

技術報文

RRR 工法で強化復旧した災害対策の事例紹介

RRR 工法協会 岡本 正広

1. はじめに

RRR 工法 (*Reinforced Road with Rigid Facing Construction System*) は、1981 年からの東京大学生産技術研究所での基礎研究に基づいて、(公財) 鉄道総合技術研究所によって開発された補強土工法であり、表-1 に示すように、これまでに RRR-A (補強土橋台橋梁) 工法、RRR-B (剛壁面盛土補強土擁壁) 工法、RRR-C (剛壁面切土補強土擁壁) 工法、および RRR-D (水際防災補強盛土) 工法の 4 つの工法が開発されている。

上記の内、盛土補強土を対象とした RRR-A、B および D 工法で構築される「RRR-GRS 擁壁 (写真-1)」や「RRR-GRS 橋台 (GRS 一体橋梁含む。写真-2)」(以下、「RRR-GRS 構造物」と称す) は、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が低いと言う基本的特長によって広く採用されている。加えて、道路分野における適用制限箇所¹⁾ など自然災害を受けやすい箇所でも、支持地盤の改良、適切な排水設備、斜面の地山補強土工法やアンカー工法などによる安定化の対応によって、従来工法による擁壁等よりも安定な RRR-GRS 構造物が建設されている。

これらの結果、図-1 に示すように、日本全国、および外国 (ベトナムやインドネシア) において多数の施工実績が積み上げられており、開発当初から 30 年余経過した現在、日本全国での施工実績は 1,322 件を超え、壁の総延長は 184 km に及んでいる。その間、建設中の支障、ならびにレベル 2 地震動クラスの大規模地震や集中豪雨等の自然災害を数多く受けたにもかかわらず建設後の事故 (崩壊等)、長期維持管理での問題は、それぞれ皆無である。

特に、1995 年 1 月兵庫県南部地震や 2011 年 3 月東日本大震災の被害地域では 100~200 箇所程度の施工済みの「RRR-GRS 構造物」がレベル 2 地震動の洗礼を受けたが、軽微な補修が数例生じただけである (写真-3 および図-2)。さらに、2016 年 4 月の熊本地震においても、被害地域に 250 箇所を超える「RRR-GRS 構造物」が建設されていたが、被害は皆無であった。

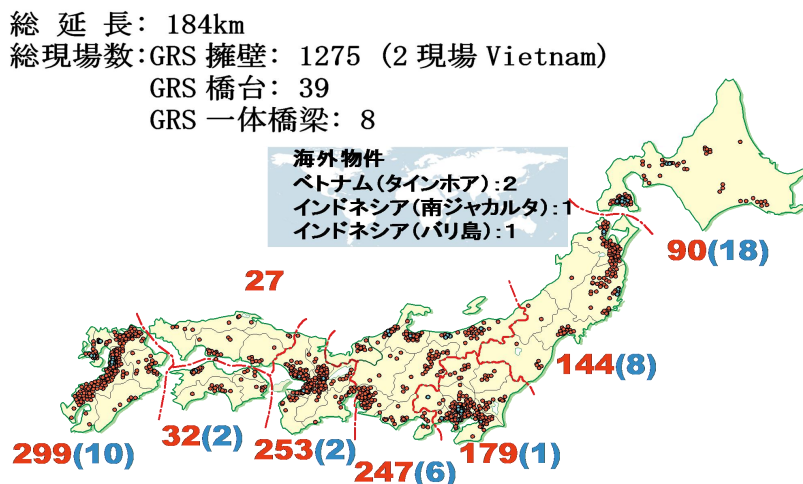


図-1 「RRR-GRS 擁壁」 および 「RRR-GRS 橋台・一体橋梁」 の施工実績 (2019 年 4 月現在)

