

東日本大震災で被災した三陸鉄道の橋梁の復旧

— 橋梁の修復と橋梁の新設 —

進藤 良則^{*1}・佐々木 健^{*2}・小田 文夫^{*3}・野田 軍治^{*4}

三陸鉄道は、東日本大震災で鉄道施設が甚大な被害を受けた。南リアス線では地震動で橋脚躯体、支承部、桁端部が損傷した。南リアス線の荒川橋梁、北リアス線の松前川橋梁、コイコロベ沢橋梁、ハイベ沢橋梁は津波で桁、橋台・橋脚、背面盛土、軌道が流失した。復旧工事では、損傷した橋脚躯体と支承部の耐震補強、津波で流失した橋梁の新設を行った。

キーワード：復旧工事、津波対策、GRS 一体橋梁

1. はじめに

岩手県の沿岸部を縦走する三陸鉄道（図 - 1）は、東日本大震災で鉄道施設が甚大な被害を受けた。南リアス線では盛川橋梁、第1大渡川橋梁・第2大渡川橋梁で橋脚躯体、支承部、桁端部、床版端部が地震動で損傷した。さらに、津波で南リアス線の荒川橋梁、北リアス線の松前川橋梁、コイコロベ沢橋梁、ハイベ沢橋梁の桁、橋台・橋脚、橋台背面盛土、軌道が流失した（表 - 1、図 - 2）。

本稿は、三陸鉄道の橋梁被害、復旧方針ならびに復旧工事の施工結果について報告する。

2. 橋梁の被害状況¹⁾

2.1 地震動による被害

大船渡市内の盛川橋梁は、橋長 206 m の 9 径間 PCI 形桁橋である。主な損傷箇所は、P1・P4 橋脚躯体の主鉄筋段落し部、支承部、床版端部、橋台パラペットの損傷、橋台背面盛土の沈下などであった。

釜石市内の第1大渡川橋梁・中番庫高架橋・第2大渡川橋梁は、PCI 形桁、RCT 形桁、鋼下路トラス桁が並ぶ全長約 785 m の橋梁区間である。主な損傷箇所は、橋脚躯体の主鉄筋段落し部、支承部、桁端部、床版端部などであった。

