

2013年4月13日淡路島地震被害調査 速報 (橋梁編)

Ver.1.02

2013年4月16日

愛媛大学
防災情報研究センター
大学院理工学研究科環境建設工学コース

森 伸一郎
(地震工学)

2013.4.15

橋梁の被害

2013.4.15

- ・観察した橋梁には、ほとんど被害が見られなかった。
- ・液状化が生じた海岸埋立地に架かる橋梁に液状化の影響は見られなかった。
- ・斜張橋である洲浜橋(洲本市)の橋台と移動制限装置の全てにせん断破壊があった。この形態の被害は我が国でも初めてかもしれない。

注:各ページの日付は、写真撮影日付またはページ作成日付です。地震動、液状化、木造被害に関するものは別途作成していましたが、橋梁の重大性への認識から、これを優先させましたが、まとめる際に、他のところでの記述を前提としており、理解しにくい箇所があるかもしれません。お詫びします。

Ver1.02: 2012.04.17 12:00

- ・最初に関係各所に送った速報(ver1.01)へのコメントで担当者名が入っていたので、これを削除しました。(ご意見、ありがとうございました。徹夜で作成して十分な見直しができませんでした。)
- ・最後のページは、作成途中の文章でしたので、削除してpdf化しましたが、これを最後まで書きましたので加えました。

高速道路の跨道橋、路面、切土斜面、盛土

2013.4.13



津名一宮ICより2km南

10:48 AM

津名一宮ICより1km南

10:48 AM



高速道路の跨道橋、路面、切土斜面、盛土のいずれにも被害は見られない。津名一宮までの10km圏内で凝視するものの可視損傷はなかった。

静海橋(せいかいはし)

2013.4.13



写真で、手前が志築新島で奥が塩田新島



橋梁までの勾配のあるアプローチ部の終端付近で液状化による泥水噴出痕跡。余震による噴出のため水が溜まっている。



液状化した埋立地である志築新島と塩田新島をつなぐ県道の単純PCT桁橋。橋軸方向移動の痕跡あり。

静海橋(せいかいはし)

2013.4.13



埋立地である志築新島と塩田新島をつなぐポステン単純PCT桁橋。9本桁。橋長40m(目測)。1980年1月兵庫県建造。志築新島側の地盤では液状化。橋梁本体に異常なし。桁と橋台の接合部での圧縮による歩道縁石ブロックのせり上がりと地覆コンクリートの欠けが見られた。橋軸方向に振動変位があった証左。ただし、移動ゴム支承には残留変形なし。

洲浜橋の被害発見とその後の経緯

2013.4.14

■2013年4月14日7:20AM、森が海岸通りの埋立地の液状化状況を調査し、洲本内港での噴砂・岸壁せり出しの観察、洲浜ポンプ場での舗装亀裂など液状化を調査していて、洲浜橋に至った。斜張橋である洲浜橋において、移動制限装置であるコンクリートブロックと橋台のせん断破壊、それに伴う橋桁と橋台の相対変位とジョイントカバーの変状などを発見した。

■10:56から12:05まで、再度、詳細な調査を実施した。8時以降フジテレビクルーが同行取材しており、この様子を撮影した。ただし、側面からの撮影だけであった。

■車両走行に支障を来す被害ではないが、移動制限機能は喪失しており、斜張橋に関連する構造的被害としては重大であると判断されたが、一切、注意喚起や立入規制などされていないため管理者は認識しておらず、また、他の研究者や同行テレビ局記者も知らなかったため、自分が第一発見者であると認識した。調査後、事態を道路管理者に知らせるべく、管理者を確認するため、速度取り締まりをしていた警察官に市道か県道かを尋ね、市道であると判明した。市役所職員を捜し、ようやく12時40分、炬口漁港裏の震災ゴミ集積場で洲本市市民生活部環境整備課職員に経緯・状況を話し、名刺を渡して、洲浜橋の被害について建設課まで連絡するよう進言した。

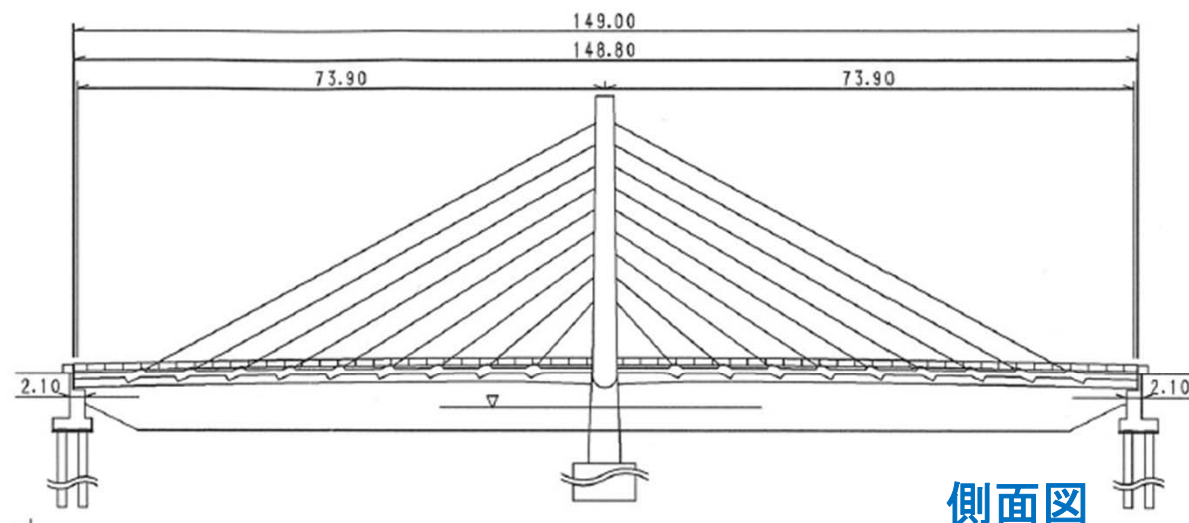
■連絡が建設課まで行ったかどうかを確認するため、帰路、高速道路SAで17:03に市役所に電話し、建設課道路担当者と話し、状況を把握したことを確認した。担当者によると、「橋本体に損傷があるわけでもなく、通行に支障はないので規制はせず、橋台については今後検討する予定」とのことであった。

■この際、被害報告として整理するため、橋梁諸元がわかる橋梁台帳資料など、すぐに取り出せる概要資料の提供を依頼し、翌4/15の8:45付けで、当該担当者様より電子メールで台帳資料提供を受けた。

