PC 鋼材で耐震補強された名取 1 号橋における調査報告
— PC & PA 工法による下部工の耐震補強 —

橋本　晃*[1]・中原　晋*[2]・江崎　守*[3]・板谷　英克*[4]

PC & PA 工法にて下部工の耐震補強がなされた名取 1 号橋は，2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震を被災した。耐震補強がなされた橋梁において，被災するケースはまれであるため，設計・施工・追跡調査を一連にて行えたケースが少ない。本橋梁では，震災後に追跡調査を行う機会を得て，定着体や PC 鋼材の健全性を確認し，耐震補強として PC & PA 工法が有効であることを見出せた。

キーワード：PC & PA 工法，東北地方太平洋沖地震，追跡調査

1. は じ め に

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震は，東北地方を中心に甚大な被害をもたらし，日本中を震撼させた。宮城県名取市に架橋されている名取 1 号橋は，PC 鋼材にて耐震補強（以降：PC & PA 工法と略記）がなされた橋梁であり，地震後の点検にて上部工および下部構造ともに損傷を被っていないことが確認された。PC & PA 工法とは，既設橋梁の橋台と橋脚を PC 鋼材でそれぞれ繋ぎ，地震時の橋脚頂部の変位を小さくすることで，橋脚柱基部の負担を軽減させる耐震補強工法である。そのため，本橋梁では，橋台橋脚間を連結している PC 鋼材に地震時の張力が作用したことが予想された。本稿では，震災以前に行われた耐震設計および施工について述べたのち，2013 年 11 月に PC & PA 工法で重要な部位となるケーブルや定着体およびその周辺に対して行った追跡調査の結果について報告する。

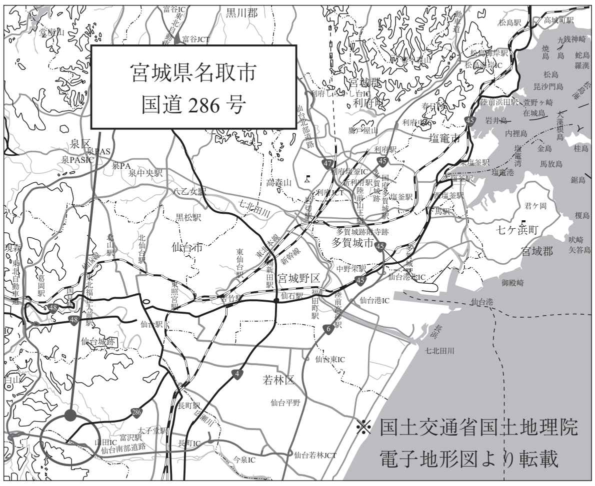


図 - 1　架橋位置図

2. 橋 梁 諸 元

本橋は，図 - 1 に示すように宮城県名取市の一般国道 286 号に架橋された 3 径間単純鋼 I 桁橋で，下部構造は直接基礎の逆 T 式橋台と小判型橋脚からなる。上流側は 1975 年（S50 年），下流側は 1982 年（S57 年）に竣工された。その後，兵庫県南部地震規模の地震に対応するために 2005 年（H17 年）に PC & PA 工法により耐震補強工事が実施された。

路 線 名：一般国道 286 号
上部工形式：3 径間単純鋼 I 桁橋
橋　　長：95.2 m
幅員構成：下り線 15.25 m，上り線 12.00 m

*[1] *Akira HASHIMOTO*
㈱ 千代田コンサルタント
技術統括部

*[2] *Susumu NAKAHARA*
㈱ 安部日鋼工業
技術工務部

*[3] *Mamoru ESAKI*
㈱ 安部日鋼工業
技術工務部

*[4] *Hidekatu ITAYA*
極東鋼弦コンクリート振興 ㈱ 技術部

斜　　角：74° 00′ 00″
下部工形式：橋台　逆 T 式　橋脚　小判型
基礎形式：直接基礎
完　　成：上流側 1975 年（S50 年）
　　　　　下流側 1982 年（S57 年）
耐震補強：PC & PA 工法　2005 年（H17 年）12 月完成

