

東北地方太平洋沖地震による プレストレストコンクリート橋の被災状況

諸橋 明*1・眞玉 英夫*2

「東北地方太平洋沖地震」と名付けられた巨大地震は、マグニチュード9.0という規模の大きさに加え、1000年に一度といわれる巨大津波が東北地方を中心とした広範囲に甚大な被害を与えた。東北地方の太平洋沿岸部は、主に津波による影響が大きく、橋梁構造物も落橋を含めた被害を受けている。しかしながらプレストレストコンクリート橋（以下、PC橋）については、著者らが調査した範囲では、数橋の落橋はあるものの大半は橋面上の高欄をもぎ取られながらも主桁は健全で耐え抜いており、PC橋の強さが改めて感じられた。本稿は、太平洋沿岸部に架かるPC橋の調査結果について、被害状況の傾向を総括するとともに、とくに被害の大きかった三陸沿岸部の国道に架かるPC橋について、被害状況を報告するものである。

キーワード：東北地方太平洋沖地震、東日本大震災、津波被害

1. はじめに

東北地方三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の巨大地震は、2011年3月11日14時46分に発生し、「東北地方太平洋沖地震」と名付けられた。さらに地震により引き起こされた、1000年に一度といわれる巨大津波は、東北地方を中心とした太平洋沿岸の広範囲に、大きな被害をもたらした。地震発生から約6カ月経った現在、死者および行方不明者は、2万人を超えると報告されている。

(社)プレストレストコンクリート建設業協会は、地震発生当日の3月11日に災害対策本部を設立した。そして翌日3月12日に、国土交通省より災害応急対策への協力要請を受け、東北地方整備局や関係機関の道路管理者と連携を図りながら、コンクリート橋の被災状況調査に取り組んだ。また、今後の復旧・復興計画を視野に入れた調査を目的として、(社)プレストレストコンクリート建設業協会と(社)プレストレストコンクリート技術協会は、合同特別調査団を結成し、被害のとくに大きかった南三陸地区に対して重点調査を実施した。

本稿では、三陸沿岸部を南北に通る重要幹線道路国道45号に架かるPC橋の被災状況を中心に報告する。

2. 地震の概要

東北地方太平洋沖地震のマグニチュードは9.0であり、これは、わが国で1995年に発生した「兵庫県南部地震」の約1000倍のエネルギーである。また、最大震度は7であり、宮城県において記録されたが、震源からもっとも遠い九州地方においても震度2が観測されるなど、まさに日本中が揺れた大地震である。

しかしながら、地震の規模に比べ、橋梁構造物の地震による被害は比較的少なかったといわれている。兵庫県南部地震の後、わが国では耐震設計基準が改定された。そして、多くの既設橋梁に対して、改訂された基準に基づく耐震補強が施された。このことは、地震による被害が少なかったことの要因の一つと考えられる。

これに対して、甚大な被害をもたらしたのが津波である。図-1¹⁾に、津波による浸水範囲の概況を示す。三陸沿岸



*1 Akira MOROHASHI

(社)プレストレストコンクリート建設業協会



*2 Hideo MATAMA

(社)プレストレストコンクリート建設業協会

図-1 津波の浸水範囲¹⁾

部を中心とした広範囲の沿岸部において、津波によって浸水している。

3. PC 橋の調査範囲と調査内容

調査は、茨城県から青森県に及ぶ南北約 800 km の広範囲にわたって実施した。余震が続くなか、茨城県、宮城県、福島県、岩手県、山形県および国土交通省東北地方整備局の管理橋梁について、3 月 18 日から約 1 カ月間、延べ 350 人、1 253 橋の調査を行った（図 - 2）。緊急輸送路、跨線橋、跨道橋などのうち橋長 15 m 以上の PC 橋を対象として、統一した点検調査を用いて行った。

