

南海トラフ地震への備え

減災対策

文責 文野 結紀

土木学会（フェロー会員） 技術士（建設部門）

（2024年4月1日作成）

1.南海トラフ地震の減災の考え方

高速道路の今後の災害対策のあり方（高速道路と自動車 No51 第9号 08. 9・河田教授）から減災という視点で対策を進める必要がある。その対象は大地震によって陸の孤島となる和歌山県への緊急輸送路となる阪和道と和歌山線である。具体的な対象は雄の山の橋梁である。その位置が南北方向に向いているので、橋軸方向の地震力を受けて、右図の橋梁のような崩壊の恐れが十分考えられる。また JR の RC 構造物の地震対策を見ると、RC 構造物の損傷は阪神大震災や新潟中越地震の被害から、柱や橋脚の損傷、支承や桁端や桁座の損傷が中心である（鉄道コンクリート構造物の大地震時の取組み・コンクリート工学 Vol. No1. 08. 1・石橋氏）として、下部工の補強対策に重点を置いている。あの阪神高速・3号神戸線のピルツ構造の高架橋も下部工の崩壊が原因であろう。故に下部工、基礎工、裏込め部、巻込み部、周辺の地すべりのり面に対して、減災・避災の面から対策を講じておく必要がある。

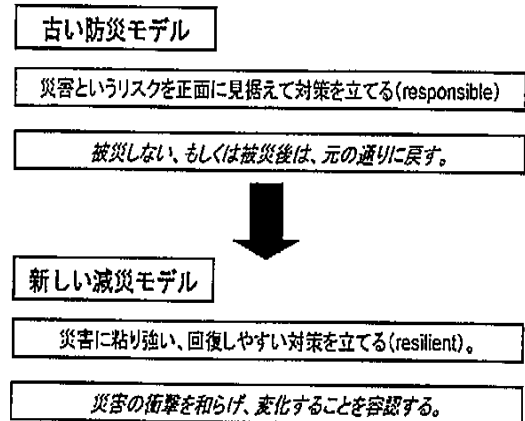


図-1 古い防災と新しい減災のコンセプトの違い

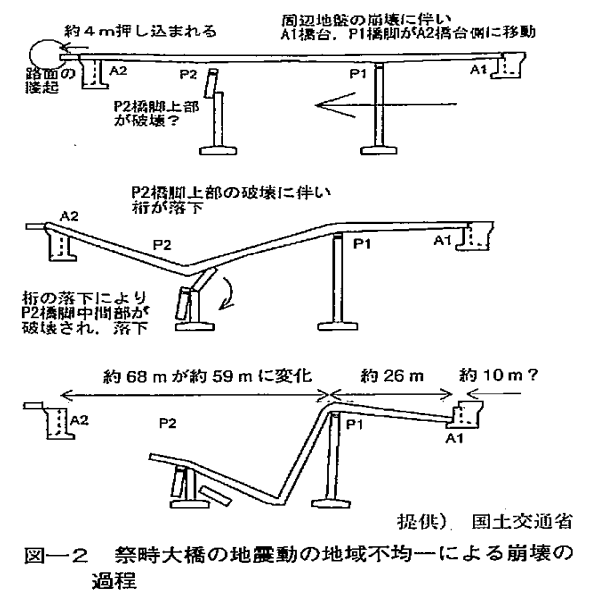


図-2 祭時大橋の地震動の地域不均一による崩壊の過程
提供) 国土交通省

(参考) NHK テレビの巨大地震メガクエイクによると、3号神戸線のピルツ構造区間では、地震波が進行方向（橋軸方向）から押し寄せてきて振れながら崩壊していく様子がCG画面で再現されていた。強固な橋台が設けられていたらと考えてしまう



2. 減災とは何か

高速道路の今後の災害対策のあり方（高速道路と自動車 第51巻第9号 2008年9月）を転載する。

論 説

高速道路の今後の災害対策のあり方

京都大学防災研究所
巨大災害研究センター教授

河 田 恵 昭

まえがき

阪神・淡路大震災から13年と半年を過ぎた現在、わが国だけでも被害地震（負傷者など人的な被害が発生したもの）は91回発生し、震度6弱以上だけでも38回も起こっている。わが国で生活している限り、『いつでも』『どこでも』『誰でも』地震災害に巻き込まれる環境にあると言ってもよい。私は、これに対処するために「ユビキタス減災社会¹⁾」の実現を願っているが、そのなかで、重要な役割を果たすのが、災害時の道路、なかでも高速道路である。本小文では、防災対策から減災対策へと対策の流れが変わりつつある現状で、利用する側の論理から、高速道路の重要性を再確認するものである。

1. 高速道路をめぐる議論で欠如した防災と環境

阪神・淡路大震災のちょうど1年前に発生したアメリカ・ノースリッジ地震は高速道路の重要性を際立たせた災害であった。何しろ、全米で1位の通行量を誇るサンタモニカ・フリーウェイが長期にわたって通行不可能となり、道路交通の障害が最大の理由で、被害額は阪神・淡路大震災の約30%に達した。犠牲者の数が阪神・淡路大震災の

約1/100であるから、経済被害の大きさが目立ったのである。

ノースリッジ地震が起こった当時、わが国の高速道路の関係者には対岸の火事視していた人が多い。1年後に阪神・淡路大震災が起こるわけだが、阪神高速道路5号線をはじめ、名神高速道路、中国自動車道が大きく被災した。これが原因となって、被災地の復旧・復興の長期化をもたらしたことは事実である。しかし、その後に実施された対策は高架高速道路の耐震性の強化であって、地域が地震に強くなるような道路ネットワークの構築までいたらなかった。そして、道路公団の民営化をはじめ、道路特別会計の見直しなど、高速道路の受難時代が到来するのである。

道路関係四公団民営化推進委員会では、高速道路のもつ防災の面をもっと強調して欲しかったし、その分野の専門家が参加できなかったのは残念である。この委員会に唯一の代表を送り込んだ土木学会はともすれば『作る側』に立って議論しがちであり、期待されたのは『使う側』の論理であったことは皮肉である。防災はまさに、使う側すなわち被災者の立場から対策を進めているという現状が未だに学会には理解されていないのではないだろうか。バブル経済の末期に、公共事業に

対するビジョンが欠如したために、魅力を失ってしまった土木学会は、こうして魅力を回復する絶好の機会を失ってしまった。

洞爺湖サミットでも明らかになったように、温室効果ガスの抑制は、先進国と途上国の意見の相違を通り越して、深刻さが増しており、何とかしなければいけないという共通の認識があった。それに輪をかけて、石油価格の上昇は深刻な数多くの問題を世界的に発生させている。高速道路などの自動車交通に起因する温室効果ガス排出量の増大に歯止めをかけなければ、地球環境が駄目になることは誰しもが認めるところであろう。

2. Sustainability の考え方を理解できるのか

欧米の高速道路と違って、災害多発国である日本では、高速道路は生命線である。道路は、電気や通信などの数あるライフラインの中でも、もっとも大切なものである。経済効率一辺倒の議論が道路公団問題を席卷したことは慙愧の至りである。しかも、現在、ヨーロッパ先進国の実体経済の強さ（たとえば、為替相場として円に対するユーロは高止まりのままである）を前にして、わが国の経済強化をもたらす金融政策の展開や経済活性化に関する各種委員会活動が多く散見されるが、どれもこれも過去の成長を取り戻す、すなわち成長率の向上を目標としているようにしか取れないことは惜げないと言える。いま保有するわが国の社会資産を災害で失わないようにすることを平行して考えなければいけないのに、そのような観点は皆無である。首都直下地震や東海・東南海・南海地震が起ってからでは遅いのである。有識者の多くに、Sustainability の意味が理解されていない証拠である。

このような背景では、単純にわが国ではまだまだ高速道路が不足しているという意見はそのままでは国民の共通の価値観にはならないだろう。何をもって不足しているかという論理構成が脆弱だからである。300年の長きにわたる帝国主義の継続とその間の略奪資源にもとづく高速道路や住宅などの社会基盤整備をした英国などと比較して、

高速道路の整備水準がわが国と同程度であることを示す国際比較の図がある。しかし、一度イギリスの地方をドライブすれば、一般道路の高速運転のしやすさ、道路ネットワークの充実などはわが国の比ではない。イギリスでは高速道路だけでなく、一般道路の整備が地方道の末端まで充実しているのである。むしろいま必要なのは、高速道路のトータルな省エネルギーを目指しつつ、高速道路が私たちの生活に、将来どのような夢と希望をもたらすのかという展望と実現のための戦略である。

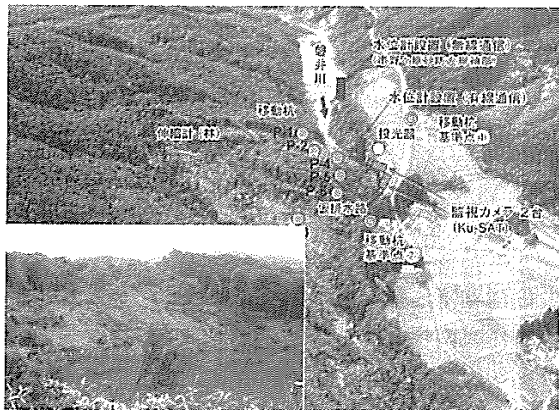
3. 具体的な被災過程と高速道路

たとえば、2050年までの発生確率が80%を超えた南海地震を取り上げてみよう。この地震が発生したときの和歌山県の孤立都市や孤立集落の問題を筆者らは研究プロジェクトとして取り上げてきたが、この地震が発生し津波が襲えば、和歌山県全域が間違いなく孤立することがわかっている。そうすると耐震強化岸壁を活用した海路からの救援とこれと組み合わさった高速道路の活用しか残された交通手段はないのである。この地震は必ず今世紀半ばまでに起こることを考えると、長期的な防災戦略が必須であり、それを実行するしか被害軽減の方法はない。これは三重県や高知県にも通じる事情である。