三陸鉄道の構造物の多くは、昭和 40 年代に建設されたものである。設計震度は、当時の設計基準に準じて 0.2 程

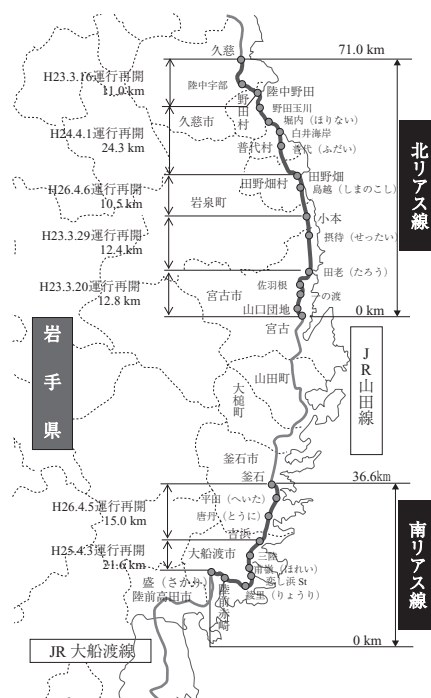


図 - 1 三陸鉄道の路線概要

度であり、供用後に耐震補強は実施されていない。

橋脚躯体は、曲げ耐力が半減する主鉄筋段落し部が地震



^{*1} Yoshinori SHINDO

(独) 鉄道・運輸機構
設計技術部



^{*2} Takeshi SASAKI

(独) 鉄道・運輸機構
東京支社 計画部



^{*3} Fumio KODA

三陸鉄道(株)
施設管理部 部長



^{*4} Gunji NODA

三陸鉄道(株)
施設管理部 調査役

線名	橋梁名	上部工形式	スパン割	被災要因	主な被災状況
南リアス線	盛川橋梁	PCI 形桁	9@22.1 m	地震動	橋脚・支承・床版の損傷
	泊川橋梁	RCT 形桁	2@19.3 m	津波	橋台背面盛土・軌道の流失
	荒川橋梁	RCT 形桁, PC 下路桁, PCI 形桁	19.8 m + 16.6 m + 32.1 m	津波	桁・軌道の流失
	第1大渡川橋梁	PCI 形桁, 鋼下路トラス桁	3@42.8 m + 71.6 m	地震動	橋脚・支承・桁端・床版の損傷
	中番車高架橋	RCT 形桁	10@22.9 m	地震動	橋脚・支承・桁端・床版の損傷
	第2大渡川橋梁	PCI 形桁, 鋼下路トラス桁	3@35.8 m + 74.0 m + 2@50.0 m + 60.0 m	地震動	橋脚・支承・桁端・床版の損傷
	横木沢橋梁	2 径間連続 PC 下路トラス桁	2@36.0m	津波	支承部の損傷・軌道の流失
北リアス線	島越高架橋	RCT 形桁, ラーメン高架橋	14.5 m + 2@19.5 m + 15.2 m + 19.5 m + 27.5 m + 8.4 m	津波	高架橋・駅舎・軌道の流失
	松前川橋梁	PCI 形桁, RCT 形桁	35.9 m + 19.8 m	津波	桁・橋脚・軌道の流失
	コイコロベ沢橋梁	RCT 形桁, PC ホロースラブ桁	19.8 m + 20.0 m	津波	桁・橋台背面盛土・軌道の流失
	ハイベ沢橋梁	PC 下路桁, RCT 形桁	32.1 m + 16.6 m	津波	桁・橋台・橋台背面盛土・軌道の流失
	米田川橋梁	RCT 形桁	12.7 m	津波	橋台背面盛土・軌道・土留め壁の流失
	宇都川橋梁	PCI 形桁	2@22.1 m	津波	護岸・軌道の流失

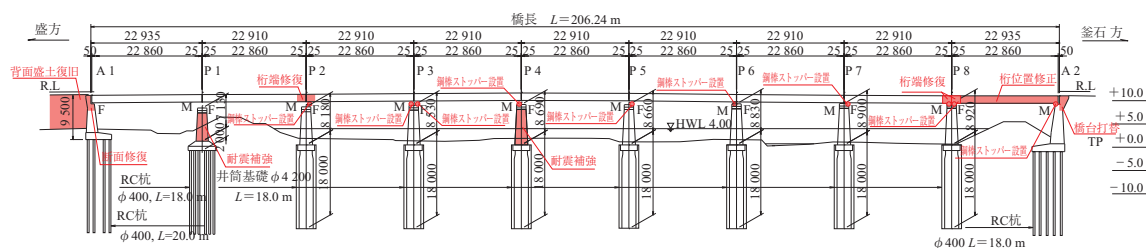


南リアス線が位置する大船渡市 (K-NET IWT008)、釜石市 (K-NET IWT007) の地震観測記録²⁾によると最大加速度は、それぞれ 323 gal, 697 gal であり、設計震度を上回る地震動が入力され、構造物が損傷したと考えられる。

南リアス線の泊川橋梁、北リアス線の米田川橋梁では橋梁本体の流失は免れたが、橋台背面盛土、軌道が流失した。北リアス線の榎木沢橋梁では、海側の鋼製支承の一部

橋梁の復旧方針は、津波による流失あるいは地震動による大きな損傷を免れた橋梁については、鉄道構造物等設計標準（以下、「設計標準」）を参考に補修・補強設計を実施することとした。新設する橋梁については、設計標準に準拠した設計を行うこととした。構造物の要求性能は、既設構造物については補修・補強設計となるので、安全性、復旧性（地震時）に対する照査を行い、新設する橋梁については、上記の照査に加え、使用性のほか、津波による橋梁の流失防止対策をはかることとした。

北リアス線の松前川橋梁、コイコロバ沢橋梁、ハイバ沢橋梁については、津波の直撃を受ける地形条件にあることから、補強盛土一体橋梁⁵⁾（以下、「GRS 一体橋梁」）を適用した。GRS 一体橋梁は、橋台背面の補強盛土と橋台が補強材（ジオテキスタイル）を介して一体化した補強土橋台に、桁が剛結した門形ラーメン形状の新しい構造形式の橋梁である。GRS 一体橋梁には支承部がなく、上揚力に対しては補強盛土の自重、水平波力に対しては補強盛土底



(a) 全体一般図



(b) 主鉄筋段落部の損傷 (P4)



