

地震被害からの教訓と 免震・制震構造に関する研究動向



高橋良和

(京都大学防災研究所)

2011年東北地方太平洋沖地震

● 地震直後の調査の印象

- 津波による建造物の甚大な被害に対し，地震動による被害はそれほど大きくない。
- 地震動による被害は，耐震補強されていない建造物に集中している。

研究者・技術者の意識も，
この時点で思考停止しているのではないか？

2011年東北地方太平洋沖地震

- 阪神大震災以降進められてきた耐震基準の改訂や耐震補強によって、構造物の耐震性能が向上したことに疑う余地もない。
- しかし...
 - 耐震補強されていない構造物
(= **耐震補強判定の結果**, 早急に補強の必要がないと判断された構造物)
 - **阪神大震災後の耐震基準において推奨されてきた積層ゴム支承の破断, 亀裂**

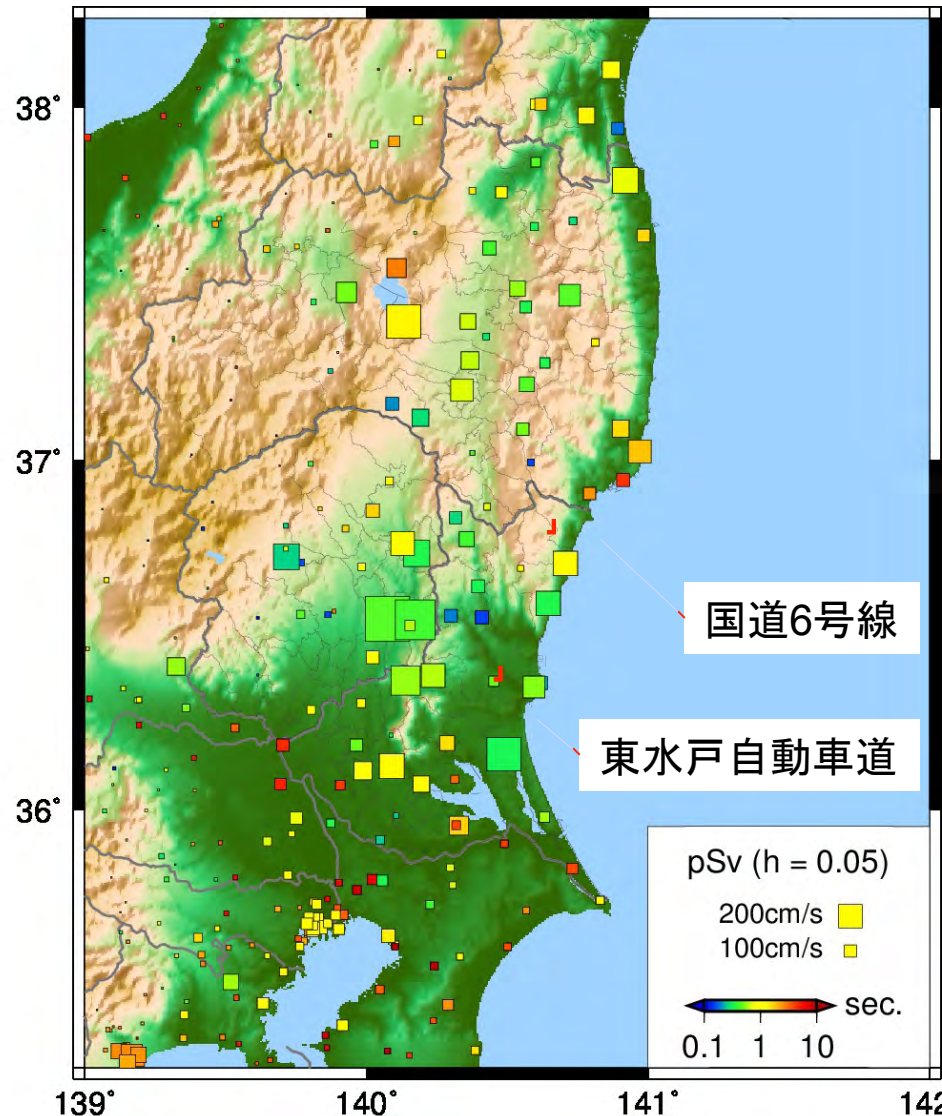
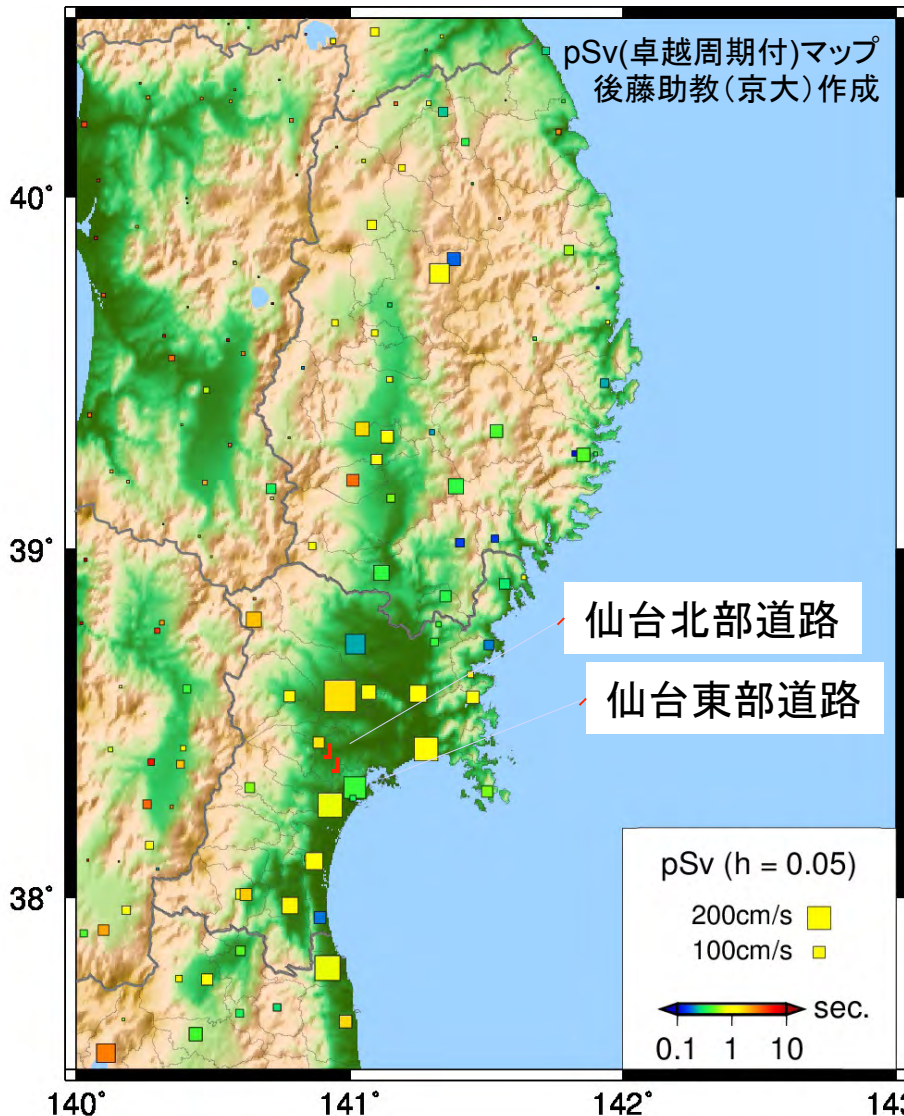
2011年東北地方太平洋沖地震

