

東北地方太平洋沖地震に伴うゴム支承の応急復旧 — 仙台北部道路利府高架橋 —

三井住友建設(株) 正会員 ○村田 宣幸
三井住友建設(株) 正会員 安藤 直文
東日本高速道路(株) 宮越 信
東日本高速道路(株) 奈良 康平

1. はじめに

仙台都市圏の高速道路ネットワークは、東北縦貫自動車道、仙台北部・東部・南部道路、三陸自動車道および山形自動車道からなる。これらは、仙台市を直径約20kmの環状線を取り囲むとともに、放射状に延びて他都市と接続している。利府高架橋は、仙台市北東部で東北縦貫自動車道と三陸自動車道の間に位置する仙台北部道路の一部であり、2002年に暫定2車線構造で開通した(図-1)。

本橋は平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震の震源地から約200kmに位置し、周辺では1500gal以上(K-net仙台MYG013)の大きな加速度が観測された。本稿では、東北地方太平洋沖地震直後の、大規模余震の頻発する状況で行った応急復旧のうち、主桁移動工事および支承取替工事について述べる。

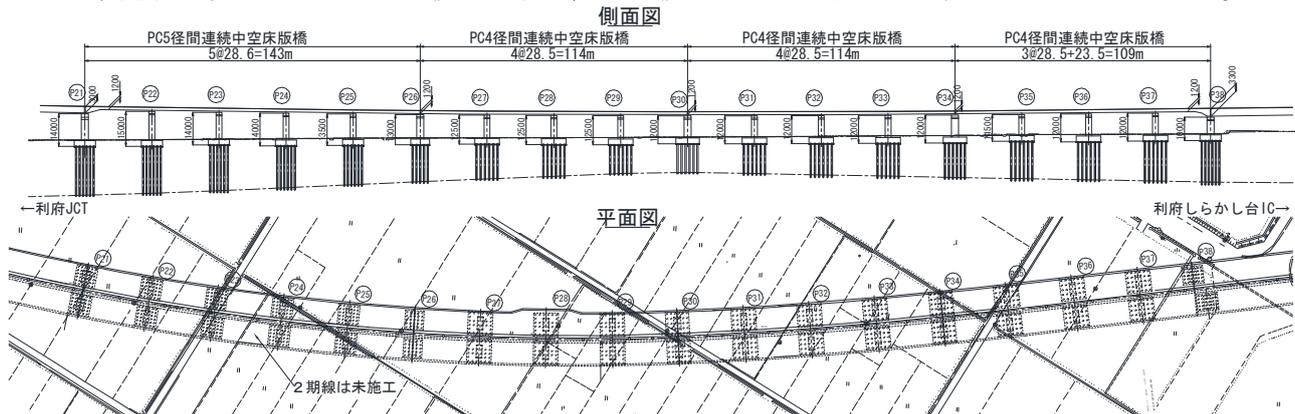


図-1 全体図

2. 構造概要

下部構造はII種地盤上の杭基礎およびRCT形橋脚である。上部工は支間長約28mの4および5径間連続PC中空床版橋が連なる構造である。支承は設計反力約4000kNの地震時反力分散ゴム支承(タイプB)であり、橋軸方向、直角方向ともにレベル2地震に対して水平反力を分散する。ただし、橋軸直角方向については、レベル1地震まではサイドブロックにより固定し、ジョイントプロテクター機能を付与している(表-1)。

表-1 利府高架橋の諸元

路線	仙台北部道路 利府JCT~利府しらかし台IC	
位置	宮城県利府町	
開通	2002年5月	
道路構造	第1種3級	
示方書	平成8年度	
設計荷重	B活荷重	
構造	上部工	PC(5+3@4)径間連続中空床版橋 支間約28m 幅員約10m
	下部工	II種地盤杭基礎、RCT形橋脚
	支承	地震時反力分散ゴム支承(タイプB) 橋軸方向:反力分散機能 直角方向:L1まで固定 以降分散

