

兵庫県南部地震の被害に基づく 新しい耐震設計法とその課題

(株)西村耐震防災研究所
西村 昭彦

1

自己紹介

- 1970年 国鉄構造物設計事務所勤務
耐震設計指針(案)の作成 応答変位法の基礎構造物への適用
- 1985年 静岡構造物検査センター勤務
基礎の健全度評価・衝撃振動試験の開発
- 1987年 (財)鉄道総合技術研究所勤務
1992年 博士号取得
- 1992年 同上 西村研究室(耐震・基礎) 研究室長
基礎設計標準の改訂 耐震設計標準の制定
- 2002年 (株)ジェイアール総研エンジニアリング
- 2018年 (株)西村耐震防災研究所設立 現在に至る

2

1995年 1月17日 上空から見た神戸の様子

町から立ち上る煙



ピルツの倒壊現場



新幹線高架橋の被害現場



3

本日の話題

I. 阪神大震災の被害の概要

1. 構造物の被害の概要
2. 列車の被害

II. 橋梁の被害

1. 橋梁の被害の概要
2. 被害調査、解析等による原因の推定
3. 新しい耐震設計の作成

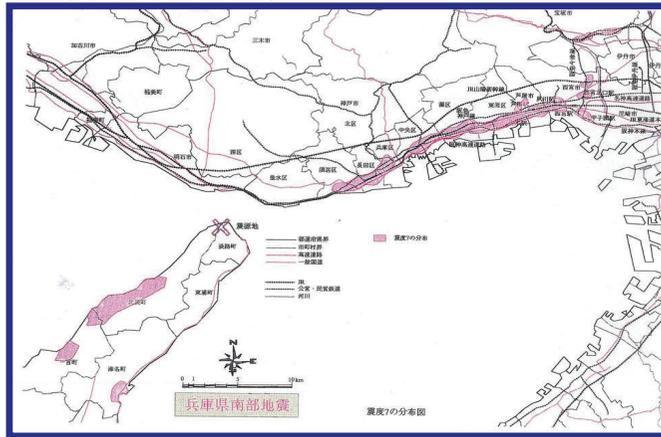
III. 今後の課題

注) 本資料に掲載した写真等は ①「兵庫県南部地震による鉄道施設の被災に関する調査報告書 1997年12月
②自己撮影 ③ 鉄道会社の提供 によるものである。

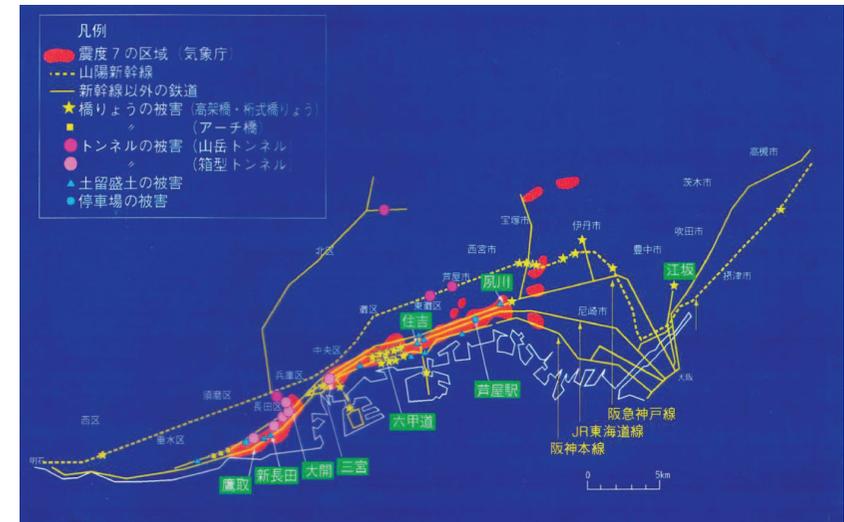
4

1. 阪神大震災の被害の概要

震度7の地域と鉄道路線の関係



鉄道構造物の主な被害の分布状況



1. 構造物の被害の概要

構造物の被害は本震の震央から北東に延び、その範囲は明石市から高槻市に及ぶ。

とくに被害が顕著であった震度7の地域には、阪急神戸線、JR東海道線、阪神本線等があり、大きな被害を受けた。

構造物の被害は橋梁、高架橋はもちろんのこと開削トンネル、盛土、擁壁などの土構造と広範囲に及んだ。

大きい被害は震度7の地域にほとんど存在した。しかし、破壊した高架橋に隣接した区域が被害を免れている事例も多く、局所的な地盤条件等の影響もうかがえる。

2. 列車の被害

- 地震発生時に運行していた列車は約90本
このうち脱線した列車は16本、脱線車両は84両
係留中のもので脱線は154両 損傷の激しいもの80両
- 乗客で脱線等による負傷者はあったが、死者はなかった。
ただし、鉄道の被災に起因した死傷者は80名を数える。
- この地震により、大阪～神戸間を結ぶ、東海道線、阪急神戸線、阪神本線のすべてが、かなりの期間運転不能となり、日常の交通機能はもちろんのこと、救援物資輸送等が、道路交通の渋滞等で困難となった。

鉄道の運転再開状況(主な路線)

- 1月17日 JR、民鉄を含め約640kmが不通。2日後約半分が復旧
- 1月20日 東海道新幹線（京都～新大阪） 東海道新幹線全通
- 1月21日 JR福知山線 全通
- 1月30日 JR山陽本線 全通
- 2月16日 神戸市交通局 全通
- 4月 1日 東海道線（住吉～灘）運転再開 JR東海道線全通
- 4月 8日 山陽新幹線（新大阪～姫路）運転再開 山陽新幹線全通
- 6月 12日 阪急電鉄（西宮北口～夙川）運転再開 阪急神戸線全通
- 6月26日 阪神電鉄（御影～西灘） 阪神本線全通

9

II. 橋梁の被害

1. 橋梁の被害の概要

この地震で最も被害が多かったものは橋梁

- ・落橋 32カ所
- ・鉄筋コンクリート製のラーメン高架橋の柱の崩壊 1206本
- ・鉄筋コンクリート橋脚の段落とし部での損傷
- ・鋼製橋脚の水平方向の破断（1カ所）
- ・桁式橋梁の支承部の破損（多数）

10

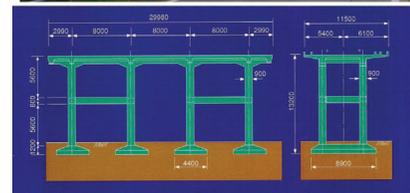
桁式橋梁

主として上部構造（桁）と下部構造（橋脚等）で構成される橋梁



ラーメン高架橋

主としてスラブ、梁と柱で構成される橋梁



11

① ラーメン高架橋の被害

- ・大きな被害を受けた高架橋はほとんどが1960年代後半～1970年代前半に完成。
- ・1983年の「国鉄建造物設計標準」を適用した高架橋はほとんど被害を受けていない。
- ・上記標準はせん断力の照査方法の見直しやじん性を向上するための配慮がなされていた。