しかも2008年5月に発生した四川大震災では、人民解放軍などの軍隊しか対応できないことがハッキリした。南海地震が起こった直後も、高速道路や一般道路が至るところで寸断し、陸上輸送に頼っている警察広域緊急援助隊や緊急消防援助隊の被災地外部からの派遣はほぼ絶望的である。自衛隊だけが海路や空路から接近できる可能性を有している。地震時に道路が利用できない理由は、岩手・宮城内陸地震時の写真-1に示すように、地震時に山地や中山間地の道路は、盛土部分は崩壊し、切土部分しかかろうじて通行できないことや、写真-2のように、至るところで山腹崩壊や地すべり、液状化が発生するからである。高速道路も例外ではない。建設年次の古い部分の



写真一 斜面を走行する2車線道路では谷側の盛土部分の車線が地震時に大きく被災する事例



写真二 岩手県一関市の市野々原地先の崩壊と磐井川にできた天然ダム

耐震補強や、橋梁の取り付け道路区間の液状化対策、地震動の地域不均一による複数橋脚間や橋台間の伸縮対策は必ずしも終わっていないからである。

部分的にしか供用できなくても、生き残った高速道路は貴重である。どの部分が通行可能になるのかについての診断は喫緊の課題である。そして、被災自治体や外部からの救援隊が使う側の論理として、どの区間が最低限使用できなければ困るという内容との突合せをやらなければならない。この作業の過程で、現行の高速道路に必要な各種の対策の優先順位が決まるはずである。

そして、このままの状態では東海・東南海・南海地震が起これば、道路の寸断や各種社会サービス

古い防災モデル

災害というリスクを正面に見据えて対策を立てる(responsible)

被災しない、もしくは被災後は、元の通りに戻す。



新しい減災モデル

災害に粘り強い、回復しやすい対策を立てる(resilient)。

災害の衝撃を初らげ、変化することを容認する。

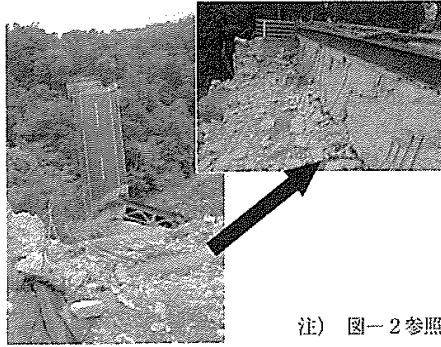
図一 古い防災と新しい減災のコンセプトの違い

の中断によって、中山間地集落と沿岸集落の半数以上で人口が減少したままに戻らず、結局消滅せざるを得ない危険性が顕在化する。2005年のアメリカ合衆国のハリケーン・カトリーナ災害はその典型例であって、教育、病院、交通などに関する社会サービス⁽¹⁾の中断や低下によって、被災後約3年経った現在でも、元の人口60万人が40万人しか戻っていないのである。

4. 古い防災モデルから新しい減災モデルで対策を進める

筆者は、阪神・淡路大震災の後、防災から減災への考え方の変化が必要なことを以前にも増して一層、主張してきた。図一はそれを模式的に示したものである。これまでの防災モデルでは、高速道路は地震が起こればどのような被害が発生するかを事前評価して、その対策を講ずるとともに、被災した場合は原則として原形復旧するというものであった。

これでは、対策はともすれば後手後手になってしまいがちであり、十分なレベルにはなかなか達することができないという欠点がある。そこで、これからの減災モデルでは、地震などの災害で高速道路が被災することを前提にして、対策を進めるのである。たとえば、盛土区間は液状化や大きな地震動で通行不可能になる恐れが大きい。その場合、たとえば、中央分離帯をもつ4車線の上下車線のうち、いずれかの1車線を地震後も通行可能にする補強をするのである。ある区間を4車線



写真一三 祭時大橋の落橋状況とA2橋台の
パラペット部の4m後退した部分

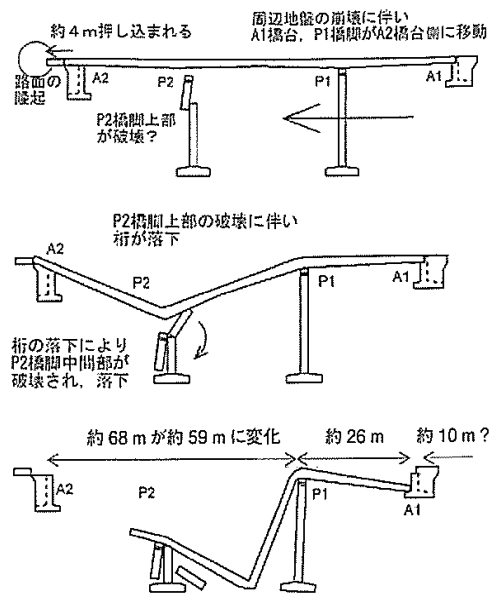
注) 図一2参照

とも生き残れるようにするには、多額な補強費用と長時間を有するからである。1車線でも生き残ればよいという発想である。

また、高速道路が長期間不通になる原因は、高架橋の落下である。阪神・淡路大震災のときの阪神高速道路の湾岸線の西宮大橋がその例である。この震災の後、橋桁が落ちないようにワイヤーによる橋脚との固定作業がほぼ終わっている。しかし、6月に発生した岩手・宮城内陸地震は、その対策では不十分なことを示した。すなわち、地震によって谷合い地形が大きく伸縮し、連続梁の高架橋の橋長全長にわたって坐屈力を受ける、あるいは橋脚に過剰な水平力が働き、橋台や橋脚の破損という事例が祭時大橋で発生したからである。写真一三はその事例を撮影したものであり、落橋の過程は図一2のように推定されている。このような地震時の大変位対策は実施されていない。このような現状では、通行可能状態になるのに長時間を要することは明らかである。少なくとも地震マグニチュードが7を超えるような大きな断層帯の位置は、全国的にはほぼわかっている。その断層帯が横ずれなのか縦ずれなのかの情報をもっと道路の地震対策で生かさなければならない。

おわりに

日常時あるいは災害時に高速道路をめぐる問題は多岐にわたっており、いずれも今後の高速道路のあり方を決める重要な事項である。これらの問



提供) 国土交通省

図一2 祭時大橋の地震動の地域不均一による崩壊の過程

題は個々に独立しているのではない。それぞれが複雑に関係しているといえる。そういう状況では問題を俯瞰的にながめ、バランスの取れた政策の展開が必須となっている。とくに、これまでやってきたような土木工学的な課題を解消する対策を先行させる愚を犯してはいけぬ。そのような虫食い状態の対策の施工が、ネットワークとして運用しなければならない高速道路の本来のあり方と必ずしもなじまない結果を生んでいることを関係者は反省すべきである。これまでのやり方を再考し、問題がわかれば変える勇気も必要である。是非、減災の考え方で対策を進めて欲しいものである。

参考文献

- [1] 河田恵昭, 『これからの防災・減災がわかる本』, 岩波ジュニア新書 603, 2008年8月。
- [2] 阪神・淡路大震災記念 人と防災未来センターの中核的研究プロジェクト, 巨大災害を見据えた地方自治体の災害対応能力の向上。

3. 阪和道（泉南・阪南 IC～和歌山 IC 間）長大橋梁の下部工等の減災対策 （この道路の建設に携わった技術者としての意見を最近の知見をもとにまとめたもの）

3-1.南海トラフ地震への備え

- ① 南海トラフ地震がこの30年間に80%超の確率で発生すると推測され、紀伊半島が甚大な災害を受けることが予想される。その災害時に、北から南への緊急救援物資や災害復旧物資の輸送路が確保されていることが肝要である。
- ② 国道26号線は海岸線に近接しているために津波の被害を受ける恐れがあり、さらに地域交通による大混雑が予想されたため、複数の緊急輸送路の確保が必要である。
- ③ 従って、山地部を通過する高速道路は幹線道路の補完機能としての社会的要請が強まるのは必然で、大きな被害を受けないような対策（少なくとも3日以内に復旧）、いわゆる減災対策が急務となるであろう。

3-2.技術的知見

- ① 雄の山2橋（山岳長大橋梁）の上部工は技術検討がなされて対策工事を終えているが、下部工及び基礎工の対策は十分とは言えない。特にラーメン橋台や深礎基礎（1本または単列）の対策が課題として残っている。
- ② 阪神淡路大地震等からの教訓として上部構造が損傷落下した事例はほとんどなく、下部構造の損傷破壊が主な原因と考えられる。例えばJRのRC構造の地震対策をみると下部構造が中心であり、種々の対策工が実施されているので大いに参考となる。
- ③ 新潟県中越沖地震の報告書の中で「多くの橋梁で地震力が橋軸直角方向に作用した結果、橋軸方向の地震力の影響を受けやすい支承部付近の損傷は重大なものに至らなかった」と指摘し、さらに「連続桁端部の固定支承付近の損傷にも留意すること」と言及している。
- ④ 雄の山地区の橋梁は想定地震に対して南北方向、即ち橋軸方向に起こるので、桁が支承から落下しないように、また桁が橋台に衝突しても橋台および裏込め部が破壊されないような地震対策をしておく必要がある。