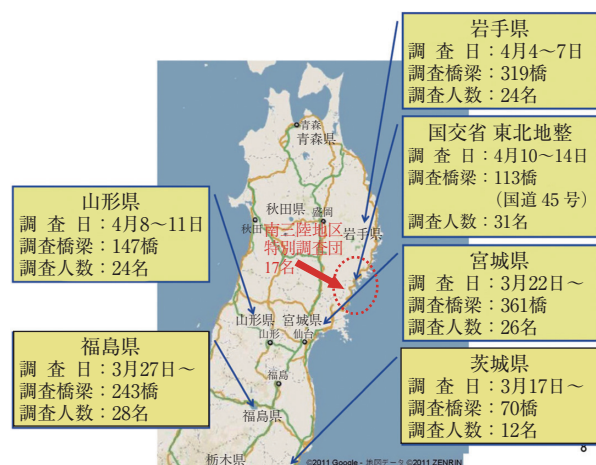


図 - 2 調査範囲

国土交通省東北地方整備局管内の橋梁については、青森県から宮城県に跨がる太平洋沿岸の南北 470 km 区間を対象として調査を実施した。これは、国道 45 号が 85 橋、三陸自動車道が 25 橋、国道 6 号が 3 橋の合計 113 橋である。国道 45 号は、1972 年に全線が開通しているが、橋梁の建設は、改築も含めて 1958 年から 2009 年にわたっている。調査橋梁 113 橋は、以下のように分類できる。

- ① 単純プレテンホール、単純プレテン T 桁、単純ポステン T 桁が全体の 70 % を占めており単純桁構造が圧倒的に多い。
- ② 1 連の単純桁構造が約半分であり、残り半分は 2 連以上の単純桁と連続桁である。
- ③ 連結構造、連続構造など不静定構造物は全体の 10 % 程度である。

合同特別調査団は、陸前高田市から南三陸町の国道 45 号に架かる PC 橋を対象として重点調査を実施した（図 - 2）。この地域は、上述の 113 橋のなかでも津波による被害がとくに大きい PC 橋が含まれているところであり、地震発生から約 1 カ月後に実施した。

4. PC 橋の被災状況

4.1 被災状況の総括

著者らが調査を実施した範囲のうち、東北地方整備局管内 113 橋の PC 橋について、被災状況の総括を述べる。

まず、本地震で大きな被災を受けたといわれる津波の影

響について整理した。調査橋梁 113 橋のうち、国土地理院ホームページ¹⁾より発表された津波の浸水範囲に位置しているものは 39 橋あり、このうち、明らかに何らかの津波の影響を受けた形跡のあるものは 28 橋存在した。図 - 3 に、津波の影響を受けた 28 橋の被害状況内訳を示すとともに、津波の被災状況の概要を以下に記す。

- ・津波の影響を受けた 28 橋のうち、高欄が損傷・流出しているものが 26 橋であり、大半が橋面を越える高さの津波を受けたものと考えられる。
- ・主桁が落橋・流出したものが 4 橋あり、すべてプレテンもしくはポステンの単純 T 桁である（プレテンホール桁は落橋していない）。
- ・支承部損傷 5 橋のうち、4 橋は落橋した PC 橋である。
- ・伸縮装置損傷の 4 橋は、すべて落橋した PC 橋である。
- ・落橋防止装置は 16 橋に設置されているが（耐震補強工事により設置されたものもあると考えられる）、損傷したものは 1 橋である（落橋した歌津大橋）。後述する沼田跨線橋は落橋したにもかかわらず、落橋防止装置の損傷が無い。
- ・基礎下面、橋台背面土砂の流出は、津波の影響を受けた PC 橋の約半分の 18 橋で発生しており、このうち 3 橋が落橋している。