表-1 RRR 工法の概要

工法名	構造物の種類		略称	
RRR-A 工法	補強土橋台・橋梁工法	補強土耐震性橋台		RRR-GRS 橋台
		補強土併用 一体橋梁	補強盛土一体橋梁	RRR-GRS 一体橋梁
			既設盛土一体化橋梁	RRR-NRS 一体化橋梁
RRR-B 工法	剛壁面盛土補強土 擁壁工法	盛土補強土壁		RRR-GRS 擁壁
RRR-C 工法	剛壁面切土補強土 擁壁工法	切土補強土壁		RRR 切土擁壁
RRR-D 工法	水際防災補強盛土工法	補強土併用一体堤防		RRR-GRS 防潮堤
関連工法	補強土ボックス カルバート工法	補強土併用ボックスカルバート		RRR-GRS 一体ボック スカルバート
	トンネル坑門 補強土工法	補強土併用トンネル坑門壁		RRR-GRS トンネル坑 門

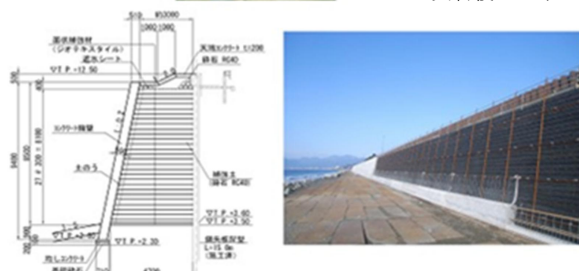


写真-1 道路構造物に採用された「RRR-GRS 擁壁」の例 2).3)



(a)RRR-GRS 橋台

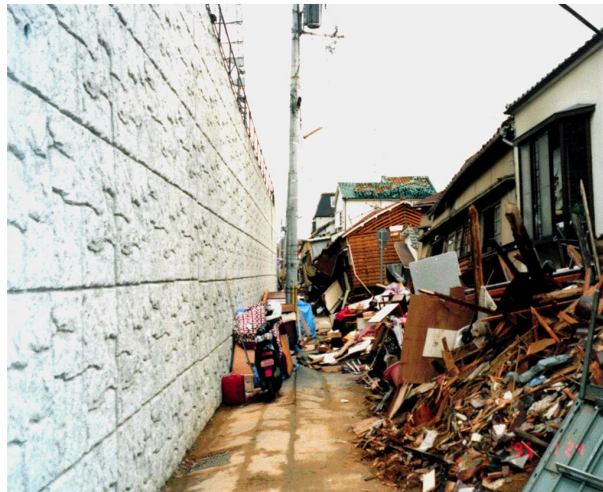


北海道新幹線架道橋 (RC) 三陸鉄道ハイベ沢橋梁 (SRC) 九州新幹線原種架道橋 (PCT 桁)
(b)RRR-GRS 一体橋梁

写真-2 「RRR-GRS 橋台」と「RRR-GRS 一体橋梁」の例 4).5)



1992年7月建設直後



1995年1月 兵庫県南部地震の1週間後

写真-3 1995年1月兵庫県南部地震前後の「RRR-GRS擁壁」⁶⁾

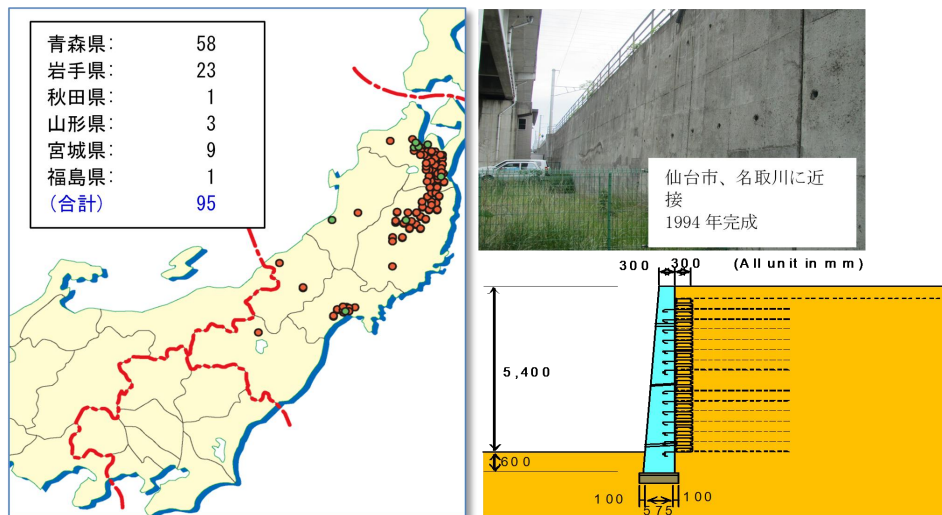


図-2 2011年東日本大震災発生時の東北地方の「RRR-GRS擁壁」
(レベル2地震動に対して耐震設計しており、被害は軽微な補修のみ)

