

土木学会地震工学委員会

私(達)の地震工学

2017年9月6日

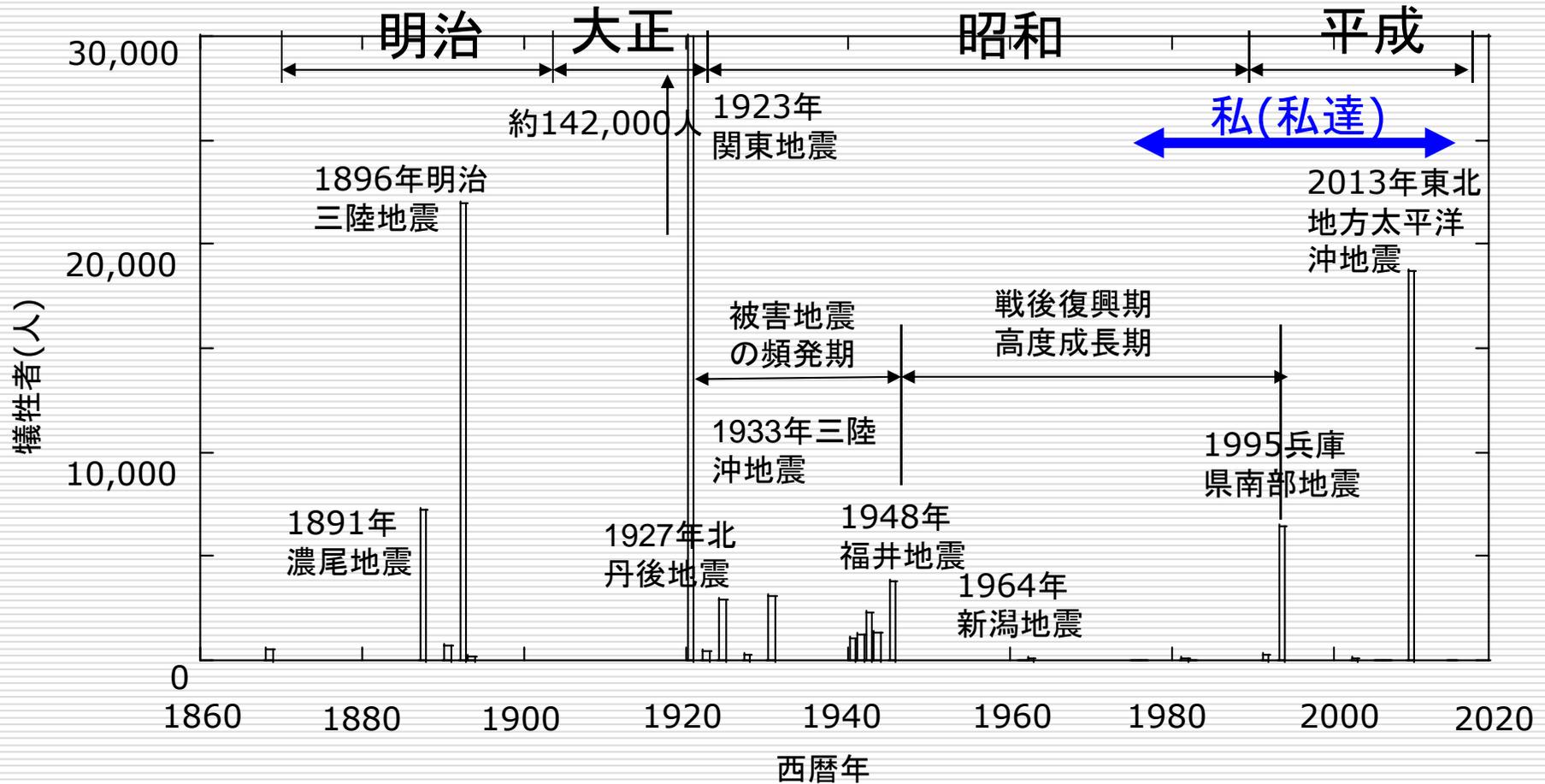
東京工業大学名誉教授
川島一彦

降る雪や 明治は遠くなりけり

1931年(昭和6年) 中村草田男

- 来年(2018)は、
 - ✓明治(1868～)が始まってから150年
 - ✓恐らく、平成が終わる年
 - ✓前半激動、後半は平和な成長が続いた昭和が終わって30年
- 私たちは、自分が経験した範囲の中から見える将来しか考えられないのだと思う
- 私たちが強震記録、大型実験、動的解析という武器を持って地震と対峙できるようになってから、まだわずかに40年。経験したことのない大規模・内陸直下型地震の洗礼を受けるには、まだ、あまりにも戦う装備が貧弱かも知れない。

僥倖ともいふべき地震の静穏期に重なった 戦後復興期と高度成長期



すべては1923年関東地震から始まった

- 欧米諸国から直輸入された技術がもてはやされたが、これには地震対策が全く含まれていなかった。
- 関東地震前後から、震度法(震度0.2程度)が考案され、次第に普及していった。

✓1872年新橋・横浜間鉄道開通:鉄道の優先的整備

✓第1次世界大戦(1914-1919)による車両交通の飛躍的増大

✓1919年(大正8年):道路法+道路構造令制定

✓1926年(大正15年6月):道路構造に関する細則案作成



経済力が弱体な戦前の我が国では、耐震性など顧みる余裕はなかった

道路構造に関する細則案(大正15年)

物部長穂:立案者に見たる橋梁細則案、昭和4年

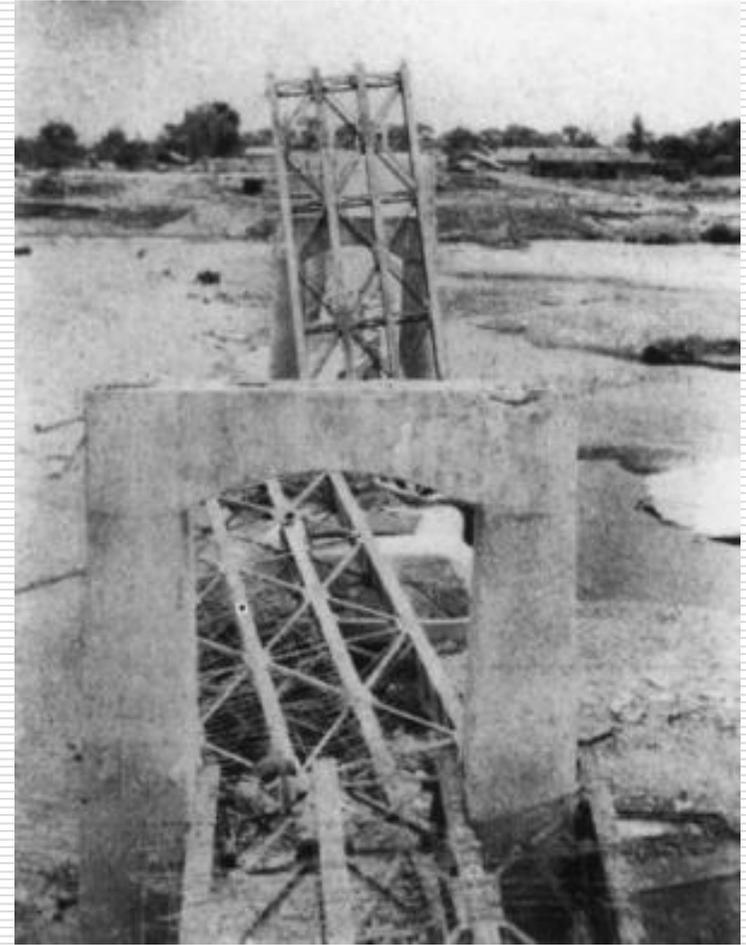
- この細則案では、これは終始消極的な方針をとり、技術的には無謀であると非難されてもやむを得ないほど、大胆に工費の低減を図るようにした。
- わずかな公費の減少を図ろうとしたのではなく、10橋を建設する工費で10数橋を建設し、100kmの道路を建設する工費で100数10kmの道路を建設することによって、一日も早く改良された道路網を完成させることを願ったためである。

関東地震から1948年福井地震あたりまでは地震の活動期にあたり、立て続けに地震に見舞われた

- 1927年北丹後地震(428人) 1927年金融恐慌
- 1930年北伊豆地震(272人) 1932年五・一五事件
- 1933三陸津波地震(3064人) 1933年国際連盟脱退
- 1943年鳥取地震(1083人) 1937年盧溝橋事件(日中戦争)
- 1944年東南海地震(1223人) 1939年第2次世界大戦始まる
- 1945年三河地震(2306人) 1940年日独伊軍事同盟
- 1946年南海地震(1330人) 1941年真珠湾攻撃、太平洋戦争勃発
- 1948年福井地震(3769人) 1943年 ガダルカナル島撤退
1944年 B29による爆撃、竹槍訓練開始
1945年 終戦

