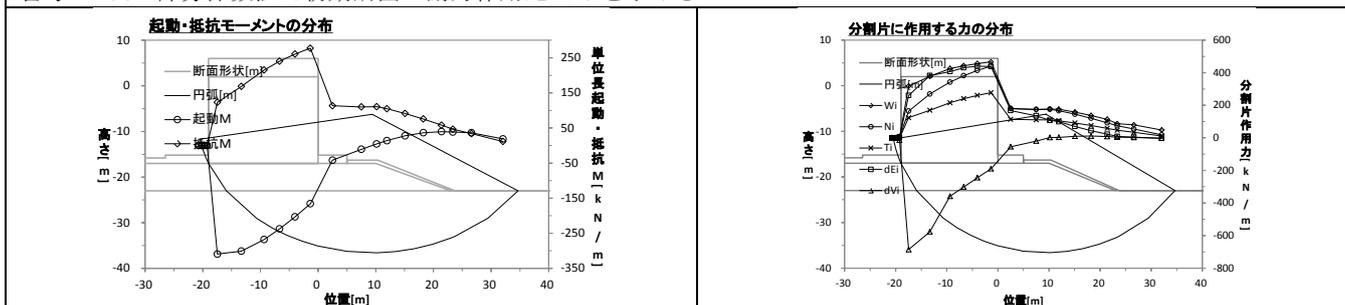


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

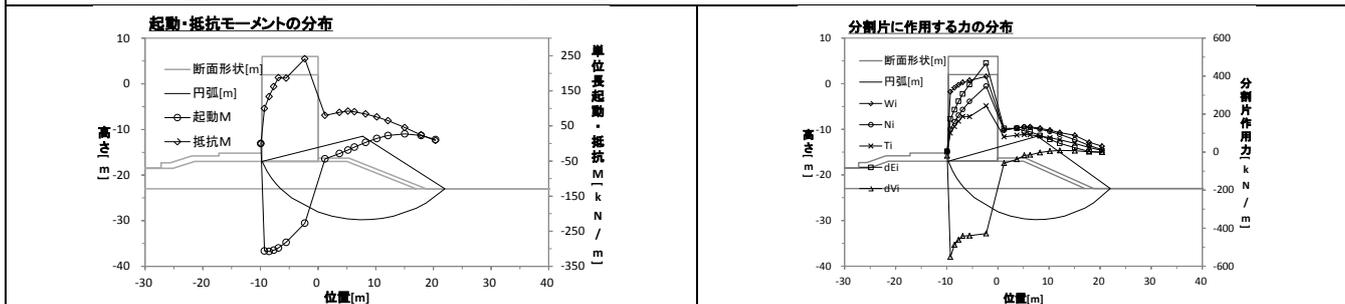
番号：033 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



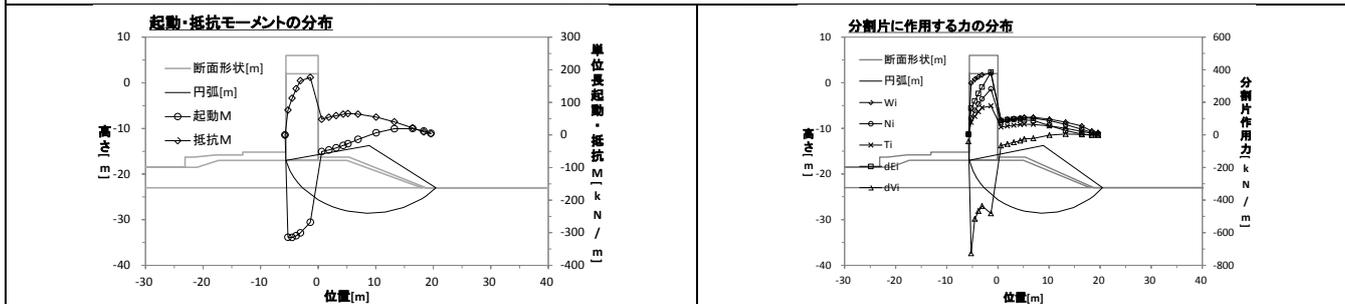
番号：233 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