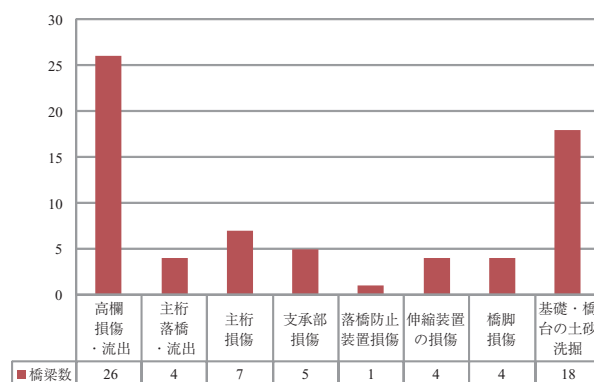


図 - 3 津波の影響を受けた PC 橋の被災状況内訳

次に、地震による直接的な被災という観点から整理を行った。調査した 113 橋は、すべて震度 5 以上が観測された地域に位置している。震度別の橋梁数を図 - 4 に示す。また、図 - 5 に津波浸水地域における被災状況の内訳、図 - 6 に浸水地域以外における被災状況の内訳を示す。浸水

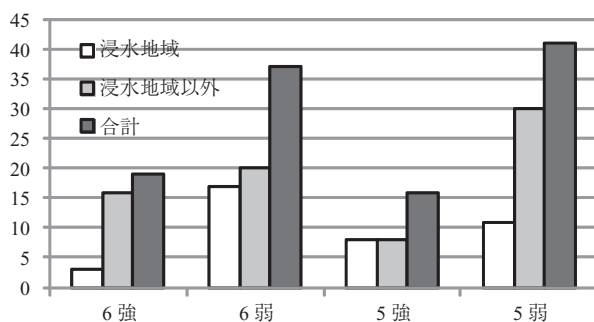


図 - 4 震度別の橋梁数

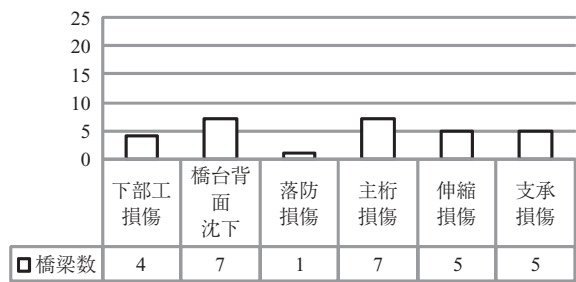


図 - 5 被災状況内訳（津波浸水範囲）

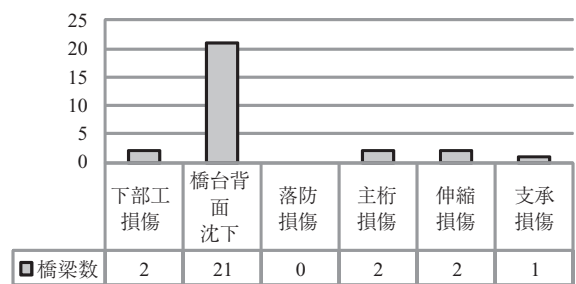


図 - 6 被災状況内訳（津波浸水範囲以外）

地域とそれ以外で分けたのは、地震による直接的な被災状況を把握するためである。以下に、地震による被災状況の概要を記す。

- 調査橋梁 113 橋のうち、震度 6 強、6 弱が観測された地域に位置するものが 56 橋（50 %）存在する。
- 津波の浸水地域が 39 橋（35 %）、浸水地域以外が 74 橋（65 %）である。
- 津波浸水地域の 39 橋のうち、主桁損傷が 7 橋、伸縮および支承の損傷が 5 橋あるが、これらのうち 4 橋は津波により落橋したものである（地震による直接の被災ではないものと考えられる）。
- 津波浸水地域以外の 74 橋のうち、下部工損傷、伸縮および支承の損傷が 2 橋ある。これらは、地震による直接的な被災と考えられるがいずれも軽微である。
- 全調査橋梁 113 橋のうち、橋台背面の沈下が発生しているものが 28 橋（25 %）ある。これらも地震による直接的な被災によるものと考えられる（津波浸水地域の 7 橋は、橋台背面土砂が流出したものは含んでいない）。