12

高架橋の被害(主として柱のせん断破壊)

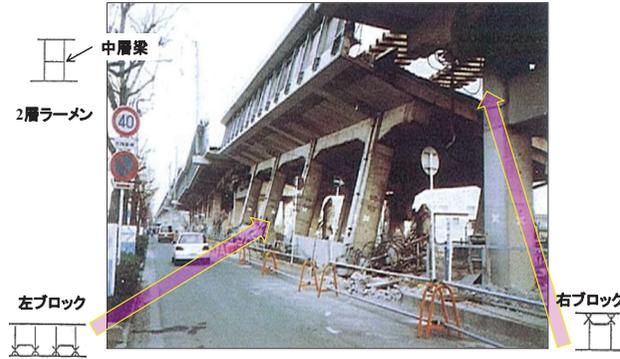


高架橋の概要

RC構造
2層3径間(杭基礎)
高さ10.9~11.6m スパン8m

被害の状況

柱のせん断破壊



左のブロックは中層梁の下部の柱が破壊。
右は上部の柱が破壊した。

13

すさまじい柱の破壊



14

ラーメン橋台の破壊の状況



ラーメン橋台の概要

RC構造
1層1径間(杭基礎)
高さ9.1m スパン8m

被害の状況

柱のせん断破壊
橋軸方向に傾斜して崩壊
PC桁(スパン30m)の落橋



15

被害の小さかった高架橋

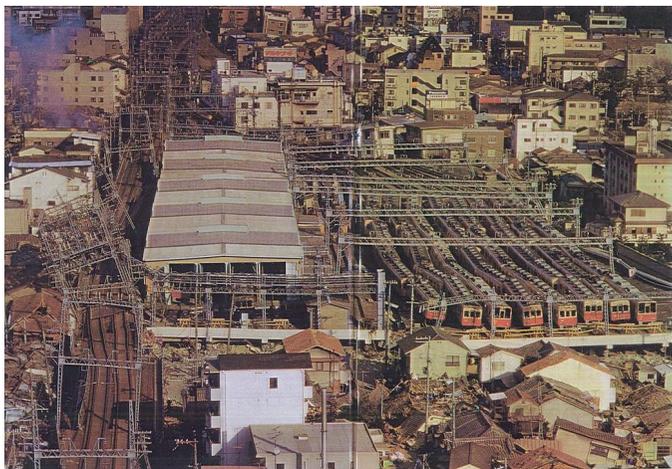


在来線三宮付近の高架橋
この高架橋は昭和初期に建設されたラーメン高架橋である。柱上部にかぶりコンクリートの剥落等が見られたものの、倒壊には至らなかった。



東海道新幹線の高架橋(京都~新大阪)
柱にせん断ひび割れが生じ、かぶりコンクリートが剥落したが、倒壊には至らなかった。

16



車両基地の高架橋の被害

隣接する高架橋のぶつかった跡



隣接する東海道線三ノ宮～元町間の高架橋と神戸高速線北長狭高架橋のぶつかった痕跡（間隔約70cm）

併設された高架橋の被害



単線の高架橋が並列で敷設されていたが、手前にあった高架橋は倒壊し、後ろの高架橋は柱に大きなせん断クラックが生じたが、倒壊は免れた。

② 桁式橋梁の被害



・ 橋梁の概要

桁 11径間単純桁橋梁

PCI桁 42.6m×7連 35.0m×2連 RC箱桁 17.2m×2連

橋脚 高さ11.7～13.1m 小判型

基礎 ケーソン基礎

・ 被害の概要

軸方向鉄筋の段落とし部でかぶりコンクリートが剥落



③ 鋼製ラーメン橋脚の破壊

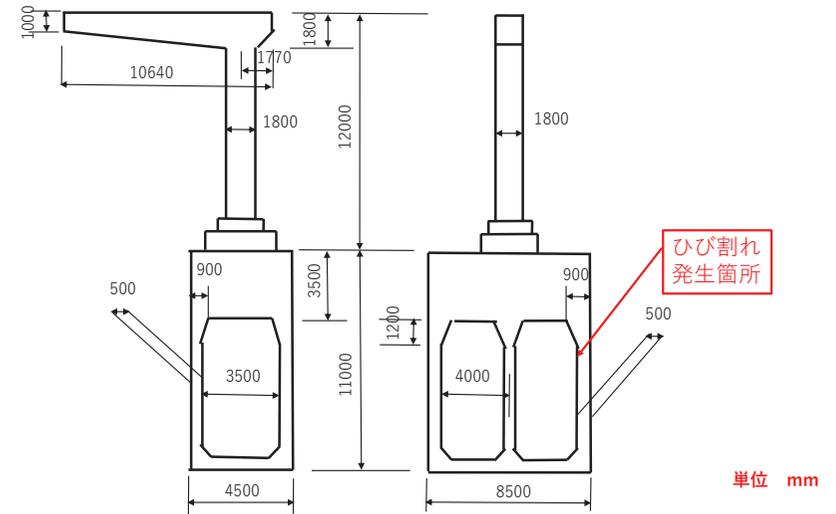


神戸高速鉄道東西線の生田架道橋では、鑄鋼製ラーメン橋脚に脆性破断が生じた。これは過去に例を見ない被害である。

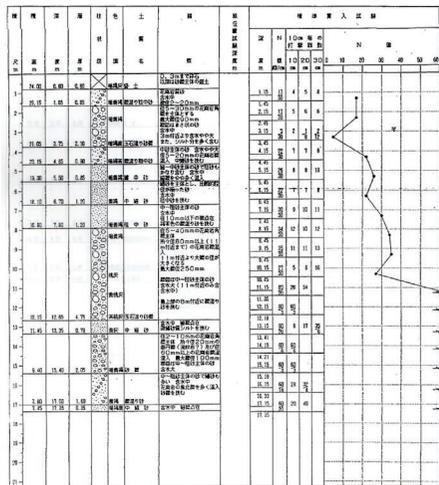
④ 基礎構造物の被害

- 基礎構造物の被害は、比較的小さいが、詳細調査等で発見された被災状況は次のとおりである。
- 直接基礎
古い石積み防波堤の上に設置された直接基礎の傾斜
- ケーソン基礎
傾斜を生じた橋脚のケーソン基礎にひび割れ等の損傷を確認
- 杭基礎
水平力や液状化の影響で生じたと考えられる水平クラックが数カ所で発見された。