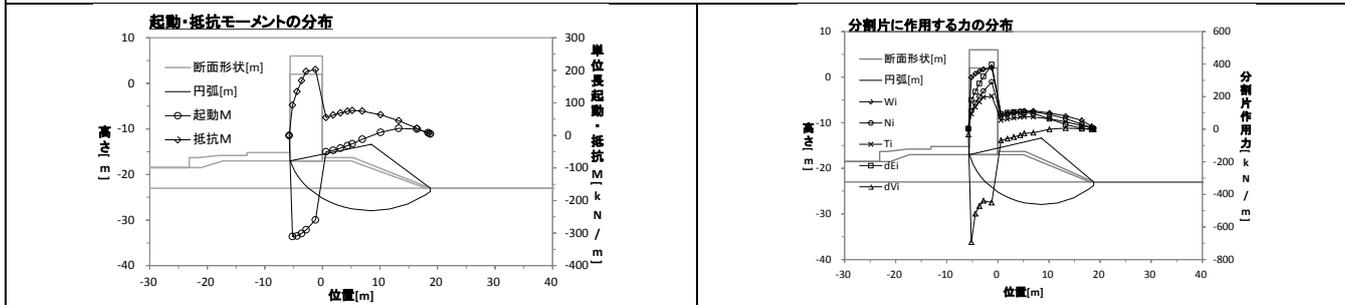
番号：133 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：333 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