- 関東地震以降、耐震技術を開発できる状態にはなかった。
- 研究者もおらず、満足に被害調査もできない状態で、被害経験を耐震技術に昇華されることはなかった。

戦後になり、敗戦のショックにある国民を打ち
のめすかのように起こった1948年（昭和23年）
福井地震



よみがえる福井震災(1998)
編集・解説: 谷口仁士

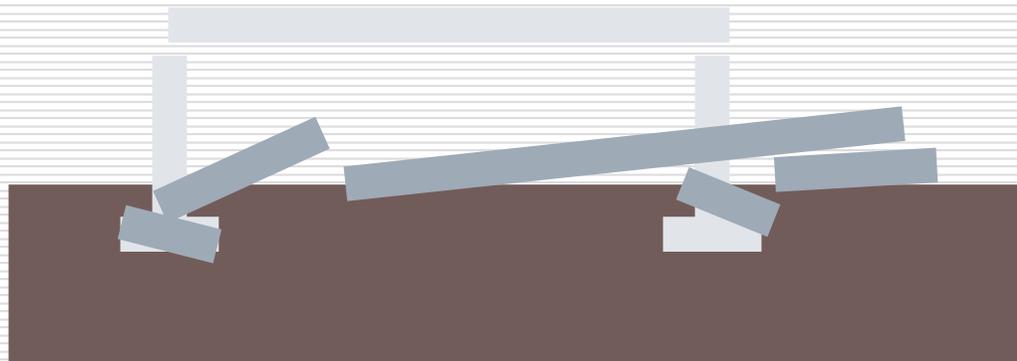
現在までの耐震技術を振り返ってみると、……

第1フェーズの被害

全く耐震性が考慮されていないか、
耐震設計されていても耐震設計が不十分な時代

- 1891 濃尾地震
- 1923 関東地震
- 1948 福井地震

基礎の転倒、滑動、沈下



↓
落橋

このタイプの被害は、まだ発展途上国ではごく普通の被害として生じ続けている

1951年以降、どのように被害は推移してきたか？

- 高度成長期に入ると経済的余裕も出だし、RC杭、PC杭、鋼管杭が使用可能となり、基礎の施工技術が向上
- 昭和39年新潟地震では、当時、使用可能となった鋼管杭を用いて建設された昭和大橋が落橋
- 東京オリンピックの10月開催のため6月に前倒し開催された国民体育大会のわずか5日後
- 被害原因は、大規模な液状化と流動化(液状化は太古の昔から起っていたが、液状化という現象が「液状化」という名称を与えられて国際的に知られたのはこの地震から。「流動化」という現象の認識と用語の普及はさらに後年になってから)



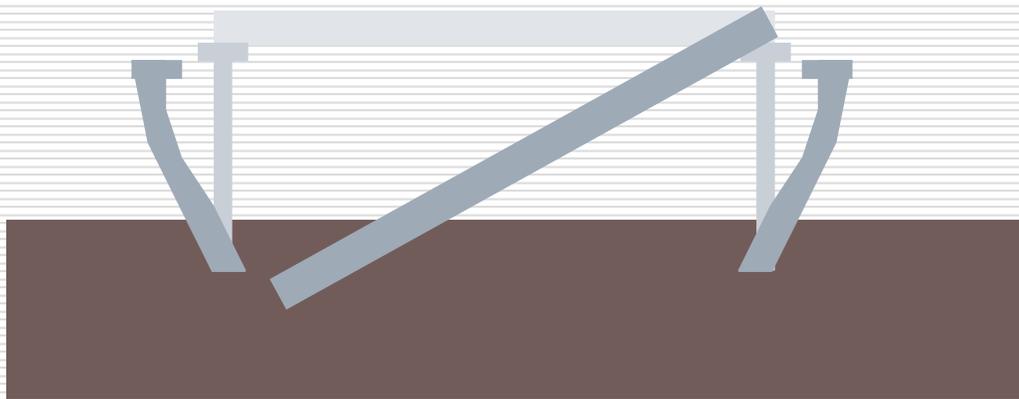
第2フェーズの被害

震度法が普及したが、液状化や流動化が知られていなかった時代

新潟地震を契機として液状化という名称が与えられ、液状化対策に対する近代的な技術開発が開始されるようになった

1964 新潟地震

液状化に伴う過度の相対変位



↓
落橋

- 液状化の発生可能性とその度合いの評価法
- 液状化が基礎に与える影響と、基礎の強化法
- ...

世界に先駆けた落橋防止構造の考案と実用化

- 我が国の技術者が地震被害から考案

- ✓もし、隣り合う桁どうしを何かで結んであれば、容易に桁は落下しないのではないか？

- ✓桁と橋脚を結んでおけば、同じ効果が得られるのでは？

- ✓橋脚の橋軸方向の幅をもっと広くしておくとうい
のでは？

- 新潟地震以降、落橋防止構造はMade in Japanの技術として世界に広まっていった(このことを知らない日本人も多い)



新潟地震で落橋した昭和大桥

第フェーズ2以降、被害はどのように変化して来たか？

被害は、橋脚・支承へと、
予想しない方向に移ってきた

浦河沖地震 1982年
静内橋

主鉄筋段落としによる被害が顕著に表れた初めて経験



1978年宮城県沖地震

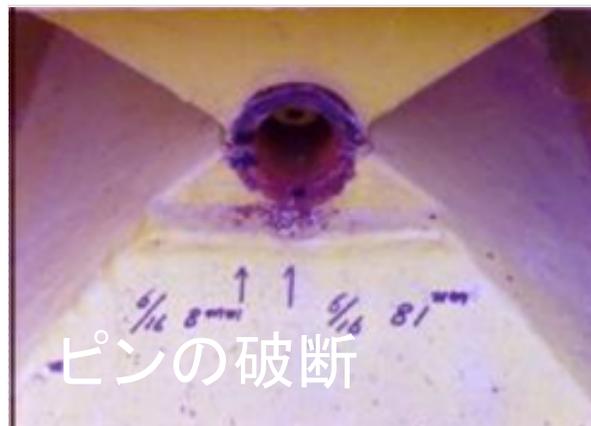
RC橋脚の軸方向鉄筋の重ね継手部や主鉄筋段落として部に被害が集中

千代大橋
国道4号



ほとんどすべてと言って良い程、被災した鋼製支承

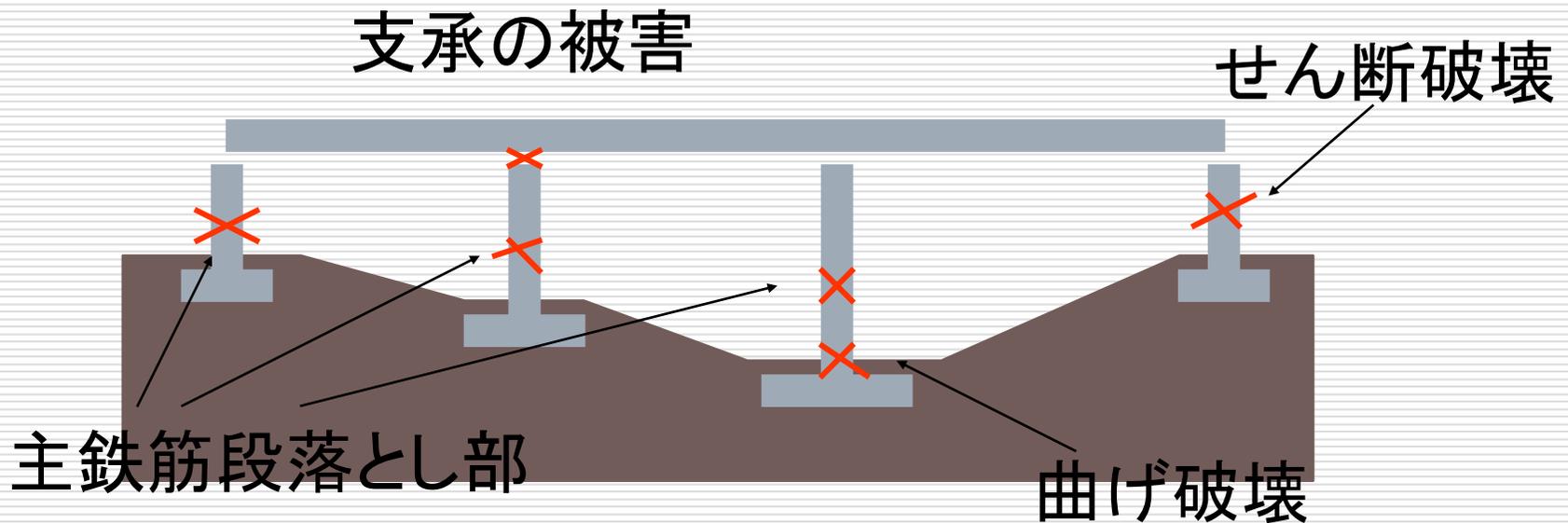
- ほとんどすべてのサイドストッパーが損傷した
- 一見、頑丈そうに見えるピン、ローラー支承も多数破断した。可動移動量が小さ過ぎ、上下部間の相対変位を吸収できなかった。



第3フェーズの被害

基礎を強化した結果、橋脚や支承部に被害が移行してきた時代

- 1978 宮城県沖地震
- 1982 浦河沖地震
- 1993 北海道東方沖地震



→ 1995年兵庫県南部地震へ
つながってきた

1995 M_w 兵庫県南部地震

主鉄筋段落とし部のせん断破壊



忘れられない記憶—1970年代 閉口した入力地震動の選定

新米の研究員、主任研究員時代、土研には多くの方がやってこられて、「動的解析をしたいので、入力地震動を決めて欲しい」と依頼された

- (建設省や県の担当者) 今度、うちの方で〇〇橋、〇〇ダムを建設することになった。最近は動的解析というものを実施するそうなので、ついては入力地震動を決めて頂きたい。
- (川島) どういう波がご希望ですか？
- (建設省や県の担当者) うちにとって初めての大規模構造物なので、できるだけ安全になるような波が欲しい。
- (川島) それでは、こんなものでどうでしょう。

