

# RRR 工法協会だより

Reinforced Road with Rigid Facing Construction System

No. 50. 2022. 09

## RRR-GRS 橋台の開発経緯と特長

東京大学・東京理科大学 名誉教授  
龍岡 文夫

### 1. はじめに

本号では、RRR 工法によるジョシンセティック補強土 Geosynthetic-Reinforced Soil の擁壁 (RRR-GRS 擁壁) (図-1) を発展させた RRR-GRS 橋台 (図-2) を紹介する。RRR-GRS 橋台は、他の補強土工法にはない独特なものであり、高い性能と経済性から広く採用されており、2022 年 9 月 23 日に開業した九州新幹線西九州ルートでは、合計 88 基の橋台の実に 89% の 78 基が RRR-GRS 橋台である。全国では、185 基が建設されている。また、海外を含めて多くが建設中もしくは建設予定である。今後も、数多くの建設が期待できる。

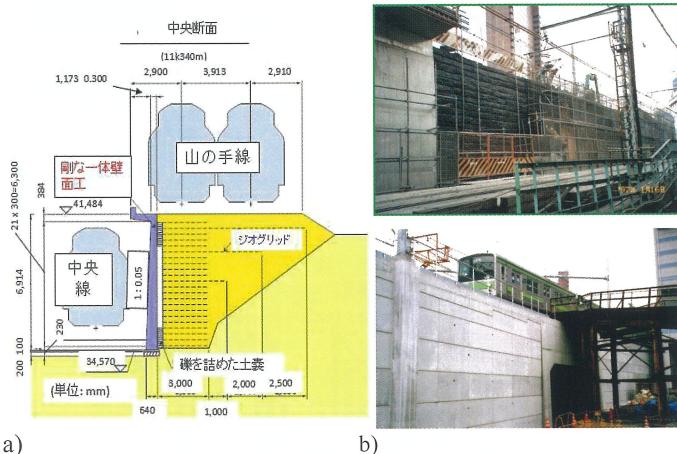


図-1. 剛な一体壁面工を持つ RRR-GRS 擁壁(新宿駅近傍、建設 1995~2000 年): a)断面図, b)施工中と完成後

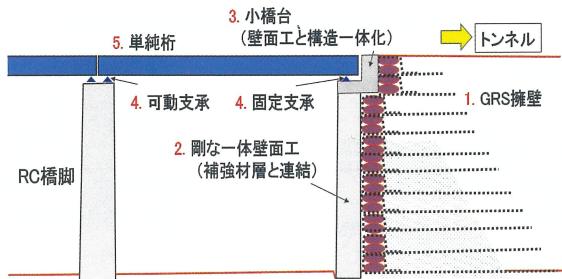


図-2. トンネル坑口とラーメン高架橋の間に建設された RRR-GRS 橋台(第二世代)(数字は施工順序)

### 2. 基本技術としての剛な一体壁面工を有する RRR-GRS 擁壁

RRR-GRS 擁壁 (図-1) には、施工上次の二大特徴がある。

- 剛な一体壁面工がない状態で、補強土擁壁を建設する (図-3a での段階 1~5)。すなわち、厚さ 30cm の各土層の壁面位置に礫を詰めた土嚢あるいは L 型溶接金網を配置してジョグリッド補強材を巻き込み、壁面近くの締固めを容易にし、

また剛な一体壁面工を建設するまでの仮の壁面工として鉛直壁面の補強土擁壁を安定に建設することを可能にする。

2) 図-3b の段階 5 で補強土擁壁の建設に伴う盛土と支持地盤の変形 (主に圧縮沈下) が十分に生じてから、図-3b の段階 6 で表型枠と各土層の補強材 (ジョグリッド) を巻き込んだ壁面の間にコンクリートを現場打ちする。コンクリートは土嚢あるいは L 型溶接金網を巻き込んだジョグリッドの格子構造の隙間を通して内部の礫に浸透する。壁面工は、少量の鉄筋を用いて水平打ち継ぎ目を補強するなどして一体構造にしてある。これらの結果、鉛直間隔 30cm で敷設したジョグリッド補強材全層と連結した剛な一体壁面工が建設される。