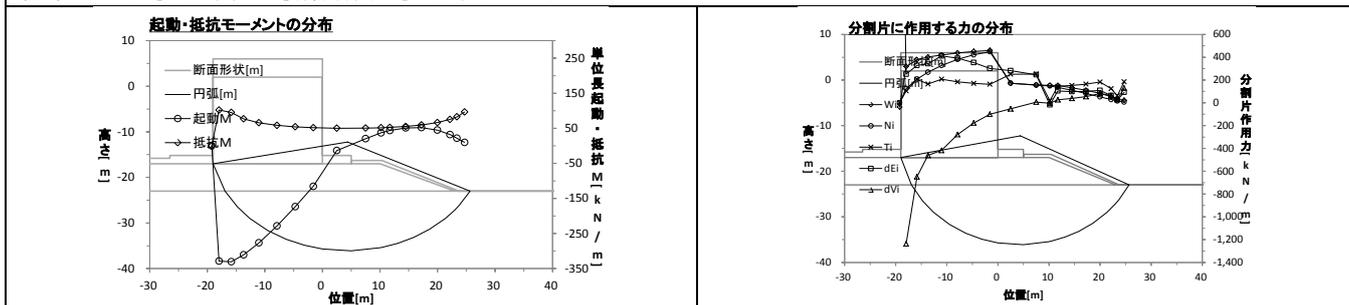


番号：433 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

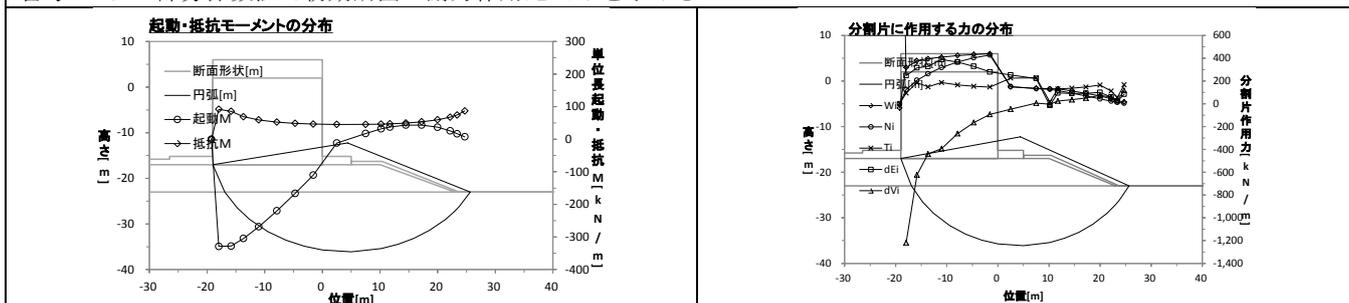


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

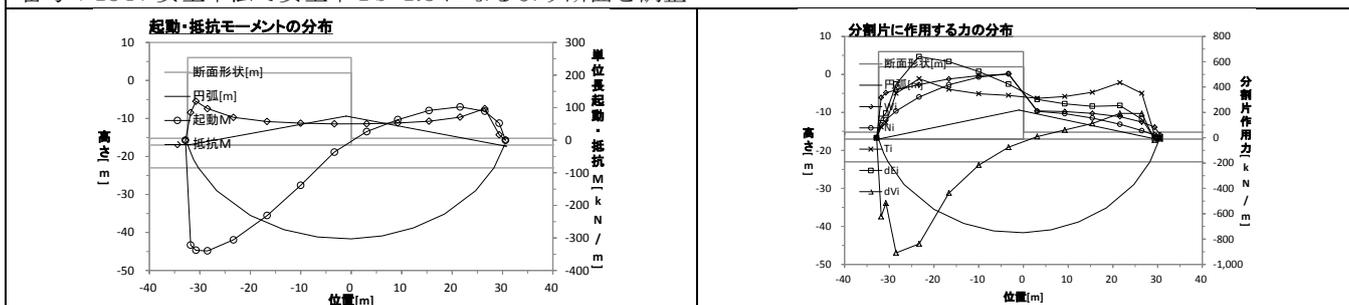
番号：034 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



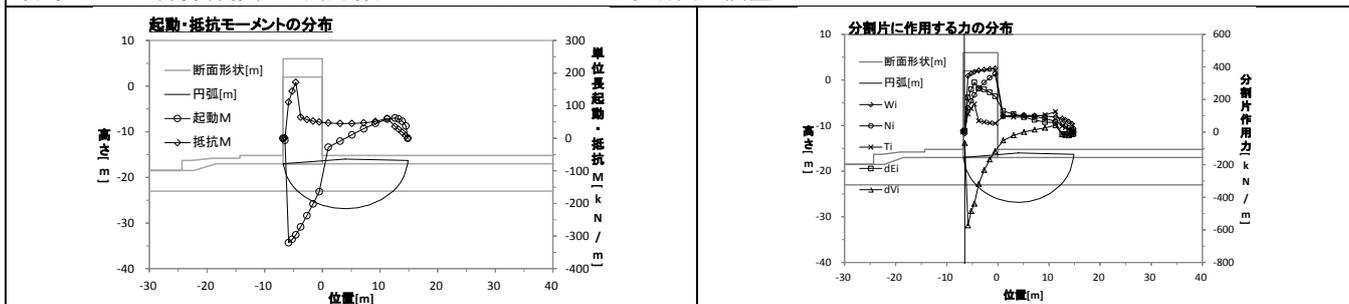
番号：234 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



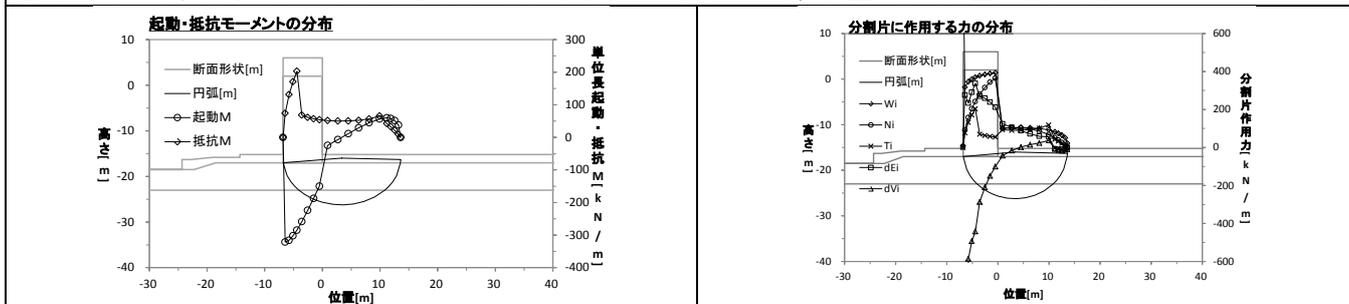
番号：134 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：334 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整