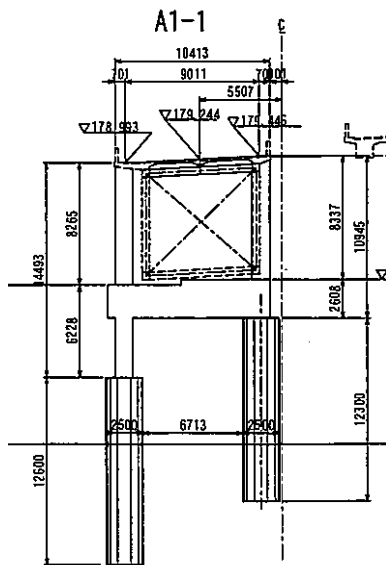
3-3.構造上および施工上から考慮すべき問題点

1) 大型基礎の施工位置と基準高さの問題点

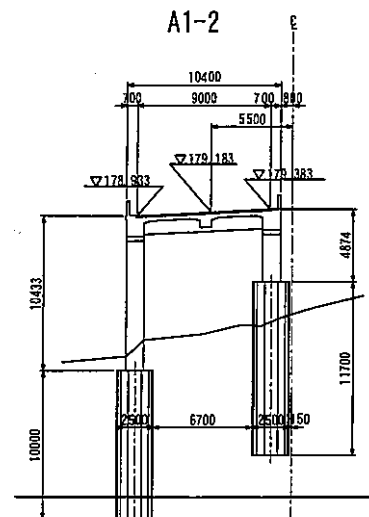
雄の山の橋梁群基礎は、中央構造線の端で地質的に揉まれた軟岩層（腐れ岩と呼ばれていた）に大型基礎が設置された。さらに長大橋梁は工程上からの都合で、基礎の施工時には支承基面を決めて上部工の製作がなされており、基礎が悪い場合には捨てコンクリートを打つか、砕石等の置き換えをして基準高さを確保している。ただし簡易な載荷試験は実施されている。

2) ラーメン橋台の構造と深礎基礎の問題点

- ① 1本の深礎基礎（円形）と1本のラーメン柱（四角形）の接続部はコンクリートの打ち継ぎ部であり、円形と四角形では鉄筋の接続が難しく構造的欠陥となっている。
- ① 橋軸方向の橋桁の衝突に対しては、ハニカムダンパーやブレース材を設置することを提案しておきたい。
- ③ 深礎基礎の施工は井戸掘り工法で、ナメコ板またはライナープレートで壁面を保持したが、外側にはコンクリートがまわらず空隙が生ずる。地震時水平力に対する抵抗力を大きくするために注入等をしておくとよい。
- ④ ラーメン梁は鉄筋が込み合ってコンクリートの密実性に不安があり、坐屈破壊の恐れを防ぐために断面アップ、炭素繊維シートまたは炭素繊維プレートの貼り付けが望ましい。
- ⑤ 境谷橋ではラーメン橋台を RC 床版橋に変更したが、多くのラーメン橋台が施工された。



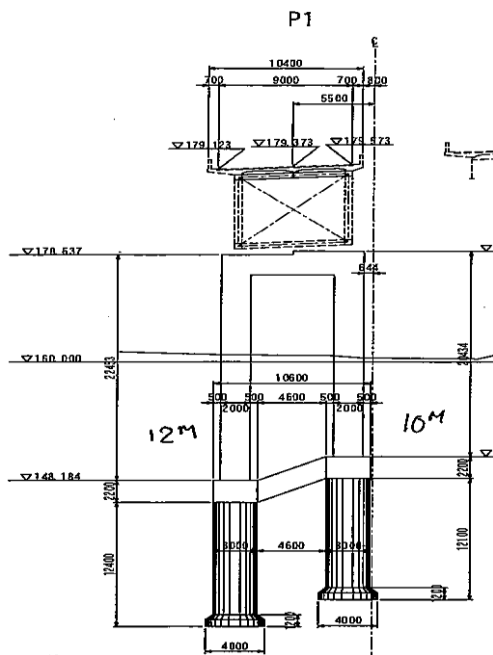
雄の山第一橋のトラス桁受け部



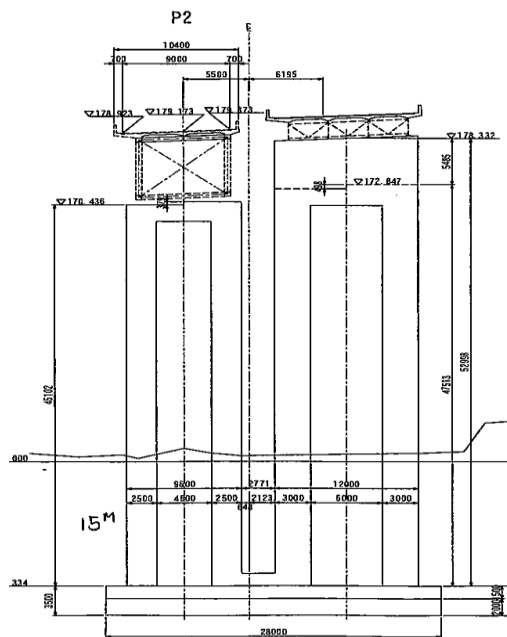
同、次断面のラーメン形状

3) 単列深礎基礎の問題点

- ① 橋軸直角方向に2本の深礎基礎を配列したもので、斜面に対して段差を設けた基礎構造である。低い方の深礎基礎に荷重偏心があつて問題を生ずるが直角方向水平地震力への抵抗があり、崩壊には至らないと考えられる。
- ② 橋軸方向には1列で、1/2つつ分担するように設計されており、振れ偏心でその分担割合が変化して水平力が増大する杭があり、水平地震力に抵抗できなくなる恐れが十分考えられる。グランドアンカーの施工、フーチング巻きたて、深礎基礎へのモルタル注入、斜め PC 材が必要である。



単列深礎基礎（橋軸方向には1列杭）



フレキシブル高橋脚

4) フレキシブル高橋脚の問題点

- ①当初、骨組みに H 形鋼を立て込んだ SRC 構造を提案したが、工費の面から鉄筋換算（1 / 2）ができる L 形鋼となった。コンクリートはフレキシブル構造に対応するため、コンクリートに打ち継ぎ目ができないスライディング・フォームによる昼夜連続打設で施工された。
- ②橋軸方向の揺れを抑えるために、建築物の耐震で使われている手法を検討しておく必要がある。現在は埋め土されており、この地盤面にコンクリート床版を打って、プレキャスト板をスティ（やらず：斜めに取り付けた突っかい棒）とし、橋脚中間点に結節点（ヒンジ）を設ける発想が必要であろう。

5) 橋軸方向の地震力による橋桁の衝突が橋台および裏込め部に及ぼす問題点

- ①長周期の地振動が高層建造物に及ぼす影響として喧伝されているが、長大橋梁にもあてはまるのではないか。
- ②橋軸方向に橋梁全体が一体となって、一方向に移動した後、反対方向に移動することを繰り返して、増幅されていくと、30cm～50cm の橋台パラペット、ラーメン橋台や裏込め土が崩壊する恐れが十分考えられる。隔壁、ブレース材、ストラット材の追加、地盤改良、控え壁、グランドアンカー等の余剰材を設けること、特に橋台後方に砕石を詰めたオープンボックスを提案する。

6) すべての追加補助材は、一度しか起らない巨大地震に対して本体の犠牲になって先に破壊する構造材である、ということを念頭において設計、施工されなければならない。

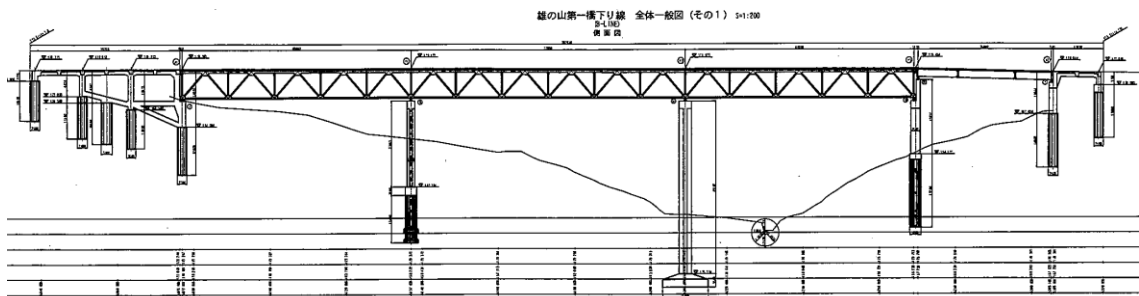
4. 個々の橋梁の減災対策への提言

(雄の山地区の長大橋梁群と中国道宇佐五橋との比較)

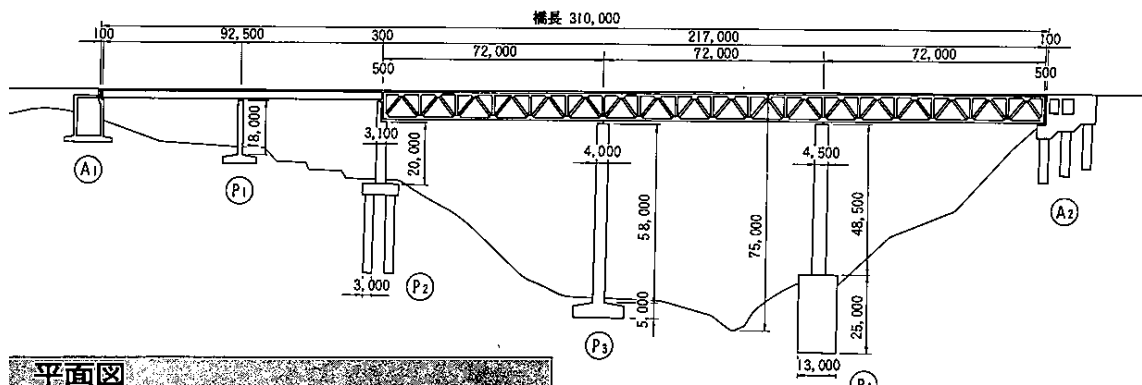
(筆者は若い頃に和歌山(工)構造工事区で雄の山地区を担当し、後年、広島建設局で構造技術課長として中国道の宇佐五橋の施工をみた。両者は計画者(加藤信夫氏)が同じ思想のもとに計画した関係で実によく似た構造形式が用いられており、担当した者として特に架設計画に苦勞すると共に違和感を覚えたものである。)

4-1. 雄の山第一橋の減災対策

阪和道雄の山第一橋(鋼トラス+鈹桁)



