

# 巨大地震災害への対応 ～土木学会が果すべき役割～

早稲田大学理工学部 濱田政則

昨年, 中央防災会議より, 「東海地震」「東南海地震」および「南海地震」の「対策大綱」が相次いで発表された。「東海地震」の「発生の切迫性は極めて高い」とされており, 「東南海地震, 南海地震」が今後50年間に発生する確率は80～90%と予測されている。

## 1. 兵庫県南部地震とその後約10年間の活動

- ・土木構造物の被害と教訓
- ・土木学会が果たした役割
- ・耐震設計法の改訂と耐震補強
- ・研究開発活動
- ・残された課題

このような巨大地震への対応を考えるためには, まず, 約10年前の兵庫県南部地震を振り返って考える必要があり, 左記の事項について述べる。

## 2. 最近の地震によって提起された新たな課題

- ・地表地震断層
- ・長周期地震動

兵庫県南部地震後も, 国内外で地震災害が発生し続けており, それらによって提起された左記の新たな課題について述べる。

## 3. 巨大地震災害軽減への土木学会の対応

- ・特別委員会の活動
- ・土木学会、日本建築学会による共同研究

最後に, 以上のことを踏まえて, 土木学会の活動の展開方針, 果しうる役割について述べる。

# 1.兵庫県南部地震とその後約10年間の活動

## (1)土木構造物の被害と教訓

兵庫県南部地震では、膨大な数の土木構造物が極めて甚大な被害を受けた。道路、鉄道、港湾、河川堤防等の土木構造物の直接被害額は約1兆5千億円とされている。(次頁参照)

ライフラインも液状化によってガスや水道などの埋設管路や下水処理場などの拠点施設が被害を受け、長期間に亘ってその機能が停止した。

後述する土木学会の提言や耐震設計法の改訂などに関係するので、兵庫県南部地震による土木構造物の特徴的な被害を振り返って見る。

# 兵庫県南部地震による土木構造物などの被害

## (推定被害額 約1兆5千億円)

### 1. 道路構造物(5,583億円)

- ・ RC橋脚のせん断破壊(倒壊又は大破:82基) ・ 鋼製橋脚の座屈、脆性破壊
- ・ 液状化、流動化による基礎の被害

### 2. 鉄道構造物(2,220億円)

- ・ RC高架橋柱のせん断破壊(崩壊又は大破:1206本) ・ 開削トンネルの崩壊
- ・ 液状化、流動化による橋脚の移動 ・ 盛土、擁壁の崩壊、大変形

### 3. 港湾構造物(5,944億円)

- ・ 液状化と慣性力による護岸の移動 ・ 護岸移動による側方流動
- ・ 荷役施設の破壊

### 4. 河川構造物(716億円)

- ・ 堤防、護岸の被害(総延長6,200m) ・ 河川構造物の被害

### 5. ライフライン施設

- ・ 液状化地盤における埋設管路の被害
- ・ 液状化による拠点施設の被害(下水処理場、発電所)

復旧に要した日数: 都市ガス85日、水道40日

まず道路、鉄道等のコンクリート橋脚のせん断破壊が注目された(次頁上段左右の写真参照)。道路橋では崩壊又は大破したコンクリート橋脚は約80基、鉄道の高架橋のコンクリート柱では1000本以上の柱がせん断破壊を生じたと報告されている。

鋼製橋梁にも被害が生じた。次頁左下の写真はT形の橋脚であるが、座屈と溶接部の破断により完全に崩壊しました。

地下鉄の駅舎もコンクリート中柱のせん断破壊により大被害を被った(次頁右下)。大断面の地下構造物がこのような大きな被害を受けたのは世界でもはじめての経験であった。

# コンクリート橋脚・柱のせん断破壊および鋼製橋脚の崩壊



82基が倒壊・大破

鉄筋コンクリート橋脚のせん断破壊(道路)



1,206本が崩壊・大破

高架橋コンクリート柱のせん断破壊(鉄道)



T型橋脚の座屈と溶接部破断による崩壊

鋼製橋脚の崩壊



大断面の地下構造物が受けた世界初の被害

地下鉄駅舎中柱のせん断破壊

液状化による被害も兵庫県南部地震の被害の特徴的な点であった。

護岸が大きく海方向に移動し、これが埋立地の側方流動の原因となった(次頁左上写真参照)。

次頁右上写真は、淀川の河川堤防であるが、液状化が主要因となってすべり破壊を生じたものである。

また、左下写真は下水処理場の地中ダクトが液状化によって浮上した例である。

埋立地に建設されていた危険物などの貯槽も液状化により右下写真のように大きく傾いた。しかし、幸いなことに、この中で倒壊した貯槽は一基もなかった。何故、傾斜が増大して倒壊に至らなかったのか？その最大の原因は地震動の継続時間が短かったことによると考えられる。兵庫県南部地震はマグニチュード7.2の地震で主要動の継続時間はせいぜい10秒から15秒程度であった。

東海地震や東南海地震などマグニチュード8クラスの地震では地震の揺れが2分以上も続くと予想されている。

兵庫県南部地震で、はたまたまある条件があって発生しなかった災害も、将来の巨大地震では発生することがあることに十分な注意を払う必要がある。



# 液状化による被害

埋立地の側方流動  
の原因となった



液状化による護岸の移動



液状化による河川堤防のすべり(淀川)

液状化により浮上した下水処理場ダクト



地震動の継続時  
間が短かったため  
倒壊例は無し



液状化により傾斜したタンク

液状化地盤が水平方向に数mのオーダーで移動する現象,いわゆる側方流動も構造物に大きな被害を生じさせた.

次頁左上写真は側方流動によって基礎が移動し,桁が落下した六甲ライナーの状況を示している.地震後の測量でケーソン基礎の天端が1m近くも海方向に移動していることが分かった.

右側の上の写真は神戸大橋のアプローチの桁が落下した状況を示している.

建物や産業施設さらにライフライン施設の基礎杭も側方流動によって被害を受けた.左下写真は下水処理場の施設の基礎杭だが,地震後の調査によってほとんどの杭が被害を受けていたことが報告されている.

右下写真はポートアイランドの水道の本管であり,側方流動による地盤のひずみにより溶接部が切断された例である.



# 側方流動による橋桁の落下、基礎杭および埋設管の被害



ケーソン基礎の天端  
が1m近く移動した

基礎の移動による橋脚の落下(六甲ライナー)



基礎の移動による橋桁の落下(神戸大橋)



下水処理場施設の基礎

基礎杭の被害



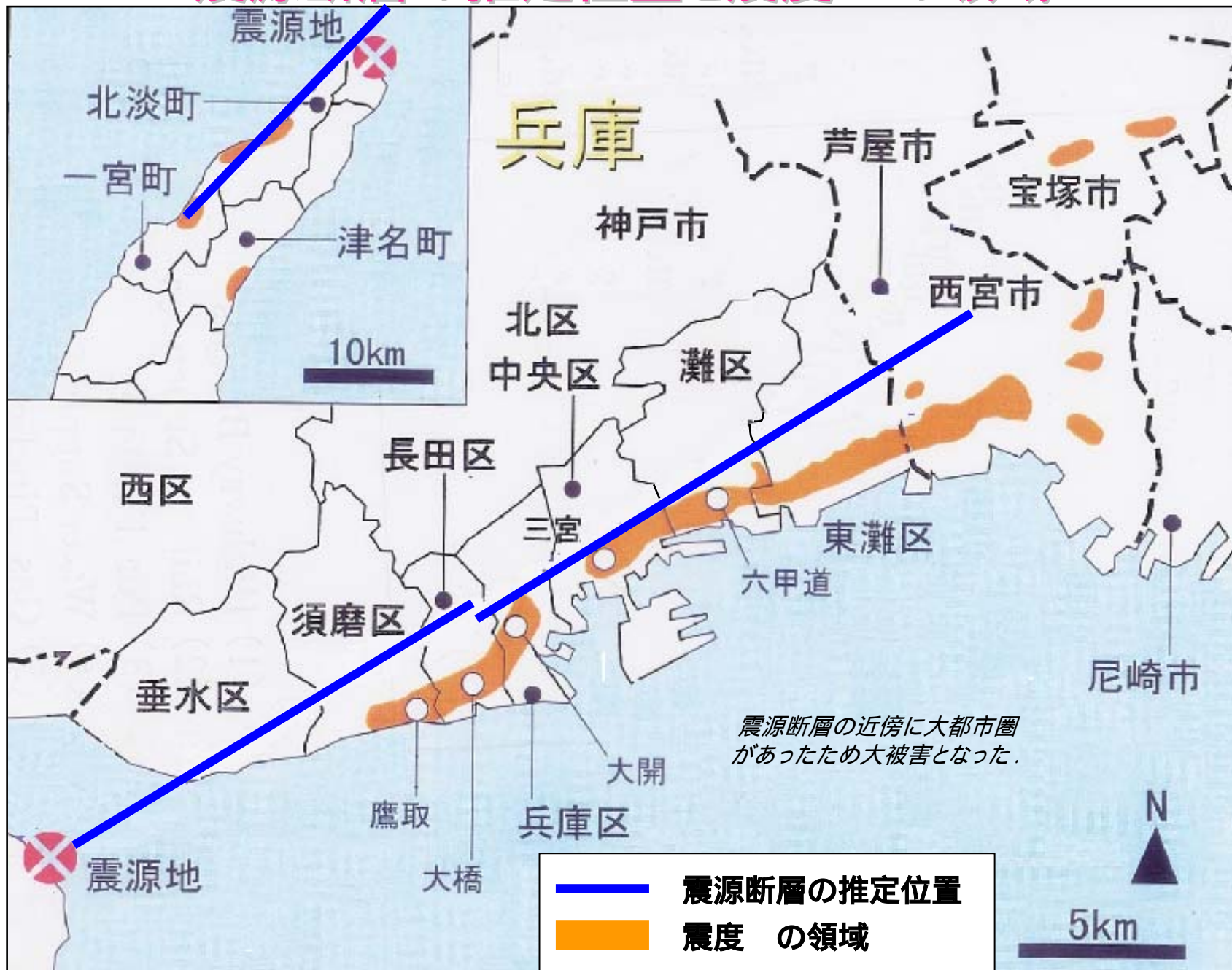
地盤ひずみによる水道本管の破断

何故、兵庫県南部地震によってこのような大被害が発生したのか？

次図の青い線は震源断層の推定位置だが、この震源断層の近傍域で極めて破壊力のある地震動が発生し、断層近傍域に位置していた神戸市などの大都市圏を襲い、多くの構造物を破壊した。

我国ではマグニチュード7クラスの内陸断層による地震は10年に1回位の割合で発生しているが、これほど断層近傍域に大都市圏が存在していたのは初めてであった。

# 震源断層の推定位置と震度の領域



次頁の左図は兵庫県南部地震で神戸市の地表面で観測された代表的な水平方向の加速度波形であり、最大加速度が800galを超えている。右図は弾性応答の加速度スペクトルを示しており、南北、東西両方向とも2000galを超えている。

