

阪神高速道路の震災復旧で得た教訓

阪神高速道路（株）
足立幸郎

1

自己紹介



Source: https://ja.m.wikipedia.org/wiki/ファイル:Bay_Bridge_collapse.jpg

Loma Prieta 地震 (1989) 米国



<https://www.usgs.gov/media/images/northridge-ca-earthquake-damage-49>

Northridge 地震 (1994) 米国



兵庫県南部地震 (1995) 日本

○入社以降、地震が多発。兵庫県南部地震では被災アセスメントに携わる。皆さまから多くの教えをいただく。

2

自己紹介



https://www.pakutaso.com/20191255353post-24916.html#google_vignette

○震災遺族訴訟に約6年携わる。最後の約2年半は仕事の99%を占める。我流の「法」工学が自然と身に染み付く。

本日の話題

○復旧工学の視点から得た教訓

○“法”工学の視点から得た教訓

4

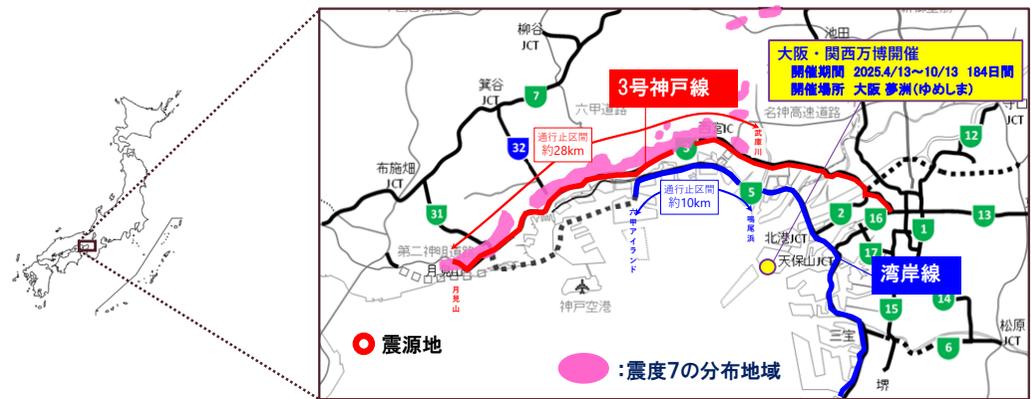


大都市を襲った 直下型地震M7.3 兵庫県南部地震

- 地震の概要**
- 発生時刻: 1995年(平成7年) 1月17日 午前5時46分
 - 震央位置: 淡路島北部 (北緯34° 36'、東経135° 03')
 - 震源深さ: 16km
 - 規模: マグニチュード7.3 (最大加速度 818gal(神戸海洋気象台))



阪神高速3号神戸線と震度7の分布



震度7地域に鉄道・道路の幹線が集中

主な被災状況 (3号神戸線)

635mにわたるピルツ橋の倒壊



RC橋脚のせん断破壊

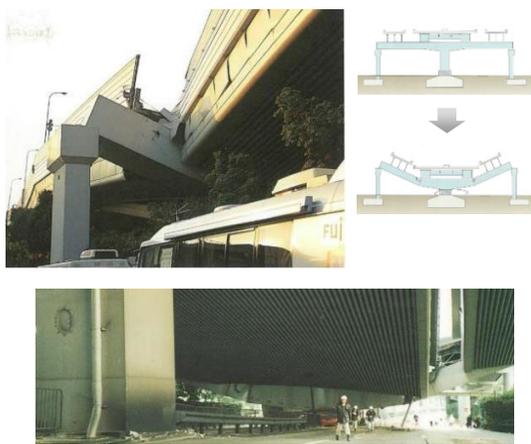


主な被災状況 (3号神戸線)

単純桁の落橋



鋼製柱の崩壊



9

主な被災状況 (5号湾岸線)

