

## 道路・鉄道・港湾施設の耐震設計について

松浦 寛司

### 1. はじめに

平成7年1月に発生した兵庫県南部災以来、各種構造物の耐震設計は以前にも増して重な部分となって来ており、各施設の構造解析では構造物非線形域での性能を評価した各種の解析（構造物の弾塑性解析）が行われるようになって来ている。これ等の解析手法は従来の弾性設計とは考え方を異にし、塑性部を意図的に設けることで地震エネルギーの吸収を考慮するものである。第7分科会耐震関係では、道路・鉄道・港湾での耐震設計について、道路橋での振動試験の実際、JR施設の耐震設計の考え方、港湾施設の耐震設計の考え方について着目し今年度の活動を行った。

### 2. 道路橋での振動試験の実際（土木研究所振動実験施設の見学）

上述する兵庫県南部地震では各種の構造物が被災し、構造設計を糧とする技術者に「今までの耐震設計技術とは何であったのか」を被災した構造物にて問われた地震災害であった。鋼・コンクリート構造をはじめとする各種の構造技術は、実構造物に使用される事を目的に開発・研究がなされるが、その成否はこのような大地震等を受けてはじめて明らかにされることとなる。

仮に今回のような被害が生じたとしても、その結果を十分解析し、再現・対応する技術開発がなされるとすれば、それは一種の実物実験と言えるものと考えられる。

振動実験の見学は、実験予定日の9月21日に設定し全ての手筈を整えたが、振動試験機の部品故障と交換部品の調達が困難（米国からの部品送付が、テロの影響により遅延）との理由により、出発3日前に延期決定となり、施設の見学と研究員の方との意見交換に留まった。

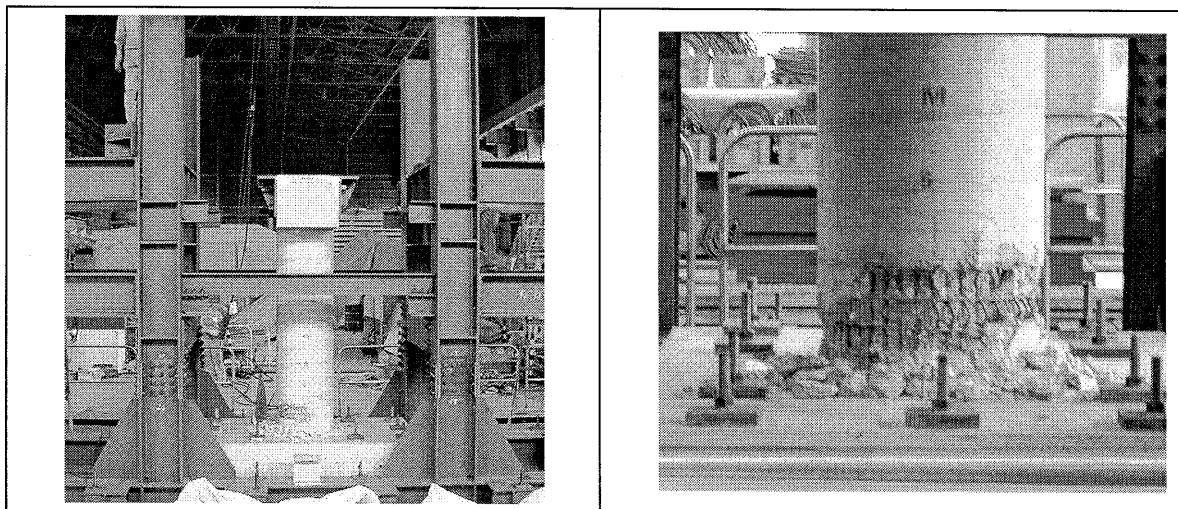
実物振動実験は残念ながら延期となったものの、それに変わる施設見学をお願いし、振動試験施設はもとより、風洞実験施設、ねじりせん断実験施設、大型せん断土層による液状化試験施設、大型動的遠心力載荷試験施設、更には斐伊川の放水路実験施設の見学を行うことが出来た。

