

地すべり抑止杭を支持杭とした細幅補強土

原隆史¹・辻慎一郎²

本論文では、補強土を道路拡幅における腹付け盛土へ適用する特殊な事例として、施工中に確認された設計地盤条件との違いに適合すべく、地すべり抑止杭を支持杭とした細幅補強土の適用について紹介する。これは、当初拡幅盛土として、既設盛土を一部切土し、かつ基礎地盤を改良した一般補強土を計画していたところ、掘削途中で盛土及び基礎地盤が設計で考えていた土質と異なり、巨礫が混入する粘性土系地盤であったため、現時点以上の掘削が困難なこと、狭小地地盤改良が困難で地すべり抑止杭が必要であると考えられたことなどによる。本工法の適用にあたっては、細幅補強土の安定検討に加え、杭と補強土との結合部の解析的検討などを実施し、他工法との再比較から採用の合理性を確認して計画した。

キーワード：細幅補強土，支持杭，FEM解析

1. はじめに

近年、補強土は多方面に活用範囲を拡大しつつあるが、特に道路などの拡幅盛土での活用が増加している。これは、補強土が施工性や経済性に優れるとともに、既設盛土と同じ土構造物であるがゆえに施工時の既設盛土との不当沈下といったなじみを克服することにより、全体として同一構造の盛土を構築できることも大きな理由の一つであると考えられる。このため、一般に補強土を用いた道路拡幅は、拡幅盛土が既設盛土と供用時に一体として機能するように、盛土基礎地盤が良質な地盤、もしくは地盤改良などにより良質な地盤を構築し、供用後の不当沈下が問題とならない条件下で実施される場合が多い。しかしながら、古い既設盛土の場合では、部分的に巨礫や弱い粘性土系材料などが用いられている場合があり、事前に地盤調査を実施しても、これらを正確に把握することは困難で、施工途中で不良箇所が発覚する場合も少なくない。このような場合には、施工の中断に伴う安全確保とともに、新たに判明した現場条件へ適合しうる構造について適切な対応を図ることが重要となる。

そこで本論文では、補強土を道路拡幅における腹付け盛土へ適用する特殊な事例として、施工中に確認された設計地盤条件との違いに適合すべく、地すべり抑止杭を支持杭とした細幅補強土の適用について紹介する。これは、当初拡幅盛土として、既設盛土を一部切土し、かつ基礎地盤を改良した一般補強土を計画していたところ、掘削途中で盛土及び基礎地盤（既設盛土の一部）が設計で考えていた土質と異なり、巨礫が混入する粘性土系地盤であったため、現時点以上の掘削が困難なこと、狭小地地盤改良が困難で地すべり抑止杭が必要であると考え

られたことなどによる。本工法の適用にあたっては、細幅補強土の安定検討に加え、杭と補強土との結合部の解析的検討などを実施し、他工法との再比較から採用の合理性を確認して計画している。このような構造の適用は少ないとともに、他現場でも遭遇する可能性は高いと考えられるので、本検討に係る経緯と内容について報告する。

2. 現場状況

(1) 当初設計の概要

図-1 に当初設計の代表的な横断面と設計時点で想定された地盤構造を示す。設計時点のボーリング調査によると、良質な Dc/Dg 層の上部に既設盛土が施工されている。