ケーソン基礎躯体の被害



土質柱状図



ケーソン基礎は良質な地盤に支持されている。



橋脚の形状は逆L型橋脚



ケーソン頂板は内部が見られるように一部を取り壊した。



ケーソン基礎頂版下のコンクリートにひび割れが発生した。



2. 被害調査、解析等による原因の推定

- ◎ 高架橋、橋梁が大被害を受け、さらに擁壁、盛土などの構造物も多くの被害を受け、世の中に**衝撃**を与えた。
- ◎ 各機関に置いて、被害解析、設計法の検討などが精力的に行われた。鉄道分野では国交省(当時は運輸省)を中心として委員会を設置、被害調査および解析、耐震設計法が検討された。
 - ① 被害調査および解析
 - ・構造物の被害への影響要因とそれに関する解析
 - ② 耐震設計法の検討
 - ・被害調査等に基づく設計法の提案

25

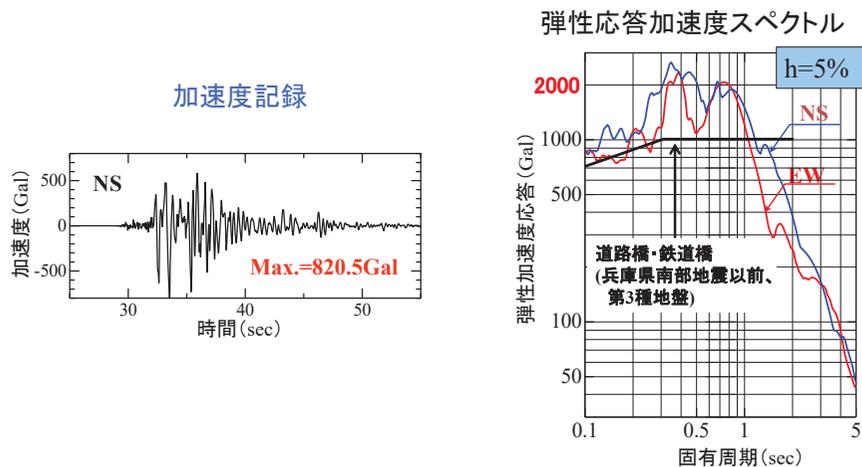
構造物の震害への影響要因

1. **地震動の特性**
振幅の大きさ、振動数特性、位相特性など
2. **構造物の特性**
固有振動数、減衰定数、強度およびじん性(破壊モード)など
3. **表層地盤の特性**
地形の特徴、土の強度・変形特性、液状化・側方流動など
4. **材料の特性**
材料強度など
(鉄道総研で調査した結果)

26

① 地震動の特性

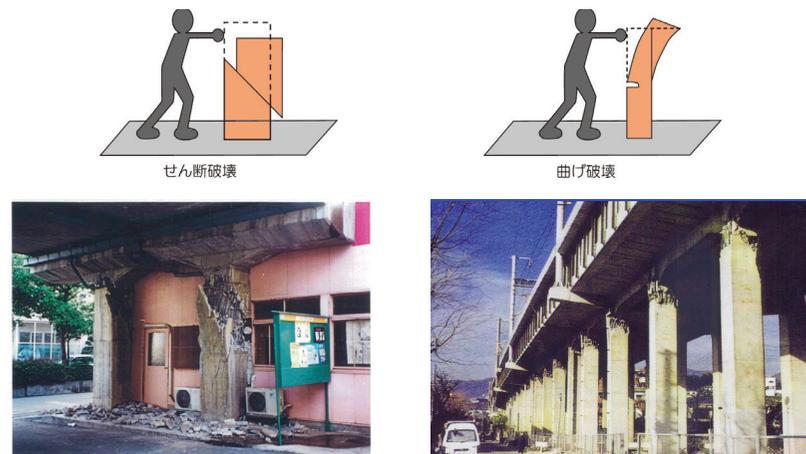
神戸海洋気象台で観測された地震動



27

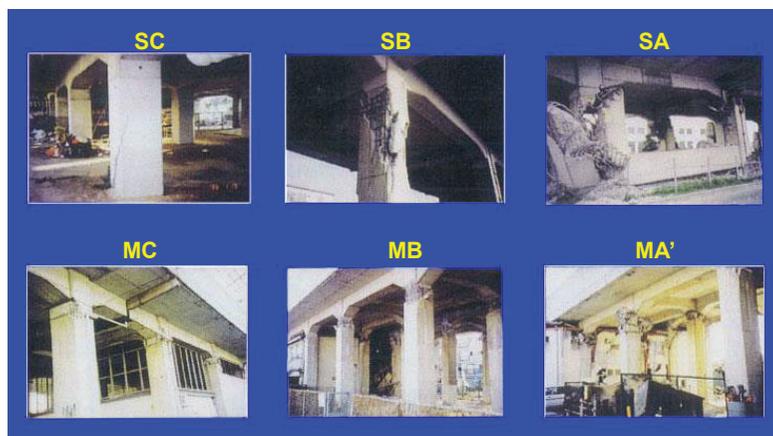
② 構造物の特性

高架橋の柱の破壊形態



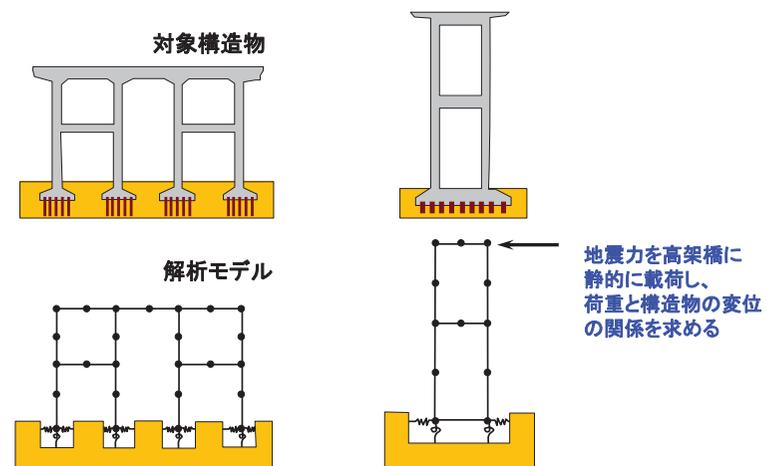
28

観察による被害の種類と程度分類

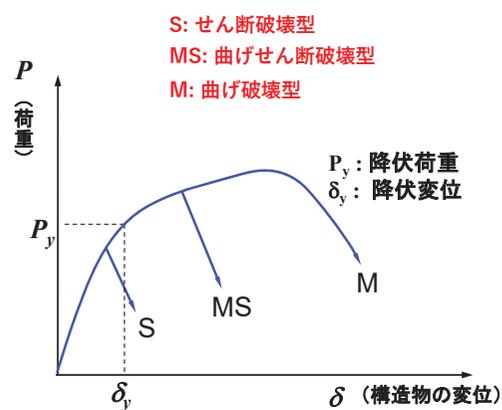


S:せん断による損傷 M:曲げによる損傷

高架橋のモデルと静的非線形解析

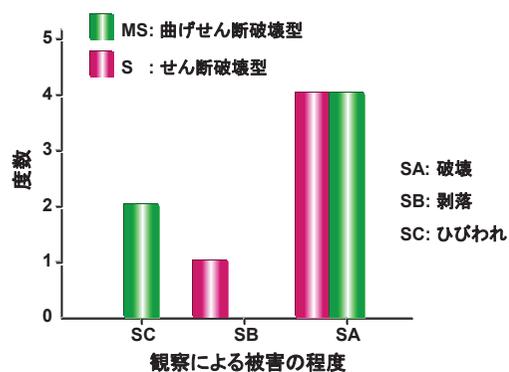


解析結果と構造物の破壊タイプ



構造物の荷重～変位曲線

観察による被害分類と 解析上の破壊タイプの関係 (山陽新幹線高架橋)

