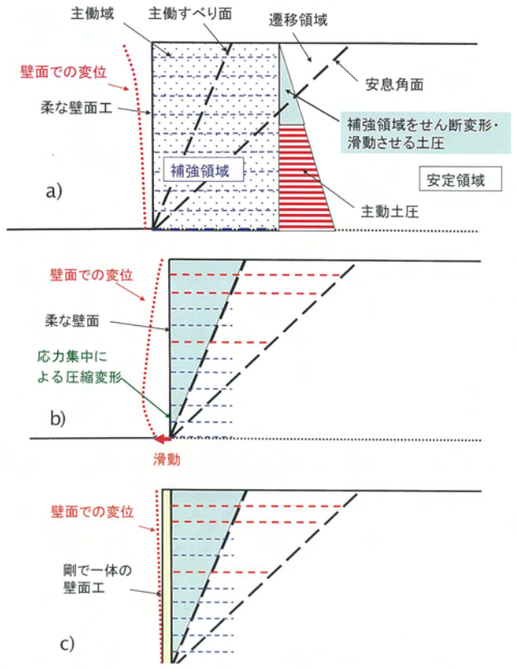

図-15 補強土擁壁の変形の模式図: a) 壁面工に全体剛性が無いが補強材が長い場合; b) 壁面工に全体剛性が無く盛土下部の補強材が短い場合; c)盛土下部の補強材工は短いが壁面工に全体剛性がある場合

従って、図－16 に模式的に示すように、腹づけ工事での斜面掘削が減少して、矢板・アンカーの仮設と掘削土の埋め戻しが不必要になる。L 型 RC 擁壁の場合（図－14b-d）や補強材が長い補強土擁壁の場合と比較すると、工事量は遥かに少なくなり工程は遥かに短くなる。

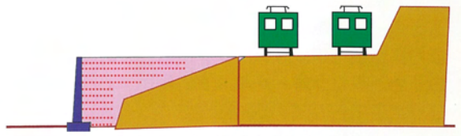

図-16 RRR 擁壁の盛土腹づけ工事

更に、L 型 RC 擁壁では、「④壁体の建設後に盛土を施工する」。つまり、杭基礎➡壁体➡盛土の順序で建設するため、支持地盤が軟弱だと盛土建設によって地盤沈下や地盤流動が生じると杭基礎と壁体を変位させてしまう。それを防ぐために、杭が長くなり数が軟弱だと盛土建設によって増えることになる。それでも、建設後に残留変位が継続する場合がある。図－5～8 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、あるいは同時に設置する。そのため、上記の L 型 RC 擁壁の問題が解消されておらず、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・変形が生じる。このような変位・変形が過大になった例もある。一方、RRR 擁壁（図－1）では、軟弱地盤でも、段階施工によって壁面工を建設するため、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。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。

RRR 擁壁（図－1）の「補強材を連結した剛な一体壁面工」は、より簡易な壁面工の場合よりも建設コストが高くなる傾向にある。しかし、壁面間際まで盛土天端を活用できること、付帯設備を壁面工に設置できること、変形が小さく安定性が高いこと、火災・機械的外力・豪雨・洪水・波浪等に対する耐力が高いこと、腹づけ擁壁が容易であること、支持地盤が軟弱でも建設できる等の特長がある。これらのこと考慮し、直接建設費と長期維持管理費のライフサイクルコストで評価すると、RRR 擁壁（図－1）は費用便益比に非常に優れていると言える。このことは、この 25 年以上の実績によって実証されている。

【事務局だより】

【RRR-Nail（スリーアール・ネイル）マニュアル、RRR－B 設計施工マニュアル（案）が発行されました。】

平成 27 年 9 月、「ラディッシュアンカー」「キャロットアンカー」「ロータスアンカー」の 3 種類を総称して RRR-Nail（スリーアール・ネイル）といたしました。

また、平成 27 年 10 月版として RRR－B 工法（剛壁面盛土補強土擁壁工法）設計・施工マニュアル（案）が改訂されました。会員の方へ送付しております。

【平成 27 年度技術講習会を開催いたしました】

平成 27 年 10 月 15 日、石川県金沢市にて技術講習会を開催いたしました。

満席のご参加をいただきまして、ありがとうございました。

東京理科大　龍岡教授、（公財）鉄道総合技術研究所　舘山事業推進部長の特別講演の他、RRR-Nail、RRR 橋台についてのご講演をいただき、盛況のうちに終了いたしました。