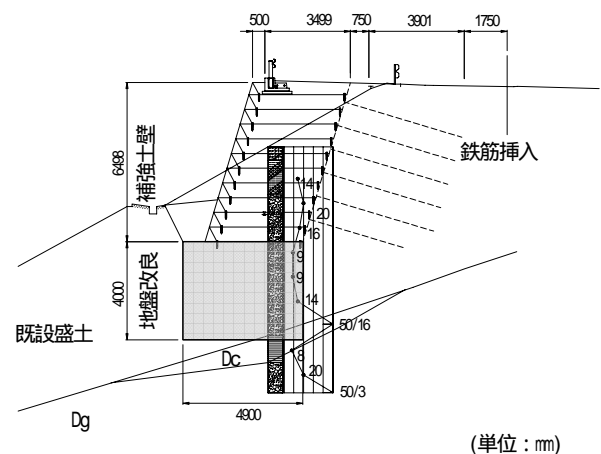


図-1 当初設計の拡幅計画断面

¹正会員，岐阜大学工学部社会基盤工学科，准教授（〒501-1193 岐阜市柳戸1-1）

²正会員，岐阜大学工学部社会基盤工学科，助教（同上）

ここで、既設盛土は礫（径：20～30mm）混りシルトで、部分的に礫とともに同径程度の玉石も多量に混入しており、平均N値は3～35とばらつくが、礫の影響を勘案すると8程度の地盤であることが報告されている。当初設計では、土質がシルトであるため多少の粘着力は期待できるとしつつも、この時点で安全側にせん断抵抗角30度の材を仮定して、以下の補強土施工と補強土基礎地盤（既設盛土内）の対策を実施することにより、既設盛土内に補強土を用いた道路盛土部の拡幅が計画されていた。

補強土施工対策：

補強材設置範囲の確保を目的とした切土補強土工法

補強土基礎地盤対策：

補強土の支持力確保と斜面安定を目的とした補強土基礎地盤の狭小地盤改良（パワーブレンダー工法）

(2) 施工途中の状況

自穿孔でアンカーボルト（鉄筋 SD345，D25）を挿入する切土補強土工法で斜面を防護しつつ切土を進めたところ、既設盛土に写真-1 に示すような巨礫（径：0.3～1.0m）が大量に混入しているとともに、軟弱なシルト質粘土（ $q_u = 15 \text{ kPa}$ ）が多くの箇所でも混入していることも判明した。また、巨礫の混入により、礫間には空洞も多く存在することが想定され、ボルトの自穿孔にとまなう振動により、写真-2 に示すように一部で既設道路面に亀裂が発生し、切土補強土工法による切土作業の継続は困難であると考えられた。



写真-1 施工途中に確認された巨礫



写真-2 切土作業中に一部路面に発生した亀裂

(3) 応急対策

既設道路の安定に及ぼす危険性が想定されたことから、すぐさま切土補強土工法による切土作業を中断すると

もに、既設道路盛土の安定に係る応急対策として押え盛土を施工した。ここで押え盛土は、発生土が軟弱なシルト質粘土を多分に含んで盛土に適さない（自然含水比：17.9% > 最適含水比：14.2%）ことから、購入土（自然含水比：7.2% < 最適含水比：7.9%）により、図-2 に示すように施工した。

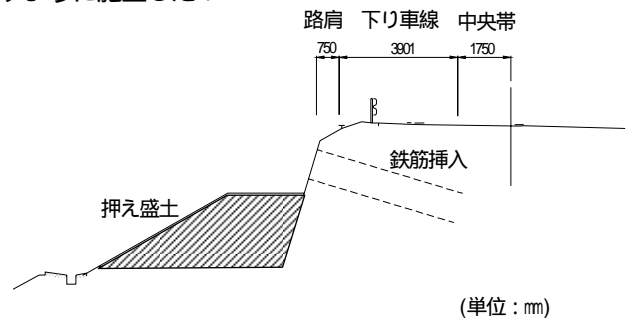


図-2 押え盛土の施工断面

また、施工途中で確認された現場状況を踏まえ、施工可能で合理的な道路拡幅の再計画には時間を要することから、路面の亀裂発生箇所に対して図-3 に示す自動計測システムを設置し、インターネットを通じて24時間の計測管理を実施した。

