

東日本大震災復旧工事等における迅速な復旧工事 を行うための施工側からの考察

大場 宏樹

正会員 仙建工業株式会社（〒980-0811仙台市 青葉区一番町二丁目12-13）

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震、平成23年4月7日に発生した東北地方太平洋沖地震の余震により、宮城県北部の土木構造物は大きな被害を受けた。道路や鉄道はいち早く被災地へ救援物資を輸送するインフラであり、避難路や救助・救急医療・消化活動及び被災地への緊急物資の輸送路として非常に重要な役割を担っている。橋梁もその一部を担うことから、迅速な機能回復を行う必要があった。

しかし、材料、労働力、機械、燃料、食料が十分でない条件下での施工であったため、構造物に十分な機能を持たせるまでの施工ができたかという確固たる自信を持っていないのが正直な気持ちである。一方、復旧工事を行う中でこれまでの経験や仕様書で示された内容が生きていると感じた場面もあった。

今後も本邦は繰り返し地震が発生し、橋梁を始めとする土木構造物は何度も地震力を受けることになる。本稿が将来復旧工事を実施（設計・施工）する方々にいくらかでも役立っていただければ幸いと思い、災害復旧工事を実施する中での思いを記す次第である。

2. 迅速施工を妨げる要因と解決策

(1) 3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震 直後の状況

a) 変状実態を把握するのに時間を要した。
震災を受けた土木構造物は、線状に点在し、

橋りょうの桁形式だけを取り出しても、コンクリート桁構造（P C構造、R C構造）や鋼桁構造、複合構造などがある。また、構造形式的に見ても単純桁形式、連続桁形式、ラーメン構造形式等と各種構造形式が存在する。そのような中、各々の橋りょうで破損や変状が発生した部位で分類すると、橋脚部、桁部、杓座部、ラーメン構造の柱部、中層梁部などさまざまであった。

災害が発生時点からできる限り短時間で、各々の橋りょうの変状実態情報を正確に把握し、応急工事の方針を決定するかが迅速施工を左右する第一歩と言える。

b) 調査員、作業員の確保が困難であった。

作業員の自宅が被災しており、食事の確保もままならない状況にあった。加えてガソリンを初めとする燃料類が供給停止（ガソリンスタンドが被災し、ガソリン等をくみあげられない）状態となり、被災状況調査は勿論、通勤さえも不能となる状況となった。そのため、山形からガソリンの輸送を試みたが、除雪の時期と重なったため、思うように納入できない状況であった。そのため各個人（社員）の人脈を頼りに調査員や作業員の確保をおこなったり、燃料調達班を新たに組織しガソリン等の燃料を必死にかき集めた。

c) 資材料、燃料等の入手が困難であった。

鉄筋、生コンなどの主要な材料を始めとする工事に必要な材料は、その貯蔵設備（鉄筋貯蔵倉庫）、生コンプラントも被災し、出荷できない状況であった。そのため、宮城県外で被災の比較的少ない地域、たとえば山形地区などからの調達を行ったが、現場搬入まで

の待ち時間が多く、現場待ちを余儀なくされた。また、生コンは遠距離搬入が無理であったため、プレミックスモルタルを用いて復旧工事を実施せざるを得なかった。

d) 使用できる機械が限られた。

材料同様、使用機械も輸送が困難であったこと、一斉に復旧工事が開始されたため、使用できる数に限りがあった。そのため、被災規模が少ない地域からの資機材の搬入を余儀なくされた。

e) 補修設計決定の遅れがあった。

設計者（意思決定者）が現場に向かっていくが、交通手段がなかったり交通渋滞などが相次いっただこと、また被災状況実態把握の遅れなどで補修設計が決まらない。

f) 補修に工事着手ができない状況があった。

橋りょう構造物としての特性として、他管理者の用地を一時占有しているのが現状であり、またその補修には、仮受け用ベント材の設置、足場の設置、クレーン等の搬入路の設置など他管理者の了解を伴う。大地震等の災害発生直後は、国交省をはじめ地方公共団体、JR等の管理者は、自分の受け持つ構造物の被害状況把握情報収集、復旧工事の指示に追われ、他管理者の要望に答えている余裕や暇がない状況に置かれる。通常行うべき土地等の使用許可手続きを簡素化すべきである。