講演される舘山事業推進部長

【編集委員会名簿】

委員長：佐藤靖彦（西松建設㈱）　幹事：田村幸彦（㈱複合技術研究所）　事務局：岡本正広（㈱複合技術研究所）

委　員：神田隆真（前田建設工業㈱）・川島則子（㈱クラレ）・西村　淳（三井化学産資㈱）

【協会事務局】

〒160-0004 東京都新宿区四谷１－２３－６　協立四谷ビル　５Ｆ　㈱ 複合技術研究所 内

電話 03-5368-4103　FAX 03-5368-4105　ホームページ・アドレス　http://www.RRR－SYS.GR.JP

RRR スリーアール工法協会

RRR 工法協会だより

Reinforced-soil Railroad / Road structures with Rigid facing

No. 37　2016. 02

RRR 補強土擁壁の本質は何？

東京理科大学嘱託教授、東京大学名誉教授　龍岡文夫

RRR 工法の補強土擁壁（図－1、以下 RRR 擁壁）は、技術的には確立して来た感がある。しかし、この工法が普及するにつれて新たに接する方も増えてきた。このことから、本号ではこの工法の本質を再度説明したい。

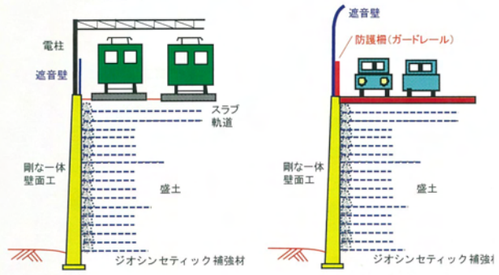

図-1　RRR 工法による剛な一体壁面工を設置した本設補強土擁壁

RRR 擁壁（図-1）は、a)ジオシンセティックス補強材を小さな鉛直間隔(30cm)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。擁壁の施工と機能におけるこの二つの特徴 a)、b)が持つ意味は何であろうか？つまり、従来形式の L 型 RC 擁壁（図－2）および壁面工がより簡略な他の補強土擁壁（図－3～9）と比較した時、RRR 擁壁（図－1）の特徴は何であろうか？

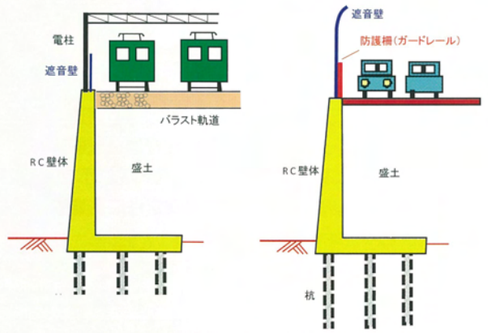

図-2 従来形式の L 型 RC 擁壁

そこで、従来形式の L 型擁壁(図－2)の特徴を纏めてみると、

① 盛土は補強していないため、壁面工は片持ち梁構造
② 壁体は堅牢な一体 RC 構造物
③ 杭支持（支持地盤が極めて良好でない限り）
④ 壁体の建設後に盛土を施工

となる。RRR 擁壁（図－1）とこれら補強土擁壁（図－3～9）のそれぞれは、L 型 RC 擁壁（図－2）のこれらの特徴をどのように変えたのか、あるいは変えなかったのか？その具体的な結果は何か？と言う点を明らかにすると、それぞれの特色が見えてくる。そのため、RRR 擁壁（図－1）と各種の代表的な補強土擁壁(図－3～9）を壁面工の構造形式で分類してみる。

1)一重壁面工：盛土補強材に連結されており盛土土圧を受ける構造体である。剛性のレベルで分類すると以下のようになる。

1-a)剛性が無いか小さい形式：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－3）は、変形が大きく耐久性も無いので、基本的に仮設擁壁として用いられている。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－4）は、上記よりも剛性があり本設擁壁としても用いられている。

