

抑止対策工事が困難な地区に係る対応について

第36回宅地保全審議会資料

第12回技術専門委員会資料

I. はじめに -----	1
II. 抑止対策工事が困難な地区の対応方針 -----	2
III. 滑動ブロック全体の安定性評価 -----	3
IV. 一部未対策時及び代替工設置時の解析結果 -----	4
V. 具体的な代替工案 -----	6

2014 年 10 月 16 日

仙 台 市 復 興 事 業 局 宅 地 復 興 部

I. はじめに

(1) 現状

土地所有者の承諾が得られないなどの理由から、抑止対策工事の一部が施工困難な地区が5箇所ある（詳細は表1-1参照）。

(2) 課題等

抑止対策工事の一部が行えない場合、滑動ブロック全体の安定性が確保できない可能性があり、地域の安全性を確保し事業を完了するためには、代替工の施工などにより、安全率1.0以上の達成が必要である。
このため、滑動ブロックの安定性の検証や、代替工案の検討を行う

表 1-1 抑止対策工事の一部が困難な地区

地区名	中山2丁目第1	中山1丁目第1	北根3丁目第2	旭ヶ丘2丁目第2	高森6丁目第2
抑止工	抑止杭工、網状鉄筋挿入工	アンカー工	アンカー工、網状鉄筋挿入工	網状鉄筋挿入工	抑止杭工
平面図					
断面図					

: 主たる変状範囲 : 滑動方向

Ⅱ. 抑止対策工事が困難な地区の対応方針

抑止対策工事が困難な地区における滑動ブロックの安定性等の検討方針を以下に示す。

①全般

- 各地区の主たる変状範囲（滑動崩落ブロック）は、原則、変更しない。

②滑動ブロック全体の安定性評価方法

- 滑動ブロック内における「地すべり総抵抗力（地盤の抵抗力+対策工負担可能抑止力）」と「地すべり力（地盤の抵抗力+水平負担力）」を比較し、安全率 $F_s \geq 1.00$ であることを確認する。よって、結果的に「対策工負担可能抑止力」 \geq 「水平負担力」であれば安定と判断できる。
- 対策工（杭工、アンカー工など）は、水平負担力（地すべり力ー地盤の抵抗力）を満足する最適規格を採用する。また、対策工には最小規格があるため、作用する水平負担力が小さくなくても、対策工の負担可能抑止力は、最小規格の抑止力以下にはならない。このため、最小規格のレベルに達してからは、水平負担力に対して、余裕が生じる事になる。なお、対策工の最小規格は、工法や地盤条件等によっても異なる。
- 未施工部がある場合は、施工可能箇所において、未施工部へ作用する水平負担力の分も含めて負担する必要がある。施工可能箇所における「対策工負担可能抑止力」が、「未施工部への作用分を割増した水平負担力」を上回っていれば、滑動崩落ブロック全体としては安定（ $F_s \geq 1.00$ ）であると判断できる。
- 逆に「未施工部の作用分を割増した水平負担力」が、施工可能箇所における「対策工負担可能抑止力」を上回る場合は、不安定（ $F_s < 1.00$ ）となり、代替工の検討を行なう。

③安全率の計算方法

- 安全率は「地すべり総抵抗力」 \div 「地すべり力（地盤の抵抗力+水平負担力）」で計算する。
- 設計上、ブロック内の水平負担力は一様であるが、未施工部があると、施工可能箇所に応力が集中し、水平負担力が分配される。このため、ブロック内を細分化し、二次元弾性 FEM 解析により、未施工部及び施工可能箇所に分配される水平負担力を計算する。次に、細分幅 B に作用する（分配された）水平負担力から、幅 B の安全率 F_{SB} を計算し、未施工部及び施工可能箇所における安全率の分布と、滑動ブロック全体の平均安全率 F_s を求める。
- ブロック内に未施工部と施工部が混在するため、移動層に抵抗する機構は三次元的な現象である。ただし、設計では、すべり面上の移動層と対策工は一体となって動くことを前提にしているため、この移動層部分を取り出して、二次元平面でモデル化し、三次元的な挙動現象を単純化する。二次元モデルにすると、三次元モデルより安全側の解析結果となること、変形係数は設計変位になるように同定させることなどから、二次元モデルでも、問題は無いと考えた。

④代替工の検討

- 施工が困難な宅地から対策工の施工位置の変更や、工法変更するなど計画を見直すことにより、未施工部（施工困難箇所）の問題を解消できるか否かを検討する。
- 施工位置の変更や工法変更ができない場合、滑動崩落ブロック全体の安定を確保するため、対策可能箇所における工法の規格の見直しについて検討を行う。未施工部に作用する水平負担力を対策可能箇所でも負担することにより、滑動崩落ブロック全体の安定を図る。