- 地震直後の調査の印象

- 津波による建造物の甚大な被害に対し，地震動による被害はそれほど大きくない。
- 地震動による被害は，耐震補強されていない建造物に集中している。

- 阪神大震災以降進められてきた橋梁における耐震工学の意義が問われている地震

積層ゴム支承損傷を伴う橋梁被害位置例



仙台東部道路 東部高架橋



- 平成13年供用開始(平成8年道示)
- 反力分散型積層ゴム支承(タイプB)

仙台東部道路 東部高架橋 積層ゴム支承の破断



- 橋軸直角方向への破断（支承高さが低い支承側が破断）

仙台北部道路 利府高架橋



所在地： 利府JCT～利府しらかしIC間

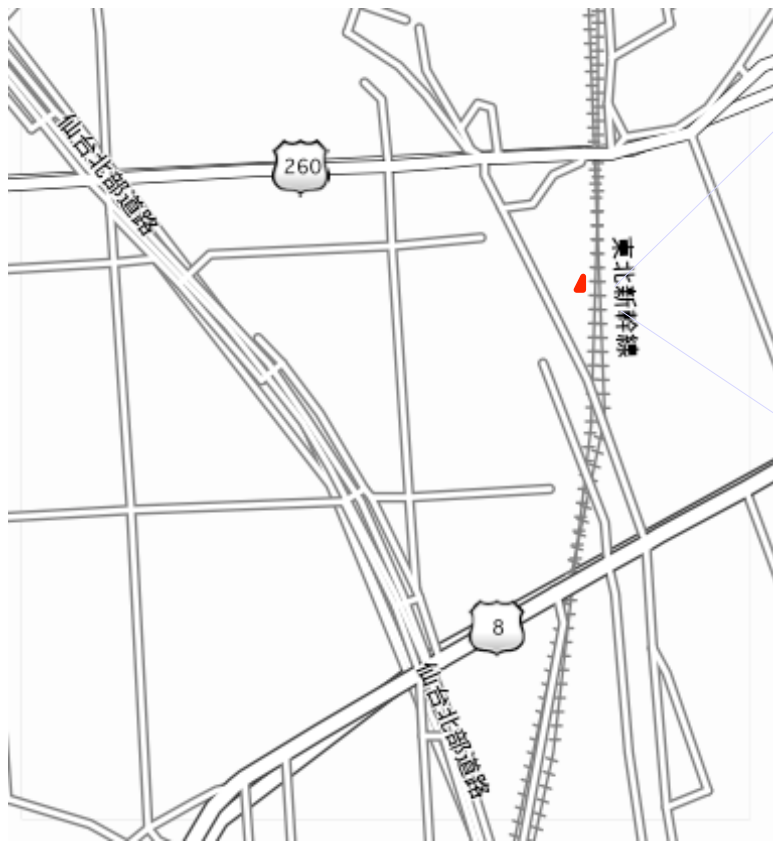
形式：PC(5+4+4+4)径間連続中空床版

橋長：L=78.0m(最大スパン39m)+286.0m(最大スパン72m)

支承：反力分散型積層ゴム支承(タイプB)