2. RRR工法による災害復旧事例

(1) 集中豪雨

a) 1990年および2012年の北九州豪雨によって被災した豊肥線の復旧事例⁷⁾

1990年に北九州を襲った水害によって九州旅客鉄道の豊肥線の盛土が阿蘇山中で計6箇所において完全に崩壊した。写真-4に示す箇所においては、横断排水管渠の閉塞によって豊肥線の盛土が自然ダム化し、最終的には越流が発生して盛土が急速に侵食され崩壊に至った。

その強化復旧対策として、のり面下部に、壁高7mの「RRR-GRS擁壁」が、その上部のり面には、ジオグリッド（引張り破断強度29.4kN/m）による補強盛土工（のり勾配1:1.5、のり高26.5m）が採用された。

その後、2017年7月には再度激しい集中豪雨に見舞われた。2017年の集中豪雨は、最大時間降

雨 106 mm、最大連続降雨 816 mmにも及ぶ未曾有の豪雨であり、その結果写真-5 に示すように、1990年の時よりもより激しい越流現象が生じた。その結果、1991年災害では残存して強化復旧しなかった旧来からの盛土部分は大きく浸食されて崩壊したが、補強土工法で強化復旧した部分は若干の表面侵食など一部損傷は生じたが本体は残存した。

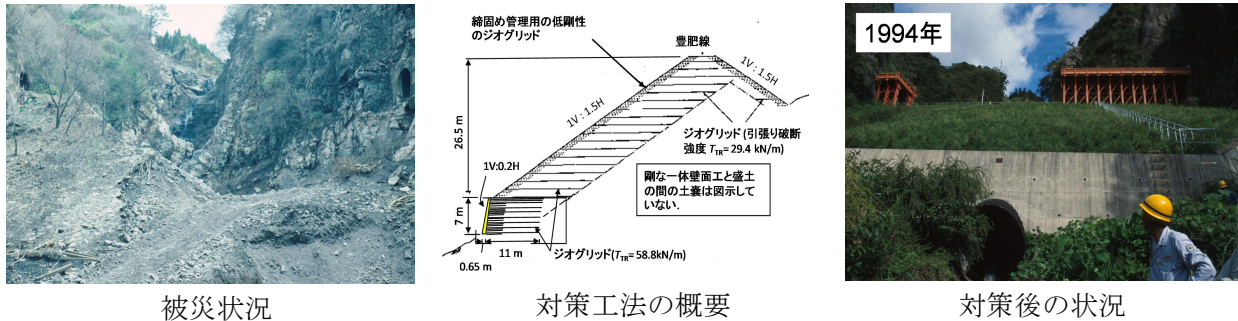


写真-4 1990年の北九州豪雨によって被災した豊肥線の盛土の被害と強化復旧例⁷⁾
(九州旅客鉄道(株)提供)