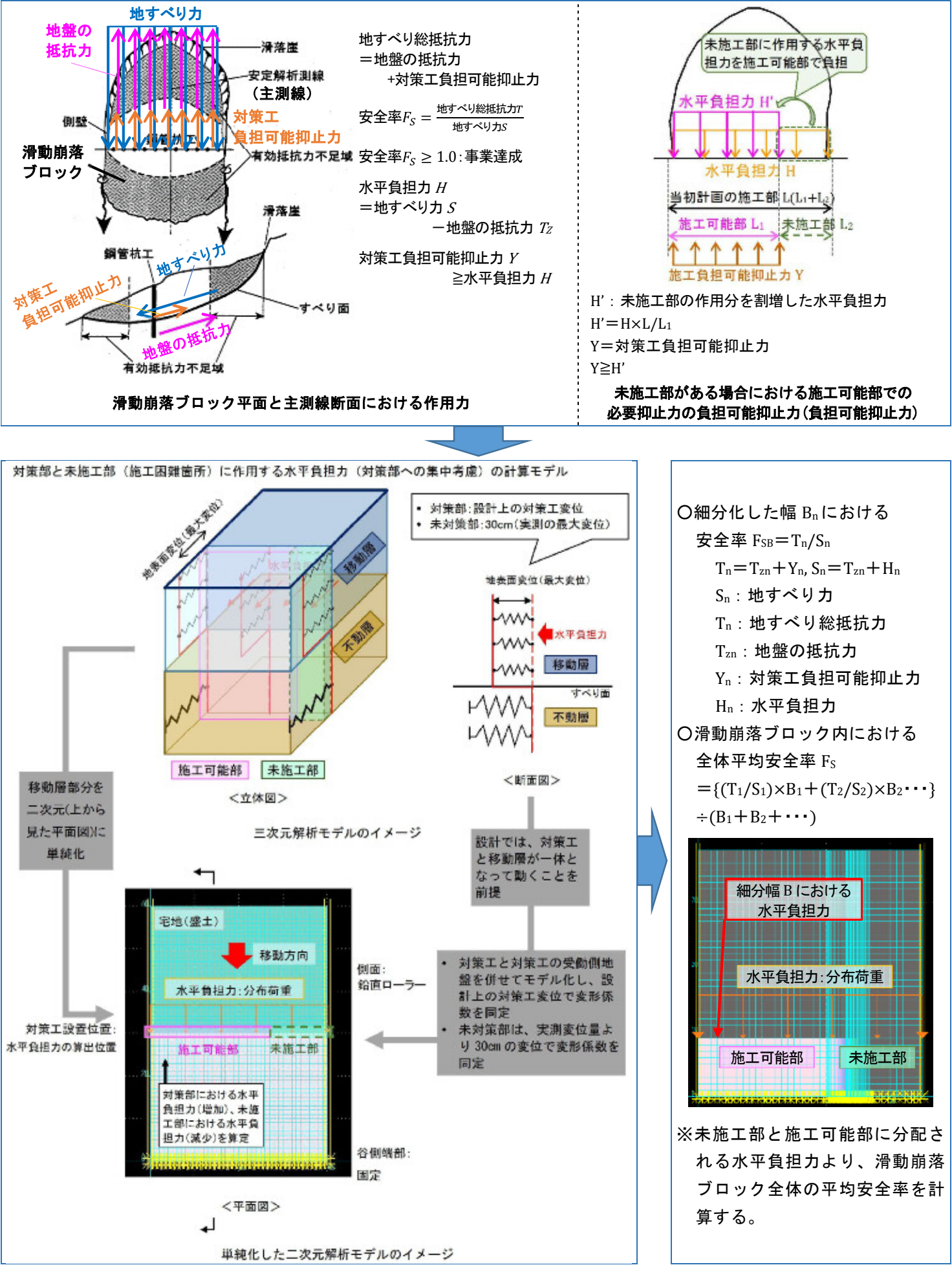


図 2-1 滑動崩落ブロックへの作用力・水平負担力の解析モデル・安全率の計算イメージ

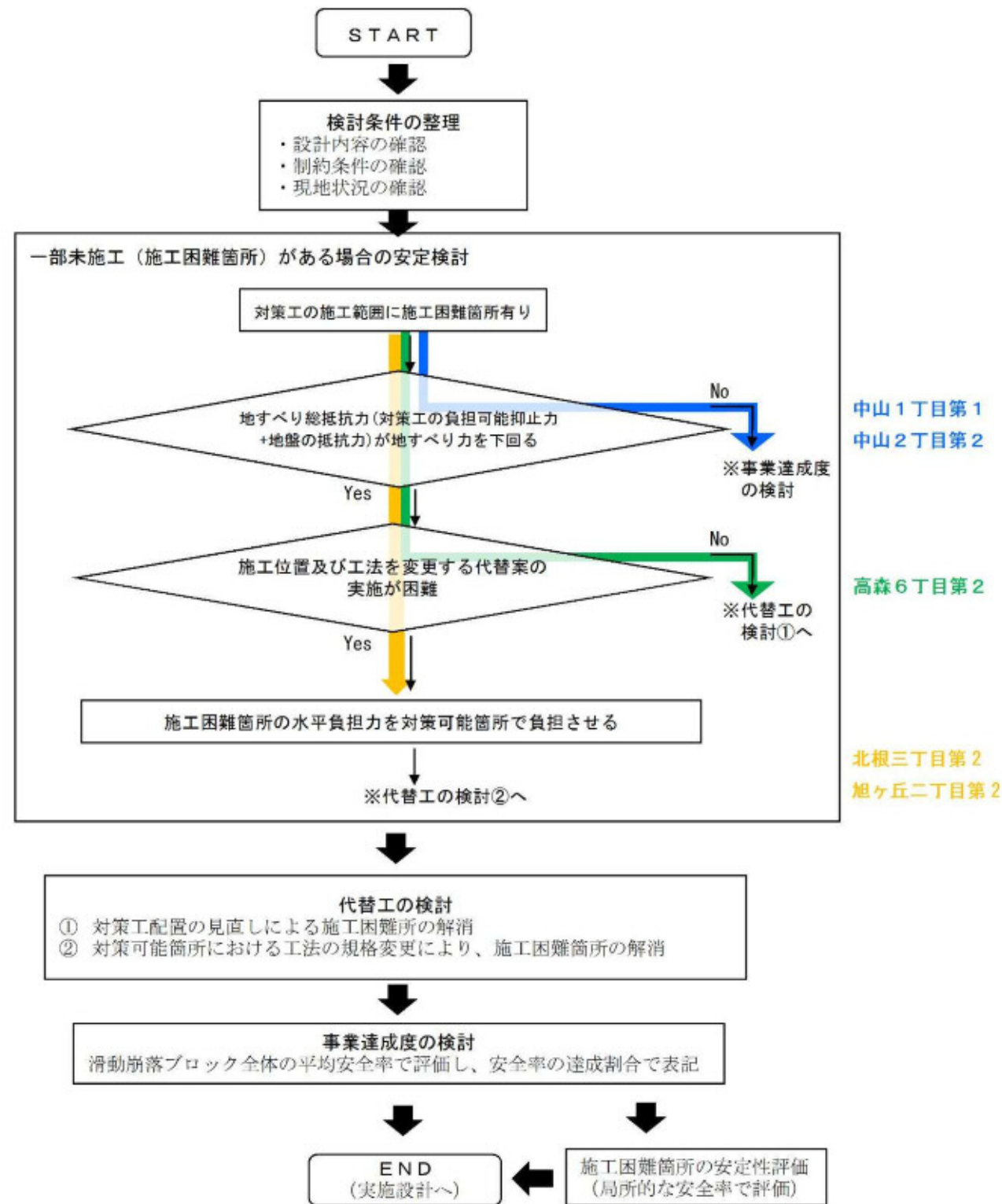


図 2-2 抑止対策工事が困難な地区の検討フロー

Ⅲ. 滑動ブロック全体の安定性評価

- ・ 当初計画の「対策工負担可能抑止力」が「未施工部への作用分を割増した水平負担力」を上回っている場合は、 $F_s \geq 1.00$ となり、滑動崩落ブロック全体は安全である。⇒【中山二丁目第 1 地区、中山一丁目第 1 地区】
- ・ 「未施工部の作用分を割増した水平負担力」が、当初計画の「対策工負担可能抑止力」を上回る場合は、安全率が $F_s < 1.00$ 領域に遷移する。この場合、代替工として、対策工の施工位置の変更、及び対策可能箇所における工法の規格の見直しを行なう。⇒【高森六丁目第 2 地区、北根三丁目第 2 地区、旭ヶ丘二丁目第 2 地区】

表 3-1 各地区における水平負担力・対策工負担可能抑止力・安全率

地区名	対策工	当初計画の 水平負担力 (kN/m)	当初計画の対策工負担可能 抑止力 (kN/m)	未施工部への作用分を 割増した、施工可能箇 所における水平負担力 (kN/m)	代替工により、施工可能箇所 で負担可能な抑止力 (kN/m)	安全率	
						一部未施工時	代替工設置時
中山二丁目第 1	抑止杭	13.3	34.4	17.9	代替工無し	1.031	—
中山一丁目第 1	アンカー	24.7	199.0	27.5	代替工無し	1.312	—
高森六丁目第 2	抑止杭	35.2	37.6	39.4	39.7	0.997	1.004
北根三丁目第 2	網状鉄筋	10.5	11.2	19.5	20.6	0.978	1.003
旭ヶ丘二丁目第 2	網状鉄筋	22.8	27.5	27.6	52.8	0.999	1.045