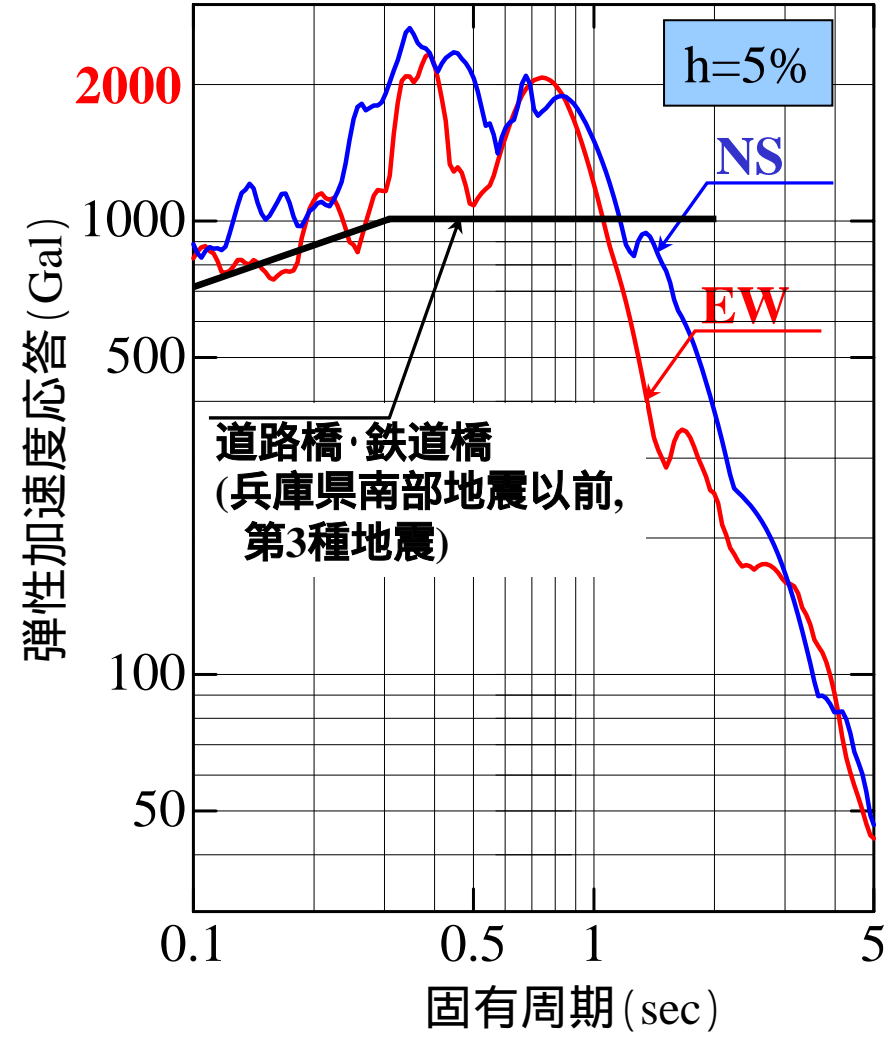
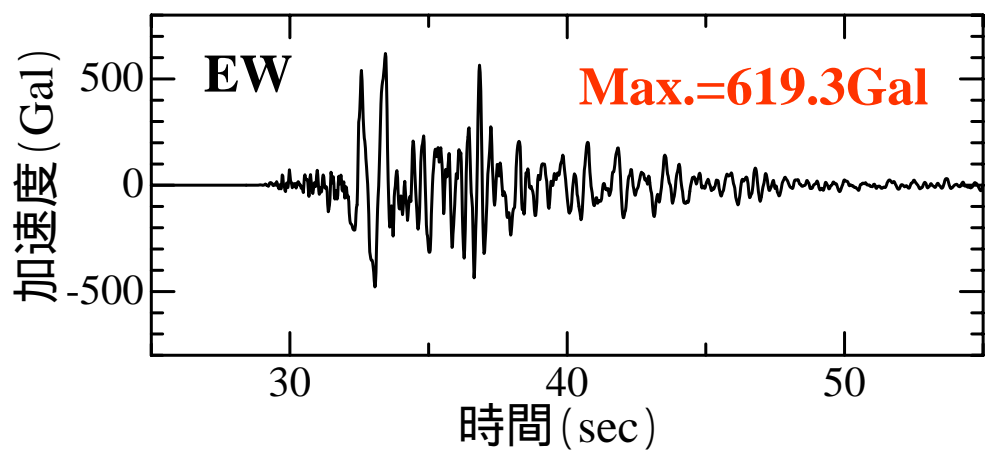
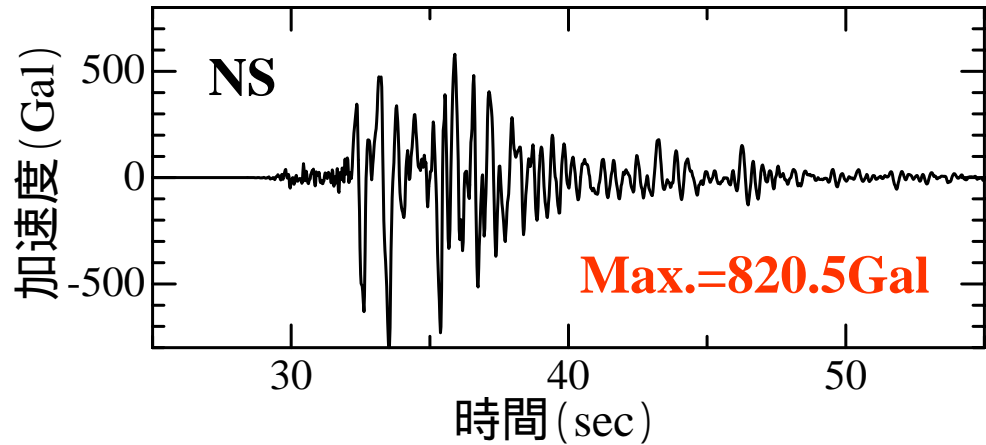
道路橋や鉄道橋では兵庫県南部地震以前に、弾性応答加速度を1000galとして保有水平耐力の照査や塑性率のチェックを行って来たが、兵庫県南部地震によって発生した地震動はそれをはるかに上回っていることになる。道路橋示方書等の1000galは関東地震による東京の揺れを想定していると一般に考えられているが、兵庫県南部地震の断層近傍域での揺れはそれを2倍以上回っていたことになる。



# 兵庫県南部地震による地震動(神戸海洋気象台)

## 加速度記録

## 弾性応答加速度スペクトル



## (2) 土木学会が果たした役割

兵庫県南部地震から我々が学習すべき教訓はハードからソフト面まで無数にあったが、構造物の耐震設計や耐震補強に関して最も重要な教訓は次頁に書いてあるように「兵庫県南部地震の断層近傍域で発生したような極めて稀な地震動に構造物が遭遇しても構造物を完全に破壊させることなく人命と財産を守る。」ということではなかったと考える。これを実現するためにはどうしたら良いか？土木学会は3度に亘って土木構造物の耐震設計既存構造物の耐震補強に関して提言をしているが、地震から約4ヶ月後の平成7年5月に第一次提言を発表し、この中で、二つの基本方針を打ち出した。

このうち最初の方針は「2段階地震動による耐震設計」の提唱で、レベル2地震動の中に、兵庫県南部地震の断層近傍域で発生したような地震動を考慮し、2段階の地震動による耐震設計をすべての土木構造物に適用しようとするものである。

2番目の基本方針は、提言の中で「性能規定型設計」という用語が用いられているわけではないが、「構造物が保有すべき耐震性能、すなわち被害状態は人命への影響、応急活動等への影響を考慮して決定する」とされており、性能規定型設計の考え方が提唱された。

地震後の混乱の中で、4ヶ月でこれだけ明確な基本方針を打ち出したこと、またこれらの提言がその後及ぼした影響を考えると、土木学会が社会的に果たした役割として高く評価出来ると考えている。



# 兵庫県南部地震の教訓と土木学会の提言

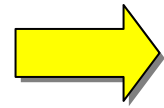
(1次提言:95・5・23 2次提言:96・1・10 3次提言:00・12・6)

## 第1次提言の骨子

(耐震設計と耐震補強の基本方針)

### 建造物の耐震設計と耐震補強に関する兵庫県南部地震の教訓

兵庫県南部地震の断層近傍域で発生したような極めて稀な地震動に建造物が遭遇しても 建造物を完全に破壊させることなく人命と財産を守る。



(1) 建造物の耐震性能の照査では、供用期間中に1~2度発生する確率を持つ地震動と、発生確率は低いが極めて激しい地震動の2段階の地震動を想定する 2段階地震動による設計

(2) 建造物が保有すべき耐震性能、すなわち被害状態は人命への影響、応急活動、復旧・復興活動、社会経済への影響を考慮して決定する 性能規定型設計

# 防災基本計画(中央防災会議,平成7年7月)

土木学会の提言が出されてから2ヵ月後の平成7年7月に,中央防災会議により「防災基本計画」が策定された。

第1章「災害予防」の冒頭において「構造物・施設等の耐震性の確保」についての基本的考え方が示された。表現,用語など若干異なるが,内容は土木学会の提言とほとんど同じであり,2段階の地震動については直下型地震の地震動を考慮すること,また人命への影響を最重要視して耐震性能を定めることが唱われ,これが構造物と施設の耐震性確保のための国としての基本方針として位置づけられた。

## 第1章 災害予防

### 第1節 地震に強い国づくり,まちづくり

#### 1. 構造物・施設等の耐震性の確保についての基本的考え方(要約)

•**構造物・施設等の耐震設計に当たっては, 供用期間中1~2度程度発生する確率を持つ一般的な地震動,及び発生確率は低いが直下型地震又は海溝型巨大地震に起因する更に高レベルの地震動をともに考慮の対象とするものとする。**

•**構造物・施設等は, 高レベルの地震動に対して人命に重大な影響を与えず,かつ地震後の応急対策活動地域の経済活動に著しい影響を与えないことを基本的目標として設計するものとする。**

# 土木構造物等の耐震設計基準(指針)の改訂

地震後ほとんどの土木構造物の耐震設計基準が土木学会や防災基本計画に示された基本方針に沿う形で改訂された。2段階の耐震設計用地震動が規定され、また、目標とすべき構造物や施設の耐震性能も多くの改訂基準の中に明記された。

- (1) 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 (1996年 道路協会)
- (2) 下水道施設の耐震対策指針と解説 (1997年 日本下水道協会)
- (3) 水道施設耐震工法指針・解説 (1997年 日本水道協会)
- (4) 高圧ガス設備等耐震設計指針 (1997年 高圧ガス保安協会)
- (5) 鉄道構造物等耐震設計標準・同解説 (1998年 鉄道総合技術研究所)
- (6) 港湾の施設の技術上の基準・同解説 (1999年 日本港湾協会)
- (7) 高圧ガス導管耐震設計指針 (2000年 日本ガス協会)
- (8) ガス製造設備等耐震設計指針 (2001年 日本ガス協会)
- (9) 高圧ガス導管液状化耐震設計指針 (2001年 日本ガス協会)

しかしながら、土木学会等の基本方針に沿って耐震設計法を改訂するためには解決しなければならない課題がその時点で数多くあった。

# 耐震基準等改定のための課題

## (1) レベル2地震動の設定

### レベル2地震動の推定方法

- ・断層より直接的に地震動を推定(断層の有無の判定, 断層パラメータの同定)
- ・観測地震動をもとに標準地震動を設定し, これを地域の活動度により補正

### レベル2地震動の対象とする地震

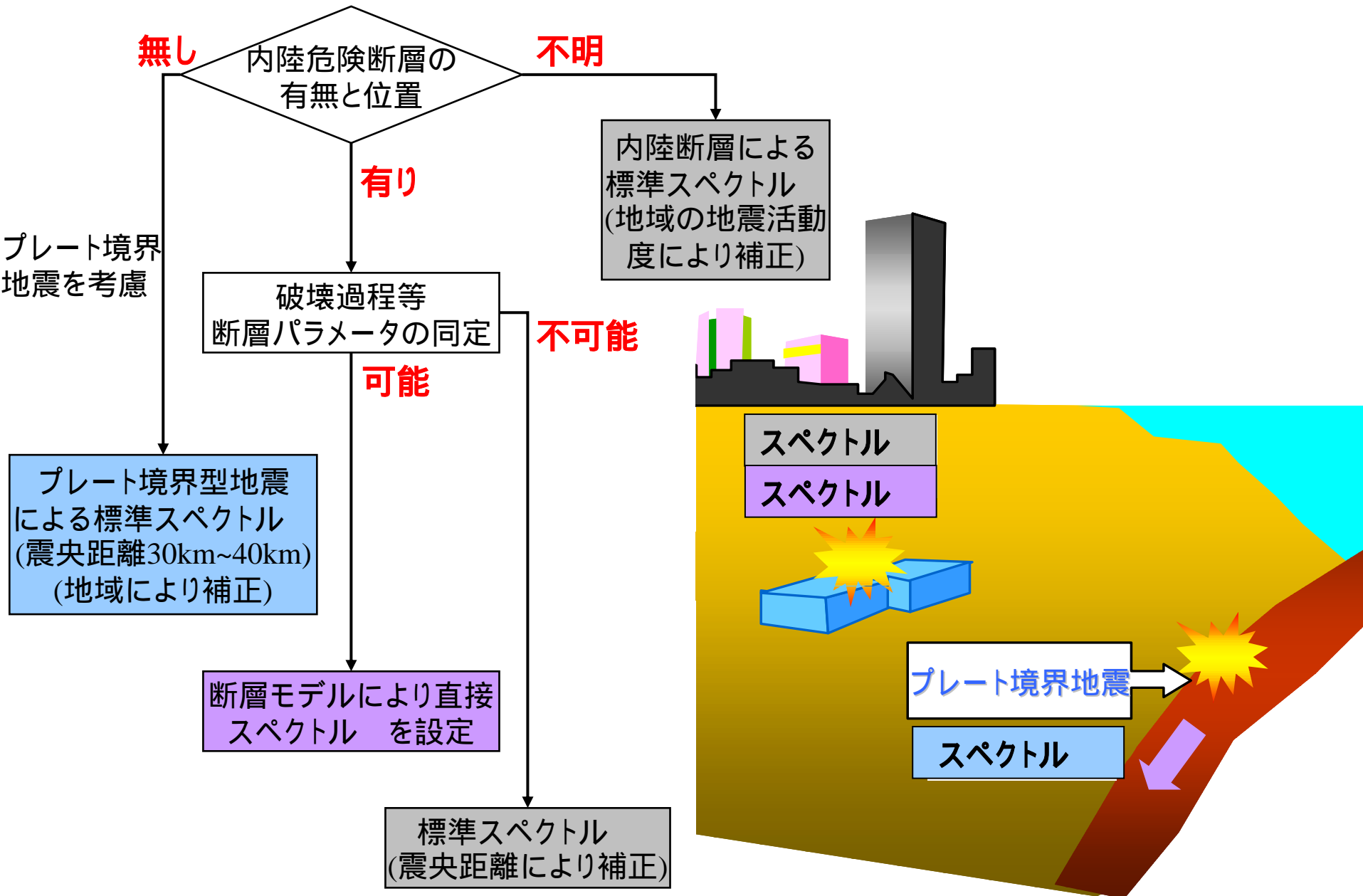
- ・マグニチュード7クラスの内陸地震, 断層近傍域(10km以内)の地震動
- ・マグニチュード8クラスのプレート境界型地震(震央距離をどうするか?)