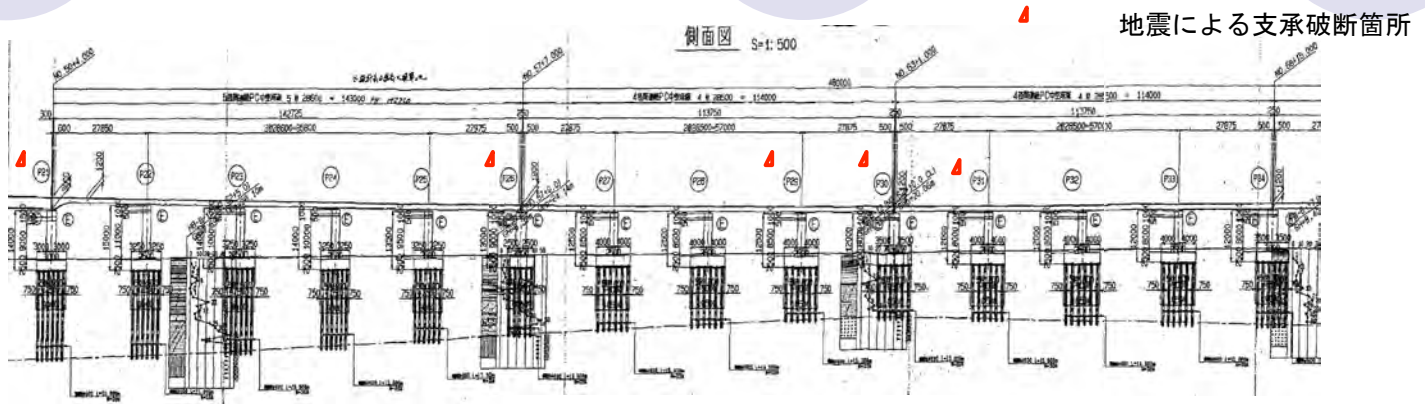
適用基準：H8道示

利府高架橋位置



約400m程度離れた東北新幹線高架橋も横はりがせん断破壊. 柱も補修中

仙台北部道路 利府高架橋 積層ゴム支承の破断



仙台北部道路 利府高架橋 積層ゴム支承の破断

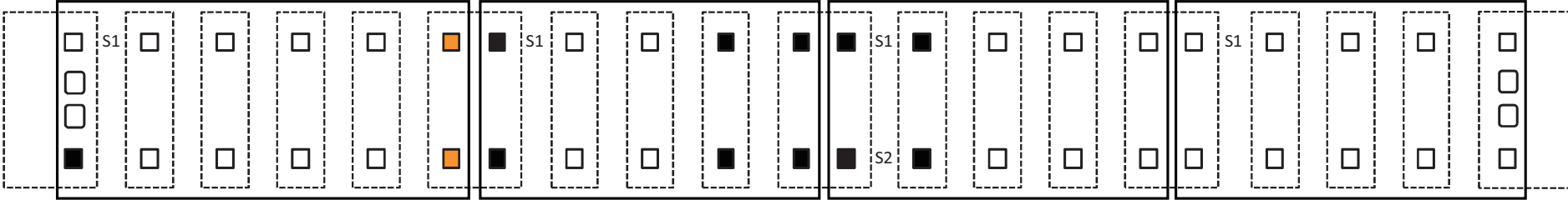
5径間連続桁

4径間連続桁

4径間連続桁

4径間連続桁

■ ゴム支承破断



東水戸道路 新那珂川大橋

所在地：茨城県水戸市

形式：
4径間連続鋼床版箱桁
斜張橋(中間橋脚付)

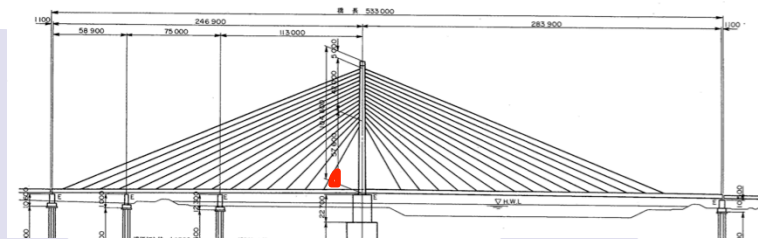
橋長：533m

支間割：58.9+75.0
+113.0+283.9m

竣工：1999年6月

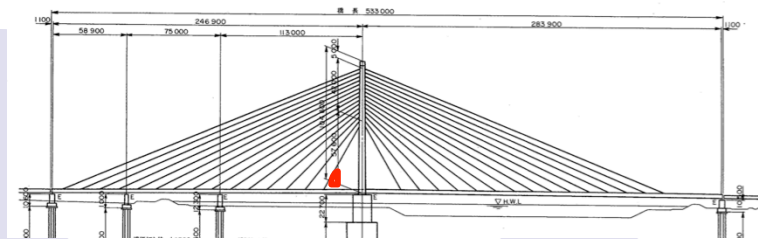


東水戸自動車道 新那珂川大橋 主塔橋脚



- 水平・鉛直方向にそれぞれ2基のゴム支承(タイプA支承)
- 鉛直支承2基およびウインド支承1基のゴムが破断
- 支承取付部損傷

新那珂川大橋(主塔橋脚) 鉛直支承(川上側)



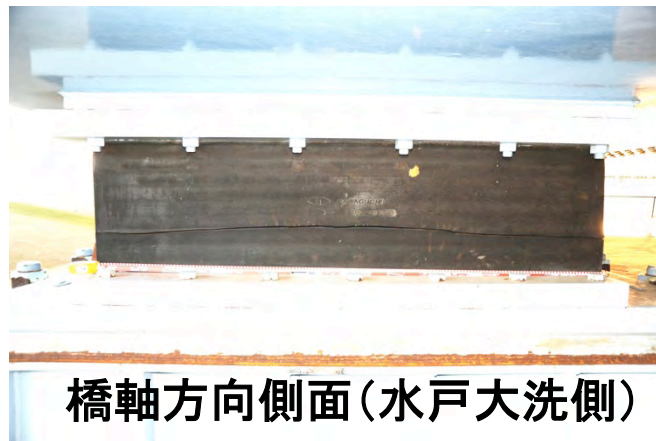
約45cmの変位制限装置に衝突



橋軸直角方向側面(川下側)

