

東北地方太平洋沖地震で被災した三陸鉄道のPC桥梁の被害と復旧

(独)鉄道・運輸機構 正会員 工修 ○進藤 良則
 (独)鉄道・運輸機構 木谷 純
 (独)鉄道・運輸機構 正会員 工修 西 恭彦
 (独)鉄道・運輸機構 境 拓哉

1. はじめに

岩手県沿岸を縦走する三陸鉄道（図-1）は、東北地方太平洋沖地震とその巨大津波により、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盛川桥梁、大渡川桥梁の橋脚躯体、支承部、桁端部が損傷した。さらに、南リアス線の荒川桥梁、北リアス線の松前川桥梁、コイコロベ沢桥梁、ハイペ沢桥梁は津波でPC桁・RC桁、橋台・橋脚が流失した（表-1）。

復旧工事は、(独)鉄道・運輸機構が平成23年11月から開始し、地震動で損傷した橋脚躯体と支承部の耐震補強を行った。津波で流失した桥梁については、減災を考慮した桥梁を新設し、三陸鉄道は、平成26年4月に全線で運行を再開した。本報告は、PC橋の被災状況と復旧工事について報告する。

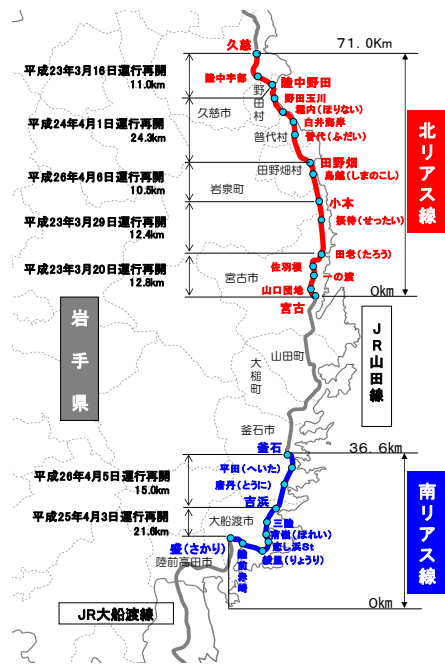


表-1 構造物の被災状況と被災要因

線名	構造物名称	上部工形式	被害要因	主な被災状況
南リアス線	盛川桥梁	PCI 桁	地震動	橋脚・支承の損傷
	荒川桥梁	RCT 桁, PC 下路桁, PCI 桁	津波	桁の流失
	第1大渡川桥梁	PCI 桁, 鋼トラス桁	地震動	橋脚・支承の損傷
	中番庫高架橋	RCT 桁	地震動	橋脚・支承の損傷
	第2大渡川桥梁	PCI 桁, 鋼トラス桁	地震動	橋脚・支承の損傷
北リアス線	島越高架橋	ラーメン高架橋	津波	構造物の流失
	松前川桥梁	PCI 桁	津波	桁・橋脚の流失
	コイコロベ沢桥梁	RCT 桁, PC 桁	津波	桁・橋台の流失
	ハイペ沢桥梁	PC 下路桁, RCT 桁	津波	桁の流失

図-1 三陸鉄道の路線概要

2. 桥梁の被害状況

2.1 地震動による被害

PC桁の被災状況を図-2に示す。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動で塑性化し、主鉄筋が降伏した後、地震動の繰返しで断面内のコンクリートが損傷したと考えられる。第2大渡川桥梁P1橋脚は、桁重心の高い鋼トラス桁を支持しており、ピン支承を介して軸力変動を受け、躯体にせん断ひび割れが生じた。

支承部は、支承本体と桁端部が破壊され、その結果、軌道面には鉛直目違いが生じた。南リアス線が位置する大船渡市 (K-NET IWT008) ならびに釜石市 (K-NET IWT007) の地震観測記録によると最大加速度は、それぞれ323gal、697galであり、設計震度を上回る地震動が入力され、構造物が損傷したものと考えられる。

2.2 津波による被害

三陸鉄道は路線延長の半分以上がトンネルであり、桥梁や盛土については比較的高い位置にある。しかし、海岸に近い桥梁のうち4橋は、津波の遡上で桁側面には横圧力、桁下面には上揚力が作用し、

	地震動による被害		津波による被害		
	主鉄筋段落し部の損傷		支承部の損傷		荒川 B 下路桁の流失
	盛川 B、第 1 大渡川 B、中番庫 BL、第 2 大渡川 B		盛川 B、矢作川 B、第 1 大渡川 B、中番庫 BL、第 2 大渡川 B		FL=14.12~14.25m 津波浸水高 ¹⁾ : 15.22m
	津波による被害				
	松前川 B の流失	コイコロベ沢 B の流失	ハイペ沢 B の流失		
FL=13.38m 津波遡上高 ¹⁾ : 22.50m	FL=12.32m	FL=14.58m			