3. 耐震設計

3.1　PC & PA 工法概要

阪神・淡路大震災以降，既設鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強として，RC 巻立て工法や鋼板巻立て工法，炭素繊維補強工法等が採用されてきた。これらの工法は性能が確認された有効な工法であるが，河川内の橋脚に適用した場合に大掛かりな締め切り工を伴うことや補強された橋脚の河川阻害率の問題が存在する。また，補強した橋脚の耐力が増大して主たる損傷箇所が基礎に移行することが懸念される。このようななか，大掛かりな締め切りを必要とせず橋脚の耐力を増大させない補強工法として，**図 - 2** に示すように橋脚頂部と橋台とを PC ケーブルで連結し橋脚天端の変位拘束と地震応答特性を制御することにより，柱基部の塑性ヒンジの回転角を低減させる PC & PA 工法[1] が開発された。本工法の効果については，実構造物の 1/10 スケールの供試体による正負交番試験[2] や振動台実験[3] で確認されている。また，施工方法は上部構造から吊足場を設置し，橋脚天端と橋台に PC 鋼材の定着金具を取り付け，PC 鋼材を配置して緊張するため，橋梁上面からのみで施工が可能な工法である。

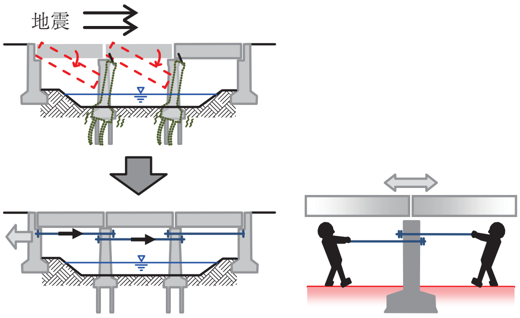


図 - 2　PC & PA 工法の概念図

3.2　本橋における耐震補強

本橋梁の耐震補強設計は，兵庫県南部地震を受けて改定された H8 年版道路橋示方書により実施した。連結 PC 鋼材は，**図 - 3** に示すように桁間の空間を利用して橋軸方向に配置し，橋台および橋脚上の RC 定着壁に固定した。入力地震動は，道路橋示方書に準拠して標準加速度応答スペクトルに近い特性を有するように，既往の強震記録を振動数領域で振幅調整された加速度波形 3 波（最大加速度 812 gal）とした。

時刻歴応答解析の結果，上り線 P 2 橋脚では，**表 - 1** に示すように橋脚頂部の最大応答変位が補強前 192 mm から PC & PA 工法補強後 63 mm と 67 %に低減された。また，最大応答曲率は，補強前 6 235 μ/m から PC & PA 工法補強後 1 298 μ/m と 79 %に低減された。

いずれの橋脚においても，PC & PA 工法にて補強することにより，最大応答変位が約 50 ～ 70 %，最大応答曲率が 60 %～ 80 %低減された。

代表例として抽出した Type I-I-2 地震波形における曲げモーメントと応答曲率の関係では，**図 - 4** に示すように

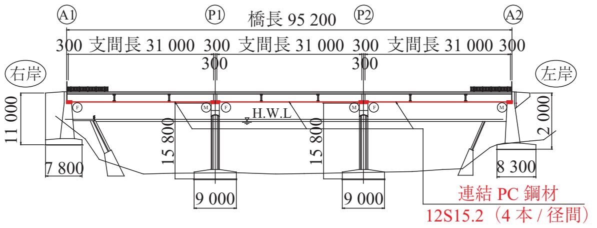


図 - 3　名取 1 号橋側面図

表 - 1　時刻歴応答解析結果一覧（3 波平均）

	着目部位		単位	補強前	補強後	許容値	低減効果
最大応答変位	上り線（下流側）	P 1 橋脚	mm	219	85	−	61 %
		P 2 橋脚		192	63	−	67 %
	下り線（上流側）	P 1 橋脚		159	74	−	53 %
		P 2 橋脚		159	58	−	64 %
最大応答曲率	上り線（下流側）	P 1 橋脚	μ/m	5 370	2 303	5 060	57 %
		P 2 橋脚		6 235	1 298	5 120	79 %
	下り線（上流側）	P 1 橋脚		7 492	2 373	5 450	68 %
		P 2 橋脚		7 492	1 276	5 450	83 %
PC 鋼材張力	上り線（下流側）	A 1−P 1	kN/ 本	−	209	降伏強度 2 664 kN/ 本	−
		P 1−P 2		−	370		−
		P 2−A 2		−	354		−
	下り線（上流側）	A 1−P 1		−	489		−
		P 1−P 2		−	148		−
		P 2−A 2		−	334		−