まず問題になったのは「レベル2地震動」をどのように設定するという方法が、内陸断層より直接的に数値解析によって地震動を設定するという方法が提案された。この場合は構造物の建設地点付近での断層の有無や断層破壊に関するパラメータの同定が必要となるが、内陸断層の場合、地域によっては断層パラメータの同定はもとより断層の有無の判定も難しいのではないかということになり、観測地震動をもとにレベル2の標準地震動を全国一律に設定して、これを地域の地震活動度により補正する方法も併せて採用することにした。

また、レベル2地震動を引き起こす地震としてマグニチュード7クラスの内陸地震とマグニチュード8クラスのプレート境界型の地震を想定することになりました。このうちマグニチュード7クラスの内陸地震については断層近傍域の地震動とするが、プレート境界のマグニチュード8クラスの地震の震央距離をどうするか？ということが議論された。東海地震などを考えた場合、静岡市などでは震源域での地震動も場合によっては考えるべきとの意見もあったが、結局マグニチュード8クラスの震源域での観測地震動が十分でなく、かつ断層から直接的に地震動を算定する手法の精度もその時点では十分でないということもあって、この問題は将来の研究課題として先送りされた経緯がある。

次頁は鉄道構造物の耐震設計標準で採用したレベル2地震動の設定フローだが、内陸断層があると判定され、断層パラメータの同定が可能な場合は、地震動、「スペクトル」としているが、これを断層モデルにより直接的に算定する。断層の存在が不明あるいは断層パラメータの同定が不可能な場合には内陸断層による標準地震動、「スペクトル」としているが、これを地域の活動度あるいは震央距離により補正するという形をとっている。この標準地震動は兵庫県南部地震での震源域の観測地震動などをもとに設定された。又、建設地点の近くに、構造物の耐震性に影響を与えるような断層が無いと断定される場合には震央距離を30km～40kmとしてプレート境界型の地震動の標準スペクトルを設定し、これを用いるということにした。

# 鉄道構造物耐震設計標準におけるレベル2地震動





# 耐震基準等改定のための課題

## (2) 構造物の損傷度・残留変位の推定と耐震性能の判定

### 構造物の大変形挙動と破壊過程

### 損傷度・残留変位と耐震性能の関係

耐震基準の改訂において、次に問題となったのは、レベル2地震動に対して構造物の損傷度と残留変位をいかに精度良く予測するか、さらに、構造物各部位の損傷度や残留変形と耐震性能の関係をどのように明確に関係づけるかという問題である。

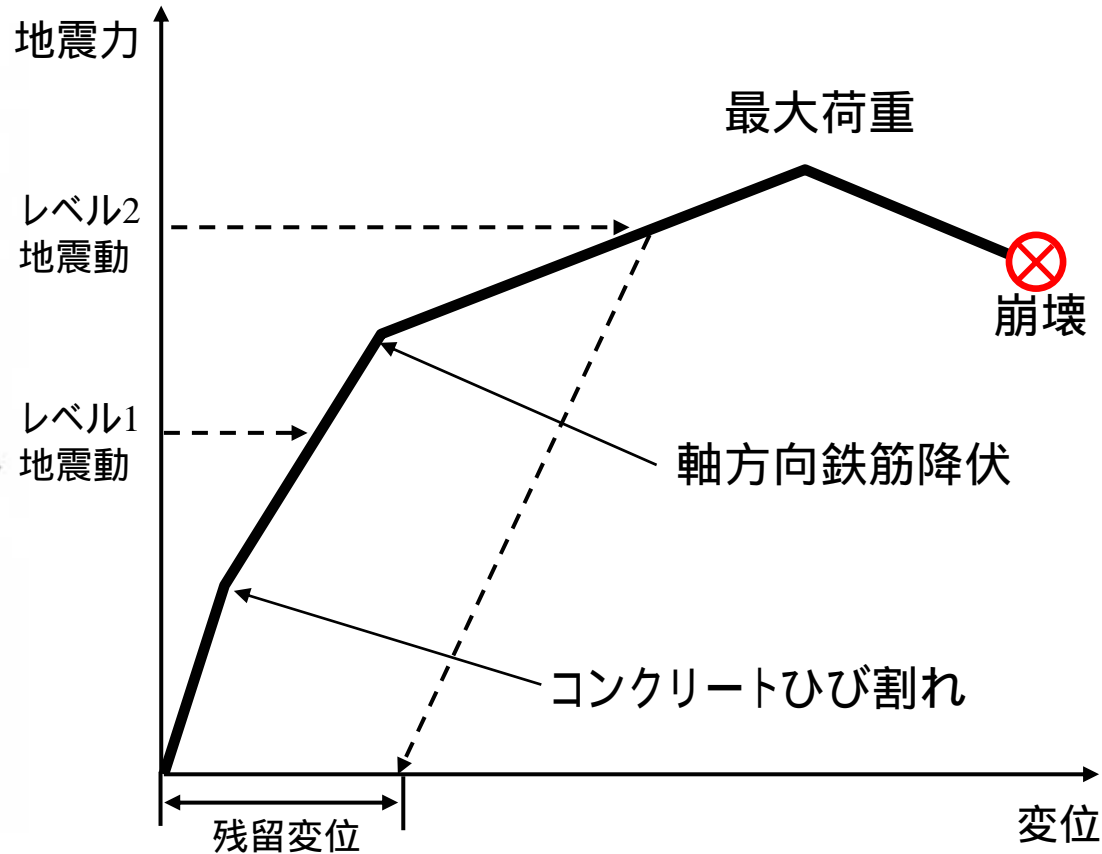
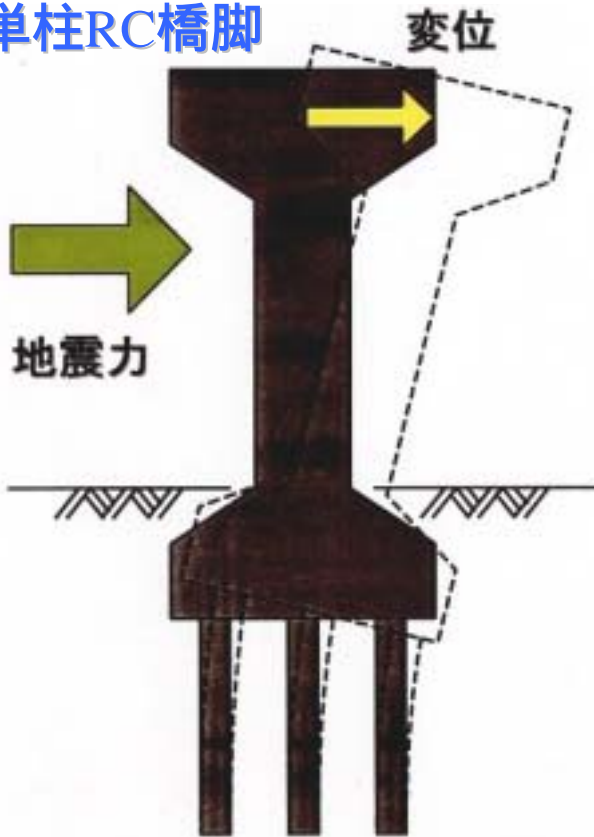
例えば杭基礎を有する単柱式のRC橋脚の地震力と変形の関係は一般的に次頁図のような関係で表せる。橋脚の軸方向鉄筋の降伏や基礎の降伏等により徐々に構造物の剛性が減少し、最大荷重に達した後、崩壊に至ることになる。

ここで、目標耐震性能を例えば、「レベル2地震動に対して1～2週間の修復後、機能が回復する」と設定した場合、この耐震性能が満足されるか、否かは上部構造の損傷度や基礎の損傷度および構造物全体の残留変位等により判定されることになる。

柱や梁などの部材の一つ一つの塑性変形や終局耐力に関してはそれなりの研究的蓄積はなされて来ているが、構造系全体系としての大変形挙動、特に最大荷重付近から崩壊に至るまでの知見は基準改訂時には十分ではなかった。このような状況の中で、土木学会や防災基本計画のいう性能規定型設計を具体化するためには技術的にはそれなりの割り切りが必要となった。

# 構造物の損傷度および残留変位と耐震性能の判定

## 杭基礎単柱RC橋脚



上部構造の損傷度

基礎の損傷度

構造全体の残留変位

“目標とする耐震性能が満足されるか”の判定

**目標耐震性能の例**

レベル1地震動: 修復なしで機能が維持される  
 レベル2地震動: 1~2週間の修復後、機能が回復する

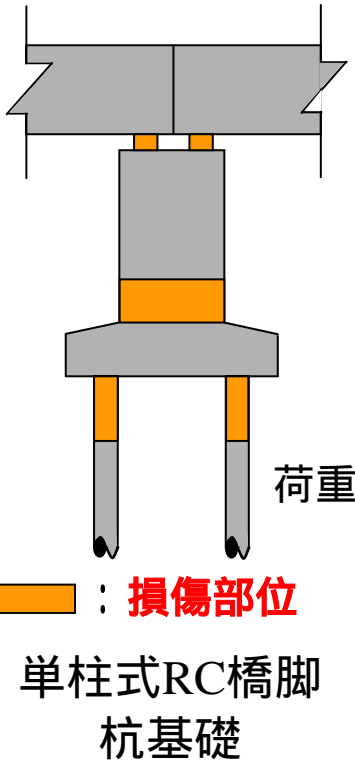
例えば、鉄道構造物の耐震設計標準では、上部構造と基礎構造の損傷度の組合せで、耐震性能を判断することとした。

同じく杭基礎を有する単柱式のRC橋脚を例にとって御説明すると、まず上部構造の損傷度を次頁上図のような4ランクに分ける。杭基礎の方も変位量より3ランクに分け、その組合せで耐震性能を判定することとした。

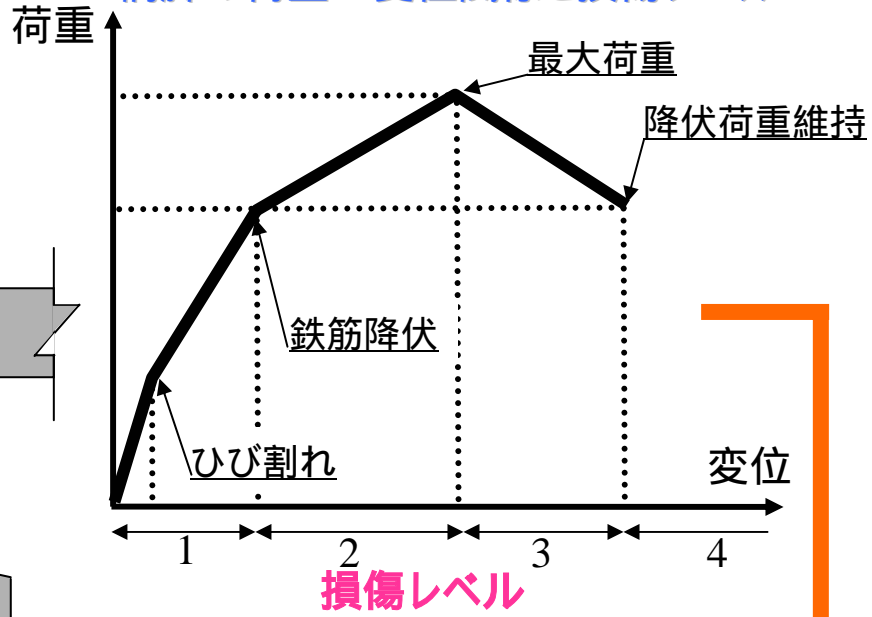
鉄道の標準では構造物全体系の耐震性能としてこのような3つのレベルを考えているが、例えば耐震性能の「地震後に補修を必要とするが、早期に機能が回復出来る」を満足するためには、橋脚の損傷レベルは3以下でかつ基礎の損傷レベルは2以下でなければならないというふうに決定した。

これらの損傷レベルの限界値は、基礎を含む橋脚構造に静的に地震力を加えて行き、上部構造と基礎の損傷度を解析して決定されたものである。上部構造や基礎に損傷が生じた場合、それらが構造系全体の動的応答や上部構造と基礎さらには地盤との動的相互作用に与える影響は考慮されていない。構造物全体系の損傷度、特に最大荷重点付近から崩壊に至るまでの挙動に関して未解決の問題が数多く残されている状況の中で、定めた限界値であり、構造物の破壊過程に関する研究の進展を待ってより合理的な限界値を設定して行く必要がある。