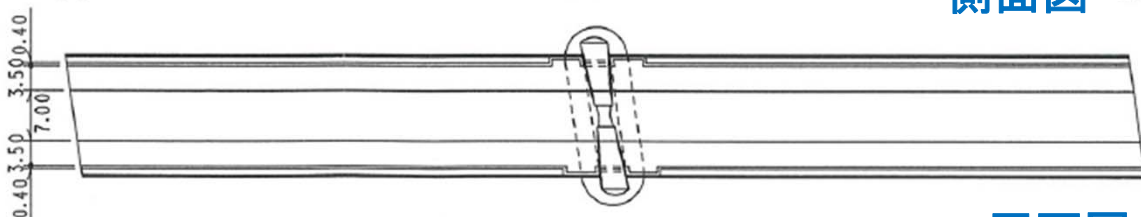
洲浜橋(すはまはし)の諸元

洲本市建設課提供:橋梁管理台帳より

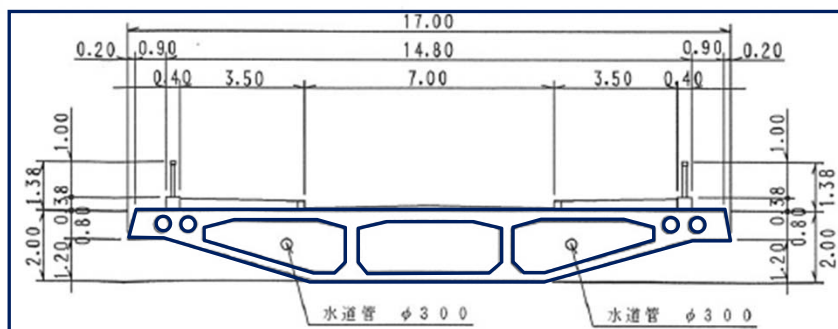
2013.4.15



側面図



平面図



桁断面図

形式 PC箱桁斜張橋

橋長 149.00m

支間長
73.90m+73.90m

幅員 14.00m

基礎:場所打ち杭

建造:洲本市

完成:1993年3月

示方書:1980年道路
橋示方書

斜橋:斜角80度(?)