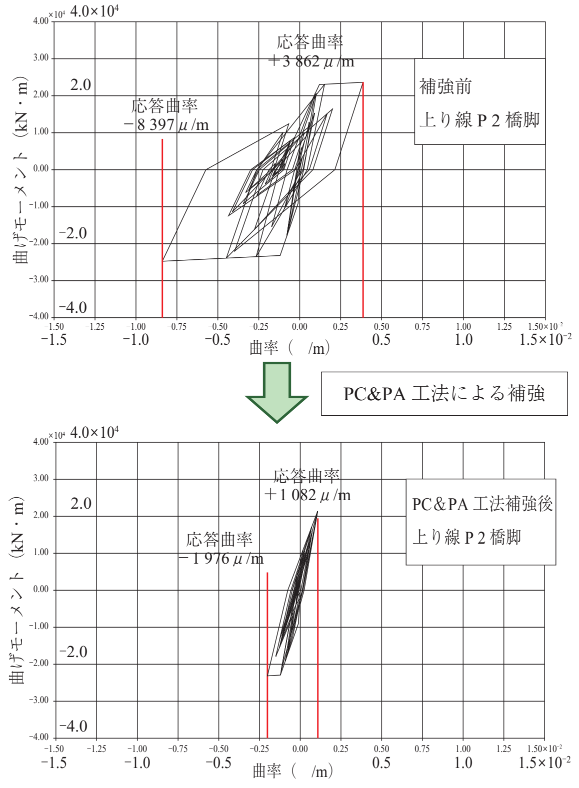


図 - 4　時刻歴応答解析結果（L2 地震動 Type I-I-2）

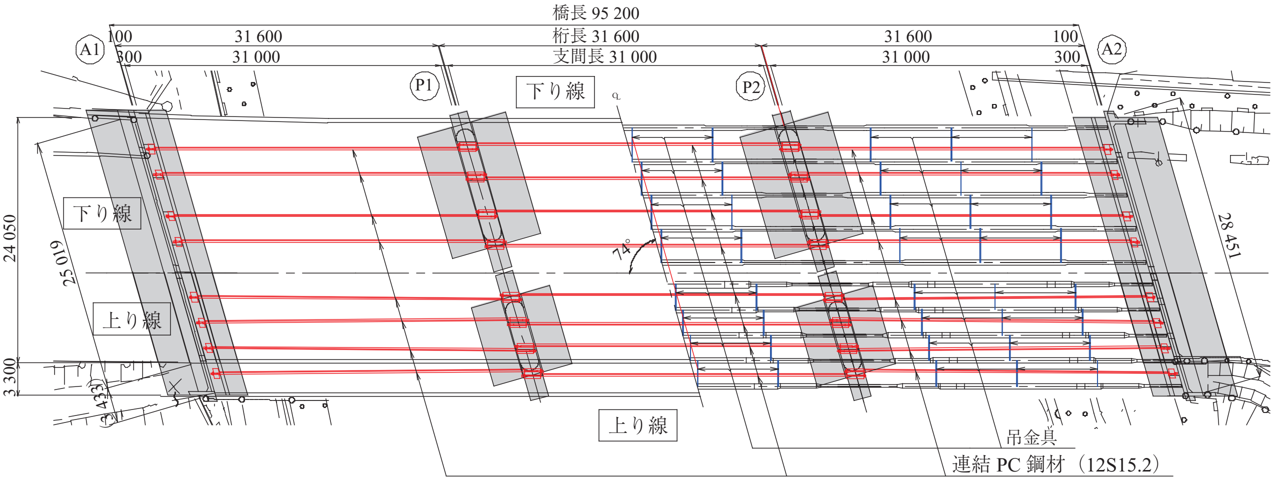


図 - 5　名取 1 号橋平面図

PC & PA 工法で補強することにより，橋脚基部の応答曲率の絶対値が大幅に低減され，抑制効果が高いことも確認された。

4．耐震補強工事の施工

4.1　施 工 概 要

本橋における連結 PC 鋼材は，12S15.2 mm を**図 - 5** および**写真 - 1** に示すように橋軸方向配置で主桁間に 1 本ずつ配置（4 本 / 径間×上下線）し，RC の定着壁に定着具を介して固定する方法であった。施工は，**図 - 6** に示すように吊足場を設置する仮設工，定着具が固定され地震時に PC 鋼材に発生する張力を負担する定着壁工，および連結 PC 鋼材の挿入・緊張を行う PC ケーブル工の順序にて行った。

写真 - 1　連結 PC 鋼材配置

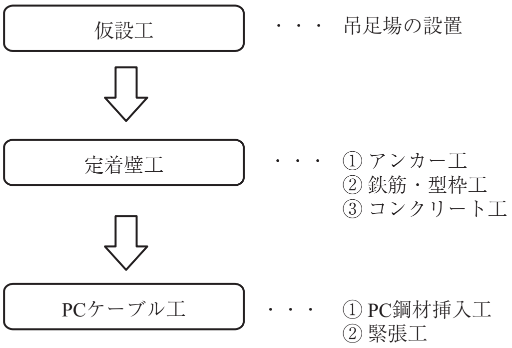


図 - 6　PC & PA 工法施工フロー

4.2　仮　設　工

本橋における吊足場は，**写真 - 2** に示すように連結 PC 鋼材配置と合せ，主桁間の橋軸方向に設置した。

写真 - 2　吊　足　場

4.3　定 着 壁 工