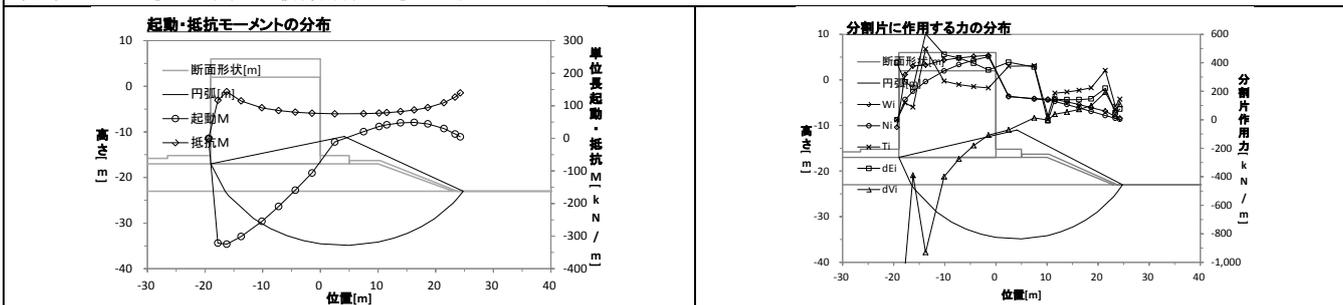


番号：434 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める

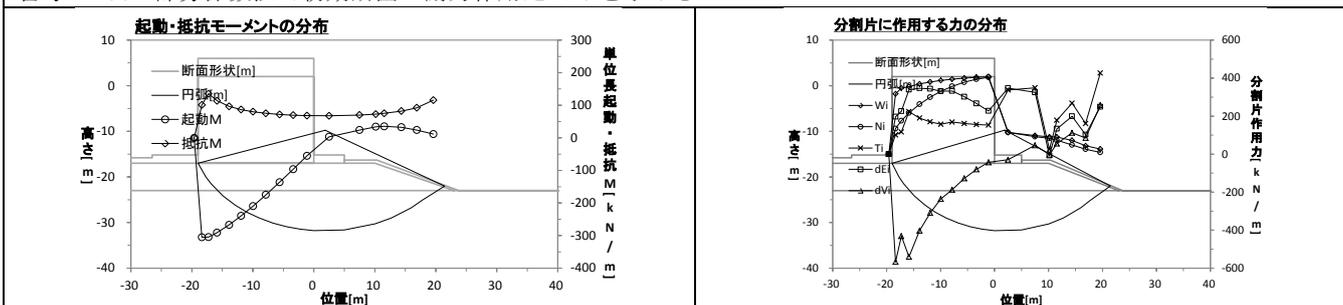


ケーソン式混成堤のすべり円弧，抵抗・起動モーメント，分割片に作用する力の分布図

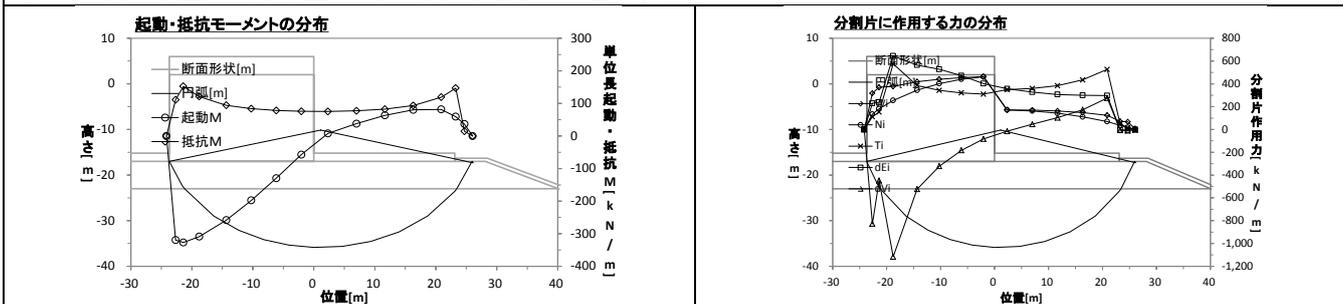
番号：035 / 安全率法で初期断面の安全率 F_s を求める



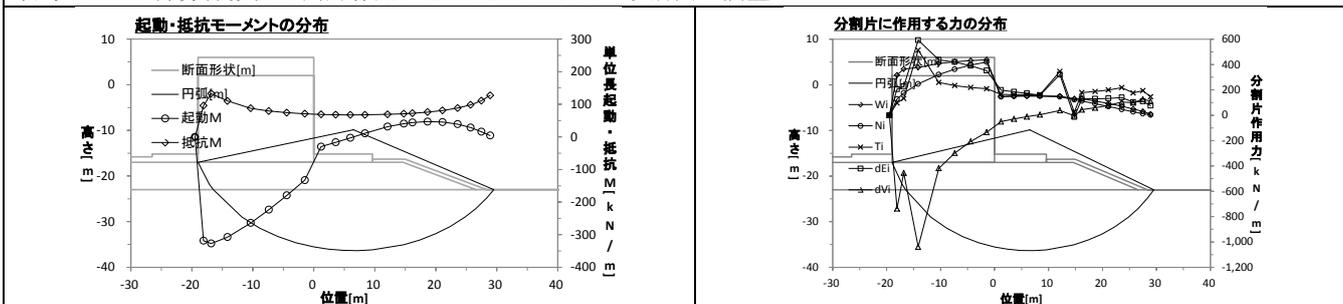
番号：235 / 部分係数法で初期断面の耐力作用比 R/S を求める



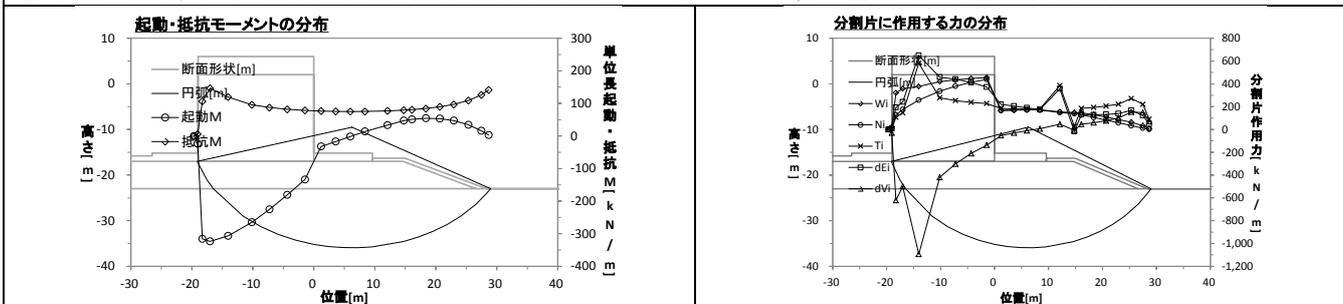
番号：135 / 安全率法で安全率 $F_s=1.3$ になるよう断面を調整



番号：335 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面を調整



番号：435 / 部分係数法で耐力作用比 $R/S=1.0$ になるよう断面について，安全率法で安全率を求める



付録C 修正フェレニウス法による円弧すべり照査の既往設計基準類の変遷

