

# GRS構造物のライフサイクルでの性能と費用便益比 に対する剛で一体の壁面工の効果

龍岡文夫<sup>1</sup>・岡本正広<sup>2</sup>・田村幸彦<sup>3</sup>・小阪拓哉<sup>4</sup>

補強盛土の建設に伴う支持地盤と盛土の変形が十分に生じた後で、剛で一体の壁面工を補強盛土と一体になるように段階施工するGRS(Geosynthetic-Reinforced Soil)擁壁、GRS耐震性橋台、GRS一体橋梁は、広く用いられるようになってきた。これは、これらのGRS構造物は従来形式の擁壁等の構造物よりも性能と直接建設費及びライフサイクルコストで優れているためである。一方、剛一体壁面工の直接建設費はブロック式・分割パネル式等の簡易な壁面工よりも高い傾向にある。しかし、剛一体壁面工によって長期・地震豪雨時の安定性が向上し、壁面間隙の天端面まで利用可能になり、遮音壁・防護柵・電柱等付帯設備を壁面工に設置でき、橋台として活用できるなどの利点が生まれることから、ライフサイクルでの費用便益比がより優れたGRS構造物になる。

キーワード：GRS構造物、剛一体壁面工、段階施工、ライフサイクルコスト

## 1. はじめに

図-1 は剛で一体な壁面工を持つ GRS (Geosynthetic-Reinforced Soil) 擁壁を鉄道と道路に適用した例である。図-2 は、剛な一体壁面工の段階施工法を示す。この GRS 擁壁は、a) ジオシンセティック補強材を小さな鉛直間隔(30 cm)で配置して鉛直に近い壁面を持つ盛土を建設し、b) 盛土・支持地盤の変形が終了してから剛な一体壁面工をジオシンセティック補強材と連結して建設する。この工法はかなり普及してきた。その要因として、段階施工によって建設する剛で一体な壁面工を活用することによる GRS 構造物の性能自体の向上とライフサイクルでの費用便益比の改善が挙げられる。本報文では、この工法の上記の点での特長を検討する。

## 2. 剛一体壁面工の段階施工の意義と剛一体壁面工による構造物として性能の向上

### (1) 従来形式の L 型 RC 擁壁の特徴

図-1 に示す GRS 構造物における剛一体壁面工による構造物としての機能の向上と剛一体壁面工の段階施工(図-2)の意義を、従来形式の L 型 RC 擁壁(図-3) および壁面工の構造がより簡単な他の形式の補強土擁壁(図-4~10)と性能と施工法を比較することによって検討する。

まず、従来形式の L 型擁壁(図-3)の特徴を纏めてみると、以下ようになる。

① 盛土は補強していないため、壁面工は片持ち梁構造である。

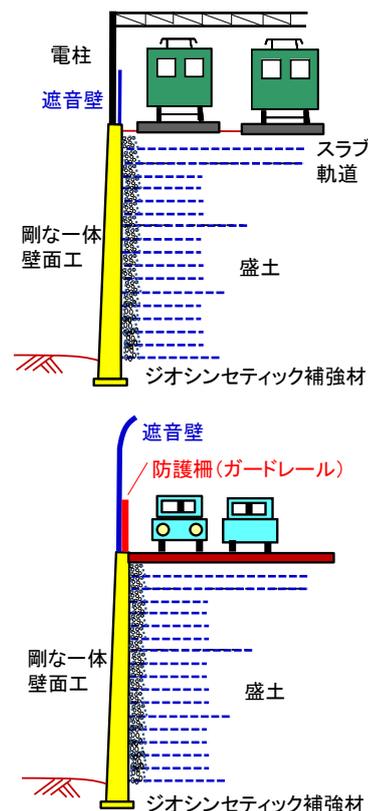


図-1 鉄道・道路構造物として建設された剛な一体壁面工を段階施工した GRS 擁壁の例

② そのため、壁体は堅牢な一体構造物である必要がある。その結果、天端面は壁体間隙まで鉄道軌道・道路面等に使用でき、また壁体に遮音壁・防護柵・電柱等付帯設備を直接設置できる。

<sup>1</sup>正会員，東京理科大学理工学部 土木工学科，嘱託教授（〒278-85101 千葉県野田市山崎2641）、東京大学名誉教授  
<sup>2,3,4</sup>正会員，(株)複合技術研究所 〒160-0004 東京都新宿区四谷1-23-6協立四谷ビル5F)

- ③ 壁体の建設後に盛土を施工するが、壁体が建設後に変位することは許容できない。
- ④ ①と③のことから、堅固な支持地盤でない限り、杭等の基礎構造物で壁体を支持する必要がある。

