

ジオシンセティックスと剛壁面を用いた補強盛土工法（RRR工法）

田 村 幸 彦

1. はじめに

ジオシンセティックスを用いた補強盛土工法は、補強盛土工法の先駆者であるテールアルメ工法が普及していた1980年代に、国内の大学・官および民間の各研究機関で研究開発が盛んに行なわれ、実施工へと展開し始めた。筆者もこの黎明期にジオシンセティックスによる補強盛土工法の研究開発に多方面で参画させていただいた。本報告では、その中で、深く係わって来た「ジオシンセティックスと剛壁面を組み合わせた補強盛土工法（RRR工法）」について紹介する。

2. RRR工法の概要

RRR工法(Reinforced Road/Railroad with Rigid facing-Construction System)は、面状補強材(ジオシンセティックス)を盛土中に敷設し、のり面を剛壁面で補強材と一体化することにより、雨や地震に対しても高い安定性を有する鉛直盛土を構築する工法である。図1はその概要を示したものである。本工法の特徴は、剛壁面が、補強盛土全体の安定に寄与する^{1) 2)} ことに着目したことにあり、以下の特徴を有する。

①剛性の高い壁面を有しているため拘束効果が高く、完成後の変形を小さく抑えることができる。

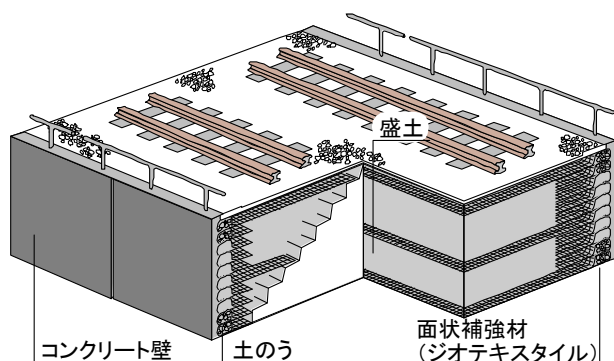


図1 RRR工法の概要

②通常の盛土（緩勾配）に比較し、用地が大幅に縮小できる。

③補強長が比較的短く、大型重機も使用しないので、狭隘な場所での施工性が良い。

④盛土材の使用範囲が広いため、発生土を有効に利用できる。

3. 設計法

この工法の特徴は、壁面剛性が補強土全体の安定に寄与する^{1) 2)} ことに着目したことにあり、このため設計法も、従来の壁面剛性の小さい工法の設計法とは異なり、壁面剛性を考慮した設計法としている³⁾。

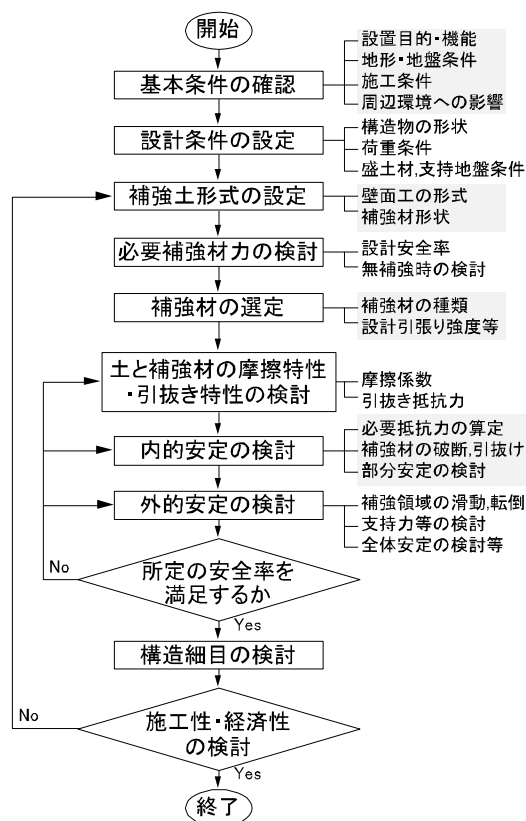


図2 RRR工法の設計フロー

図2にRRR工法的设计フローを示す。基本的には下記の検討を行なう(図3)。(1)盛土内部に破壊が生じるかどうかを検討する内的安定の検討、さらに、(2)RRR工法を含む盛土全体が基底破壊に対し十分な安全性を有しているかどうかを検討する外的安定に対する検討、(3)壁面工が外力や盛土自重で発生する土圧に対して十分な剛性が確保されているかどうかの壁面工の検討。この他支持地盤の軟弱な場所においては、地盤の沈下が補強材や壁面工に与える影響についても別途検討する。