(1) 昭和25年版 港湾工事設計示方要覧

「地盤の滑出し」の項目が記述されており、但し書きとして、「※基礎地盤の良好なる場合には、地盤の滑り出しに対する安定計算は省略する。」とあり、基礎地盤の強度が弱い場合のみ照査を行っている。また、「滑り出し面は円弧滑り面を仮定して計算する。」とあるものの、具体的な照査式や、目標とする安全性指標については記述されていない。

(2) 昭和34年版 港湾工事設計要覧

「斜面の安定」の項目として記述されており、直立壁については、傾斜90°の斜面であるとみなす点については、後の基準類でも踏襲されている。照査法については、摩擦円法あるいは分割法により計算するとしており、すべりモーメントと抵抗モーメントの比をとった安全率 F を安全性の指標としている(式(1)、各項の定義を表-1に示す)。また、目標とする標準の安全率は表-2のように設定されており、昭和34年版のみ、常時か地震時か、また重要度に応じた別の値が設定されている。

$$F = \frac{r \sum s \Delta L}{Pl} \quad (1)$$

表-1 式(1)の各項の定義

F	: 安全率
r	: 円の半径[m]
L	: 円弧の長さ[m]
s	: 円弧上のせん断抵抗[t/m ²]
P	: 円弧内の土塊に働く力[t/m]
l	: 円の中心と W の作用線との距離[m]

