



エンジニアとしてのチャレンジ

ショーボンド建設(株) (元阪神高速道路(株))

鈴木 威

1. はじめに

1962年、和歌山県東牟婁郡本宮町(現田辺市本宮町)に生まれました。「紀伊山地の霊場と参詣道」として2004年7月にユネスコの世界遺産に登録され、少し有名になったところです。非常に不便なところで、1960年ころに電源開発事業で工事用道路ができるまで実家の前にある熊野川沿いには車道がなく、物資は下流の新宮市から人力の船で運搬されていました。

父親が建設業を営んでいたため、幼少のころから砂防ダムや林道建設といった現場に連れていかれ、中学生のころには夏休みなど作業員として手伝わされていました。和歌山高専の電気工学科に進んだ兄に普通科から大学への進学を勧められ、田辺高校に進学ののち道路建設をイメージして山梨大学の土木工学科に入学しました。

当時、パソコンが市場に出回りだしたころで、富士通のFM7というパソコンをアルバイトで貯めたお金で購入し、橋梁工学実習の単純合成桁は自分でプログラムを組んで設計していました。4年生の卒業研究は桧貝勇先生のコンクリート研究室に入り、ペアの学生のコンクリート梁のせん断破壊実験を手伝いながら地震時にどういった応答をするのかバイリニアモデルを組んで1質点の時刻歴応答解析を試みました。就職は和歌山に戻ることも考えたのですが、最終的に阪神高速道路公団を選びました。

2. 阪神淡路大震災とその後

兵庫県南部地震が発生した1995年は私自身東京の財団法人に出向しており、家族とともに千葉県浦安市に住んでいました。阪神高速の東京事務所では連絡のつかない職員の安否を確認することになり、通信制限のかからない電話回線を使って一人ひとり安否を確認していきました。結果的には職員本人にけがなどはなかったことが確認できました。

1週間後には神戸市長田区の自宅マンションの状況を確認するとともに阪神高速本社に立ち寄りその後の対応を協議しました。出向先の配慮により2月1日から神戸管理部の現地対策本部に詰めることになり、羽田から関空に飛び、船でポートアイランドに渡り、神戸市中央区の神戸管理部に入りました。水や食料は大阪から船で運んでくれるようになっていましたが、夜はオフィスの床に段ボールを敷いて毛布をかぶって寝ました。

フリーの立場だったため朝夕の現地本部会議に参加して議事録を作るようになり、持ち帰ってきた個人のワープロで印刷して会議参加者にすぐに配布しました。とにかく2次災害を起こさないようにということで被災構造物の補強や桁の仮受けなどの実施予定を立てることとその進捗状況を把握することが非常に重要な事項だったわけですが、それらに関するメモに対して会議参加者から発言内容と違っているとクレームをつけられることも多々ありました。他の参加者にも確認して議事内容が間違っていたということはなかったのですが、非常事態の中での情報確認がいかに難しいかを経験できました。

4月1日には神戸線復旧建設部が組織され、工事課に配属になりました。主な内容は工事調整であり、具体的には復旧工事の施工ヤードを確保するために道路管理者や交通管理者の許可を得ることでした。神戸線の大半は国道43号や2号に被さって建設されており、物資輸送路の機能を確保するために昼間は

1 車線、夜間に 2 車線を規制するのが限界でした。そのために復旧工事のスピードを上げることができず、やるせない気持ちでした。

震災復旧工事は阪神高速では経験がなく、被災した構造物を撤去することが難問でした。特に上部工を残置したまま下部工を撤去再構築することは非常に難しく、テルハクレーン、マックスキャリア、パワーリフト、エアーキャスター、RC 橋脚+鋼製梁といった通常の工事では使用しない様々な機械や工法を駆使して各現場の条件をクリアしていきました。

3 号神戸線の撤去構造物は橋脚 311 基、橋桁 183 径間にのぼり、その構造物の撤去および処理が問題となりました。騒音・粉塵などの問題から現地での破碎作業ができないうえに、残塊の受入先の確保も困難であり、また、受入れ条件として鉄筋の混入が禁止されていたためコンクリート塊を破碎して鉄筋を除去する必要性がありました。碎石場所としての借地を自治体に協力依頼し、事業中であったポートアイランドⅡ期と甲子園浜（写真-1 参照）に合わせて 40000 m³の敷地を借りることができました。破碎作業を実施するうえでは環境対策が非常に重要な事項で、騒音規制法、振動規制法および兵庫県公害防止条例に沿うように防音シートや防塵シートの設置などにより対策を行いました。当初十分と思われた敷地も撤去構造物の増加などにより一時的にはあるが受入れ停止せざるを得なくなり、現場の工程に影響を与えてしまいました。分けられた鋼材はスクラップにし、コンクリートは RC-30 などの再生骨材(102200 m³)として復旧事業その他で利用できましたが、構造物の撤去およびその処理が復旧工程を左右するということを痛感しました。