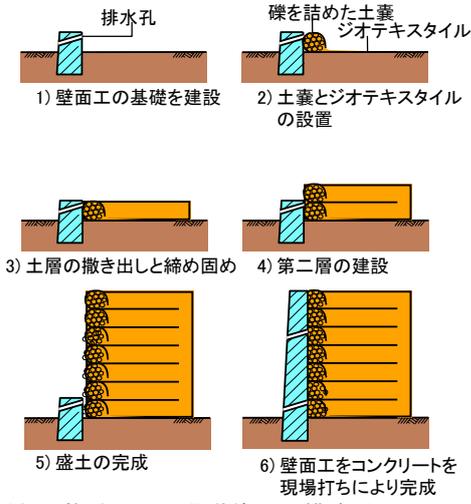


図-2 剛な一体壁面工の段階施工の模式図

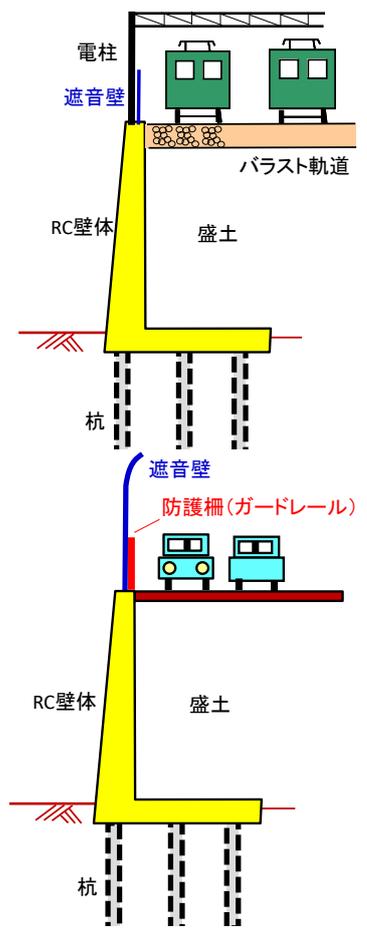


図-3 鉄道・道路構造物として建設された従来形式のL型RC擁壁の例

以下、剛で一体の壁面工を持つ GRS 擁壁 (図-1) と他形式の補強土擁壁 (図 4~10) は、それぞれ、

L型RC擁壁(図-3)のこれら①~④の特徴から生じる問題点をどのように克服したか、これらの特徴による利点・特長を継承したのか、という点を検討し、それぞれの補強土擁壁工法の特徴を浮かび上がらせるを試みる。

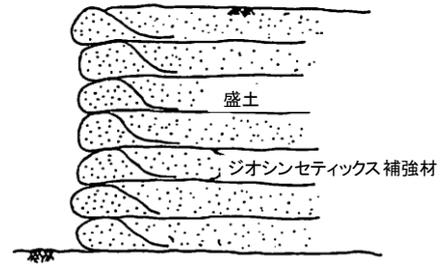


図-4 巻き込み式壁面を持つ仮設 GRS 擁壁の例

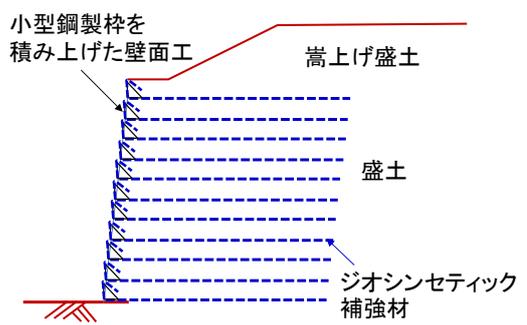


図-5 小型鋼製枠を積み上げた壁面工を持つ仮設及び本設 GRS 擁壁の例

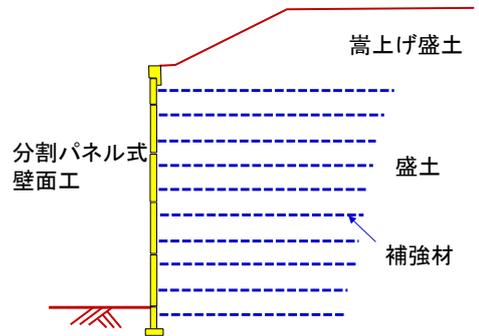


図-6 分割パネル式壁面工に補強材を連結した本設補強土擁壁の例

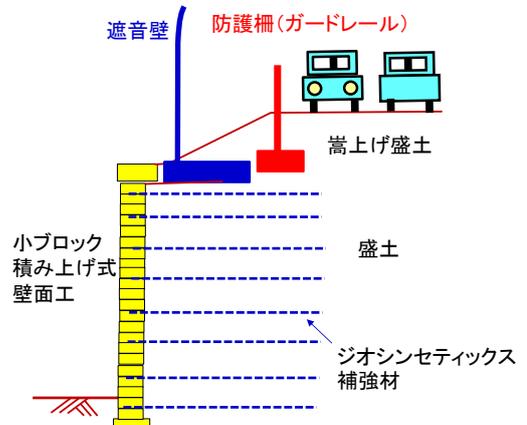


図-7 補強材に連結した小ブロックを積み上げた壁面工を持つ本設 GRS 擁壁の例

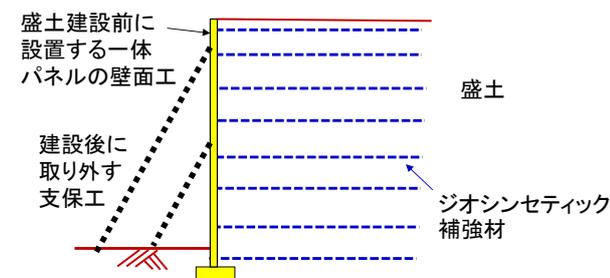


図-8 一体パネルの壁面工を持つ本設補強土擁壁の例

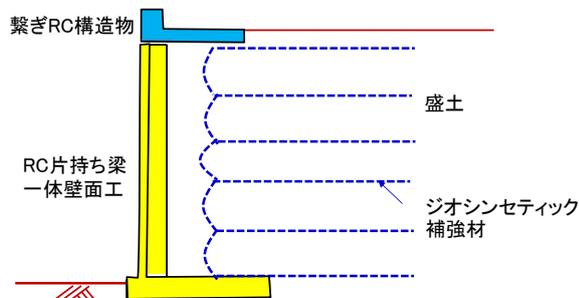


図-9 巻き込み式壁面と分離した一体パネル壁面材を設置した二重壁式本設 GRS 擁壁の例<sup>1)</sup>

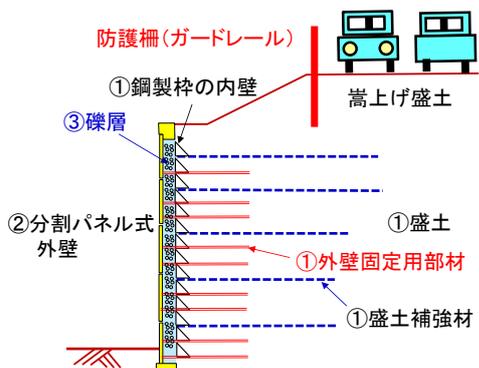


図-10 鋼製枠の内壁と分割パネル式壁面材の外壁の間に締固めていない礫層を投入した二重壁式本設 GRS 擁壁の例 (数字は施工順)