(c) 鋼製支承ピンプレートの損傷



(d) 桁衝突による張出し床版の損傷



(e) 橋台バラベットの損傷

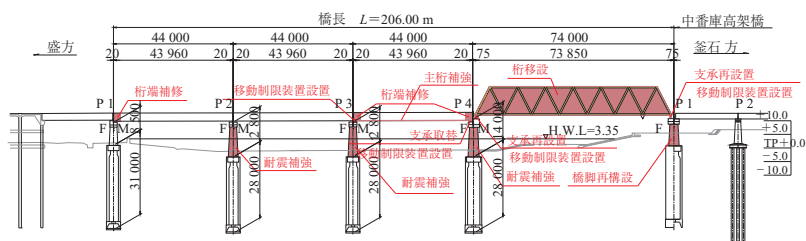


(f) 復旧工事の状況



(g) RC 巻立て補強とストッパーの設置

図 - 3 南リアス線盛川橋梁の被害と復旧



(a) 全体一般図



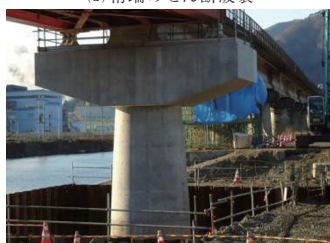
(b) 桁端のせん断破壊



(c) 橋脚躯体の破壊



(d) 桁の仮受け



(e) 躯体の再構築



(f) 桁端の断面修復



(g) ストッパーの新設

図 - 4 南リアス線第 1 大渡川橋梁～第 2 大渡川橋梁の被害と復旧

面の水平抵抗力で津波に抵抗するため、単純桁形式の橋梁よりも津波に対して粘り強い構造と考えられる。

なお、構造計画の策定時において GRS 一体橋梁の設計

技術は、PC 構造による設計手法を確立するには至っておらず、RC 構造または SRC 構造として構造計画を行った。

また、L2 設計地震動に対する橋脚躯体の損傷レベル⁴⁾

の制限値は「損傷レベル2」（部材降伏は許容するが、最大耐力には至らない）とし、保有耐力の強化をはかった。

4. 橋梁の復旧工事

4.1 地震動で損傷した橋梁の修復

(1) 橋脚躯体の復旧

橋脚躯体に生じた主鉄筋段落し部の損傷は、RC巻立て（増厚 20～30 cm）による耐震補強を実施した（図 - 5）。増厚部の主鉄筋は基礎には定着せず、基礎の耐力が躯体の耐力に対して相対的に低下することを防いだ。また、耐震補強後も基礎が先行降伏せず、応答震度が低下しないことを静的非線形解析を行って確認した。

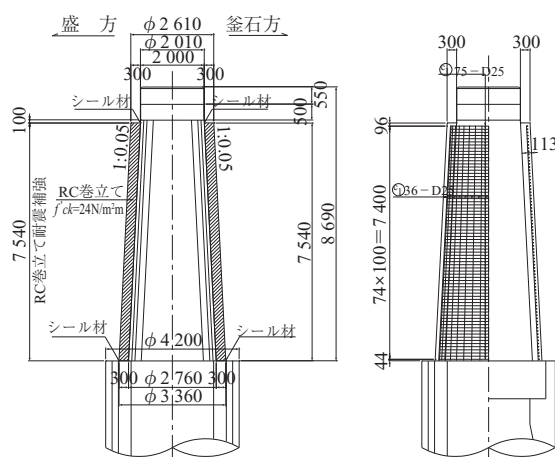


図 - 5 RC巻立て補強図（盛川橋梁 P4）

中番庫高架橋 P1 橋脚は、躯体にせん断ひび割れが生じ、コアコンクリートが圧壊していたため、躯体を再構築した（図 - 4(e)）。躯体の構築手順は、仮設ベントで桁を仮受けし、所要の桁遊間を確保するために桁を縦取りし、支承部を復旧した後、橋脚へ桁荷重を移動させた。

(2) 支承部の復旧

PC 桁および RC 桁の支承構造は、鋼製線支承、ロッカー支承の 2 種類であった。鋼製線支承の上巻は、主桁端部にアンカーで定着され、定着部の多くが地震動で損傷した。中番庫高架橋および第 2 大渡川橋梁の主桁端部の復旧は、桁側面と下面に補強鋼板（ $t = 6 \text{ mm}$ ）をアンカーで固定し、主桁と鋼板の隙間には、モルタルを充填して断面修復を行った（図 - 4(f)）。損傷が軽微な主桁については、炭素繊維を桁側面に貼って補強した。