表-2 昭和34年版で設定されている安全率

	常時	地震時
永久構造物	1.5 以上	1.2 以上
一時的構造物および重要でない永久構造物	1.2 以上	1.0 以上

(3) 昭和42年版 港湾構造物設計基準

照査法の呼称はないものの、現在の修正フェレニウス法の式によって安全率を求めることを記述している。また、安全率は常時1.3を標準としている。またこれにより、摩擦円法ではなく分割法を基本としている。

(4) 昭和54年版 港湾の施設の技術上の基準・同解説

照査式、安全率等の記述は昭和42年版と同様だが、「我が国の港湾地域における被災例解析結果からも、通常の場合、斜面破壊の実情をよく説明するとされているものである。」とあり、修正フェレニウス法(当時記述はチェボタリオフの方法)による照査の実績が蓄積されたことを示唆している。

(5) 平成元年版 港湾の施設の技術上の基準・同解説

照査式、安全率等の記述は昭和42年版と同様だが、地盤上部に砂層がある場合に修正フェレニウス法(当時記述はチェボタリオフの方法)による照査は安全すぎる傾向があるとし、そのような場合はビショップ法などの他の方法と併用による再検討が望ましいとしている。

(6) 平成11年版 港湾の施設の技術上の基準・同解説

呼称を主に修正フェレニウス法とし、また簡易ビショップ法についても、一般的な方法のひとつとして記述している。また、分割片間の鉛直力と水平力の比を分割片傾斜角の1/3.5と仮定する土田ら(1998)の方法についても記述している。

(7) 平成19年版 港湾の施設の技術上の基準・同解説

レベル1信頼性設計法(部分係数法)が導入され、部分係数を乗じた設計値による照査式が記述されており、構造形式、または改良地盤ごとに提示される部分係数(表-3)を用いることができる。

また、「その他」の特に定めのない構造形式、盛土等については解析手法に関する部分係数 $\gamma_a=1.30$ としており、実質平成11年版までの安全率法の踏襲である。ただし、「同一の地盤における実績等から照査に用いる定数の信頼性が高いと考えられる場合や、施工中に地盤の変位及び応力を観測する計測施工を実施する場合には、1.10以上1.30未満の値を用いることができる。」としている。参照している土田・湯(1996)は表-4のように提案している。

表-3 すべり破壊の照査に用いる部分係数が提示されている構造形式

部分係数の提示される施設	準用可能な施設
混成堤	直立堤, 斜面型ケーソン堤, 直立消波ブロック堤, 消波型ケーソン堤 等
消波ブロック被覆堤	消波ブロック被覆上部斜面型ケーソン堤
重力式係船岸	重力式護岸, 置きセル式係船岸 等
矢板式係船岸	矢板式護岸, 自立矢板式係船岸 等
SCP 改良地盤	SCP 改良を行った場合の重力式係船岸, 矢板式係船岸 等
その他	傾斜堤などのその他の施設

表-4 計測施工を実施する場合の解析手法に関する部分係数 γ_a

① 地盤が均一で地盤定数の信頼度が高い場合 (V=0.1 程度)		
観測施行・対応可	($n < 0.5$)	1.10
重要度低い	($n < 1$)	1.15
一般の構造物	($n < 3$)	1.20
重要な構造物	($n > 3$)	1.25
② 地盤が不均一あるいは地盤定数の信頼度が低い場合 (V=0.15 程度)		
観測施行・対応可	($n < 0.5$)	1.15
重要度低い	($n < 1$)	1.20
一般の構造物	($n < 3$)	1.25
重要な構造物	($n > 3$)	1.30
③ 地盤が非常に不均一で地盤定数の信頼度が低い場合 (V=0.20 程度)		
観測施行・対応可	($n < 0.5$)	1.20
重要度低い	($n < 1$)	1.25
一般の構造物	($n < 3$)	1.30
重要な構造物	($n > 3$)	1.35

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 900 March 2016

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは

〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019