忘れられない記憶—1970年代 閉口した入力地震動の選定

2～3ヶ月後

- (事務所) 大変です。震度法で設計した断面力の3倍も大きい力が出ています
- (川島) この構造物の固有周期は……、波には卓越周期というものがあって、……、減衰が…… (1時間ほど説明した後で、……)
- (事務所) 震度法よりも正確な方法だと聞いたので動的解析をしたのに、こんなことになってしまって、どうしたらよいのでしょうか
- (川島) そういう事情なら、この波ならどうでしょう。

さらに1, 2ヶ月後

- (事務所) ありがとうございました。おかげさまで、〇〇橋、△△ダム of 耐震性が確保されることが確認されました。

忘れられないもう一つの記憶

昭和62年11月

免震橋を見るため、ニュージーランド公共事業省(当時)に依頼し、
日本～ニュージーランドWSと免震橋の実地見学に行った



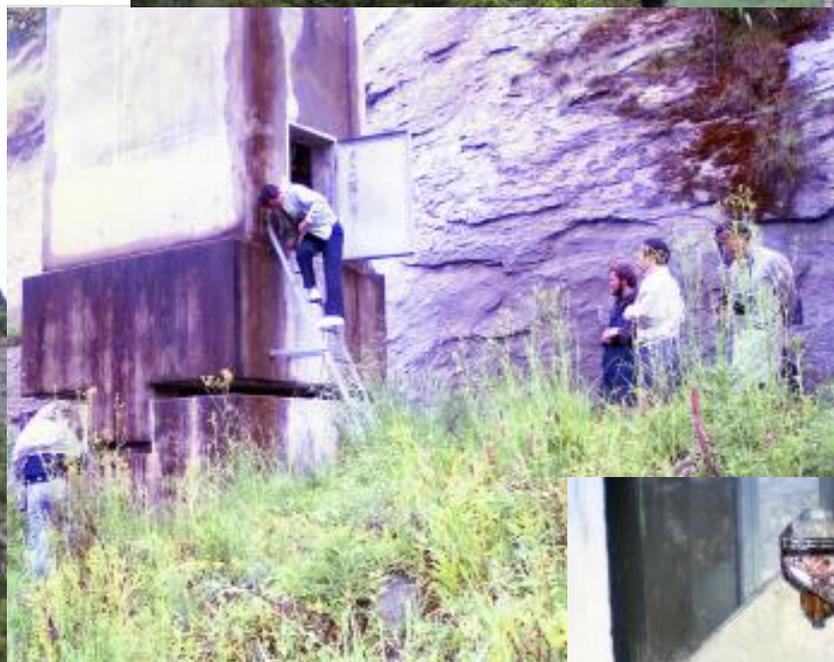
ニュージーランド公共事業省(当時)の中庭にて

D. Kirkcaldie氏の案内で多数の免震橋を見て回った

South Rangitikei Bridge



Stepping Isolation



鋼板ねじりダンパー

移動中のバスの中で、・・・

- (日本) なぜ、あんな大胆な橋に、いきなり新規技術の Stepping Isolationを取り入れたのか？
- (NZ) Deviceの特性は実験で確認したし、きちんと橋全体系の動的解析した
- (日本) 動的解析したといっても、現実の揺れはもっと大きいではないか？ NZはホンモノの地震国ではないか？
- (NZ) だから、現実の強震動を与えて非線形で解析したのだ！
- (日本) 動的解析したと言っても、いきなりあんな橋を造るなんて・・・

かみ合わない議論。日本からの訪問者にとっては強烈な印象

- 免震設計を勉強しているといっても、当時のほとんどの参加者の頭は震度法ベース(現在でさえ！！)
- 少数精鋭で実験、解析、設計するチームプレーの良さと、自分たちの成果に対する揺るぎない自信に圧倒された

じん性橋脚の研究のメッカ

University of Canterbury
Robert Park教授

「私達の実験は日本ほど大規模ではないのですが、・・・」と良いながら、穏やかに説明してくれた



インターロッキング
スパイラル橋脚

Park先生は、しばしば日本に来てくれた

1995年兵庫県南部地震後に、中間帯鉄筋は両端でフックを設けるべきだと教えてくれた



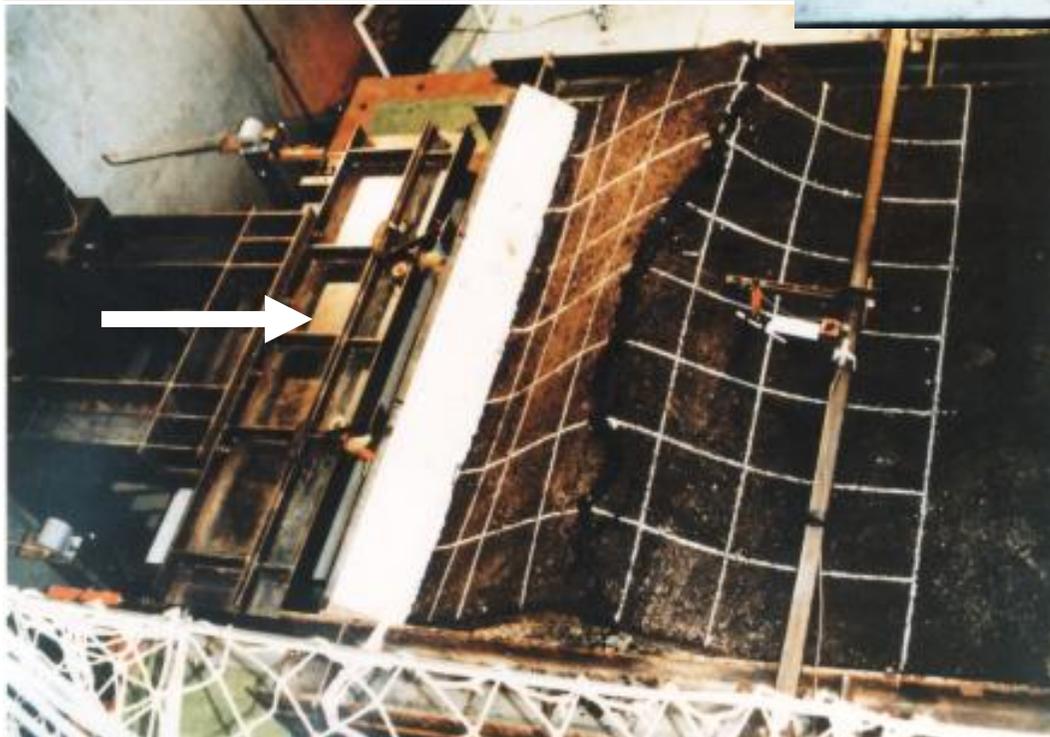
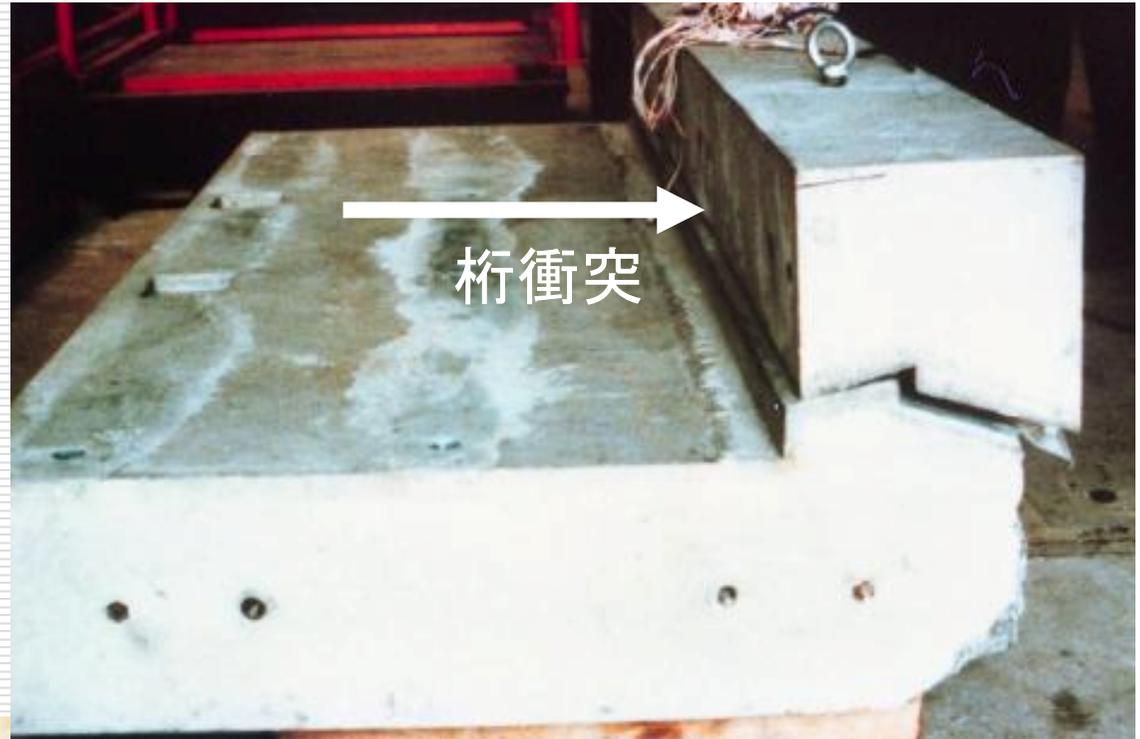
Grafton橋