損傷した鋼製支承はゴム支承に交換し、支承前面にストッパーを設置した。桁長が 23 m の盛川橋梁は、地震時水平力を鋼棒ストッパーが負担し、これを主桁間に設置した。第 1 大渡川橋梁は桁長が 44 m と長く、水平力が大きいため、鋼角ストッパーとしたが主桁間に配置できないため、箱抜き部のある鋼製ブラケットを主桁下面に設置し、箱抜き部がストッパーのさや管となる構造とした（図 - 4(g)）。

PC 桁は仮受けにより、支間長が短くなると上縁の圧縮応力が減り、施工時にひび割れが生じるおそれがある。そ

こで、仮受け時の縁応力（引張り）は、設計標準⁶⁾で曲げひび割れ幅の検討が省略できる制限値（永久作用＋変動作用） 2.8 N/mm^2 を超えない位置に仮設ベントを設置した。

4.2 津波で流失した橋梁の新設工事

(1) 荒川橋梁の新設¹⁾

南リアス線の荒川橋梁は、3 径間の単純桁橋であり、起点側から RCT 形桁、PC 下路桁、PCI 形桁で構成されていた。本橋は、河口から約 620 m 上流にあり、並走する国道 45 号線より内陸側ではあったが、国道橋の下を通り抜けて遡上した津波で、河道上の PCI 形桁が流失した。PCI 形桁は桁高が 2.8 m、桁下面の高さは、起点側の PC 下路桁より約 3 m 低いと、津波による水平波力と上揚力を大きく受けたと考えられる。

復旧工事は、桁高の低い PC ホロースラブ桁（桁高 1.6 m）を構築し、桁下高を約 1.2 m 拡大した（図 - 6(f)）。施工は、損傷の少ない PC 下路桁を再利用するため、仮設ベントで仮受けして P2 橋脚を再構築したのち、PC 下路桁をジャッキダウンし、PC ホロースラブ桁を支保工で架設した。PC 鋼材の緊張は、A2 橋台側からの片引きとし、A2 橋台の施工は、パラベット下端までを 1 次施工、PC ケーブル緊張後の構築部分を 2 次施工とした。

(2) 松前川橋梁の新設

被災した松前川橋梁は、壊滅的な被害を受けた島越高架橋の終点方に隣接する PCI 形桁橋であった。復旧工事は、自治体の防災計画の意向を踏まえ、高架橋に代わり第二線堤的な役割をもつ盛土構造とした（図 - 7(a)）。この場合、松前川橋梁をボックスカルバートで復旧すると下床版を有するため、掘削工事が大規模となる。そこで下床版がなく、橋梁本体が補強盛土と一体化することで耐震性、耐津波性に優れた GRS 一体橋梁で復旧した（図 - 7(d)）。

施工順序は、初めに橋梁基礎工事を行うため、河道を切回して基礎および下部工を施工した。基礎工事では、橋台下の地盤改良および中間橋脚の場所打ち杭を施工した。次に河道を復旧し、上部工を梁式支保工で架設した。本橋は、2 径間の RC 構造で橋梁上に盛土を有するのが特長である。

(3) コイコロベ沢橋梁の新設

被災したコイコロベ沢橋梁は、急峻な海食崖を貫くトンネルに挟まれた谷間にあり、津波で RCT 形桁、PC ホロースラブ桁、橋台背面盛土が流失した。復旧は、補強盛土と橋梁本体が一体化した 2 径間 RC 構造の GRS 一体橋梁（橋長 40 m）を構築した（図 - 8）。GRS 一体橋梁は、橋梁部の水平力を橋台背面の補強盛土が全て負担する構造のため、中間橋脚は鉛直荷重の支持に特化できる。そのため、健全な既存基礎の一部を再利用することで震災廃棄物の発生量を極力低減した。

(4) ハイベ沢橋梁の新設

被災したハイベ沢橋梁は、PC 下路桁と RCT 形桁が津波で流失した。PC 下路桁の主桁と床版には、水平波力と上揚力で生じたとみられる多数のねじりひび割れが生じていた（図 - 9(c)）。