## (2) 壁面工形式に基づく補強土擁壁の分類

壁面工が補強盛土の安定性に十分に貢献するためには、①壁面工に一定の剛性があり、②壁面工に盛土補強材が連結されていて、十分大きな盛土土圧を受けられる構造体になっている必要がある。この点に関して、AASHTO<sup>2)</sup>でも強調されているように壁面工と補強材との連結強度が補強材の引張強度と同等である必要がある。しかし、この状態の達成度は壁面工の構造形式によって異なる。以下、図-1, 4~10 に示す補強土擁壁を壁面工の構造形式に基づいて分類してみる。

1) 一重壁面工： この壁面工を剛性のレベルで分類すると以下ようになる。

1-a)剛性が無いか、比較的小さい形式： 各土層の壁面をジオシンセティック補強材で巻き込んだ形式(図-4)は、変形が大きく耐久性も無いので、基本的に仮設 GRS 擁壁に用いられている。薄い金属スキンを丸めた形式も、主に仮設に用いられている。ジオシンセティック補強材を巻き込んだ小型鋼製枠を積み上げた形式(図

-5)は、上記の壁面工よりも剛性があり、仮設構造物だけではなく本設擁壁としても用いられている。しかし、剛性不足のためと思われるが地震時に過大な変形をした例が少なくない(例えば Kuwano et al. (2011)<sup>3)</sup>。

1-b)構成要素には剛性があるが全体剛性は低い分割型： 分割パネル形式(図-6)は、補強材が金属帯と面状ジオシンセティックスの場合があり、いずれも数多く建設されている。小ブロックを積み上げた形式(図-7)は、施工の容易さと直接建設費が低いことから世界的に普及している。しかし、我国では数が少ない。

1-c)一体パネル形式： 図-8 に示すように、補強盛土を建設する前に一体 RC パネルを外側から支保しておいてから補強盛土を建設する。このため、盛土が沈下・圧縮するとパネル背面の補強材定着部は損傷する虞があり、また壁面工背面のすぐ裏での盛土の締固めは難しい。さらに、盛土完成後支保工の取り外しに伴ってパネル壁面工は前方に変位して補強効果が発揮される。この残留変形は継続する傾向にあり管理が難しい。これらの問題のため、あまり普及していない。

2) 二重壁面工：

2-a) 外壁・内壁が一体でない形式： 外壁は盛土本体からの土圧を受ける構造となっておらず、擁壁全体の安定性に寄与しない。外壁は一体パネルであるが巻き込み式ジオシンセティック補強盛土(図-4)とは完全に分離している形式(図-9)は、フランス等で建設された。図-10 は、分離パネル形式の外壁が締め固めていない排水礫層を介して図-5 の形式の内壁を持つジオシンセティック補強盛土にアンカーされている形式である。外壁は、盛土からの土圧に抵抗せず擁壁の安定性には寄与しない非構造体として設計されている。このため、壁面すぐ背後の盛土に高い剛性を期待できないので、図-10 に示すように一定の幅を隔てて道路面等を設置する形式が基本となる。

2-b)外壁・内壁一体型壁面工： 図-1 に示す剛一体壁面工を持つ GRS 擁壁である。内壁は、各土層の肩に設置した礫を詰めた土囊あるいは鋼製枠で構成されている。全体剛性は低く建設中は支持地盤と盛土の変形に追従して変形するが、締固め荷重と盛土自重による土圧に抵抗して建設中の補強盛土を安定させる重要な役割を持つ構造体である。外壁は、全体剛性がある一体の構造体であり、盛土と支持地盤の変形が終了してから補強材と連結して内壁及び補強盛土と一体化するように建設する(図-2 に示す段階施工)。外壁は、盛土の土圧を全面的に受けて擁壁の安定に寄与する重要な構造体である。

## (3) 補強土擁壁工法による従来形式 L 型 RC 擁壁の諸問題の解消と利点・特長の伝承の課題

L 型 RC 擁壁の「①壁面工は片持ち梁構造」という特徴に対して、全ての補強土擁壁の構造は盛土の補強によって片持ち梁ではなくなるため、L 型 RC 擁壁での「②堅牢な一体 RC 壁体」と「④杭基礎」

が不要になり、直接建設費が低減するという特長がある。この補強土擁壁の最大の特長だけが強調される傾向にある。しかし、図-4~10 に示す補強土擁壁は L 型 RC 擁壁の「②堅牢な一体 RC 壁体構造物が持つ利点・特長的機能」を引き継いでおらず、あるいは部分的にしか引き受け継いでいないため、新たに以下の四つの課題が生まれた。