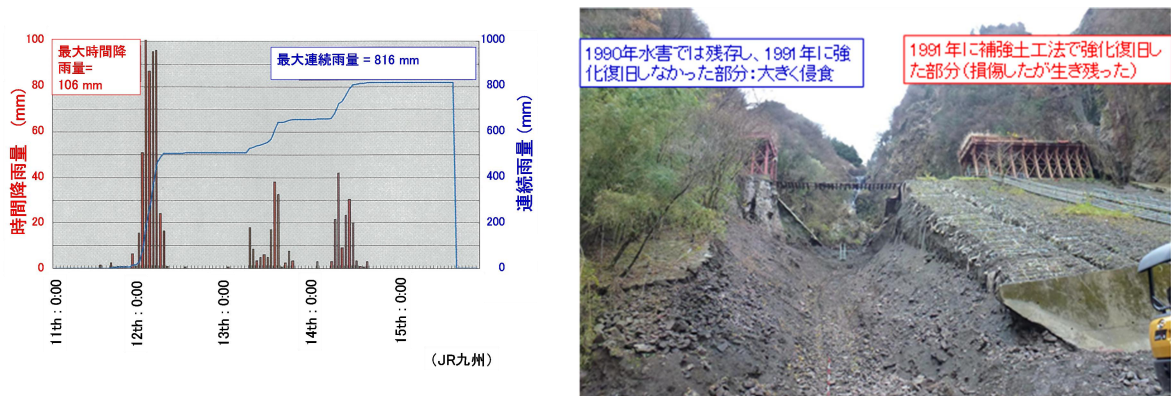


写真-5 2012年7月の北九州豪雨によって被災した豊肥線の無補強盛土区間と残存した1991年に強化復旧した盛土区間⁷⁾ (九州旅客鉄道提供)

b) 2011年7月新潟県・福島県豪雨によって被災した飯山線入間川橋梁復旧事例⁷⁾

2011年7月に発生した新潟県・福島県豪雨によって飯山線入間川橋梁の背面が高さ約3.8m、延長約6mに亘って、増水した川の流れによって石積み擁壁が流出し、橋台の取り付け盛土が崩壊した。その強化復旧対策として、石積み擁壁の代替えとして「RRR-GRS擁壁」が採用され、工期10日で列車通過が可能になりRC壁面工はその後建設された。その状況を写真-6に示す。

c) 2013年7月山口豪雨によって被災したJR山口線の復旧事例^{7),8)}

2013年7月に山口県を襲った集中豪雨は、萩市須佐で351.0 mm/日、津和野町で381.0 mm/日(出典:災害時気象資料(気象庁))の降雨量が観測され、日降雨量が350 mmを超える豪雨となった。そのため、河川が氾濫し、JR山口線が走る地山のり面の法尻が洗堀されて、写真-7に示すような崩壊が発生した。

その強化復旧対策として、のり面下部に、壁高8mの「RRR-GRS擁壁」が、その上部のり面には、ジオテキスタイル(引張り破断強度30.0kN/m)による補強盛土工(のり勾配1:1.5、のり高約22m)が採用された。その後、JR山口線の復旧箇所は、2018年7月に再度、集中豪雨の洗礼を受けたが、全く被害は発生していない。



(a)被災状況



(b)「RRR-GRS擁壁」



(c) 壁面コンクリート施工



(d) 軌道復旧

写真-6 2011年7月新潟県・福島県豪雨による橋台・橋梁背面の被害状況と「RRR-GRS構造物」による強化復旧⁷⁾(東日本旅客鉄道(株)提供)

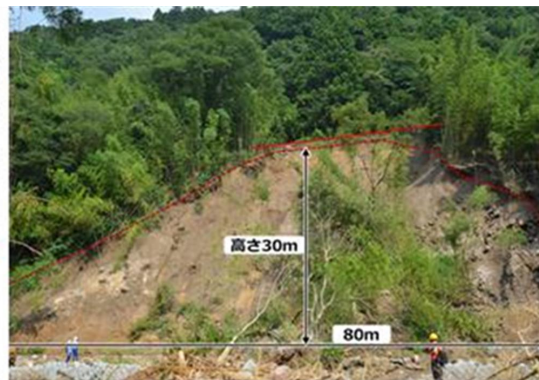
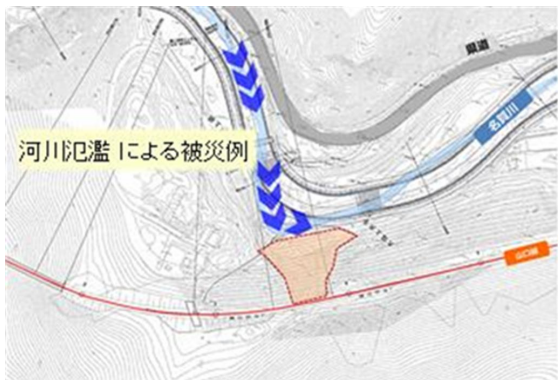