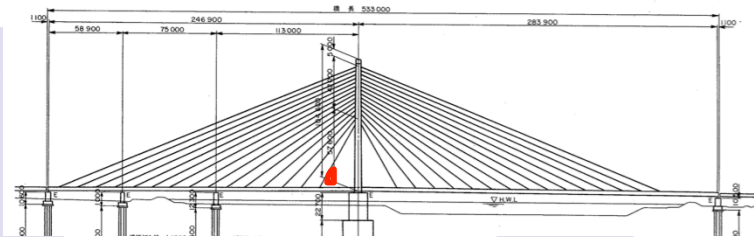


橋軸直角方向側面(川上側)



橋軸方向側面(水戸大洗側)

新那珂川大橋(主塔橋脚) 鉛直支承(川下側)



橋軸直角方向側面(川下側)

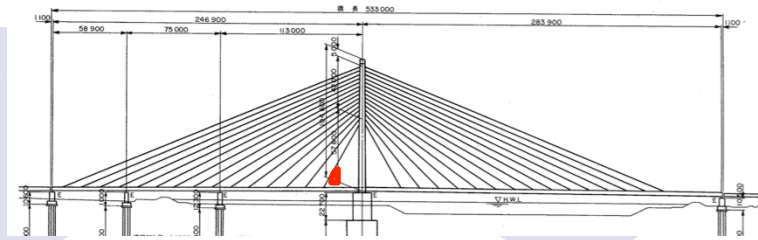


破断したボルト断面



橋軸直角方向側面(川下側)
両方向の変位制限装置に衝突

新那珂川大橋(主塔橋脚) ウインド支承(川下側)

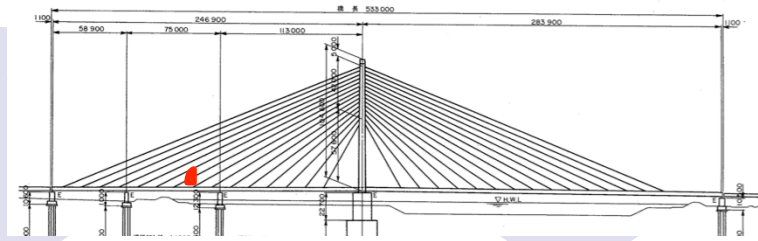


2個のゴム支承で構成



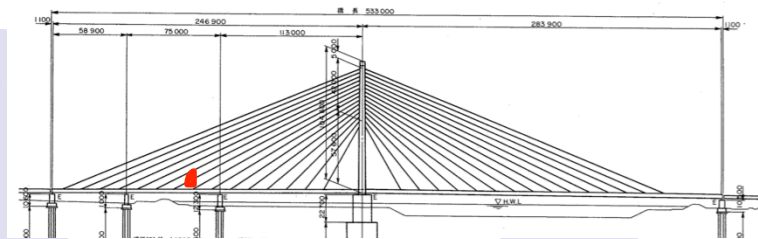
川下側ゴム支承の破断
(ひたちなか側)