- 鉛プラグ入積層ゴム
支承
- 日本でも免震橋を建
設可能と判断した瞬
間・・・



ノックオフ橋台

- 本当にノックオフされるのか？
- 平成1～3年に官民連帯共同研究として「道路橋の免震構造システムの開発」が実施された



- 後藤洋三室長(当時)が震動台を使った実証実験を実施
- 簡単にノックオフされるわけではない
- こういう手堅さが日本の良い所

道路橋の免震構造システムに関する官民連帯 共同研究(平成元年～3年度)

1995年兵庫県南部地震を受けて、同年2月の復旧仕様、1996年の道路橋示方書V耐震設計編の全面改定をスムーズに実務に適用できたのは、免震設計に関連して地震時保有耐力法の意味を理解していた技術者がいたお陰である



日本と海外の耐震設計の方向が大きく変わっていく契機となった1971年サンフェルナンド地震



米国専門家の見方

- 設計震度が0.04～0.08と低すぎた→日本の影響から離れ、現実の地震動を考慮
- 橋脚の変形性能が低すぎた
- 桁かかり長が短すぎた

日本の専門家の見方

- 設計震度が低すぎた
- 橋脚がスレンダーすぎた
- 桁かかり長が短すぎた



- 震度法を用いて日本と同程度の設計震度を採用し、断面を大きくし、桁かかり長を長くすれば、被害は出なかった

私達の一世代の先輩達は、0.2~0.3の設計震度+許容応力度法で耐震設計すれば、絶対に倒壊しないと信じていた

昭和39年新潟地震当時の専門家の見方

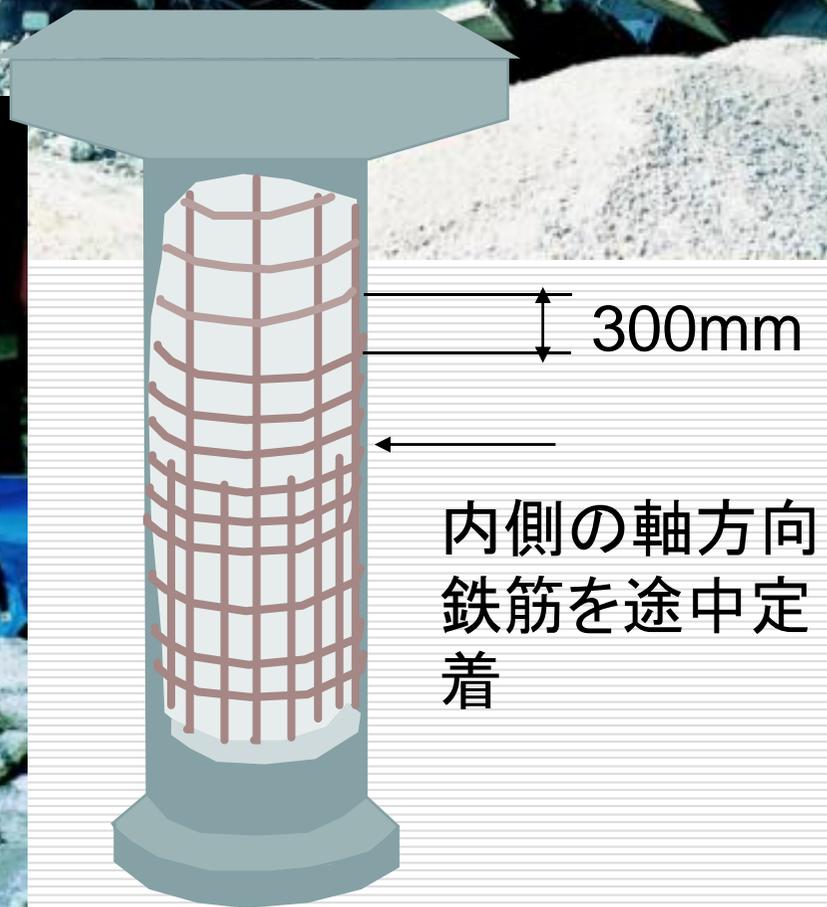
地震被害から学んだ教訓と今後の技術開発

土木研究所資料第3277号、平成6年

- 昭和39年新潟地震で、復旧費が一番高かったのは万代橋、一番安かったのは昭和大橋。昭和大橋の方が復旧も速く、よかった。
- 昭和46年道路橋耐震設計指針は、地震学的にその地点で考えられる最大の地震力を考えている。関東地震よりも大きい設計震度を考慮している。
- 戦後高度成長期で道路整備が最優先課題。事業費が少ない中で、できるだけ多くの橋を造る必要があった。
- 試設計すると鉛直震度の影響は小さいから、設計では見込むのを止めておこうとした。
- 耐震工学は絶えず実験、解析を通してチェックすることにより進歩がある。それが幸いなるかな、近年は地震がないため、先が見通せない状況。(戦争を体験してきた大先輩達だからこそその判断)