以上が迅速な復旧施工を左右する要因である。

(2) 4月7日に発生した余震発生直後の状況

宮城県北部での4月7日に発生した余震発生直後の状態は、3月11日の地震発生直後と比べ、各現場に作業員が配置していたため変状実態把握に時間を要しなかった点でいくらかは改善されていたものの、調査員、作業員の確保の困難や資材料、燃料等の入手、また使用機械や使用機材の調達の状況は3月11日からあまり改善がなされない状況であった。

(3) 首都圏その他の地区からの応援

上記のように必要な物資等の調達が困難であったが、首都圏やその他の地区からの積極的な支援をしていただき、感謝する次第である。

3. 地震波の特徴と構造物の特徴的な損傷

(1) 地震波の特徴

3月11日発生の東日本太平洋沖地震と4月7日発生の余震のMYG004（築館）とMYG006（古川）の最大加速度を表-1に示す。

表-1 K-NET. Kik-netにおける最大加速度

最大加速度 (MYG004, MYG006)									
地震発生時刻		2011/03/11-14:46:00.00		震央北緯		38.1°			
マグニチュード		M 9.0		震央東経		142.9°			
				震源深さ		24.0km			
コード	観測点名	緯度 北緯	経度 東経	最大加速度 (ガル)			三成分合成値 (ガル)	計測震度	
				N-S	E-W	U-D			
MYG004	築館	38.729	141.022	2700	1268	1880	2933	6.6	
MYG006	古川	38.580	140.965	444	571	239	586	6.1	
地震発生時刻		2011/04/07-23:32:00.00		震央北緯		38.2°			
マグニチュード		M 7.1		震央東経		141.9°			
				震源深さ		66.0km			
コード	観測点名	緯度 北緯	経度 東経	最大加速度 (ガル)			三成分合成値 (ガル)	計測震度	
				N-S	E-W	U-D			
MYG004	築館	38.729	141.022	1242	886	476	1259	6.1	
MYG006	古川	38.580	140.965	415	478	233	519	5.9	

このデータから3月11日発生の東日本太平洋沖地震は、4月7日発生の余震に比べ最大加速度の値ははるかに大きな値を示している。しかし、体感的には4月7日発生の余震のほうが揺れが大きかったと記憶しており、また、事実、宮城県北部のコンクリート橋梁構造物の損傷数は、4月7日発生の余震によるものが、3月11日発生の東日本太平洋沖地震によるものよりはるかに多く、被害程度也大であった。

この要因は、地震発生機構が4月7日発生の余震は直下型であり、3月11日発生の東日本太平洋沖地震がプレート境界型であったとの違いに加え、3月11日以降4月7日まで多くの余震が発生し構造物に影響を与えていたことや復旧工事の途中であったことで本来構造物が保有すべき耐力まで回復させることができなかったためと考える。

(2) 構造物の特徴的な損傷－桁の回転

MYG004（築館）とMYG006（古川）のほぼ中間地点に線状に位置する橋梁構造物で発生した損傷の特徴は、桁の回転であった。3月11日の東日本太平洋沖地震では、杭構造の橋台を持つ3橋で桁の回転損傷が生じ、また、4月7日の余震では、