なお、他に、補強盛土を建設する前に一体型の RC パネル壁面工を設置して、補強盛土の建設に伴って順次壁面工に前もって連結しておいた補強材層を盛土内に配置する補強土壁工法がある。その工法では、壁面工と補強材層の連結部は盛土建設に伴う盛土と支持地盤の圧縮沈下による相対沈下によって損傷することがある。また、同じ理由で壁面工近くの盛土を締固めるのが困難になる。さらに、一体型 RC パネル壁面工は補強盛土の建設中に前方に変位しないように通常は前面から支保する必要がある、それには壁面の前のかなりの面積を占有する。また、補強盛土完成後に支保工を除去すると、補強材には引張りひずみが生じてその機能が発揮されるが、壁面工は継続的に前傾し、その量を制御・抑制することは難しい。これらの諸問題は、RRR-GRS 擁壁では解消している。

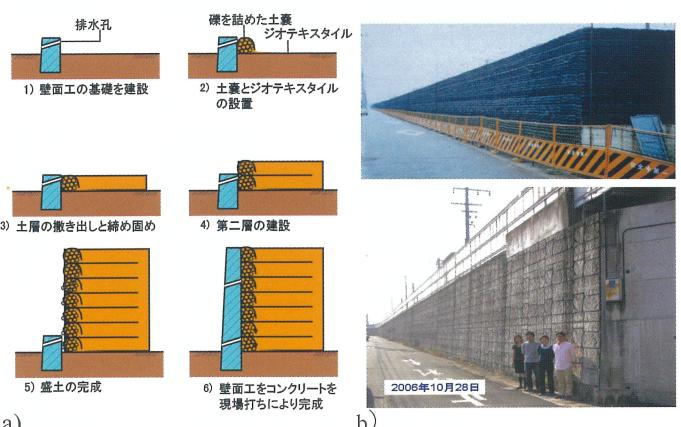


図-3. a)RRR-GRS 擁壁の段階施工; b)段階 5 と段階 6 (完成後) の RRR-GRS 擁壁 (JR 東海名古屋市枇杷島新幹線車両基地、工事 1989~1990 年)

この段階施工 (図-3a) によって、他の補強土擁壁工法にはない、次の優れた性能を発揮できる。

① 長期供用中に剛な一体壁面工と補強盛土との間に残留相対沈下が殆ど生じなくなるので、壁面工と補強材の連結部の損傷が生じにくくなる。地震時に仮に相対沈下が生じようとしても、壁面工と補強材層の連結部は礫を詰めた土嚢あるいは L 型溶接金網によって保護されており、損傷を防ぐことができる。

② 磂を詰めた土嚢あるいは L 型溶接金網の積層体は、剛な一体壁

面工背後の排水層として機能する。

③ 剛な一体壁面工と補強盛土は一体化しているので、壁面工内部と補強盛土内に局部破壊が生じて全体の崩壊を誘因することがない。この構造的な特長は、他の補強土擁壁工法には無く、RRR-GRS擁壁はこの特長によって以下の性能を発揮できる。

(1) 図-1a の例のように、基本補強材層は他の補強土擁壁工法と比較すると相当短くできる。その結果、この例のように腹付け盛土で擁壁を建設する場合に既設斜面の掘削量が大幅に減り、通常はアンカーやシート/パイルも不要になる(図-4a)。基本補強材層が短くても補強土擁壁が高い安定性を保てるように、盛土上部で補強材数層を「無補強の場合での安息角面」まで伸ばすことによって剛な一体壁面工と一体化した補強領域を拡大し、擁壁全体の転倒・滑動とせん断変形に対する抵抗力を確保している。一方、従来式片持ち梁形式の擁壁では擁壁基礎に一定の幅が必要になる(図-4b)。また、小ブロックを積み上げた壁面工(図-4c)や分割パネル式壁面工(図-4d)は剛性・強度と一体性が十分ではない。このため、補強材が短いと補強領域の十分な安定性を確保できないため、通常は補強材長/壁高の比を0.7以上としている。また、帯状金属補強材(図-4d)は、引き抜けやすいため長めとなる。これら図-4b~d の場合は、斜面掘削量が多くなり、通常シート/パイル・アンカーが必要となる。