アンカー工は，削孔前に RC レーダーを用いて電磁波レーダー法にて既設鉄筋を確認し，定着アンカー筋の位置を決定した。削孔は，コアボーリングマシンを用いて行い，削孔に伴う切削水が河川内へ落下することを防止するため，切削水を吸引しながら施工した。アンカー筋は，エポキシ樹脂注入後に後挿入する方法とし，設置完了後に**写真 - 3** に示すように超音波探傷法によって定着長の確認を行

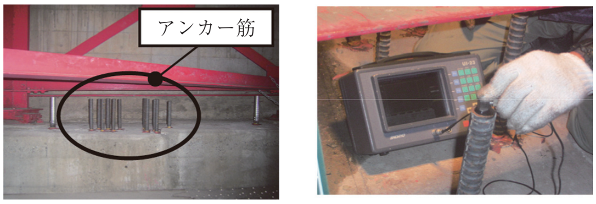


写真 - 3　定着アンカー筋と探査状況

った。

定着壁コンクリートは，打設量が少ないものの，橋台や橋脚天端の狭小な箇所への打設となり，人力による運搬・投入が難しいことから，ポンプ打設にて行った。

4.4　PC ケーブル工

PC & PA 工法は，図 - 7 に示すように地震時の橋脚変位を連結材である PC 鋼材にて抑制する工法であるため，地震時において PC 鋼材に作用する引張力が最大（Pmax）となる。このため，常時では張力（Pe）を小さくしておくことが有効となる。

施工時の導入張力は，ケーブルが垂れて見えない程度の緊張力である PC 鋼材自重の 20 倍を目安とし，ケーブル理論を用いて水平張力から算定した。本橋における導入張力は，摩擦損失，セットロスを考慮して 1S15.2 あたり Pi = 2.5 kN とした。なお，緊張による下部工の変形は，導入張力が小さく影響がないことがこれまでの実績 4) において確認されているため，考慮していない。