同じく杭構造の橋台を持つ新たな6橋で桁の回転損傷が生じた。

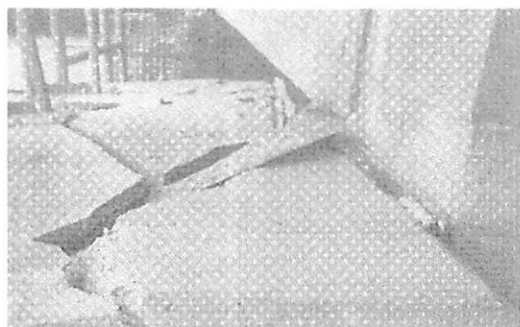
また、本地点より北に位置する地点では、3月11日発生の東日本太平洋沖地震後、杭構造を持つ橋台上の桁は回転が認められなかったが、4月7日発生の余震後で、同橋に桁の回転損傷が生じた。

(3) 迅速な施工の実施例－1

a) 写真－1 は、橋桁の横方向のズレを制限するサイドストッパーの破損状況である。RCサイドストッパーにひび割れや剥離、剥落が生じたこの橋梁では、支承がゴム沓であるため、弾性変形による水平変位が大きくなり、RCサイドストッパーに桁が衝撃した。

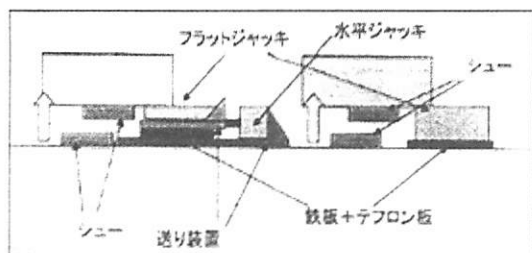
これにより橋軸直角方向の移動制限機能が失われ4.07発生の余震で最大約82mmの桁ズレが生じたが、ゴム支承は弾性範囲内であったため、損傷がなかった。

尚、このような状況であったが、桁そのものに損傷は認められなかった。



写真－1 サイドストッパー破損状況

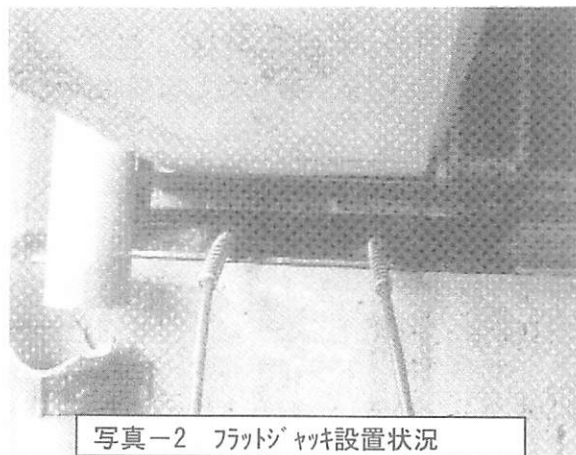
この橋梁の復旧方法は、桁座上に鉄板とテフロン板を布設した上面にフラットジャッキをセットして桁をこう上させた後、水平ジャッキで元の位置まで戻す手順を採用した。