※ 水平負担力＝地すべり力－地盤の抵抗力

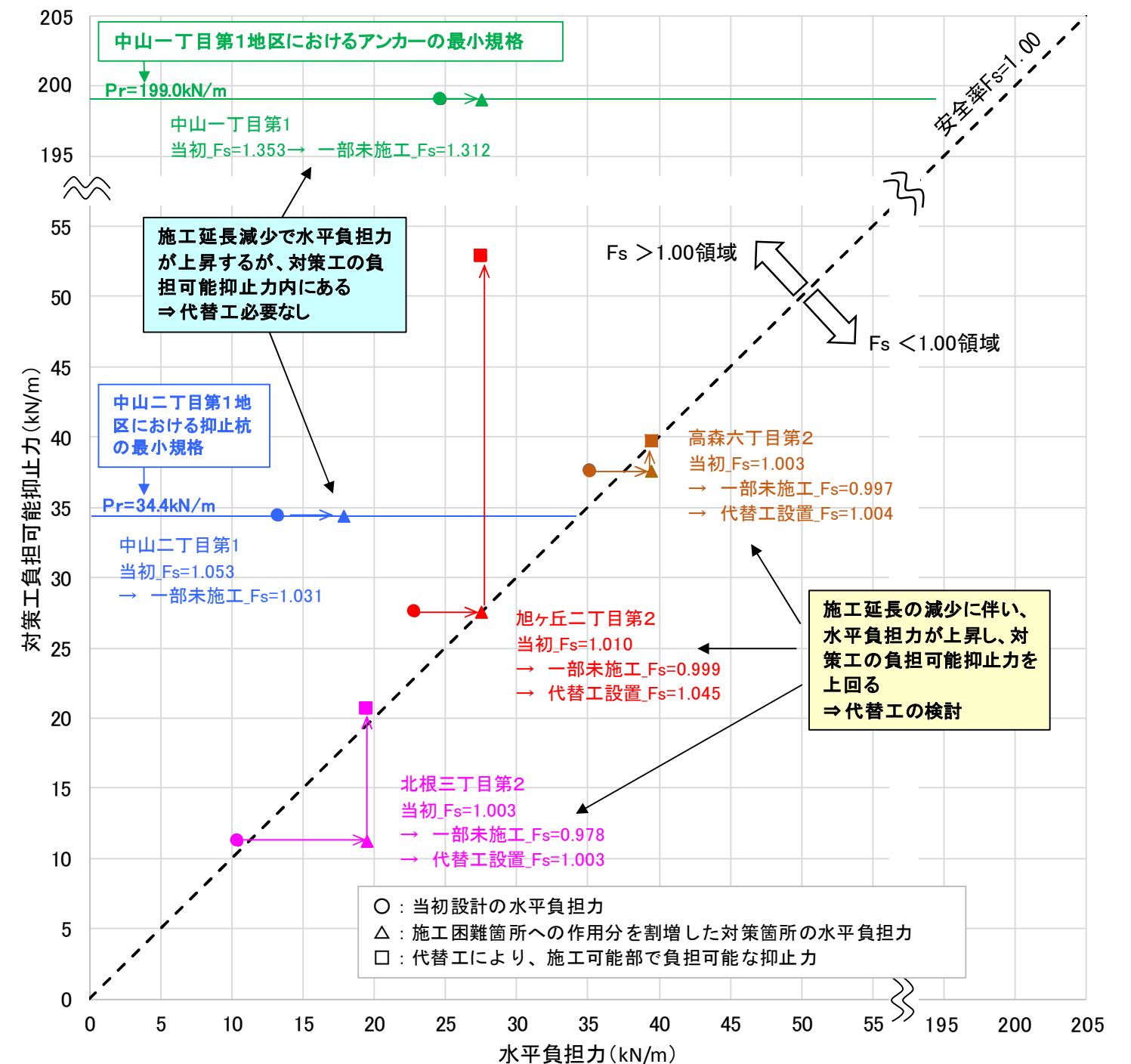


図 3-1 水平負担力と対策工の負担可能な抑止力の関係

IV. 一部未対策時及び代替工設置時の解析結果

(1) 解析結果の概要

① 中山二丁目第1工区

- 一部未対策時における対策部及び未施工部の水平負担力を求めた結果、対策部に作用する水平負担力は、対策工負担可能抑止力 34.4kN/m 以下となり、代替工を設置する必要は無い。
- 対策部の安全率は、Fs=1.03~1.05、未施工部の安全率は、Fs=0.95~0.97 であり、全体の平均安全率はFs=1.031 である。

② 中山一丁目第1工区

- 一部未対策時における対策部及び未施工部の水平負担力を求めた結果、対策部に作用する水平負担力は、対策工負担可能抑止力 199.0kN/m 以下となり、代替工を設置する必要は無い。
- 対策部の安全率は、Fs=1.30~1.35、未施工部の安全率は、Fs=0.95~0.96 であり、全体の平均安全率はFs=1.031 である。

③ 北根三丁目第2工区

- 一部未対策時における対策部及び未施工部の水平負担力を求めた結果、対策部に作用する水平負担力は、対策工負担可能抑止力 11.2kN/m 以上となり、代替工が必要である。代替工は対策部の規格変更により、対策工負担可能抑止力を 11.2kN/m から 20.6kN/m に向上させる。
- 当初計画の対策工の規格では、全体の平均安全率はFs=0.978 であるが、代替工により、対策部は、Fs=1.01~1.04、未施工部は、Fs=0.95~0.96 となり、全体の平均安全率はFs=1.003 となる。