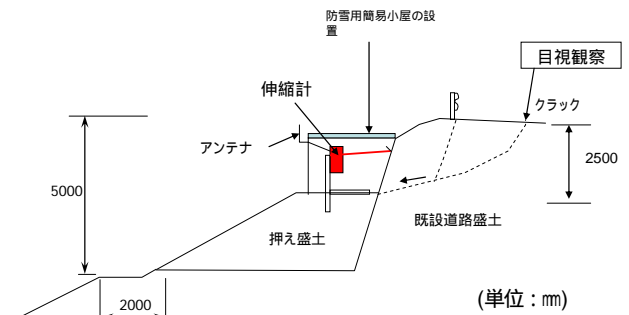


図-3 自動計測断面

3. 道路拡幅施工の再計画方針

(1) 再計画のポイント

施工途中に判明した地盤条件と応急対策状況を踏まえ、今後の道路拡幅施工の再計画にあたり、次の点に留意する必要があると考えられた。

- ・ 応急対策の押え盛土の撤去は可能な限り避ける
- ・ 新たな掘削は可能な限り避ける
- ・ 路面下への振動を伴うアンカーの設置は避ける
- ・ 施工途中に判明した地盤条件により、既設盛土全体の斜面安定の再検討を実施する
- ・ 巨礫の存在より、当初計画されていた狭小地盤改良は施工困難
- ・ 当初設計の思想と同様に、既設盛土と一体化しうる方法を原則とする

(2) 既設盛土全体の斜面安定対策方針

施工途中に判明した礫間に存在する軟弱なシルト質粘

ここで、解析コードは PLAXIS 3D Foundation を用いている。モデル化の具体としては、既設盛土と補強土盛土は非線形（Mohr-Coulomb）、支持層（Dc, Dg）は線形弾性でそれぞれソリッド要素でモデル化し、ジオテキスタイルと杭は弾性シェル要素でモデル化した。ジオテキスタイルは、使用材料を仮定して引張り剛性を再現するようにシェル要素でモデル化した。基本的には圧縮には抵抗しないものなので、この際の断面 2 次モーメントや断面積で不当な圧縮応力が発生しないことを別途確認している。これらの物性値を表-1 から表-2 に示す。また、細幅補強土最下層の「土のう」の厚さは 60cm とし、盛土材料をジオテキスタイルで拘束した構造体（以下、マットレスと称する）とした。マットレス底部には直径 550mm の杭が配置されている。マットレスの上には、別途補強土底面を直接基礎として外的安定の計算で得られた地盤反力 140 kN/m² を鉛直荷重として作用させることとした。

表-1 ソリッド要素の物性値

	γ (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ν	c (kN/m ²)	ϕ (deg)
補強土	19	4×10^4	0.3	-	30
既設盛土	19	3×10^4	0.3	15	10
支持層	19	1×10^5	0.3	-	-

表-2 シェル要素の物性値

	t (m)	E (kN/m ²)	ν	D (m)
ジオテキスタイル (F-150, 表-4 参照)	5×10^{-3}	横断方向: 4.8×10^6	0.3	-
		縦断方向: 1.3×10^6		
杭 ($\phi = 550, t = 10 \text{ mm}$)	0.01	2.0×10^8	0.3	0.55

b) 解析結果

モデル全体の変形とジオテキスタイルの変形をそれぞれ図-6 と図-7 に示す。この結果によると、杭間のマットレスの最大変位（沈下量）は 40mm 程度（解析値：39mm）と想定された。