その後、阪神高速の管理部門で東大阪線の木津川のロッキングピア桥梁の耐震補強設計、同じく東大阪線の船場センタービルの耐震補強設計を担当しました。ロッキングピアに関しては地震時にどのような挙動を示すかを解析し、桁の応答変位に対応できるようにピボット支承の可動域を確保するとともに、万が一既存の支承が破壊されても支持できるようフェールセーフ構造を設置しました。設計内容を土木学会地震工学論文集に投稿しましたが、2016 年の熊本地震で九州自動車道の緑川 PA 付近を横断するロッキングピア桥梁が崩壊した後にこの論文が注目されました。以下の論文を参照ください。

https://www.jstage.jst.go.jp/article/proee2005/28/0/28_0_26/_pdf

船場センタービルの耐震補強設計に関しては船場センタービル屋上に建物一体で配置されている RC 橋脚の耐震改善工として、コンクリート造建築物の独立柱の補強工法として実績のある AC 耐震補強工法を適用し、関西道路研究会の優秀業績賞を受賞しました。

2004 年 10 月の中越地震および 2016 年 4 月の熊本地震の際には阪神高速道路の現地調査団の一員として震災直後に被災地に派遣され、道路構造物の被災状況を調査しその結果を社内で報告しました。1995 年の兵庫県南部地震以降国内の橋梁等の耐震性能ははるかに向上しているはずでしたが、特に熊本地震では橋梁の被害状況が想像以上であり、直下型地震への対策の難しさを強く感じました。また、阪神高速道路(株)では兵庫県南部地震で被災した構造物を神戸市東灘区深江浜の震災資料保管庫に保管しており、震災の教訓を活か



写真-1 撤去構造物の処理状況 (1995 年 9 月；西宮市甲子園浜)

すために一般公開しています。私自身、現時点でも被災建造物の説明者として案内を継続しています。

3. ブータンへの2年間の橋梁専門家派遣とその後の海外業務

1998年7月から2年間、JICAの長期派遣専門家としてブータン王国に赴任しました。永久橋梁の設計指導という目的でした。赴任して最初の仕事はブータン南部のインドとの国境沿いにあるブルコラ橋の設計でした。ブルコラ橋は洪水により流失しており、国境沿いのサルパンとゲレフの間が雨季の間通行不能になっていました。次の雨期までに橋を架けるということで橋台2基と橋脚1基を設計しました。上部工は組立て式のベイリー橋です。パソコンとプリンターは携行資材として持っていきましたが設計用のソフトウェアはありません。エクセルの計算コマンドは使いましたが基本的に手計算です。設計計算例を紐解きながら鉄筋コンクリートの断面を設計していきましたが、鉄筋コンクリートの中立軸を求めるのに四苦八苦した記憶があります。派遣先の道路局にはドラフターという肩書の職員はいましたが日本の図面の例を見せるとそんなものは描いたことがないと断られました。やむなく海外青年協力隊で首都ティンプーに滞在していた建築の技術者さんにオートキヤドの手ほどきを受け、図面を作成しました。当時ゼネコンがブータン国内になかったためか直轄事業となり、数量計算、材料発注、現場での型枠作業、配筋、コンクリート製造全て指導しないといけないので参りました。また、施工機械はコンボとアジテーター、ポンプのみ。コンクリート製造もホッパーを作ってアジテーターに投入し練り混ぜるといふ始末で本当にできるのかなという感じでした。乾季とはいえ河床下4mをドライな状態にするため1週間以上ポンプでくみ上げ続けました(写真-2)。

その後ブルコラ橋と同じく流失した橋梁2か所、道路延伸のための新設橋梁4か所、計7橋梁の下部工を設計し、3か所完成、2か所工事中の段階で帰国しました。そのほかにも首都の交差点改良3か所、国立競技場駐車場のレイアウト設計など頼まれたことは対応しました。赴任した時点ではテレビもインターネットも禁止で必要な情報を手軽に得ることができず、日本の建設コンサルタントやゼネコンも皆無でした。一人でできることの限界を思い知らされましたが、その後の仕事への取組みに非常に役に立ったと考えています。