第一に、L 型 RC 擁壁 (図-3) では、盛土が良く締固めてあり壁体の安定性が杭基礎等で確保されていれば、壁面間際の盛土天端まで鉄道・道路等の許容変位が小さい構造物を設置できる。図-8, 9 の形式の補強土擁壁でも、壁面工は一定の集中荷重を受けられる。一方、壁面工の剛性が低い補強土擁壁 (図-4~7, 10) では、壁面工の上端と壁面背後の主働領域の盛土に作用する集中荷重に対して高い抵抗力を発揮できず変形性も小さくない。従って、道路・鉄道等の構造物は、通常天端面で壁面から一定間隔を空けて設置している (図-7, 10)。このため、壁面工の剛性が低い補強土擁壁 (図-4~7, 10) ではラーメン高架橋 (図-11) や L 型 RC 擁壁 (図-3) と比較すると必要な敷地が広くなり、都市部では不利になる。また、その分土工量も増える。

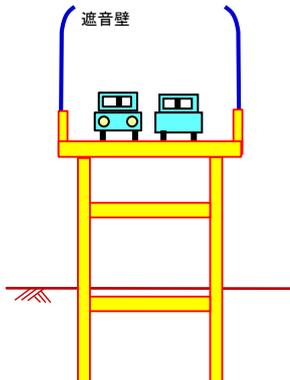


図-11 ラーメン高架橋(viaduct)の模式図

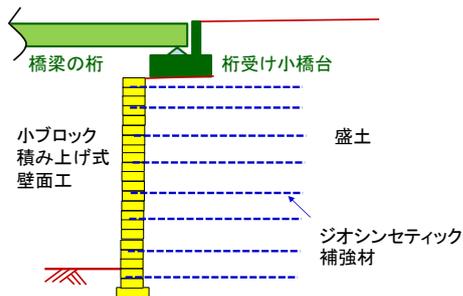


図-12 小ブロック積み上げ式壁面工を持つ補強土擁壁の橋台<sup>4)</sup>の模式図

第二に、L 型 RC 擁壁の壁体は、電柱、遮音壁、防護柵 (ガードレール) 等の付帯構造物の基礎構造物になる (図-3)。図-8, 9 の形式の壁面工でも、一定程度基礎構造物として利用できる。しかし、全体剛性が低い壁面工を用いる補強土擁壁 (図-4~7, 10) では、図-7, 10 に示すように、これら付帯構造物の基礎構造物を擁壁の安定性に影響を与えないように、壁面工とは別途に設置する必要がある。

上記のテーマの延長であるが、第三に、米国等で

耐震設計が必要ないか設計震度が低い地域では図-12 のような形式の補強土擁壁の橋台が建設されている。分割パネル式壁面工の補強土擁壁 (図-6) でもその例がある。しかし、桁が長くなるほど橋台として安定性を保つことが難しくなる。つまり、小橋台は壁面背後の主働領域の盛土に支えられているため、盛土の長期沈下や地震時沈下の影響を受ける。また、小橋台に固定支承を介して地震時に作用する桁の水平慣性力に対して、盛土上部の壁面工とそれに連結した 1 層あるいは数層の補強材しか抵抗できない。さらに、壁面工の基礎地盤の洗掘・掘削に対する壁面工と背後の主働領域の盛土の安定性も低い。これらのことから、我が国では図-12 のような補強土擁壁橋台を本格的な橋梁として建設した例はない。

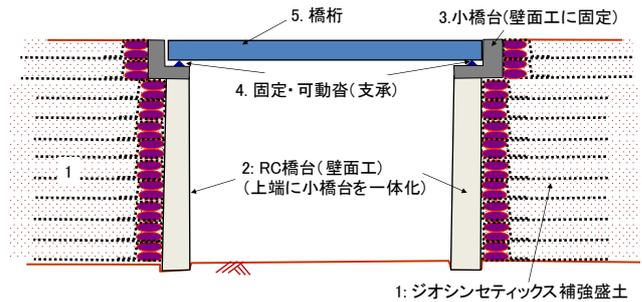


図-13 GRS 擁壁の剛な一体壁面工を橋台とした耐震性橋台 (数字は施工順序を表す) の模式図

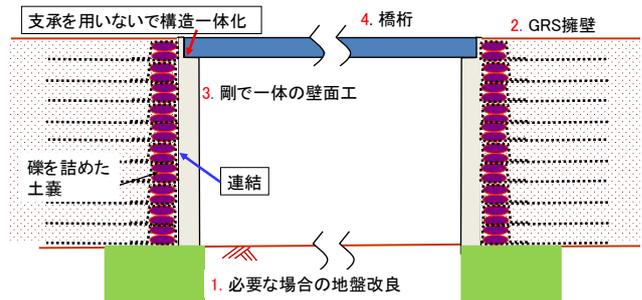


図-14 剛な一体壁面工を持つ GRS 擁壁を橋台として桁を壁面工と一体化した GRS 一体橋梁 (数字は施工順序を表す) の模式図

一方、図-1 に示す GRS 擁壁では、剛で一体の壁面工が補強材層全体に連結されているため、L 型 RC 擁壁の場合 (図-3) と同様に、盛土天端は壁面間際まで許容変位が少ない鉄道・道路等の構造物に活用できる。このため、必要な敷地は図-4~7, 9, 10 に例示する補強土擁壁よりも狭くなり土工量も低減する。従って、敷地面積はラーメン高架橋 (図-11) よりも特に広くはならない。ただし、ラーメン高架橋での桁下の自由空間は無い。また、壁面工を電柱、遮音壁、ガードレール等の基礎として活用できる。

この剛一体壁面工の機能をさらに活用したのが、壁面工が桁を支持する耐震性橋台 (図-13) である。また、桁を壁面工と一体化させて建設費・維持管理費・耐震性で問題が多い支承を省略したのが、GRS 一体橋梁 (図-14) である<sup>5)</sup>。耐震性橋台と GRS 一体橋梁は、直接建設費の低減だけでなく、取り付け