写真-7 平成25年7月山口豪雨によるJR山口線による被災状況⁸⁾

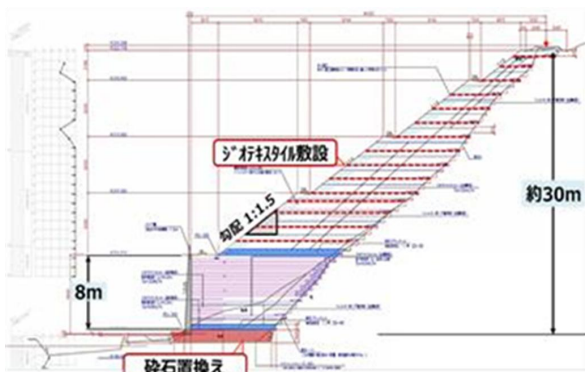


写真-8 「RRR-GRS構造物」による代表的な復旧工事⁸⁾(西日本旅客鉄道(株)提供)

—JR山口線の復旧箇所は2018年7月豪雨でも全く無被害—

(2) 台風

平成9年9月7日2:00頃に小田原市付近に上陸した台風9号によって海岸沿いを走る国道1号西湘バイパスの一部区間（大磯ICから西湘二宮IC）の道路護岸が約1kmに亘って崩壊した。国土交通省は速やかに調査検討委員会を設置して、原因究明と対策工法の検討を行い、護岸工については、一次比較として、コンクリート躯体による重力式構造、被覆ブロックを用いた傾斜式構造、ジオテキスタイルなどを用いた補強土壁構造等による比較が行われ、被災形態（重力式構造での基礎洗掘による全面崩壊）、護岸の安定、周辺の環境・利用面などから総合的に評価し、補強土壁工法が選定された。⁹⁾

次に、補強土壁構造としてRRR工法、ジオテキスタイル工法、テールアルメ工法等による二次比較が行われ、砂浜への張出しによる影響、耐震性能、塩害対策、施工性などの観点から護岸幅が最も狭くかつ信頼性の高い剛壁面補強土工法の「RRR-GRS構造物」が採用された。⁹⁾

図-3に示すように、従来の河川・海洋の護岸擁壁は、支持地盤の洗掘によって重力式擁壁が転倒すると、その背面盛土は容易に侵食・崩壊し、道路・鉄道等の機能が喪失される。一方、剛な一体壁面工を有する「RRR-GRS擁壁」は、壁面工の支持地盤が洗掘されても、一定の幅がある補強盛土の本体は安定な地盤に支持されており剛な一体壁面工によって一体性を保っているため、転倒しにくく容易に崩壊せず、道路・鉄道等の応急機能を維持することができる。