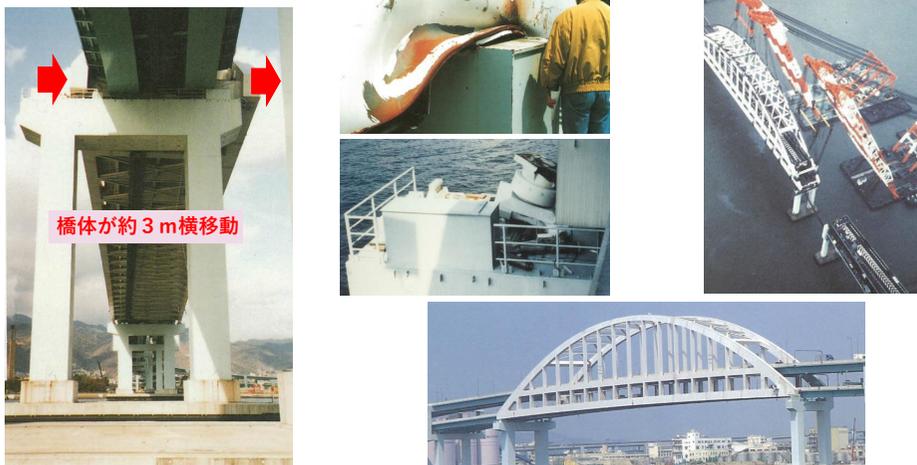
西宮港大橋側径間の落橋



10

主な被災状況 (5号湾岸線)

六甲アイランド大橋の被害と復旧状況



11

被災直後の状況

緊急調査および緊急措置
(震災復旧の第1段階)



応急復旧
(震災復旧の第2段階)

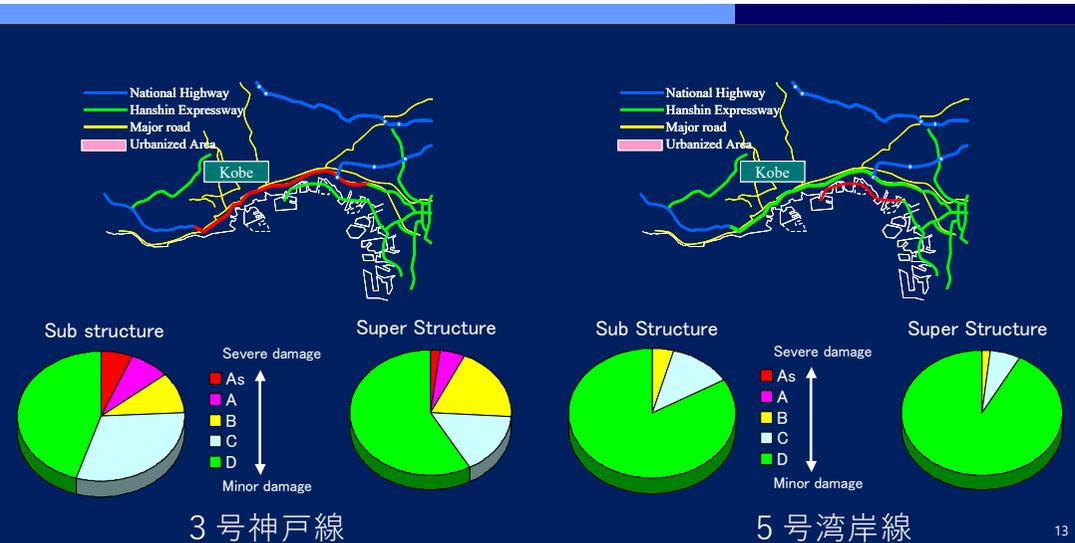


本復旧
(震災復旧の第3段階)



12

神戸線と湾岸線の被災状況



被災アセスメントでの混乱

This slide illustrates common issues in disaster assessment. At the center is an aerial photograph of a damaged road. Surrounding it are four icons representing different types of confusion or error: '通信困難' (Communication difficulties) with a signal tower icon, '評価技術・誤差' (Evaluation technology/Errors) with a ruler icon, '個人誤差' (Individual errors) with a gear and person icon, and '情報不足' (Information deficiency) with an information 'i' icon.

被災アセスメントの役割



2つの委員会

This slide lists two committees. The top one is '神戸線応急対策検討委員会' (Kobe Line Emergency Countermeasure Study Committee), accompanied by a photo of a construction site with scaffolding. The bottom one is '阪神高速道路震災復旧対策技術委員会' (Hanshin Expressway Road Earthquake Restoration Countermeasure Technical Committee), accompanied by a photo of a highway bridge.