東水戸自動車道 新那珂川大橋 中間橋脚1



- 1基の鉛直方向ゴム支承と2基のペンデル支承
- 支承取付部損傷

東水戸自動車道 新那珂川大橋 中間橋脚1



ゴム支承自体には損傷確認できず



支承取付部の損傷



ペンデル支承には
損傷確認できず



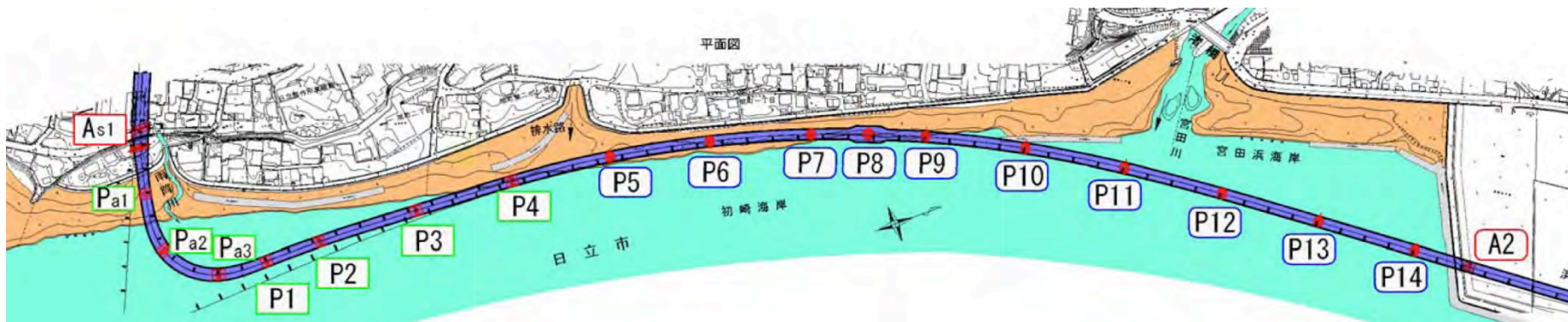
パイプジョイントの破断

国道6号線日立バイパス 旭高架橋



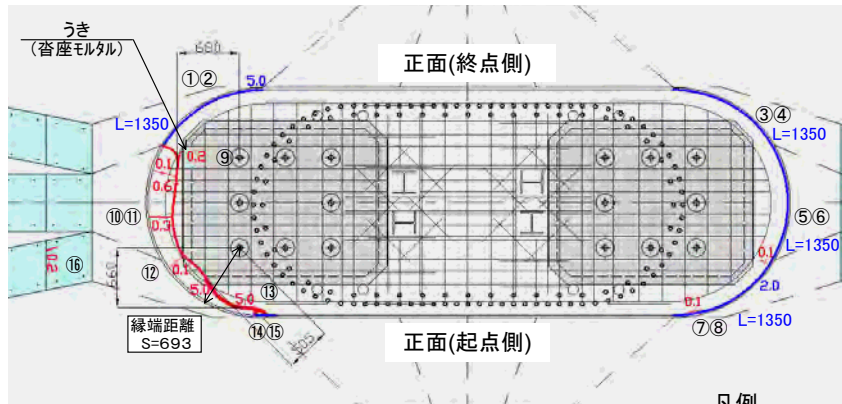
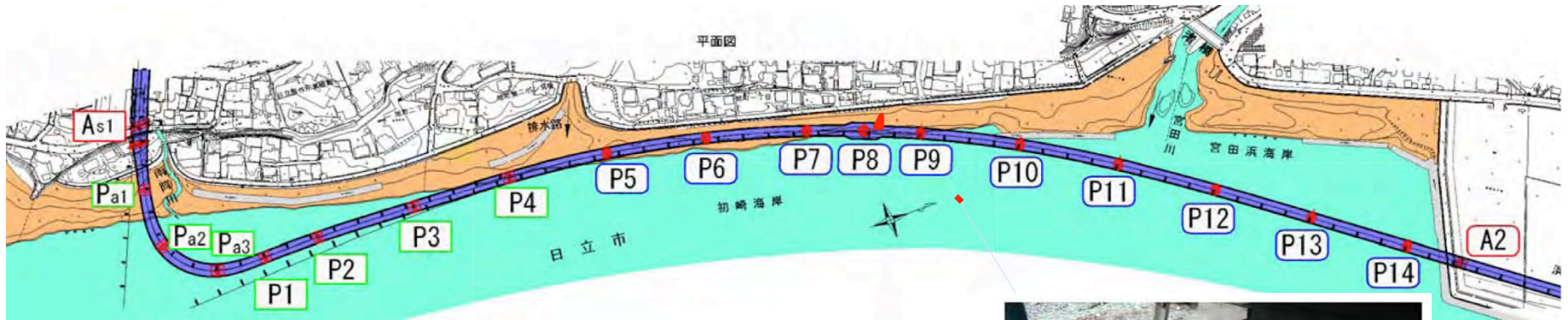
- 茨城県日立市 国道6号線日立バイパス
- 【ランプ部】橋長179.2mの4径間連続PC箱桁(曲線橋 R=50)
- 2008年供用開始【本線】橋長981.2mの7径間連続PC箱桁橋(2連)
- 免震支承(鉛プラグ入り積層ゴム支承)

国道6号線日立バイパス 旭高架橋 損傷状況



- 免震支承の損傷 (As1)
- 塩害対策のためにゴム被覆された支承とサイドブロックの食い込み (A2, P1～P14では接触痕)
- 地震前より、橋脚上面のひび割れおよび橋脚保護用型枠のうきに関する検討がなされていた(その影響は未確認).