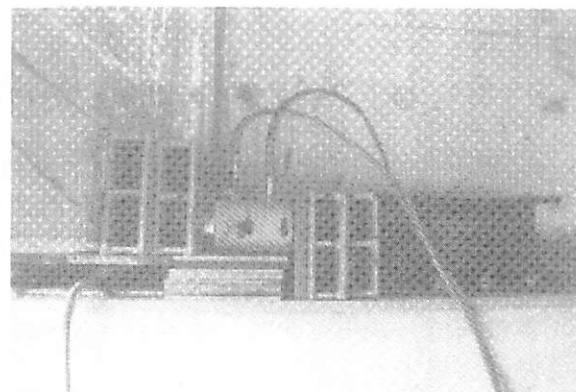
図－1 桁移動の手順

写真－2 は、桁こう上のフラットジャッキを桁座位置に設置した状況であり、写真－3 は桁移動のためのジャッキ等の設置状況であ

る。

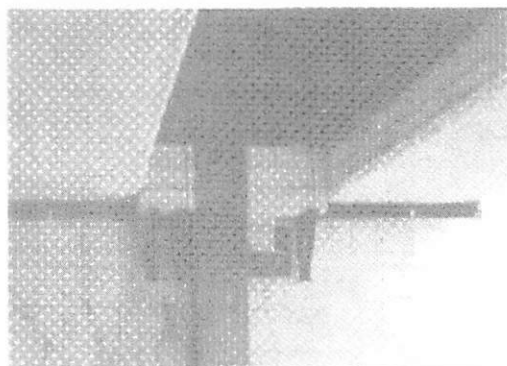


写真－2 フラットジャッキ設置状況



写真－3 ジャッキ、反力体の設置状況

その後、写真－4のようにH鋼と木材によるストッパーを設置した。ここまでが仮復旧と位置づけとなった。



写真－4 H鋼と木材によるストッパー

復旧方法は、破損したRCストッパーを撤去し、鉄筋を再配置してコンクリートに打ちかえるとともに、桁中央部に設置した鋼製ストッパーを抱き込むようにRCによるスッパを構築した。

(4) 迅速施工を実施できた要因－1

a) 入手可能な材料での設計・施工

現場側から設計者に対し、短時間で入手可能な材料の種類の情報と段取替えを要しない施工方法とすることを要求した。たとえば、復旧対応を検討するにあたり、施工側から応急対応で行ったH鋼と木材によるストッパーを木材のみ交換し、その形状を大きく変えることなく、鉄筋を新たに配置した後、ドライモルタルを打設する方法などを提案し、設計者は全てとは行かないまでも条件のなかで、柔軟に設計を実施していった。

b) 桁そのものに損傷が認められない構造物が多かった。

桁そのものに損傷が認められない場合は、大きな処置を必要とせず、上部を共用する対象が安全を確保できる状態と判断されれば、徐行等で共用を開始することができる。本復旧は、共用を開始した後十分な検討を行い、実施することができる。

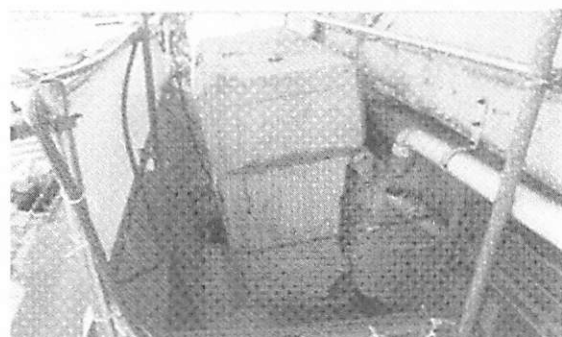


写真-5 迅速施工ができる例
桁本体に損傷なし



写真-6 復旧作業状況

(5) 迅速な施工の実施例－1

a) 図-1は河川を横断する9径間の鋼製板桁であり、3月11日発生 of 東日本太平洋沖地震後、根入れ長約17mのケーソンを基礎とするP5橋台に桁軸直角方向に最大面150mmの変位が認められた。

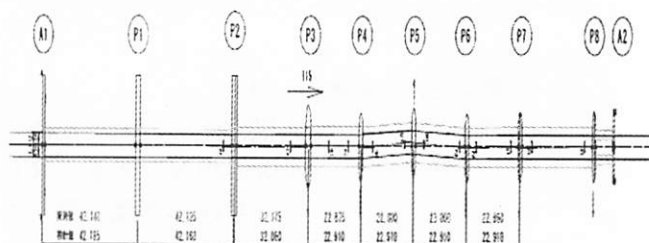


図-2 橋台の横ズレ

(6) 速施工を実施できた要因-2

a) 復旧計画

復旧計画は、橋台もとの位置に戻すことが不可能に近く、多くの時間を要すると判断されたことから、上部工現在の橋脚の中で納める方法に決定された。

b) 橋台製沓アンカーボルトの取替え

アンカーボルトを同一箇所を設置することがやむをえない場合のアンカーボルト長を短くする必要がある。そのため、アンカーボルトの引抜き抵抗力を設計値以上とするために、アンカーボルト下端にワッシャーとナットを設置した形式とした。