2次災害防止対策



桁受けベント 218基、橋脚梁受けベント 253基

2次災害防止対策は、震災発生後約3週間で完了

17

被災アセスメントを難しくしたこと

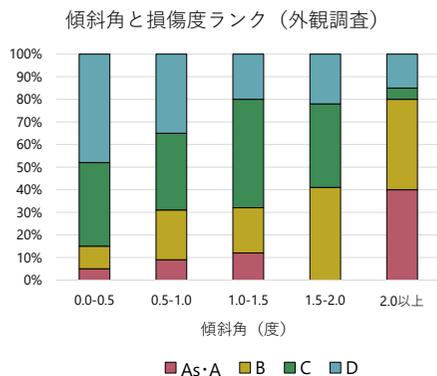
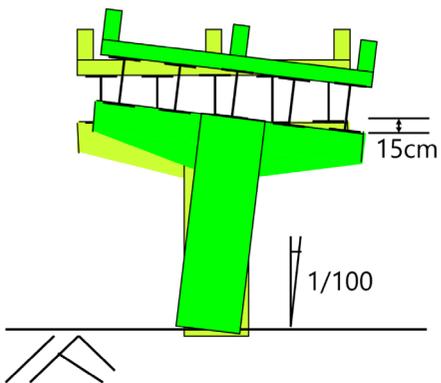


最弱リンクが地中部に潜んでいた。。。。

Source: Creative commons

18

被災アセスメントを難しくしたこと



引用：幸左ら「被災RC橋脚の残留変位に関する研究」土木学会論文集No.627/V-44

19

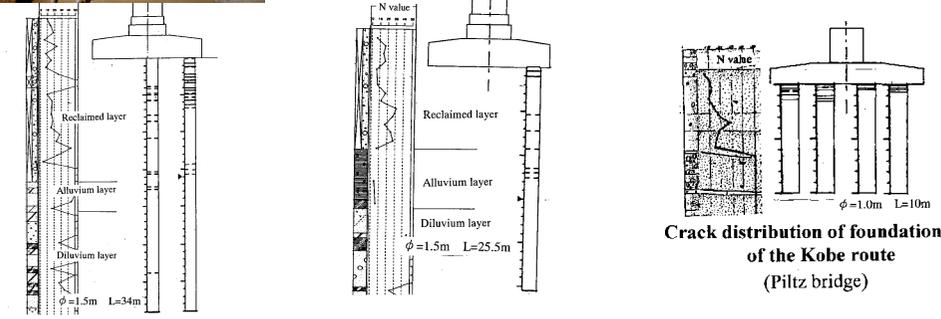
被災アセスメントを難しくしたこと



もしかして、最弱リンクは。。。。

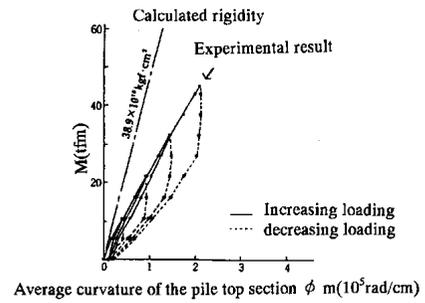
20

基礎被災の特徴

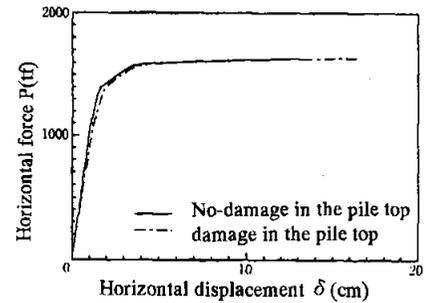


Crack distribution of foundation pile of the Kobe route (Piltz bridge)

基礎被災の特徴



Observed load-curvature relation and calculation result w/o damage



The calculated bearing capacity of the pile w/ and w/o pile damage

3号神戸線ピルツ橋 杭基礎の健全度調査と解析

被災アセスメントを難しくしたこと



| | As | A | B | C | D |
|--------------------|----|---|---|---|---|
| 柱地盤面位置での曲げ破壊 | | | | | |
| 柱地盤面位置での曲げせん断破壊 | | | | | |
| 軸方向鉄筋段落し部での曲げせん断破壊 | | | | | |
| 柱地盤面位置でのせん断破壊 | | | | | |