図-2 三陸鉄道の PC 橋梁の被災状況²⁾

支承部が破壊され、桁・橋台・橋脚が流失した。ハイペ沢橋梁の PC 下路桁には、ねじりモーメントによる多数の斜め方向のひび割れが生じていた (写真-1)。また、桁の流失は免れたものの橋台背面の盛土が流失した PC 橋梁が 2 橋あった (写真-2)。



写真-1 主桁の斜めひび割れ



写真-2 背面盛土の流失



写真-3 躯体の再構築

3. 橋梁の復旧工事

3.1 地震動で損傷した橋梁の耐震補強

(1) 橋脚躯体の復旧

橋脚躯体の段落し部の損傷は、RC 巻立て (増厚 20cm) による耐震補強を実施した。その際、増厚部の主鉄筋は基礎には定着せず、基礎の耐力が相対的に低下するのを防いだ。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で確認した。

第 2 大渡川橋梁 P1 橋脚は、躯体にせん断ひび割れが生じ、コアコンクリートも圧壊していたため、躯体は再構築した (写真-3)。躯体の構築では、仮設バ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。PC 桁は仮受けにより、支間長が短くなると上縁の圧縮力が減り、施工時にひび割れが生じる恐れがある。そこで、仮受け時の縁応力 (引張り) は、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) 2.8N/mm^2 を超えな

い位置に仮設ベントを設置した。

(2) 支承部の復旧³⁾

中番庫高架橋と第2大渡川橋梁のPC桁の支承構造は、鋼製線支承、ロッカー支承の2種類である(図-3)。鋼製支承の上查は、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。主桁端部の復旧は、桁側面と下面に補強鋼板(t=6mm)をアンカーで固定し、主桁と鋼板の隙間にモルタルを充填して断面修復を行った(写真-4)。

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、支承前面に移動制限装置を設置した。移動制限装置は、L2設計地震動に対して落橋防止装置を兼ねた鋼角ストッパーとした。ストッパー埋込み部は、桁側は箱抜き部のある鋼製ブラケットを主桁下面に設置し(写真-5)、橋脚側は横梁をRC構造で増厚して桁座の拡幅を兼用した(写真-6)。支承部周辺の補修・復旧を図-4に示す。



上部構造	支承部(復旧前)	支承部(復旧後)
PCI桁(4主桁) RCT桁(2主桁)	 鋼製線支承	ゴム支承への交換 + 鋼角ストッパーの設置 桁座の拡幅
PCI桁(4主桁)	 ロッカー支承	ゴム支承への交換 + 鋼角ストッパーの設置 桁座の拡幅