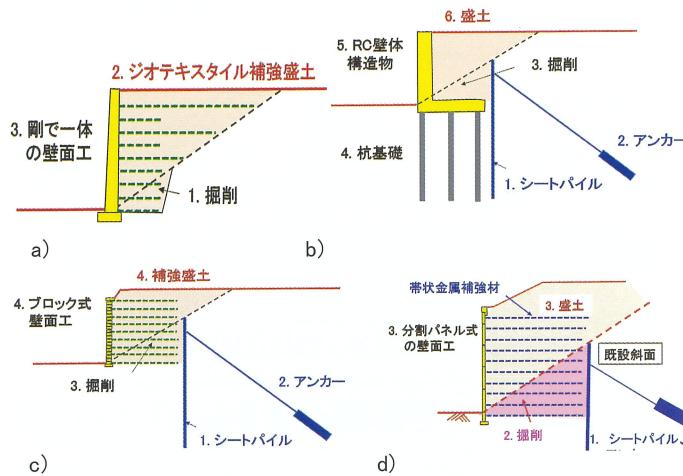


図-4. 既設斜面での腹付け擁壁の建設: a)剛な一体壁面工を有する RRR-GRS擁壁; b)従来式片持ち梁形式の擁壁; c)小ブロック積み上げ式壁面工を持つ GRS擁壁; d)帯状金属補強材と分割パネル式壁面工を持つ補強土擁壁

(2) 従来形式の杭支持片持ち梁擁壁(図-5a)は、高コストであるが安定性が高く、壁面直近の盛土天端に道路・鉄道を配置できる。剛な一体壁面工を全補強材層と連結して盛土を安定化させているRRR-GRS擁壁でも、図-5bに示すように壁面直近の盛土天端を道路・鉄道として使用できる(図-1a参照)。一方、壁面工に一体性がない補強土擁壁(図-5c)では、壁面間近の補強盛土は安定性が十分ではなく道路・鉄道を敷設できず一定幅の緩衝域が必要となり、その分用地幅が大きくなる。

(3) 従来形式の杭支持片持ち梁擁壁(図-5a)は、安定しているため、電柱・防音壁・遮音壁・ガードレール等の支持構造物となる。RRR-GRS擁壁の剛な一体壁面工も安定しているため、従来形式擁壁と同様に、他の構造物の支持構造物となる(図-5b)。この特長を最大限活かしたのが3章で説明するRRR-GRS橋台(第二世代)とRRR-GRS一体橋梁である。一方、壁面工に一体性がない補強土擁壁では、電柱・遮音壁・防護柵等には別途基礎構造物が必要となる(図-5c)。

RRR-GRS擁壁は、このような性能(1),(2),(3)によって広く普及することができ、鉄道構造物では標準的な擁壁構造物となつた。図-6に、RRR-GRS擁壁とそれから発展したRRR-GRS構造物の施工実績を示す。壁面長総計は200kmを越えている。