盛土が剛な一体壁面工に定着した補強材によって一体化されているため、GRS 一体橋梁では更に桁と壁面工が一体化しているため、常時と地震時の安定性が高くなり、橋台壁裏の盛土の長期沈下や地震時沈下による段差が生じなくなる。これらの理由で維持管理費も低減し、従来形式の橋梁よりもライフサイクルでの費用便益比に優れている。これは、この20年以上の実績でも示されてきている。

第四に、L 型 RC 擁壁 (図-3) の壁体には、火災や車両衝突等の機械的外力、豪雨・洪水や波浪等に対する耐力がある。ただし、河川・湖沼・外洋に面した擁壁で支持地盤に洗掘が生じた場合は杭基礎で支持しないと転倒する虞があり、洗掘対策が必須となる。一方、壁面工が一体ではなく簡易な補強土擁壁では、これらの要因に対する耐力は低下する。例えば、図-4, 5 の壁面工は火災、機械的外力、洪水・波浪に対する抵抗力は低い。また、豪雨時の盛土内への浸透によって砂質の盛土材が分割パネル (図-6) の間から流失した例や、基礎地盤の洗掘により一部パネルが不安定化し、それが壁面工全体の不安定化、擁壁の全体破壊に到った例もある。

一方、図-1 に示す GRS 擁壁では、壁面工は剛で一体であり補強盛土と連結されているため、L 型 RC 擁壁 (図-3) と同様に、これらの問題は生じにくい。河川に面して洪水の攻撃を受けたり外洋に面して台風時に波浪が壁面に作用する現場でも、建設された例が出てきている。特に、剛な一体壁面工が補強盛土と一体化しているため、支持地盤の一部が掘削・洗掘・沈下、地震力等によって仮に不安定化しようとしても、局所的な破壊も生じにくく、仮にそれが生じようとした場合でも全体破壊に到る可能性は低い。

次に、L 型 RC 擁壁 (図-3) の施工上の課題が補強擁壁で解決されたのかどうか検討する。

第一に、図-15a のような既設盛土や自然斜面に腹づけの L 型 RC 擁壁を建設しようとする、斜面の掘削量が多くなり、また仮設の矢板・アンカーと掘削土の埋め戻しが必要になる場合が多い (図-15b-d)。これらの問題が補強擁壁工法で解決できるか検討する。まず、剛で一体な壁面工を用いて盛土を安定化させることはしていない補強土擁壁 (図 4 ~7, 9, 10) の場合は、擁壁の安定化に必要な補強材は長くなる傾向にある。AASHTO<sup>2)</sup>では、図-6, 7 に示す GRS 擁壁での最小必要補強材長を壁高さの70%としている。これの根拠として、図-16a に示すように、安息角面より上に位置する無補強盛土の領域の体積を小さくして、この部分からの土圧による補強領域のせん断変形と底面での滑動を防ぐことが挙げられる。なお、帯状の金属補強材では、引き抜けを防ぐためにも一定以上の長さが必要である。従って、これらの補強土擁壁の腹づけ工事では、L 型 RC 擁壁の場合 (図-15b~d) と同様な工法が必要となる場合が多い。

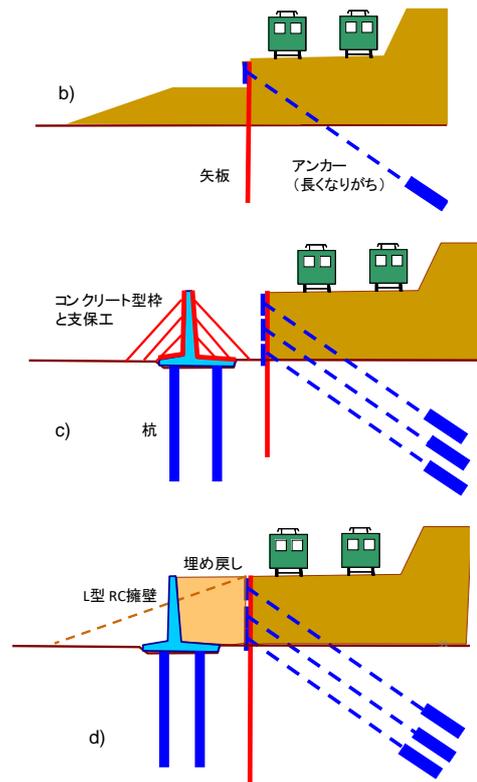


図-15 L 型 RC 擁壁の盛土腹づけ工事の模式図

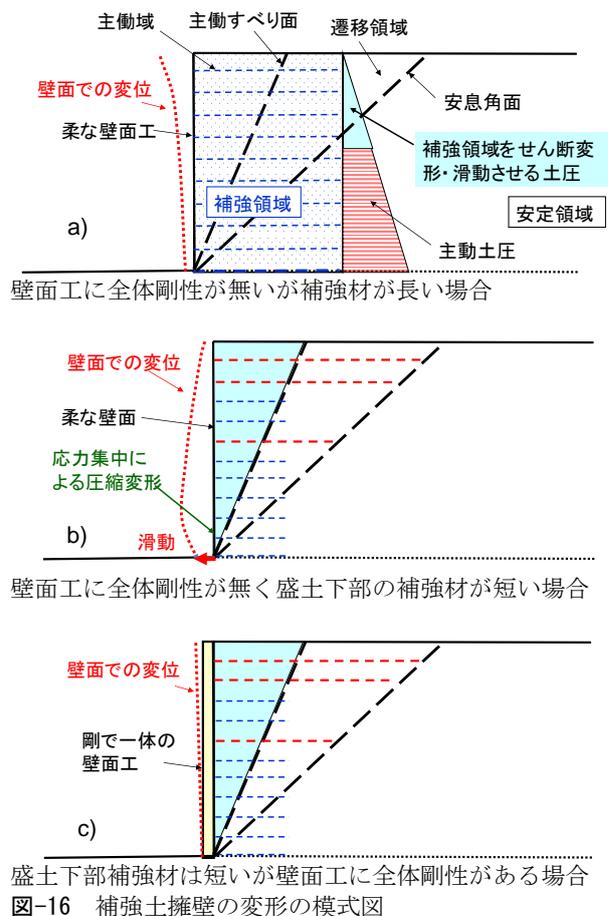
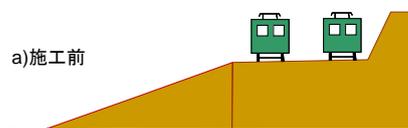