3.1 内的安定検討

補強盛土体内の安定性を検討する内的安定検討は、2ウェッジ(楔)法を基本として行う。ここで2ウェッジ

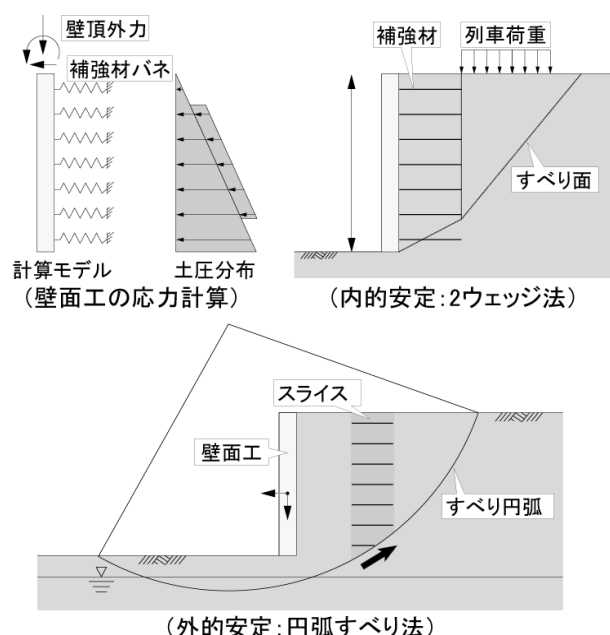


図3 検討方法の概要

法とは補強領域の鉛直背面ですべり面の変化点の位置を上下に変化させ、2つの土楔の静的な力の釣合から、図中における壁面工背面に作用する土圧力と補強材定着力を求め、これらの比で定義される安全率が最小を与えるすべり面を、試行的に求める方法を基本としている。

このとき水平力の大きさの釣合だけが問題となる滑動に対する検討の他、本工法が短い補強長を前提としていることから、補強した領域体の転倒に対する検討も同時に行う。

3.2 外的安定検討

外的安定検討は、補強土壁を含む盛土全体が、基底破壊に対し所定の安全性を有するかどうかを検討するもので、その際には修正フェレニウス法による円弧すべり法に補強材の効果を付加させた方法により検討する。

3.3 壁面工の検討

壁面に対する検討は、内的安定検討により定まる土圧分布並びに壁面に直接作用する外力に対し、補強材を弾性バネ、壁面を梁モデルとし、コンクリートや鉄筋に発生する応力が、所定の許容応力度以下となるように設計する。また、壁面剛性が高い本工法では、壁頂部に水平力が作用する場合でも壁面の曲げ剛性により作用荷重を全補強材が分担し効率的に抵抗できる。このため、壁面に電柱や防音壁などの付帯構造物を設置することが容易となる。

3.4 補強材料の評価法

本工法で使用するジオシンセティックス補強材は、土のせん断抵抗力と共に、すべり出そうとする土塊を引き留めるものであり、補強盛土の安定性を左右する重要な構造部材である。

現在市販されているジオシンセティックス補強材は多種多様であり、基本的にはこれらのすべてが本工法の補強材として使用することが可能であるが、そのためには各補強材の特性に応じて、設計における各荷重条件(常時、一時、地震時)に対する許容引張力を設定する必要がある。この許容引張力の設定にあたっては、まず製品自体が持ち合わせている破断強度と伸び量の関係、強度のバラツキ等から、設計で用いる場合の基準強度を定める必要がある。