国道6号線日立バイパス 旭高架橋 地震前の損傷状況（橋脚上面ひび割れ）



- 凡例
- うき
 - ひびわれ
 - 型枠の剥離
 - 型枠の欠損



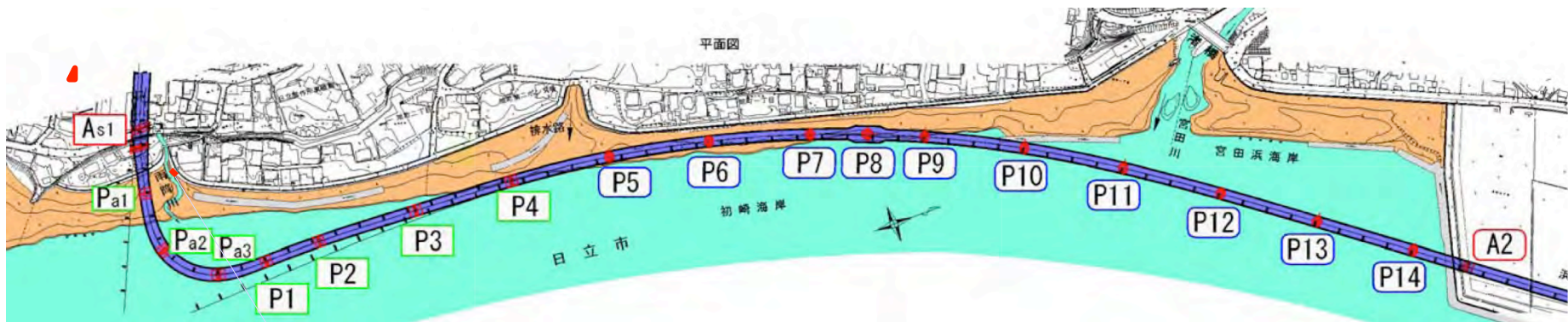
修復



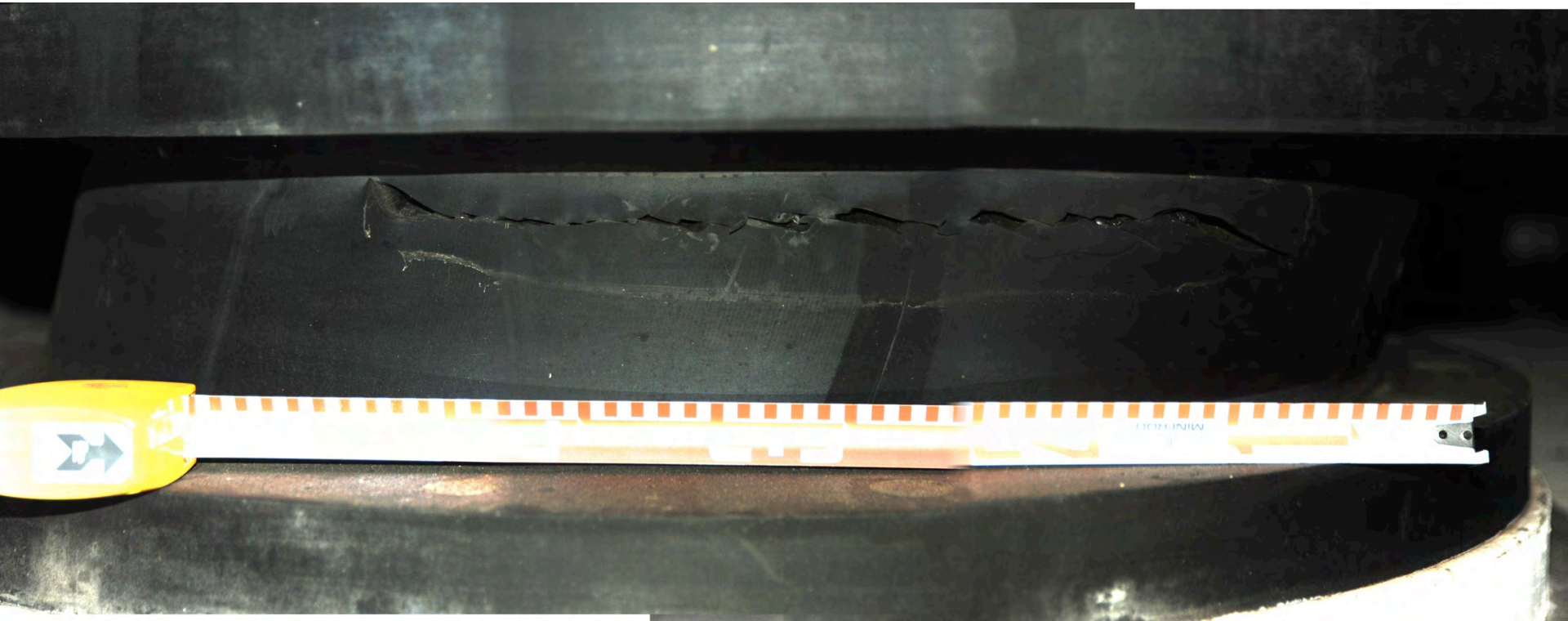
旭高架橋橋脚上面ひび割れ及び表面保護用型枠うきに関する
調査検討委員会, 平成20年第1回委員会資料より