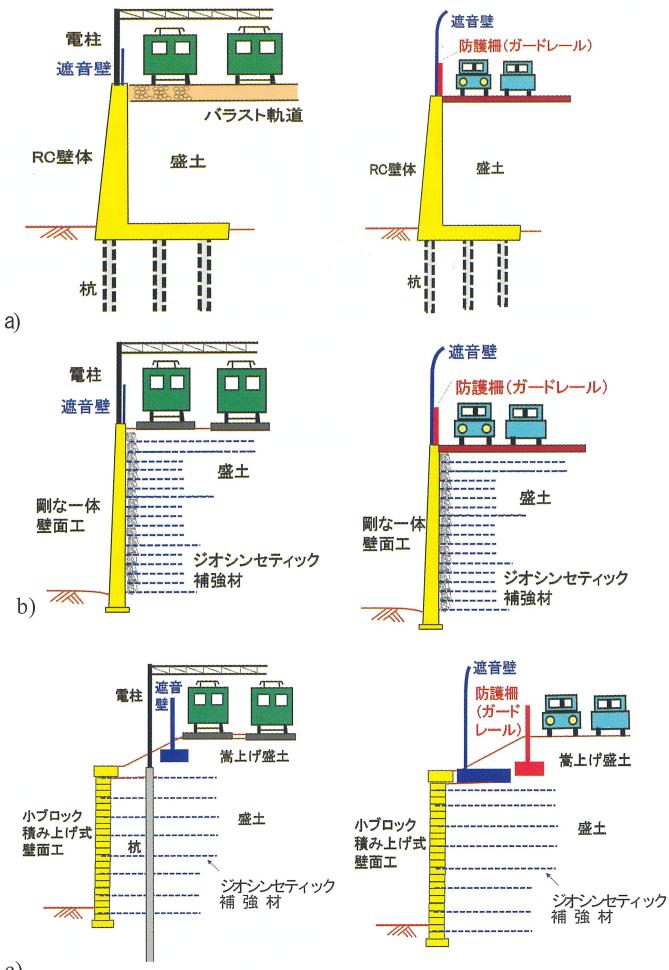


図-5. 擁壁・壁面工の活用: a) 従来形式の杭支持片持ち梁擁壁; b) 剛な一体壁面工を有する RRR-GRS擁壁; c) 小ブロック積み上げ式壁面工を持つ GRS擁壁



総延長: 202 km  
総現場数:  
GRS擁壁: 1,412(海外の現場も含む)  
GRS橋台: 185  
GRS一体橋梁: 14  
これまで、建設中・建設後の事故ゼロ、  
地震・豪雨等自然災害被害ゼロ  
・特筆すべき実績

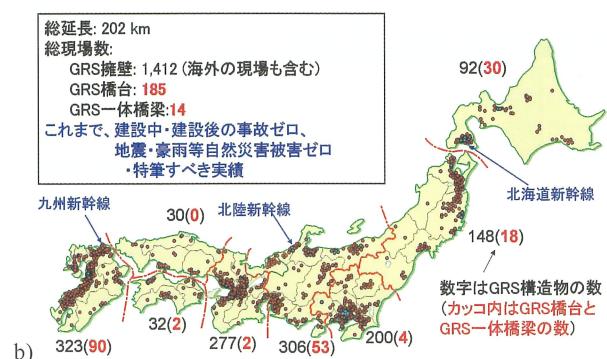


図-6. RRR-GRS構造物の施工実績: a) 年度ごとと累積の建設した GRS構造物の壁面延長; b) 全国の施工地点

### 3. RRR-GRS橋台の開発

#### 3-1. 従来形式の単純杭橋梁での諸問題

図-7に模式的に示すように、従来の基本的橋梁形式である単純杭橋梁には諸問題がある。

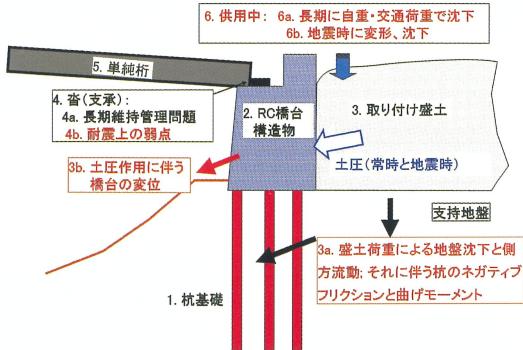


図-7. 従来形式の単純桁橋梁の諸問題

- 1) 取付盛土は無補強であり自立性がないため、抗土圧構造物として橋台構造物をまず建設してから建設する。このため、橋台構造物は盛土建設に伴う土圧と地盤変形によって変位しないように通常は杭基礎で支持する必要がある。また、橋台構造物は片持ち梁構造物であるため、壁高が大きくなると急速に重厚な構造物になり高コストになる。
- 2) 取付盛土は無補強であるため、長期残留沈下が生じて橋台構造物と盛土の間に段差が生じてかなりの維持管理費が掛かる場合が非常に多い。強震時に、取付盛土に急激な沈下が生じ橋台堅壁と翼壁にも大きな変形と変位が生じる場合も少なくない。また、河川横断橋梁では、洪水時に翼壁の基礎地盤に洗堀が生じて不安定化して取付盛土が流失し、橋台構造物に大被害が生じる場合も多い。
- 3) 杵支承は、設置だけでなく長期維持管理にコストがかなり掛かり、課題となっている。
- 4) 可動支承に支持された桁の自由端部は地震時に不安定になるため、各種落橋防止工が必要となる。