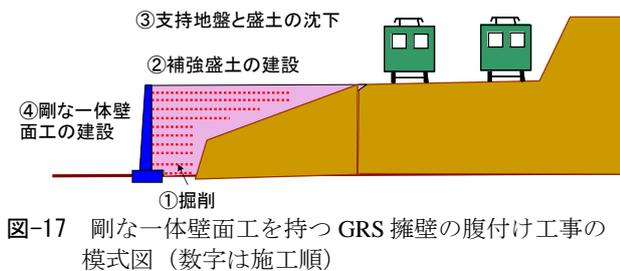
図-16 補強土擁壁の変形の模式図

そこで、腹づけ工事で斜面掘削量を小さくするために、図-16b に示すように盛土下部の補強材を短



くするが、安定性を維持するために盛土上部の補強材を安息角面まで伸ばしたとする。しかし、壁面工の剛性が小さいと盛土下部のはらみ出しと補強盛土底面での滑動に対する抵抗力が不十分になる虞が出てくる。また、地震時に転倒モードが生じようすると、盛土下部の壁面工には鉛直荷重が集中する。この場合、図-4、5のような剛性が無いか低い壁面工では、圧縮変形が生じて補強領域はつま先立ちが出来なくなる。

一方、図-1に示すGRS擁壁では、引き抜けにくい面状補強材を多層に配置している。さらに、補強領域は剛で一体の壁面工と一体化しているため全体的な一体性が高い。従って、盛土下部で補強材を一定程度短くしても盛土上部に安息角面まで長くした補強材を配置しておけば転倒と滑動は抑えられて図-16bのような変形・滑動が生じにくくなり、図-16cのような変形モードとなる。従って、図-17に示すように、腹づけ工事で斜面掘削量を減少させて矢板・アンカーの仮設構造物と掘削土の埋め戻しを不要にできる。従って、L型RC擁壁の場合(図-15b-d)や補強材が長い補強土擁壁の場合と比較すると、工事量を減少させ工期を短くできる。



第二に、L型RC擁壁では「杭基礎→壁体→盛土」の順序で建設する。このため、支持地盤が軟弱だと盛土の建設によって地盤沈下や地盤流動が生じる場合は杭が長くなり数が増える傾向となる。それでも、建設後に残留変位が継続する場合がある。図-6~9に示す補強土擁壁では、一定の剛性がある壁面工を盛土の建設の前に、あるいは同時に建設する。そのため、上記のL型RC擁壁の問題が解消されおらず、軟弱地盤に施工中に盛土が沈下・変位すると壁面工も沈下して変位・変形する。擁壁完成後も残留沈下・変形が継続すると、壁面工の変位・変形も継続する。このような変位・変形が過大になった例も多い。一方図-1に示すGRS擁壁の場合は、段階施工によって壁面工を建設するため、支持地盤がある程度軟弱であっても盛土建設中の盛土と支持地盤の変形によって剛な一体壁面工が損傷することはない。それでも擁壁建設後に残留沈下が継続する虞がある場合は、壁面工を建設する前に補強盛土にプレロードを加えるのが有効である。

### 3. ライフサイクルでの費用便益比

図-18は、従来形式のL型RC擁壁、あるいは現鉄道構造物設計標準に従って設計した剛一体壁面工を

持つGRS擁壁(図-1)を両側に配置した鉄道盛土構造物の例である。支持地盤として、従来形式の擁壁では杭基礎が必要であるがGRS擁壁では杭基礎を用いないで建設できる程度の厚さ20mの粘土層を想定した。ここで、設計地震作用荷重としては平成24年の耐震標準<sup>6)</sup>に準拠したレベル2地震動を想定した。また、杭基礎は平成9年度の基準(SI単位版は平成12年度<sup>7)</sup>)に基づいて構造設計した。さらに、GRS擁壁についてはそれと同等の要求性能である「性能ランクI」を満足するように設計している。