中国道浦石川橋(鋼トラス+鈹桁)



コメント

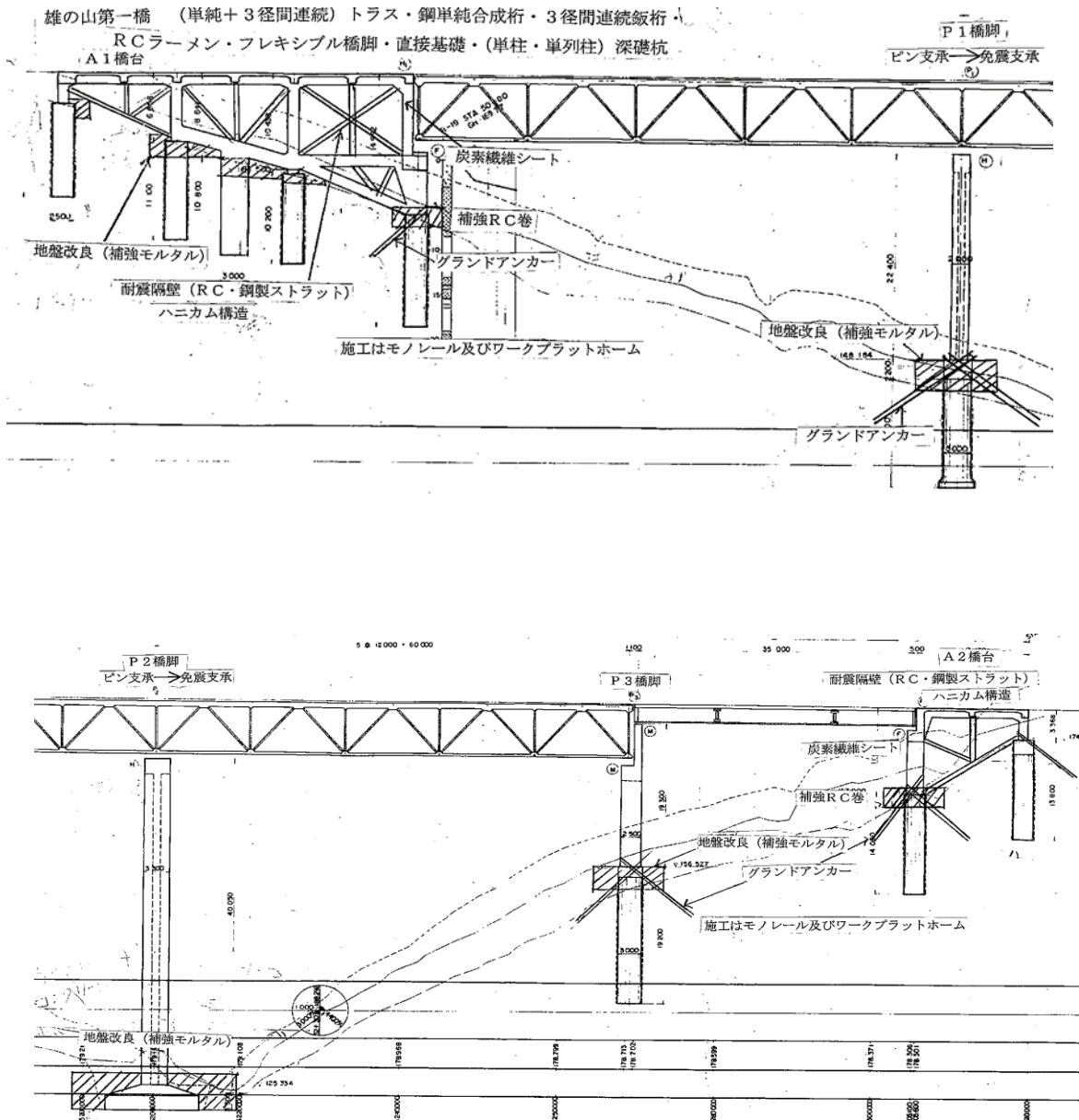
両橋梁にはフレキシブル高橋脚が設けられているが、両地域の大地震の影響度と基礎地盤の地層が相当違っている点を認識しておく必要がある。

トラス部の橋脚基礎は雄の山第一橋が単列(直角方向2本)深礎基礎で、浦石川橋が大口径深礎基礎および4本深礎基礎が採用されている。さらに橋台部は前者が1本深礎基礎の単柱ラーメン構造で、後者が箱式および深礎基礎を有する壁式構造となっている。

対策案

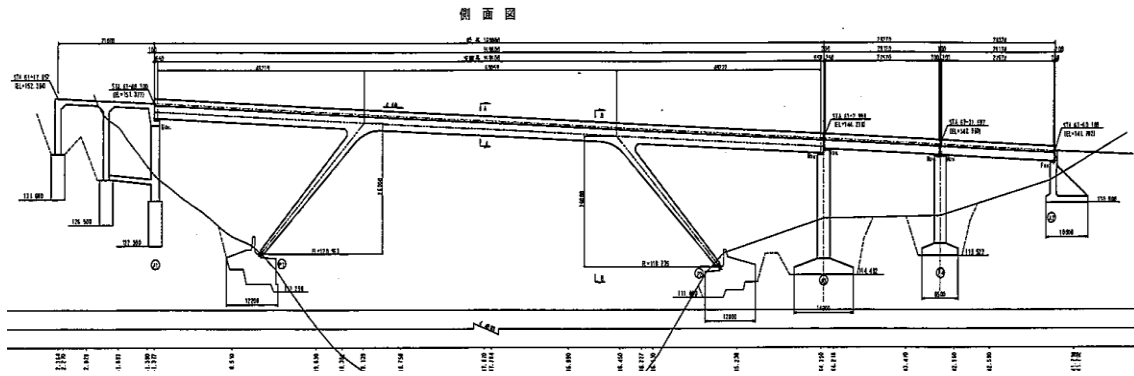
ラーメン耐震隔壁（RC・鋼製のストラット材、ブレース材）、地盤補強改良（モルタル注入等）、補強RC巻き、グラウンドアンカー、プレキャストRC板のスティ（やらず：斜めに取り付けた突っかい棒）を設けて橋脚に結節点（ヒンジ）とする減災工法を提案する。

雄の山第一橋の減災対策概要図

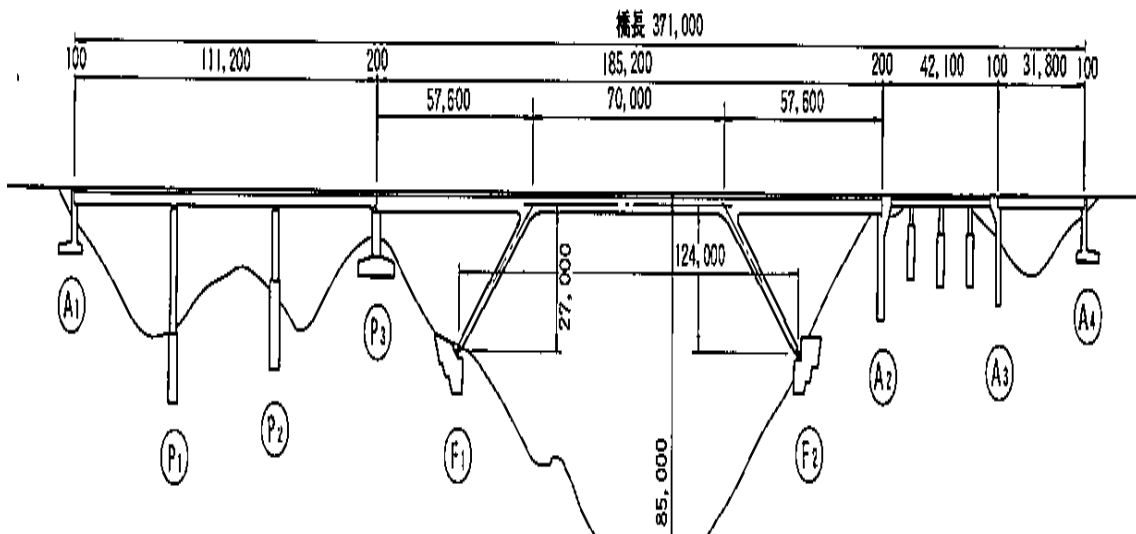


4-2. 湯屋谷橋の減災対策

阪和道湯屋谷橋（鋼方杖ラーメン+鈹桁）



中国道容谷川橋（鋼方杖ラーメン+鈹桁）



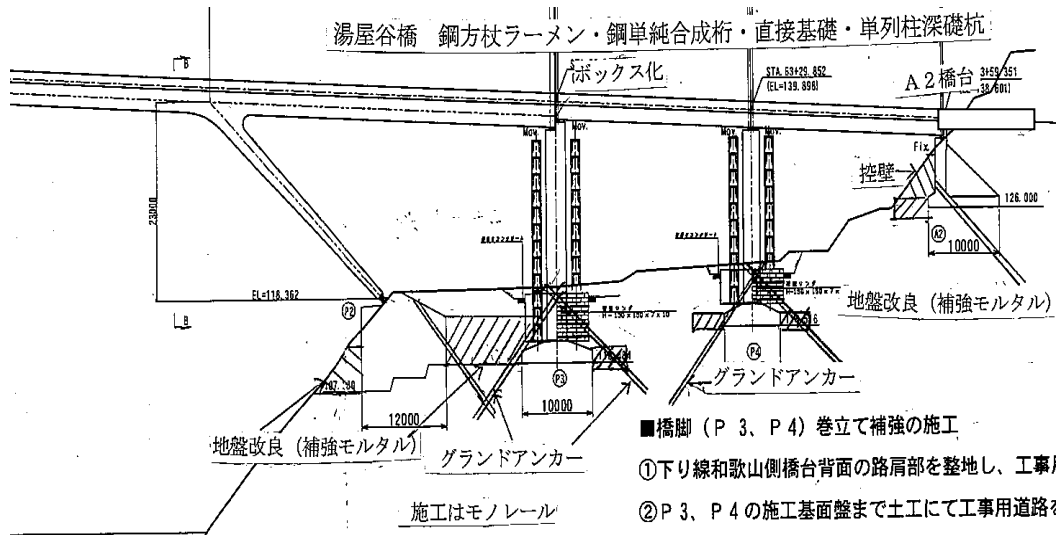
コメント

鋼方杖ラーメンの横断方向の相違をみると、湯屋谷橋がグレードセパレートしている関係で、高さが不揃いで上下線をつなげないが、容谷川橋は同一面内において上下線をブレース材でつなぐことができる。支承は前者がピン支承で、後者がピボット支承で多少不安があるが、地震の影響度の違いから問題はないと考える。橋台は前者が深礎基礎のラーメン構造橋台と控え壁式L型橋台であることで、地震時挙動に構造的問題が残る。