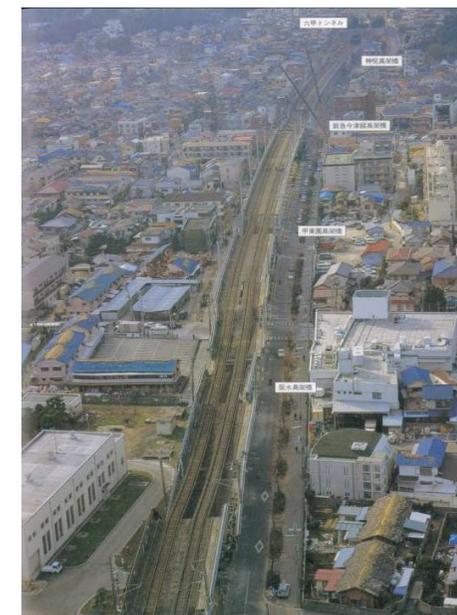


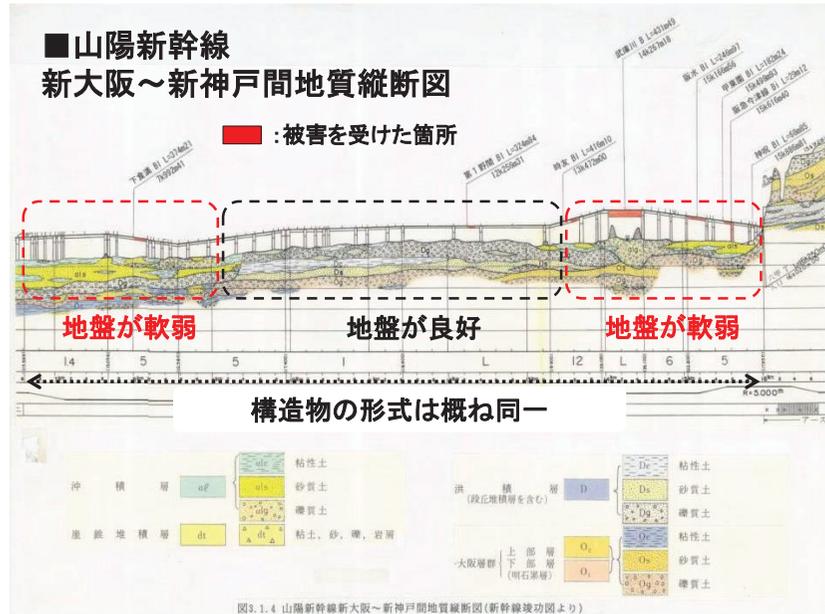
大きい被害はせん断か曲げせん断の破壊型であった。

③ 表層地盤の特性

■ 上空から見た 山陽新幹線の 被害状況

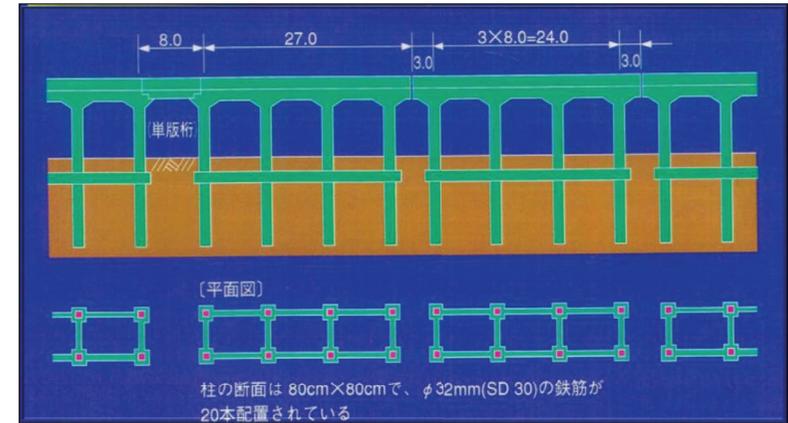
- 写真手前から
- ・ 阪水高架橋
 - ・ 甲東園高架橋
 - ・ 阪急今津線高架橋
 - ・ 神呪高架橋





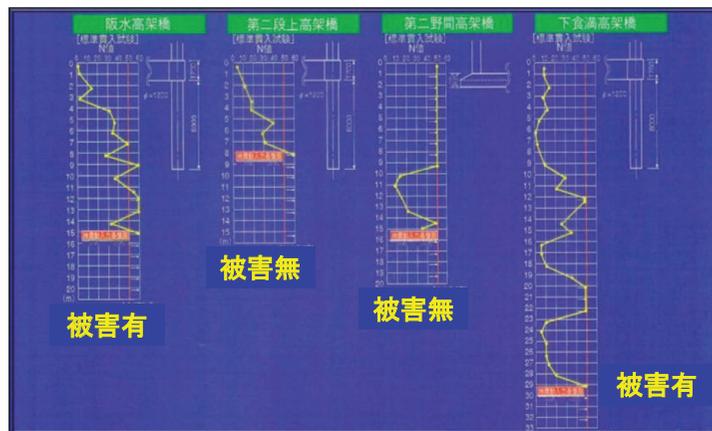
33

被害を受けた高架橋の概要(杭基礎)



34

土質柱状図および基礎工



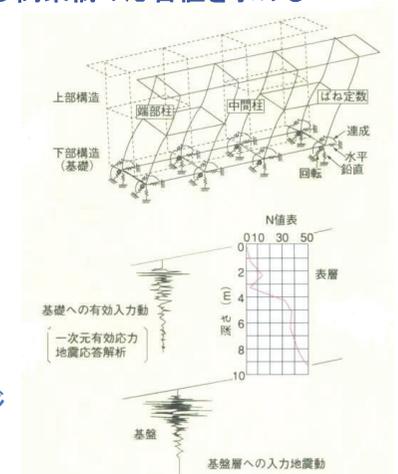
35

動的解析の実施

基盤に地震動を入力し、地盤および高架橋の応答値を求める

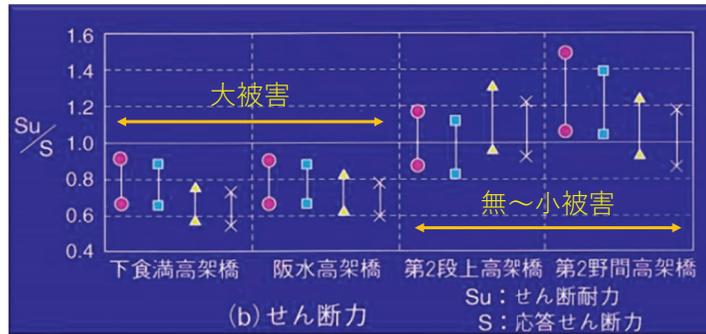
- 基盤に兵庫県南部地震で観測された地震動を入力し、表層地盤の地震動波形を計算する
- その波形を構造物に作用させ構造物の応答(変位、応力等)を求める。