国道6号線日立バイパス 旭高架橋 免震支承の損傷 (As1橋台部)

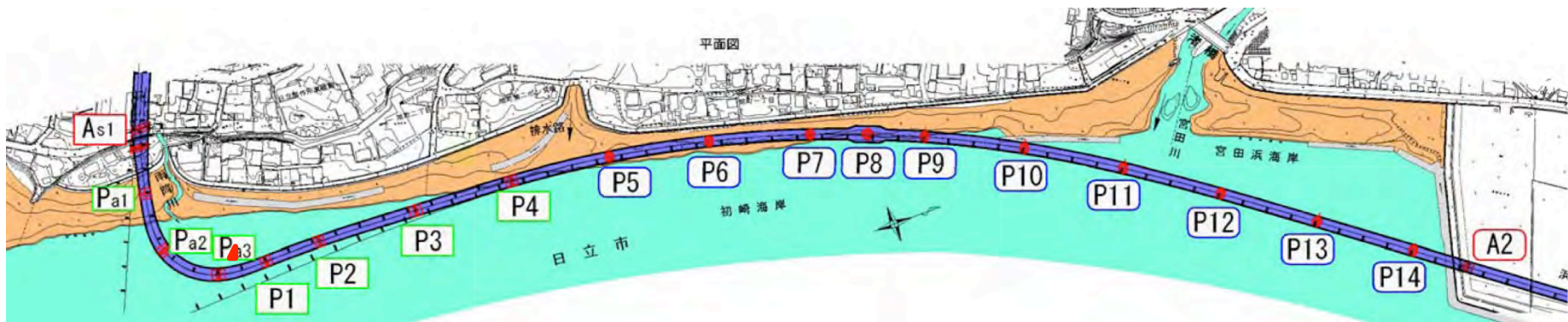


国道6号線日立バイパス 旭高架橋 免震支承の損傷 (As1橋台部)



- 円形断面の2方向免震支承
- 支承側面に大きな亀裂

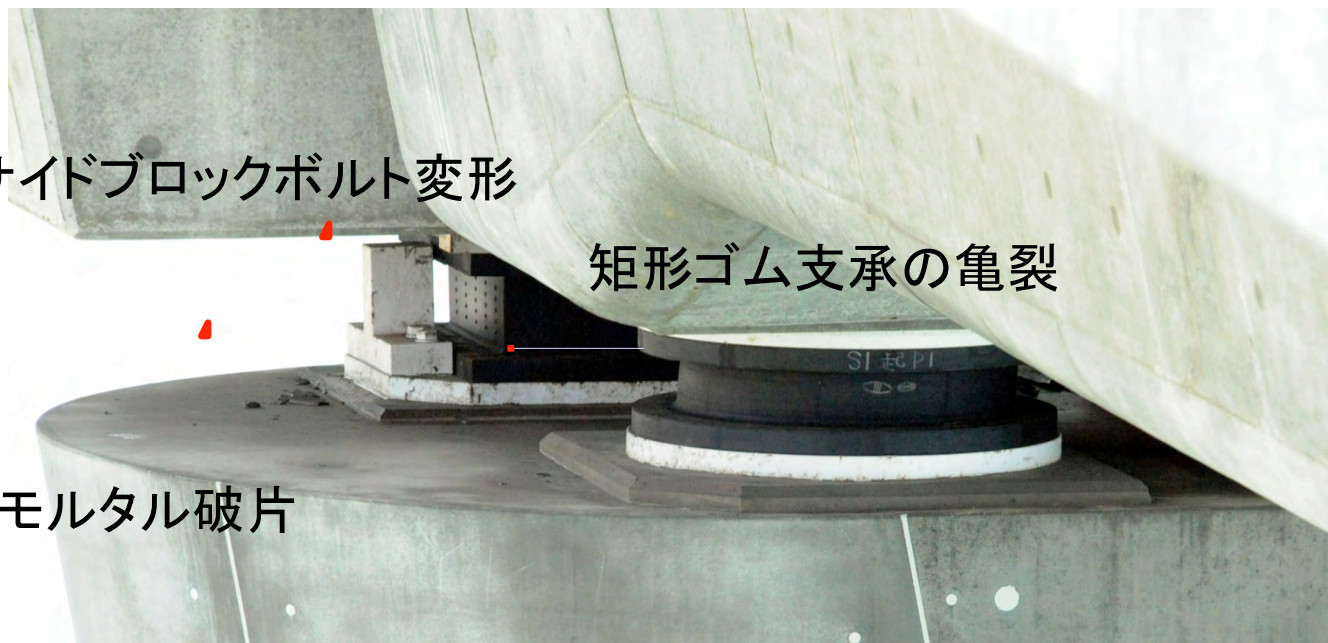
国道6号線日立バイパス 旭高架橋 免震支承の損傷 (P1橋脚部)