被災アセスメントの役割



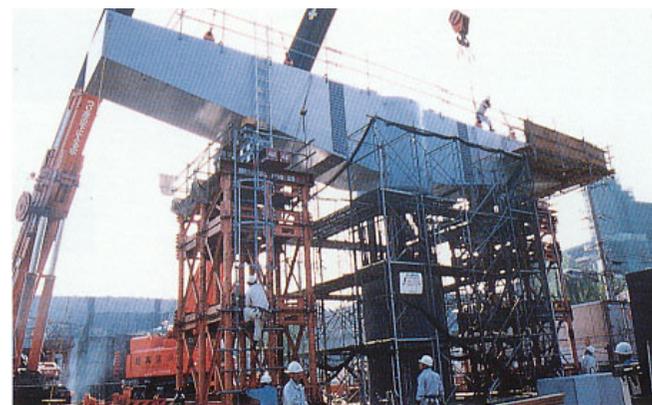
大ブロック撤去工法の採用



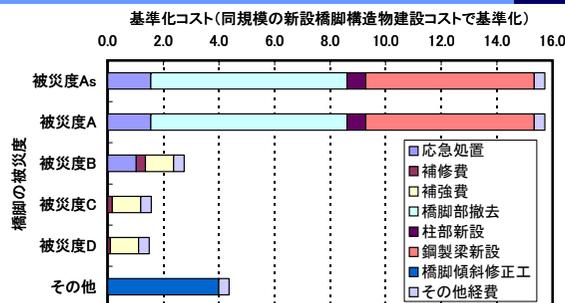
甲子園浜処分場全景



また違った大ブロック工法

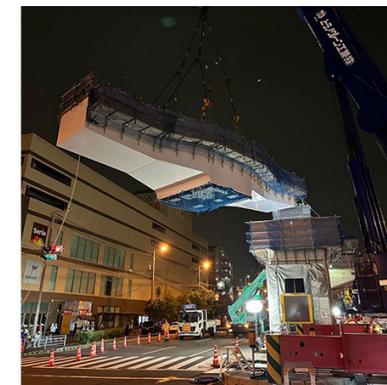


被災コストの見える化



| 凡例 | 内容 |
|--------|--|
| 応急処置費 | 2次災害防止対策で次の対策工からなる 被災度As、A橋脚：桁支保工、梁支保工、橋脚補強工 |
| 補修費 | 被災度B橋脚：梁支保工、橋脚簡易補強工 |
| 補強費 | 座屈鉄筋の補修、剥離コンクリートの補修からなる 橋脚断面増厚、増主鉄筋、鋼板巻立補強費からなる |
| 橋脚部撤去費 | 振動・騒音低減工法による橋脚の撤去工 ワイヤロープによる切断、桁残置下の柱部撤去、廃棄等 |
| 柱部新設 | 柱部の再構築費 |
| 鋼製梁新設 | 工期短縮のため鋼製梁を使用(急速施工) |
| その他経費 | 仮設備等経費 |