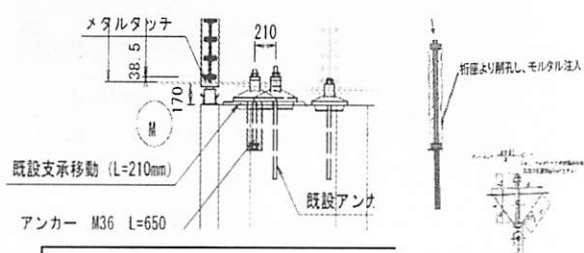


図-3 ワッシャー付きアンカー

また、おのおの主桁間に、桁ズレを考慮した形で、落橋防止装置を設置した。

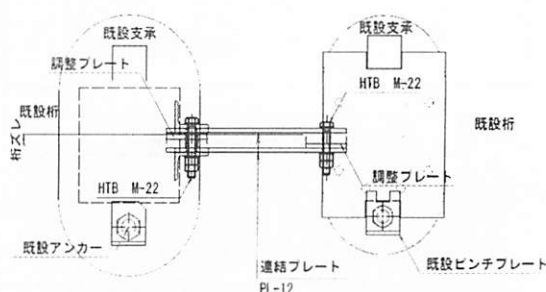


図-4 桁ズレをプレート厚で調整

(7) 迅速な施工にならない実施例

a) 桁本体が重大な損傷した場合

桁本体に重大な損傷が認められた場合は、支点の変更が必要な場合があり、新たな沓を保持するため、桁座付近に縁短拵幅が必要となる場合がある。桁座付近は配筋量が多いため、施工が難航することから、迅速施工にならない。

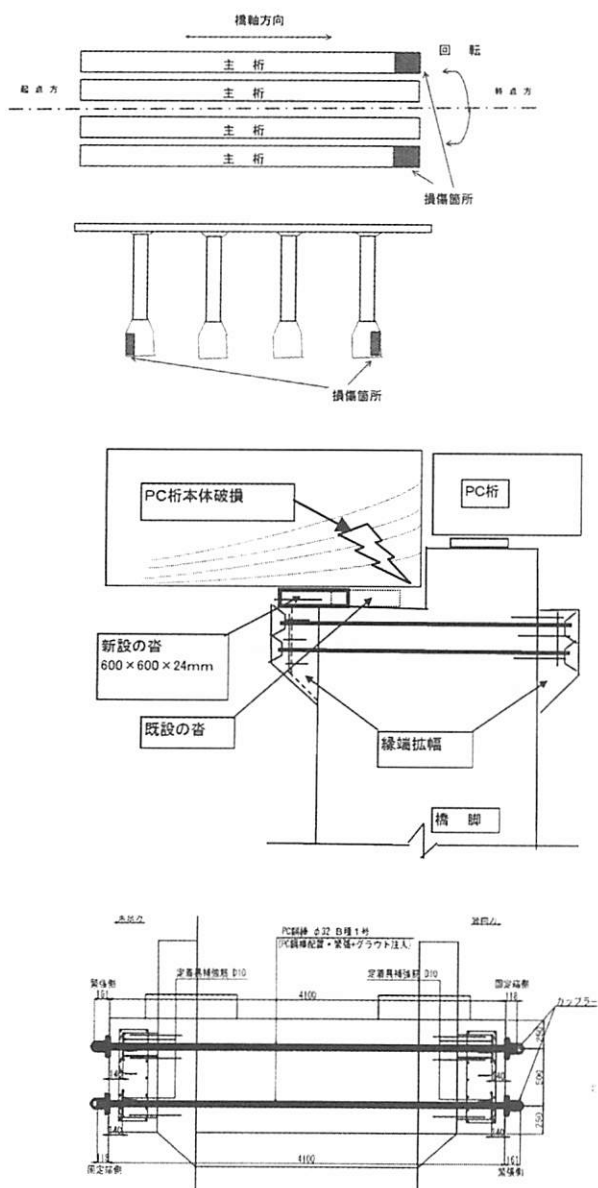
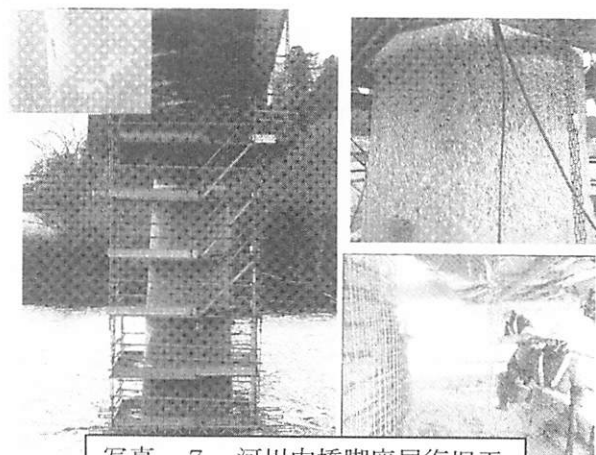