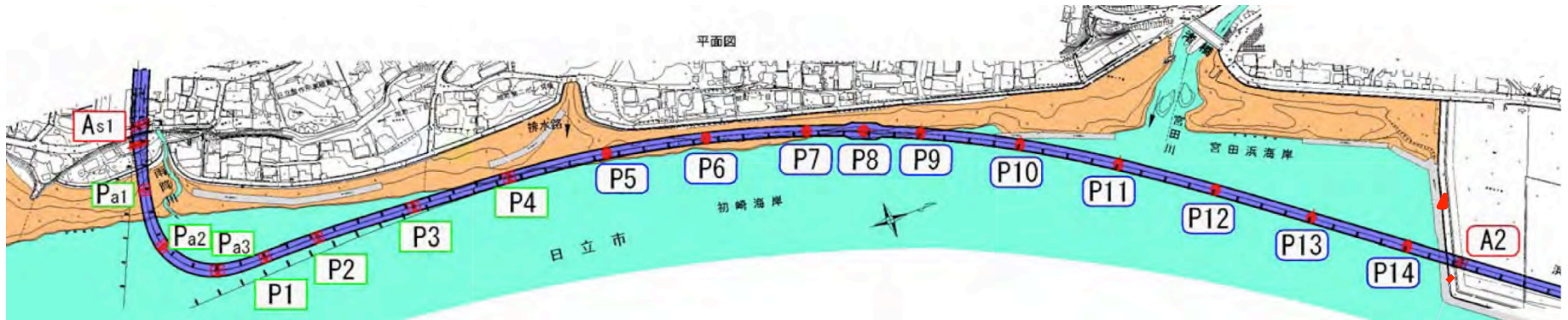
サイドブロックボルト変形

矩形ゴム支承の亀裂

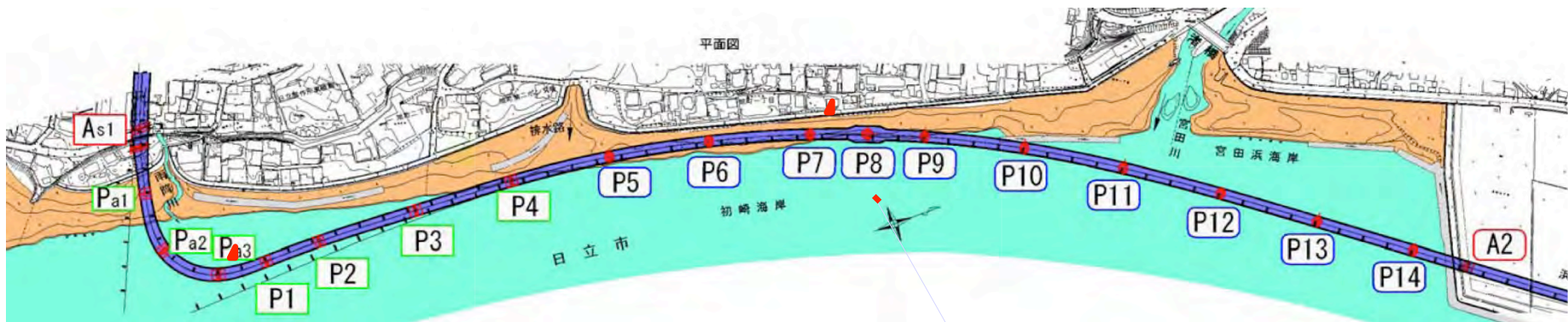
沓座部モルタル破片



国道6号線日立バイパス 旭高架橋 支承被覆ゴムとサイドブロックの食い込み



国道6号線日立バイパス 旭高架橋 支承被覆ゴムとサイドブロックの接触



免震・制震構造に関する研究動向



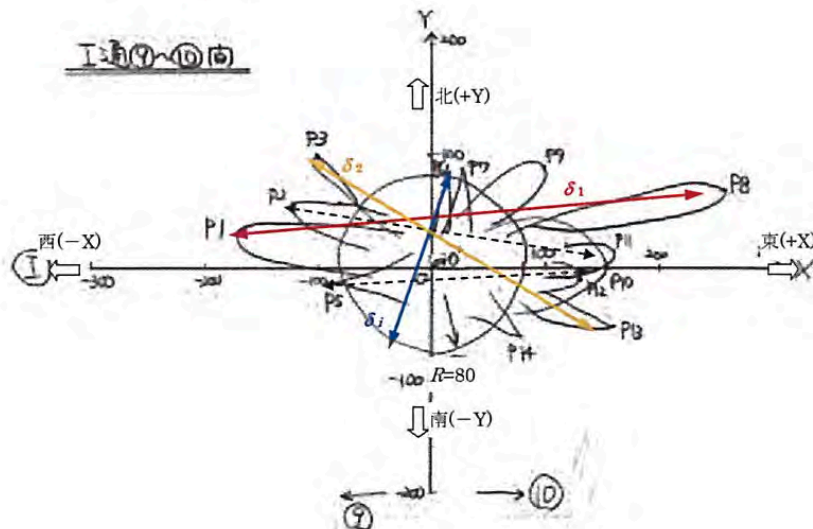
信頼を取り戻すために

- 構造物の動的応答(出力)は、「入力」、「構造システム(系)」に依存する.
- 免制震システムの一番の問題は、地震によって応答そのものが記録された事例が多くないこと. ほとんどが残留変形のみでの情報であり、地震による被害、損傷に関し、議論できる情報はほとんどない.
 - 入力や構造モデルを調整して、被害状況のみを合わせるのは、どうにでもなる.

信頼を取り戻すために

- 免震・制震デバイスの挙動を記録すること
 - 地震計の設置・整備を頼るのではなく、デバイス自体に最低限の記録機能を設けられないか？
 - 免制震デバイスは、桁と橋台、橋脚との間に設置されることが多い。つまり、「相対」変形量が重要。加速度の2回積分よりも、直接的に変形が記録できる方法はないか？

信頼を取り戻すために



罫書きによる免震層の変位記録(石巻赤十字病院) (JSSI 第14回免震フォーラムより)

- 罫書きのようなアナログ手法でも、現在の残留変位のみ
の情報よりも遙かに価値は高い。

鈍構造を可能にするデバイスの開発

- 圧倒的に不確定性の高い外的作用に対する構造屋からの戦略

鈍構造

想定外の地震が来ても
損傷しない

想定外の地震が来て
損傷しても気づかない
(大きな影響がない)

想定外の地震が来ても
反応しない

想定外の地震が来たら
敏感に反応し、鈍感に
振る舞う

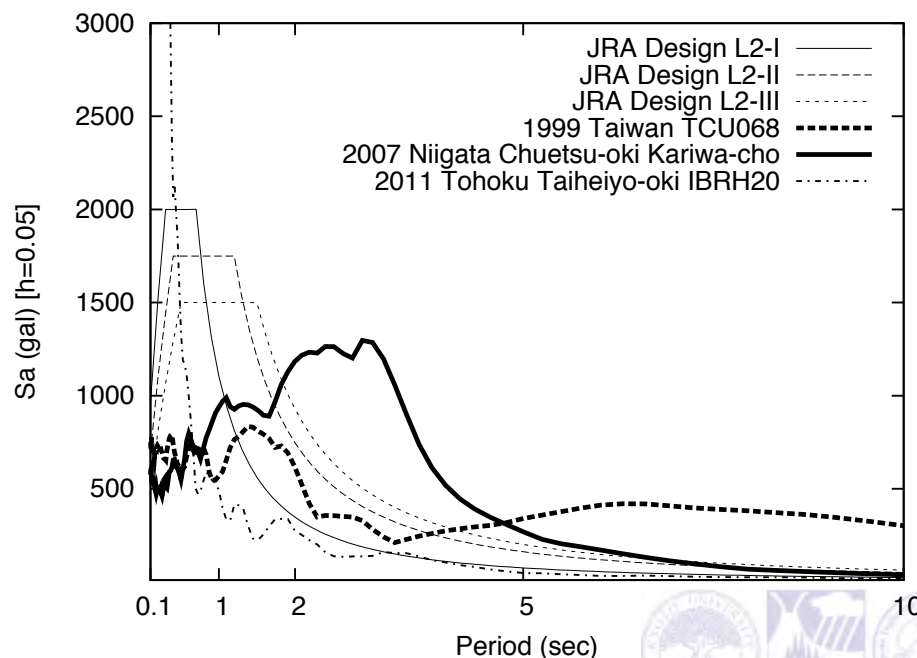
2008年, 小国(慶応大), 本田(東大), 秋山(東北大),
庄司(筑波大), 白旗(東工大), 高橋(京大)による討議の結果



地震外力に鈍感な構造

構造制御技術からのアプローチ

- 免震は，外乱である地震から構造物を免れることを期待した構造であるが，現在の橋梁構造における免震は，2秒程度に周期を設定されることが多い。
- 中途半端な長周期化は命取りになる。



地震外力に鈍感な構造

構造制御技術からのアプローチ

- 制震は、そもそもの概念に鈍構造の特質を持っており、地震動に**敏感に反応**し、損傷しない(**損傷に鈍感**)であることを目指している。
- 1995年前後には、アクティブ制震を含むさまざまな制震技術が検討されてきたが、現在では、ダンパーなど単に減衰を付与する技術の採用が中心である。計測技術を含む、ダンパー以外の制震技術の適用を再考すべき。

まとめ

- 積層ゴム支承は，1995年兵庫県南部地震以降，多くの橋梁に採用され，橋梁の耐震性能を保証するための重要部材である．そのような積層ゴム支承が，破断を含む損傷が発生した事実は重大である．
- **積層ゴム支承にも損傷は発生しうる**，という認識のもと，詳細点検を実施することが必要．
- 免制震技術の信頼を取り戻すためにも，その実挙動に関するデータを収集する方策を整備すべき．
- 免制震技術を用い，新しいパラダイム（鈍構造の実現）の創生を目指す．