主鉄筋段落とし部の せん断破壊

1980年前の基準では標準
的工法であった

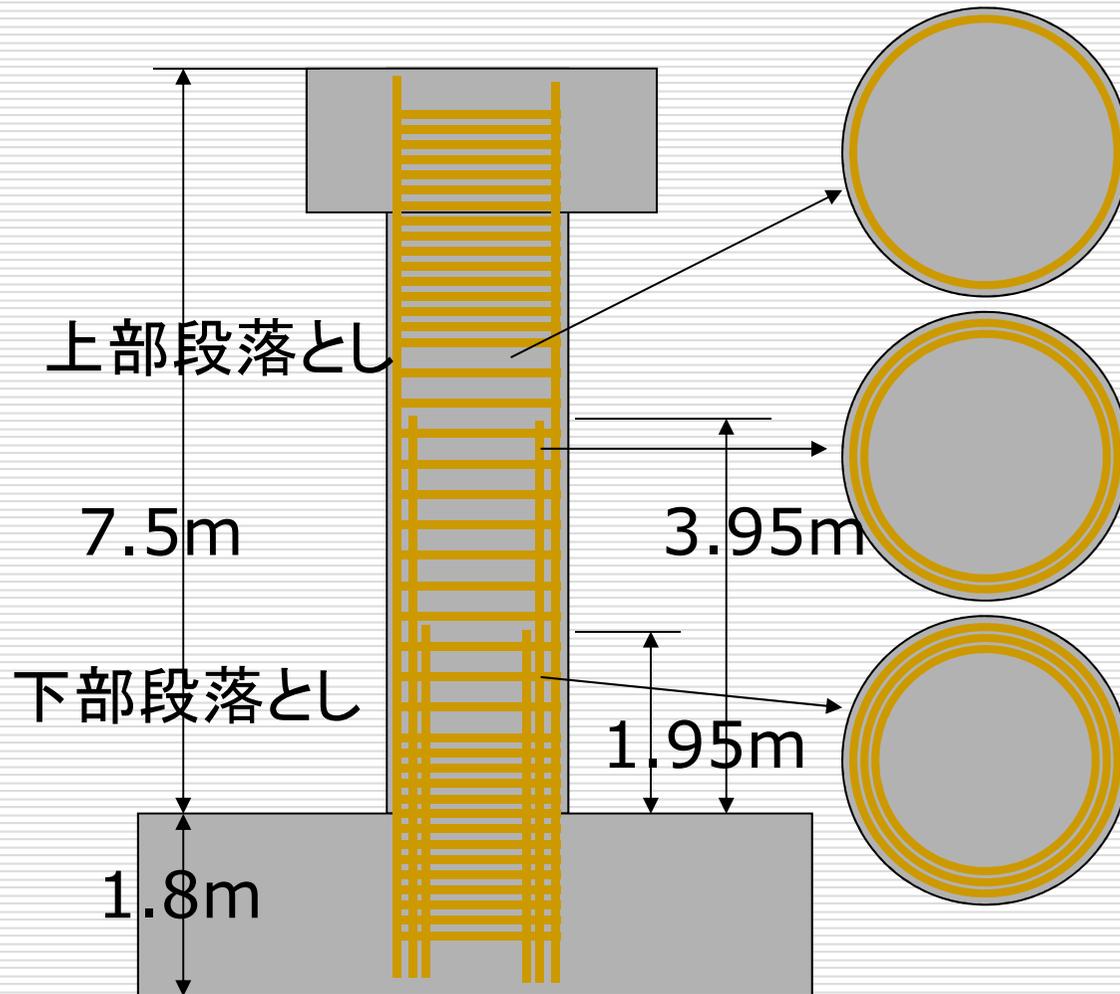


兵庫県南部地震後には、被害原因に関して、 いろいろな意見が出された

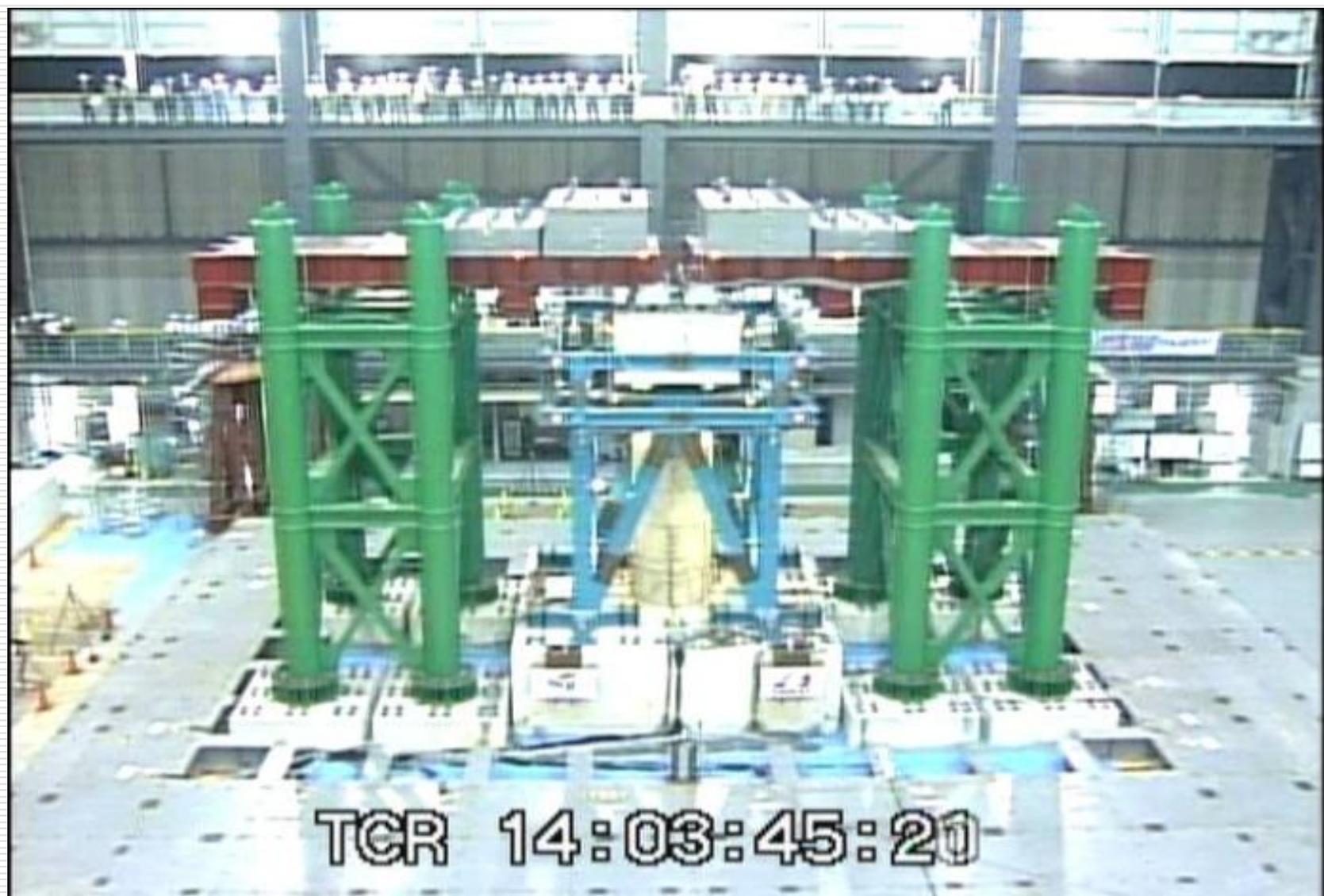
- 大きな圧縮力を受けて壊れた……………いつも地震学者はこういう発言をする
- 上下方向の設計震度を考えていなかったためだ……………上下方向震度を考慮していないことが被害原因と思いついでいるマスコミ
- ハンマーで杭を打設した場合と同様の圧縮波の伝播のため……………波動伝播の専門家
- 強震記録では観測されない程の、超高振動数の地震動が発生し、このため破壊した……………けっこう多数の専門家
- ……………
- 大被害が生じると、とんでもない意見が出てくるという点に、今後も注意しておかなければならない。

主鉄筋段落としを有するRC橋脚はなぜ崩壊したか？ (C1-2橋脚)

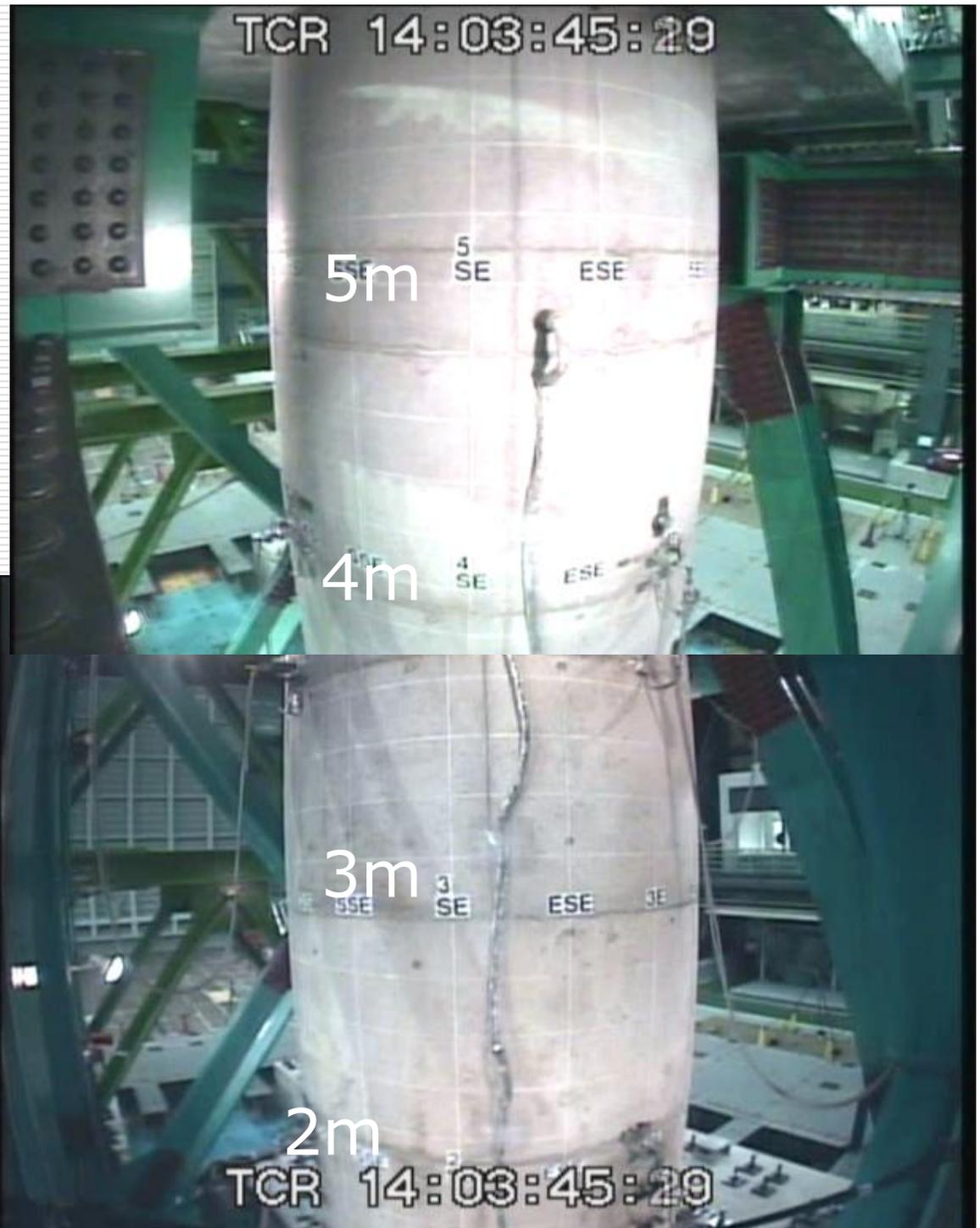
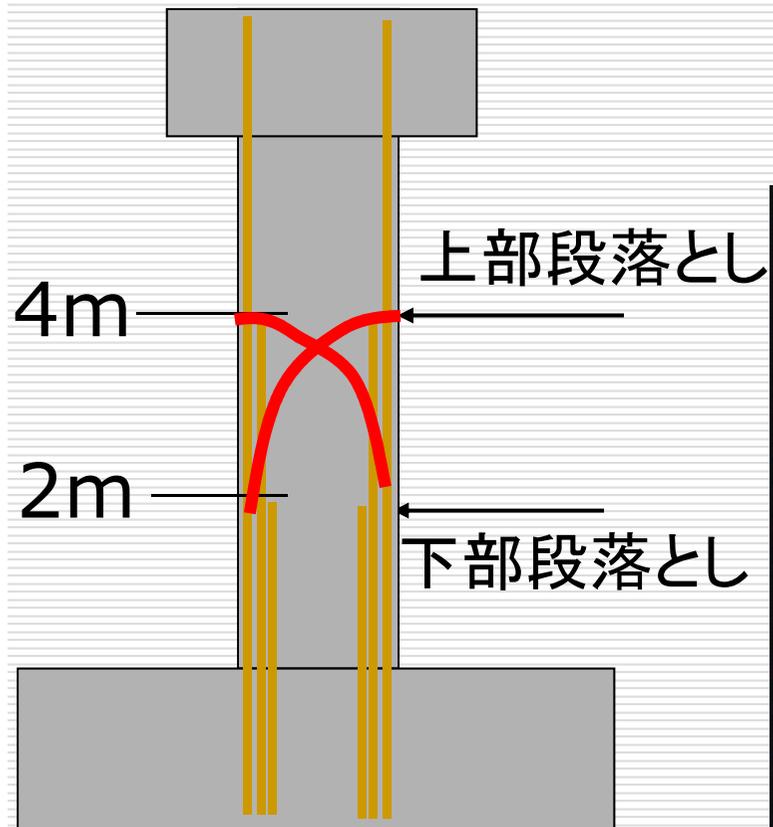
E-Defenseを用いた実大実験