1)と 2)の問題を上で説明した RRR-GRS擁壁の特長・性能を活かして解決しようとしたのが RRR-GRS 橋台（第二世代）（図-2）であり、更に 3), 4)の問題も解決しようとするのが RRR-GRS 一体橋梁である。

### 3-2. RRR-GRS 橋台（第二世代）の開発経緯と特長

RRR-GRS擁壁の特長(3)を全面的に活用したのが、剛な一体壁面工の上端に単純桁を固定支承（ピン構造）を介して設置する RRR-GRS 橋台（第二世代）である（図-2）。一方、図-8 に示すのは、一対の GRS 橋台（第一世代）によって単純桁を支持する形式の橋梁である。剛な一体壁面工の上端の直ぐ背後の補強盛土の上に設置した小橋台で単純桁を支持する。この形式で小スパンの橋梁が一定数建設されたが、小橋台は壁面工とは連結していないため、桁が一定程度以上長くなり重量化すると、小橋台の耐震性と長期沈下が問題となる。このことから、小橋台を剛な一体壁面工の上端に構造的に連結した第二世代の RRR-GRS 橋台（図-2）が開発された。

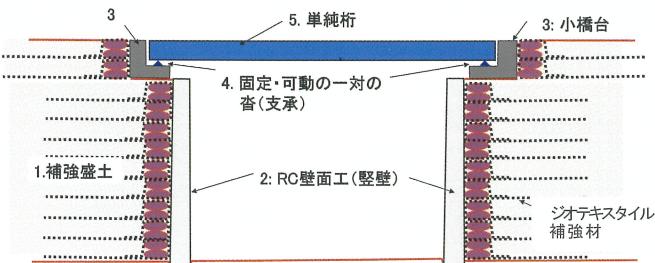


図-8. RRR-GRS 橋台（第一世代）の模式図（数字は施工順序）

RRR-GRS 橋台（第二世代）（図-2）には、以下の特長がある。

- 1) 従来形式の橋台の諸問題（図-7）を、支承に関する問題を除いて解決している。すなわち、剛な一体壁面工がない状態でのジョグリッド補強盛土の建設に伴う盛土と支持地盤の変形が十分に生じてから剛な一体壁面工（橋台堅壁）と側壁を建設するため、それ以降は橋台堅壁に残留変位・変形は殆ど生じない。このことから、橋台堅壁に杭基礎は基本的に不要となる。また、取付盛土は剛な一体壁面工と全層連結した補強

材で補強してあるため、長期供用中非常に安定しており、耐震性も高くなっている。これらから、壁面工背後に段差が生じなくなり、維持管理費が抜本的に低減する。

- 2) 単純桁と橋台堅壁としての剛な一体壁面工は、従来形式単純桁橋梁と同様に静定構造物であり、仮に壁面工に長期に、あるいは地震時に沈下・水平変位が生じても不静定力が発生しないので、構造設計・施工が高度にならない。
  - 3) 基礎が省略され橋台堅壁（すなわち壁面工）のコンクリートと鉄筋量が減量することから、工期・建設費が低減される。すなわち、上記の特長 1)～3)を持つ RRR-GRS 橋台（第二世代）（図-2）は、
    - a) 支承の設置と長期維持管理のコスト
    - b) GRS 橋台と反対側の RC 橋脚に設置した可動支承に設置した単純桁の自由端での耐震安定性
- が課題として残っているが、現在までに 185 基もの多数が建設されている。図-9 は 2002 年に建設された最初の RRR-GRS 橋台（第二世代）であり、図-10, 11 は他の施工例である。RRR-GRS 橋台（第二世代）でも、過大な残留変位は様々な障害を引き起こすので、地盤条件が悪い場合は地盤改良あるいはプレロード工法あるいは両者を併用して対処する必要があり、その方策によって適用範囲が広がる。