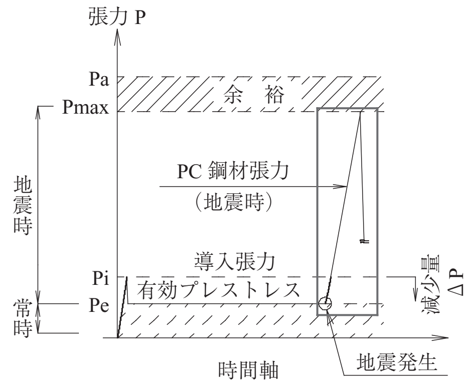


図 - 7　PC 鋼材張力のイメージ

PC 鋼材は，導入緊張力が小さく緊張時に鋼材のねじれによる摩擦の影響を無くす必要があることから，ケーブル捌き具および薄板による案内板を設けて 3 本ずつ挿入し，写真 - 4 に示すよう PC 鋼材のねじれを防止した。

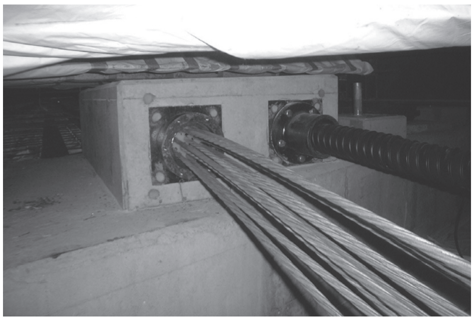


写真 - 4　PC 鋼材の挿入

シースは，主桁下フランジから橋軸直角方向に単管を組み，PC 鋼材やシース自重による垂れ下がりが生じないように緊張完了まで仮支持させた。単管にて仮支持する高さは，径間途中に 3 箇所設置する吊金具のシース高さを基準として，緊張によって生じるサグ量の変化が確認できる高さに設定した。

定着具は，PC & PA 工法の特性上，低緊張力で定着する必要があることから，図 - 8 に示すように低緊張力においても定着可能な PC & PA 専用定着体を採用した。

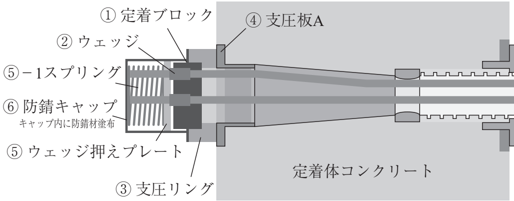


図 - 8　PC & PA 工法定着具　12T15

緊張は，図 - 9 に示すように低緊張力でも緊張管理が行え，狭小な作業空間でも効率よく緊張作業が行えるよう開発されたジャッキおよびポンプを用いた。

FKK ジャッキ（TCJ−4 型）	
最大緊張力	40 kN
最大圧力	21.4 Mpa
ストローク	300 mm
緊張受圧面積	18.65 cm^2
質量	15 kg

図 - 9　緊張ジャッキ・ポンプ

緊張作業は，図 - 10 および写真 - 5 に示すように 12 本のより線を 1 本ずつ片引きにて行った。緊張管理は，圧力管理とし，1 次緊張で所定の導入力まで緊張し，2 次緊張において，1 次緊張の導入力が低減していないかを確認する方法にて行った。なお，緊張作業時には，3 枚 1 組のウェッジが均等に PC 鋼より線をグリップし，セット量のばらつきが抑えられるよう，テンショニングキャップを用いた。

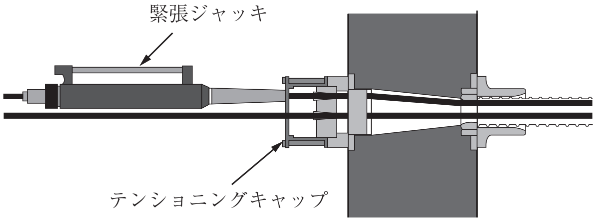
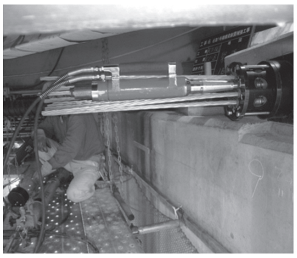
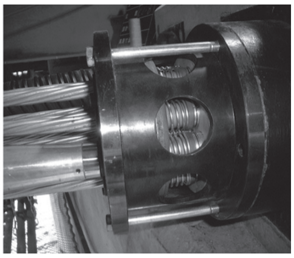