洲浜橋の全景

2013.4.14



河口側より



上流南側より



南側より

はじめに気付いた洲浜橋の橋台被害 4/14 8:00

2013.4.14

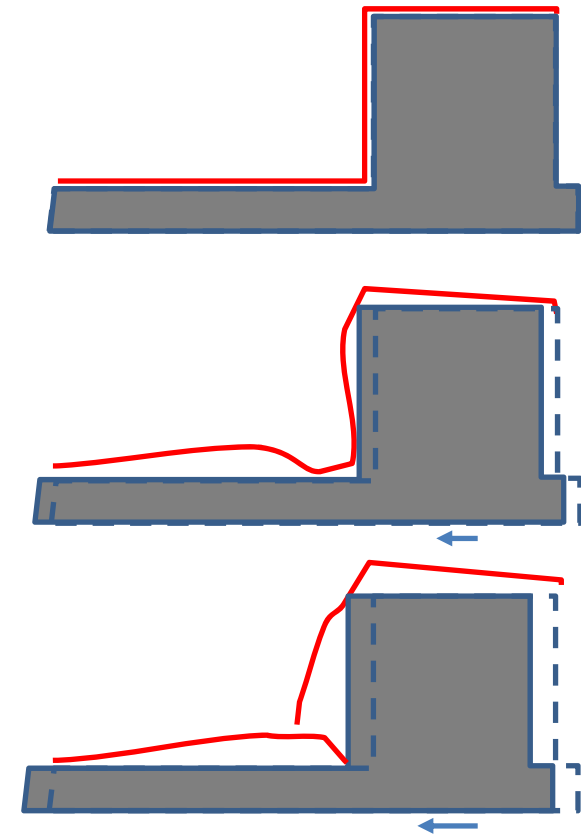


上流
南側
より

思わず、「あっ！」と心の中で驚きを強く感じた。とりあえずの1枚。すぐにジョイント(橋桁・橋台接合部)に走る。

洲浜橋：ジョイントカバーの損傷（南端部西側）

2013.4.14



推測：橋台に対して橋桁が橋軸直角方向（左側）に移動しカバー直角部が折損して、その後、水平部は地覆に当たり、制約の小さい上方に湾曲して、下方に巻き込まれる。

洲浜橋の南側橋台東部と東部側面の亀裂

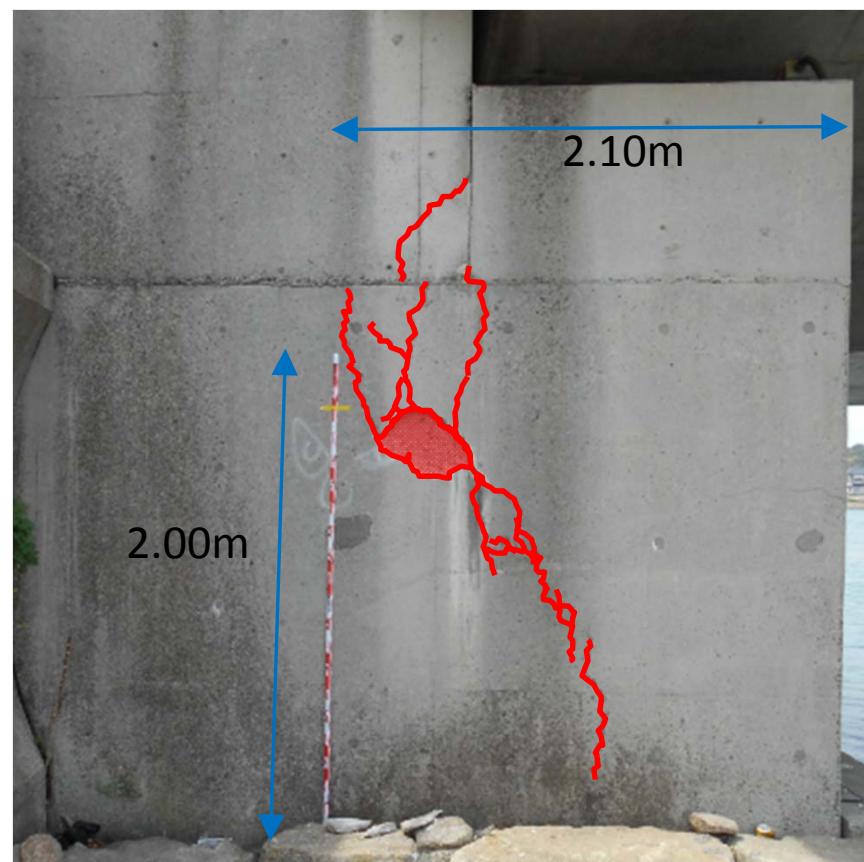
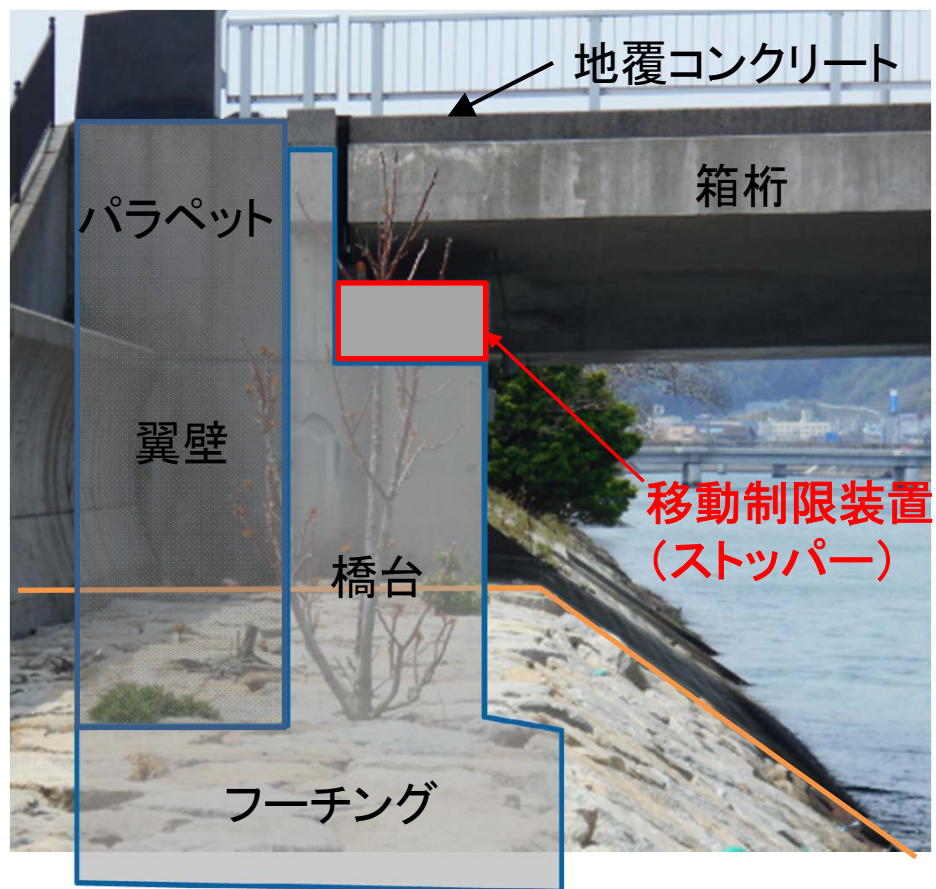
2013.4.14



すさまじい亀裂が入り手前にせり出している。押し抜きせん断による。

洲浜橋の南側橋台東部と想定される構造

2013.4.14



現地での測量結果で確認しつつ、橋梁台帳の図をトレースして縮尺を合わせて写真に重ねると、構造が想定できる。

橋台

移動制限装置
RC性ストッパー

南側橋台東部側面の亀裂には段差を伴うか、凹凸の折れを対とする亀裂となっている。亀裂に沿って、隅部が東側にせり出すような変位が見られる。

南側橋台 東部側面 の亀裂

2013.4.14



左写真の左斜め上からの壁面に沿うアングルで撮影

南側橋台北側正面

2013.4.14

移動制限装置

(左:橋台側、右:箱
桁側)

南側橋台の北側正面では東側側面とは異なり、亀裂が開口性亀裂であり。上方ほど開口幅合計は大きい。また、亀裂が、移動制限装置RCブロックの下面直下では45度の勾配で亀裂が進むが徐々に高角度となり、最終的に壁面に平行となる。これらのことから、ブロックに内側から外向きに作用する桁からの力によって、押し抜きせん断状態の破壊が生じていると推測できる。