解析のイメージ



36

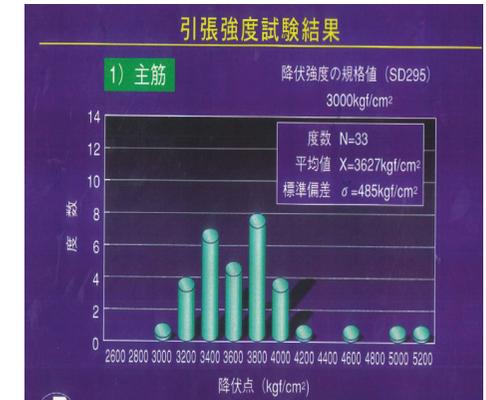
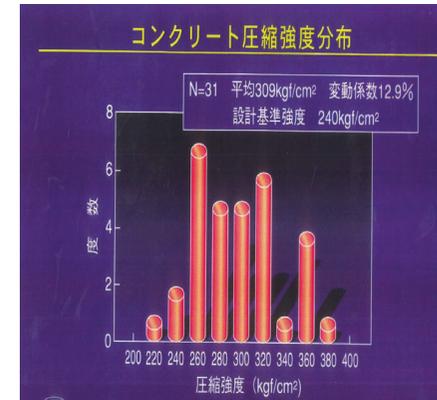
解析結果： 高架橋に生じた地震時せん断力とせん断耐力の比率



小被害であった右二つの高架橋は地震による発生せん断力がせん断耐力より小さかったが、破壊した左二つの高架橋は耐力より大きかった。

37

④ 材料の特性



鉄道総研で調査した結果、強度等に大きな問題はなかった。

38

調査・解析から判明した構造物被害の主な原因

1. 地震動の性状
 - ・設計で考慮した地震動より遙かに大きな地震動が作用
 - ・神戸海洋気象台で818gal
 - 【対応】 直下型地震動を設計に考慮 大地震に対しては構造物全体が崩壊しないことを目標
2. 構造物の破壊形態
 - ・崩壊、落橋など被害の大きかった構造物の部材は主としてせん断破壊型であった。
 - せん断耐力（許容応力度）も現在より大きい値を用いていた。
 - 【対応】 主要な部材は破壊形態を曲げ破壊型にする 大地震に対しては部材は変形性能での評価が合理的
3. 隣接高架橋の被害程度の相違
 - ・同じような構造形式を持つ隣接高架橋で、被害程度に違いがあるのは主として表層地盤の性状の相違が影響していると推定される。
 - 【対応】 表層地盤の性状を精度良く把握する。また地震動の評価は地盤の動的解析を行うのがよい

39

3. 新しい耐震設計法の検討

被害原因から見た合理的な耐震設計法

- ① 地震動は基盤で設定
兵庫県南部地震レベルの内陸型地震動を考慮
- ② 表層地盤の特性を詳細に評価
地盤の動的解析で表層地震動を評価
- ③ 応答値の算定は動的解析法
上部構造および基礎構造の**一体解析**
- ④ 構造物の安全性は部材のじん性(変位)を評価
主要な部材は曲げ破壊型とする

40

一体解析の問題点とその対応

- ◎ 一体解析を行う場合、構造物の降伏点は上部工または基礎の降伏点の小さい方で決定される。
- ◎ 一般に、地震後の補修の容易さから上部工の先行降伏とされる。降伏以降は上部工の損傷が進行し、その耐震性能で諸元が決定される。
- ◎ 基礎先行降伏とした場合、基礎の損傷が進行し、その耐震性能で諸元が設定される。その場合、基礎の減衰は大きいので、構造全体の応答が小さくなり、上部工は経済的な設計が可能となる。
- ◎ 土質諸定数の設定は部材より精度が悪く、ばらつきが大きいため、強い方にばらついた場合（土質諸定数の上限値に近い場合）は基礎は期待したように降伏せず、先に上部工が降伏し、大きな被害を受けることになる。
- ◎ そこで、基礎が先行降伏する場合は、土の定数等に係数を乗じて大きくし、再設計を行うこととした。この係数を**支持力係数（ α_f ）**とし、その値は杭の載荷試験の結果のばらつきや、上部工の安全性を考慮して **2** と設定した。

41

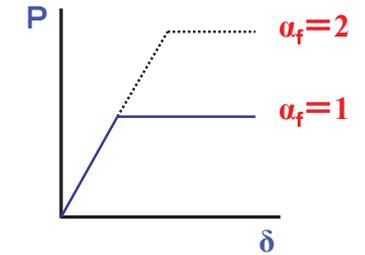
基礎の支持力係数（ α_f ）

地盤の設計強度定数を補正

補正係数を有効抵抗土圧および支持力に乗じてその値を補正する

補正方法

$\alpha_f = 1$ （設計標準で求めた値）を用いた静的非線形解析において基礎が先に降伏した場合、 $\alpha_f = 2$ を用いて抵抗土圧等を大きくし、上部工の照査を行う



P: 有効抵抗土圧および鉛直支持力

42

基礎構造物における一体解析への対応

- ◎ 一体解析を実際に行うためには、上部構造物と基礎構造物の材料等の物性値の推定（設定）精度が異なることへの対応はすでに述べた。
- ◎ 鉄筋コンクリートや鋼構造等が主材料の上部構造は非線形性等の研究がかなり進んでおり、すでに限界状態設計法が採用されていた。
- ◎ 基礎構造についてはこの時点では許容応力度設計法が主体であり、主として力で設計されていた。一体解析に対応するためには、基礎も変位（非線形性を含む）で設計する必要がある。
- ◎ そこで主な基礎（直接基礎、ケーソン基礎、杭基礎）において大変位の載荷試験を行い、**荷重～変位曲線**が計算できるようにした。
- ◎ 基礎が変位に対応できるようになったため、一体解析が可能になった。