主鉄筋段落とし部のせん断破壊(C1-2 橋脚)



主鉄筋段落とし部では、どのように壊れるか？



なぜ、このような問題に気がつかなかったのか？

- 震度法に内包される問題

許容応力度法では、降伏後にどうなるかを考える必要がなかった

- 社会的条件の変化に伴う構造条件、規模の変化

✓従来、わが国では、経済性の観点から、低鉄筋十大断面の橋脚が建設されてきたため、コンクリートのせん断耐力には余裕があった。

✓しかし、都市高速の出現で、橋脚断面を絞らざるを得なくなり、コンクリートのせん断耐力に余裕がなくなってきた。

- 基本的考え方(設計)が事実と異なると、新たな事象には対応できない。←これが最重要な経験的事実

経験しないとわからないことがある

ピルツ橋の倒壊を見た瞬間に、真っ先に思い出したこと

第1回UJNR橋梁の耐震補強に関する日米WS(1990年)後の阪神地区の視察旅行

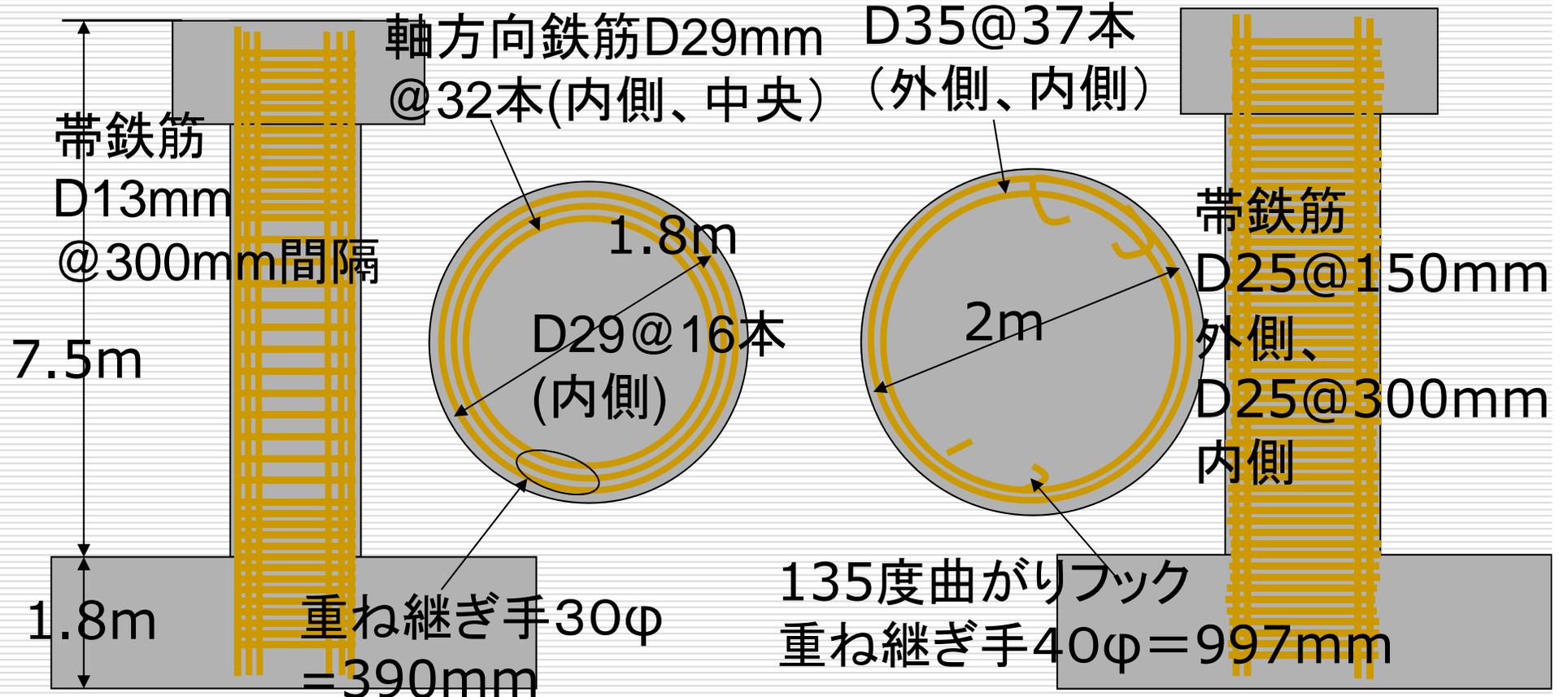


- Nigel: せん断破壊は大丈夫か?
- 日本側: こんなに断面が大きいのに、...
- 日本側: 米国の橋とは違うのだから...
- Nigel:!

1970年代の橋脚と1990年以降の橋脚の耐震性

C1-1橋脚(典型的な1970年代の橋脚)

C1-5(典型的な現在の橋脚)



軸方向鉄筋比 $p_l = 2.02\%$

$p_l = 2.19\%$

帯鉄筋体積比 $\rho_s = 0.32\%$

$\rho_s = 0.911\%$

1970年代の橋脚(C1-1)

現在の橋脚(C1-5)