対策案

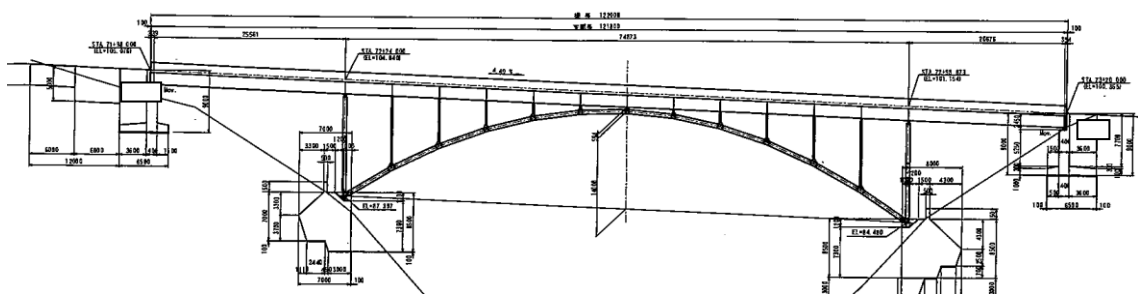
鈹桁端部のボックス化、鋼方杖ラーメン支承部（RCブロック+緩衝材）、地盤補強改良（モルタル注入等）、グラウンドアンカー、ラーメン耐震隔壁（RC・鋼製のストラット材、ブレース材）、控壁の追加、更に橋台後方に砕石を詰めたオープンボックスを提案する。

湯屋谷橋の減災対策概要図

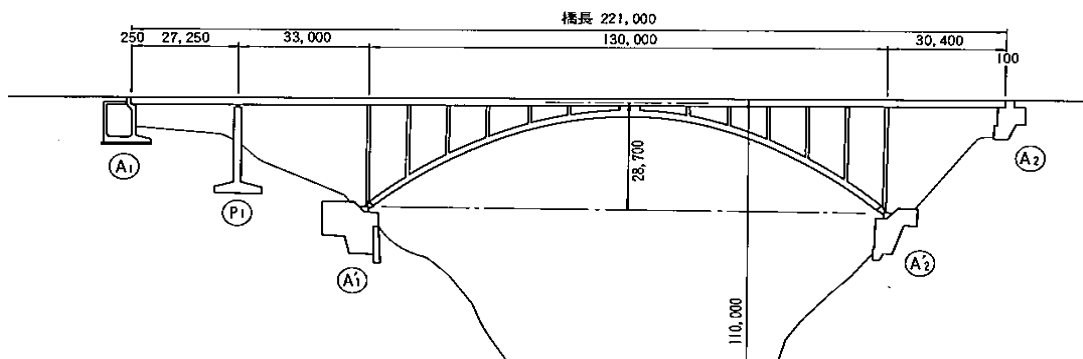


4-3. 西池橋の減災対策

阪和道西池橋（鋼逆ランガー）



中国道深谷川橋（鋼逆ローゼ）



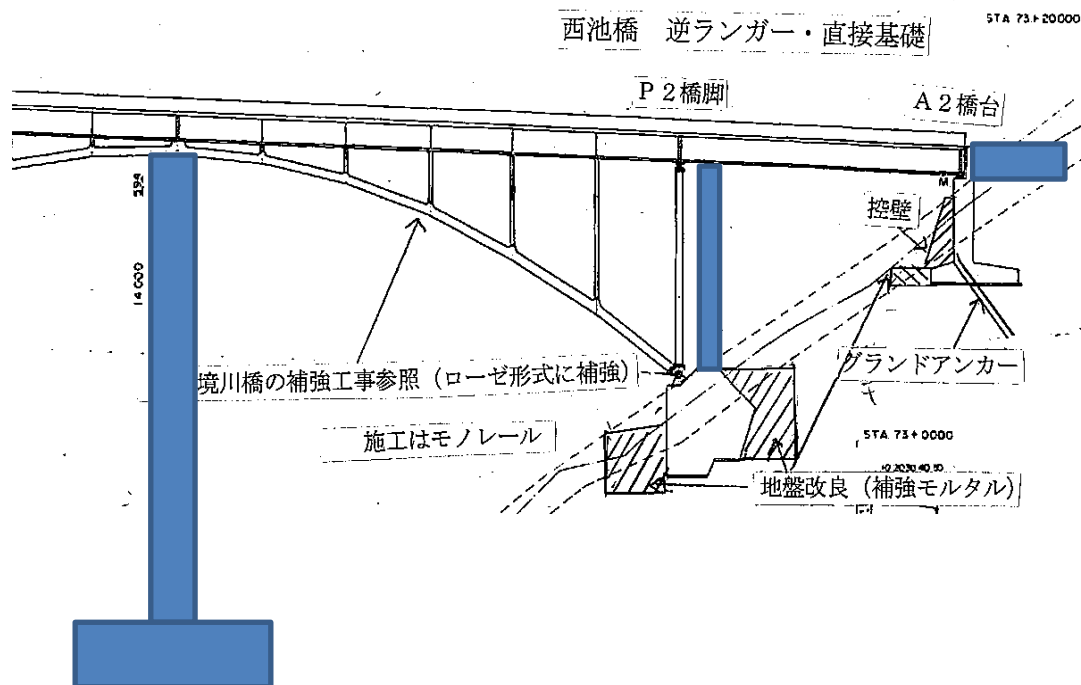
コメント

アーチライズが扁平な逆ランガー形式の西池橋は、構造材の剛度が明らかに不足しており、RC床版の損傷も著しくなっている。支承部の補強と共にアーチ各部材の補強が肝要である。深谷川橋は鋼逆ローゼ桁でその点が解消されて重厚な構造になっている。

対策案

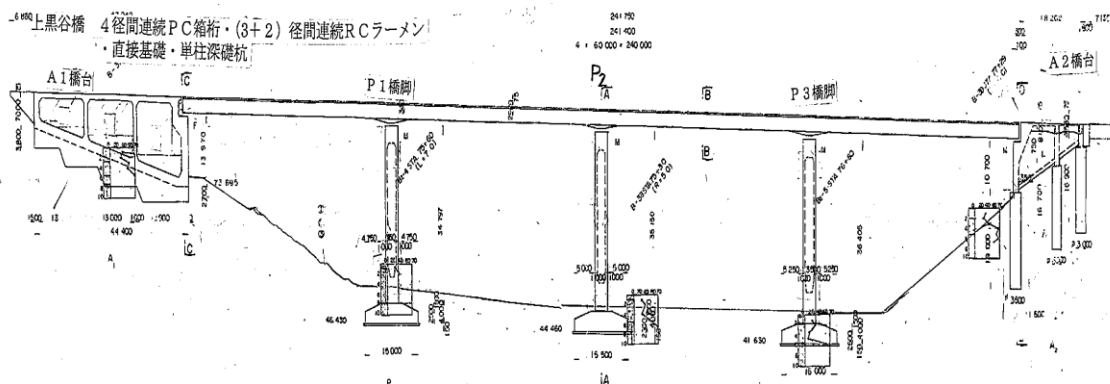
東名境川橋の補強事例も取り入れて鋼逆ランガーから剛性の高い鋼逆ローゼ形式への補強または池中に橋脚を設けて桁を支持、地盤補強改良（モルタル注入等）、橋台とアーチのフーチングをPCワイヤーで引張って結合、グラウンドアンカー、橋台後方オープンボックス

西池橋の減災対策概要図

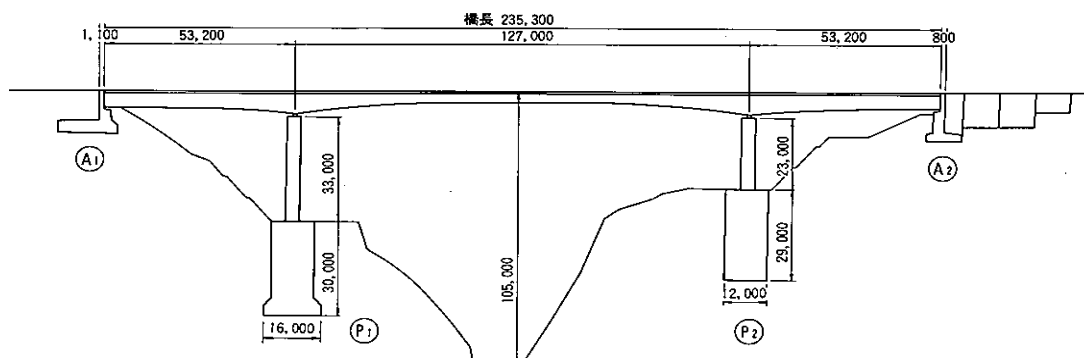


4-4. 上黒谷橋の減災対策

上黒谷橋 (PC 連続箱桁)



足谷川橋 (PC 連続箱桁)