④ 旭ヶ丘二丁目第2工区

- 一部未対策時における対策部及び未施工部の水平負担力を求めた結果、対策部に作用する水平負担力は、対策工負担可能抑止力 27.5kN/m 以上となり、代替工が必要である。代替工は対策部の規格変更により、対策工負担可能抑止力を 27.5kN/m から 52.8kN/m に向上させる。
- 当初計画の対策工の規格では、全体の平均安全率はFs=0.999 であるが、代替工により、対策部は、Fs=1.05~1.07、未施工部は、Fs=0.95~0.97 となり、全体の平均安全率はFs=1.045 となる。

⑤ 高森六丁目第2工区（対策工配置見直しによる未施工部の解消）

- 一部未対策時における対策部及び未施工部の水平負担力を求めた結果、対策部に作用する水平負担力は、対策工負担可能抑止力 37.6kN/m 以上となり、代替工が必要である。ただし、未施工部における対策位置を谷側の道路部に変更することで、未施工部は解消され、安全率はFs=1.004 となる。

(2) 各地区の二次元FEM解析モデル図

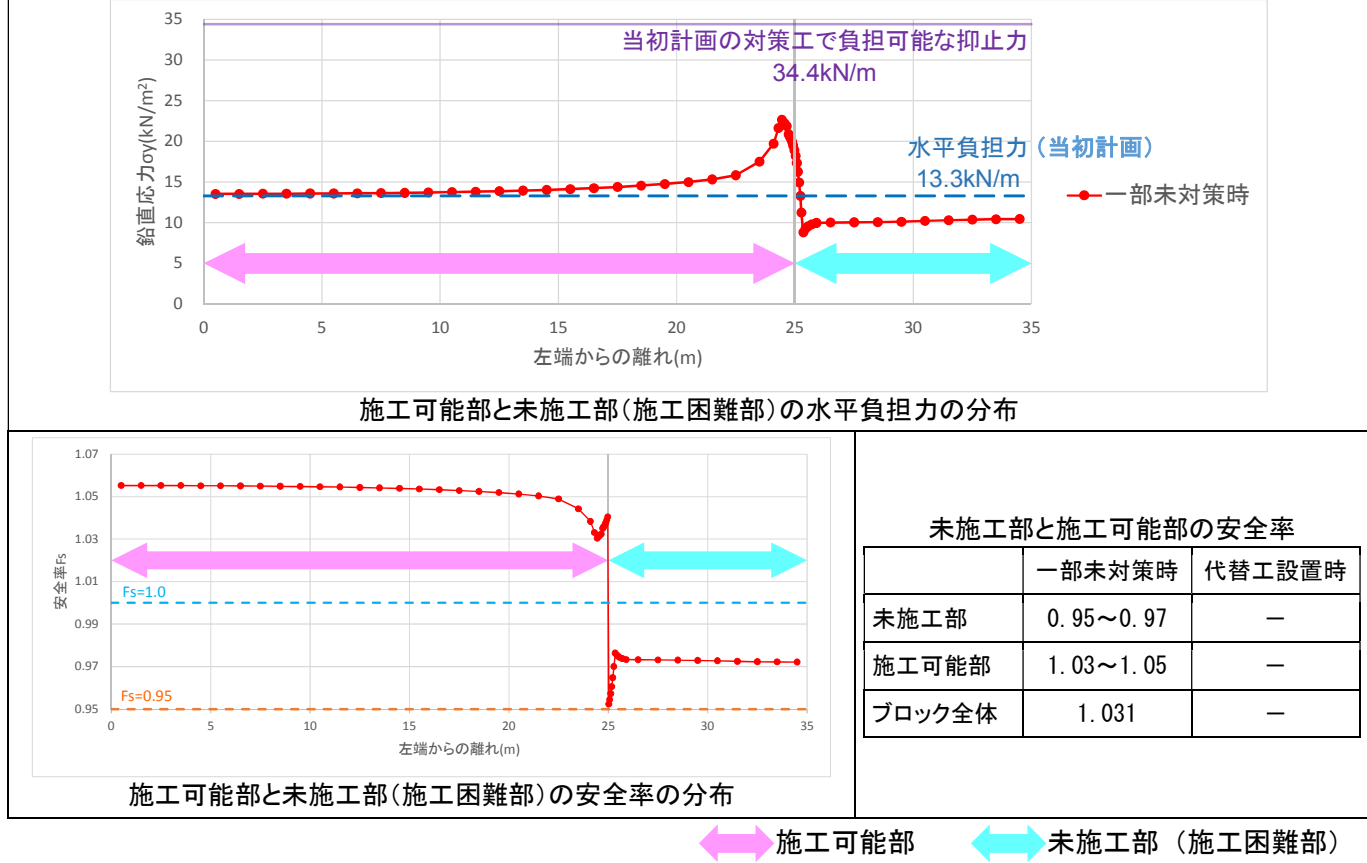
中山二丁目第1	中山一丁目第1	北根三丁目第2	旭ヶ丘二丁目第2
A : 269kN/m ² B : 2,693kN/m ²	A : 389kN/m ² B : 11,670kN/m ²	A : 591kN/m ² B : 3,544kN/m ² C : 6,582kN/m ²	A : 923kN/m ² B : 5,540kN/m ² C : 6,694kN/m ²