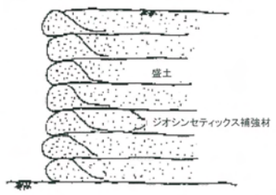

図-3　巻き込み式壁面を持つジオシンセティックス補強土擁壁

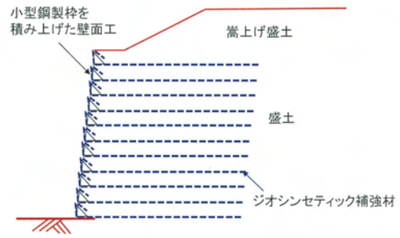

図-4　小型鋼製枠を積み上げた壁面工を持つジオシンセティック補強土擁壁

1-b)壁面工の構成要素には剛性があるが全体剛性は低い形式：分離パネル式（図－5）は、補強材が金属帯と面状ジオシンセティックスの場合で数多く建設されている。一方、小ブロックを積み上げた形式（図－6）は、我国では数が少ない。

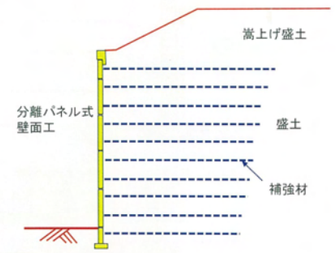

図-5　補強材に連結した分離パネル式壁面工を持つ本設補強土擁壁

1-c)一体パネル形式：図－7 に模式的に示すように、外側から支保された一体 RC パネルを盛土建設の前に設置してジオシンセティック補強盛土を建設する。このため、盛土が沈下するとパネル背面の補強材定着部は損傷する虞があり、壁面工背面の盛土の締固めは難しくなり、盛土完成後に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ためその残留変形の管理ができない。これらの施工上の難しさから、殆ど普及していないようである。

2)二重壁面工：

2-a) 外壁・内壁が一体でない形式：　外壁は、盛土本体の土圧を受けることによって擁壁全体の安定に寄与する構造体ではない。外壁は一体パネルであるが巻き込み式ジオシン

セティックス補強盛土(図－3)と分離している形式（図－8）は、フランス等で建設された。図－9は分離パネル形式の外壁が排水礫層を介して図－4の形式の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。外壁と内壁は、設計では盛土からの土圧に対して抵抗すると想定されていなくても、実際には一定程度抵抗しないと擁壁の安定性を保てない。

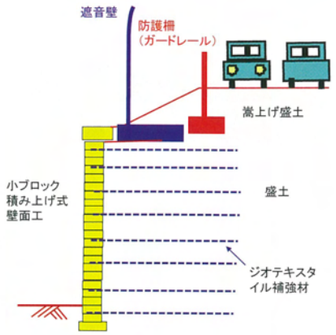

図-6　補強材に連結した小ブロックを積み上げた壁面工を持つ本設補強土擁壁

2-b)外壁・内壁一体型：RRR 擁壁（図－1）であり、内壁は各土層の肩に設置した礫を詰めた土嚢あるいは鋼製枠で構成されており、剛性は低いが締固め荷重と盛土自重による土圧に抵抗し建設中の補強盛土を安定させる重要な構造体である。外壁は、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（段階施工）。外壁は剛な一体構造であり、内壁と一体的に盛土本体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。