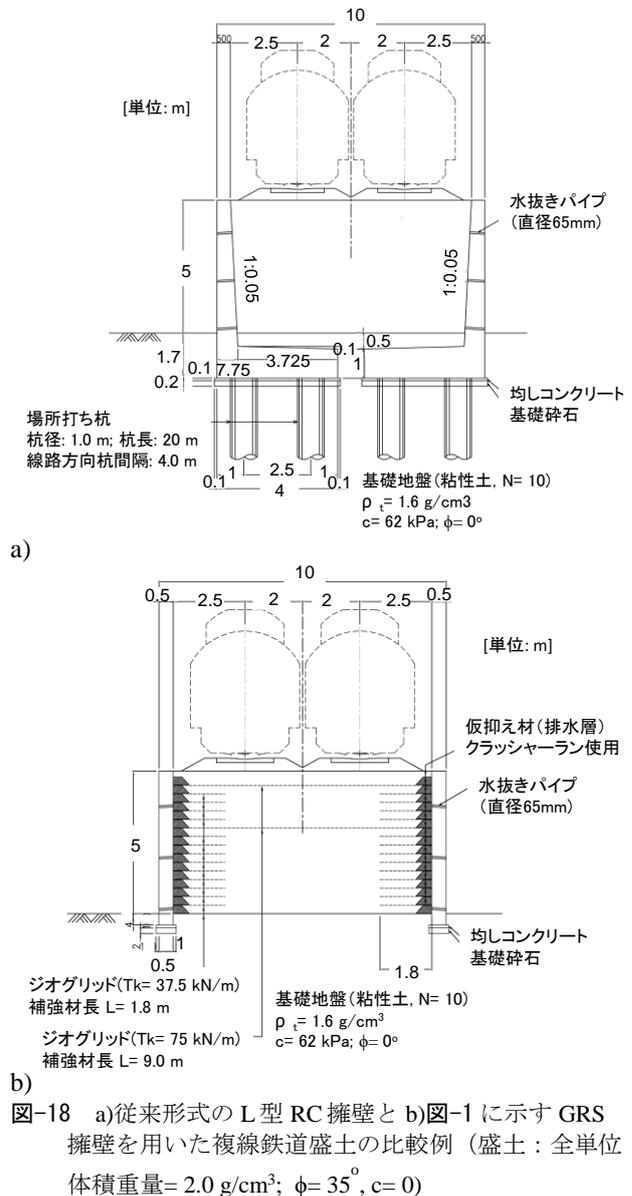


表-1に、図-18に示す従来型L型RC擁壁とGRS擁壁を用いた複線鉄道盛土の直接建設費、20年間の保守費用、およびLCC=直接建設費+保守費用の比較を示す。\*印が付いた数値は、GRS擁壁のLCCを1.0とした場合の値である。杭基礎は平成9年度の基準(SI版は平成12年出版<sup>6)</sup>)に基づいて新幹線に要求される性能ランク1を満足するように設計している。また、ここに示す保守費用は以下のように算出した。

1) 表-2に示すように、東海道新幹線の開業次年度

(1965年度)での実績(仁杉ら<sup>8)</sup>)を、総距離1,000 kmに対する値を見なして複線距離1ml回あたりの保守費用に換算した。さらに、20年間の平均的年間保守費用はこの換算値の1/4と想定した。また、2016年/1965年の間の消費者物価の比4に基づいて2016年度での費用に換算した。このように各種の仮定に基づいて求めた値は、現在の実際の保守管理値とは異なっている可能性がある。しかし、この想定値が数倍異なっても全体のLCCの比の変動は少なく、結論は変わらない。

- 2) GRS擁壁の安定性は高く盛土の圧縮性も小さいので、GRS擁壁を用いた場合の保守回数は、L型擁壁を用いた場合の保守回数の1/2と仮定した。ただし、両者の場合での保守管理費が同じであるとしても、全体のLCCの比の変動は少なく、結論は変わらない。

なお、ここに示す保守費用は通常の保守費用だけでなく、仮にレベル2地震動を受けた場合に必要となる復旧費用・営業損失などは考慮していない。これを考慮すると、GRS擁壁の耐震性が従来型L型RC擁壁よりも高いことから、保守費用には相当大きな差がでる。

以上から、GRS擁壁を用いた場合の直接建設費を1.0とすると、従来型L型RC擁壁を用いた場合の直接建設費は2.46倍となった。この主要因は、従来型L型RC擁壁では杭基礎コストが大きいことである。以上から従来型L型RC擁壁の場合のLCCは、GRS擁壁の場合の2.43倍となった。なお、これらのコストの比率は積算条件によって変化するが、国内では大幅には変化しないと思われる。

表-3に、支持地盤が良好で従来形式のL型RC擁壁でも杭基礎が不要な場合のコストの比較を示す。直接建設費はGRS擁壁の場合を1.0とする従来型L型RC擁壁は1.46倍となり、杭基礎がなくなっても直接建設費はGRS擁壁の方が低い。LCCはGRS擁壁の場合を1.0とすると、従来型L型RC擁壁は1.5倍となった。

一方、図-1に示すGRS擁壁の剛一体壁面工の直接建設費は、図-4~10に示す簡易な壁面工の場合よりも高くなる。直接建設費の多少が補強土工法の選定の基準とされる場合があるが、上で検討したように、剛で一体の壁面工を用いることによって、下記のように様々な利点が生まれる。

- ①壁面間際までの盛土天端が活用できる。
- ②防音壁・防護柵・電柱などの付帯設備を壁面工に直接設置できる。
- ③擁壁の変形が抑制され安定性が向上する。
- ④火災・機械的外力・豪雨・洪水・波浪等に対する耐力が向上する。
- ⑤腹づけ擁壁の建設が容易になる。
- ⑥支持地盤が軟弱な場合での建設が容易になる。
- ⑦橋台として活用できる。

この特長を考慮して直接建設費と長期維持管理費の合計であるライフサイクルコストで評価すると、費用便益比でさらに優位になる。このことは、この25年以上の実績によって示されている。今後、こ

れらの利点を定量的に評価することを試みる。

表-1 ライフサイクルでの費用便益比 (L型擁壁：基礎杭有) \*GRS擁壁のLCCを1.0とした場合の値

		L型擁壁	GRS擁壁
構造概要		高さ:5m(GLより)、幅:10m 基礎杭(φ1000 L=20m 100本)	高さ:5m(GLより)、幅:10m
建設費 (直接工事費)	基礎杭工	0.930*	0
	基礎工	0.108*	0.016*
	コンクリート工	1.089*	0.345*
	盛土工	0.154*	0.200*
	補強工	0	0.365*
	建設費合計	2.282*	0.926*
		<b>建設費の対比</b>	<b>1.0</b>
保守費用 (20年間)	保守費用	0.148*	0.074*
	<b>保守費の対比</b>		<b>1.0</b>
LCC	建設費+保守費	2.282*+0.148*	0.926*+0.074*
	<b>LCC比</b>		<b>1.0*</b>