2001年10月にインドビハール州のガンジス川に架かるマハトマガンジー橋(写真-3)の補修設計に関してJICA短期専門家として1か月間派遣されました。対象橋梁は1981年竣工の有ヒンジPC箱桁で120m×47径間の大規模橋梁でした。不具合は径間中央ヒンジ部のゲレンク沓のオスヒンジが伸縮の動きで摩耗しヒンジ部にすき間が生じ、車両の通行によりオス、メス両



写真-2 ブルコラ橋の施工(1999年2月)



写真-3 マハトマガンジー橋(2001年10月)

ヒンジが衝突するようになりオスヒンジの定着ボルトが疲労破壊していました。オスヒンジの摩耗を起こさないようにするのは難しいため阪神高速神戸線京橋 DW 橋のように金属支承を挟むかゴム支承を設置する案を提案して帰国しました。その後どのような対策が実施されたのか確認できなかったが 2017 年時点で当該橋梁の撤去工事が始まっています。

2001 年以降 10 年近く国際業務から遠ざかりましたが、2010 年エチオピア、2013 年ケニア、2015 年モロッコ、2017 年ミャンマー及びフィリピン、2018 年ネパール及びブータン、2019 年中国とそれぞれの国での業務が続き、延べ 25 回、約 300 日の海外出張に出向きました。案件の内容は橋梁設計基準の改定、新設道路の設計、橋梁の維持管理計画、橋梁の耐震対策、橋梁の補修補強と多岐にわたりますが、フィリピンとネパールの案件では JICA の ODA 案件形成チームに加わり、円借款事業の立ち上げにかかわることができました。フィリピンでの道路拡幅事業は 100 億円程度の円借款事業に結びつきましたが、ネパールの道路拡幅事業では 1 年近い交渉にもかかわらず契約には至りませんでした。ネパール側は事業費の安い中国の提案を選んだようで国際協力の難しさを感じました。2019 年に担当した阪神高速技研(株)での中国事業は 2020 年 1 月に発生した新型コロナウイルスの影響により渡航もままならなくなり、2024 年には事業から撤退することになりました。最後の出張になったブータンの橋梁維持管理能力向上プロジェクトでも新型コロナウイルスの発生により 2 年間の業務期間延長を余儀なくされました。しかしながらブータン政府側とのプロジェクト会議で強く推奨していたメイソンリー基礎+ベイリー橋の架替え事業に進展が見られ、架替え完成橋梁 23 か所、着工 14 か所という素晴らしい成果を確認することができました。

4. 道路構造物の補修補強、改築事業等

阪神高速道路(株)大阪管理部、保全交通部、大規模更新担当部長時代には様々な補修・補強・改築事業等に関与することができた。以下に特徴的な事業について述べます。

4.1 鋼製橋脚隅角部疲労亀裂対策

鋼製橋脚隅角部は構造的な応力集中箇所であり、梁および柱のフランジやウェブの鋼板が交差しているため、溶接が集中する箇所でもあります。この箇所は板組が複雑なことから溶接が難しく、溶接内部に不溶着部が生じやすい構造となる場合があります。隅角部の溶接に対する検査方法も超音波探傷試験等が導入されるまでは目視検査が主体となっていた時期が長かったことから、製作時における低温割れなどの微細な損傷や溶接内部の不溶着部の発見は困難であったと考えられます。

鋼製橋脚隅角部の疲労損傷は昭和 57 年に神戸線の T 型橋脚で発見され、その後平成 10 年の池田線の点検でも発見されました。他団体での損傷事例の報告などもあり、平成 14 年度に一斉点検が実施され、隅角部を有する鋼製橋脚 1199 基のうち 141 基に損傷が発見されました。発見された損傷に対し、き裂発生位置や応力状態、き裂の長さに応じて優先順位を付け、30mm 以上のき裂に対しては補修補強を実施し(写真-4)、それ以外のものについては進展を監視しながら計画的に対策を行いました。



写真-4 鋼製橋脚隅角部の補強 (2003 年)