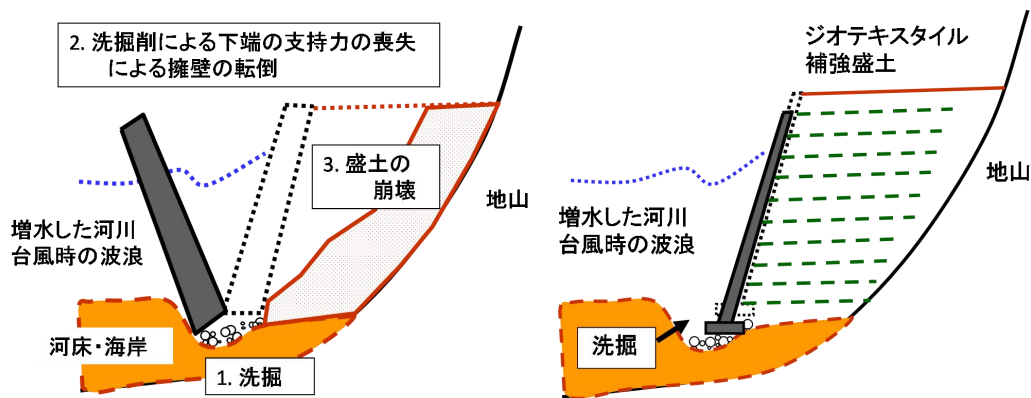


図-3 重力式擁壁と「RRR-GRS構造物」の洗掘による崩壊パターンの比較



(a)被害状況-支持地盤の洗掘によって重力式擁壁が転倒⁹⁾

(b)強化復旧後-日本で初めて外洋に面して波浪を受ける条件下でのRRR-GRS擁壁による復旧-

写真-9 「RRR-GRS構造物」による強化復旧事例^{2),3)}

(西湘バイパスにおいては、2018年に台風によって再度別の場所の重力式擁壁が崩壊し、「RRR-GRS擁壁」による復旧工事が実施されている。)

(3)大地震・巨大津波

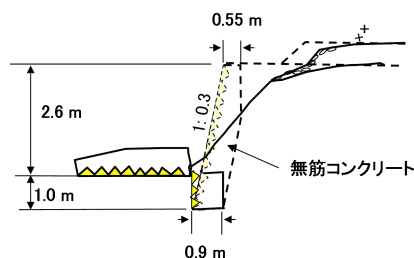
前述したように、1995年1月の兵庫県南部地震、2011年3月の東日本大震の被害地域では100～200箇所程度で施工済みの「RRR-GRS構造物」がレベル2地震動の洗礼を受けたが、軽微な補修が数例生じただけである（写真-3および図-2）。さらに、2016年4月の熊本地震においても、被害地域に250箇所を超える「RRR-GRS構造物」が建設されていたが、被害は皆無であり、強震動に強いことが再確認された。

a) 1995年兵庫県南部地震によるJR神戸線の強化復旧事例⁶⁾

兵庫県南部地震によって崩壊したJR神戸線のもたれ式擁壁の強化復旧対策として採用された「RRR-GRS構造物」の事例を図-4に示す。強化復旧対策として、面状補強材のジオテキスタイルを用いた剛壁面補強盛土工法の「RRR-GRS擁壁」と剛な一体壁面工と地山補強材の一種である大径補強体（ラディッシュアンカー）を用いた「RRR-切土擁壁」工の組み合わせが採用された。



地震後の崩壊状況



地震前のもたれ式擁壁の構造と崩壊状況

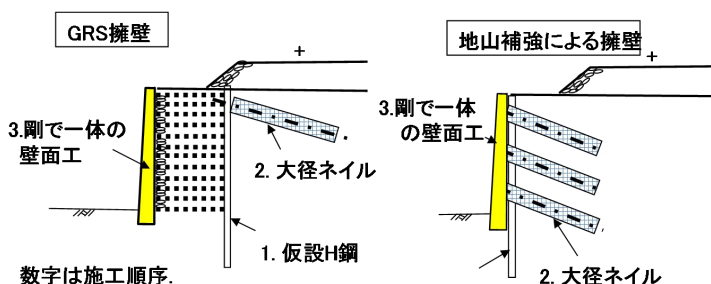


図-4 1995年兵庫県南部地震によるもたれ式擁壁の崩壊と「RRR-GRS構造物」による強化復旧事例⁶⁾

b) 2004年新潟中越地震によるJR東日本上越線の強化復旧事例⁷⁾

新潟中越地震によって被災したJR東日本上越線の復旧対策として採用された「RRR-GRS擁壁」の事例を図-5に示す。図-5に示すように、「RRR-GRS擁壁」では、①剛で一体の壁面工を用いて補強領域を一体化させて、②引き抜け抵抗の大きい格子状のジオシンセティックス補強材を用いていることから、盛土上部で補強材を十分に長くすることによって急傾斜地においても高い安定性を確保しつつ盛土底部で補強材の長さを短くできる。

このことから壁面工の基礎は、壁面工厚300mm以上（標準）、根入れ深さ400mm程度で小規模で軽量になり、斜面上で掘削量を少なくして安定な補強土壁工の施工が可能となる。