注+: この数字を1.0になるようにして、\*印の数字を求めた

表-2 軌道保守費用の試算の基礎情報

	軌道保守 (東海道新幹線、1965年:開業次年度)		
	年間保守 作業距離(km) (仁杉ら <sup>8)</sup> )	年間保守回数 (全線平均)	複線距離1ml回 年間保守費用 (円/m)
むら直し (高低修正)	2,998	2.9	500
総突き固め	1,053	1.0	4,200
通り直し	1,488	1.4	460
合計	5,539	5.3	5,160

表-3 ライフサイクルでの費用便益比 (L型擁壁：基礎杭無) \*GRS擁壁のLCCを1.0とした場合の値

		従来型L型RC擁壁	GRS擁壁
構造概要		基礎杭無	
建設費 (直接工事費)	基礎杭工	0	0
	基礎工	0.108*	0.016*
	コンクリート工	1.089*	0.345*
	盛土工	0.154*	0.200*
	補強工	0	0.365*
	建設費合計	1.351*	0.926*
		<b>建設費の対比</b>	<b>1.0</b>
保守費用 (20年間)	保守費用	0.148*	0.074*
	<b>保守費の対比</b>		<b>1.0</b>
LCC	建設費+保守費	13,150	0.926*+0.074*
	<b>LCC比</b>		<b>1.0*</b>

注+: この数字を1.0になるようにして、\*印の数字を求めた

なお、図-1に示すGRS擁壁と図-4~10に示す簡易な壁面工を持つ補強土擁壁のLCCの具体的な比較は、後者の補強土擁壁は同じタイプでも実際の工法は多様であるので、容易ではない。今後の課題としたい。

#### 4. まとめ

剛で一体の壁面工を段階施工するGRS(Geosynthetic-Reinforced Soil)擁壁、GRS耐震性橋台、GRS一体橋梁等のGRS構造物は、従来形式のL型RC擁壁と橋台構造物と比較すると直接建設費とライフ

サイクルコストの何れも向上することから、広く用いられるようになってきた。

一方、この形式のGRS擁壁は、より簡単な壁面工を用いた補強土擁壁よりも直接建設費が一定程度高くなる。しかし、剛で一体な壁面工を建設することによって、①構造物の長期安定性が向上し、②同一の道路・鉄道に対する必要天端幅・敷地幅が減少し、③遮音壁・防護柵・電柱等付帯設備を壁面工に直接設置でき、④橋台として活用できる、などの機能・性能が向上する。この要因を評価すれば、この形式のGRS構造物のライフサイクルでの費用便益比は優れたものになる。

#### 参考文献

- 1) Thamm, B. R., Krieger, B. and Lesniewska, D.: Full-scale test on a geotextile reinforced soil wall, *Performance of Reinforced Soil Structures* (McGown et al. ed.), Thomas Telford, 341-345), 1994.
- 2) AASHTO: 132042 and 132043. Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes: 11:10-Mechanically Stabilized Earth Walls, *American Association of State Highway and Transportation Officials*, Washington DC, 2012.
- 3) Kuwano, J., Koseki, J. and Miyata, Y.: Performance of reinforced soil walls during the 2011 Tohoku earthquake, *Geosynthetics International*, Vol.21, No.3, pp.1-18, 2014.
- 4) Zornberg, J. G., Abu-Hejleh, N. and Wang, T.: Geosynthetic-reinforced soil bridge abutments - Measuring the performance of geosynthetic reinforcement in a Colorado bridge structure -, *GFR Magazine (Geosynthetics)*, *Industrial Fabric Association International*, Vol.19, No.2, March, 2001.
- 5) Tatsuoka, F., Tateyama, M., Koda, M., Kojima, K., Yonezawa, T., Shindo, Y. and Tamai, S.: Research and construction of geosynthetic-reinforced soil integral bridges, *Transportation Geotechnics*, Special Issue on Geosynthetics in Transportation Geotechnics, 2016.
- 6) 国土交通省鉄道局監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説-耐震設計、2012年9月
- 7) 国土交通省鉄道局監修・鉄道総合技術研究所編：(SI単位版) 鉄道構造物等設計標準・同解説-基礎構造物・抗土圧構造物、2000年6月
- 8) 仁杉巖 (監修), 深澤義朗 (編著) : 新幹線保線物語、山海堂, 2006年2月

## FULL-HEIGHT RIGID FACING FOR BETTER PERFORMANCE AND COST-PERFORMANCE RATIO IN LIFE-CYCLE OF GRS STRUCTURES

Fumio TATSUOKA, Masahiro OKAMOTO, Yukihiko TAMURA and Takuya KOSAKA

Many GRS retaining walls, GRS bridge abutments and GRS integral bridges having lightly steel-reinforced full-height rigid (FHR) facing have been constructed due to higher performance and lower life cycle cost than the conventional structures. The facing is constructed fixed to the reinforcement layers for embankment after the deformation of ground and embankment has taken place. Although the construction cost of FHR facing is usually higher than simpler facings (e.g. modular blocks and discrete panels), the ratio of performance to life cycle cost of GRS structures with FHR facing is better due to higher wall stability, narrower crest required for road and railway, the construction of noise/crash barriers, utility poles etc. on the FHR facing. The FHR facing is also used as a bridge abutment.

**KEYWORDS:** Full-height rigid facing, GRS retaining wall, Life cycle cost, Staged construction