図 - 10　緊張模式図



a）緊張ジャッキ側全景



b）テンショニングキャップ

写真 - 5　緊 張 状 況

5. 追跡調査

5.1 調査目的

追跡調査は，PC ＆ PA 工法で耐震補強した本橋梁が東北地方太平洋沖地震で被災したことから，PC ＆ PA 工法用の定着具およびPC鋼材の状態を確認する目的で行った。

5.2 調査内容

定着体の調査箇所は，桁下を横断する市道の交通規制の制約から足場の設置が可能な上り線のＰ2−Ａ2 径間とし，図 - 11 に示すＡ2 橋台の 2 箇所とＰ2 橋脚の 4 箇所（定着具Ａ～定着具Ｆ）を調査した。

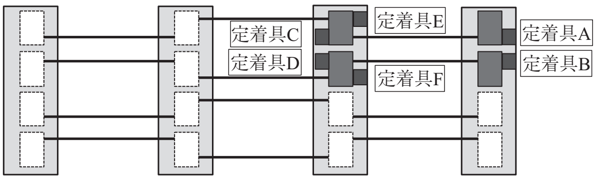


図 - 11　調査箇所（上り線）

各定着具の調査は，施工当時の防錆キャップや支圧板の防錆仕様がタールエポキシ樹脂塗装であったことから，表 - 2 に示すよう PC 鋼材や定着具の発錆有無を目視確認するほか，ウェッジの出しろを測定し，定着状態を確認する内容とした。

表 - 2　調査内容一覧

		項目	調査内容
目視調査	①	橋台，橋脚	外観目視 地震によるクラック発生の有無
	②	定着部 コンクリート	コンクリートブロックのクラック発生状況
	③	定着具 外観	定着具の状態確認
	④	定着具 防錆キャップ内	主要部材発錆などの状態確認
	⑤	シース	シースおよびシースジョイント部の状態確認
	⑥	PC 鋼材	余長部およびシースジョイント部にて表面状態の確認
測定	⑦	ウェッジの出しろの測定	定着状態に異常がないか確認

5.3 調査結果

定着具の調査を行う前に本橋梁の橋台および橋脚の外観調査を行い，地震による損傷がないことを確認した。定着具が埋め込まれているコンクリートブロックは，写真 - 6 に示すようにクラックなどの損傷はまったく見られず，健全な状態を保っていた。定着具の外観は，写真 - 7 に示すように供用中は暴露状態にあるため，埃などが付着しており，防錆キャップ表面には点錆のようなものが若干発生していた。また，定着具の防錆として施したタールエポキシ樹脂塗装は，埃などの付着があった外面では変色や膜厚が薄くなっている箇所が一部あったが，内面の劣化は生じていなかった。

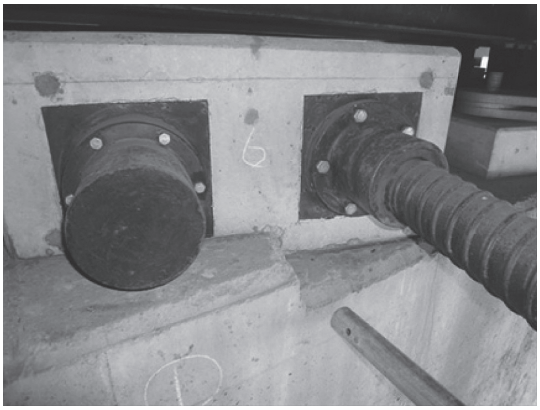


写真 - 6　定着部コンクリート

写真 - 7　定着具外観

防錆キャップ内の構成部材のうち，定着具の主要部材である定着ブロック，ウェッジや PC 鋼材の状態の調査を行った。ウェッジ押えプレートやスプリングは，写真 - 8，写真 - 9 に示すように汚れや発錆も無く施工時の状態のまま健全であった。定着ブロックとウェッジにおいても，一部防錆剤による汚れはあるものの写真 - 10 に示すように発錆も無く健全であった。