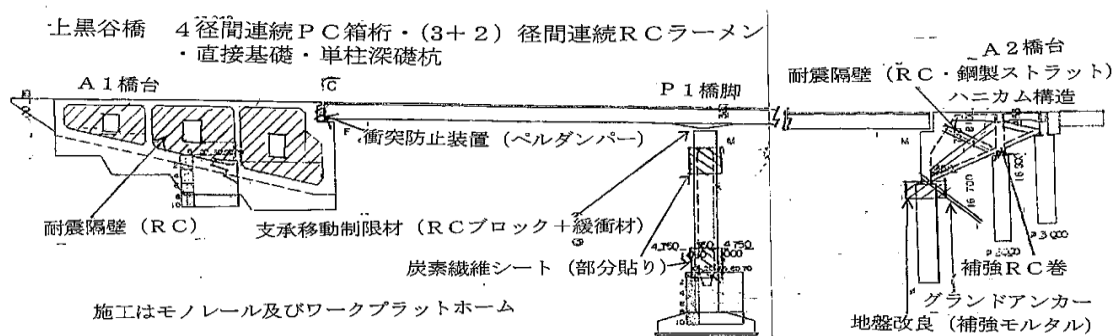
コメント

上黒谷橋はA1橋台の1点固定であるため、橋軸方向の地震力による全長にわたる大変位に対しての桁衝突を緩和しておくことと、中間橋脚上のピンローラー支承の抜出しによる桁落下を防止すること。さらにRCラーメン橋台も補強しておく必要がある。

対策案

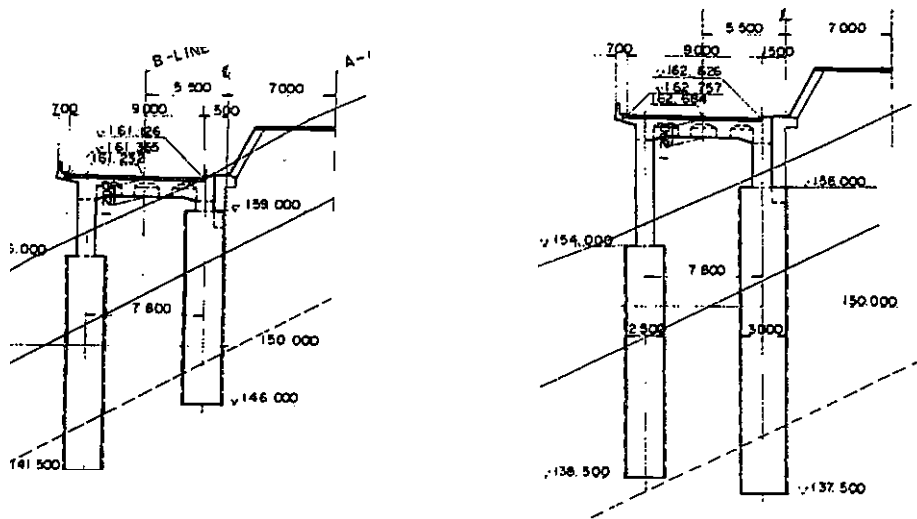
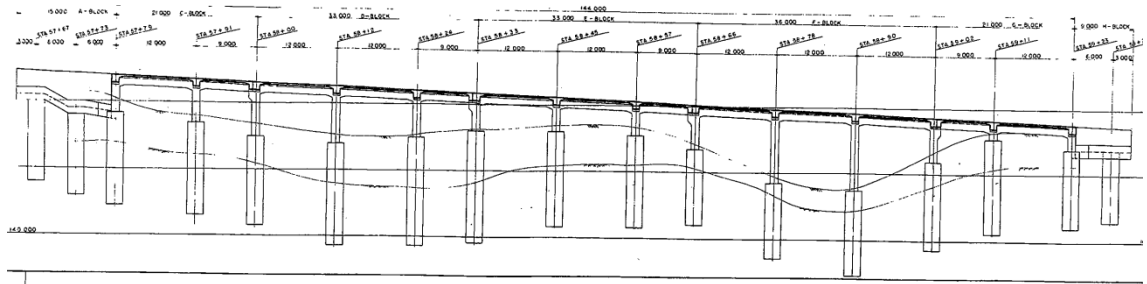
(A1橋台) 耐震隔壁(2対)、衝突防止緩衝材+RCブロック、橋台後方オープンボックス
 (P1・P2・P3橋脚) 支承移動制限材の設置、炭素繊維シート(部分貼り)、RCブロック
 (A2橋台) 耐震隔壁(RC・鋼製ストラット材、ブレース材)、RC巻(深礎基礎とラーメン柱の接合部)、衝突防止緩衝材+RCブロック、グランドアンカー

上黒谷橋の減災対策概要図



4-5. 雄の山高架橋の減災対策

阪和道雄の山高架橋（RC ラーメン）



コメント

当初計画では斜度 30 度の山腹を片切片盛する土工区間であったが、工所用道路の取付けに着手したところ、のり面崩壊が随所が発生し、ブロック積、特殊のり枠工等が施工された。さらに 1 箇所 20 m²程度の表面スベリが随所に発見されて、斜面の滑動に対する安全性が非常に低いことがわかった。そこで対策として、片側切土、片側橋梁（切土側の土留めも兼ねる）の栈道形式で設計、施工された。なお切土車線ののり面はブロック積にして、その土圧などは深礎基礎杭に直接伝える構造となっている。

対策案

雄の山第一橋の橋台と同様でラーメン耐震隔壁（特に橋軸直角方向の土留め壁兼用）による橋梁補強。もう 1 案は、鉄筋を挿入した補強土の盛土構造として、橋梁部を埋設する盛土案を提案する。

さらに切土側のブロック積部は鉄筋を挿入して補強しておくことを提案する。

5. メンテナンス・エンジニアがマネージメントする施工方法

どう考えても確実に赤字となる減災対策工事を施工する業者はいないことと、これらをマネージメントできる技術者も見当たらないのが現状であろう。

その解決策を少しだけ述べる。直営方式で実施していくしか方法はありません。メンテナンス会社を活用して工事をすることをお勧めします。

- ① メンテナンス・エンジニアが現地踏査をして技術検討する。
- ② その技術者が、パソコンと CAD を使って、施工計画を立案し、図面を作成、積算、発注、施工管理までを一貫して実施する。
- ③ 橋台の外側に作業ヤードを整備する（地震時の緊急ヤードを兼ねる）。
- ④ 工事資材の運搬等は小型ケーブルやモノレールを主体とし、壁高欄を利用して行う。荷下ろし装置を設ける。
- ⑤ 所定の橋脚・橋台までは簡易な工事用索道（モノレール）を設ける。
- ⑥ 仮設の昇降移動足場を設置する。
- ⑦ 高圧洗浄（サンドブラストまたはウォータージェットなど）やサンダーディスクによる手作業で、橋脚の劣化部を除去し、表面を清浄にする。
- ⑧ ケイ酸質系浸透防水材（水ガラス系）を塗布または吹付けして浸透させる。クラック補修の注入もこの工法で実施する。
- ⑨ H 型鋼の製作および建て込み。斜材の製作および取り付けをする。
- ⑩ PC 鋼材などを設置する。
- ⑪ グランドアンカーなどの施工をする。
- ⑫ これらの一連の作業を一人一人の若いメンテナンス・エンジニアが、失敗を恐れずに、色々と考えて実施することが肝要であろう。そうすれば、技術者の育成が必ずできると思います。
- ⑬ 工事は一括して出すのではなく、小割のまま工程に則って施工を進めていく方式が良いと思います。下請けの育成も考えていくとよいでしょう。

6. 減災のまとめ

この用語は河田恵昭先生が提唱したもので、現在その概念はお判りのことと思いますが、具体の工法はあまり見当たりません。従ってこの10年来、私なりに文献を集め、頭を絞った結果をまとめたものです。

減災とは、『高速道路の今後の災害対策のあり方』（高速道路と自動車・2008.）の論説を引用させていただきました。

阪和道（泉南・阪南IC～和歌山IC間）長大橋梁の下部工等の減災対策は、55年前にこの道路の建設に従事した技術者の知見をまとめたものです。特に深礎杭付きのラーメン橋台と単列深礎基礎の橋脚を問題点として取り上げています。

広島建設局の構造技術課長をしていた時に、中国道の宇佐五橋の施工を見ていて、類似の橋梁群を思い出し、両者の比較を試みたものです。

『阪和道和歌山線（雄の山の山岳橋梁）と南海トラフ地震』は、私なりに分析して、南海トラフ地震の発生前・後の震災被害に対して二段階に分けて対策すべきと位置付けて考えました。

ここで使っている、オープンボックス、スタビライザー方式、STAY方式は私の造語であります。これらは提案であり、もし対策工として検討される場合は、個々人の発想で研究されることを望みます。答えがないのが提案であり、答えを自分流に出すのが知恵であります。近頃の技術者はマニュアル人間となり、とても消極的であります。もう一つの問題は耐震補強などを追求するあまり私の言う仮設材という概念が理解できないようです。

私は南海トラフ地震の洗礼を受けた後に、老朽化対策などを加えて直していけば良いと考えています。地震で落橋しない程度の対策を種々講じて置き、緊急輸送路の役割を果たした後に直せば十分だと考えています。

河田先生のおわりにある言葉「これまでやってきたような土木工学的な課題を解消する対策を先行させる愚を犯してはいけない、是非、減災の考え方で対策を進めて欲しいものである。」をこのように解釈しています。

もう一つの問題は、確実に赤字となる減災工事をする施工業者が見当たらないことと、これらをマネジメントできる技術者も育っていないことに危惧を抱いています。

7. 参考文献

7-1. JRの耐震補強状況の報告

- ① 鉄道高架橋や橋梁の耐震補強の取組み (土木学会誌 Vol.93no.7 July 2008・東日本旅客鉄道(株)/菅野・築嶋・土屋)