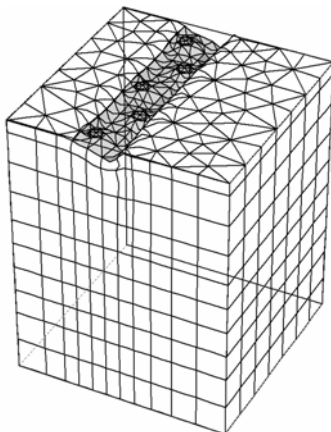


図-6 モデル全体の変形（変形量 20 倍に拡大）

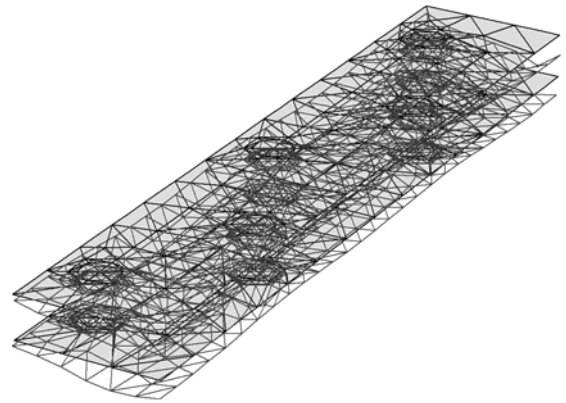


図-7 ジオテキスタイルの変形（変形量 20 倍に拡大）

次にジオテキスタイルに発生する横断方向と縦断方向の軸力分布を図-8 と図-9 に示し、底面のジオテキスタイルの最大発生引張り力を表-3 に示す。この結果によると、杭の周辺で局所的に大きな引張り力が発生し、当該現場における杭配置、鉛直荷重、支持地盤条件の場合、その大きさは横断方向で 60 kN/m 程度、縦断方向で 40 kN/m 程度と推定された。

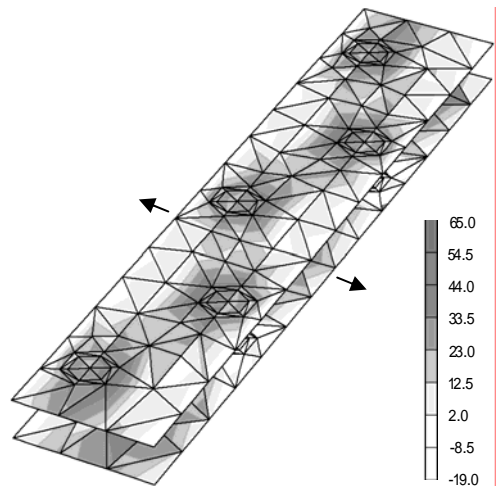


図-8 ジオテキスタイルの軸力分布（横断方向）

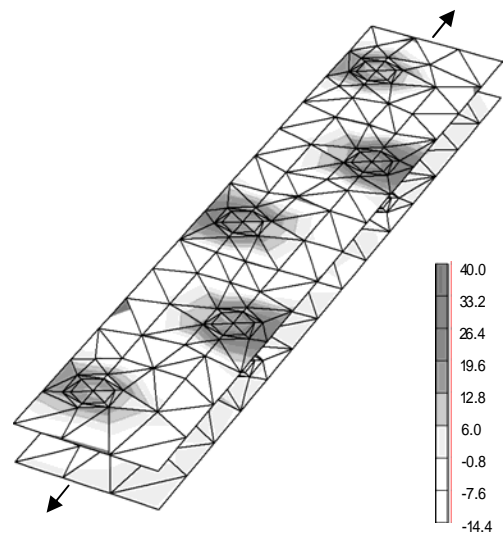


図-9 ジオテキスタイルの軸力分布（縦断方向）

表-3 ジオテキスタイルの最大発生軸力

発生軸力 (kN/m)	
横断方向	60.7
縦断方向	36.2

c) 支持杭を用いた補強土の適用性

表-4 に市販のジオテキスタイルの例として、アデム F タイプの規格³⁾を示す。これによると、当該現場で補強土の支持力確保として杭基礎を用いた場合に、補強材へ発生する応力は市販の補強材の規格内にあり、「支持杭を用いた補強土」は十分に適用可能な工法であると考えられた。

表-4 アデム F タイプの規格³⁾

品番	品質管理強度 (縦×横) (kN/m)	製品基準強度 (kN/m)	限界引張強度 (kN/m)	判定
F-80	80 × 80	75	44	×
F-100	100 × 100	90	54	×
F-150	150 × 100	145	87	
F-200	200 × 100	180	110	