また、橋台側移動制限装置のコンクリートブロックは、亀裂幅は下に行くほど大きくなっていった。裂けるように亀裂が発生したものと思われる。



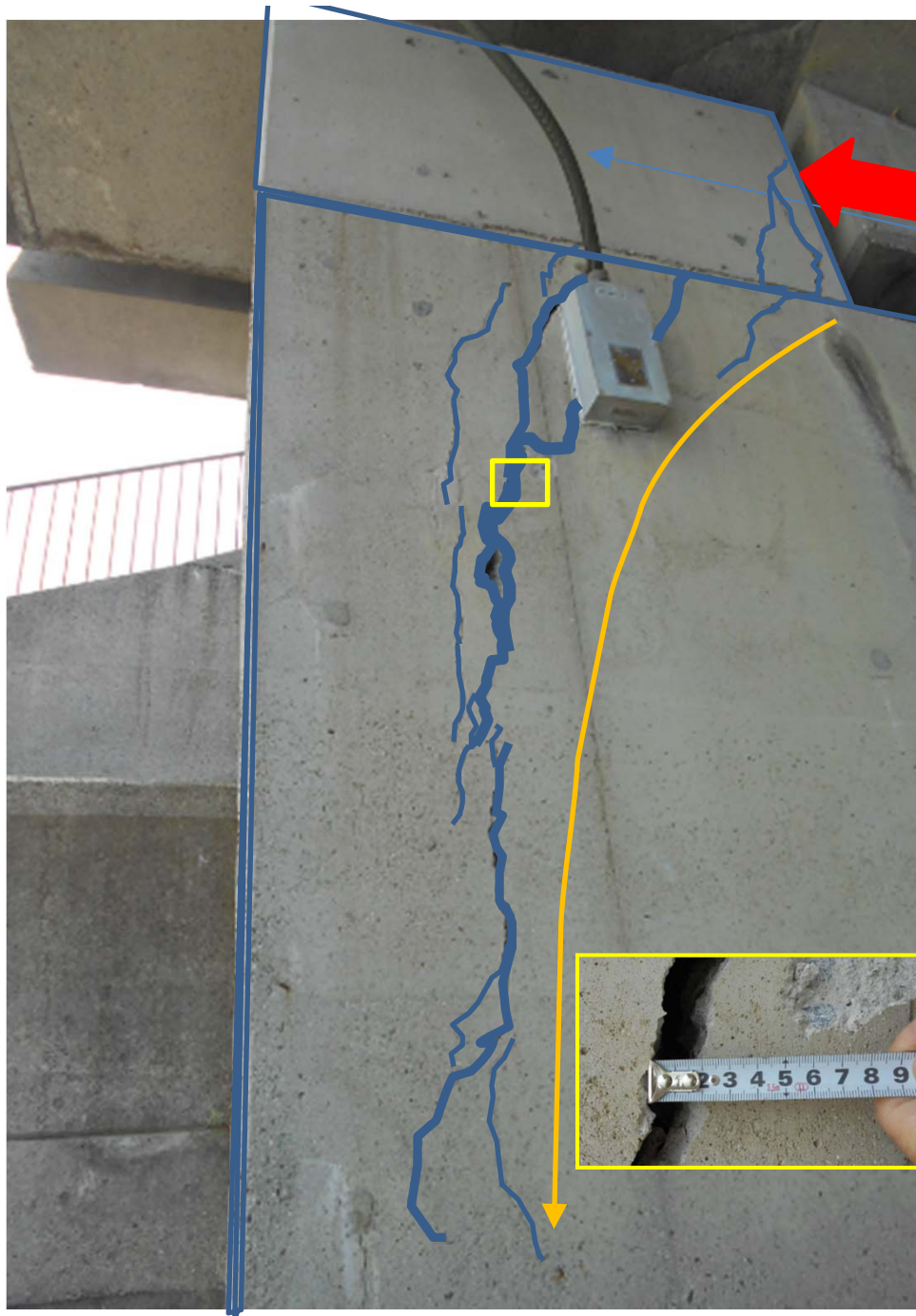
南側橋台北側正面

2013.4.14

移動制限装置
(左:橋台側、右:箱
桁側)

南側橋台の北側正面では東側側面とは異なり、亀裂が開口性亀裂であり。上方ほど開口幅合計は大きい。また、亀裂が、移動制限装置RCブロックの下面直下では45度の勾配で亀裂が進むが徐々に高角度となり、最終的に壁面に平行となる。これらのことから、ブロックに内側から外向きに作用する桁からの力によって、押し抜きせん断状態の破壊が生じていると推測できる。