A : 未施工部の変形係数, B : 当初計画の施工可能部の変形係数, C : 代替工による施工可能部の変形係数

(3) 水平負担力及び安全率の解析結果

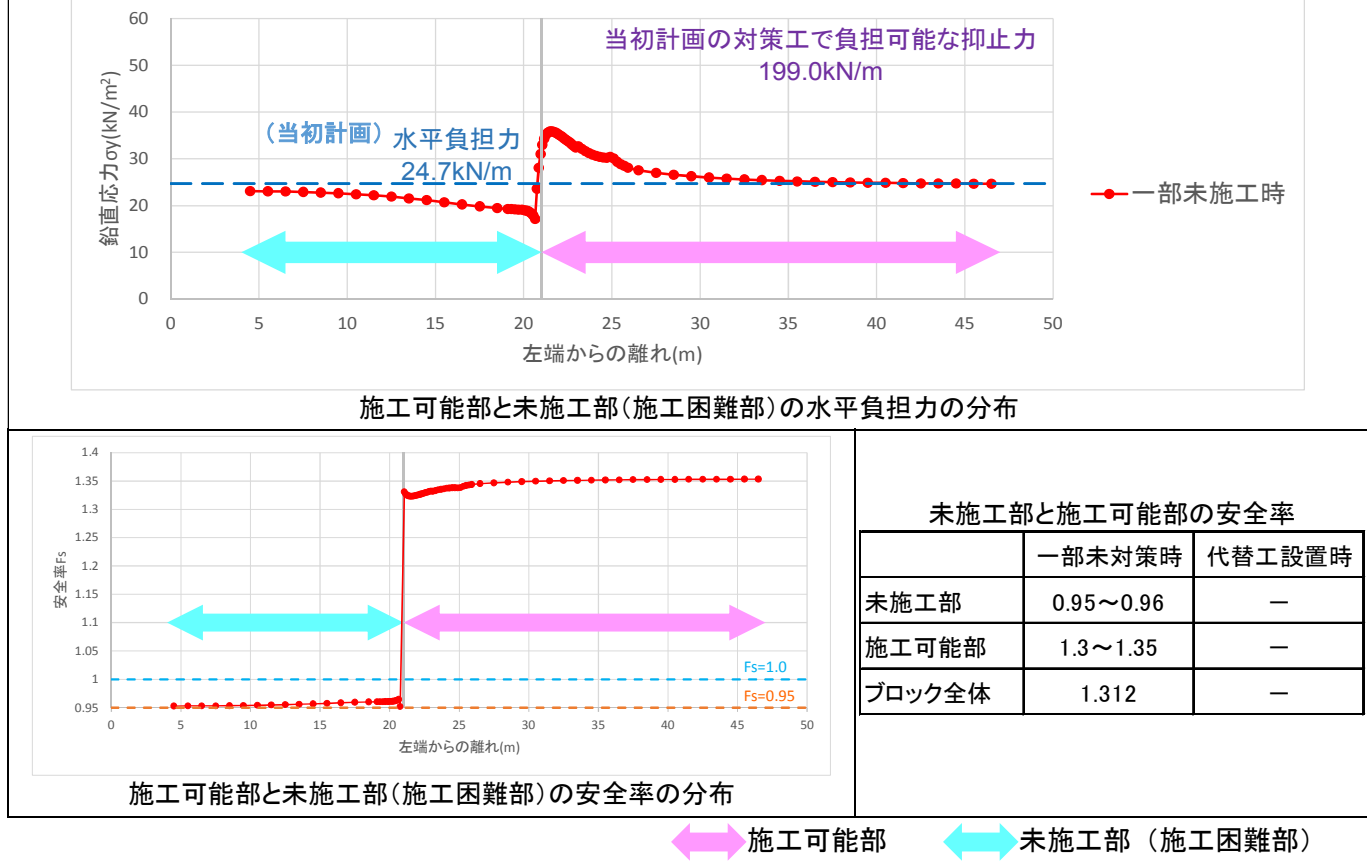
○ 中山二丁目第1工区

表 4-1 中山二丁目第1 : 当初計画の対策工（施工可能部で対応可能）



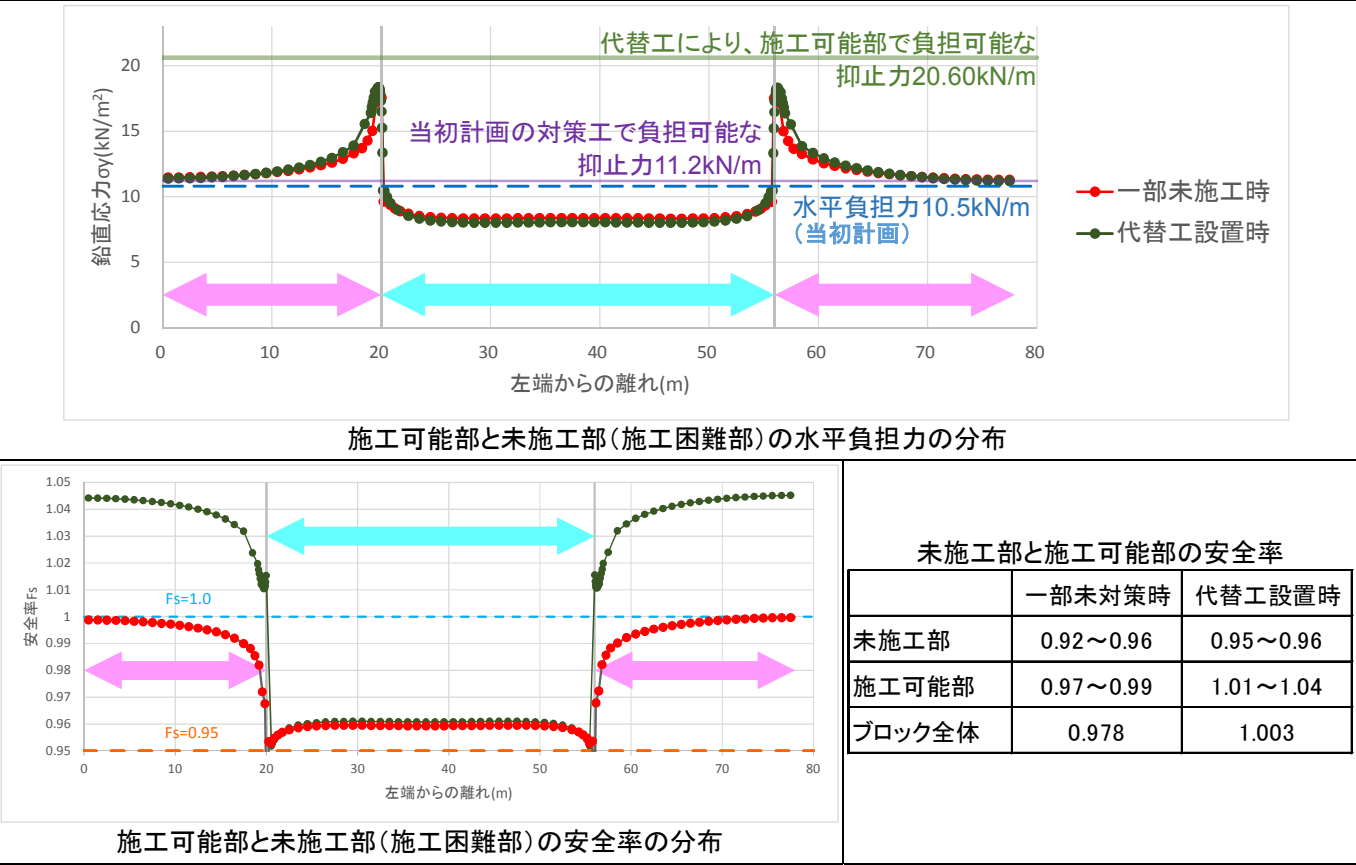
○ 中山一丁目第1工区

表 4-2 中山一丁目第1 : 当初計画の対策工（施工可能部で対応可能）



○ 北根三丁目第2工区

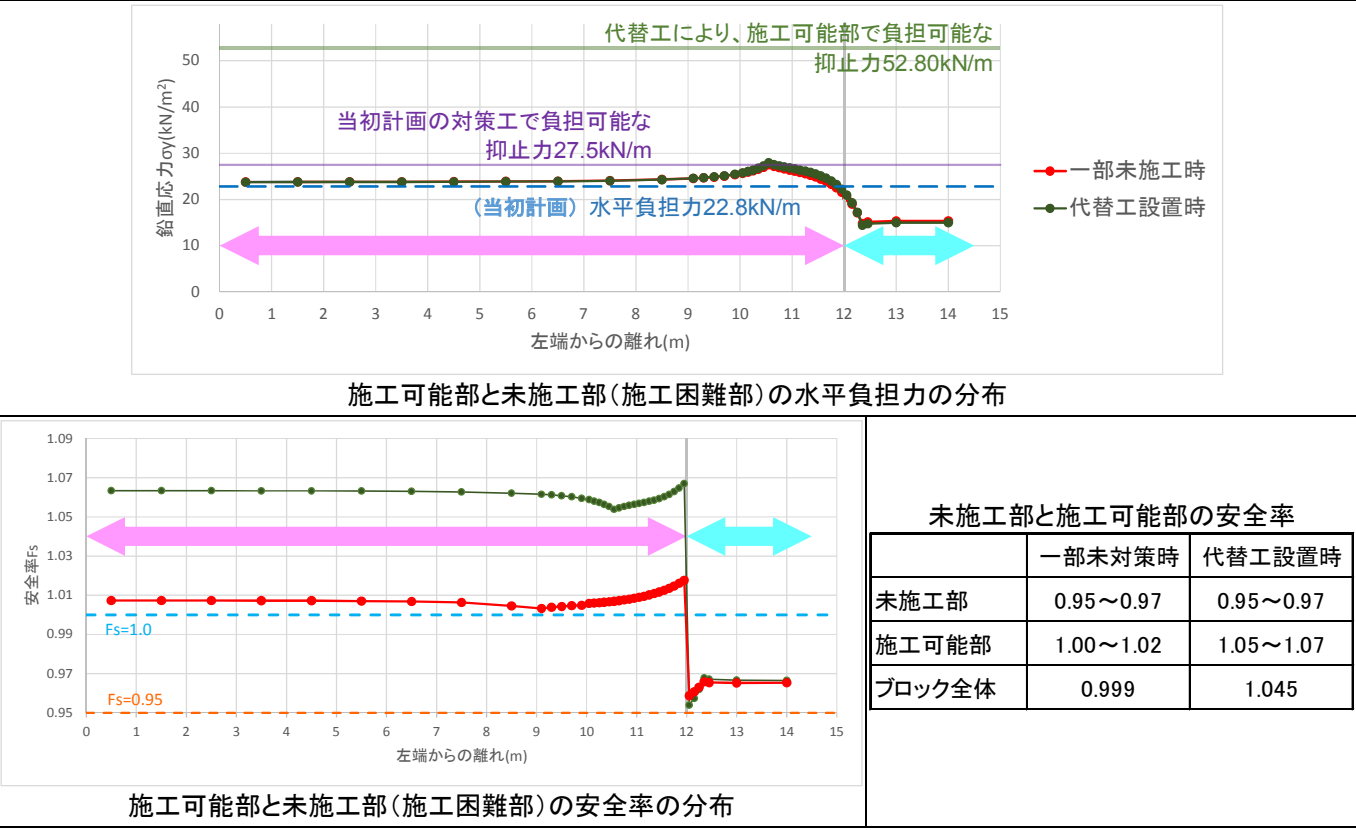
表 4-3 北根三丁目第2：代替工（施工可能部の規格変更）



施工可能部 未施工部（施工困難部）

○ 旭ヶ丘二丁目第2工区

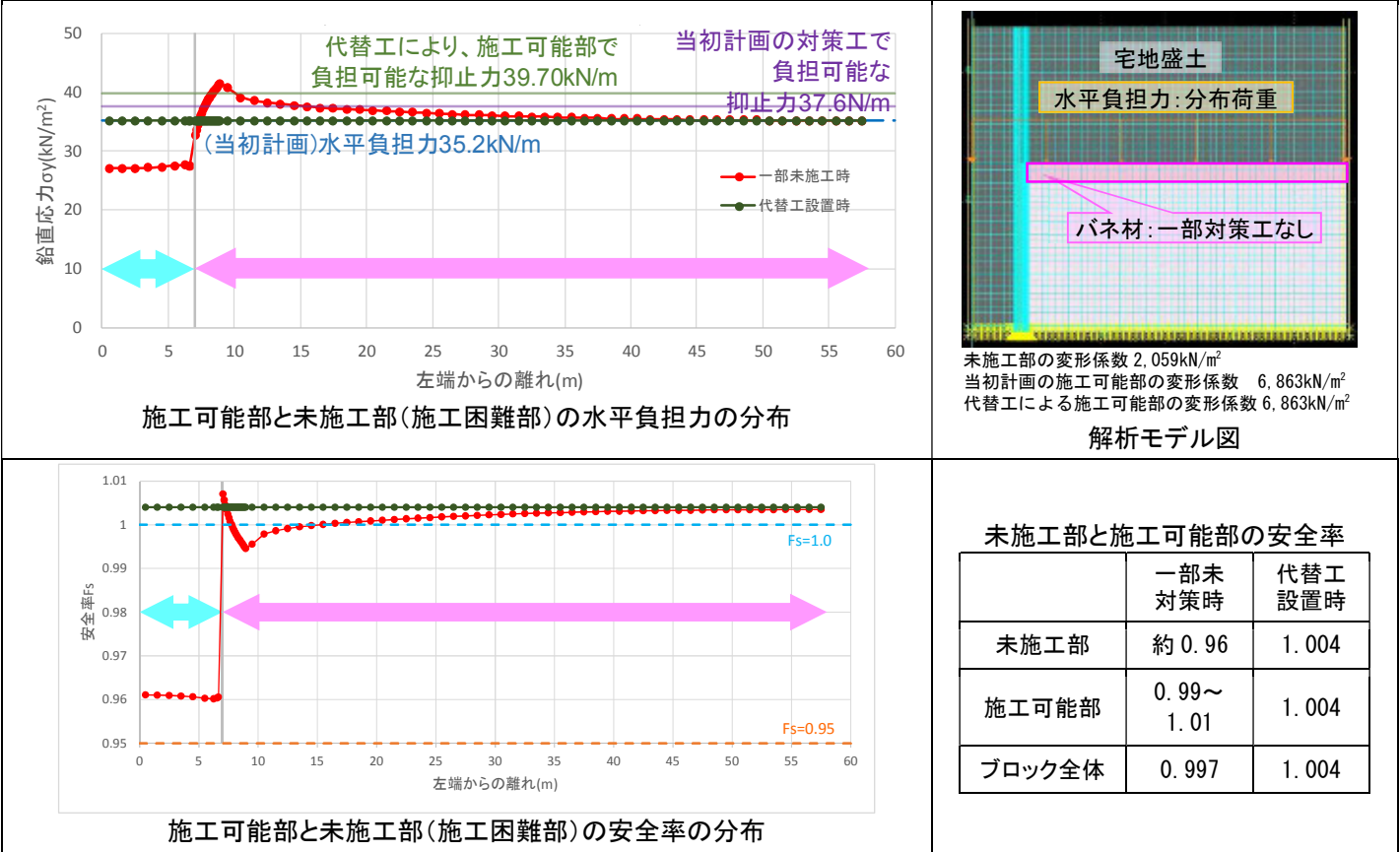
表 4-4 旭ヶ丘二丁目第2：代替工（施工可能部の規格変更）



施工可能部 未施工部（施工困難部）

○ 高森六丁目第2工区

表 4-5 高森六丁目第2：代替工（対策位置の見直し）



施工可能部 未施工部（施工困難部）

(4) 滑動ブロックの安全率

項目		単位	中山1丁目第1	中山2丁目第1	北根3丁目第2	旭ヶ丘2丁目第2	高森6丁目第2
			L-9	L-2	B測線	ひな壇すべり	Cブロック
対策工種		-	アンカー工	杭工/ 網状鉄筋挿入工	アンカー工/ 網状鉄筋挿入工	網状鉄筋挿入工	杭工
当初計画	対策工延長(L1)	m	198.0	37.0	39.0	14.5	56.0