振動実験施設

（後日、土木研究所より）

実験供試体（塑性ヒンジ箇所）

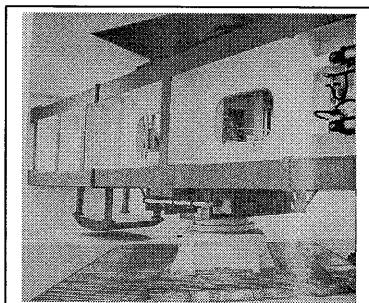
（後日、土木研究所より）



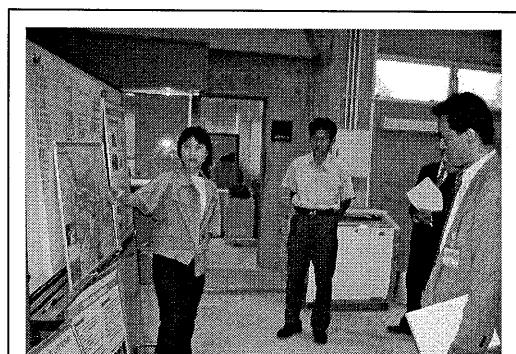
振動実験の結果については、未だ発表されておらず性能のコメントは確定出来ないが、全方向に同一の配筋条件であること、帶鉄筋による拘束効果が方向性を持たず明瞭なことより、振動実験と解析結果の一貫性、更には矩形柱に対し耐震性能の優位性が示されると考えている。

次に、動的遠心力載荷試験装置での実験施設を見学した。これは円心加速度を与えた振動台施設（擁壁、盛土）に鉛直・水平の地震波を加振入力する事ができる施設であり、付加円心加速度と実験模型の相似則の存在を初めて知ることとなった。ここでは振動台のモデル規模と土粒子の相似性、結果の利用性、今後の実験方針にと研究員との意見交換を行った。