復旧工事は、上部工を下路 SRC 構造とした 2 径間 GRS

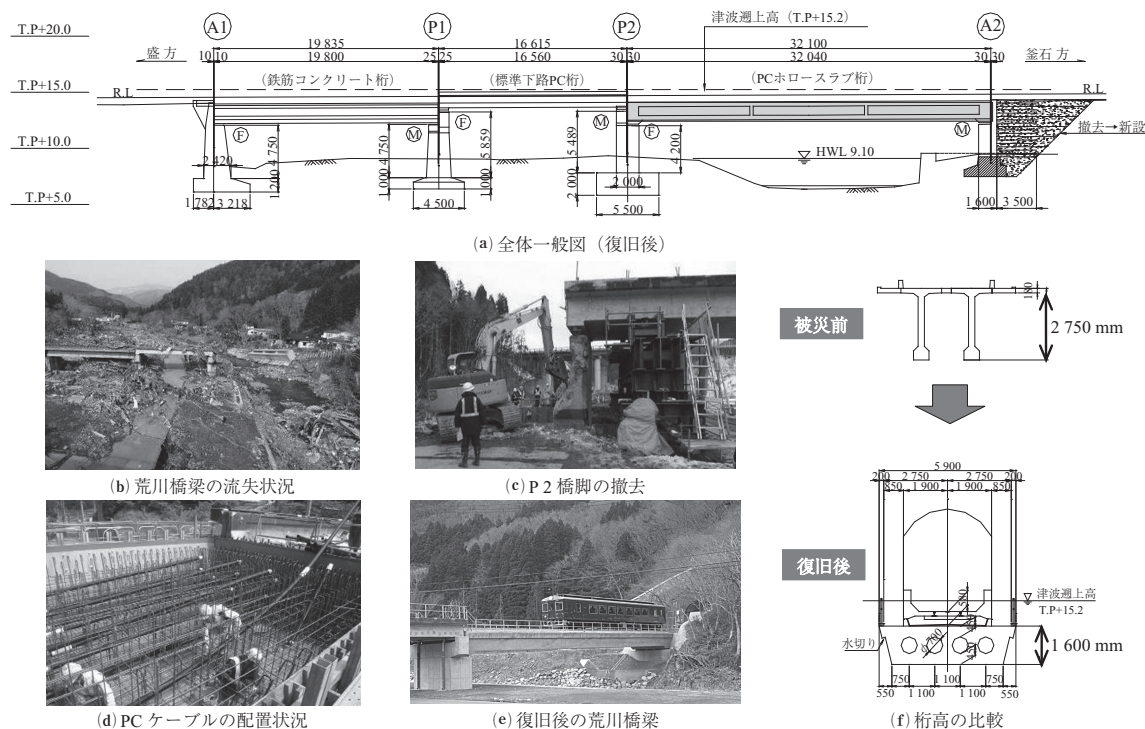


図 - 6 南リアス線荒川橋梁の被害と復旧

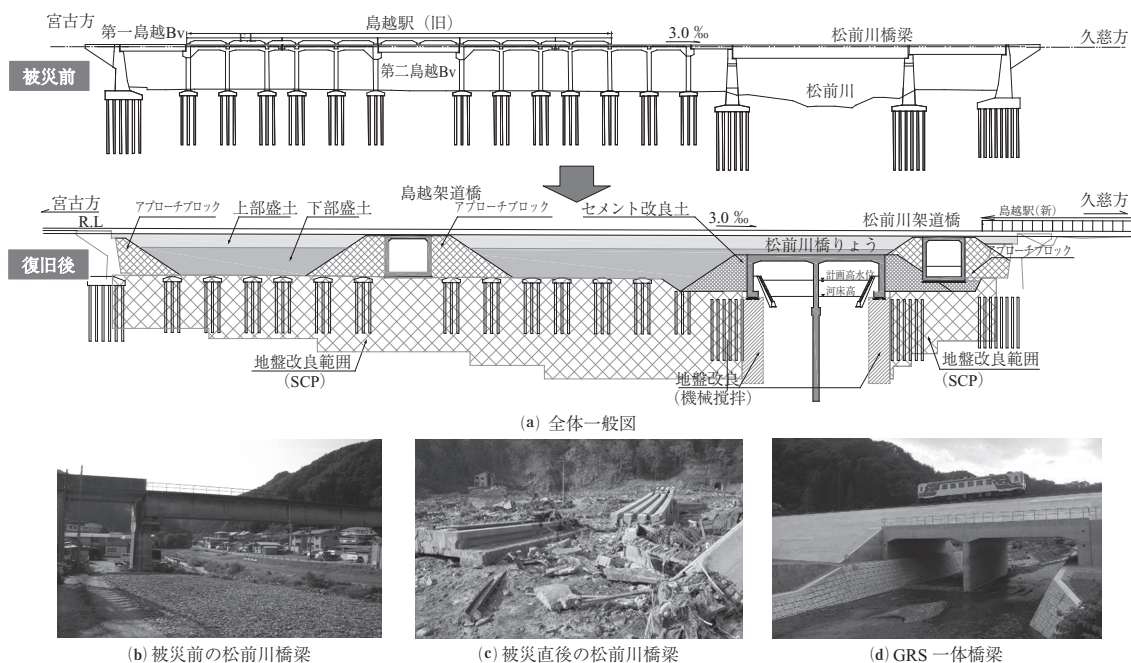


図 - 7 北リアス線松前川橋梁の被害と復旧

一体橋梁を構築した。第1径間長は32.2mであり、連続橋梁化に伴い、第2径間長を旧橋の16.6mから27.8mに拡張し、モーメントバランスの適正化をはかった。橋長はGRS一体橋梁のなかでは最長の60mである。

橋梁の架設は、初めにトレーラーで現地に分割搬入した鋼桁をクレーン・ベントで架設し、続いて鋼桁に埋設型枠を取り付け、桁部のコンクリートを径間部、支点部の順に分割打設した。埋設型枠を主桁側面および床版下面に使用

したことで、無足場施工を可能とし、施工時の一般車両の通行が確保できた。支点部のコンクリートには、事前に温度応力解析を実施し、打継目ならびに温度降下時のひび割れ防止対策として、膨張コンクリートを使用することで、耐久性の向上をはかった。