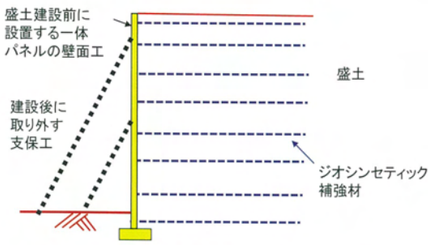

図-7　一体パネルの壁面工を持つ本設補強土擁壁

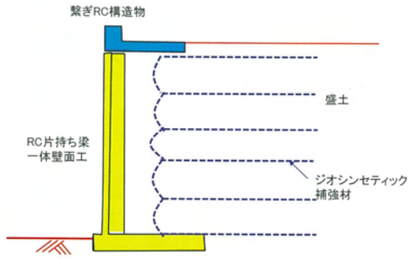

図-8　巻き込み式ジオシンセティック補強盛土とは分離した一体パネル壁面材を設置した二重壁式本設補強土擁壁

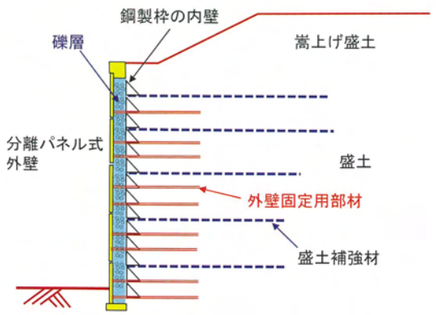

図-9　内壁の前面に礫層を介して分離パネル式壁面材を設置した二重壁式本設補強土擁壁

まず、L 型 RC 擁壁の特徴「①壁面工は片持ち梁構造」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り、そのため「②堅牢な一体 RC 壁体構造物」と「③杭基礎」が不要となった。その結果、直接建設費が低減した。このことが補強土擁壁の最大特長であるが、この特長だけが強調される傾向にある。しかし、補強盛土と一体化した剛な一体壁面工を用いない補強土擁壁（図－3～9）は、「②堅牢な一体 RC 壁体構造物」が持つ機能を引き継がなかったため、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－2）では、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。一方、壁面工の剛性が低い補強土擁壁（図－3～6, 8, 9）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を発揮できず変形性も小さくない。そのため、道路・鉄道等の構造物は、通常壁面から一定間隔を空けて設置している。このため、L 型 RC 擁壁(図－2)と比較すると敷地が広くなり、土工量も増える。

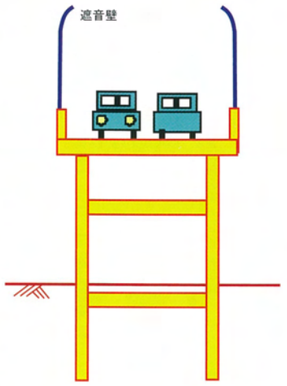

図-10　ラーメン高架構造物

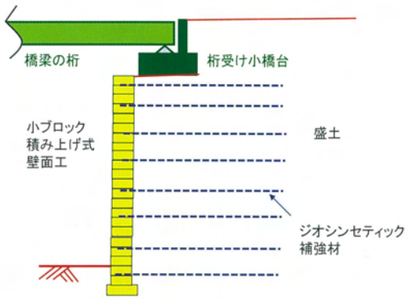

図-11　小ブロック積み上げ式壁面工を持つ補強土擁壁の橋台

当然、ラーメン高架橋（図－10）よりも敷地が広くなり、都市部では不利になる場合がある。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－2）。しかし、一体剛性が無い壁面工を用いる補強盛土（図－3～6, 9）では、図－6 に模式的に示すように、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別途設置する必要がある。

上記の延長であるが、第三に、米国等で耐震設計が必要ないか設計震度が非常に低い地域では図－11 のような補強土擁壁の橋台が建設されている。分離パネル式壁面工の補強土擁壁でも、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、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抵抗力も低い。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は、盛土上部の壁面工とそれに連結した補強材層しか抵抗できない。これらのことから、我が国では本格的な橋梁に図－11 のような補強土擁壁橋台を用いた例はない。

一方、RRR 擁壁（図－1）の剛な一体壁面工は補強材に連結されているため、L 型 RC 擁壁（図－2）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、敷地は図－3～6, 8, 9 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、ラーメン高架橋（図－10）よりも、広くならない。ただし、ラーメン高架橋での桁下の自由空間は無いが。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。さらに、この剛な一体壁面工の機能を活用したのが、壁面工が桁を支持する耐震性橋台（図－12）であり、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 GRS 一体橋梁（図－13）である。