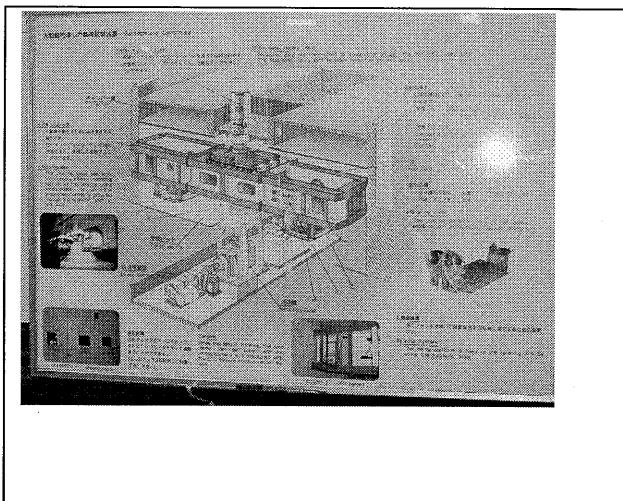
遠心力載荷試験装置



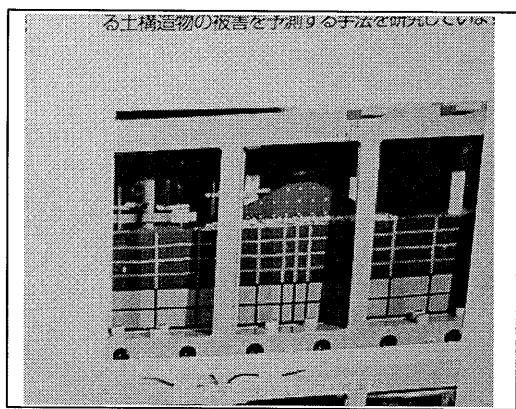
研究員との意見交換状況



試験施設説明図



液状化実験状況



の比較検討がなされ、各種指針への適用が図られる模様。

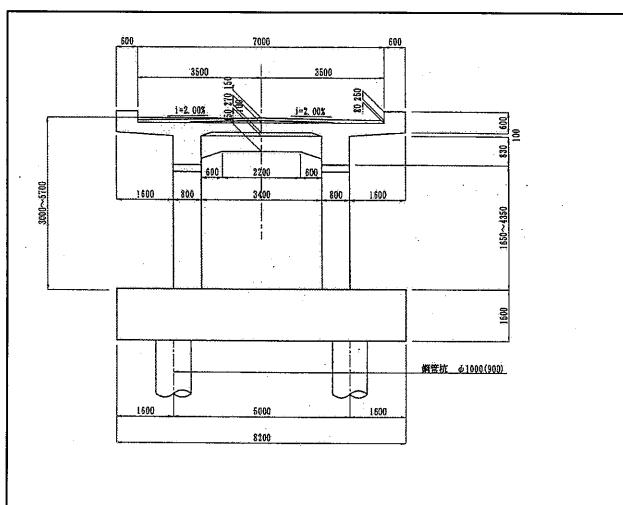
### 3. JR 施設の耐震設計の考え方（標準的な橋脚、ラーメン高架橋 {一層または二層}）

鉄道構造物に対する耐震設計法は、地盤および構造物の応答値を原則として動的解析にて算出する。ここでの動的解析手法には以下に示す3つの手法が示されており、地盤条件や構造形式が複雑でない場合には、「非線形スペクトル法」または「基礎を支持ばねに置換した解析法」での応答値算出を一般的としている。

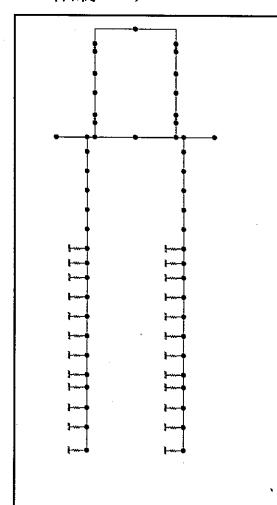
- ・「非線形スペクトル法」
- ・「基礎を支持ばねに置換した解析法」
- ・「地盤と基礎および上部構造物の一体解析法」

前述の手法においては、構造物としての降伏点を定める必要があり、それには上部構造と基礎構造物(杭基礎)を一体とした構造物全体に対する静的非線形解析(Push-Over-Analysis)を行う必要がある。

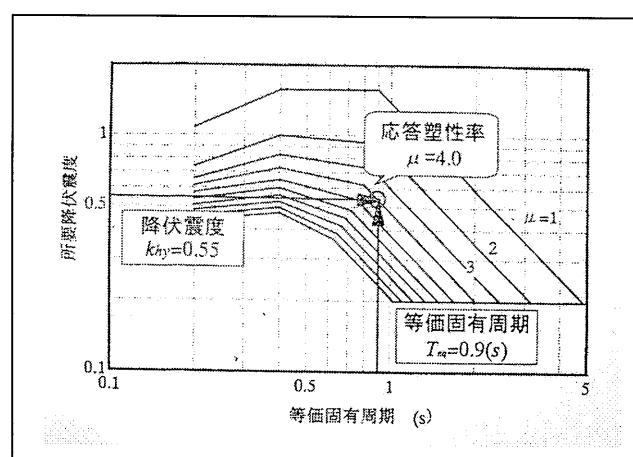
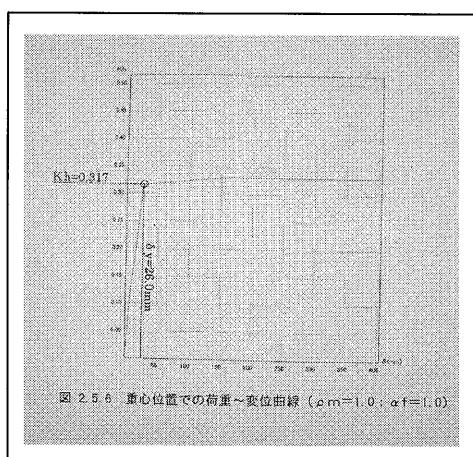
一般構造図