また、橋台側移動制限装置のコンクリートブロックは、亀裂幅は下に行くほど大きくなっていった。裂けるように亀裂が発生したと思われる。



洲浜橋南側橋台東部の移動制限装置

2013.4.14



洲浜橋南側橋台西側西側面の橋台の亀裂、はらみだし

2013.4.14



移動制限装置(橋台側)のコンクリート部分が、鉛直軸回りに反時計回りのわずかな回転を伴っており、

洲浜橋南側橋台西側の移動制限装置と橋台の破壊

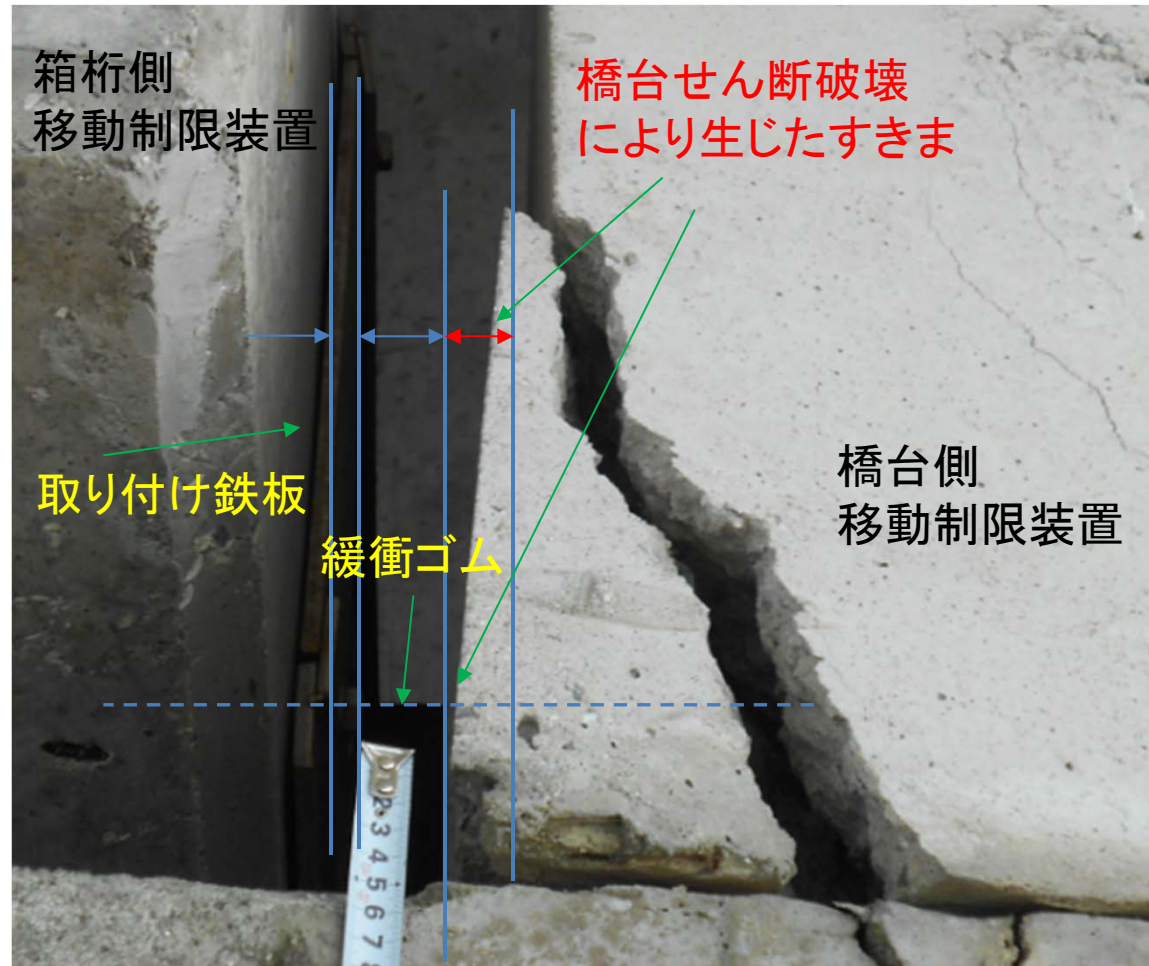
2013.4.14



先に説明したように、

移動制限装置の間の緩衝ゴムと被害で空いたすきま

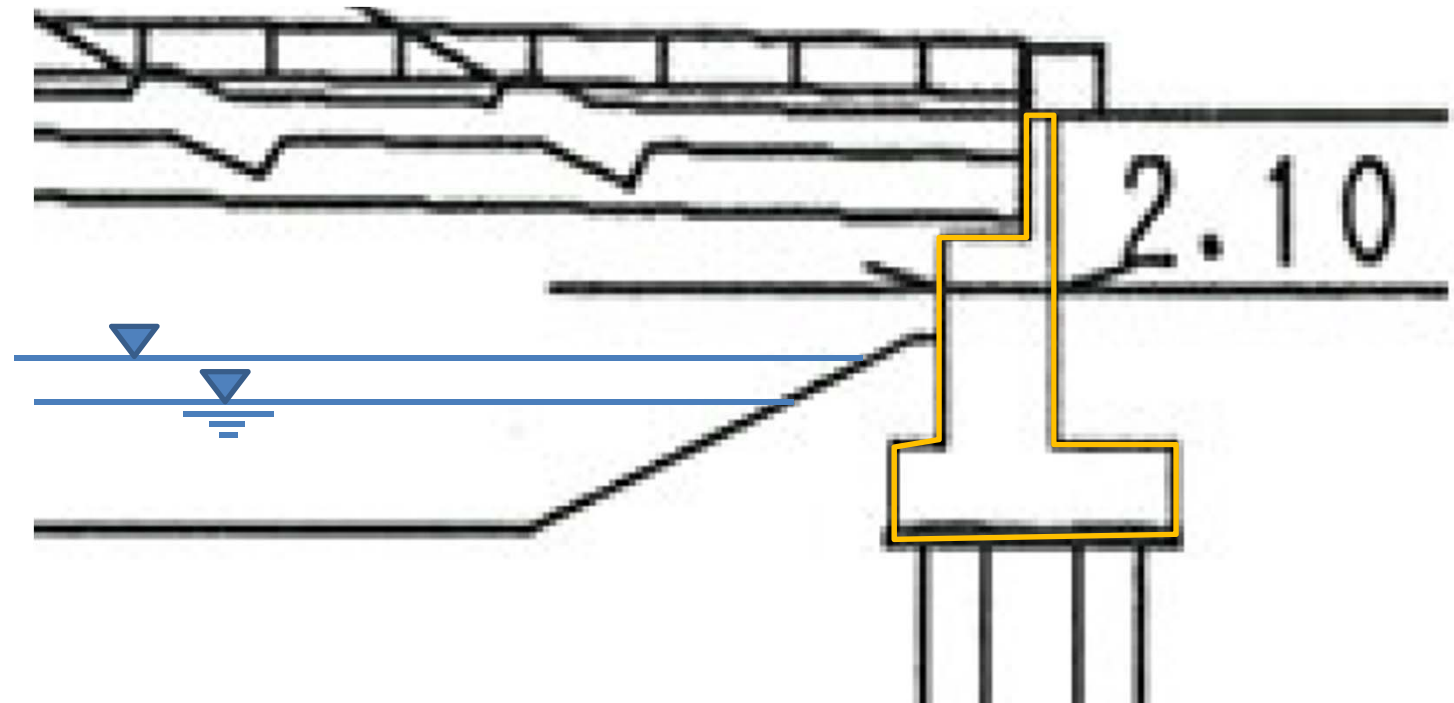
2013.4.15



箱桁と橋台側の両方の移動制限装置のコンクリートの間には、緩衝ゴムの厚さと同程度のすきまが生じていた。

洲浜橋の橋台部(橋梁台帳より)