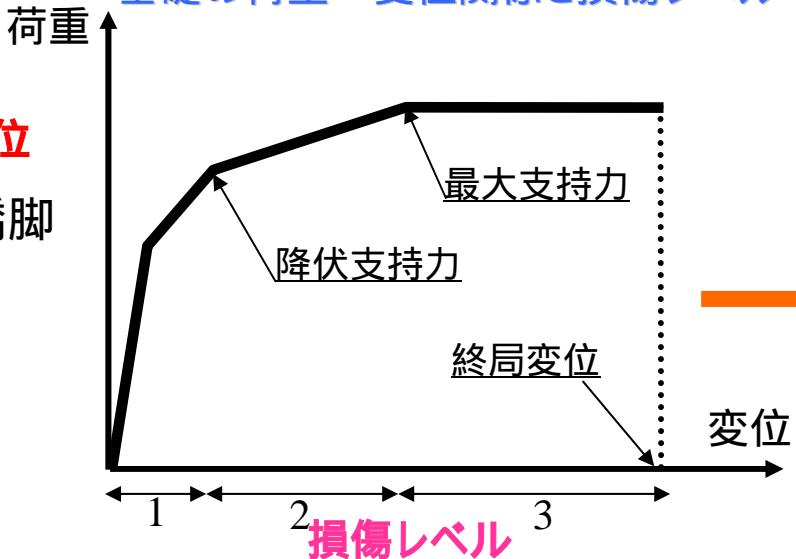
# 構造物各部位の損傷レベルと耐震性能の判定(鉄道標準)



橋脚の荷重～変位関係と損傷レベル



基礎の荷重～変位関係と損傷レベル



## 構造物の耐震性能

- 耐震性能** :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** :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** :地震によって構造物全体系が崩壊しない。

## 耐震性能の判定

構造物部位	耐震性能	耐震性能	耐震性能
橋脚の損傷レベル	1	3	3
基礎の損傷レベル	1	2	3

# 耐震基準等改定のための課題

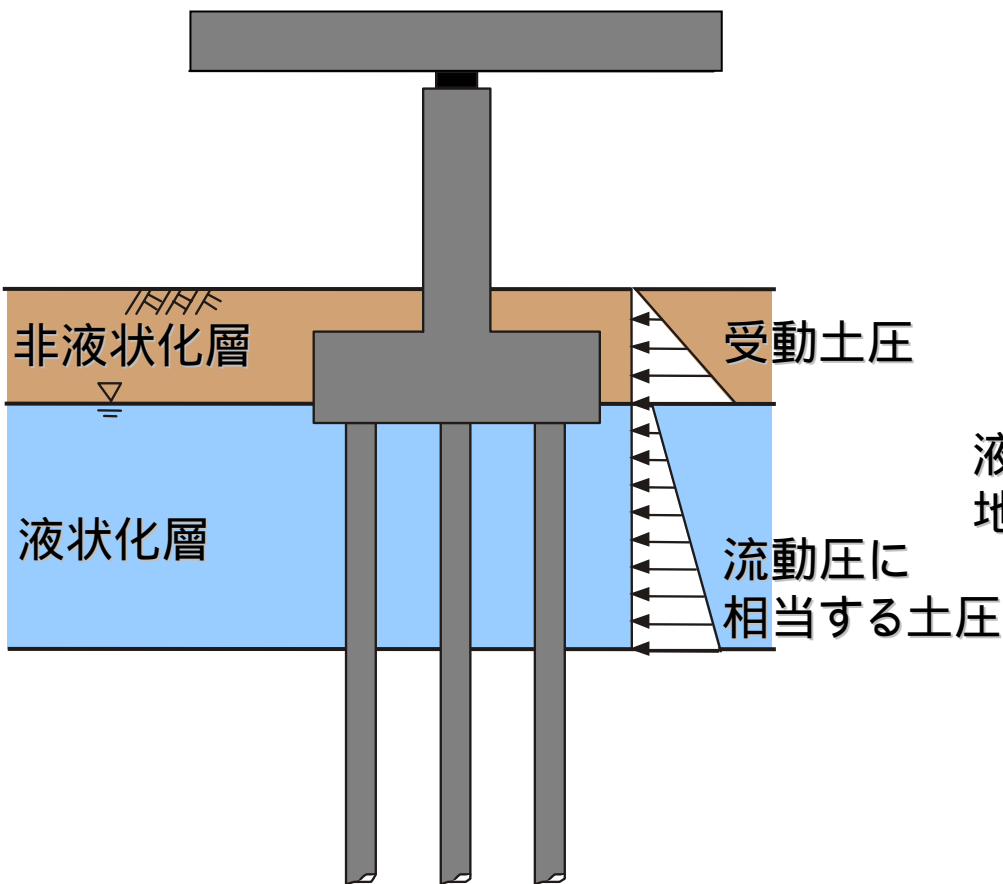
## (3)液状化・側方流動に関する課題

### 強地震動に対する締め固まった砂質土層および礫混り砂の液状化の判定方法 側方流動による地盤変位量の予測および基礎と埋設管等の設計法

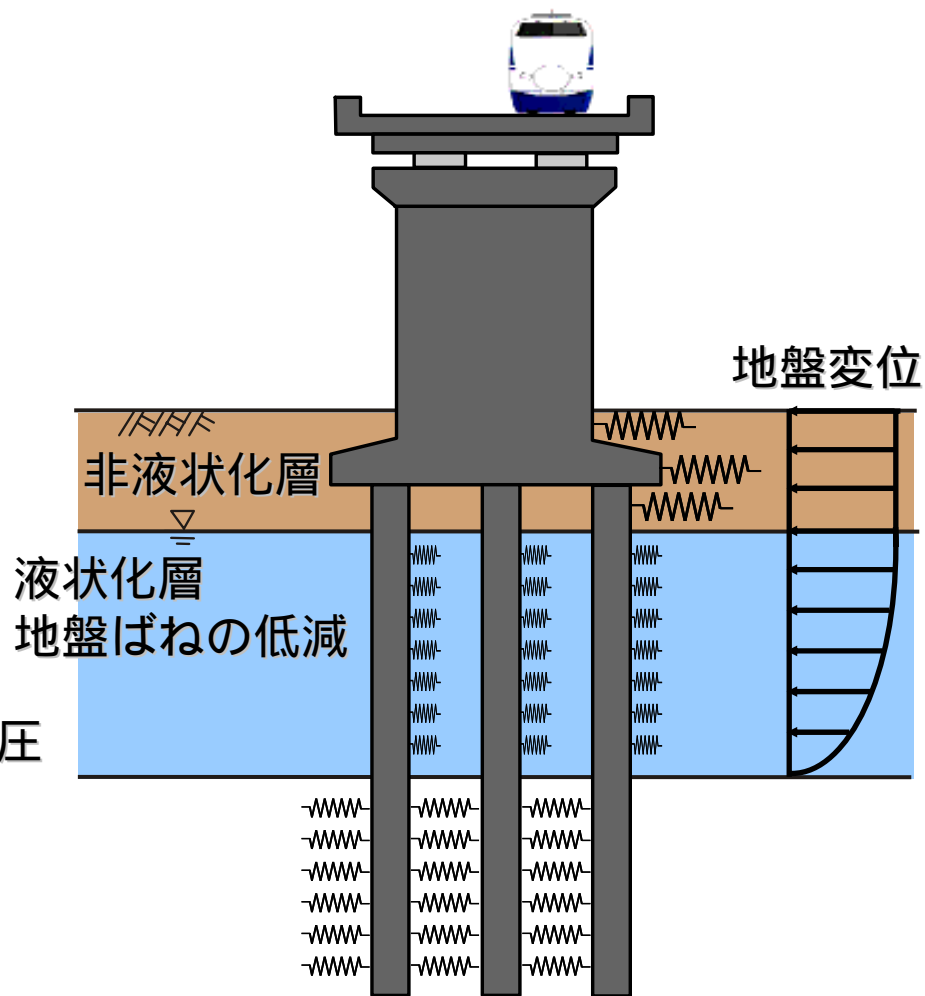
次の課題は液状化・側方流動に関するものである。このうち、側方流動に対する基礎の設計法に関してはこれについても設計基準の改訂時に十分な知見の蓄積と研究者間のコンセンサスが得られていなかったことから、基準や指針によって異なった方法が採られることになってしまった。

液状化地盤から基礎に作用する流動外力であるが、次頁のように、道路橋示方書では流動圧に担当する土圧を作用させて基礎の設計を行うことになっているが、鉄道の耐震設計標準では地盤変位を入力として設計するなど、考え方に統一がとれていないのが現状である。

# 液状化地盤の側方流動に対する基礎の設計法



道路橋示方書・同解説  
耐震設計編



鉄道構造物等耐震  
設計標準・同解説



# 耐震基準等改定のための課題

## (4)土構造物(盛土,擁壁等)に対する性能設計法の適用

### 残留変位の推定方法

土木学会の提言では,盛土や擁壁など,いわゆる土構造物にも性能設計法の考え方をとり入れるということになっている.このため,土構造物の残留変位をどのように精度良くに推定するかが問題となったが,これについても十分な研究成果の蓄積があったわけではない.改訂された基準の中には土構造物の残留変位の推定についていくつかの方法が示されているが,推定精度を上げるためにはなお多くの研究が必要な状態である.

以上述べて来たように,いずれの課題に関しても十分な研究成果にもとづいて耐震基準の改訂を行ったのではなかった.兵庫県南部地震後,毎年の建設事業を執行するためどうしても新たな耐震基準が必要であった.実務の要請に答えるための見切り発車的な改訂であったと言わざるを得ない所がある.

これらの課題が十分に研究され,研究者や実務者間でのコンセンサスが形成された段階で改めて耐震基準を改訂する必要があると考えている.

# 兵庫県南部地震後の研究プロジェクト

以上のような状況もあって、兵庫県南部地震後、以下に示すように旧文部省、文部科学省等がスポンサーとなった比較的規模の大きい地震防災分野の研究プロジェクトがこの約10年間行われて来た。

この中で、3番目のプロジェクト「構造物の破壊過程解明による生活基盤の地震防災性向上に関する研究」は土木学会が研究のとりまとめ機関として平成11年間から5年間に亘り実施したものである。

1. 「都市直下地震による災害防止に関する基礎研究」  
科研費重点領域研究(平成8~11年度, 京都大学)
2. 「日米共同研究による都市地震災害の軽減」  
科研費特定領域研究(平成11~15年度, 京都大学)
3. 「構造物の破壊過程解明による  
生活基盤の地震防災性向上に関する研究」  
科学技術振興調整費  
(平成11~15年度, 土木学会, 防災科学技術研究所, 建築研究所)
4. 「大都市大震災軽減化プロジェクト」  
(平成13年度~, 防災科学技術研究所)
5. 「都市地震工学の展開と体系化」  
21世紀COEプログラム(平成15年度~, 東京工業大学)

# 兵庫県南部地震後の研究プロジェクトにおける主要課題

これらの兵庫県南部地震後、文部科学省などがスポンサーとなった研究プロジェクトでは、次のような研究課題が取り上げられて来た。ハード面からの研究だけでなく、兵庫県南部地震の教訓から6番目に掲げた防災情報、緊急対応、防災投資さらには許容リスクといったソフト面の研究にも力点が置かれた。

1. 地震動の予測手法
2. 液状化・側方流動
3. 構造物・基礎の大変形挙動と破壊過程
4. 先端技術、高性能材料を用いた新構造
5. 構造物の診断法と補強方法
6. 都市地震災害軽減化の方策  
(防災情報、緊急対応、防災投資、許容リスク、都市機能、復旧・復興)

土木学会が研究のとりまとめ機関となった，科学技術振興調整費による総合研究の内容について次頁に紹介する．  
主要な研究課題であるが，1番目は，構造物の大変形挙動と破壊過程の問題で，これは，兵庫県南部地震後の耐震基準の改訂においてもかなりの部分が未解決のまま積み残された課題である．

2番目の課題は，側方流動による地盤変位の推定方法と側方流動に対する基礎構造の耐震設計法の開発である．この問題も，耐震基準の改訂時においては十分な研究成果が無かった課題である．

3番目の課題として挙げたのはレベル2地震動に対しても十分な耐震性を保有するような新しい構造様式の考案と開発である．

最後の4番目のテーマに挙げているのは，現在文部科学省が兵庫県三木市に建設している超大型の震動台，正式名称を実大三次元震動破壊実験施設というがこれを活用した研究の準備，具体的には大型模型の破壊実験における測定手法や震動台制御手法の研究である．