43

基礎の設計に荷重～変位曲線を採用する理由

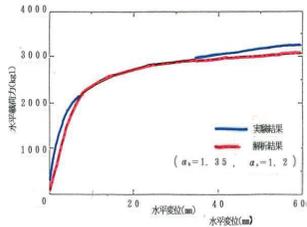
1. 許容応力度設計法の際は各基礎ばらばらの設計法であったが、各基礎間の設計法の考え方が統一できる。
2. 照査内容の明確化と適切な安全性評価ができる。
（限界支持力 塑性率の制定）
3. 大きな設計水平震度（大きな地震動）に対応できる。
（設計水平震度 0.2 での設計法では対応できない）
4. 破壊状態の具体的な把握が可能となる。
（各限界状態における変形や支持力等の限界等）

44

基礎の荷重～変位曲線における実験結果と解析結果の比較の例

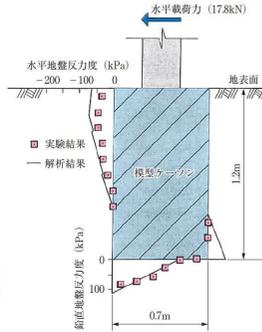
ケーソン基礎

荷重～変位曲線

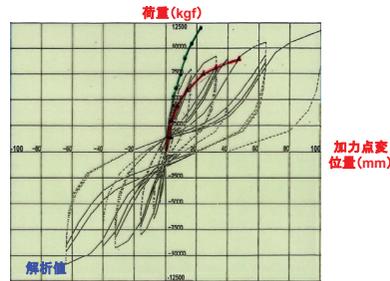


10%程度変位しても耐力は落ちない

地盤反力分布



杭基礎 (9本)



●: 群杭効果(水平地盤ばね)考慮なし
▲: 群杭効果(水平地盤ばね)考慮あり

45

耐震設計標準の概要

① 建造物の耐震性能と設計地震動の関係

耐震性能Ⅰ：地震後にも補修せずに機能を保持でき、かつ過大な変位を生じない

耐震性能Ⅱ：地震後に補修を必要とするが、早期に機能が回復できる。

耐震性能Ⅲ：地震によって建造物全体が崩壊しない

地震動	地震動レベル	L1地震動	L2地震動	
			スペクトルⅠ	スペクトルⅡ
建造物	重要建造物	耐震性能Ⅰ	耐震性能Ⅱ	
	一般建造物		耐震性能Ⅲ	

耐震性能に考慮する項目

1. 部材の損傷
2. 基礎の安定

46

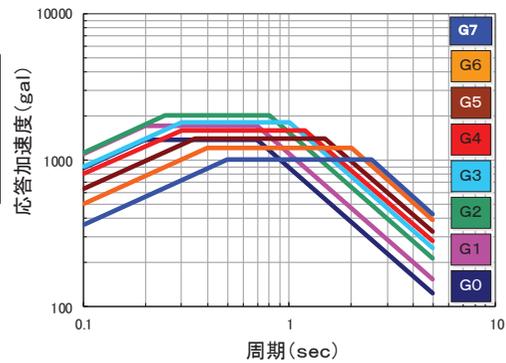
② 設計地震動の設定

1. 地震動の設定位置

- ・設計基盤面

2. 設計に考慮する地震動

- ・レベル1地震動 (スペクトルⅠ)
- ・レベル2地震動 (スペクトルⅡ)

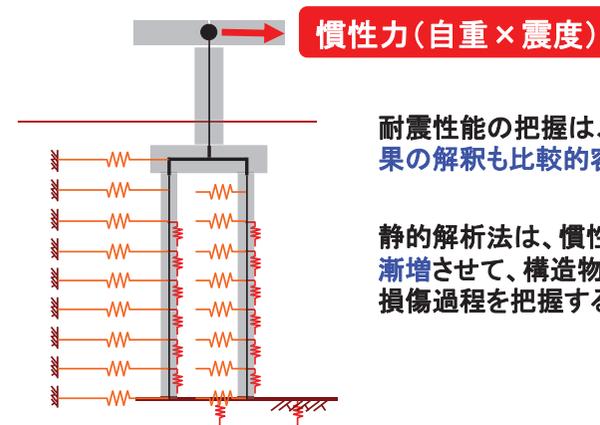


注) G: 地盤種別 G0 は岩盤 G7 は軟弱地盤

弾性加速度応答スペクトル(スペクトルⅡ)

47

③ 橋梁・高架橋の耐震性能の把握

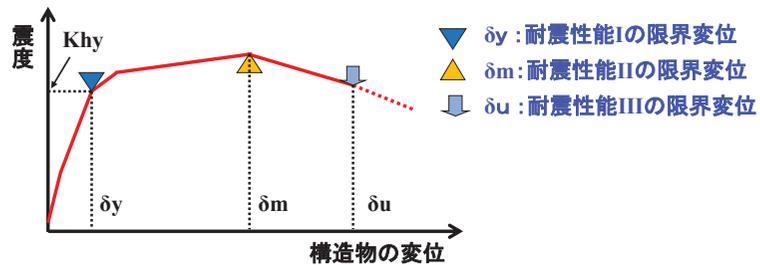


耐震性能の把握は、解析法自体は簡便で結果の解釈も比較的容易な静的解析法による

静的解析法は、慣性力を静的荷重とし、その値を漸増させて、建造物の荷重～変位関係を算定し、損傷過程を把握する。

48

静的非線形解析の結果(耐震性能)



K_{hy} : 降伏震度

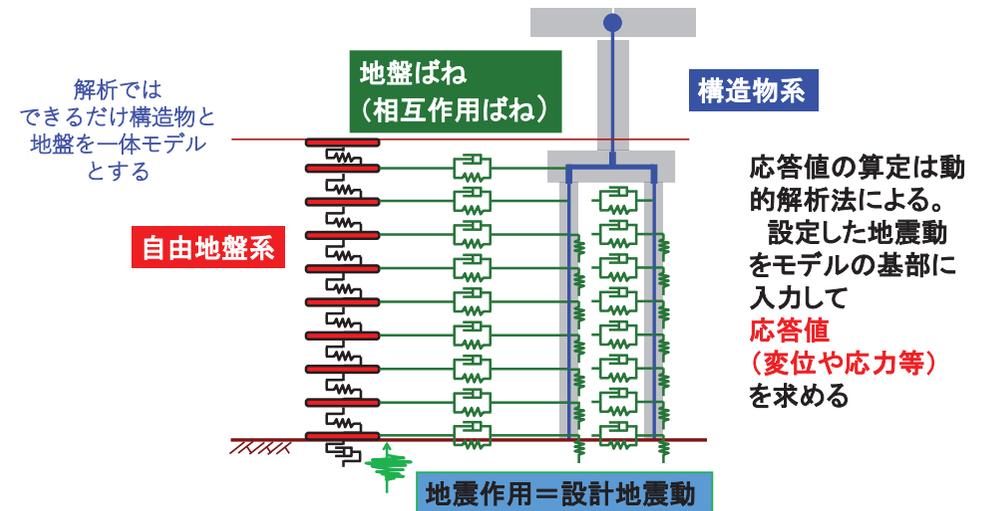
δ_y : 降伏変位(損傷レベル1または安定レベル1に達する変位)