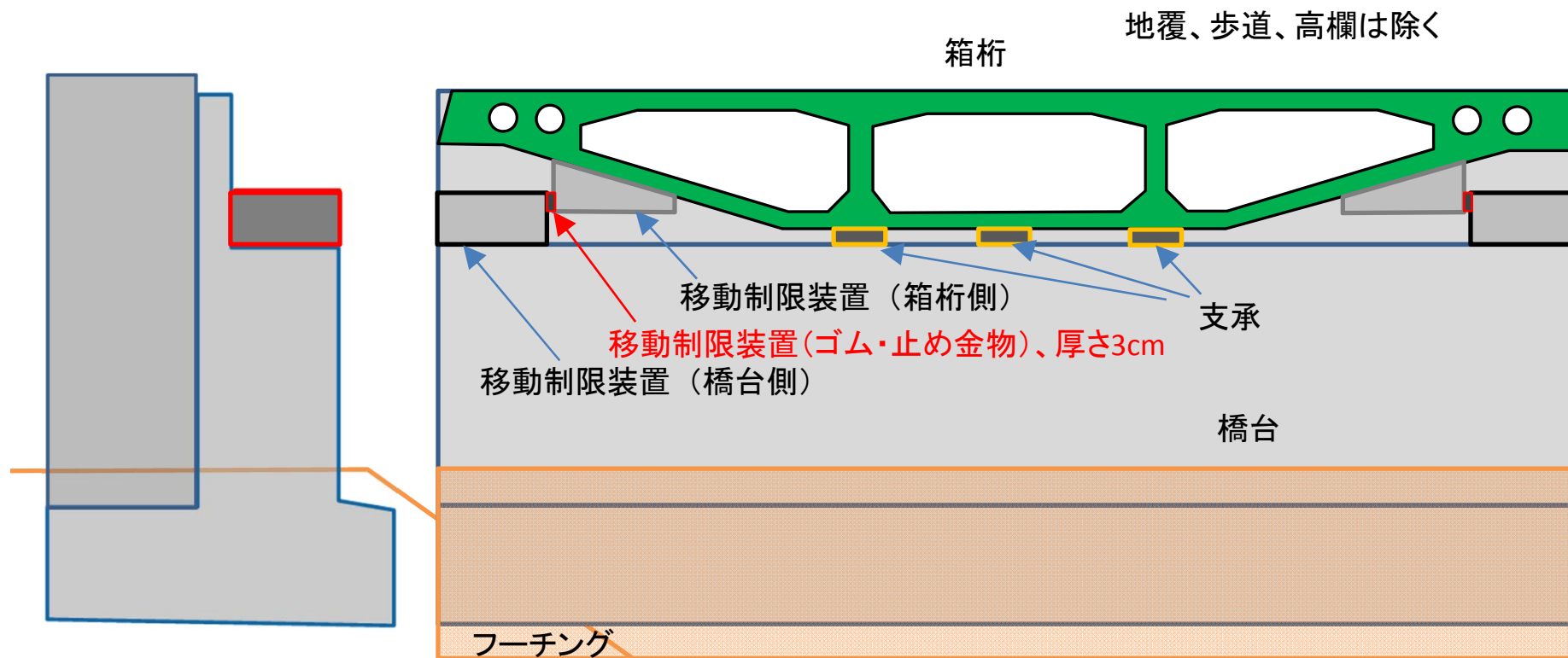
2013.4.15



橋台のコンクリート厚さは2.1mであり、同程度の長さのフーチング張り出しが背面側にあり、逆T型の基礎となっている。杭基礎で2列の場所打ち杭である。図より径1.5m程度か。

箱桁、橋台、移動制限装置、支承などの位置推定

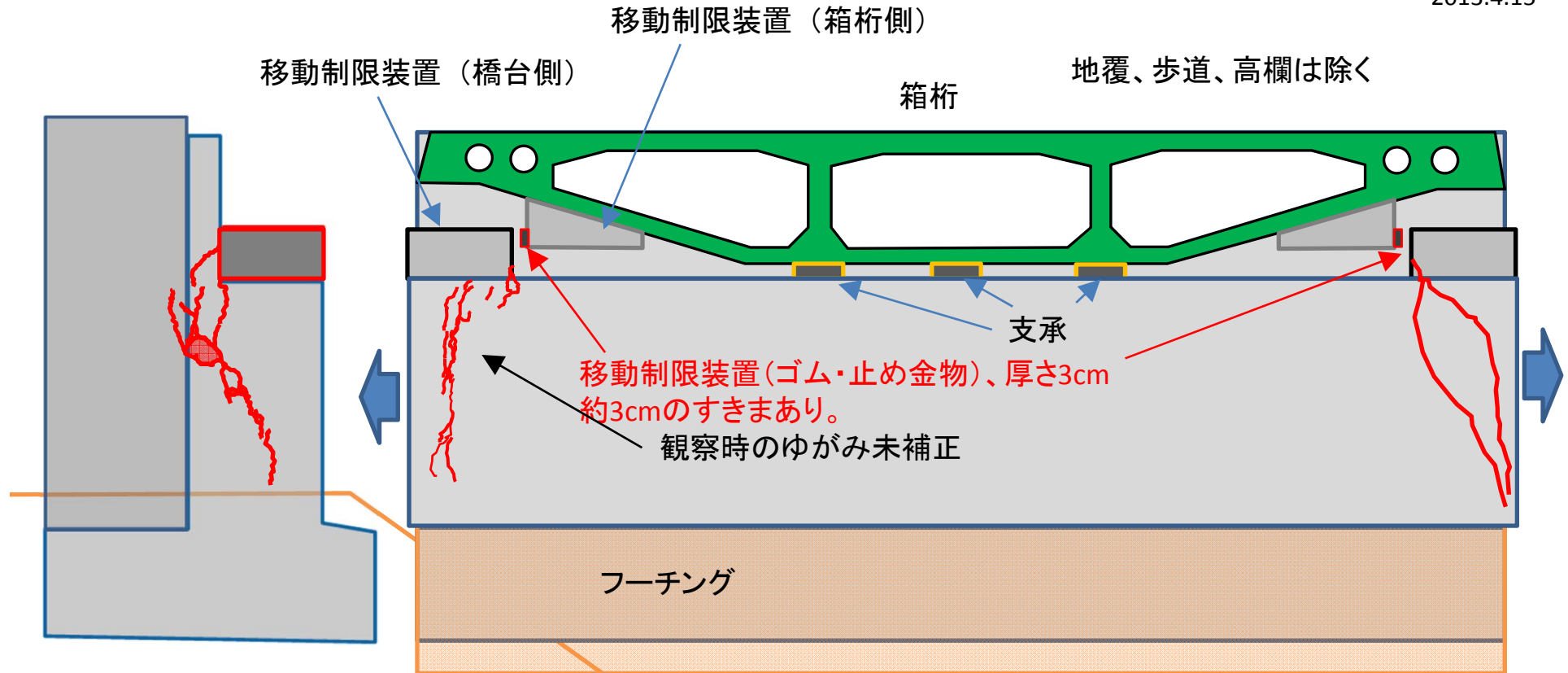
2013.4.15



箱桁の幾何形状は寸法がわかる。箱桁と橋台の位置関係、移動制限装置(橋台側:実測、箱桁側:寸法推定)、移動制限装置の遊間とその処理は現地観察でわかる。支承は全て推定。