表-2 利府高架橋の本震以降の対応

日付	利府高架橋対応	備考
2011年3月11日	ゴム支承全サイドブロック破断	東北地方太平洋沖地震発生 M9.0
4月7日	ゴム支承損傷(本体破断等)	大規模余震 M7.2
4月8日~4月11日	被害状況調査	
~4月12日	仮サイドブロック(流用)設置	他社施工
4月12日	応急復旧方針決定	
4月12日~13日	仮受け架台工設置	供用中の施工
4月12日~	鋼製変位制限装置設置開始	供用中の施工
4月21日	ゴム支承の取替方針決定	
4月22日	鋼製変位制限装置設置完了	供用中の施工
4月28日	ゴム支承製作開始	
6月13日~14日	主桁移動	全面通行止め(夜間20時~翌6時)
6月15日~16日	P21R支承取替(鋼橋掛違い部)	全面通行止め(夜間20時~翌6時)
~6月30日	全支承取替完了	供用中の施工※
7月1日~8月12日	足場解体・後片付け工	

※掛違い部は起点・終点側の両方をジャッキアップ

3. 本震以降の対応

本橋は3月11日の本震ではゴム支承本体の損傷は一部確認されたが、大部分がサイドブロックの損傷であった。その後、4月7日に発生したM7.2の最大余震時にゴム支承本体が大きく損傷を受けた。本震以降の本橋における対応を表-2に示す。

4. 損傷状況

4.1 主桁変位

最大余震の後に、上下部工の位置関係を実測した。その結果、上部工4連のうち3連が水平・回転移動しており、橋軸方向に最大35mm、橋軸直角方向に最大100mmの水平変位が確認された。上部工は隣接桁同士でボイド管内に設置している落橋防止装置（PCケーブル）で結ばれているため、桁端掛違い部での隣接上部工間の相対変位は最大15mm程度であった（図-2）。なお、桁遊間部の調査では上部工相互の衝突痕は見られなかった。

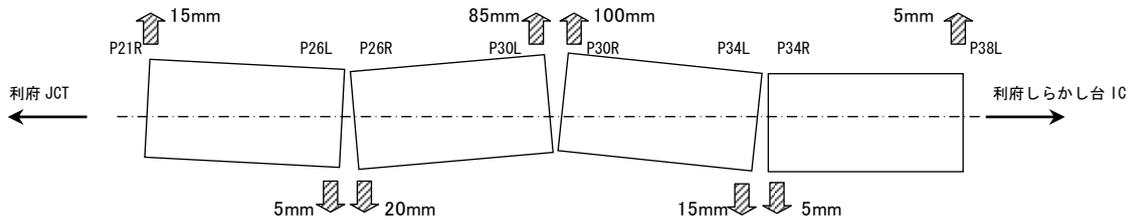


図-2 利府高架橋の支承上下の相対変位

4.2 支承

ゴム支承に近接し、破断やひび割れ状況のスケッチ、破断面量や方向の確認を行った。全42支承のうち、25支承にゴム支承が破断する等の損傷が発生していた。ゴム支承が破断したものや破断していないが大規模なひび割れを生じているものは、ゴム支承の中央付近で損傷しているものが多かったが、上下の端部で破断しているものもあり、一定の特徴は見出せなかった。ただし、いずれも破断面は内部鋼板とゴムとの境界付近で発生していた。破断したゴム支承は完全に直立し、コンクリートのクリープや乾燥収縮による常時のせん断変形が解放されていた（写真-1）。



写真-1 ゴム支承（破断）

また、ゴム支承の腹部にはサイドブロックとの衝突痕が見られた。これらより、本震および余震によってゴム支承に大きなせん断変形履歴を受け損傷したものと推察された。

ゴム支承の損傷程度の調査は、ゴム沓のひび割れが全周に繋がっているかどうかを基準とし、薄鋼板や千枚通しを用いて補助的な確認を行った。ひび割れがゴム支承の周囲に連続していれば、内部も全面破断している可能性が高いと判断した。

上部工4連の42支承の損傷度は、表-3に示す7段階に分類し、緊急性を有する損傷度A~Dの全23支承と試験用の2支承の合計25支承を取り替えることとした（図-3）。なお、被害の大きかったP21~P34間の残りの支承は本復旧工事で取替を行う予定である。

表-3 支承の損傷度

損傷度	ゴム支承の状況	数量	備考
損傷大	A ゴム支承が破断し、ずれが生じているもの	11	取替あり
	B ゴム支承の外観の割れから、内部ゴム層全面が破断していると判断されるもの	7	
	C ゴム支承の外観の割れから、内部ゴム層平面の50%以上が破断していると判断されるもの	1	
	D ゴム支承の外観の割れから、内部ゴム層平面の50%未満が破断していると判断されるもの	4	
損傷小	E ゴム支承の外観の割れから、内部ゴム層の破断が局部的・限定的と判断されるもの	1	取替なし
	F ゴム支承の外観の割れの深さが、被覆ゴム(5mm)以下であるもの	1	
	G ゴム支承の外観の割れや局部的なふくらみが確認されないもの	17	
合計		42	