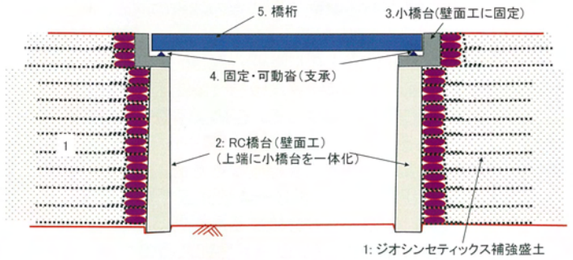

図-12　RRR 擁壁を橋台とした耐震性橋台（数字は施工順序を表す）

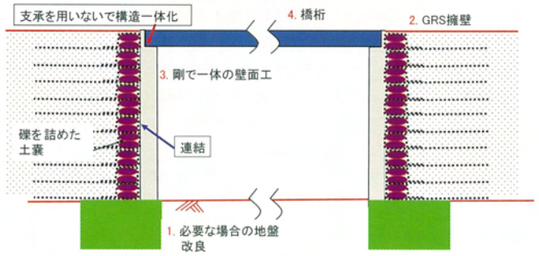

図-13　RRR 擁壁を橋台として桁を壁面工と一体化した GRS 一体橋梁（数字は施工順序を表す）

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、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い。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費用便益比に優れていることが実績で示されてきている。

第四に、L 型 RC 擁壁（図－2）の壁体には、火災や車両衝突等の機械的外力に対する耐力があり、豪雨や壁面の波浪等に対する耐力も高い。ただし、河川・湖沼・外洋に面した擁壁では杭基礎がないと転倒する虞がある。杭基礎がない場合は、洗掘対策が必須となる。一方、壁面工が一体ではない補強土擁壁では、これらの要因に対する耐力は低下する。例えば、図－3, 4 の壁面工は火災、機械的外力、波浪に対する抵抗力は低い。また、豪雨時の盛土内へ浸透によって砂質の盛土材が分離パネル(図-5)や小ブロック（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、RRR 擁壁（図－1）の壁面工では、L 型 RC 擁壁と同様に、これらの問題は生じにくい。河川で洪水が攻撃し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ある。特に、壁面工は一体であり補強盛土と一体化されているため、支持地盤の掘削・洗掘・沈下、地震力等によって一部が不安定化しようとしても部分的破壊は生じにくく、仮に生じようとした場合でも全体破壊に到る可能性は低い。

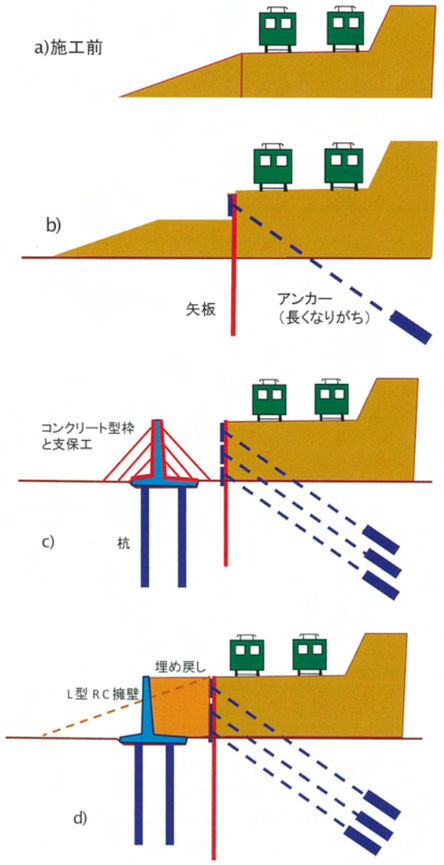

図-14　L 型 RC 擁壁の盛土腹づけ工事

次に、L 型 RC 擁壁の持つ他の課題が補強擁壁で解決されたのかどうか、を検討する。まず、図－13a 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と、斜面の掘削量が多くなり仮設の矢板・アンカーと掘削土の埋め戻しが必要になる（図－14b-d）。一方、剛な一体壁面工で盛土を安定化させていない補強土擁壁（図－3～6, 8, 9）では、補強材は壁高さの 70%程度の長さが必要である。これは、図－15a に模式的に示すように、安息角面の上の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ためである。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－14b-d）と同様な工法が必要となる。そこで、腹づけ工事で斜面掘削量を小さくするために、図－15b 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が生じやすくなる。地震時に転倒モードが生じると、盛土下部の壁面工には鉛直荷重が集中する。図－3, 4 のような壁面工では圧縮変形あるいは圧縮座屈が生じてしまい、補強領域はつま先立ちが出来なくなる。

一方、RRR 擁壁（図－1）では、引き抜けにくい面状補強材を多層に配置していて補強領域は剛な一体壁面工と一体化しており全体的な一体性が高いので、盛土下部で補強材が短く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－15b のような変形・滑動が生じにくくなる（図－15c）。