橋台と移動制限装置の損傷全体像と推定メカニズム

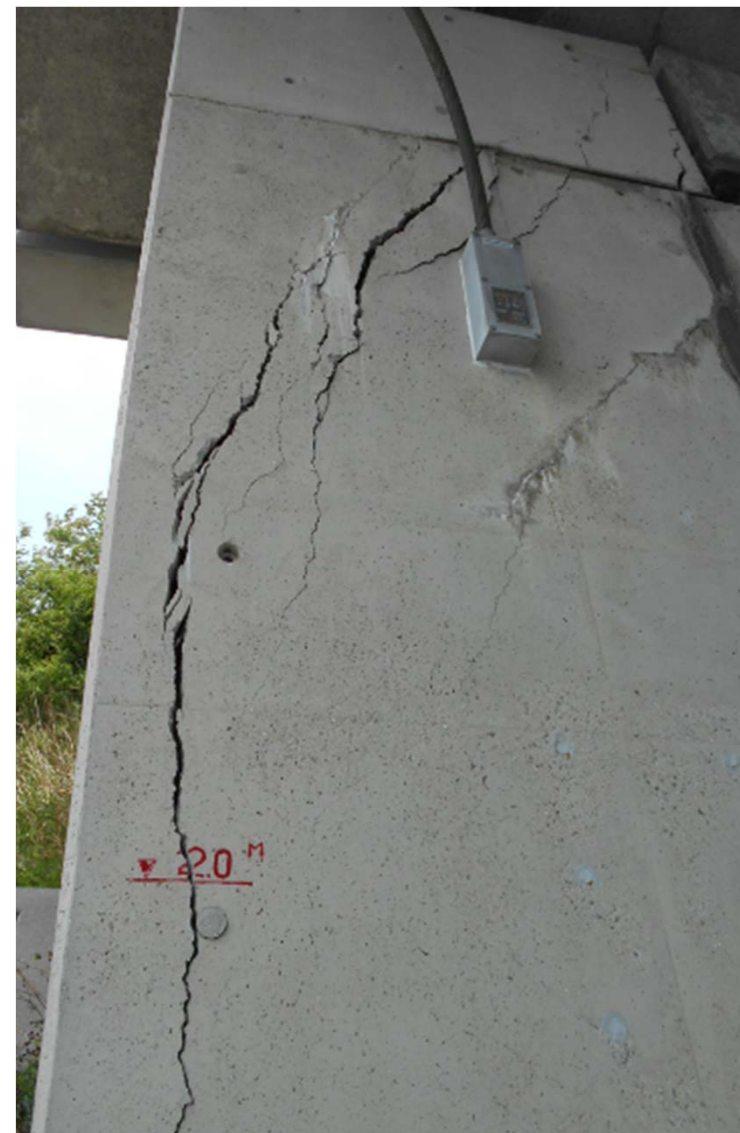
2013.4.15



橋台付近では、箱桁の水平方向振動により移動制限装置を通して橋台に水平力が作用し、それにより橋台隅部がせん断破壊した。そのために橋台側の移動制限装置はせん断破壊面より外側の橋台破壊片と一緒に外側に約3cm移動した。それに伴って、橋台側と箱桁側の移動制限装置の間に約3cmのすきまが生じた。

洲浜橋北側橋台西側の橋台の破壊

2013.4.14



南側橋台とほぼ同様の被害

洲浜橋北側橋台西側の橋台の破壊

2013.4.14



南側橋台とほぼ同様の被害

洲浜橋北側橋台の両側の破壊形態の違い

2013.4.14

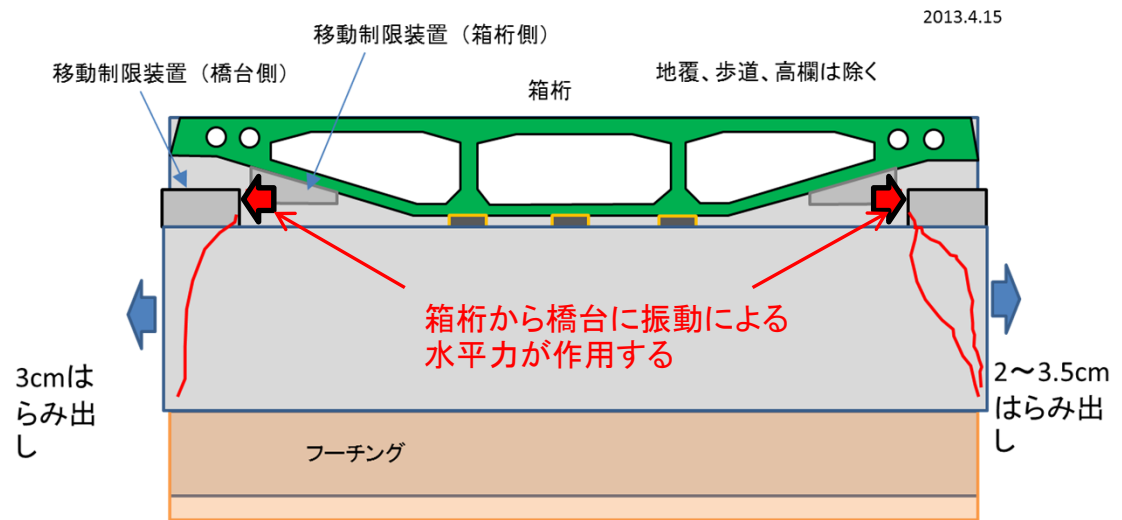


橋台の上流側(左側)は南側橋台とほぼ同様の被害を受けているが、下流側(右側)については遠望できるほどの大きな損傷は見られない。

橋台と移動制限装置の損傷の原因考察

- (1) 設計では、移動制限装置を付けるので動かない(動的挙動はしない)と想定。
- (2) 設計では、静的な地震力を考慮して断面計算(コンクリート、鉄筋)をしているはず。
- (3) 実際に作用した地震力は、設計での想定を大きく超えた。だから、せん断破壊した。
- (4) 想定を大きく超えた理由は何か。
 - (a) 最大加速度が大きかったから? →これまでの斜張橋では破壊していない。
 - (b) 緩衝ゴムがあるので実際には動的な応答が生じて動的増幅したから?
→現在は動的応答考慮しているが、1993年建設時(1980年道示)では、「固定」として、考慮していない。
→であるとすれば、古い斜張橋の有する潜在的な問題点として捉える必要があるのか。
- (5) 橋軸直角方向を固定として想定(静的設計)したとしても、動的応答を考慮する必要がある。