図-3 支承構造の新旧比較



写真-4 主桁の補強鋼板



写真-5 ブラケットとストッパー



写真-6 桁座の拡幅

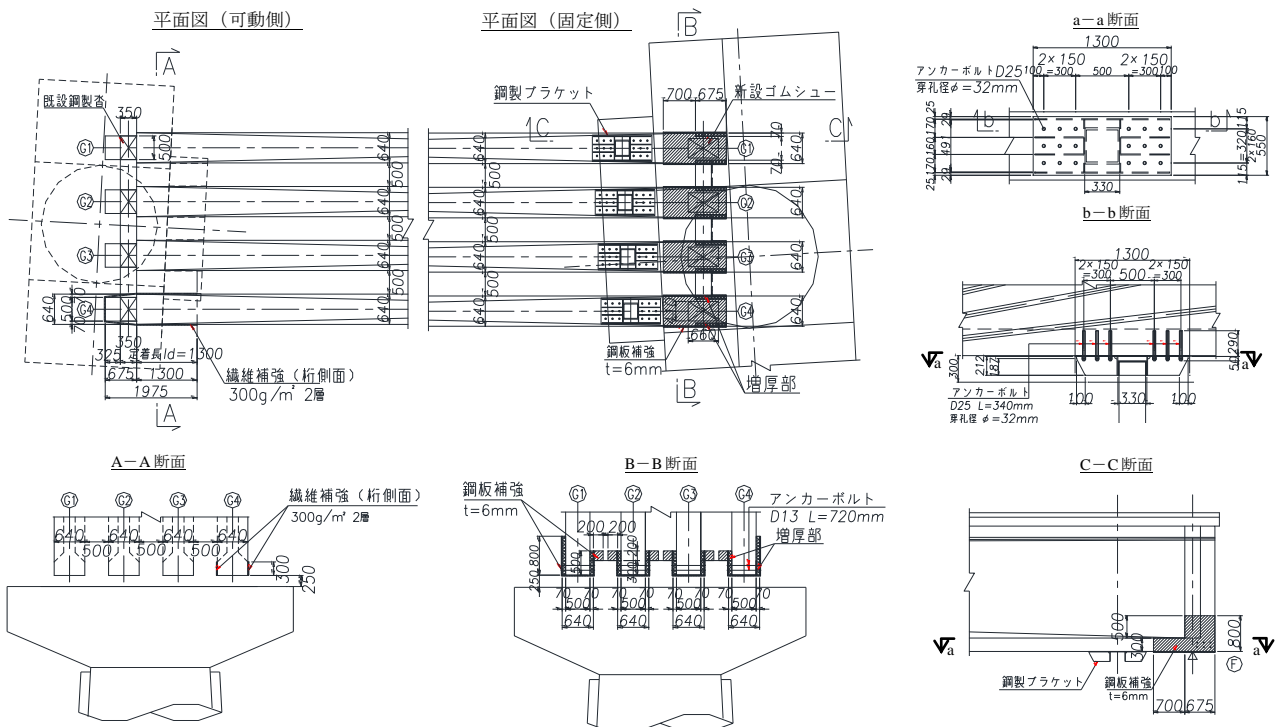


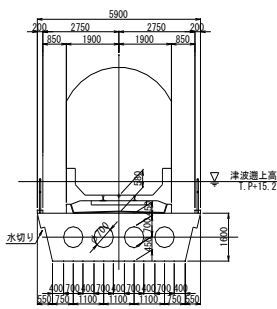
図-4 支承部周辺の補修・復旧

3.2 津波で流失した橋梁の新設工事

(1) 荒川橋梁の新設

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桁、PC下路桁、PCI桁で構成されていた。本橋は、河口から約620m上流にあり、並走する国道45号線より内陸側にあるが、施工基面は道路面よりも低く、津波の遡上で河道上のPCI桁が流失した。PCI桁は桁高が2.8m、桁下面の高さは、起点側のPC下路桁より約3m低いいため、津波による横圧力と上揚力が特に大きかったものと考えられる。

復旧工事は、桁高の低いPCホロースラブ桁(桁高1.6m)を構築し(写真-7、写真-8)、桁下高を1.2m拡大した。施工は、PC下路桁を再利用するため、仮設ベントで仮受けしてP2橋脚を再構築した後、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橋台の施工はパラペット下端までを1次施工、PC緊張後の構築部分を2次施工とした。



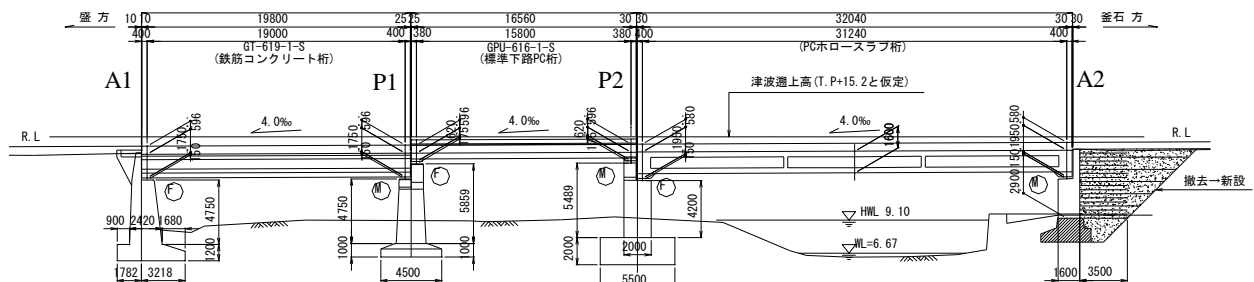
(b) 支間部断面図



写真-7 施工状況(シースの設置)



写真-8 完成後のPCホロースラブ桁



(a) 全体図

図-5 復旧後の荒川橋梁一般図

(2) 補強盛土(GRS)一体橋梁の新設

津波で被災した北リアス線の松前川橋梁、コイコロベ沢橋梁、ハイペ沢橋梁については、2径間の補強盛土(GRS)一体橋梁⁴⁾を構築した。補強盛土(GRS)一体橋梁は、アプローチブロックと橋台が補強材を介して一体化した補強土橋台と桁が剛結したラーメン構造をしており、津波に対して流失しにくいと考えられている。

4. おわりに

三陸鉄道の復旧工事では関係する多くの方々から、ご指導とご鞭撻をいただいた。この場をかりて感謝申し上げるとともに、全線運行再開によって、より一層、地域住民の足として役割を果たしていくことを願う次第である。

参考文献

- 1) 原口強・岩松暉：東日本大震災津波詳細地図上巻，古今書院，(2011.10)
- 2) 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)
- 3) 今野次夫・井上修孝：河川内の不発弾探査を要した大渡川橋梁の耐震補強工事，土木施工，(2014.4)
- 4) 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)