図-5 主桁損傷の場合の復旧

b) 河川内橋脚座屈補修

特に河川内に占有している他管理者の構造物は、施工時期が渇水期に限定され迅速施工を実施できない。従って冬季間での施工となったため、迅速な施工とは言えない。また、施工に当たって河川の仮締め切りや河川の汚

染等を防止するため工夫が必要となる。写真一7は、座屈した橋脚にコンクリート巻き立ての耐震補強を行った例であるが、河川を締め切っての施工が困難であったことから、橋梁上部工から吊足場を設置し施工を実施した。橋脚の既設コンクリート80mmはつきり、新たにFB-4.5×2.5を主鉄筋補強としてアンカー固定で設置、配力筋(D25)を設置した後、クラックバスターを混合した湿式吹付けコンクリートとすることで、コンクリート打設時に発生する高アルカリ性の水分の河川への流入を防止した。



写真一 7 河川内橋脚座屈復旧工

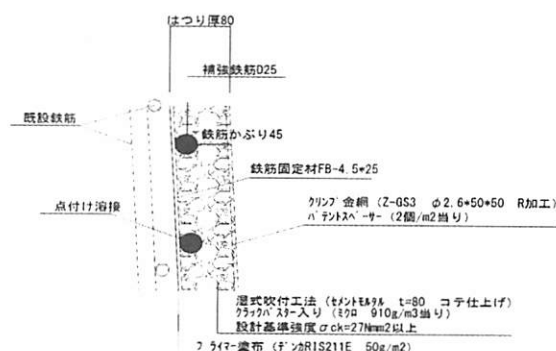


図-6 橋脚コンクリート巻き立て復旧計画

4. 現場施工技術者から見た、迅速な復旧工事を行うための考察

地震による応・復旧工事を行う上で大切なことは、応急工事と復旧工事を分けて考えることがだと考える。まず応急工事を行い、徐行等で共用開始させた後、本格的な復旧工事を行うのが良いと考える。復旧工事を行うなかで迅速施工に有効だったのは、次の２点である即ち、①桁座が確保されていること。②主桁本体に致命的な損傷がないことである。