土木学会の技術推進機構の中に研究全体を統括するチームを組織し，研究を行って来た．

# 「構造物の破壊過程解明による生活基盤の地震防災性向上に関する研究」

## 1. 主要研究課題

構造物の大変形挙動と破壊過程の解明  
側方流動による地盤変位の推定方法と基礎の耐震設計法の開発  
高耐震性を有する新しい構造様式の開発  
実大三次元震動破壊実験施設を活用した将来の研究の準備  
(測定法, 震動台制御法など)

## 2. 研究参画機関

全体総括: 土木学会技術推進機構  
参加機関: 防災科学技術研究所, 土木研究所,  
京都大学, 早稲田大学など16機関

## 3. 研究費 約12億5千万円

研究成果のいくつかを紹介する。

次頁は建築研究所が担当した研究だが、兵庫県南部地震ではピロティ形式の建物の1階部分が崩壊したことは良く御存知のことと思う。この研究では「サブストラクチャー仮動的実験手法」という方法を用いてピロティ構造物の破壊過程の解明を行った。破壊実験の対象となる1階とその上の2階の部分だけの模型を作成し、3階から上の部分については数値モデル化した。実験モデルと数値モデルの間で反力と変位をやりとりしながら構造系全体系の動的応答を求め、かつ1階部分の変形状態と破壊過程を詳細に観察するという手法である。

この実験結果をもとに破壊過程までを考慮した数値解析法を開発し、この手法の精度をこのような震動台における大型模型による実験で検証し、最終的にはピロティ構造の耐震設計法と補強方法を開発した。



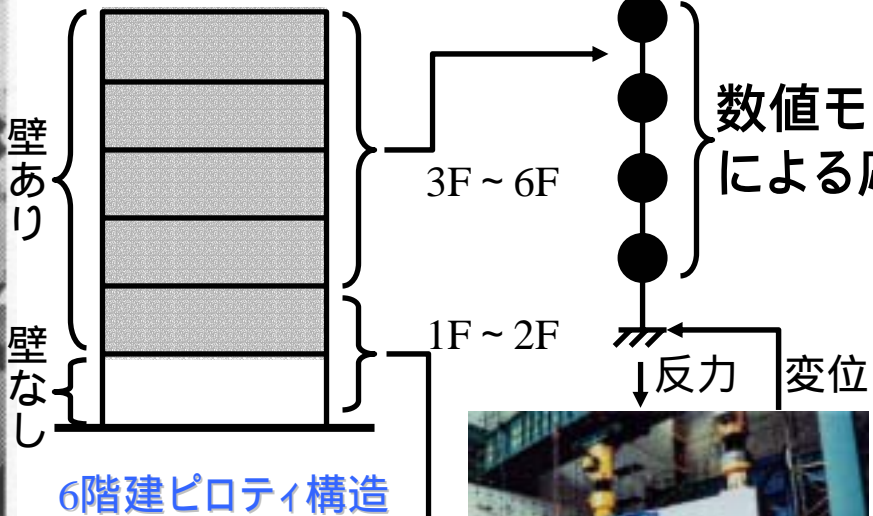
# ピロティ構造建物の破壊過程の解明と耐震設計法の提案 (建築研究所)

兵庫県南部地震による  
ピロティ構造建物の被害



サブストラクチャー仮動的実験  
による破壊過程の解明

破壊までを考慮した  
数値解析法の開発



実験モデル



震動破壊実験による  
数値解析法の検証

耐震設計法および  
補強方法の提案

「高耐震性を有する新しい橋脚構造の開発」ということで土木構造物に関する研究成果の2例を次頁に紹介する。これらの研究の目標は、構造物のじん性を増大し、かつ残留変位を修復可能な範囲を抑えるという点にある。

左図は京都大学の家村教授によって開発されたもので、高強度の鋼製芯材をアンボンド状態で橋脚とワーキングの連結部に配置し、降伏後の2次剛性を増大させかつ、地震後の残留変位を低減しようとする構造である。

右図の方は早稲田大学の依田教授によって提案されているもので、スリット付きの2重管によるコンクリート充填鋼製橋脚である。詳しい説明は省略するが、2重管とすることにより内管の復元力により残留変位を修復可能な範囲に抑えこもうという構造である。

# 高耐震性を有する新しい橋脚構造の開発

主要目標: じん性の増大

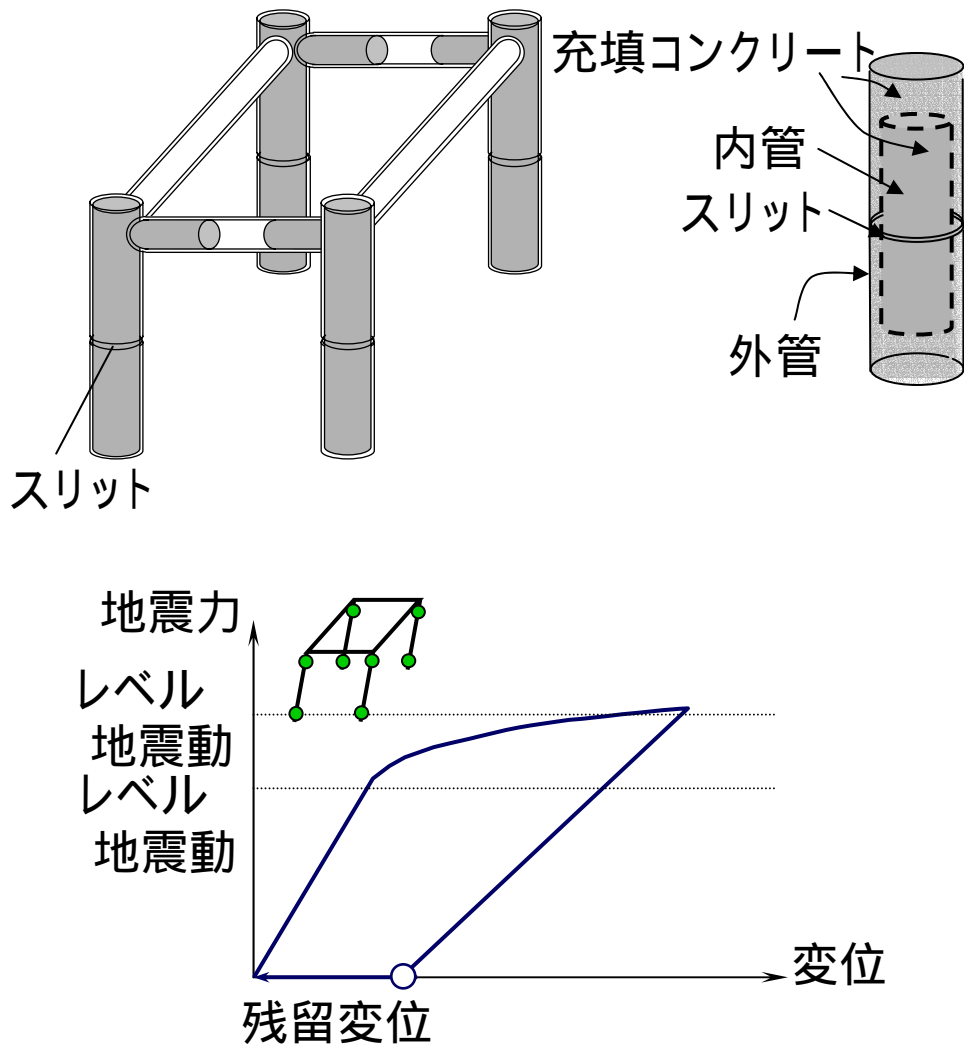
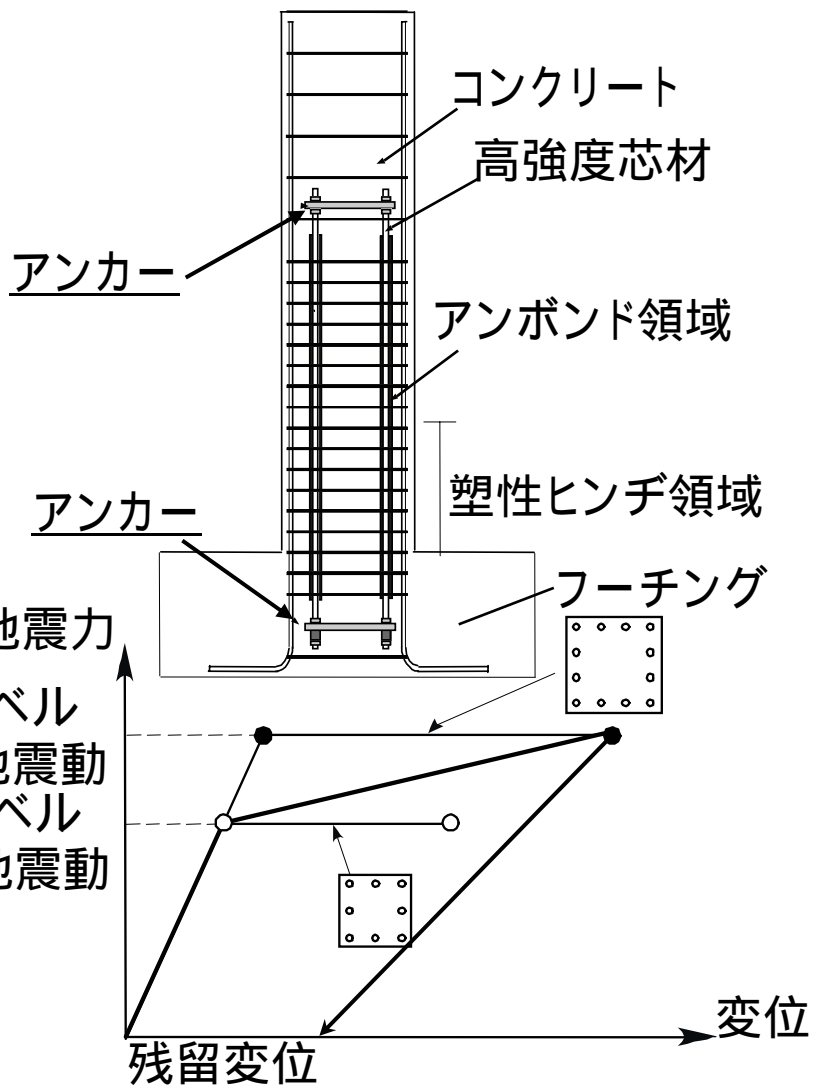
残留変位の低減

高強度アンボンド芯材を有するRC橋脚

(京都大学 家村)

コンクリート充填鋼管橋脚

(早稲田大学 依田)



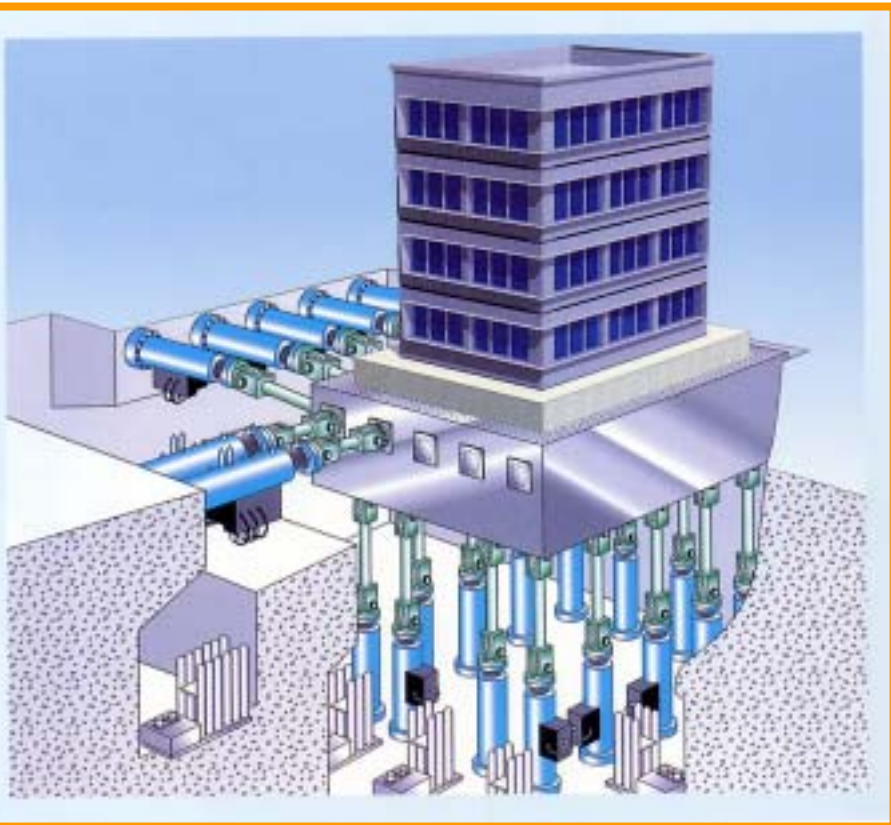
実大三次元震動破壊実験施設を用いた研究の準備では大型破壊実験における測定手法や、大量のデータの処理方法、破壊実験時の震動台の制御方法および模型の製作の方法が検討された。