クリープを考慮した限界引張り強度

(3) 補強土の適用についてのまとめ

当該現場における盛土拡幅施工の再計画に当たり、施工費や既設盛土との一体化の観点で補強土の適用が望ましいと考えられ、これを実現するための細幅補強土と斜面安定対策としての抑止杭を支持杭として用いる適用性について検討した。この結果、

- ・ 細幅補強土を実現するための補強材を用いた「土のう」としての力学特性は既往の研究で実証され、これを用いた細幅補強土の施工事例も既に増加しつつある
- ・ 当該現場での斜面安定抑止杭を支持杭として用いる場合の、細幅補強土最下層(マットレス)の補強材に発生する引張り力は、市販の補強材規格の範囲であると推定される

ことから、当該現場における盛土拡幅施工の再計画に当たり、最も安価で合理的と考えられた補強土は、当該現場の特殊な条件を考慮しても、十分に適用可能であることを確認した。

5. 盛土拡幅施工再計画の概要

図-10 に盛土拡幅施工再計画のポイントを示し、その概要を以下に述べる。

(1) 既設盛土斜面安定対策

施工途中に判明した礫間に存在する軟弱なシルト質粘土を基本として、既設盛土全体の斜面安定対策として抑

止杭(550, t=10mm, l=10m, ctc. 4.0m 千鳥配置)を計画した。これは、巨礫の存在から当初設計で考慮していた狭小地地盤改良は採用できず地盤改良は非常に高価となることから、抑止杭を基本として最も安価な杭径、肉厚、杭長、配置を決定したものである。なお、この際の計画安全率は、応急対策以後の計測結果で変状が確認されなかったことなどから 1.1 としている。

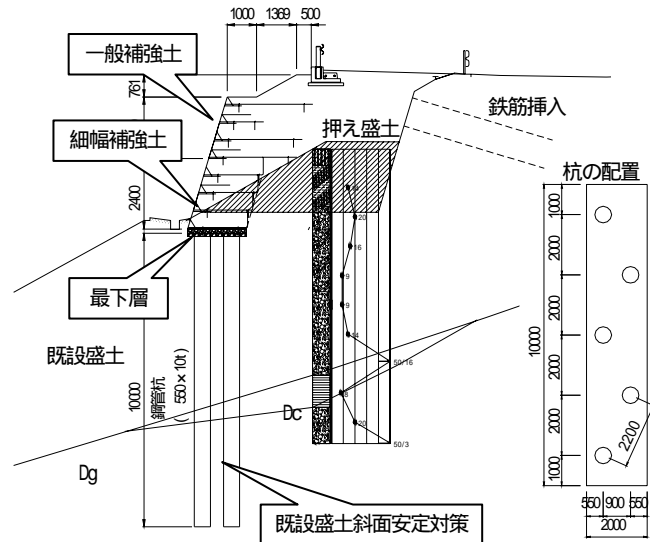


図-10 盛土拡幅施工再計画のポイント

(2) 細幅補強土

応急対策としての抑え盛土を可能な限り残し、さらに新たな掘削を極力避ける観点より、図-11 に示すような細幅補強土(幅:2.0 m, 層厚:0.6m/層, 補強材:アデム G-35³⁾)を計画した。この際の内的安定は、補強材で土を包み込み一つの「土のう」を構築することで、載荷重による内部の土の体積膨張を補強材が負担して拘束効果を得る効果を考慮した設計法¹²⁾により、これを満足するよう補強材を決定した。外的安定については、一般補強土と同様に転倒、滑動について検討⁴⁾し、これを満足するよう補強土幅を決定した。

(3) 細幅補強土最下層

補強土の支持力確保として斜面安定対策の抑止杭を活用するため、杭反力の伝達が確実に行われる細幅補強土最下層を図-11 に示すように設計(層厚:0.6m, 補強材:アデム F-150³⁾)した。具体的には、3次元 FEM 解析により、杭の配置、径、剛性、支持地盤の剛性、鉛直荷重、および補強材の剛性の影響を考慮して、補強材に発生する引張り応力が規格値を満足する補強材を選定した。ここで、最下層に載荷される鉛直荷重は、直接基礎の細幅補強土を想定して、一般補強土の安定計算⁴⁾から得られる地盤反力としている。なお、現場への適用にあたっては、杭と補強材が直接競って破損したりしないよう、また、応力集中が緩和するように杭頭と補強材の間に 0.2m の碎石層を設けることとした。