き裂の先端は研削して滑らかに仕上げるとともに、活荷重による応力を 50%程度に低減する方針で隅角部に 3 角板を取付けて補強することとしました。補強工事後 20 年以上経過しているが現時点までに補強箇所でのき裂の進展やあらたな隅角部のき裂の発生は報告されていません。

さらに、一連の調査の中で疲労亀裂ではないと思われる損傷が大阪西宮線の大 P88 で見つかりました。亀裂個所を切り出して詳細に破面を調べたところ、衝撃的な力が加わった時に発生するシェブロンパターンが確認され、兵庫県南部地震による亀裂の可能性が推察されました。詳細については土木学会構造工学論文集に投稿しているので参照ください。(大阪西宮線大 P88 鋼製橋脚隅角部に生じた亀裂の発生原因と補強対策に関する検討：構造工学論文集 Vol.50A、2004 年 3 月)

4.2 喜連瓜破有ヒンジ PC 箱桁橋沈下対策

阪神高速道路 14 号松原線の喜連瓜破高架橋は、1979 年に建設された。「有ヒンジラーメン橋」という構造で、設計計算が容易で経済的でもあったため 1960 年代から 70 年代にかけて多く採用されていました。中央部にヒンジという蝶番のような部分を有するのが特徴です。ところが、このヒンジ部分が徐々に沈下してきていることが明らかになりました。

もともと構造的にクリープという現象である程度の沈下は予測されていましたが、一定期間が経過すると沈下は収まると考えられていました。ところが 20 年以上経過しても沈下は収まらず、2000 年当時で年間 5 mm、建設当時からの沈下は 30cm にも達していました。高架橋の真下は交通量の多い喜連瓜破交差点、長期間の通行止めをすることもできません。そこで、2003 年に 14 号松原線の通行止め工事に合わせて沈下対策工事を行うことになりました。

2000 年には、すでに有識者も参加した保全交通部の検討委員会（工務部設計課時代に参画）でいくつかの補修案は出ていました。しかし、沈下の原因が完全には特定できない中で補修案を検討しなくてはならないため、委員の意見は大きく分かれていました。最終的には「基本的な構造形を変更させないで済む」「補強後に万一垂れ下がりが進行した場合、ケーブルの緊張を強めることによって再度調整できる」「工事期間が短くて済む」などの理由により私自身が考えていた「下弦ケーブル案」を採用することになりました。

2002 年 7 月の異動で大阪管理部に配属になり、2003 年 10 月の通行止め工事に間に合わせるべく概略設計をして工事発注し、工事の中で詳細設計をしながら交通管理者や道路管理者との協議を整え、足場架設、水平支承設置、ストラット設置、ケーブル架設を通行止め工事までに終わることができました。通行止め工事期間中にケーブルに張力を導入しましたが、ストラットに偏った力が作用しないように 4 本のケーブルの両端、8 基のジャッキに 8 ステップに分けて均等に張力を導入していきましました。ストラットの各所にひずみゲージを貼って応力状態を確認しながらの作業となりましたが、何とか計画張力



写真-5 下弦ケーブルによる喜連瓜破橋の補強 (2003 年 10 月)

の700トンまで緊張することができました(写真-5)。

張力導入による桁の上昇は設計計算上45mmでしたが、実際には41mm回復できました。その後大規模更新事業となって通行止めするまでの19年間沈下は進行せず、初期の目標は達成できたと考えています。検討結果等に関しては2004年のIABMAS(International Association for Bridge Maintenance and Safety)に「Countermeasure Using King-post Cables Against Subsidence of PC Box Girder With Central Hinge」と題して発表しました。当時のいきさつについては阪神高速道路(株)のホームページを参照ください。

<https://www.hanshin-exp.co.jp/company/skill/library/mainte/22203.html>

4.3 空P27 負反力対策

阪神高速11号池田線梅田付近の元国鉄貨物ヤード上に設置された3径間連続鋼床版曲線箱桁橋(空港線上りP27～空上P30, 1箱桁2支承橋)は周辺状況との関係上構造的に制約があり、3径間連続桁としては変則な支間割(60m+100m+40m)や斜角74度(空上P27上)を有する曲線桁橋となっています。このため、当該橋梁端部に位置している空上P27は建設時より常時で死荷重負反力が生じる状態になっており、桁と橋脚梁を負反力抵抗用のタイバーで連結するなどの対策をとっていました。荷重条件の厳しさからタイバーや支承の損傷が続き、様々な対策が講じられたが問題の解決には至っていませんでした。空上P27における過去の支承の損傷発生状況から、死荷重負反力状態に加えて通常走行状態での活荷重載荷による負反力の変動が支承の損傷発生に影響を与えていると予想されたため、新たに当該橋梁に隣接する梅田入路の梅田入P3橋脚側面に新設ブラケットを設置し、中央径間(空上P28～空上P29間)に新たに支点を設け、支承高さを調整することによって端支点の空上P27での負反力を解消することができました。