δ_m : 損傷レベル2~3 または 安定レベル2に達する変位

δ_u : 損傷レベル3~4 または 安定レベル3に達する変位

49

④ 橋梁・高架橋の応答値の算定



50

⑤ 橋梁・高架橋の耐震性能照査

1. 照査法

地震時の応答値(変位等)が構造物の有する耐震性能(静的非線形解析で求めた値)より小さいことを確認

$$\gamma_i \cdot S_d / R_d \leq 1.0$$

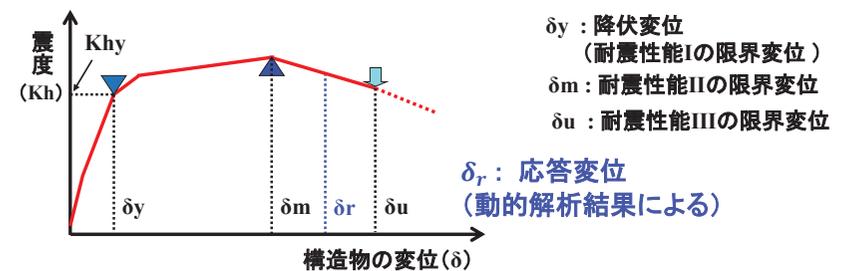
S_d : 設計応答値 R_d : 設計耐震性能 γ_i : 構造物係数(1.1)

2. 耐震性能の照査項目(いずれも主として変位で照査)

- 部材の損傷レベル
- 基礎の安定レベル
- 全体系の変位の検討

51

耐震性能の照査



動的解析結果: $\delta_m < \delta_r < \delta_u$

照査の結果: 耐震性能IIの場合 再設計
 耐震性能IIIの場合 安全

52

**設計に取り入れられた部材のじん性
ではなぜじん性があれば構造物は地震に対して安全性が高いと言えるのか**

- 部材に降伏耐力以上の力が载荷されるとその部材は降伏する。そして荷重が持続し、部材耐力が降伏以降増加しなければ、変形が進行し、部材は破壊する。
- ではじん性があれば、大きな地震を受けても部材が大きな破壊に至らないのはなぜか。それは地震荷重の性質による。
- 地震応答スペクトルで大きな応答を示すのは兵庫県南部地震では周期が0.3～0.8秒であり、荷重（慣性力）は同方向にはその半分以下の時間でしか作用しない。次の瞬間今度は地震荷重が逆方向に作用する。
- したがって、部材が大きなじん性を有しており、地震荷重の作用する短時間だけ破壊しなければ（粘りを発揮できれば）、大きな被害は免れる。もちろんクラックや鉄筋の降伏は生じることがある。
- すなわち「じん性の確保は損傷を許容すること」でもある。

新・旧耐震設計法の比較

1983年開業の高架橋にはせん断クラック等が生じたが、2006年使用開始の高架橋には目立った被害はなかった



東北新幹線(1983年)

東北本線(2006年)

(土木学会誌2011.7)

耐震補強の推進

兵庫県南部地震以降の大きな変化は、すでに建設され供用されている構造物の積極的な補強の推進である。

この地震以前は **新しい技術基準** が作成されても、すでに建設された構造物にはすぐには遡及されなかった。

しかし、兵庫県南部地震以降、運輸省に設置された委員会において、被害の大きさに鑑み「**既存の鉄道構造物に係る耐震補強の緊急措置について**」がまとめられ、運輸書から通達された。

これにより既設構造物も補修、補強がなされた。

緊急補強の対象は、

- ① ラーメン高架橋およびラーメン橋台（RC柱）、
- ② 開削トンネル（RC中柱）、
- ③ 橋梁、高架橋（落橋防止工）である。

震害を防ぐためには、構造物の**耐震補強**は有効であり、この効果は東日本大震災でも次ページの写真のように補強された構造物が被害を受けなかったことから証明された。

今後も①～③にかかわらず、耐震強度が不足する構造物は耐震補強すべきと考える。

耐震補強の効果

震害を防ぐためには、構造物の**耐震補強**はこの写真で見られるように必要である。



(a) 三陸南地震後に撮影



(b) 東北地方太平洋沖地震後に撮影

写真 9.2.2.1.4-1 第5猪鼻高架橋の損傷の様子 (R13～R14)



R15(起点方)東側柱

(a) 三陸南地震後に撮影



R15(起点方)

(b) 東北地方太平洋沖地震後に撮影

写真 9.2.2.1.4-2 第5猪鼻高架橋の損傷の様子 (R15)

余談 地震直後に話題になった被害や現象、調査等

1. 鉛直動によるものと話題にされた被害

- ・ビルの破壊
- ・鋼管柱の破壊
- ・列車の脱線
- ・船のエンジン

2. 神社の鳥居より弱いと書かれた高架橋

3. 構造物および基礎の損傷の発見に貢献した衝撃振動試験

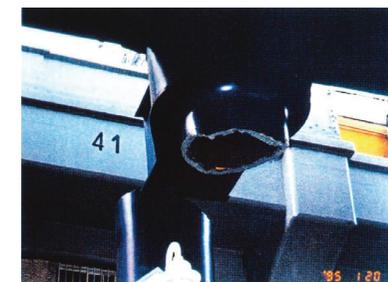
57

1. 鉛直動による被害と話題にされた被害

ビルの中層階の破壊



鋼管柱の破断

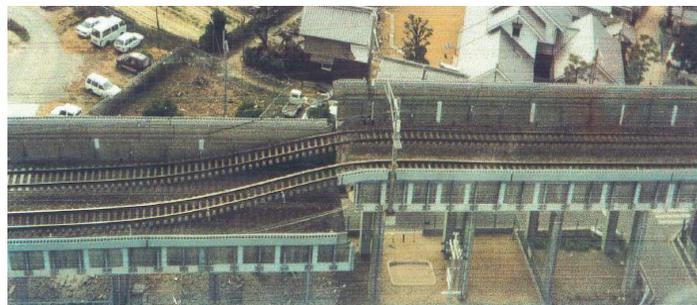
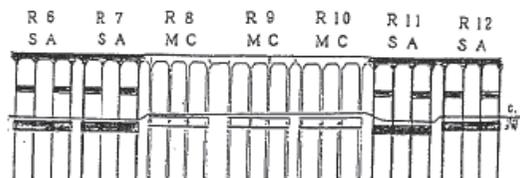


58

2. 神社の鳥居より弱いと書かれた高架橋

下食満高架橋の被害

左側の2層ラーメン高架橋が破壊、
右側の1層ラーメンは無事であった。



59



柱の破壊状況



高架橋近傍の神社

60

3. 構造物および基礎の損傷の発見に貢献した衝撃振動試験

衝撃振動試験は目視による確認が難しい基礎を含めた高架橋全体が列車走行上問題ないかを調査する方法であり、復旧した高架橋や被災区域内にあり、無被害または小被害の構造物で実施し健全度判定（使用の可否）をした。