阪神淡路大震災ではRCラーメン高架橋などの柱のせん断破壊による被害は壊滅的なものであったという観点に立って、各種巻立て工法やストラット補強等が施工されている。

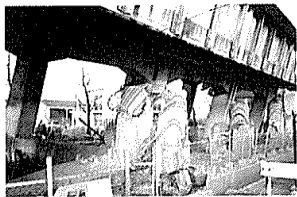


写真1 阪神淡路大震災による鉄道高架橋の被害の例^{※1}

鉄道土木構造物の耐震補強は、1995年の阪神淡路大震災以降、本格的に進められてきた。阪神淡路大震災による鉄道土木構造物の被害は甚大であり、特に鉄筋コンクリート(以下、RCという)ラーメン高架橋などの柱のせん断破壊による被害は、かつて経験したことのない壊滅的なものであった^{※1}。このため、はじめはRCラーメン高架橋などのうち、せん断破壊の恐れのあるもの、さらには

耐震補強工事の推移と概要

比較的施工環境が良好で直ちに工事に着手しやすいものから優先的に補強を進め、その後、その対象を徐々に拡大してきた。

東日本旅客鉄道(株)(以下、JR東日本)における耐震補強工事の推移と概要を表1に、RCラーメン高架橋の耐震補強の例を写真2に示す。1995年から、南関東、仙台、および活断層に近接する一部の地域(以下、南関東・仙台地域等という)における、RCラーメン高架橋などの補強工事に着手し、高架橋下が店舗などで利用されている箇所を除き、新幹線は1998年度、在来線は2000年度に、その補強工事を完了した。その後、高架橋下が店舗などで利用されている箇所の補強工事を計画的に進めていたが、三陸南地震(2003年)や新潟県中越地震(2004年)により前述の地域以外の高架橋や橋梁でも被害を受けたことから、補強の対象を新幹

菅野 貴浩 (正会員 東日本旅客鉄道(株)構造技術センター課長)
築嶋 大輔 (正会員 東日本旅客鉄道(株)構造技術センター副課長)
土屋 尚登 (正会員 東日本旅客鉄道(株)設備部課長)

鉄道高架橋や橋梁の耐震補強の取組み

表1 JR東日本における耐震補強の推移と概要

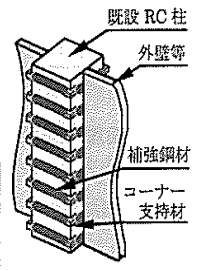
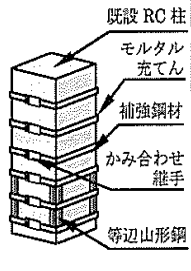
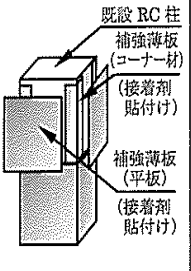
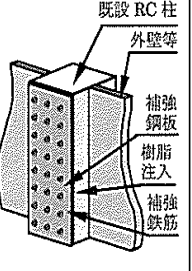
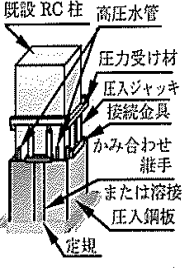
年度	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	記事	
国内の主な地震被害		☆ 阪神淡路大震災(1995年1月)					☆ 鳥取県西部地震(2000年10月)	☆ 宮城県北部地震(2003年7月)		☆ 三陸南地震(2003年5月)				☆ 新潟県中越地震(2004年10月)		☆ 能登半島沖地震(2007年3月)	
新幹線	RCラーメン高架橋など		南関東・仙台地域等 ^{※1}		南関東・仙台地域等 ^{※2}					☆ その他の全線 ^{※1}	☆ その他の全線 ^{※2}						
	RC橋脚											全線					
在来線	RCラーメン高架橋など		南関東・仙台地域等 ^{※1}		南関東・仙台地域等 ^{※2}												
	RC橋脚												南関東・仙台地域等				

※1 主に高架橋下が店舗などで利用されていない箇所
※2 主に高架橋下が店舗などで利用されている箇所

- ② 鉄道コンクリート構造物の大地震時の都市機能維持への取組み (コンクリート工学会誌 Vol.46, No.1, 2008.1・東日本旅客鉄道(株)・石橋忠良)

RC構造物の損傷は、阪神大震災や新潟中越地震の被害から柱や橋脚の損傷、支承や桁端や桁座の損傷が中心である。これらに対する補修・補強を確実に実施していくためには、技術判断のできる人材や組織を日常から育てておくことが大切である。

表-1 高架橋の耐震補強工法の例

工法名	RB(リブバー) 耐震補強工法	RP(リブプレート) 耐震補強工法	薄板多層巻き 耐震補強工法	一面耐震補強工法	地中部鋼板圧入 耐震補強工法
概要図					
概要	柱外周にコーナー支持材を介して補強鋼材を配置することにより、主にせん断耐力および変形性能を向上させる工法。	柱外周に分割した補強鋼板を柱コーナー部で定着するように取り付けることにより、主にせん断耐力および変形性能を向上させる工法。	柱外周に補強用薄板(厚さ0.8mm程度)を接着剤により貼り付けて所要層数まで巻き立てることにより、主にせん断耐力および変形性能を向上させる工法。	柱の一面のみに補強鉄筋および補強鋼板を配置することにより、主にせん断耐力および変形性能を向上させる工法。	地上部から鋼板を油圧ジャッキ等により地中部へ圧入することにより、地中部の既設RC柱等を補強する工法。

ことが多いので、場所ごとに適切な工法を選定することが大切である。店舗などで利用されている高架橋の補強に用いている工法の主なものを表-1に示す。

コンクリート構造物としては高架橋のほかに橋梁がある。橋梁については、耐震診断の結果に応じて、橋脚の鉄筋の途中定着部の補強が、せん断補強、じん性補強の他に行われている。特に河川内の橋脚の場合、補強そのものの工事より、施工のための栈橋や、締め切りの工事などの段取りの工事に多くのコストがかかっている。そのため場所ごとに適切なものが選べるように、いくつかの工法を準備し、現地に応じて選定している。締め切りをしてRC巻き補強や、鋼板巻き補強の一般的な工法のほかに、締め切りをしないで施工するために用いられている代表的な工法を、表-2に示す。

4. 復旧技術

鉄道コンクリート構造物の損傷は、阪神大震災や、新潟中越地震の被害から、柱や、橋脚の損傷、支承や桁端や桁座の損傷が中心である。柱がせん断破壊すると構造物が崩壊ということでスラブや梁が落下してしまうことになる。それでも一般にスラブや梁は再利用可能であるので、スラブや梁は元の位置に戻して柱のみ再構築すればよい。崩壊しない程度なら、損傷した柱の変形を戻し、クラックへの樹脂注入やコンクリートを再施工して復旧すればよい。大きく損傷した柱も、鉄筋は降伏しても十分再利用可能であるし、コンクリートは再施工やクラック注入で十分元の性能に回復する。できるだけ残った部

材を再利用することが早期復旧に大切である。そのことは、多くの瓦礫をつくらずに、資材の搬出、搬入を少なくするという面でも大切である。

5. 復旧時の体制と訓練

被災後の早期復旧には、被害の状況調査に基づいた、復旧方針の早期決定が必要である。この判断の責任者をしっかりと定められることが大切である。この技術判断の責任者は、技術力が最も優れていると思われる人で、かつ決断力のある人を当てなくてはならない。どんな場合もおおむね合格点の技術的判断ができることが大切である。判断に当たっては必要なその道の権威者の意見も聞いて間違いのないように細心の注意が必要である。ともすると色々の意見が出され、何も決められない状況になりがちである。判断を能力の高い技術者にまかせ、その方針で早く復旧にかかることが大切である。技術判断のできる人材や、組織を日常から育てておくことが大切である。そのような人がいない場合は、ある程度時間がかかることは覚悟して、いろいろの意見を聞きながら方針を決めていくことになるのはやむをえないと思われる。技術的な体制のほか、施工の体制と、後方支援の体制もしっかりとつくるのが大切であり、防災訓練などで訓練しておくことが必要である。

参考文献

- 1) Veletsos, A.S and Newmark, N.M : Effect of Inelastic Behavior on the simple System to Earthquake Motions, Proceedings of 2nd WCEE, Vol.2, pp.895-912, 1960. 7

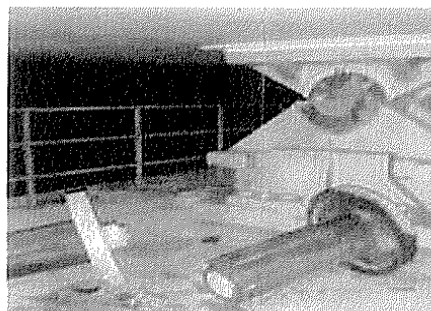
7-2.新潟県中越沖地震 橋梁の主な被災状況と要因について

(旧株式会社エンジニア・青山土木調査設計部長)

地震水平動は南東—北西方向で、概ね橋軸直角方向に作用した。この結果、橋軸方向の地震力の影響を受け易い支承部付近の損傷は、重大なものに至らなかった。連続桁の桁端部に固定支承を配置した支承付近の損傷は、新潟県中越地震でも見られた損傷形態である。



●写真 一 鉢崎橋の主桁損傷状況



●写真 一 青海橋の支承破損状況

7. おわりに

(1) まとめ

中越沖地震の地震水平動は、南東—北西方向に作用した。米山地区の長大橋群では、多くの橋梁で地震力が概ね橋軸直角方向に作用している。この結果、橋軸方向の地震力の影響を受け易い支承部付近の損傷等は、一部を除き、重大なものに至らなかったと考えられる。