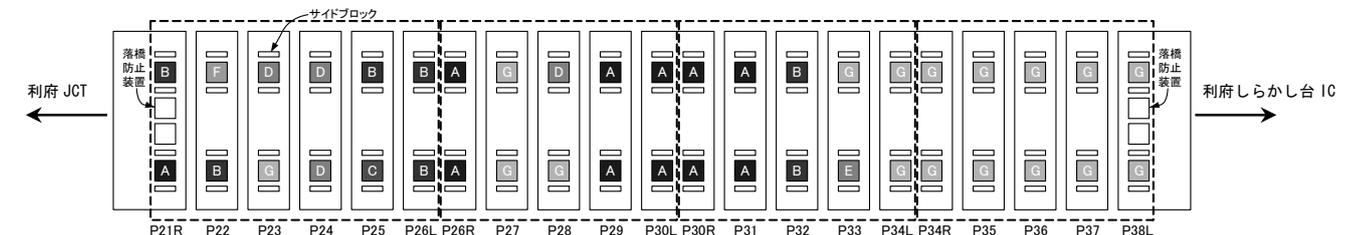


図-3 余震後の支承の損傷状況

5. 応急復旧工事の流れ

5.1 応急復旧工事の流れ

本橋は仙台の環状高速道路の一部であり、被災地への重要輸送路として一刻も早い復旧が求められた。さらに、震度5、6級の余震が頻発する特殊状況下でもあり、耐震安全性を確保するため仮設構造物にもレベル2地震動に対する配慮を行った。図-4にフローを示し、詳細を次項で述べる。

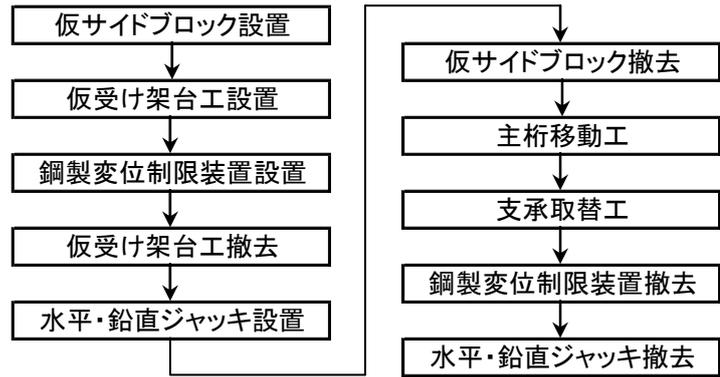


図-4 施工フロー図

6. 施工

6.1 仮サイドブロック設置

3月11日の本震の際にレベル1地震動の水平力で設計されていた支承のサイドブロックは全数ボルトが破断していたが、4月7日の余震に伴い1支承線上の全ての支承が破断していた箇所もあったため、サイドブロック本体を再利用し、溶接にて下沓プレートに接合し、レベル1地震動に抵抗させた。

6.2 仮受け架台設置

1支承線のうち2支承ともゴム支承の破断が確認された4橋脚 (P26, P29, P30, P31) について、ゴム支承取替完了までの余震に対する対応として仮受け架台を設置した (写真-2)。余震によって上部工の変位が生じ支承から脱落する場合の対策である。構造は橋脚天端に山留材によるサンドルを組んだものである。後の緊急変位制限装置や上部工主桁移動、支承取替の妨げにならない位置に設置し、狭隘空間で人力施工により行った。



写真-2 仮受け架台

6.3 鋼製変位制限装置

これらの4橋脚について、ゴム支承取替完了までの余震に対する対策として鋼製変位制限装置を設置した。上部工の横移動を拘束するための鋼部材を橋脚上端に設け、鋼部材はP-C鋼棒で緊結固定する構造とした。施工速度を優先し現場での組み合わせ構造とした (写真-3, 図-5)。仮設構造ではあるが、大規模余震を想定して設計地震力はレベル2地震動相当の3kh・Rdとした。



写真-3 鋼製変位制限装置

6.4 主桁移動

上部工の主桁移動は、20時から翌朝6時までの通行止めで行った。限られた時間内で確実に施工を完了するため、あらかじめ機器の動作や作業手順について確認するとともに、余震に対するリスク分析を行い、緊急停止の作動や連絡体制を含めたりハーサルを行った。