	初期安全率(地震時)	-	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	計画安全率(地震時)	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	安全率増分(ΔFs1)	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	単位体積重量	kN/m ³	17	17	17	17	18
	内部摩擦角	°	15	15	15	15	15
	粘着力	kN/m ²	4.37	4.15	7.84	6.35	5.80
	安全率	-	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	地盤の抵抗力	kN/m	468.73	381.35	197.20	434.24	666.88
	地すべり力	kN/m	493.41	394.64	207.64	457.04	702.04
	水平負担力	kN/m	24.68	13.28	10.44	22.80	35.16
一部未対策時	対策工で負担可能な抑止力	kN/m	199.0	34.4	11.2	27.5	37.6
	対策後の到達安全率	-	1.353	1.053	1.003	1.010	1.003
	施工可能部延長(L2)	m	178.0	27.5	21.0	12.0	50.0
	未施工部延長(L3)	m	20.0	9.5	18.0	2.5	6.0
	未施工部に作用する水平負担力①	kN	493.54	126.18	187.94	57.00	210.97
	①を割増した施工可能部の水平負担力②	kN/m	27.45	17.87	19.39	27.55	39.38
	施工可能部で負担可能な抑止力③	kN/m	199.00	34.40	11.20	27.50	37.60
	③≥②	-	○	○	×	×	×
	不足抑止力(全体当たり)	kN	無し	無し	8.19	0.05	1.78
	対策後の到達安全率	-	1.312	1.031	0.978	0.999	0.997