第1回目の加震



第2回目の加震



C1-5橋脚にさらに設計より1.5倍大きな地震動を繰り返して作用させると、どうなるか？

加震力
1.2倍

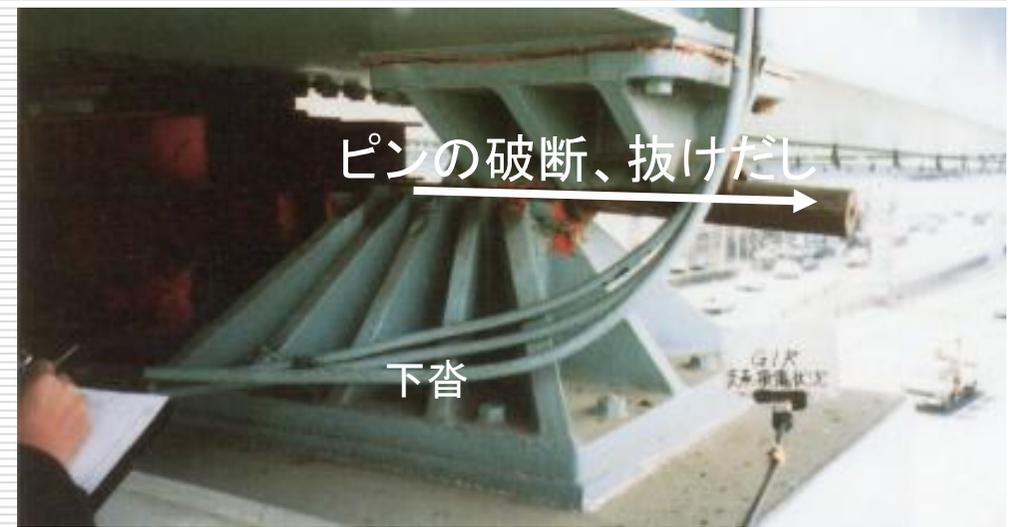


加震力1.5倍 加震力1.5倍



鋼製支承の被害が激烈であった兵庫県南部地震

震度法による設計地震力の過小評価により、ピンが弱過ぎた



簡単に切り欠き部で切断するピン

ピンが2つに折れて抜け出し、固定
支持能力を失ったピン支承

ピンの切りかき部がここに食い込み、橋軸直角
方向への桁の移動を止める役割を持っている

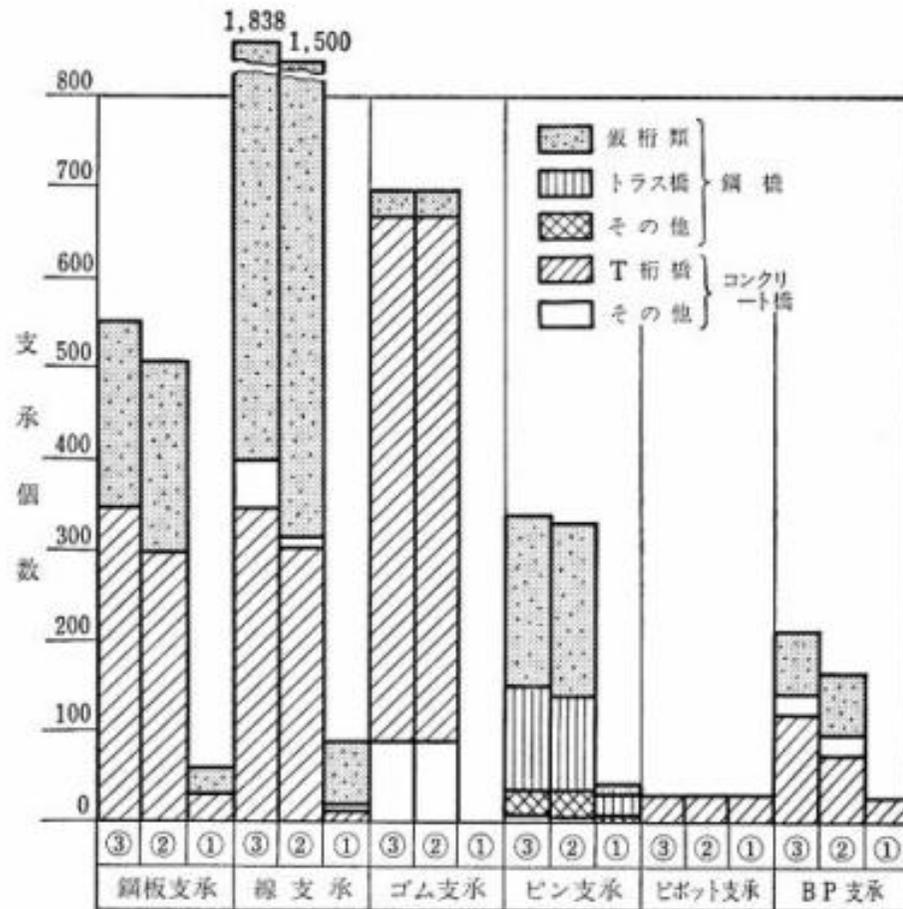


ピンの切りかき部



鋼製支承に問題があることは、1978年宮城県沖地震の時から、わかっていた

浮かび上がっていた鋼製支承の問題点



- 震度法による地震力過小評価のため、固定支承の耐力が過小評価されている。

- 同様に、可動支承では移動量が過小評価されている(ローラーの移動量、遊間の過小評価)

- 鋳鉄製は問題外であるが、鋳鋼製や鋼製でも、ねばりが発揮できる構造になっていない

震災研究の原点(宝の宝庫)

阪神高速・震災記念館(震災資料保管庫)

ピルツ橋脚はどのように壊れたか?

現物のピルツ橋橋脚の輪切り



段落としの先端



震災研究の原点(宝の宝庫)

阪神高速・震災記念館(震災資料保管庫)

何も耐震性が考慮されていない上部構造と
強震時には必ず壊れる鋼製支承



なぜ、地震の度に大被害を生じながら、支承の被害が顧みられてこなかったのか？

支承の強化と技術開発を妨げてきた支承ヒューズ論

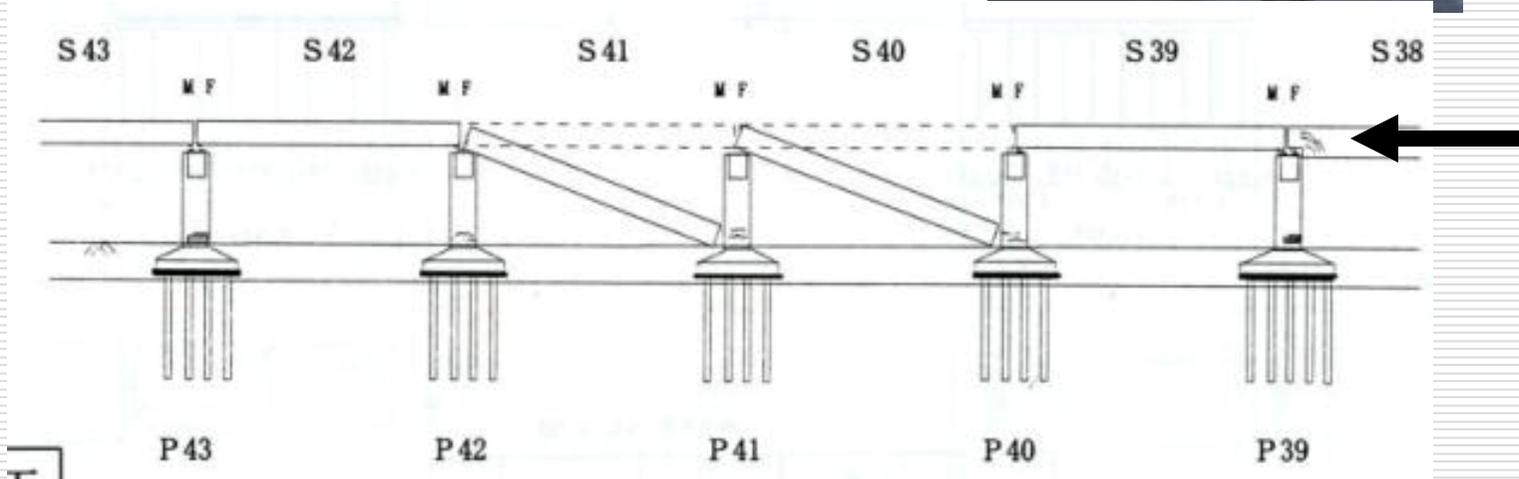
- 支承は過大な慣性力が桁から橋脚、下部構造に伝わり、これらが壊れるのを防ぐために破断した方が良い！
- 支承は安価ですぐ復旧できるため、橋脚や基礎を守る方が重要だ！
- 支承は機械系の技術者によって作られ、土木技術者はこれを購入して使うだけで、土木技術者が望む“支承像”を描いてこなかった。

支承フューズ論は本当か？

- 支承が破断すると、破断面はつるつるではなく、多数のぎざぎざが生じる。噛み込んでしまう場合もある。単純にフューズのように桁から橋脚への地震力を低減できるわけではない。
- もし、フューズ論で考えられているように、ある支承が破断し、この橋脚には桁の地震力が伝えられなかったとすると、この地震力は隣の橋脚が支持しなければならない。
- そうすると、この橋脚が大被害を受け、そこで桁が大きくずれたり回転して、支承が破断すると、支承フューズ論では地震力が作用しないはずの橋脚にも大被害を生じることになる。

支承の被害は何をもたらしたか？

桁の玉突き衝突で落橋したとみられる札幌高架橋



震度法では生じないはずの大被害が桁にも生じた

同じ被害をくり返している。上部構造に対する耐震対策が必要

支承部で降伏し面外にはらみだした主桁、破断した鋼製支承と落橋防止構造



隣の桁との衝突により座屈した鋼桁



2016年熊本地震でも断層変位によって同様な被害が生じた

いろいろ震災経験を積み重ねて、地震被害は軽減されてきたか？

- 「耐震設計など実質的にできなかった時代」、「強震記録のなかった時代」(地震被害の第1段階、第2段階)

いろいろ他の欠陥に覆い隠されてきた。

- ✓経済的制約を最優先にせざるを得なかった時代
- ✓軟弱地盤の破壊、液状化・流動化による被害

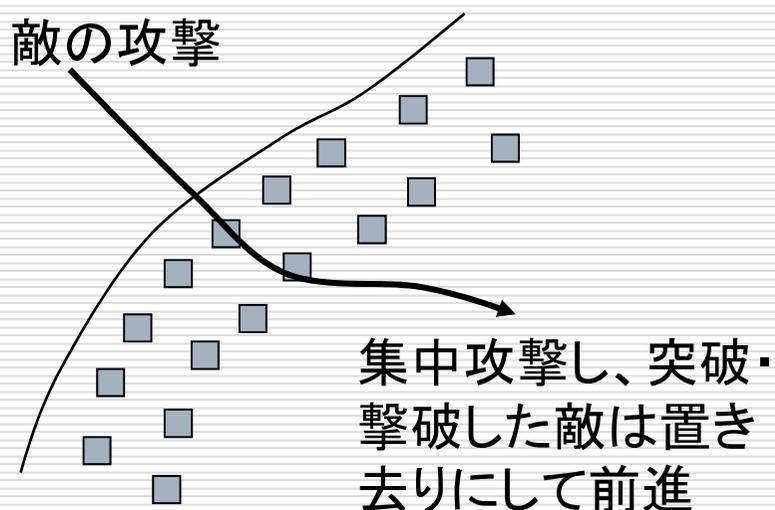
- 曲がりなりにも耐震投資が可能となり、震度法による耐震解析が実施されてきた時代(地震被害の第3段階)