検討開始当初は公園として再整備された空上P28～空上P29間に新たな橋脚を設置しようと考えていましたが、活荷重だけを受け持つだけなら梅田入路の橋脚を活用できるのではないかということになり具体的な構造を検討しました。既設の箱桁内にダイアフラムを設けて曲線外側のウェブだけを支持するなど非常に特殊な構造だったのですが、その後支承などに損傷は発生していません。

4.4 本線料金所撤去に伴う料金所設置設計

2017年の阪神高速道路の対距離料金制への移行による本線料金所の撤廃に伴い、湾岸線の末広、助松ジャンクション、泉大津などの各入路では新たな料金所の設置が必要となりました。概略検討の段階では末広および泉大津の入路では桁を撤去して新たに料金所を設けた桁を架設する計画になっていました。入路の始端と終端の間にフラットな料金所勾配を確保できないと判断されたいたためですが、一般街路との接続点を嵩上げすることによって土工部に料金所を設けることを可能にし、桁の架け替えを回避しました。また、助松ジャンクション北行きでは浜寺水路内に橋脚を立てて桁を拡幅する計画になっていましたが、料金所ブースの幅を極限まで小さな構造に変更して既設桁内に料金所を配置しました。これらの変更により各入路の通行止め期間を大幅に短縮するとともに事業費も1/4程度に縮減することができました。

5. 設計基準改定等

阪神高速道路では騒音や振動の問題に対処するために神戸山手線や淀川左岸線、大和川線などで開削トンネル構造を採択する路線が増えてきました。開削トンネルのコンクリート断面は厚くなり、マスコンクリートの温度応力ひび割れとそこからの漏水が大きな課題となっていました。開削トンネルの外周に

は防水層が設けられていましたが、地下構造物のひび割れからの漏水を止めることは至難の業で、ひび割れを発生させない抜本的な対策が求められていました。

2000年7月に工務部設計課に配属になったときに当時注目され始めていた低熱ポルトランドセメントの採用を検討し、3次元FEM解析でひび割れ幅を予測するとともに、神戸山手線で建設中の開削トンネルの中壁を用いてその効果の検証を行いました。同一断面で同時期に従来通りの施工と比較し、コンクリート内の温度上昇を70度から50度に低減できたとともにひび割れの発生状況を劇的に改善できました。検証結果は2002年のfib (International Federation for Structural Concrete : 国際コンクリート連合) に「A STUDY ON THERMAL CRACK CONTROL OF THICK CONCRETE WALLS」と題して発表するとともに、阪神高速道路の「マスコンクリートの温度ひび割れ対策マニュアル」に反映させました。

その他、新耐震基準対応の「機能分離型沓」に関する検討、狭隘な施工か所での「鋼-コンクリート複合橋脚」に関する検討、鋼製橋脚アンカー部の設計合理化・構造簡素化の検討、土木工事数量算出要領の改訂等、主に鋼構造、コンクリート構造に関する基準等の改定に取り組みました。

6. おわりに

1985年の入社以来、建設部の設計課8年、管理部の設計課2年、出向時代の設計担当4年、本社設計課7年と大半を設計関連の部署で仕事をしてきました。この間、コンサルタントやゼネコン、橋梁メーカーの技術者から設計の基本を教えていただくとともに、諸先輩や同僚、部下の方々にいろいろ助けていただきました。特に2000年に担当となった阪神高速道路技術審議会のコンクリート構造分科会および鋼構造分科会において、阪神高速道路が抱える様々な課題解決に向けてご指導いただいたことが非常に大きな経験となりました。前述の様々な問題に対処できたのも分科会や各委員会に諮って議論いただいたからこそ実現した案件がほとんどです。分科会や各委員会でご指導いただいた先生方には感謝の念に堪えません。淀川左岸線土留め崩壊事故など失敗したことも多く経験しております。道路や橋梁の建設・維持管理といった限られた分野ではありますが、技術継承などの場面でお役に立てればと考えております。

(2024年10月)