	代替工	-	施工可能部で対応可能 (以下は一部未対策時の結果)		未対策部の滑動力を 施工可能箇所へ負担(規格変更)		対策位置の見直し
代替工設置時	施工可能部延長(L2)	m	178.0	27.5	21.0	12.0	68.0
	未施工部延長(L3)	m	20.0	9.5	18.0	2.5	0.0
	代替工により、施工可能部で負担可能な抑止力④	kN/m	-	-	20.60	52.80	39.70
	④≥②	-	-	-	○	○	○
	対策後の到達安全率	-	1.312	1.031	1.003	1.045	1.004

V. 具体的な代替工案

代替工は、以下の観点で検討を行った。

- ・施工困難部の水平負担力を、対策可能部で負担できるか否かを検討する。対策可能部で負担できる場合は、安全率 >1.0 となり、主たる変状範囲の安定を確保できるため、代替工は行わない。対策可能部で負担できない場合は、対策可能部の規格変更について検討し、主たる変状範囲の安定を確保する。
- ・施工困難部から対策位置を変更するなど計画を見直すことにより、未施工部を解消できるか否かを検討する。

表 5-1 代替工案の検討結果一覧

地区名	中山 2 丁目第 1	中山 1 丁目第 1	北根 3 丁目第 2	旭ヶ丘 2 丁目第 2	高森 6 丁目第 2
代替工	施工可能部で対応可能	施工可能部で対応可能	施工可能部の規格変更	施工可能部の規格変更	対策位置の見直し
平面図					
断面図					
代替工の検討結果	■ $A > B$ であるため、代替工を行わなくても安全率 1.0 を確保できる。 A : 施工可能部で負担可能な抑止力 : 34.40kN/m^2 B : 施工可能部の割増水平負担力 : 17.87kN/m^2	■ $A > B$ であるため、代替工を行わなくても安全率 1.0 を確保できる。 