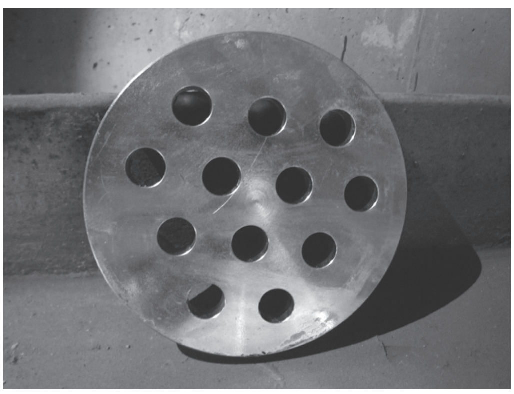


写真 - 8　ウェッジ押えプレート

PC 鋼材の調査は，余長部やシースジョイント部にて実施した。PC ＆ PA 工法における PC 鋼材は，亜鉛めっき処理品を使用しており，写真 - 11 に示すように発錆や有害

写真 - 9　スプリング（ウェッジ押え用）

写真 - 10　PC 鋼材および定着具の現況

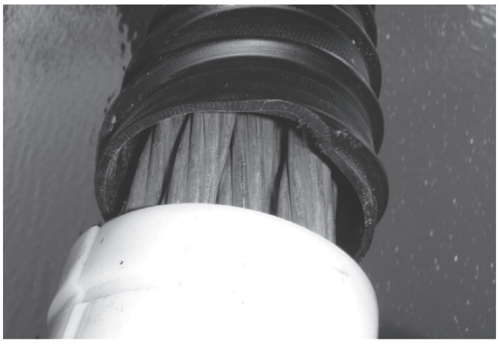


写真 - 11　ＰＣ 鋼 材

な腐食はまったく見られず健全な状態であった。

ウェッジの出しろは，PC 鋼材を 3 枚のウェッジにより定着していることから，地震時の張力作用によりにバラツキが生じている可能性があった。そこで，写真 - 12 に示すようにノギスにより測定した結果，3 枚の出しろは，ほぼ均等で大きな段差もなく安定して PC 鋼材をグリップしていた。このことから，地震によって PC 鋼材に張力が作用した場合においても，ウェッジの抜出しに対して，ウェッジ押えプレートやスプリングの効果があったと考えられる。

以上，調査した結果，橋梁に有害な損傷は見受けられず，設置されている定着具にも有害な損傷や錆もみられず健全性が保たれていた。また，PC 鋼材の定着状態に異状

写真 - 12　ウェッジ出しろ測定状況

はないことから，東北地方太平洋沖地震の際に PC ＆ PA 工法の効果が発揮されたものと推測される。このことから，PC ＆ PA 工法は，今後，発生が懸念されている大規模地震に対しても有効な耐震補強工法の一つであると考えられる。

6. おわりに

今回追跡調査を行った結果，震災後においても定着具や PC 鋼材，橋脚の健全性が確保されていたことから，PC ＆ PA 工法は大規模地震に対しても有効な耐震補強工法であることが確認できた。

今回行った追跡調査において，点検が容易に行えることを体感し，維持管理しやすい工法であることが確認できた。

現在の定着具は，設置個所が桁下空間で埃や湿気が停滞しやすい環境であることから，防錆機能を考慮し亜鉛めっき処理仕様に改良され，耐食性が高められている。

今後は，さらなる定着システムの性能向上，施工性向上を目指し検討を進めたいと考えており，耐震補強が整備されていない橋梁に対して PC ＆ PA 工法をご活用いただければ幸いである。

追跡調査を行うにあたり，ご協力いただいた宮城県仙台土木事務所をはじめ関係各位に謝意を表します。

参 考 文 献

1）国土交通省新技術情報提供システム NETIS　登録番号 No. QS−020026
2）中原　晋，湊　敬文，宮原裕二，原田哲夫：PC 鋼材による耐震補強効果に関する実験報告および簡易評価方法の提案，第 17 回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム 2008 年 11 月
3）岩田秀治，関　雅樹，阿知波秀彦：振動台実験による PC 鋼材を用いた橋脚天端の変位拘束の耐震補強効果，第 10 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集 2007 年 2 月
4）三井祐二，平川吉幸，宮原裕二，中原　晋：PC ＆ PA 工法施工報告～瀬石谷橋橋脚耐震補強工事～プレストレストコンクリート　vol47，No.1，2005

【2015 年 1 月 9 日受付】