調査した PC 橋は、橋脚の耐震補強や落橋防止装置の設置などが大半において実施されており、その効果で、震度 6 の地震を受けながらも被害が軽微であったものと考えられる。写真 - 1、2 は、震度 6 弱を受けた斜πラーメン橋である。橋体はいたって健全であったが、橋台背面に大きな段差（15 cm）が発生した事例である。この段差は、調査橋梁のなかで最大のものであり、上述の 25 % で発生した橋台背面の沈下は、これより軽微なものである。

津波により落橋した 4 橋は、いずれも合同特別調査団の調査範囲である南三陸沿岸にある PC 単純 T 桁橋である。図 - 7 に、南三陸地区における国道 45 号の PC 橋の被災状況を示す。以下、津波の影響によりとくに被害が甚大で



写真 - 1 橋面背面の段差が発生した PC 橋（全景）



写真 - 2 段差の発生状況（15 cm）



図 - 7 南三陸地区における国道 45 号の PC 橋の被災状況

あった PC 橋と、津波の影響を受けたにもかかわらず、必死に耐え抜いた PC 橋の報告を行う。

4.2 被害の大きい PC 橋

(1) 川原川橋（陸前高田市）

河口付近に位置した（写真 - 3）場所打ちの PC 単純中空床版橋である。主桁の流出は免れたものの、片側の橋台



写真 - 3 被災直後の川原川橋（航空写真）¹⁾

背面の土砂が流出し、交通の遮断を余儀なくされた。写真 - 4 に橋台背面の状況を示す。地震発生から1カ月後であった調査時点では、残った主桁上面を利用して仮橋が設置されており、応急復旧が完了し車両の通行が可能となっていた。



写真 - 4 橋台背面の土砂流出（川原川橋）

(2) 沼田跨線橋（陸前高田市）

ポストテンション T 桁の単純桁 3 連から構成される PC 橋である。津波により、全径間の主桁 3 連が上流側に流出、落橋した（写真 - 5）。調査時点では、2 連がすでに解体され、1 連が落橋したまま（写真 - 6）であったが、主桁には大きなひび割れなどは見られなかった。



写真 - 5 被災直後の沼田跨線橋（航空写真）¹⁾



写真 - 6 落橋状況（沼田跨線橋）

各橋脚、橋台に設置されている落橋防止装置はほとんどが損傷しておらず、橋脚天端のアンカーバーはほぼ直立状態で現存している（写真 - 7, 8）。T 桁格子構造の下面開口の影響により、津波の流れ、巻き込み、浮力、そして下部工壁体に衝突した津波の反射波がさらに揚力となって主桁



写真 - 7 落橋防止構造（沼田跨線橋）



写真 - 8 アンカーバー（沼田跨線橋）

に作用した可能性が考えられる。橋梁架橋位置（橋脚）の
高さ、津波の高さ、速度、主桁断面形状、津波の入射角と
下部工設置角度（斜角）などの要因が複雑に影響し合い、
主桁を垂直に浮き上がらせたものと想像される。

(3) 二十一浜橋（本吉町）

車道部となる「二十一浜橋」と各上下線の歩道部となる
「二十一浜側道橋（上り線）」「二十一浜側道橋（下り線）」
の並列した3橋から構成されたPC橋である。各橋の被災
状況は以下のとおりである。

- ・二十一浜側道橋（上り線）：フーチング下面土砂の洗掘。
上部工主桁落橋・流出（写真 - 9）。
- ・二十一浜橋：橋台背面土砂流出。フーチング下面の土砂
洗掘（写真 - 10）。上部工主桁は被害無し。
- ・二十一浜側道橋（下り線）：フーチング下面土砂洗掘。
上部工主桁は被害無し。



写真 - 9 主桁の落橋（二十一浜橋、手前の上り線）



写真 - 10 橋台背面土砂の流出（二十一浜橋）

調査当日は、土砂が流出した車道部の橋台背面に仮設桁
が設置され応急復旧が完了していた。

海側に位置する側道橋上り線は、片側の橋脚が無く、残
った橋脚はフーチング下面土砂が洗掘され鋼管杭が露出し
ている状況であった。のちに得た情報によると、被災直後
は、下部工は両方とも残っていたとのことである。調査時
に無くなっていた片側の橋脚および鋼管杭は、応急復旧作
業時に撤去されたものと考えられる。また、上部工主桁は