A : 施工可能部で負担可能な抑止力 : 199.00kN/m^2 B : 施工可能部の割増水平負担力 : 27.45kN/m^2	■ $A < B$ であり、安全率 1.0 未満。 A : 施工可能部で負担可能な抑止力 : 11.20kN/m^2 B : 施工可能部の割増水平負担力 : 19.39kN/m^2 ■ 施工可能部の規格を変更し、対策困難部の水平負担力を対策可能部で負担する。 ● 網状鉄筋挿入工の規格変更 打設角度 山側 $\alpha = 10^\circ \rightarrow 15^\circ$ 補強材長 谷側 $L = 5.5\text{m} \rightarrow 6.0\text{m}$ ■ 代替工施工後の安全率は 1.003 となり、安全率 1.0 を確保できる。	■ $A < B$ であり、安全率 1.0 未満。 A : 施工可能部で負担可能な抑止力 : 27.50kN/m^2 B : 施工可能部の割増水平負担力 : 27.55kN/m^2 ■ 施工可能部の規格を変更し、対策困難部の水平負担力を対策可能部で負担する。 ● 網状鉄筋挿入工の規格変更 補強材長 谷側 $L = 10.5\text{m} \rightarrow 11.0\text{m}$ ■ 代替工施工後の安全率は 1.045 となり、安全率 1.0 を確保できる。	■ $A < B$ であるため、安全率 1.0 未満。 A : 施工可能部で負担可能な抑止力 : 37.60kN/m^2 B : 施工可能部の割増水平負担力 : 39.38kN/m^2 ■ 施工可能部の抑止杭工は施工済みであり、規格を変更できないため、対策位置を谷側の道路部に変更する。 ● 道路部に配置する抑止杭工 SKK490 $\phi 267.4 \times t=6$ 、必要根入れ長 6.88m 、 2.0m 間隔 ■ 代替工施工後の安全率は 1.004 となり、安全率 1.0 を確保できる。

: 主たる変状範囲 : 滑動方向