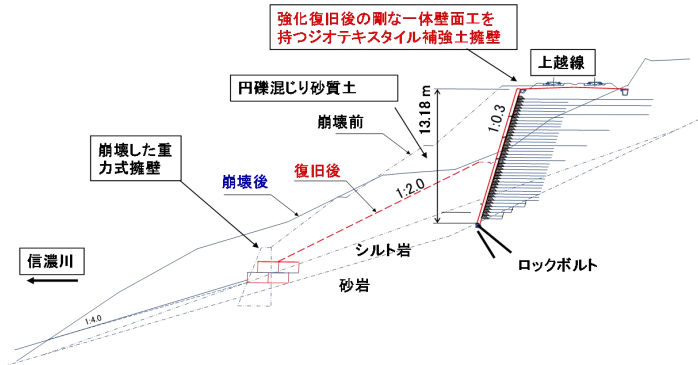


図-5 新潟中越による JR 東日本上越線の強化復旧事例 7)

c) 2001 年東日本大震災によって被災した盛土および土留め壁の強化復旧事例 7)

災害復旧工事の場合、いかに短い工期で復旧できるかが大きな課題として挙げられるが、加えて従来工法による現状復旧よりも、「より安全・安定していること」と「長期維持管理費も含めてより経済的であること」が求められる。「RRR-GRS 構造物」の場合は、写真-6 の事例のように、壁面コンクリートを施工する以前でも列車や自動車の運行が可能であり、早期復旧が可能となるとともに経済的でもある。



写真-10 東日本大震災によって被災した盛土および土留め壁の「RRR-GRS 構造物」による強化復旧事例 7)

d) 2001 年東日本大震災によって被災した三陸鉄道の強化復旧工事事例 4),5)

三陸鉄道北リアス線島越～田野畑間は、北リアス線の中でも海岸線に最も近くて最も激しい津波被害を受けた地区であり、この区間にあり津波で完全に流失したコイコロベ沢橋梁とハイペ沢橋梁は、補強土一体橋梁の「RRR-GRS 一体橋梁」で、また、島越駅周辺は、住民からの要望により高架橋を防潮堤としての盛土に変更され、補強土併用一体堤防の「RRR-GRS 防潮堤」、および「RRR-GRS 一体ボックスカルバート」が採用された。その概要を写真-11～写真-13 示す。



(a) ハイペ沢橋梁

(b) コイコロベ沢橋梁

写真-11 東日本大震災によって被災した橋梁の「RRR-GRS 一体橋梁」による強化復旧事例 4),5)

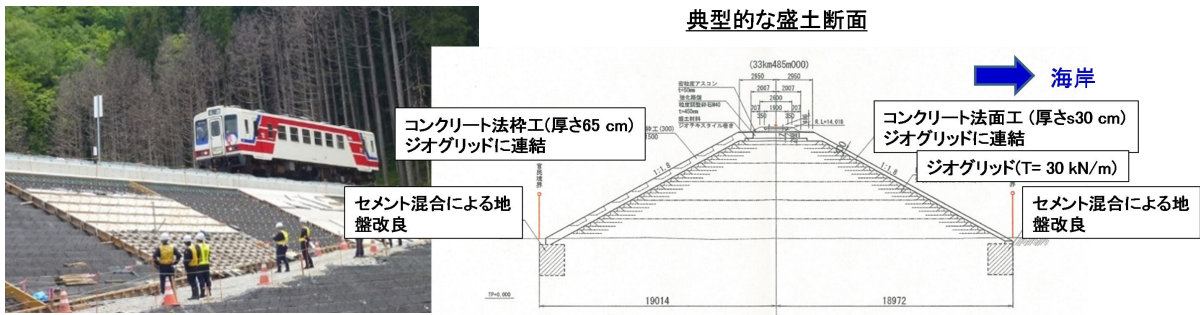


写真-12 三陸鉄道島越駅付近における「RRR-GRS 防潮堤」による強化復旧事例 4),5)