この超大型震動台の建設は兵庫県南部地震の直後に決定された。構造物の大変形挙動や破壊過程の解明には一つの有力なツールになると私自身も思っている。しかしながら、この施設を有効に運用するためには、多くの課題が残されていることも事実である。

まず、研究費、実験費ということになるが、1回あたり億の単位の費用が必要であろうということである。構造物の破壊実験のために、先ほど紹介した建築研究所のサブストラクチャー法など他の有効な方法もいくつか開発されている。これらの実験手法と適切に組み合わせる研究を実施することが重要かと思う。その意味で、この大震動台の活用・運用にあたっては、現在これを所管している防災科学技術研究所一研究所に留まらず、多くの研究者を巻き込んだ研究体制を整備することが重要だと思う。この点で土木学会や建築学会が果せる役割も大きいものと感じている。

# 実大三次元震動破壊実験施設を用いた研究の準備

## 大型振動台の建設(文部科学省)



### 研究課題

- ・大型破壊実験における測定手法とデータ処理方法
- ・破壊実験時の震動台制御方法
- ・模型の製作、運搬方法等  
(大型地盤基礎実験)

### 課題

- ・多額の研究費(実験費)
- ・他の実験手法との併用の必要性
- ・研究体制組織の整備

震動台搭載最大重量 1200t  
震動台平面寸法 20m × 15m

# 兵庫県南部地震後の土木構造物の耐震補強

兵庫県南部地震後，既存土木構造物の耐震補強も土木技術者の重要な役割であった。

土木学会はその第2次提言において，耐震補強の基本方針として次のように提言した。

## 耐震補強の基本方針(土木学会第2次提言、平成8年1月)

- (1) 既存土木構造物の耐震補強においては、新設構造物と同様、レベル1地震動およびレベル2地震動の二種類を考慮する。
- (2) 耐震補強において目標とする耐震性能は新設構造物と同等とすることを原則とする。

兵庫県南部地震後，高速道路の橋脚，鉄道高架橋や地下鉄のコンクリート柱を中心に補強が行われて来ており，この他アースダム，盛土，河川堤防の補強も順次行われて来ている。

## 補強対象構造物(平成7年度～)

・ 東名、名神等の高速道路(JH)	7,000	橋脚
・ 首都高速道路	7,200	橋脚
・ JR東日本 高架橋コンクリート柱	9,000	本
・ JR東海 高架橋コンクリート柱	9,000	本
・ その他:アースダム、盛土、河川堤防		



アースダムの補強の事例として村山下貯水池および山口貯水池を紹介する。

村山下貯水池および山口貯水池はそれぞれ昭和2年と9年に完成しており、それ以後東京都の重要な水源としての役割を果たして来た。建設当時は貯水池の周囲は山林でほとんど住宅もなかったと聞いているが、その後周辺が除々に開発され、現在は次頁の写真のような状況になっている。特にダムの下流域は住宅地として開発され、家屋や公共施設が数多く建設されている。

これらのダムの西方約4kmへの位置にマグニチュード7.3の立川断層が存在している。東京都はレベル2地震動に対しても人命に重大な影響を与えるような災害は防止する。これは土木学会の提言の基本精神でもあるが、この観点から二つのダムの耐震補強を決定し、既に山口貯水池のアースダムについては補強工事を完了している。

# 東京都水道局 山口貯水池・村山下貯水池



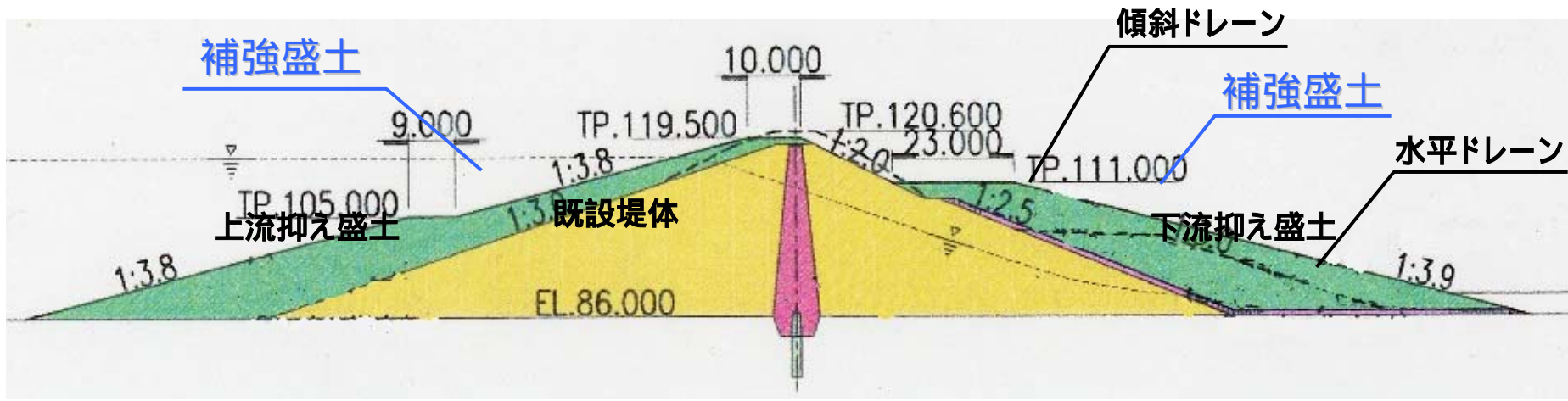
村山下貯水池

山口貯水池



# 抑え盛土による耐震補強(東京都水道局山口貯水池)

補強方法については多くの方法が検討されたが、最終的には上下流斜面に補強盛土を行ってすべり安全率を増大させることにより、レベル2地震動に対する安全性を確保したということである。



以上、兵庫県南部地震の被害と教訓、土木学会の提言、耐震基準の改訂、研究開発および耐震補強について述べて来たが、9年以上経った現在でも次頁に示すような多くの課題が未解決のまま残されている。耐震設計法に関連しては、依然として、構造物の大変形挙動から破壊過程の解明が残されている。

また、液状化や側方流動に対する基礎の設計法も未だ不十分な状況で、このテーマに関する一層の研究が必要である。

耐震補強についても多くの課題が残されている。高速道路や鉄道などの橋脚の耐震補強は確かに進んだが、家屋や建物の補強はほとんどと言ってよいほど進んでいない。家屋や建物が個人財産で公的資金が直接投入出来ないということが最大のネックになっているが、これについては制度面での検討を含めて対処しなければ、補強はこれからも進まないであろうと思われる。

臨海埋立地にある産業施設、特に危険物、高圧ガス施設の耐震補強も十分ではない。このことについては後ほどふれたいと思う。

さらに、兵庫県南部地震で液状化地域で多くの基礎杭が破損したことから液状化地盤における基礎の補強も重要な課題と考えられる。

# 兵庫県南部地震が提起した課題で 何が未解決のまま残されているか？

## 構造物の耐震設計法

- (1) 構造物の塑性大変形挙動から破壊に至る過程の解明
- (2) 液状化と側方流動に対する基礎の設計法

## 構造物の耐震補強

- (1) 家屋, 建物の耐震補強
- (2) 埋立地の産業施設の補強(老朽護岸, 危険物, 高圧ガス施設)
- (3) 液状化地盤における基礎の補強

耐震設計や耐震補強に関して前記のような課題を現在でも我々はかかえているが、それらに加えて兵庫県南部地震後の約10年間に発生した国内外の地震により新たな課題が提起された。

その一つが地表地震断層による土木構造物の被害である。

1999年にトルコと台湾で相次いで地震が発生した。台湾集々地震ではダムの基礎岩盤や橋梁の基礎地盤に地表地震断層が出現して、次頁写真のような被害が発生した。

また、トルココジャエリ地震でも断層変位によって高速道路の跨道橋が落下するという被害が発生している。

我国でこのような地表断層による被害が発生する可能性はあるのかということだが、我国でも46頁示すように地表に断層変位が表れた例はかなりある。約120年間に12回だから10年に1回という割合になる。しかしながら、土木構造物に致命的な被害を与えたという事例は幸いなことに現在まで報告されていない。ただ1930年の北伊豆地震において、丹那断層が動き、丁度掘削中であつた丹那トンネルを切断したという例がある。また、1978年の伊豆大島近海地震では伊豆急稲取トンネルに断層が交叉し、覆工が被害を受けたが、比較的軽微なものであつた。



# 兵庫県南部地震後に新たに提起された課題

## 地表地震断層による構造物の被害

基礎岩盤に出現した地表地震断層によるダム破壊



1999年台湾集々地震

基礎地盤に出現した地表地震断層による橋梁の破壊



1999年台湾集々地震

断層変位によって落下した高速道路の跨道橋



1999年トルコ・コジャエリ地震



# 我国の既往地震により出現した地震断層の例

1) 1881年	濃尾地震	根尾谷断層	V 4.0 m , H 6.0 m
2) 1896年	陸羽地震	千屋断層	V 3.5 m ,
3) 1923年	関東地震	延命寺断層	V 1.9 m , H 1.2 m
4) 1925年	但馬地震	田結断層	V 1.0 m ,
5) 1927年	北丹後地震	後村断層	V 0.5 m , H 3.0 m
6) 1930年	北伊豆地震	丹那断層	V 1.8 m , H 3.5 m
7) 1938年	屈斜路地震	屈斜路断層	V 0.9 m , H 2.6 m
8) 1943年	鳥取地震	鹿野断層	V 0.5 m , H 1.5 m
9) 1945年	三河地震	深溝断層	V 2.0 m , H 1.3 m
10) 1948年	福井地震	福井地震断層	V 0.7 m , H 2.0 m
11) 1978年	伊豆大島近海地震	稻取-大峰山断層	V 0.36 m , H 1.15 m
12) 1995年	兵庫県南部地震	野島断層	V 1.6 m , H 1.8 m

# 地震調査推進本部による調査観測の対象活断層 (98断層帯)

それでは将来にわたっても地表地震断層が土木構造物などに被害が及ぼす可能性がないのかというとは断定出来ない。

これは政府の地震調査推進本部が調査観測の対象としている98の断層帯である。我国には2000を超える活断層があるとされているが、その中で将来活動の可能性の高い断層を選び出して調査している..

このようにして見ると、高速道路、鉄道およびライフラインなどは当然これらの断層に交叉して建設されている場合があるわけで、地表に表れた断層によって被害を受ける可能性も十分にあると考えられる。



地表地震断層に対する構造物の耐震性の問題に関しては次頁に示す二つの研究課題がある。

一つは地表地震断層の出現位置と変状量の予測技術の開発である。断層がどこに表れるかといったことに関しては、今までは専ら理学分野からの研究が行われて来たが、岩盤力学とか破壊力学とかいった工学的手法を活用して予測精度を上げることは可能だろうと考える。

2番目の研究課題は断層変位に対する構造物の耐震性向上の方策および社会基盤全体としての防災性向上の方策の問題である。

断層変位に対抗し得るような構造形式、埋設管路などでは二重管にするなどそれなりの方策はありうると思うが、一般の構造物ではなかなか難しい問題である。

しかしながら、人命に対する影響の少ない破壊様式あるいは復旧・復興が容易な構造様式を追究することは可能だろうと思う。

また、ライフラインシステムなどでは代替性等を確保することも重要なポイントだと考えられる。

# 地表地震断層に対する社会基盤の防災性向上に関する研究

## 研究課題

### 1) 出現位置と地表変状量の予測技術

- ・ 理学分野における既存の研究成果と工学的手法(岩盤力学、破壊力学)の活用の可能性

### 2) 断層変位に対する建造物の耐震性向上と社会基盤の防災性向上の方策

- ・ 断層変位に対抗し得る構造形式
- ・ 人命・生存に対する影響の少ない破壊様式
- ・ 復旧・復興が容易な構造様式
- ・ ライフラインシステムの代替性等の確保

次の課題は最近になって再び提起された問題というべきものであるが、長周期地震動に対する建造物の耐震性の問題である。御承知のように、昨年の上勝沖地震では長周期地震動が苫小牧市のタンクの内容液のスロッシング振動を引き起こし、2基のタンクが炎上するという被害が発生した。

長周期地震動によるタンク内容液のスロッシングによる火災は40年前の新潟地震の時にも既に発生しており、この時は内容物が燃え尽きるまで約2週間火災が続いた。国外でも同じようなことがしばしば起きている。1999年のトルココジャエリ地震においてもスロッシングが原因で6基のタンクが炎上、破壊された。

このように長周期地震動に対するタンクのスロッシングの危険性についてはかなり前から我々は認識して来たが、精度の高い長周期地震動の予測が難しいこともあって十分な対策が講じられて来なかった問題である。

# 兵庫県南部地震後に再び提起された課題

## 長周期地震動に対する構造物の耐震性



2003年十勝沖地震

2基炎上(苫小牧市)