軸線モデル



静的非線形解析は塑性崩壊解析と言われ、構造物に増  
分変位  
(または荷重)を与え、塑性ヒンジの形成過程、せん断耐力の低下、塑性回転などを求め、 $K_h - \delta$   
図の作成により構造物の降伏震度を求める手法である。これにより求めた降伏震度と固有周期により、既往の非線形スペクトル図を用いて応答塑性率を算定する方法である。



#### 4. 港湾施設の耐震設計について

港湾施設における耐震設計の概要を以下に示す。

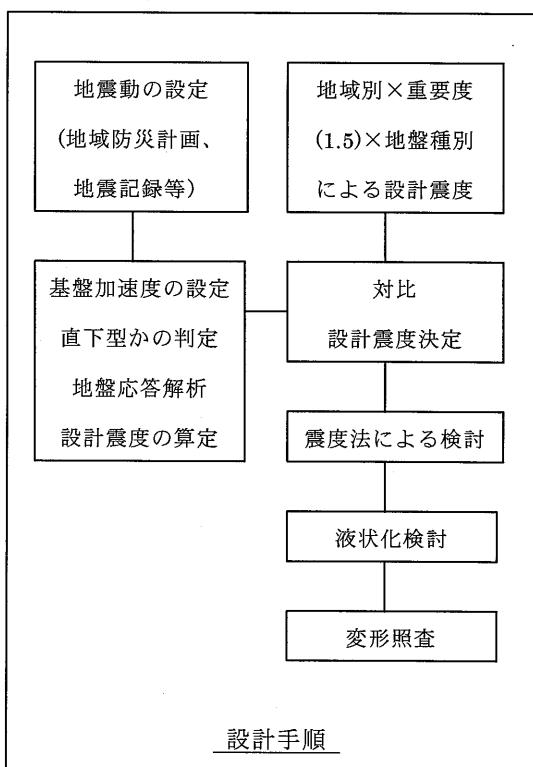
##### 1). 定義

「震災直後の緊急物資輸送などの確保、経済社会活動の維持等を考慮してその耐震性を強化する耐震強化岸壁、震災時に市民の安全を守る防災拠点等の護岸」としている。

##### 2). 耐震性能

「レベル2地震動（供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動）に対して、生じる被害が軽微であり、かつ、地震後の速やかな機能の回復が可能なもとし、当該施設の所期の機能を保持するもの」としている。

##### 3). 設計手法



##### (1) 設計の流れ

大まかな設計（対象構造物として重力式岸壁）の流れは、左図のとおりである。

設計法が震度法であることは、通常の施設と変わらないが、大きく異なる点は、対象地点毎に地震動、設計震度を設定することである。また、場合によっては有限要素法で変形量の照査を行うことがある。

##### (2) 地震動の設定

対象地震については、地域防災計画上での想定地震を基本としている。想定されている断層面から距離減衰を考慮し、対象地点における基盤加速度を算定する。島根県の地域防災計画では、東より“松江南方”、“大田市西南方”、“浜田市沖合”、“津和野町付近”的4つの地震動が設定されている。

##### (3) 設計震度の設定

(2)で算定した基盤加速度から地表面加速度を求め、対象施設の設計震度とする。地表面加速度の算定には地盤の応答解析を行うが、一般に用いるのは重複反射モデルの“SHAKE”である。この時使用する波形は、プレート内地震とプレート境界地震の2種類が用意されており、選択は設計者に委ねられている。こうして求めた値と基準書（港湾基準）で示される値を対比し、0.25を上限として設計震度を設定する。

##### (4) 液状化検討、変形照査

液状化検討は、まず“粒度分布”、“等価N値・等価加速度”といった簡易な判定を行い、必要に応じて“繰返し三軸試験”を用いた検討を実施する。特に重要度が高く、変形量が問題となる場合は、2次元有効応力解析（FLIP）を行ことがある。