例えば破断強度が大きくても、強度を発揮するまでの伸び量が土の破壊ひずみに対し、はるかに大きい場合には、補強効果は得られないことになる。また平均値としては大きな破断強度を与えるものでも、材料強度のバラツキが大きい場合には、局所的に不安全な構造物になる。以上のことを考慮して設計基準破断強度(Tk)は、数多くの試料片について引張試験を行い、以下の式により定める⁴⁾。

$$Tk = T_{AVE} - a \cdot \sigma_x$$

ここに T_{AVE} : 平均破断強度

a : 標準偏差に対する係数

σ_x : 標準偏差

この設計基準破断強度(Tk)に製造過程でのばらつきを考慮して、製品保証強度(Ta)を定める。

$$Ta = 0.8 \times Tk$$

また、各種の低減($\alpha 1 \sim \alpha 5$)を考慮して、各荷重条件における設計破断強度(Ta)を次式により定める。

$$\text{常時} : T_{aj} = \alpha 1 \cdot \alpha 2 \cdot \alpha 3 \cdot Ta$$

$$\text{一時} : T_{ai} = \alpha 1 \cdot \alpha 2 \cdot \alpha 5 \cdot Ta$$

$$\text{地震時} : T_{ae} = \alpha 1 \cdot \alpha 2 \cdot \alpha 4 \cdot Ta$$

ここに $\alpha 1$: 耐アルカリ性低減係数

$\alpha 2$: 施工時低減係数

$\alpha 3$: クリープ低減係数

$\alpha 4$: 瞬時荷重低減係数

$\alpha 5$: 繰り返し荷重低減係数

ここで各低減係数 ($\alpha 1 \sim \alpha 5$) は、所定の検定試験⁴⁾から求める値である。

上式的设计破断強度は、補強材の設計(主)方向に対して定めたものであり、補強材単体の特性から定まるものである。しかし実際の使用状態における補強材は、土との相互作用により力の伝達が図られるものであるため、使用する盛土材に合わせ、目合い、従方向の引張強度、土との摩擦係数などを考慮し選定する必要がある。

4. 施工法

図4にRRR工法の概略施工手順を示す。このうち主な施工項目について解説する³⁾。

4.1 基礎工

RRR工法では、盛土部を先行して構築し盛土の変形が許容値内に収束した後で、場所打ちコンクリート壁面を施工するため、あらかじめ基礎工および壁面の根入れ部分を施工しておく必要がある。

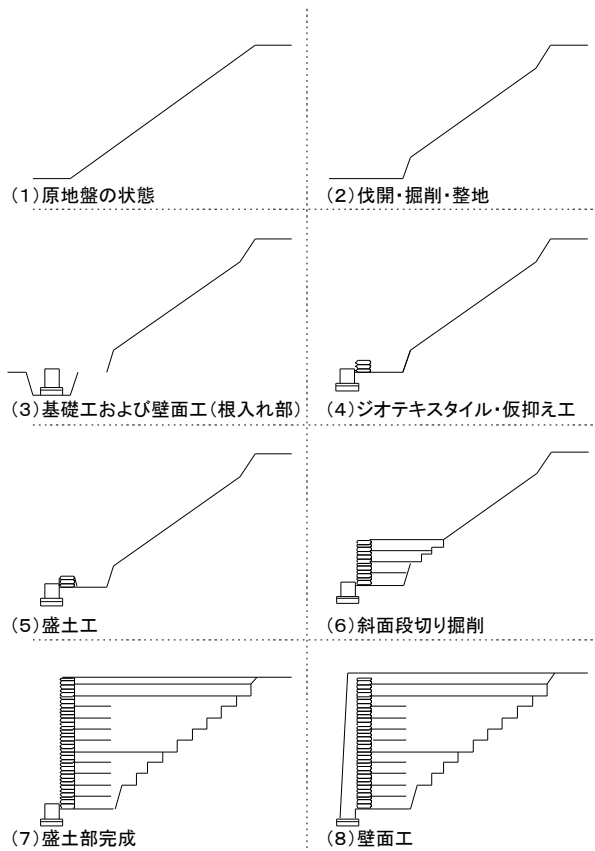


図4 RRR工法の施工手順

4.2 補強材敷設工

ジオシンセティックス補強材は本工法の重要な構造部材であり、設計で示された所定の強度・品質であることが検定試験により確認された製品を用いることが前提となる。

写真1に補強材の敷設状況を示す。補強材には壁面直角方向に引張力が働くことになるため、製品の主方向が壁面と直交するように敷設する。図5に補強材の継ぎ目を示す。一般的な製品は主方向が長手方向となるため、主方向に継ぎ目がくることはない。従方向(壁面延長方向)に対しては継ぎ目が必然的に生じるが、この部分では設計上は相互の力の伝達を考えていないため、10cm程度重ね合わせて施工することで良いものとする。