約2週間炎上

1964年新潟地震



6基炎上

1999年トルコ・コジャエリ地震

1999. 2. 13

以上、兵庫県南部地震後に行われて来た対策や研究およびその後の地震によって提起された課題について述べて来たが、このような状況を受けて東海地震など巨大地震への対応をどのようにするか？土木学会はどのような活動を展開しようとしているのかについてお話しする。

次頁の図は、中央防災会議の専門調査会より発表された東海地震と東南海地震および南海地震の予想震源域である。

東南海地震、南海地震は過去の例だと同時に発生する場合とある時間差をおいて発生する場合があるとされているが、双方を合わせるとこのように震源域が東海沖から四国沖までの約600kmにも亘っている。また、東海地震と東南海地震が同時に発生する可能性もあると指摘されている。



# 東海地震, 東南海・南海地震の予想震源域 (中央防災会議専門調査会)

東南海地震の予想震源域

(M8.1)

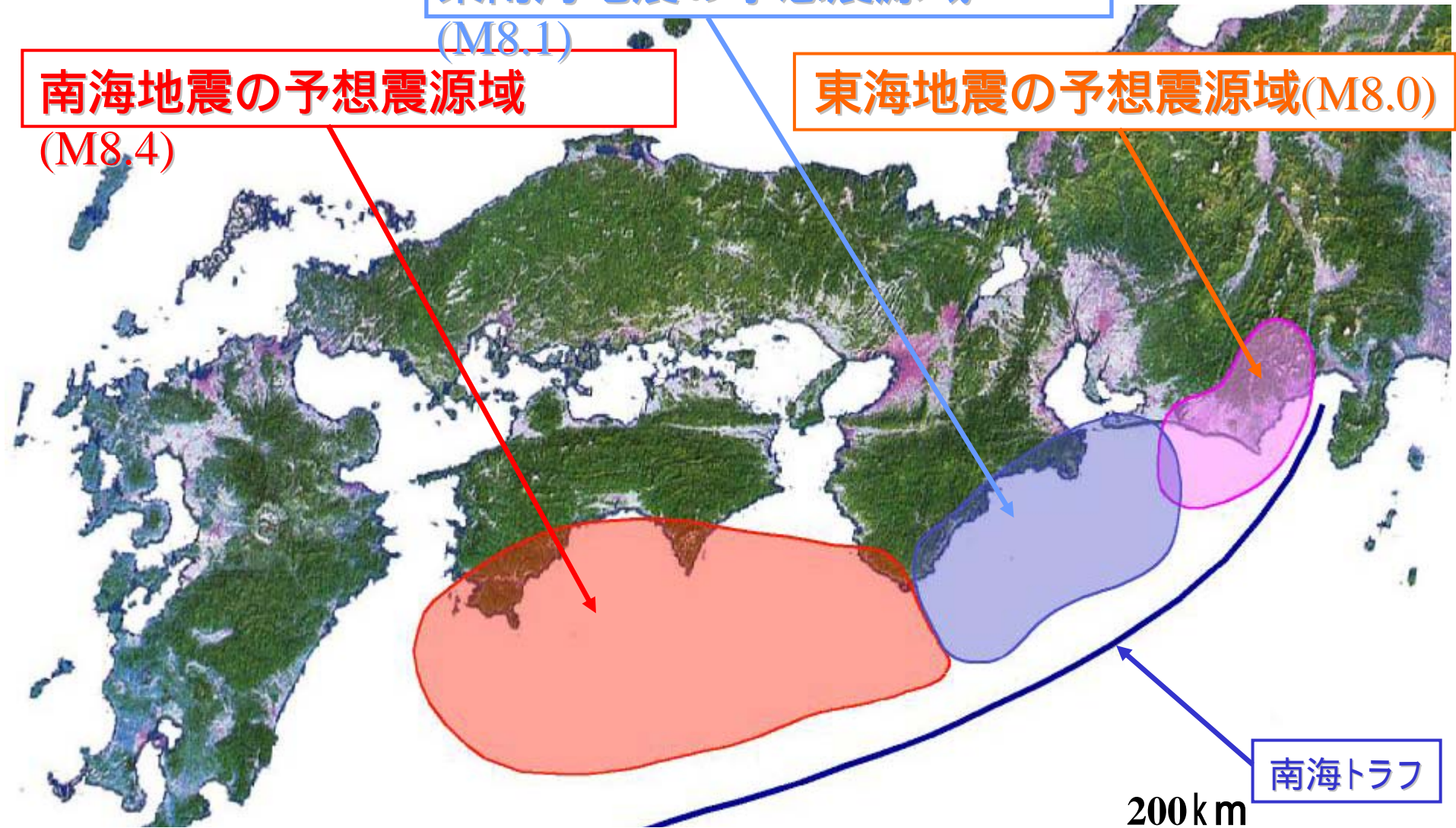
南海地震の予想震源域

(M8.4)

東海地震の予想震源域(M8.0)

南海トラフ

200 km



東海地震および東南海・南海地震に関しては、中央防災会議の専門調査会により被害の推定が行われている。

それによれば建物の全壊棟数は東海地震で22万棟から26万棟で兵庫県南部地震の約12万棟の約2倍となっている。東南海地震と南海地震が同時に発生した場合、全壊棟数は33万から36万棟で、兵庫県南部地震の約3倍ということになっている。

死者の予測数は、東南海・南海地震の場合は、津波による死者が最大で8600名と推定されており、全体では1万2千人から1万8千人でこれも兵庫県南部地震の約3倍となる。

構造物の被害、直接被害額であるが、東海地震で約22兆円、兵庫県南部地震の10兆円の2倍、東南海・南海地震では43兆円とこの場合は約4倍ということになっている。

これらの被害の推定精度には色々と問題はあるが、東海地震や東南海地震では兵庫県南部地震の被害の2倍から3倍程度の被害が、場合によっては数倍の被害が発生する可能性があるということを覚悟しなければならないと思う。

# 中央防災会議専門調査会による被害の推定

		東海地震 (警戒宣言なし朝5時)	東南海・南海地震 (朝5時)	兵庫県南部地震
建物全壊棟数	揺れ	17万棟	17万棟	11万棟
	液状化・崖崩れ	3万8千棟	10万棟	46棟
	津波	7千棟	4万棟	0棟
	火災	1万～5万棟	1～4万棟	7千棟
	合計	約 22万～26万棟	33万～36万棟	11万7千棟
死者数	建物の全壊	6,700	6,600	4915人
	津波	400～1,400人	3,300～8,600人	0人
	火災	200～600人	100～500人	550人
	崖崩れ	約 700人	2,100	37人
	合計	7,900～9,200人	12,000～18,000人	5520人
経済的被害	直接被害	約 22兆円	約 43兆円	約 10兆円
	間接被害	約 9兆円	14兆円	
	合計	約 31兆円	57兆円	

巨大海溝地震を想定した場合新たにどのような課題が発生するのかを考えて見たいと思う..

まず、東海地震を考えるとM=8クラスの震源近傍域の地震動の問題が出て来る。東海地震の震源域の直上に静岡市などの都市圏が存在する。プレート境界地震であると同時に都市直下型地震でもある。先ほど申し上げたように、兵庫県南部地震後、耐震設計や耐震補強のためにレベル2地震の中にマグニチュード7クラスの震源域の地震動は考えたが、マグニチュード8についてはやや離れた位置、鉄道の場合だと30kmから40kmの震央距離を想定している。従って地域によってはレベル2地震動の見直しが必要になる場合が想定されるし、想定された地震動によっては兵庫県南部地震後行って来た耐震補強の見直しがあるいは必要になるかも知れないということである。

次の課題は、マグニチュードが大きくなることによる地震動の継続時間の増大という問題である。これによって構造物の損傷度が増大する。液状化の度合や側方流動の増加が予想される。さらに地震動の継続時間の増大によって危険物貯槽や高圧ガス貯槽の倒壊の危険性も増すことになる。

3番目の問題は前述した長周期地震動の問題である。タンクのスロッシングの他にも、長周期の固有周期をもった構造物、例えば超高層建物や長大橋梁への影響が懸念される所である。

最後に津波を挙げている。津波に対する対策も極めて重要な課題であるが、構造物の耐震性という観点から考えて見ると、最初に地震動により護岸や堤防が破壊され、その後に津波が来襲するという事態が十分に考えられる。前回の釧路沖地震では、液状化により津波防潮堤が変形し、水門が閉鎖できなかったという事態も起っている。

# 巨大海溝型地震が提起する新たな課題

1. M8クラスの地震震源近傍域での地震動
  - ・レベル2地震動の見直し 耐震補強の見直し
2. 地震動継続時間の増大
  - ・構造物の損傷度の増大
  - ・液状化の度合の増大, 側方流動量の増加
  - ・危険物貯槽, 高圧ガス貯槽の傾斜・倒壊
3. 長周期地震動
  - ・危険物貯槽内溶液のスロッシング
  - ・長周期構造物(超高層建物, 長大橋梁, 免震構造物)の耐震性
4. 津波
  - ・護岸, 堤防被害後の津波の来襲





これは、東京湾の京葉臨海コンビナートの航空写真である。東京湾にはこの他に京浜地区および横浜根岸地区に大規模な臨海コンビナートが建設されている。東京湾の臨海埋立地には苫小牧で火災を発生した浮屋根式貯槽が600基余り存在するとされている。

京葉臨海コンビナート

## 東京湾沿岸コンビナート地区浮き屋根式貯槽（総計616基）

直 径	京浜地区	京葉地区	根岸地区
～ 24m	98	74	31
24m ～ 34m	69	57	10
34m ～ 50m	46	55	17
60m ～	39	102	18
<b>合 計</b>	<b>252</b>	<b>288</b>	<b>76</b>

そこで、東海地震や東南海地震を想定した場合、これらの貯槽のスロッシングによる液面上昇高がどのようになるかを推定して見た。

長周期地震動の予測手法については研究者の間でまだまだ議論のある所であるが、ここでは次頁に書いてある解析手法と条件で長周期地震動を算定した。

東海地震と東南海地震が同時発生するとし、関東平野の深い地盤構造を3次元のFEMでモデル化して、海洋科学技術センターの地球シミュレータを用いて地震動を算定している。実際の解析は東京大学地震研究所の古村助教授にお願いした。右下グラフがそれぞれの地区の地震動の速度応答スペクトルで、京葉地区では約10秒の周期が京浜地区では約6秒の周期が卓越している。京葉地区の方が卓越周期が若干長くなっているが、これは京葉地区の地盤構造が京浜地区より深くなっているためである。



# 想定長周期地震動に対する液面上昇高の試算

## 解析方法と条件

東南海地震, 東海地震同時発生 (M=8.2)