過去と現在の設計実務における斜張橋の挙動とモデル化の基本的考え方については長大の矢部正明様より教えて戴きました。



移動制限装置の間の緩衝ゴムとすきまの意味

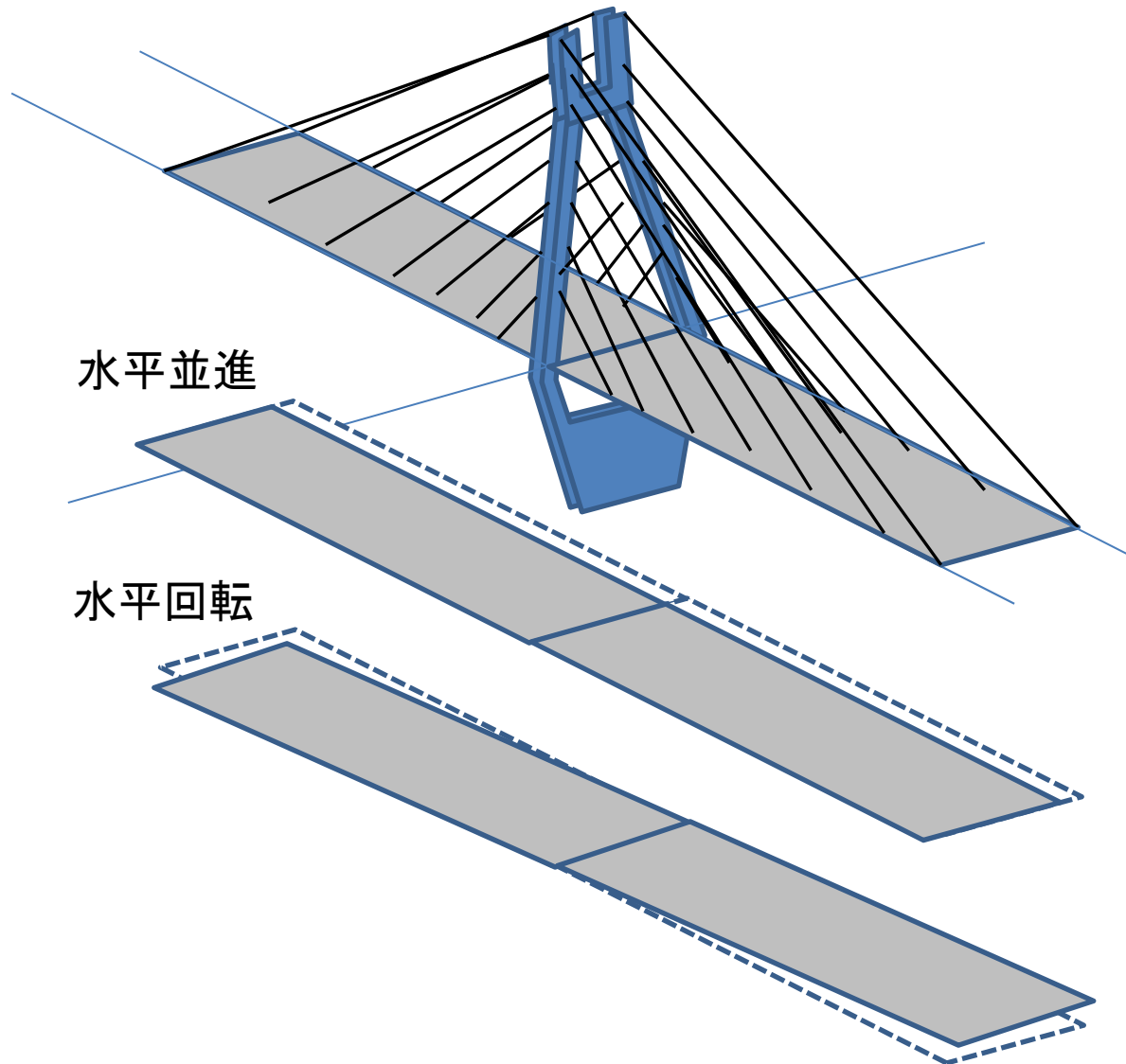
2013.4.15

箱桁と橋台側の両方の移動制限装置のコンクリートの中のすきまは、橋軸直角方向の変位に対して自由境界となる。

したがって、直角方向に変位しないという設計条件は成立しない。強風や地震動などの水平荷重による橋軸直角方向の振動変位や主塔を鉛直軸とした桁の水平面内回転が生じる可能性がある。しかも、いずれも低次の振動モードとなると考えられるため、周期の長い、増幅しやすい、減衰の小さい振動となる可能性が高い。

そのようなモードにより振動が生じれば、たとえ小さな変位であっても、橋桁と橋台のジョイント部に集中して生じるため、運転者のハンドルのコントロールが困難または不可能になるリスクがある。

そのことから、このような条件がある場合には、通行車両や通行人の安全確保のためには、大幅な速度規制などの通行規制が必要になると考えられる。



移動制限装置、落橋防止装置と橋台・橋脚の課題

2013.4.17

・道路は、地震対策面では地震時安全性および地震後機能性が重要である。特に、地震後の各機関での被害把握・救急・復旧などの緊急対応に最重要の社会基盤である。なかでも道路橋梁は、地域、都市、集落のコミュニティとしてのライフラインである。

・そのことから、道路橋の耐震設計は重要で、古くから地震被害を契機として、調査・研究・技術開発・実装が進められ、世界でも屈指の耐震性の高い道路ネットワークを形成してきている。

・1923関東地震、1964新潟地震、1995兵庫県南部地震の経験を大きな節目として、今日の耐震設計法が開発・進歩してきた。1964新潟地震での液状化と落橋の経験を踏まえて作成された1972道路橋耐震設計指針は、私が社会に出て設計業務についた頃の基準であるが、液状化と落橋防止構造の規定が取り入れられ、その年、1980年には道路橋示方書V耐震設計編が出され、それらが体系に組み込まれ、若い私は良く読み込んだ。その後も、充実され、現在の示方書では落橋防止システムとして体系化され、耐震性を大きく向上させてきた。しかしながら、設計法で想定している前提条件などの妥当性は、地震の経験に照らし合わせ確認し続ける必要がある。

・今回の州浜橋(斜張橋)の移動制限装置と橋台の被害は、前者の被害は軽微で、前者と後者の結合部の被害はなく、橋台の被害が橋梁システムへの被害となっているという点が重要である。移動制限装置は、耐震補強として既存構造物に対する対策として、有効であり、その設計方法にも特段の問題を呈したわけではないという意味で、設計で要求する性能は発揮できたと考えられる。しかしながら、前提条件となる橋台そのものの耐震性という意味で担保が不十分であったと言える。既存橋梁に対する耐震補強では、前提となる「土台」の耐震性を担保する手続きやその実現技術を見直すための教訓として捉える必要がある。

・落橋防止システムへの被害は、単に今回の地震の余震に対する安全性を考えるのみならず、長年、危惧され、その発生に対する確からしさが高まっている南海トラフに沿う海溝性の大地震に対する対策として重要なのである。何も、超巨大地震でなくても南海トラフで起こってきた歴史地震と同程度の規模の地震であっても、長周期のゆれや長時間の揺れ、本震に続く余震回数多さ、広域に影響が出るために直後対応が迅速に行えない、という地震時と地震後の影響の深刻さを考えるとき、我が国に多く作られてきて大地震をそれほど頻りに経験してきていない構造形式や構造要素の耐震性や既存不適格性に対する見直し、配慮と対策が不可欠である。強靱化とは、まさに、既存の構造物の耐震性を向上させることである。