新潟県中越沖地震で被災した橋梁の損傷の特徴についてまとめると、次のようになる。

- 1) 被災を受けた区間(柿崎IC～西山IC間)の橋梁は、米山山麓の開析谷を通過する長大橋群と、柏崎平野を通過する軟弱地盤上の橋梁群に区別できる。
- 2) 地震動は、大きな上下動の中、南東方向に大きな初動(柏崎で 500gal)が作用し、その後、南東—北西方向に繰り返し水平動が作用した。
- 3) 連続桁の桁端部に固定支承を配置した支承付近の損傷発生は、新潟県中越地震でも見られた損傷であり、共通した損傷形態になっている。
- 4) 米山地区の長大橋群での損傷には、鉢崎橋の固定支承付近の桁下端部損傷、青海川橋の A1 橋台の固定支承のアンカーボルトねじ山破損並びに下り線 P2 橋脚のピンローラ支承のピン引張破断等がある。
- 5) 連続桁端部に固定支承を配置した橋梁の損傷の程度は、固定支承を配置した橋台や橋脚の変形性能に関係する傾向が見られた。つまり、鉢崎橋では、橋台や橋脚の橋軸方向の変形性能が小さくなるほど、損傷は大きくなる傾向が確認された。また、青海川橋と上輪橋の固定支承に見られるように、橋軸直角方向においても上下線一体構造の場合は、分離構造より損傷が大きい傾向にあった。
- 6) 軟弱地盤上の橋梁群での損傷は、比較的軽微であった。要因としては、自重の小さい鋼橋が多いことや、地震動に対する橋梁応答が長周期化し支承付近等への応力集中が緩和されたこと、等によるものと推察する。

(2) 耐震補強に対する提案

今回の半定量的な要因分析をとおして、今後の耐震補強にあたって、次の事項に配慮する必要があることを明らかにすることができた。

- ① 連続桁の桁端部に固定支承が、変形性能の小さい橋台上に配置された構造での耐震補強は、ダンパー支承等へ変更し、変形性能を大きくする対策を実施し、応力集中を緩和する対策が必要である。
- ② PC合成連続桁の桁端部の固定支承型式では、桁端下端にてPC鋼材の定着部からプレストレス力の分布を勘案して補強長の照査を行う必要がある。補強量や補強長が不足する場合は、炭素繊維貼り付け等による耐震補強を実施する必要がある。
- ③ 鋼連続桁の桁端部の固定支承型式では、固定端の桁端下端にて補剛材(水平・垂直)の追加による補強が必要である。

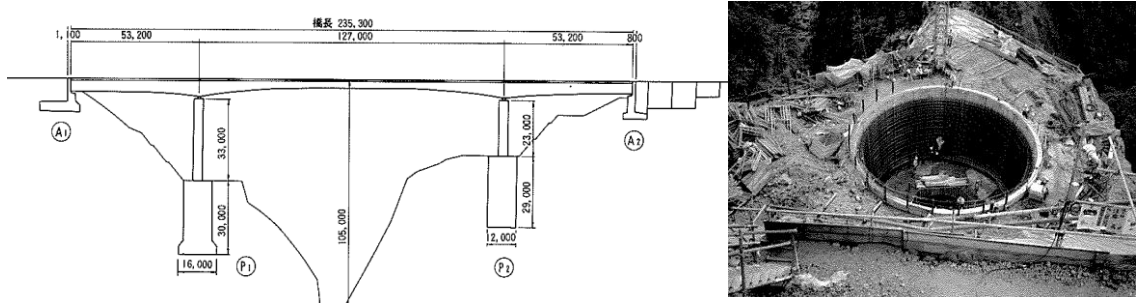
ここで実施した要因分析で得られた知見が、今後の耐震補強等に反映され、安全性の向上に寄与できれば幸いである。

以上

(文責: 土木調査設計部 青山 賢伸)

7-3. グランドアンカーを橋梁基礎補強に用いた事例—中国道 足谷川橋

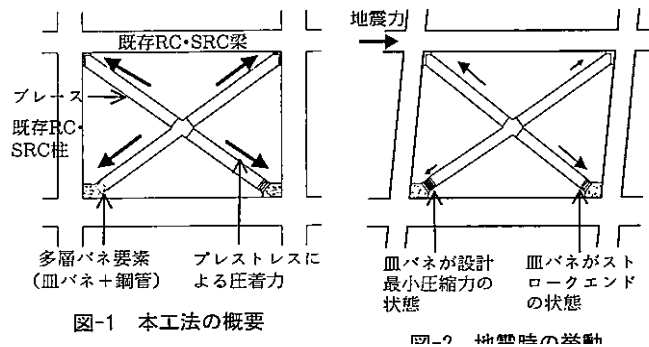
PC 3 径間連続箱桁の P 1 橋脚基礎に大口径深礎（φ12m）を採用し、支持層の風化と地震水平動に対して杭底をφ16mに拡幅し、杭頭部をアースアンカーで山側に固定した。



7-4. テールアルメが被災度評価法を導入—能登、中越沖地震で高い耐震性を公的に証明（日経コンストラクション誌） 2007 年 3 月に発生した能登半島地震で、構造物としての機能を失ったテールアルメによる補強土壁は皆無であった。

（コメント） 雄の山高架橋の上り線にある土止め用ブロック積は崩壊すると下り線にも大きな影響を及ぼすので、鉄筋挿入による補強土工を追加施工することを提案する。

7-5. RB 工法—プレストレスの解放によってブレース材を既存骨組に圧着する耐震補強工法—コンクリート工学 Vol.47, No.12, 2009.12 大野氏ら



7-6. 斜め PC 鋼材を用いた外付け耐震補強構法

コンクリート工学 Vol.46, No.1, 2008.1 関口氏ら



写真-1 パラレル構法の外観

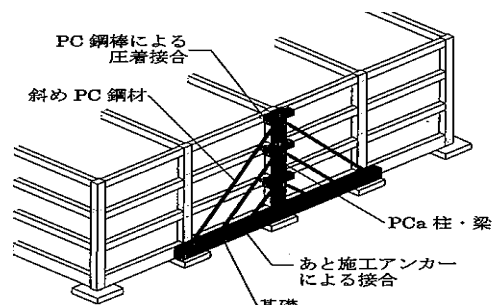


図-1 パラレル構法の構成

7-7. 制震橋脚構造の性能確認実験

コンクリート工学 Vol.45, No.12, 2007.12 山野辺氏ら

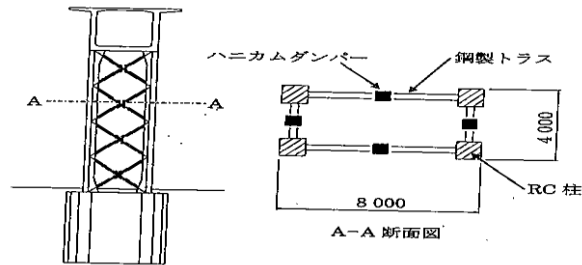


図-7 橋脚断面図(制震橋脚構造)

7-8. 桁衝突を考慮した耐震設計法

(株)高速道路総合技術研究所 橋梁研究室今村氏ら

1. はじめに

既設橋の耐震設計において、一般的に上部構造と橋台パラペットとの衝突を考慮しないが、過去の地震被害において、桁衝突により橋脚の被害が小さくなったと想定される事象があった。今後、実施される耐震補強において、遊間量の狭い橋梁では桁衝突による橋台部の水平抵抗を考慮した耐震設計を行うことで、中間橋脚の耐震補強を回避できる可能性があり有効な手法であると考えられる。そこで、桁衝突を考慮した耐震設計法の確立を目的として、桁衝突におけるバネモデルの検討を行い、それらを用いた設計法の適用性検討を実施した。

2. 設計法の概要

桁衝突を考慮した耐震設計は、図-1に示すように、既設橋梁の大規模地震時における橋台部の水平抵抗を橋梁全体系での動的解析に考慮するものである。橋台部の抵抗特性や背面土のモデル化は本設計の結果に影響する重要な要素となるため、橋台躯体の破壊形態や背面土の地盤条件を考慮した設定が必要である。

3. 桁衝突に関するバネモデルの検討

図-2に橋台部における桁衝突に用いるバネモデルを示す。橋台パラペットバネは、桁衝突の被災事例や曲げとせん断の耐力比較により橋台部の破壊形態は、パラペット部の曲げ破壊型と押抜きせん断破壊型、あるいは橋台基部の曲げ破壊型となり、これを再現したモデルとした。また、橋台パラペットバネには、ウイングの影響が大きいことからこれを考慮した。背面土バネとしては、受動側のみ抵抗するモデルとし、橋台背面土の地盤反力係数及び水平地盤バネ反力の上限值は道路橋示方書・同解説(「以下、道示」)IV下部構造編に示されるケーソン基礎の式により算出する。桁衝突バネは桁遊間を初期ギャップとし、桁と橋台が衝突して軸力を伝達するモデルとした。

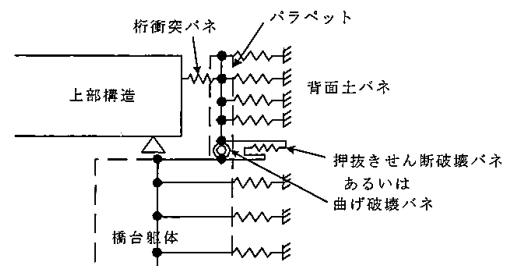


図-1 橋台部における桁衝突の概要図

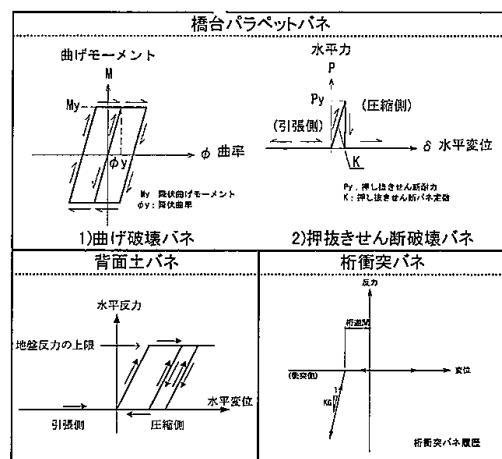


図-2 桁衝突に関するバネモデル