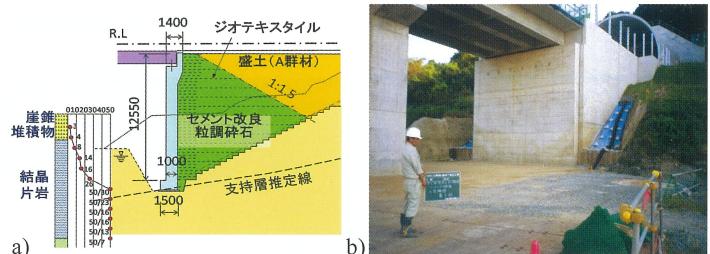


図-9. 九州新幹線鹿児島ルート高田での最初の第二世代 RRR-GRS 橋台: a)断面図; b)完成(2002 年)



図-10. 北海道新幹線万太郎、高さ 13.4m の第二世代 RRR-GRS 橋台



図-11. 北陸新幹線金沢・敦賀間第一下新庄での RRR-GRS 橋台（第二世代）（鉄道・運輸機構提供）: a) 地山斜面の段切りと橋台堅壁として剛な一体壁面工の鉄筋工組み立て; b) アプローチブロックと GRS トンネル坑門工の建設; c) 剛な一体壁面工の建設; d) 完成

図-12は、単純桁の両端を一对のRRR-GRS橋台（第二世代）で支持した橋梁の模式図であり、これまでに数多くが建設されている。図-13に示すのは、トンネル坑口と側面をRRR-GRS擁壁で保持した盛土区間の間に建設された最近の例である。この形式は、従来の単純桁橋よりも遥かに合理的あり、図-8に示す一对のRRR-GRS橋台（第一世代）からなる単純桁橋よりも合理的である。しかし、GRS橋台部の残留沈下が限定的ならば、この形式の単純桁橋梁（図-12）から上記の支承部に関連した課題a), b)を除去したRRR-GRS一体橋梁（図-14）の方が合理的である。すなわち、RRR-GRS一体橋梁では、連続桁の両端を一对の剛な一体壁面工の上端に構造的に連結してあり、これまで14橋梁建設されている。詳細は別途紹介する。