見あたらず、海側に流出したものと考えられる（残ってい
て撤去されたのであれば近辺に残っていると思われるた
め）。

本橋の上流側に JR 気仙沼線が交差しており、高架部と
なっている単純桁（RCT 桁）が落橋していた。落橋した
主桁は、架橋部より下流側に位置しており、津波が引いた
際に流出したものと考えられる。これは、落橋した二十一
浜側道橋（上り線）の主桁が近辺に確認できないことから
も推測される（海に流されたか？）。本橋周辺の地形は、
入り組んだ海岸線から近い距離で急峻な山岳があり、津波
の第1波と比べ、引き波の作用力の方が大きく働いた可能
性も考えられる。

また、落橋した T 桁は裏返しになった状態であった。
これは、後述するポステン T 桁が落橋した歌津大橋など
と同様であり、中空床版橋と比べて断面図心が上方にある
ことに起因するものと考えられる。

(4) 歌津大橋（南三陸町）

ポストテンション単純 T 桁 2 連、プレテンション単純 T
桁 5 連、ポストテンション単純 T 桁 5 連から構成される
PC 橋である。両端部の各 2 連を残し、プレテンション単
純 T 桁 5 連、ポストテンション単純 T 桁 3 連が流出、落
橋した（写真 - 11、図 - 8）。調査時点では、復旧作業は
進んでおらず、落橋した主桁はすべてそのままの状態で放
置されていた。

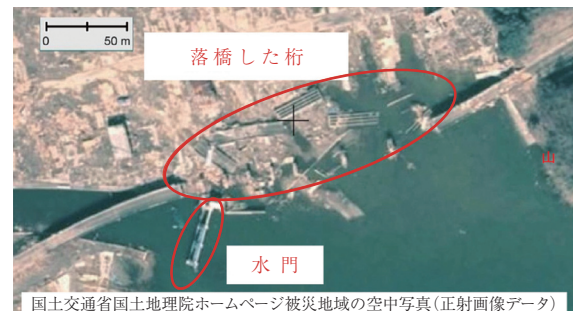


写真 - 11 被災直後の歌津大橋（航空写真）¹⁾

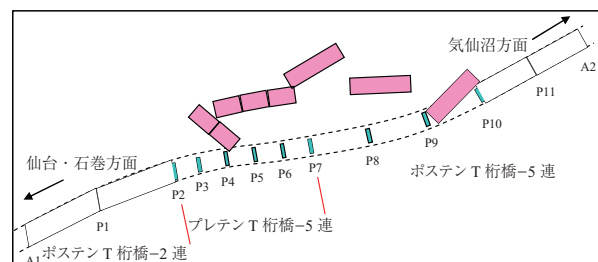


図 - 8 被災状況平面図（歌津大橋）

ポストテンション T 桁は上下裏返しで落橋しているの
に対し（写真 - 12）、プレテンション T 桁は上下そのまま
落橋している（写真 - 13）という特徴がある。これは、
ポストテンション T 桁は、下面の開口深さが大きく、主
桁重心が高いことに起因しているものと考えられる。また、
沼田跨線橋と同様に上揚力に対する連結装置が無い



写真 - 12 ポストテンション T 桁の落橋状況（歌津大橋）



写真 - 13 プレテンション T 桁の落橋状況（歌津大橋）

め、主桁が浮き上がり、落橋防止装置を越えて流出したと思われる。

写真 - 14 は、落橋しなかったポストテンション T 桁とそれを支持する橋脚である。この箇所は、海側に水門があり津波の流速が減じられたため、落橋を免れたものと思われる。しかしながら、海側の主桁に揚力が作用したため、主桁に橋軸直角方向の回転が発生し、橋脚軸方向鉄筋の破断とコンクリートの圧縮破壊が生じている。この影響により、残存した主桁には大きなねじりモーメントが作用し、せん断ひび割れが生じている（図 - 9）。