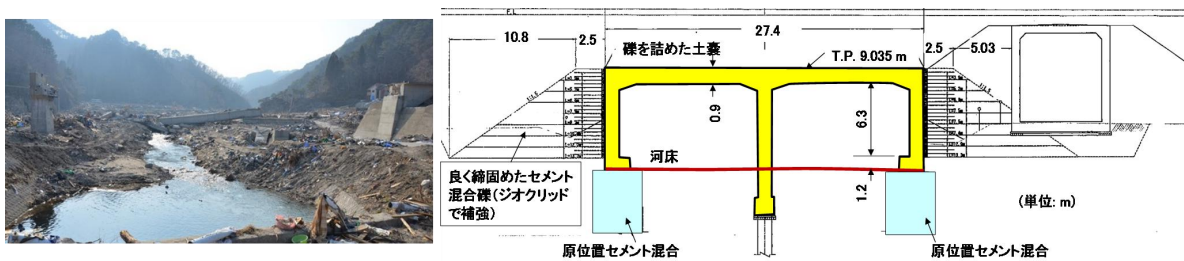


写真-13 三陸鉄道島越駅付近における「RRR-GRS ボックスカルバート」による強化復旧事例 4),5)

従来の橋台・橋梁は、沓（支承）や無補強の取り付け盛土が長期維持管理及び耐震上の弱点であるばかりではなく、巨大津波（越流津波）に対しても極めて弱く、今回の地震では数多くの橋梁が津波で桁や取り付け盛土が流失した。今回の復旧対策としては、経済的で長期維持管理が容易である利点に加えて、レベル2地震動に対する高い耐震性および巨大津波に対して粘り強さを発揮できる構造物として「RRR-GRS一体橋梁」、「RRR-GRS防潮堤」および「RRR-GRSボックスカルバート」が採用された。

終わりに

以上、RRR工法による災害復旧事例について概略報告した。紙面の都合上、紹介できなかった事例等については、別途機会があれば紹介したい。上述したように、開発当初から30年余経過した現在、日本全国での施工実績は1,250件を超え、壁の総延長は178kmに及んでいるが、その間、建設中の支障、ならびにレベル2地震動クラスの大規模地震や集中豪雨等の自然災害を数多く受けたにもかかわらず建設後の事故（崩壊等）、長期維持管理での問題は、それぞれ皆無である。

今後はさらに、事故や長期維持管理上の問題等が発生しないように、工法のメカニズム、設計・施工法の認識を徹底するとともに新規分野や海外への展開を図って行く予定である。

参考文献

- 1) 東日本高速道路（株）・中日本高速道路（株）・西日本道路（株）：設計要領 第二集 擁壁・カルバート 平成28年4月版，（株）高速道路総合研究所，平成29年9月
- 2) 石河雅典・長澤豪・藤平欣司・嶋田宏：台風により被災した道路護岸における補強土壁工法の適用事例，基礎工，Vol.38,No.2，pp.93～95，平成22年2月
- 3) 笹田竜一：波浪を直接受ける海岸護岸構造物への補強土壁（RRR）工法の適用事例，土木学会年次学術講演会，No.65，VI-278，pp.555～556，2010
- 4) 小田文夫・進藤良則：三陸鉄道北リアス線の復旧工事におけるGRS一体橋梁の適用，橋梁と基礎，Vol.47，No.8，pp.106-108，2013
- 5) 白仁田和久・筒井光夫・森澤仁・阿南直幸・田中卓也・服部尚道：三陸鉄道北リアス線における補強盛土一体橋梁の施工事例，ジオシンセティックス論文集No.28，pp.383-388，2013
- 6) 龍岡文夫監修：新しい補強土擁壁のすべて - 盛土から地山まで - ，pp.326～331，2005.10
- 7) 龍岡文夫：ジオシンセティック補強土構造物-35年余の経験と展望-ジオシンセティック技術情報，vol.34，No.3，pp.1～13，2018.
- 8) 西日本旅客鉄道（株）：RRR工法による降雨災害復旧の施工事例，RRR工法協会だより，No.36，2015
- 9) 国土交通省 関東地方整備局 横浜国道事務所ホームページwebサイトによる