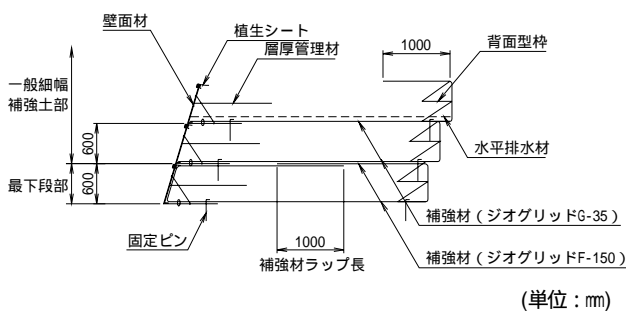


図-11 細幅補強土部の詳細図

(4) 一般補強土

一般補強土部については、これまでの設計法⁴⁾に基づく内的安定と外的安定から設計（補強材：アダム G-35、敷設長：3m、3層配置）した。

6. まとめ

ここでは、補強土を道路拡幅における腹付け盛土へ適用する特殊な事例として、施工中に確認された設計地盤条件との違いに適合すべく、地すべり抑止杭を支持杭とした細幅補強土の適用について紹介した。本論文は以下のようにまとめることができる。

- i) 当初設計の概要と施工中で確認された地盤条件の違いより、当該現場で「地すべり抑止杭を支持杭とする細幅補強土」を適用する経緯について示した。
- ii) 細幅補強土の研究・設計・施工実績、3次元FEM解析により抑止杭を支持杭とした場合の最下段補強土の補強材に発生する引張り力が市販材料の規格内であることを確認したことなどから、「地すべり抑止杭を支持杭とする細幅補強土」が当該現場においても十分に適用可能で

合理的なことを示した。

- iii) 当該現場における「地すべり抑止杭を支持杭とする細幅補強土」を用いた拡幅盛土再計画の概要を示した。

7. おわりに

今回は、施工途中における現場条件の違いより、細幅補強土と補強土の鉛直支持力確保として杭基礎を用いた構造の適用性について紹介したが、補強土は単に土構造物の安定性を高めるばかりではなく、補強材の設置に伴い一般の土構造物とは異なり、高いたわみ性を有するため、さまざまな適用が可能で今後の更なる活躍が期待される。例えば筆者らは、補強土の水平抵抗確保に杭基礎を用いる事例についても研究しており、動的遠心模型実験などからその有用性についても確認している。このような補強土の多方面の適用性についても、別の機会に報告していきたい。

参考文献

- 1) 松岡元，劉斯宏：地盤の一部を包み込む支持力補強方法に関する研究，土木学会第54回年次学術講演会，46 pp235-249，1999。
- 2) 松岡元，陳越他：「土のう」の力学特性および耐圧試験，第35回地盤工学研究発表会，K-14.544 pp-1075-1076，2000。
- 3) 帝人株式会社，前田工織株式会社：土木系材料技術・技術審査証明報告書，盛土補強用ジオグリッド「アダム」，土木研究センター，1999。
- 4) 財団法人土木研究センター：ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル，2000。

A REINFORCED SOIL STRUCTURE WITH PILE FOUNDATION

Takashi HARA and Shinichiro TSUJI

An application of a shallow width reinforced soil structure with pile foundation to a construction site of widening road embankment as the measure with respect to the site conditions that differed from the design ones, which were confirmed during the construction, is introduced in this paper. Background of the application of the structure to the site and conducted studies, such as 3D FEM analysis of tension stress occurring in the reinforcement at the bottom of the structure as well as the stability of the shallow width reinforced soil structure, for the application are described.