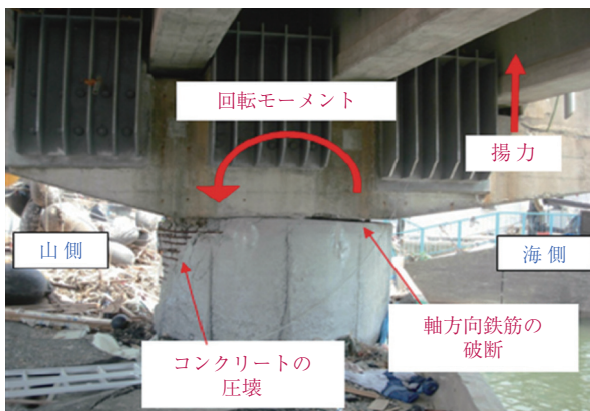


写真 - 14 橋脚の被災状況（歌津大橋）

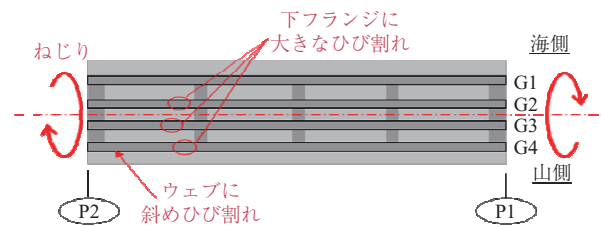


図 - 9 残存した主桁のひび割れ（歌津大橋）

4.3 巨大津波に耐え抜いた PC 橋

巨大津波に襲われながらも多くの PC 橋が健在であり、緊急車輛の通行確保などの初動対応に加え、早期の復旧活動に大きく貢献した。

橋台背面土砂が流出した前述の川原川橋は、漂流した RC 造建物が側面から激突している。にもかかわらず、主桁は残存しており、PC 構造物の強靱さを示している（写真 - 15）。



写真 - 15 川原川橋

また、南三陸町の汐見橋は、海岸線から約 200 m 上流に位置したプレテンションスラブ橋である。橋面上の鋼製高欄は大半がなぎ倒され流出しているものの、主桁本体は健在である（写真 - 16）。同じく南三陸町のプレテンションスラブ橋である歌津 2 号橋は、橋台背面土砂の一部流出、



写真 - 16 汐見橋

橋面上ガードレールの損傷などから、明らかに津波を強く受けているが、主桁は健全した状態である（写真 - 17）。

これら残存した PC 橋の共通点は、桁高の低いスラブ橋であり、主桁の流出という観点からは、津波による影響が小さい構造といえるかもしれない。



写真 - 17 歌津 2 号橋

8. おわりに

本稿では、東北地方太平洋沿岸部に位置する国道 45 号を中心とした PC 橋の調査に対する報告を行ったものである。よって、本稿で述べた本地震の被災状況の総括などは、必ずしも全体の被災状況を表しているわけではないことに留意されたい。

地震発生から 1 カ月後の調査であったが、国道 45 号は多くの箇所で応急復旧が完了していたものの迂回を余儀なくされる箇所もあった。橋は、地域の生活、経済活動、そして災害時においては救援・復旧活動、物資流通に重要な基盤施設であること、リダンダンシーを考慮した道路計画が重要であることを改めて認識した。

本稿は、調査の結果を報告したまでであるが、現在さまざまな機関において、今後の橋梁の地震津波対策、復旧方法などを見直す検討が実施され始めたところである。本稿の調査結果が、各種検討の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 国土交通省国土地理院ホームページ

【2011 年 9 月 13 日受付】



図書案内

PC 技術規準シリーズ

コンクリート構造設計施工規準 — 性能創造型設計 —

定 価 4,000 円／送料 500 円

会員特価 3,400 円／送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
技報堂出版