写真1 補強材の敷設状況

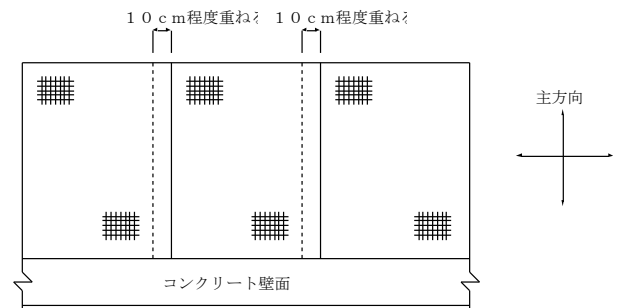


図5 壁面延長方向の補強材の重ね合わせ

4.3 仮抑え工

RRR工法の仮抑え材は、壁面コンクリートが打設されるまでの補強盛土の安定を確保し、完成後には排水層として機能する他、圧縮剛性の高い壁面と、剛性の小さい盛土との間の緩衝材としての役割がある。このため一般には排水性の高い目開き土のうまたは溶接金網を用いる。

土のうの中詰めや溶接金網背面にはクラッシュランや豆砂利などの透水性の高い材料を用いる。

写真2は溶接金網を、図6は溶接金網を仮抑え材とし

て用いる場合の標準的な仕様を示したものである。溶接金網は、一般的に土のうに比べて施工性がよく経済的である場合が多く、最近では溶接金網が主流となっている。



写真2 溶接金網

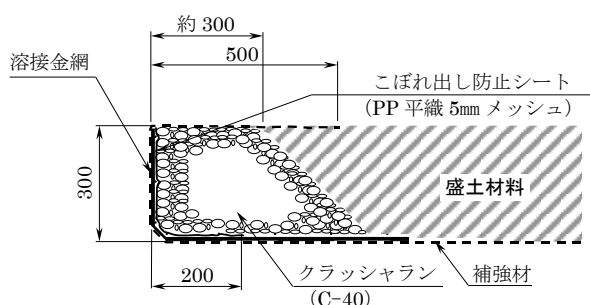


図6 溶接金網を用いた仮抑え構造

4.4 盛土工

ジオシンセティックスを用いた補強盛土工法では面状に補強材が敷設されるため、摩擦力が得られ易い。このため必ずしも良質でない盛土材料、例えばロームなどの粘性土についても盛土材として使用することが可能である。ただしその際には構造物の使用目的等を勘案し、設計や施工法を十分に検討する必要がある。

盛土材の撒き出しは、下に敷き込まれた補強材に緩みや損傷を与えないように配慮が必要であるため、特に重機での施工に際しては、撒き出しや転圧は壁面方向に走行させることを基本とし、急停止や急旋回を行ってはない。



写真3 盛土の転圧状況

らない。

写真3に盛土の転圧状況を示す。仮抑え近傍の重機による転圧作業は、転落など安全管理上から制約されることになるが、基本的には十分に締固めることが重要であるため、安全対策上問題とならない範囲で適切な締固め機械を選定する必要がある。

4.5 壁面工

R R R工法の特徴は、壁面剛性の効果により変形が小さく、安定性の高い補強盛土を構築できることにある。したがって、壁面に作用する土圧・外力等に対して十分な曲げ剛性・せん断強度を有することが前提となる。このため壁面は単なる化粧面としてではなく、構造部材として入念に施工する必要がある。

壁面工の施工は擁壁などと同様に場所打ちコンクリートで行うことになるが、R R R工法では壁面と壁背面の補強材が十分に定着することにより全体の安定を確保しているため、壁面工には裏型枠を絶対に使用してはならない。