復旧で得た技術（大規模更新技術へ）



喜連瓜破高架橋の大規模更新状況

被災アセスメントで分かったこと

兵庫県域約1000径間（橋脚）の高架橋の被災情報

何か特徴量が見出せるはず

マクロ分析

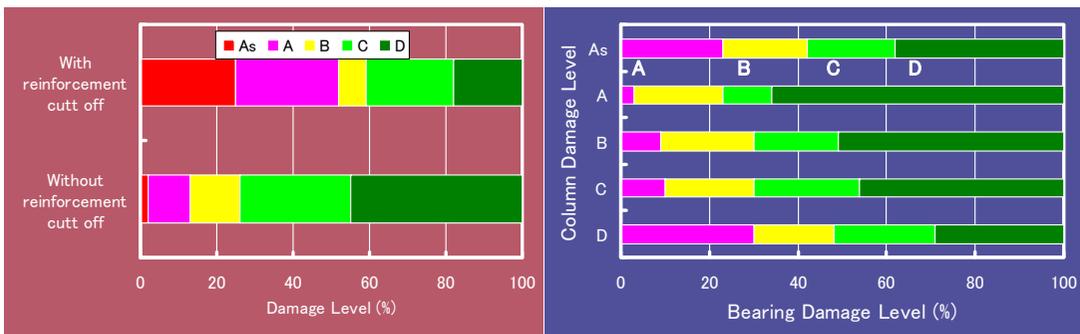
何も関連せず

被災アセスメントで分かったこと



両者にはある共通した構造的特徴が。。。

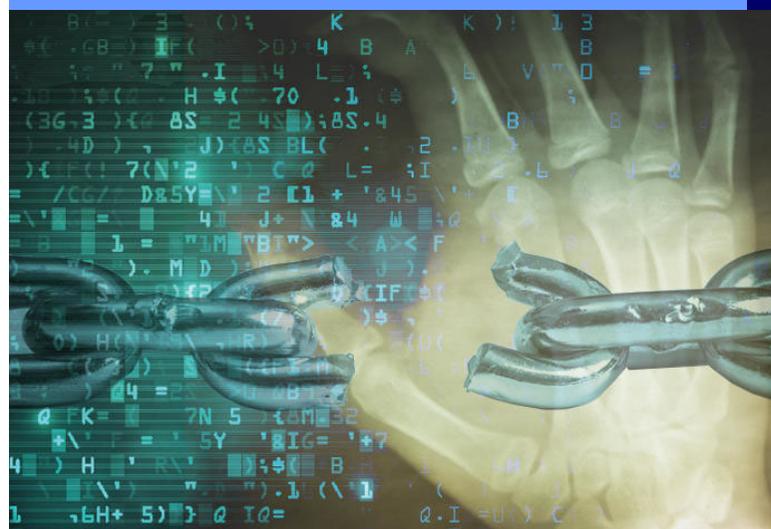
被災アセスメントで分かったこと



主鉄筋段落しの有無と被災度

橋脚と支承の被災度の相関

最弱リンクはどこか？

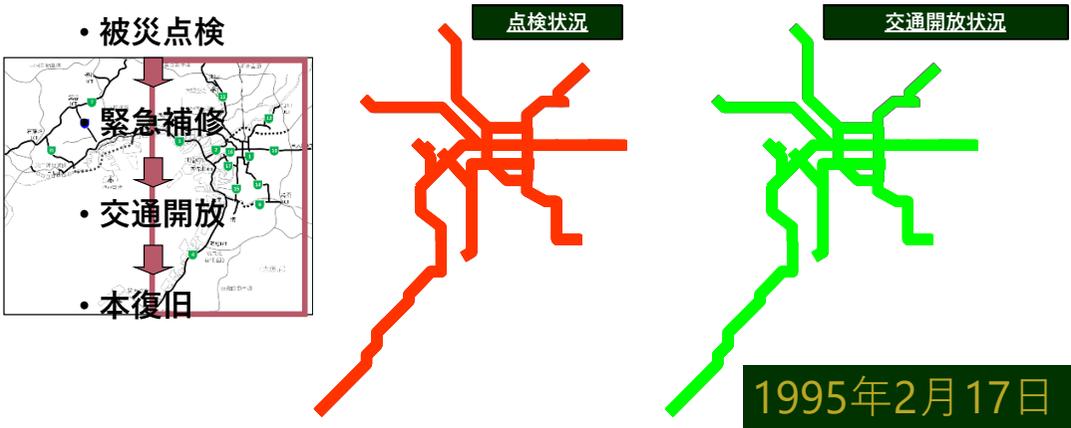


橋脚主鉄筋
段落し部



橋脚基部

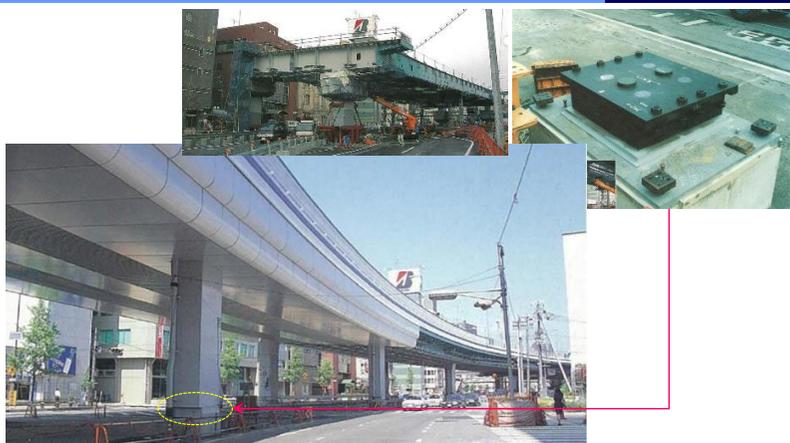
大阪地区路線の復旧



迅速な震後対応に向けて

This block contains six images illustrating disaster response measures. 1. '地震計増設' (Increase in Seismometers): A map of the Osaka Bay area showing the locations of seismometers installed between 1986 and 2000. 2. '総合防災システム' (Comprehensive Disaster System): A screenshot of a computer interface showing a network map and various data points, likely used for monitoring and managing the road network during a disaster. 3. '道路啓開訓練' (Road Opening Training): A photograph of a white car being lifted by a crane on a road, part of a training exercise. 4. '防災訓練' (Disaster Training): A photograph of a control room with multiple monitors and staff members working. 