この試験法はもともと基礎の健全度判定のために開発したもので、ジェイアールや民鉄等で活用されてきた非破壊検査法である。

被害調査においてこの試験法が構造物の健全度判定に適用されたことで、掘削等の大がかりな基礎の調査が必要なくなり、列車の運行までに要する時間が大幅に短縮された。

構造物および基礎の損傷の発見に寄与した衝撃振動試験

61

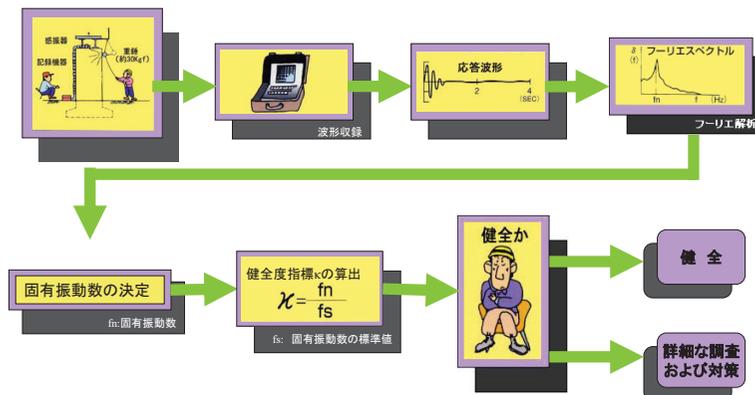
衝撃振動試験とは

重錘(30kgf程度)で橋梁を打撃し、その応答から構造物の固有振動数を求め、それに基づいて橋梁の健全度を判断する非破壊試験法であり、精度のよい試験法で、以下の特徴がある。

- 橋梁の健全度を固有振動数で判定する
- 試験は簡易に実行できる。(短時間で測定可能)
- 正確に固有振動数を測定する。
- 目で見えない基礎の健全度も正確に判定できる。
- 効率が良いため、安価に実施できる。

62

衝撃振動試験による橋梁の健全度判断手順

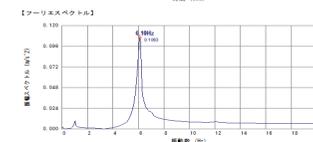


63

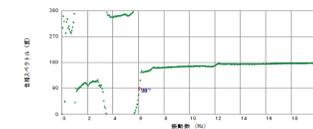
固有振動数の決定法



時刻歴波形（加速度波形）



振幅スペクトル



位相差スペクトル

固有振動数は次の二つで決定する。

- ① 振幅スペクトルの卓越した振動数（周囲と比べて振幅の高い点）
- ② 位相差スペクトルが右上がりに90度を示す点

64

衝撃振動試験の様子



65

衝撃振動試験による健全度判定方法

兵庫県南部地震以前に多くの橋梁やラーメン高架橋の計測値があり、それに基づいて、基礎の種類、柱や橋脚の高さ、スパン別等の要素ごとに構造物が健全な場合の固有振動数の標準値を作成していた。

これに山陽新幹線の計測値を加えて、標準値を補正し、その値と比較することで、健全度を判定した。

判定基準はこれまでの経験や解析等を踏まえ、計測値が標準値の0.7以上であれば使用可能と判断した。

66

Ⅲ 耐震設計法の今後の課題

兵庫県南部地震で新しくなった耐震設計法であるが、これで完成したということではなく、今回紹介したその後の二つの地震でも課題が生じている。ここでは、今後の課題と考えられるものを順不同で列挙する。

(1) 耐震設計法

- ① 大変位領域(塑性域)での構造物および地盤の挙動の精度良い算定法と安全性の評価法 (例えば地震後の鉛直変位の制御)
- ② 液状化と側方流動に対する基礎の設計法 (力が変位か)
- ③ 設計の簡略化(荷重の組合せの検討 例:慣性力と地盤変位の組合せ等)

(2) M9クラスの巨大海溝型地震の問題

- ・ 地震動の継続時間の増大
- ・ 長周期地震動の発生

67

(3) 津波への対応 (東日本大震災で大きな被害)

- ・ 津波による力の方向性と大きさ

(4) 断層への対応

- ・ 変形に対応できる構造物の形式の開発

(5) 免震・制震構造の活用

- ・ 免震・制振 装置や構造物形式の検討

(6) 地盤調査法の改良

- ・ 強度と変形(ひずみ)の関係、またそれらの影響の評価法

68

68

(7) 設計地震動の問題

- ・ L1、L2の二つの地震動は必要か
- ・ 余震の考慮は必要ないか

(8) 新しい構造物の創造（危機耐性を有する構造物）

- ・ 想定以上の地震にも壊滅的な破壊を起こさず、地盤等の大きい変形に耐える構造を開発する。

69

新潟県中越地震(2004 M6.8)による新たな課題

◎ 新幹線の脱線

走行中の営業列車が初の脱線

- 脱線事故を受けて国交省の事故調査委員会等で検討が行われた。これと平行して新幹線脱線対策協議会（国交省、鉄道総研、鉄道事業者で構成）が設けられ、原因の究明や対策等の検討がなされた。また、鉄道総研やJR東日本でも専門委員会を立ち上げ、対策等を発表した。土木学会でも研究会を立ち上げ、各種検討が実施され、その成果も発表されている。

70

■ 高架橋上の新幹線の脱線（浦佐～長岡）



新潟県中越地震復旧記念誌 東日本旅客鉄道株式会社（平成17年10月）

71

◎ 新幹線の脱線・逸脱防止対策

脱線した場合危険な箇所・場合

1. 曲線部
2. トンネルの坑口 活断層と交叉するトンネル
3. 対向列車の存在

対策の例

JR各社は、脱線・逸脱防止装置（地上側または車両側）を鋭意整備している。
また、軌道付近の対策のみならず、高架橋の変位を小さくする（剛性をあげる）対策、レール（列車）の転倒を防止する装置も整備している。

72

兵庫県南部地震 あとがき

今回の兵庫県南部地震は、各種施設にも甚大な被害をもたらした。

この報告では主として鉄道施設の被害について述べたが、被災した鉄道には、大都市圏通勤輸送路線、大動脈としての新幹線、また貨物輸送の重要ルートが含まれていたため、阪神地区のみならず日本全体の経済活動等に大きな影響を与えた。

鉄道のみならず、道路など輸送に重要な役割を担う構造物等の安全性は、高いレベルが要求される。

今回の地震の教訓に基づき、新しい耐震設計法を制定したが、これで十分と言うことはない。大きな地震が生じるたびに課題が浮かび上がるのが現状である。

今後の課題でも述べたように、構造物の破壊メカニズム、液状化を含む地盤や構造物の挙動推定のさらなる精度向上、断層対策、津波対策などに努力する必要がある。

兵庫県南部地震の被害に基づく 新しい耐震設計法とその課題

おわり

ご清聴ありがとうございました