壁面コンクリートの打設時期は、打設後の盛土と壁面との不同沈下量を考慮して定める必要があるが、一般には残留沈下量が10cm以下となった時点で施工している。

この他、施工の合理化を図るために、壁面構造部材を兼ねたプレキャスト壁面も開発されその施工も増えてきている。ただし、背面の補強材との一体化を図るために



写真4 プレキャスト壁面の施工状況



写真5 プレキャスト壁面の完成状況

裏込めの場所打ちコンクリートは必要である。写真4、5にその施工状況および完成状況を示す。

5. 施工例

5.1 施工実績

R R R工法は、鉄道を中心に永久構造物として数多くの現場で使用されてきており、平成15年3月現在で、施工件数約400件、施工延長約70km（壁面積280,000m²）に達している。

5.2 腹付け盛土での施工例

図7は、日本道路公団山形自動車道における本工法の施工断面を示したものである。暫定2車線（一期線）の対面通行で供用している高速道路に、2車線を増設して四車線化する工事において本工法が採用された⁵⁾。当初、他の補強土工法が計画されていたが、一期線盛土のり面ののり尻が側道端部付近に位置しており、補強材を長く敷設する工法では、最下段の敷設長が長くなり、一期線盛土の構造物掘削の範囲が拡張するため、供用を開始している一期線の安全を確保できる工法の選定が必要となった。本工法によりその掘削範囲を最小限とすることができた。また、図中の破線で示した逆T擁壁（写真6の奥側のコンクリート壁）は、一期線施工時に二期線施工のために構築されたものであり、巨大な杭基礎と厚いコンクリート擁壁との構造になっている。写真6に盛土工施工中を、写真7に補強盛土部の完成を、写真8に完成状況を示す。

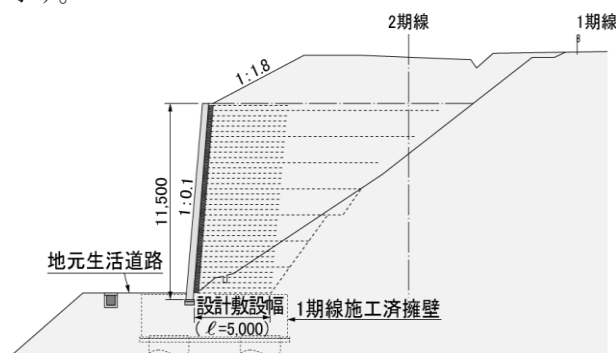


図7 施工断面（山形自動車道）



写真6 施工状況（山形自動車道）



写真7 補強盛土部の完成

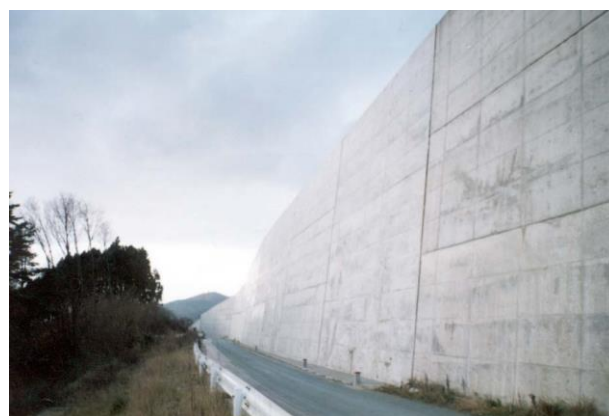


写真8 完成状況

5.3 橋台部での施工例

補強盛土上に小橋台を設置し、橋台基礎として使用する方法は、狭隘箇所での施工に優れ、騒音・振動などの問題も少ないなどの特徴の他、盛土の圧縮沈下を小さく抑えることができるため、従来問題となっている橋台裏の沈下段差が軽減される。橋台部分の盛土材料は、列車走行による沈下を最小限に抑えるために良質の粒調碎石を用いる。図8は西武池袋線練馬付近で施工されたR R R橋台の縦断面図である。この橋台は立体交差化事業の一環で構築された仮設使用の橋台で、約5年間供用後解体撤去した。解体時には橋台部壁面の水平載荷試験を実施してR R R補強盛土の水平耐力を調査した⁶⁾。図9に右側の橋台（A3）の載荷断面を、写真10に載荷試験状況を示す。載荷試験は、橋台部のR R R壁面背面に引張り治具