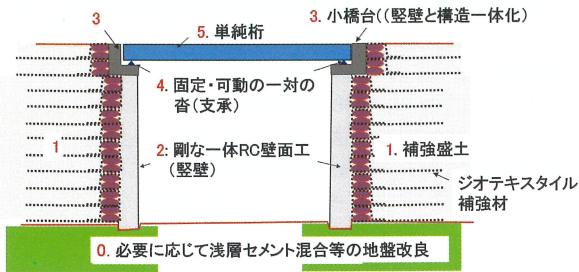


図-12. 一对のRRR-GRS橋台（第二世代）からなる単純桁橋梁

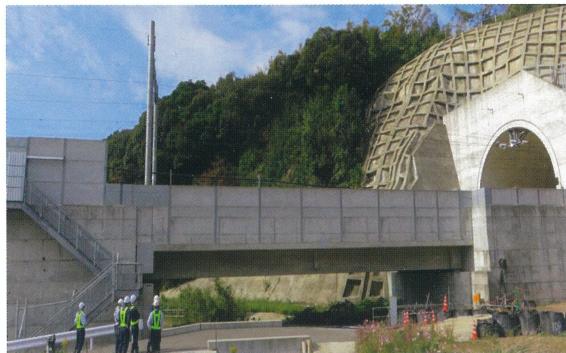


図-13 九州新幹線西九州ルート第一本明トンネル出口における一对のGRS橋台（第二世代）で支持された単純橋梁（2022年10月28日筆者撮影）

#### 4. RRR-GRS擁壁とRRR-GRS橋台（第二世代）・GRS一体橋梁の補強材配置パターン

RRR-GRS擁壁（図-1）とRRR-GRS橋台（第二世代）（図-2）では、ジオグリッド補強材層の基本配置パターンが異なる。

RRR-GRS擁壁（図-1）では、補強材は盛土底部で最短であり上部になるほど長くなる長尺補強材が配置されている。これは第一に、図-4で説明したように、既設斜面に腹付けしてGRS擁壁を建設する際の斜面掘削を小さくするためである。この配置パターンでも安定性が確保できるように構造設計することは、容易である。また、補強領域はセメント改良してあらず一定の変形性があるので、一定の変形性がある既設斜面の上に建設しても問題は生じにくい。さらに、道路・鉄道の方向は壁面に平行なので、仮に補強領域と背後の地山の間に相対的な沈下が生じても段差の問題は生じにくく、実際許容変位量が非常に小さいRC連続スラブ軌道を問題なく建設している。

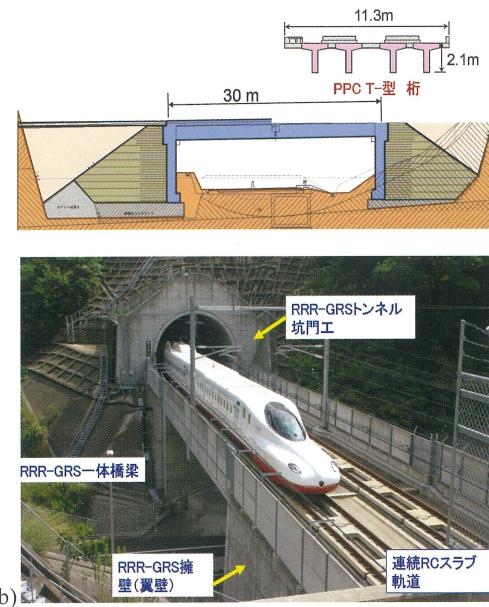


図-14. RRS-GRS一体橋梁（九州新幹線西九州ルート原種架道橋）（鉄道・運輸機構提供）：a)構造図；b)完成（2022年8月）

一方、RRR-GRS橋台（第二世代）（図-2）では、補強材層は盛土底部で最長で盛土最上部で最短である。図-14に示すRRR-GRS一体橋梁でも、同様である。この理由は、以下の三つである。まず、強震時には剛な一体壁面工の上端には固定支承を介して大きな桁慣性力が作用する。補強領域（アプローチブロック）は裏込め部の沈下を最小にして強震時にも安定性を確保するためにセメント改良していて、安定性は非常に高い。模型実験と数値解析によると、このような補強領域が図-2のように台形であり重心が低い方が、橋台の地震時安定性が高い。また、セメント改良した補強領域を図-1のような形状にすると、無補強の地山・盛土の斜面の変形によってクラックが生じることがある。さらに、道路・鉄道の方向は壁面に直交しており、壁面工背後に取付盛土部の沈下による段差が生じないようにする必要がある。これはRC連続スラブ軌道を建設する場合には、特に重要な設計条件である。そのためには補強領域の背後の相対的に変形性が大きい無補強盛土の厚さが壁面工から離れるにつれてゼロから連続的に増加する方が良い。また、そうすることによって取付盛土天端での鉛直地盤反力係数も滑らかに変化する。

しかし、支持地盤が岩盤など硬強な場合は、図-9aの例のように補強領域の下部領域を縮小して地山斜面の掘削量を削減している。この形状は、図-11aに示す例でも同様である。これらを含めて全ての場合で、数値解析によって橋台部の安定性を確認している。

#### 5. あとがき

本号で紹介したRRR-GRS擁壁（図-1）から発展したRRR-GRS橋台（第二世代）（図-2、12）は、RRR-補強土工法の特長を全面的に活かした特徴ある橋台構造物であり、鉄道だけでなく道路でも問題なく活用できる。また、海外でも広く活用されることが期待できる。

#### 【編集委員会名簿】

委員長：佐藤靖彦（西松建設㈱） 委員：神田隆真（前田建設工業㈱）・竹本 慎一（㈱クラレ）・西村 淳（三井化学産資㈱）・小阪拓哉（㈱複合技術研究所） 事務局：田村幸彦・川上美子（㈱複合技術研究所）

#### 【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 <https://www.rrr-sys.gr.jp>