5. '管制センターの相互バックアップ' (Mutual Backup of Control Centers): A map showing the mutual backup arrangement between control centers in the Osaka-Kobe area and the Great Hanshin Area. 6. '入口遠隔閉鎖装置' (Remote Locking Device at Entrance): A photograph of a road entrance with a yellow barrier and a red 'no entry' sign, used for remote locking during a disaster.

新しい技術の採用



既存基礎杭を最大限に再利用し工程を短縮
⇒橋脚基部に免震支承を配置した**19径間連続立体ラーメン橋**を採用

37



“法”工学の視点から得た教訓

38

震災遺族訴訟とは

阪神高速道路の落橋などに巻き込まれ、お亡くなりになった方は16人。

うち、おひとりのご遺族が「地震動は予測可能なものであり、倒壊は設計上、施工上、維持・管理上の瑕疵が複合的に作用して発生したもの」として、国家賠償請求訴訟を起こされたもの。

- 阪神・淡路大震災による道路構造物の被災に伴い発生した災害に対し、**道路管理者の責任**について判断した初めての判決



道路行政セミナー2003年3月号

39

営造物責任とは

国家賠償法

第二条 道路、河川その他の公の営造物の設置又は管理に瑕疵があつたために他人に損害を生じたときは、国又は公共団体は、これを賠償する責に任ずる。

40

判例： 営造物責任の3原則—高知落石事件（最判昭和45・8・20）

(1) 通常有すべき安全性（設置及び管理）

(2) 無過失責任

(3) 予算抗弁の排斥



41

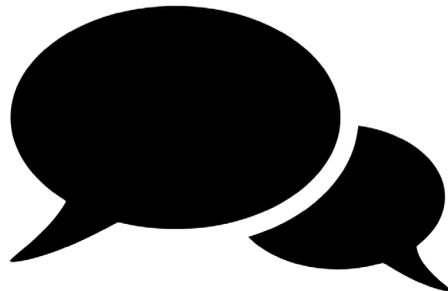
「通常有すべき安全性を欠く」とは、営造物に本来の用法を妨げるような致命的欠陥が含まれている場合を指す。

板垣勝彦：国家賠償法 http://www.rilg.or.jp/htdocs/img/003/pdf/r3_houmu_saitama_06.pdf

- 予見可能性：危険な事態や被害が発生する可能性があることを事前に認識できる
- 結果回避可能性：予見した危険な事象に対し、その事象の発生を回避するために適切な措置をとる

42

①通常有すべき安全性の水準



皆様のご意見はいかがですか？

43

①通常有すべき安全性の水準

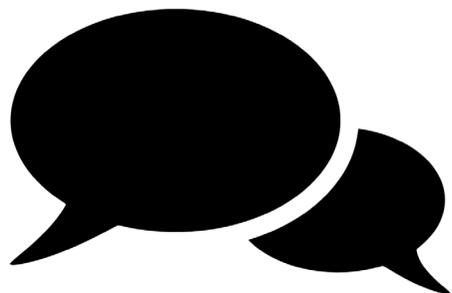
「大都市圏の市街地における高速道路が、いかに公共性を有するものとされ、しかも、橋脚が倒壊すれば多大な被害を及ぼすことが予想されるとしても、極めて強力かつ広範囲に及ぶ破壊力を持った自然現象である地震に対して無制限の耐力を持たせることは不可能であると言わざるを得ない」