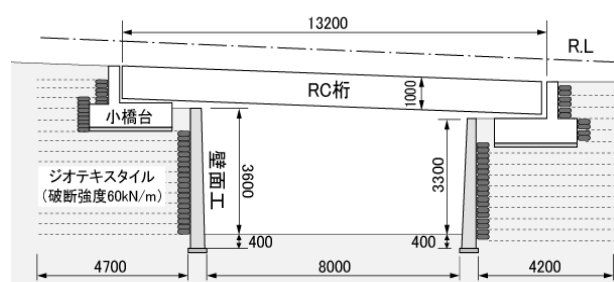


図8 施工断面（橋台部：西武線）

を取り付け、反対側の橋台 (A2) も同様の装置を設置し、相互の壁頂部を引張る方法で実施した。図10はA3橋台の載荷試験結果（壁面工の変形モード）を示したものであるが、壁面工は載荷総荷重700 kNまではほぼ線形的な変形をしている。載荷は2回目の700 kN載荷時に、載荷点である壁頂部のコンクリートの圧壊により終了したが、荷重と変形の線形性から弾性範囲内の挙動であることが推測された。



写真9 橋台の完成状況（西武線）

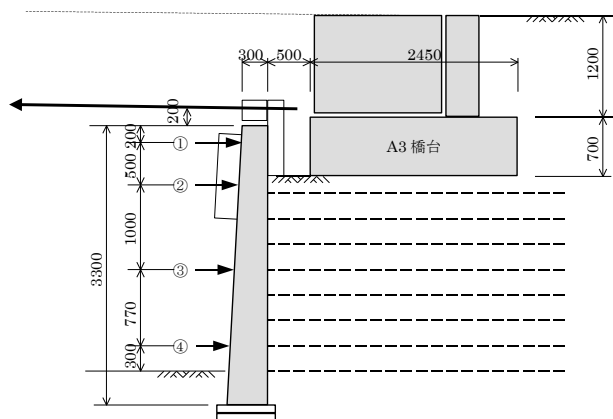


図9 水平載荷試験断面（A3橋台）



写真10 水平載荷試験状況

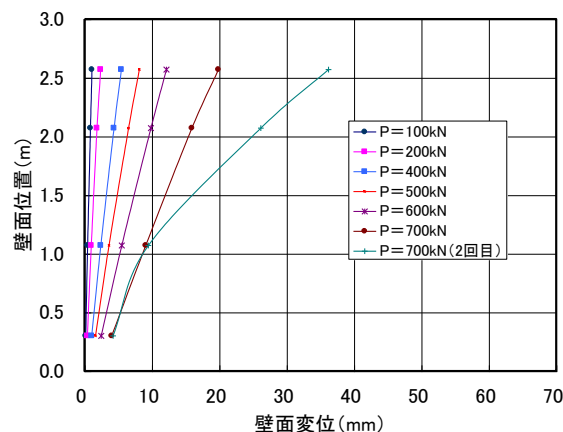


図10 載荷試験結果（変形モード）

6. おわりに

ジオシンセティックスを用いた補強盛土工法の一工法としてRRR工法の概要を紹介した。近々、RRR工法の発展型として、鉄道建設・運輸整備支援機構から「セメント改良補強土橋台」指針も発行される予定であり、今後の展開に期待したい。

<文 献>

- 1) 館山勝、龍岡文夫：短い面状補強材で補強された擁壁の室内実験、第22回土質工学研究発表会講演概要集、1987
- 2) 龍岡文夫、館山勝：補強擁壁におけるフェーシングの力学的役割に関する実験的研究（その1）、（その2）、第42回土木学会年次学術講演会講演概要集、1987
- 3) RRR-B工法 設計・施工マニュアル（平成13年3月）、RRR工法協会
- 4) RRR-B工法 材料マニュアル（平成15年5月）、RRR工法協会
- 5) 小野寺勇、大宮邦広：暫定解除区間における供用線への影響を最小限にした補強土壁工、ハイウェイ技術、No. 11、1998
- 6) 菅原聰、中村正明、山田孝弘、館山勝、田村幸彦：実補強土橋台の水平載荷試験、第57回土木学会年次学術講演会概要集、2002