5. おわりに

東日本大震災で被災した三陸鉄道の橋梁は、補修・補強

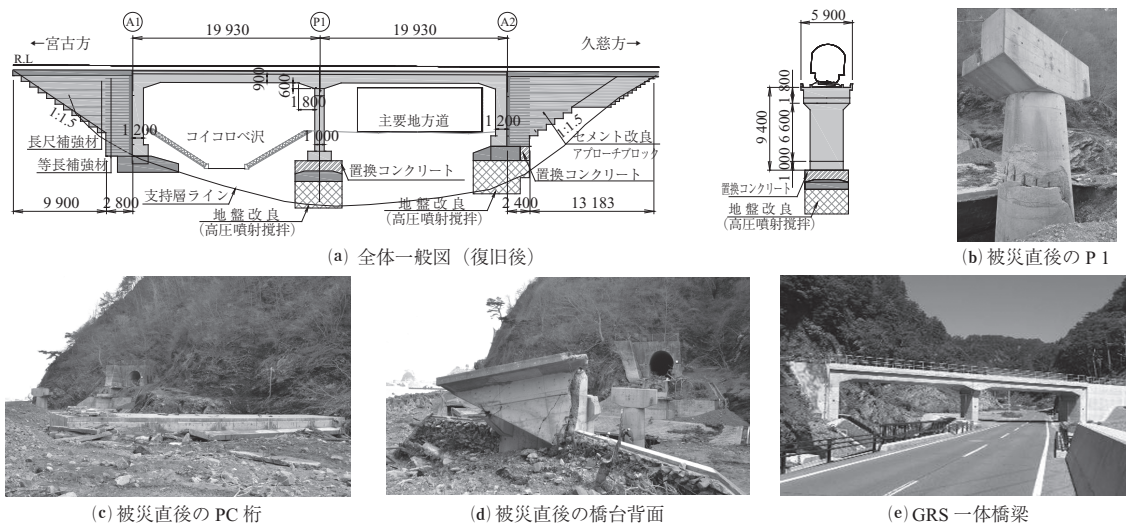


図 - 8 北リアス線コイコロベ沢橋梁の被害と復旧

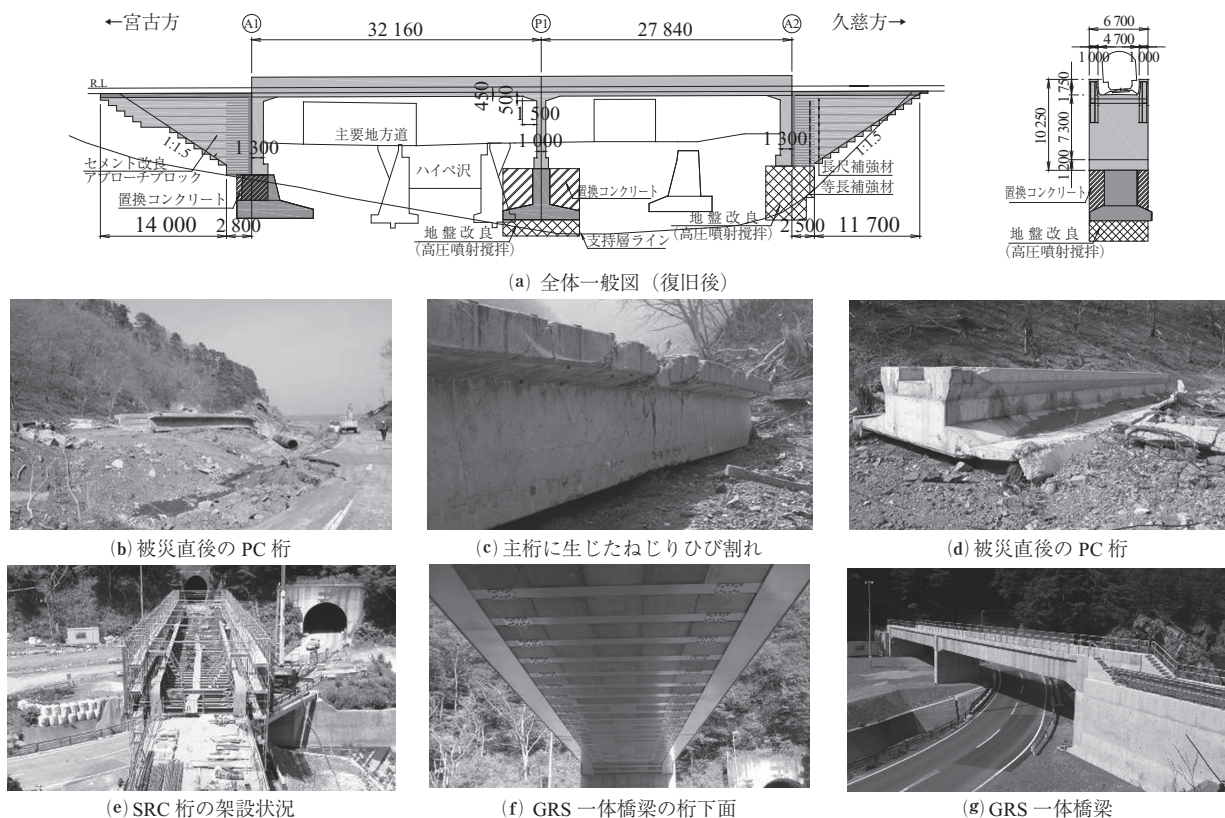


図 - 9 北リアス線ハイベ沢橋梁の被害と復旧

工事および新設工事を実施し、震災発生から3年あまりで復旧した。新設橋梁では耐津波性を考慮し、桁高の低減対策をはかったほか、新しい構造形式である GRS 一体橋梁を3橋新設し、減災を考慮した鉄道路線として復活した。

三陸鉄道は、平成27年4月に全線運行再開から1年を迎える。引き続き、三陸沿岸地域の復興ならびに地域住民の足として役割を果たしていく所存である。

参考文献

1) 進藤良則・木谷 純・西 恭彦・境 拓也：東北地方太平洋沖

- 地震で被災した三陸鉄道の PC 橋梁の被害と復旧、プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム，2014.10
- 2) 防災科学技術研究所：強震観測網，<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/data/>
- 3) 小田文夫・丸山 修：三陸鉄道の被害状況と復旧に向けた構造計画の策定，土木施工，2014.4
- 4) 鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），1999.10
- 5) 野中隆博・神田政幸・館山 勝・龍岡文夫：補強盛土一体橋梁の開発，橋梁と基礎，2013.8
- 6) 鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），2004.4

【2015年1月8日受付】