- ✓動的耐力・変形性能不足
- ✓キャパシティーデザインのコンセプトが浸透していないことによる被害

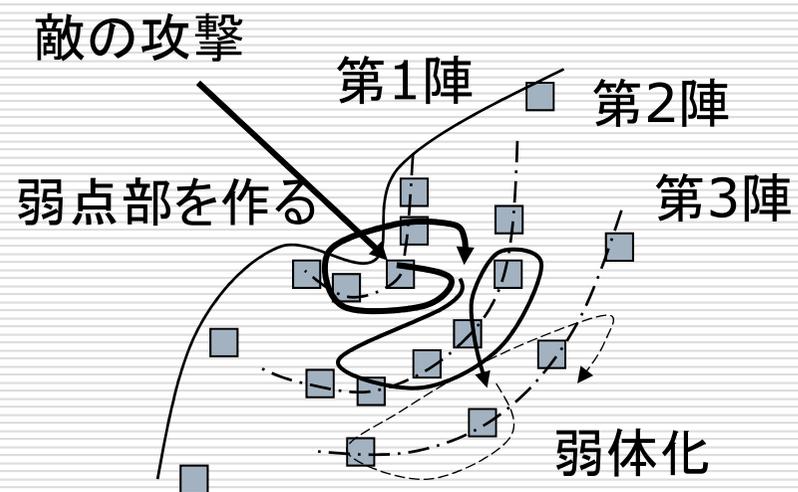
キャパシティーデザインとは？

もともと軍隊の用兵から来た用語らしい

広く浅く守備



弱点部を設け、そこに数段にわたって縦方向に分散配置



塑性ヒンジとは何か？

- 強震時に塑性化し、塑性化による長周期化とエネルギー吸収(両方、もしくは一方)によって構造物の応答を下げ、被害を軽減する。
- 塑性化後の軸力とせん断耐力の低下は最小に抑えたまま、曲げ耐力の低下により、構造系の応答を下げ、減衰性能を向上させる役割を持った部材、あるいは部材の一部を塑性ヒンジと呼ぶ
- こうすると、あたかもヒンジと同じ機能を持つことから、塑性ヒンジと呼ばれる。
- RC構造では、十分な量の帯鉄筋を配置しないと、塑性ヒンジにはならない

単なる塑性化と塑性ヒンジを混同してはならない

- 塑性化する部材あるいは箇所がすべて塑性ヒンジになる訳ではない
- 塑性化後に、安定して軸力とせん断耐力を保ちながら、曲げ耐力の低下(頭打ち)と履歴特性を保持することによって、構造系の長周期化とエネルギー吸収性能を高められるか?
- 塑性化後、ボロボロに壊れ、耐力も変形性能も低下する構造を塑性ヒンジとは呼ばない

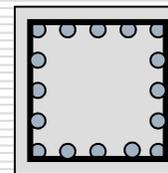
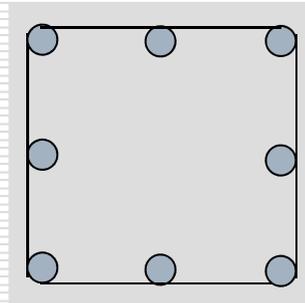
塑性ヒンジ化を妨げる致命的問題は震度法

- 震度法では、弾性状態までしか考えなくてよい。塑性化後をもっと考えていない
- 地震力は設計震度0.2などという小さな値ではない。これにより、弾性設計すれば大地震に耐えると思いついてきたことが、世界の趨勢とは離れ、日本の耐震設計をゆがめてきた元凶
- 震度法は、大断面＋低鉄筋＋飾り程度の帯鉄筋(RC構造)、ぺらぺらの薄肉＋最小限のリブ(鋼構造)という、耐震的に問題のある構造物を多数生み出してしまった

変形性能の低い大断面、低鉄筋構造

変形性能の高い断面

断面2次モーメント最大



今後の耐震設計になにが必要か？

2段階設計法という考え方(震度法)を止める

- わが国では、永年の震度法の発想から、未だに大断面、低鉄筋の思想が色濃く残っている。
- 海外から見ると、橋脚が太くて不細工と言われているが、この原因の多くは震度法のせい。日本における強震動を考えれば、海外ほど橋脚をスレンダーにできなくても、曲げ保有耐力と変形性能の支点から最も耐震的となる断面を確保できる設計体系に変えていく必要がある
- 震度法はもう役目を終えた。世界の流れは地震時保有耐力法で、震度法など使用している国はもうない。震度法を使い続けていると、世界の流れから後れをとるばかり。
- 海外から理解できる普通の耐震設計体型にし、コストセーブも考慮し、国際競争力がある設計体型にする

今後も予想もつかない被害が生じるかもしれない

- 私たちが経験してきた強震動による実質的な被害は2回のみ
 - ✓1995年神戸 都市高速
 - ✓2016年熊本 山間地の橋(95以降の設計)、一部の平地の高架橋(95以前+耐震補強)
- 橋の構造は大きく変化してきた
 - ✓地域密着型、コストミニマムの原則により地形地盤条件に基づいてルートと線形が選定された低橋脚、小規模、短径間構造
 - ✓全国ネットワーク形成を目的に、地形地盤条件による拘束を最小限に抑え、線形を最優先した大規模、超多径間構造
- 過去の経験に当てはまらない第4段階の被害として注意すべきは、
 - ✓強震動の洗礼を受けた経験のない全国ネット型の新形式の大規模、超多径間橋、長大橋
 - ✓新たな脅威:(津波)、断層変位、長周期地震動

明石海峡大橋、東神戸大橋が落橋しなかった経験を過大評価してはならない

●明石海峡大橋

- ✓桁架設前の経験であった
- ✓建設前に入念に断層調査が実施された
- ✓橋に影響を与える断層は存在しないとみられていたが、活断層によって主塔間に0.8mの相対変位が生じた。

●東神戸大橋

- ✓ウィンドウ沓のセットボルトの破断→横拘束喪失→ペンデル沓のピン脱落→側径間端部浮き上がり
- ✓北沢等による入念な配慮がされていた特別な橋

●いずれも特別に入念に造られた特別な長大橋

- この経験から、阪神クラスに対して長大橋が安全だったと過信してはならない。

どのような橋でも塑性ヒンジの恩恵の預かれるわけではない

- 震度法時代には理解できなかったが、地震時保有耐力法で考えると、塑性変形を許容することが危険な構造系が認識されるようになった。



主塔の塑性化は許されるのか？



アーチリブの塑性化は許されるか？



逆L字型橋脚

橋脚の塑性化は許されるのか？

どのような橋でも塑性ヒンジの恩恵の預かれるわけではない

- 塑性ヒンジを設けることができる構造（一般の桁橋等）
 - ✓ 残留変位が許容できる範囲で、塑性ヒンジによる応答の低減、履歴エネルギー吸収による高減衰化
- 塑性ヒンジ化が許容できない構造
 - アーチ、斜張橋、吊橋、……
 - ✓ 長周期であることによる応答の低減（長周期地震動に対する注意が必要）
 - ✓ ダンパー等を用いたエネルギー吸収による応答の低減（制震化）

新たな経験－長周期地震動の脅威

- 規模の大きい地震ほど、震源から放出される長周期地震動が強くなり、なかなか減衰せず、遠方まで伝わる。
- 短周期地震動と同様に、長周期地震動も堆積地盤内で増幅されるが、短周期地震動のように地表面から100m程度までの軟弱な表層地盤ではなく、数kmに及ぶ地下深部の堆積層内で増幅される。すり鉢状の盆地地形に厚く地盤が堆積した地域では、とくに長周期地震動が増幅されやすい。たとえば、関東平野や大阪平野、濃尾平野などがこれに相当する。
- 長周期地震動の継続時間は短周期地震動よりも10倍以上長い。

新たな脅威—いよいよ無視できなくなってきた 断層変位



断層が橋を横断し落橋寸前になったボル高架橋

1999年トルコ・デュツツエ地震



左側(橋軸方向)に1m以上移動し、
支持台からすべり落ちた桁

連続桁であったため、床版が抵抗し、
かろうじて落橋を免れた



ALGA製Crescent-Moon(三日月型)鋼製ダンパーと粘性ダンパーストッパーを直列配置した免震装置



Anatolia断層による約1.6m
のズレが橋軸方向と15度程
度の浅い角度で橋を横断



18.7m × 15.5m × 3mのフー
ティングを12本の径1.8mの
現場打ちコンクリート杭で支持

断層変位によって3連の桁が落橋したベイフォン橋 1999年台湾集集地震



私たちの世代が次の世代に伝えるべきこと(1/2)

- 実質的な耐震技術の開発は1964年新潟地震を契機にスタートしたと言ってもよい。当時は耐震設計の仮想敵は海洋性大規模地震と考えられてきた。しかし、1995年兵庫県南部地震は、内陸直下型地震の脅威を遺憾なく示した。
- 内陸直下型地震に対する対応は1995年復旧仕様、1996年耐震基準以降、開始された。それに伴い、地震時保有耐力法が震度法と同格の耐震設計法となり、現在では実質的に地震時保有耐力法が中心となってきた。震度法はもはや役割を終えた。
- 2016年熊本地震は1995年兵庫県南部地震を凌ぐ強烈な地震による揺れがあることを明らかにした。強震記録が観測されるようになってから、まだ半世紀も経っていない。1995年兵庫県南部地震、2016年熊本地震を凌ぐ強烈な揺れに対する耐震研究を今後も継続する必要がある。

私たちの世代が次の世代に伝えるべきこと(2/2)

- 地震時保有耐力法では、塑性ヒンジがきちんと長周期化とエネルギー吸収に機能することの重要性を認識しないまま、荷重低減係数による地震力の低減の恩恵だけを享受している例がある。
- 1586年天正地震(M7.8??<—被災範囲から見て、小さすぎると思う)や1891年濃尾地震のようにM8クラスの大地震が直下で起った例がある。さらに、海溝性地震であっても震源断層が陸地の下まで食い込んでくる地震も脅威である。阪神と熊本だけ見ていると、近視眼的になる可能性がある。
- 次の研究を強力に進める必要がある
 - 支承の耐震性、耐久性向上
 - 長大橋を初めてする特殊橋梁の耐震性
 - 活断層によるズレに対する対策の基本方針の策定
 - 長周期地震動に対する耐震性

ご静聴、ありがとうございました