①は、『道路橋示方書』Ⅴ耐震設計編の落橋防止システムで示されている内容でもあり、桁移動が生じた場合落橋防止に有効であるだけでなく、桁回転の復旧工事での細工のしやすさ、特にジャッキ操作の安定性に有効であった。しかし、桁座に処置を施す場合がほとんどであり、下部工の桁座付近の鉄筋量の多さが迅速施工を妨げるひとつの要因となることは確かであるため、今後、主桁からの荷重の捉え方等に新たな考えを導入ことなどで、桁座付近の鉄筋量を削減するなどの開発を望むところである。②については、壊れるところ、つまり地震力を集中させるべき所を決めておくことが得策と考える。（耐震性能2、橋全体形としての限界状態踏まえ、塑性化及びエネルギーを吸収する部材の確保）構造体全体を剛に固めるのは好ましくない、支障部等で固定がすぎると桁本体中央部でねじれ等が生じ、場合によっては桁交換の必要性が生じて復旧に時間を要することになる。

また、設計手法の選定については、実構造物の壊れ方を見て、性能設計に活用していただきたい。現在の設計業務は、標準的な設計手法に縛られ、そこから抜け出せない状態であるように思う。設計の結果、施工不可能や施工に日数を要する形となることも度々であるが見受けられる。自由度を持った設計を行える機構の構築を望みたい。

また、施工能力を考えた設計ができるような仕組みを構築していただきたい。（通常用いられる材料が入手できない状態であり、重機を用いることができない状態である。たとえば、制震ダンパーやチェーン等は受注生産でありまた、重量が大きすぎることが欠点である。通常の工事でも橋梁工事は、空頭制限がありクレーンの使用が制限され、ウインチ等を併用した人力高所作業となるため、重量に限りあり最大 150kg ぐらいが限度である。）

次に、もう少し構造的に粘りがあれば大きな損傷にならなかった事例として、施工側の問題と考えられる事例がある。

その 1 例めは、主鉄筋段落部においてかぶりコンクリートの剥落と軸方向鉄筋の外側にはらみ出し、主筋の破断と帯鉄筋の外れという事例である。その主原因を探ると、同一断面でガス圧接継ぎ手が施されており、靱性を発

揮できず座屈したと考えられる。

2例めとして、コンクリート構造物のせん断領域のコンクリートの破壊面で確認された事象である。破壊面はほぼ 45 度の角度で破壊していたが、川砂利を粗骨材として使用しており、川砂利自体もほぼ 45 度の面で破壊していた。（骨材の強度が足りず、骨材が持ちこたえられずせん断破壊している）重要構造物の骨材強度の必要性を感じさせる事象であった。

最後に、現場技術者は復旧を想定した応急工事を行うことが必要であり、応急工事から復旧へ手戻りなく進めることを常に考えておく必要がある。これは、通常実施している補修工事経験を有効性に活用することであり、平素から・図面、設計図書のデータベース化・補修暦のデータベース化・教育の実施・これまでの応急工事の復旧事例のまとめ・通常時に行う補修工事事例のまとめを実施すべきである。日頃から、設計者と施工側の意見交換の場が少ないと感じている。今後設計者側と施工者側のコミュニケーションが必要と考える。

謝辞：本考察には防災科学研究所のK-NET、KiK-netの強震記録を使用させて頂きました。関係者のご努力に厚く敬意と感謝の意を表し、厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 防災科学研究所、強震ネットワーク kyoshin Net (<http://www.kyossin.bosai.go.jp/k-net/>)
基礎地盤強震観測網 kibin-kyoshin Network(kik-net) (<http://www.kik.bosai.go.jp/kik/>)
- 2) 張 文進,松崎 裕,川島 一彦：2011年東北地方太平洋沖地震で観測された宮城県における地震動の特性,第14回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集（2011年7月）
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（Ⅴ 耐震設計編）,平成24年3月
- 4) 上村 智彦：特殊形状をしたRC梁・柱内接合部の終局強度と抵抗機構に関する研究に現状,コンクリート工学, Vol. 48, No. 3, 2010. 3
- 5) 堺 淳一, 運上 茂樹：地震により曲げ破壊した鉄筋コンクリート橋脚に対する緊急復旧工法の提案, 土木学会論文集 A 1（構造・地震工学）, Vol. 65, No. 1（地震工学論文集第30巻）, 306－316, 2009