施工は、初日 (6月13日) の夜間に上部工P21R~P26Lの主桁移動を行った。この区間は橋軸直角方向にP21Rでは15mm移動・回転させるものである。作業手順は、上部工を鉛直ジャッキで仮受けし、水平ジャッキに盛り換えて移動させる (写

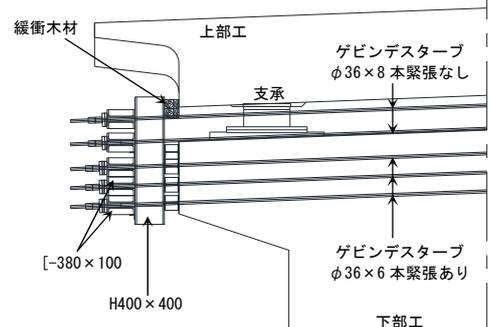


図-5 鋼製変位制限装置断面図

真-4，図-6）。隣接上部工と接触が無く所定の移動を確認した後，上部工反力を鉛直ジャッキに盛り換え，ジャッキダウンし上部工を仮固定した。

翌日（6月14日）の夜間に上部工2連P26R～P30LとP30R～P34Lの主桁移動を行った。この区間は掛違いであるP30の橋軸直角方向変位が大きく，上部工相互は既設落橋防止装置で連結されているため，2連の上部工を同時に主桁移動した。作業手順は初日と同様であるが，作動させるジャッキが2連分となり，移動量も大きいいため，慎重に施工を行った。統括者は，管理室のモニター上で各橋脚の変位計測により上部工の動きを把握しながら，各橋脚の担当者に指示し，2連の上部工全体が予定とおりに回転・移動したことを確認した。

6.5 支承取替

新設ゴム支承は，早急に復旧する必要があるため，既設ゴム支承と同様の機能を持つ地震時反力分散ゴム支承とした。

隣接する鋼橋との掛違い部であるP21Rの2基のゴム支承取替は，ジャッキアップするための鋼桁補強に要する時間を短縮するため，PC橋側のみをジャッキアップする計画とし，伸縮装置の段差が通行車両に影響することから，夜間通行止め（6月15～16日）時に支承取替を行った。

P21R以外の支承取替は通行規制せず行った。作業は，まず鉛直ジャッキで上部工を仮受けする。ジャッキアップ中は変位と荷重の関係，ジャッキアップ完了時は変位量が構造計算で確認された管理値（10mm）以下であること確認した。

本橋のようなタイプBゴム支承の撤去について，完全に破断していない支承には上部工コンクリートのクリープ，乾燥収縮によるせん断変形による水平力が支承の固定ボルトに作用していたが，油圧式トルクレンチでボルトを撤去できた。

撤去する既設支承は，橋脚前面に設けたレール上にある移動架台までレバーブロック等で橋軸方向に引き出し，クレーンで吊上げられる位置まで横移動させて撤去した。その後，既設下沓プレートの露出面をサンダーケレンし，平滑面を確保した。

新設ゴム支承は，撤去と逆の手順で設置位置まで運搬した（写真-5）。上部工のジャッキアップの余裕空間である10mm内に挿入し，平面位置と方向を既設上沓プレートのボルト位置に合わせ，ボルト留めして固定した。その後，上部工をジャッキダウンし新設ゴム支承に反力を移行させ，既設下沓プレートと全周すみ肉溶接して固定した（写真-6）。

7. おわりに

本業務では，頻発する大規模余震のなか，道路管理者と施工者間で密な工程調整を行い，クリティカルパスとなる工程では，人員の集中投入を行い可能な限り工程短縮と安全性確保を図った。本工事のような緊急性の高い業務に関して，本稿が同種工事をさらに充実させる一助となれば幸いである。



写真-4 位置修正用ジャッキ

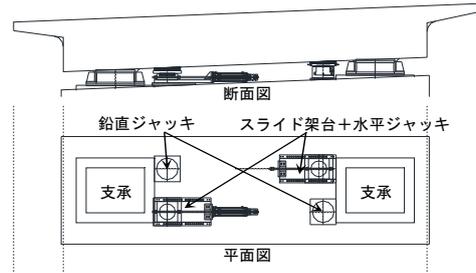


図-6 位置修正用ジャッキ



写真-5 支承取替状況



写真-6 支承取替完了