「地震に対して道路が備えるべき人工的な安全性も無制限のものまで要求されるわけではなく、既往の地震等の知見を前提として持つべき基準を画していただく」

44

②設置における通常有すべき安全性



皆様のご意見はいかがでしょうか？

45

②設置における通常有すべき安全性

| プレート境界型 | | 内陸型 | |
|---------|----------------------------|-------|--------------|
| | | 1830年 | 文政京都地震 M6.5 |
| 1854年 | 安政東海地震 M8.4 安政南海地震 M8.4 | | |
| | | 1891年 | 濃尾地震 M8.0 |
| 1923年 | 関東大震災 M7.9 | | |
| 1946年 | 南海地震 M8.0 | | |
| | | 1995年 | 兵庫県南部地震 M7.3 |

46

②設置における通常有すべき安全性

「関東地震級の地震を想定しても（設計震度の）標準は0.2になると考えられること等から、当該橋脚の設計震度の想定が甘かったとはいえない。」

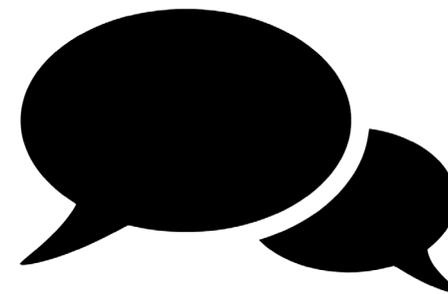
「（前略）内陸直下型地震としては、（中略）濃尾地震を除いて最大級であった。

被害の程度としては、（中略）1830年の京都地震以来であった。」

「活断層の調査により、地震が発生する場所や規模については、ある程度の精度で予測可能であるものの、（中略）、構造物の設計等の工学的な指針として耐えうるほどの確立した知見があったとは言い難い。」

47

③管理における通常有すべき安全性



皆様のご意見はいかがでしょうか？

48

③管理における通常有すべき安全性



昭和57年浦河沖地震での主鉄筋段落し部での被災。

49

③管理における通常有すべき安全性

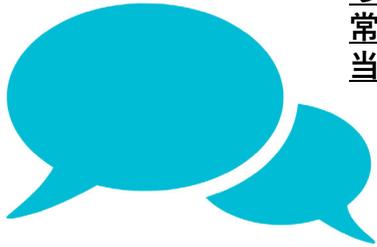


昭和57年浦河沖地震の経験をもとに、順次1) 主鉄筋段落し部に関する震災点検、2) 試験工事(平成6年完工、写真のとおり)が実施された。3) さらに本格工事を進めていくその矢先に地震が発生した。

50

③管理における通常有すべき安全性

「既設の橋脚については、新たな知見や基準が明らかになる都度、直ちに補強を行わなければ通常有すべき安全性を欠いていると評価するのは妥当ではない。」



51

「通常有すべき安全性」

地震に対する既設構造物の管理責任について、

- 新たに得られた知見の内容、
- 知見に対する評価、
- 知見に基づく補修等の技術的可能性、
- 基準の改訂の趣旨、
- それらを総合した当該構造物に対する補修の必要性
- 緊急性等を考慮し、
- 合理的期間内になすべき補修がなされていたか

という観点から、「通常有すべき安全性」を有していたか判断するのを相当とした。

52

通常有すべき安全性



震災資料保管庫の開設

地震で失ったもの、
伝えるべきもの、
そして活かさなければならないもの

安全・安心の原点を見つめ続けるための礎にしたい
活かさなければならないことは限りない



震災資料保管庫の開設

震災・復旧と施設のあゆみ

| | |
|------------|---------------|
| 1995.1.17 | 兵庫県南部地震発生 |
| 1995.9.1 | 阪神高速5号湾岸線開通 |
| 1996.9.30 | 阪神高速3号神戸線全線開通 |
| 1999.10 | 震災資料保管庫完成 |
| 2009.12.18 | 震災資料保管庫リニューアル |
| 2010.1~ | 震災資料保管庫一般公開開始 |

スイス連邦工科大学、アテネ工科大学の皆さん



ありがとうございました。

慰霊碑の建立と献花式

私たちは、阪神・淡路大震災で阪神高速に関係して失われた尊い命を慰霊し、この甚大な災害を教訓に、より安全な道路づくり、道路サービスを目指すことを誓っています。

震災資料保管庫にぜひお越しください



(一財) 阪神高速先進技術研究所HP

開館日 毎月第1・第3水曜日 および 第1・第3日曜日
 ・開館日が祝日の場合、前後の平日に変更させていただきます。
 ・年末年始(12/29～1/5)は除く

見学時間 1日2回 (10:00～、13:30～)