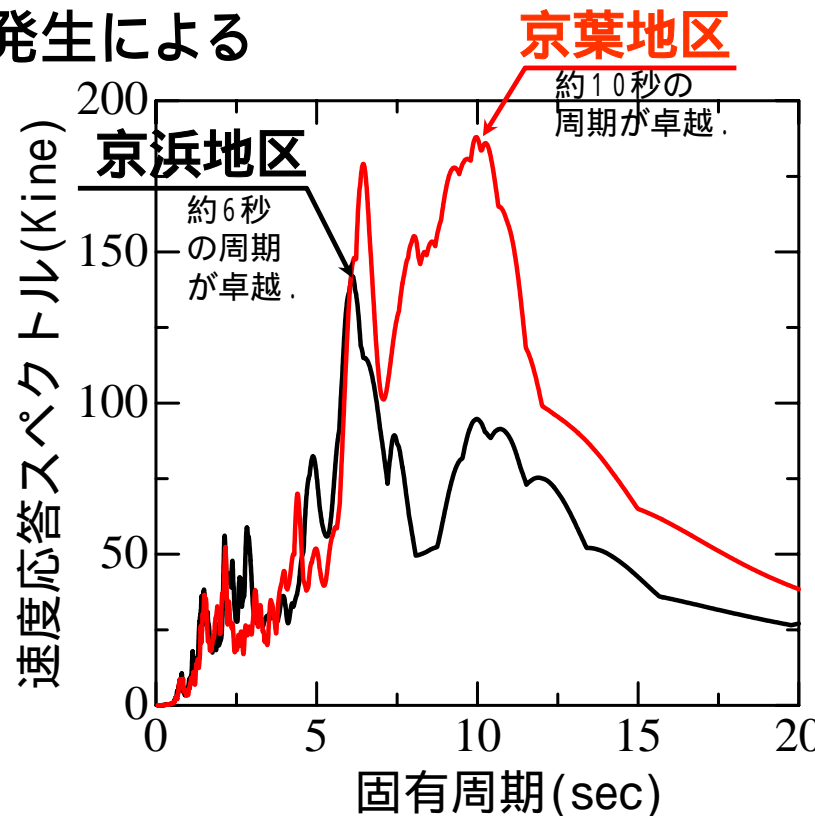
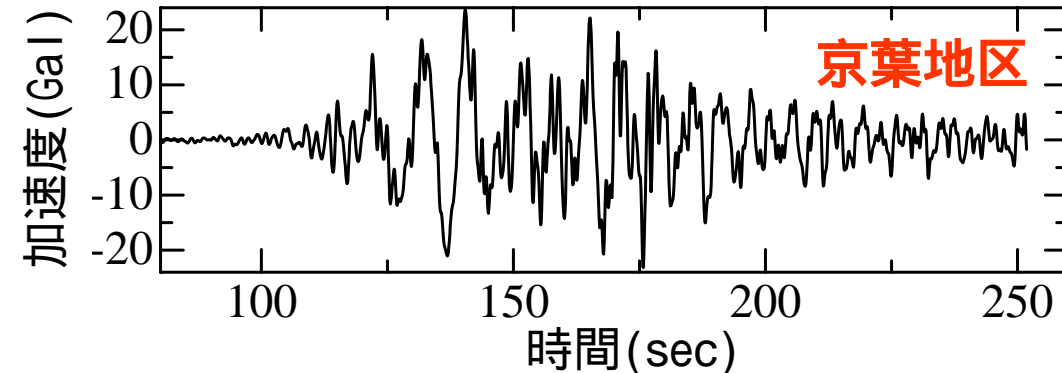
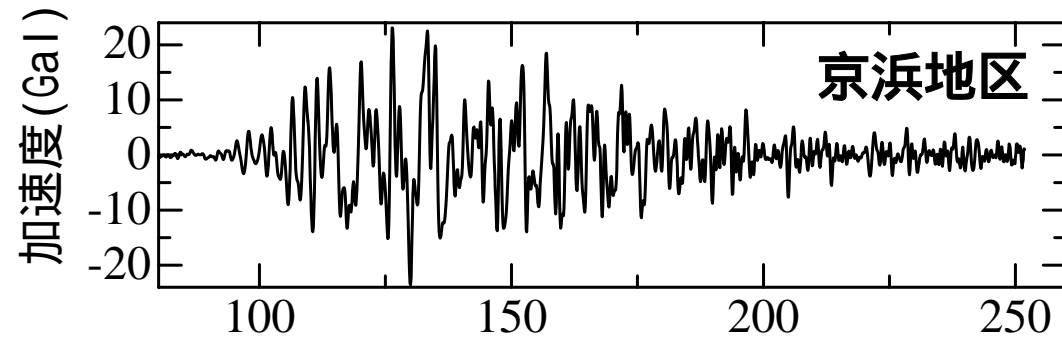
震源モデル: 東南海地震 菊池による,

東海地震 中央防災会議による

関東平野の深い地盤構造: 基盤岩 ( $D_s=3\text{km/s}$ )より

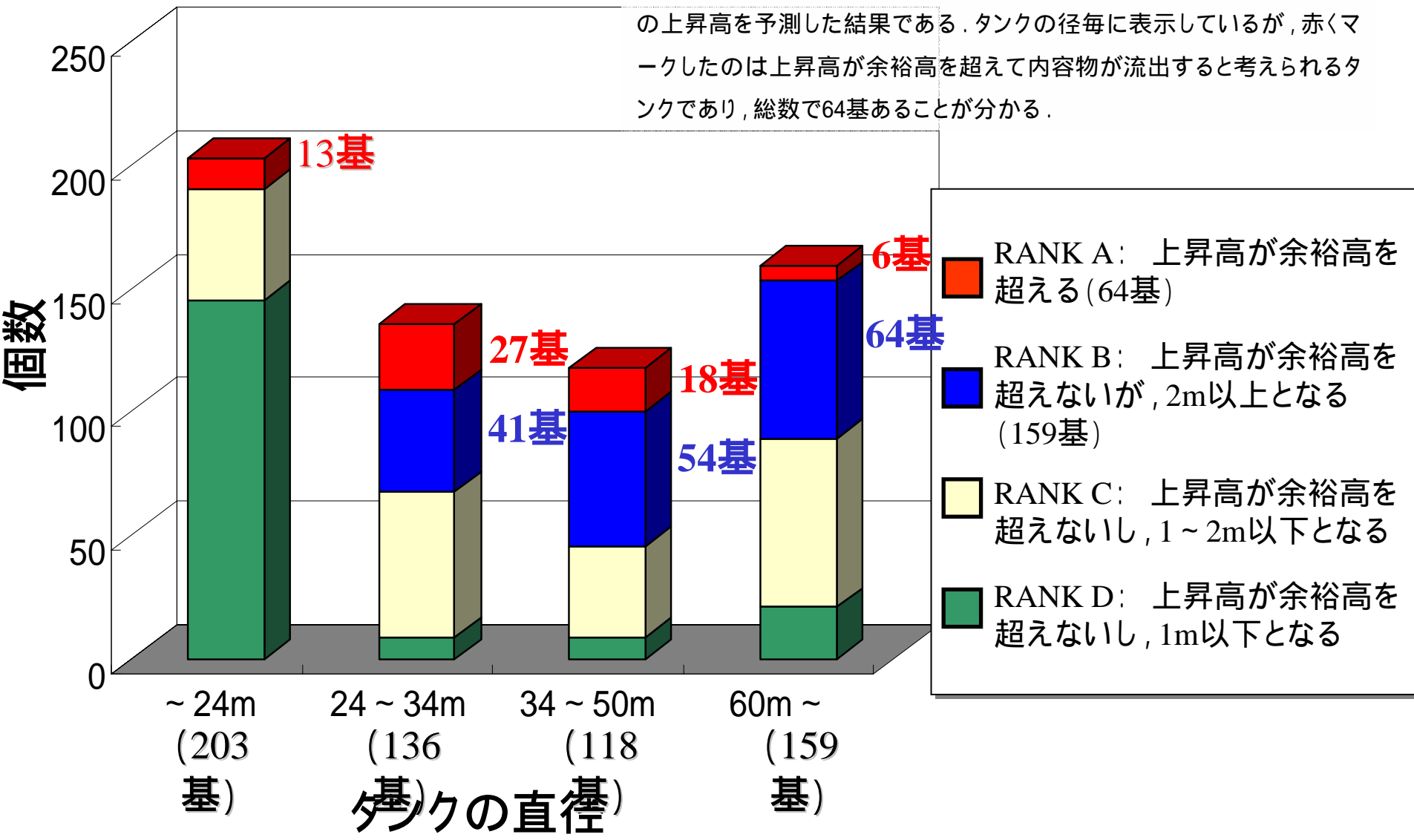
上を3次元にモデル化 (東京大学古村助教授, 地球シミュレータ)

地震発生時の液深の推定: 乱数発生による



# 東京湾コンビナート浮屋根式貯槽(総数616基)の液面上昇高の試算

これは、前頁の地震波形を用いて推定された浮屋根式タンクの液面上昇高を予測した結果である。タンクの径毎に表示しているが、赤くマークしたのは上昇高が余裕高を超えて内容物が流出すると考えられるタンクであり、総数で64基あることが分かる。



- RANK A: 上昇高が余裕高を超える (64基)
- RANK B: 上昇高が余裕高を超えないが、2m以上となる (159基)
- RANK C: 上昇高が余裕高を超えないし、1~2m以下となる
- RANK D: 上昇高が余裕高を超えないし、1m以下となる

# 液状化側方流動に対する臨海コンビナートの耐震性

臨海コンビナートの耐震性に関して、もう一つ危惧されているのは液状化および側方流動に対する安全性である。

川崎市の3つの埋立地、浮島、千鳥および水江地区について南関東地震を想定して液状化および側方流動の予測を行った。この地区は国の基幹的広域防災拠点の建設予定地点に近接しており、首都圏の地震防災対策上も極めて重要な地域となっている。



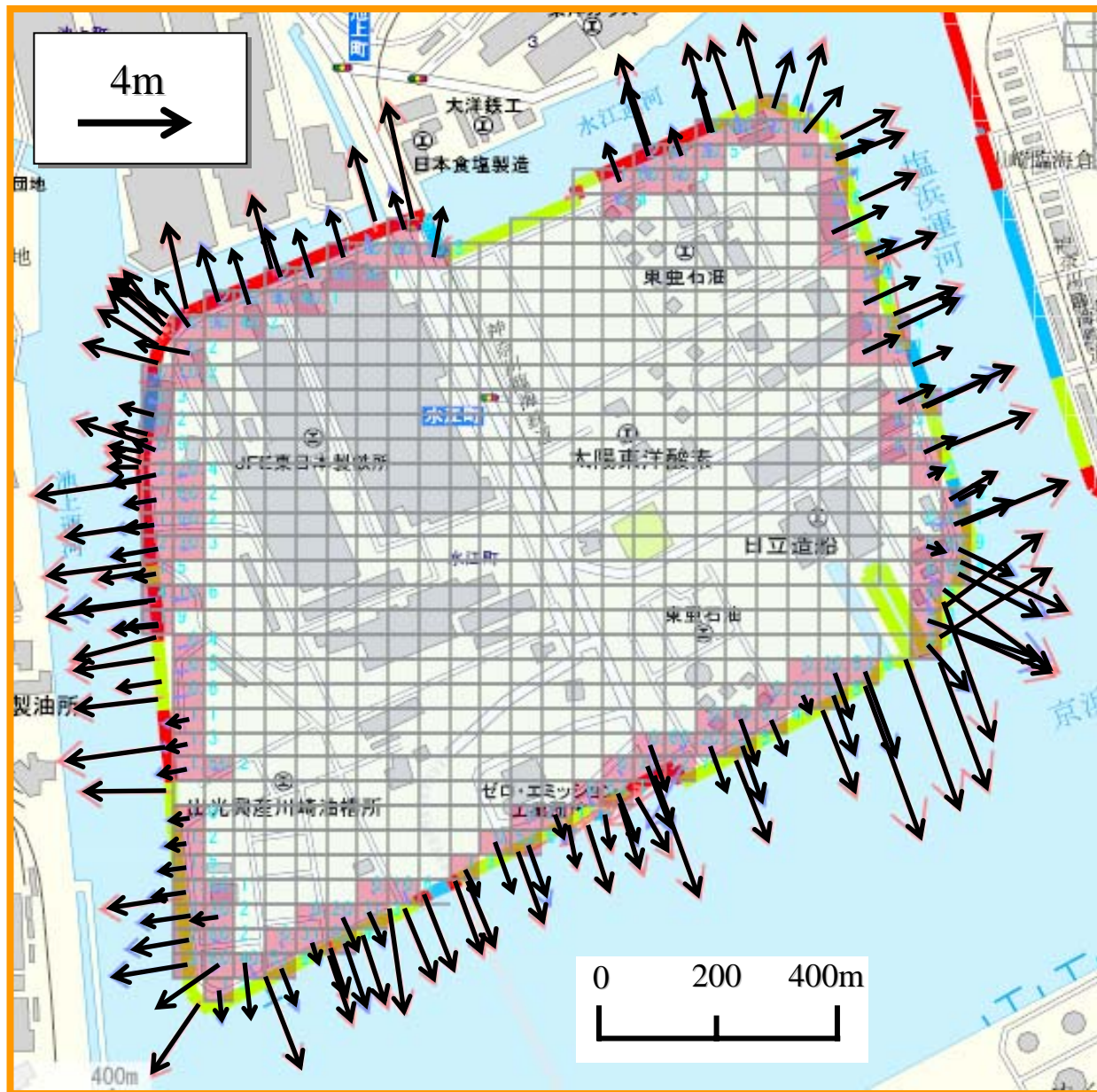
予測手法の詳細は省略して、結果のみを御紹介する。

次頁は、水江地区の側方流動の予測結果である。この埋立地は昭和初期から30年代まで造成されたもので、護岸が老朽化していること、液状化対策が全く施されていないということから、全島の護岸が5mから7m海方向に移動し、その背後地盤も側方流動を起こすという結果になった。

埋立地には現在でも多くの危険物施設が建設されていることから、早急に護岸の補強等の対策を講ずる必要があると考えられるが、早近の経済状態を考えると、事業者のみの負担でこれを実施するというのは難しいと思われる。住宅の補強と同じ問題であるが、何らかの公的資金を投入する制度の整備が必要ではないかと考える。

川崎市の統計によれば、川崎市が産出している揮発油にかかる国税の総額は年間で4000億に達しているとのことである。道路関係の方からはお叱りを受けるかもしれないが一部でも道路特定財源の枠をはずし、これらの埋立地の耐震化に使えるような制度を作れないものかと考える次第である。

# 護岸および地盤の水平変位(川崎市水江地区)





以上述べた東海地震など将来の巨大地震による災害の軽減に向けて、土木学会も専門家の集団として、積極的に社会的役割を果たすべきだということから、昨年11月に「巨大地震災害への対応特別委員会」が組織された。次頁に掲げた7つの課題について約2年間で調査・検討を行い、結果を提言としてまとめて社会に公表して行く予定である。

(1)番目の地震動の予測では長周期地震動およびマグニチュード8クラスの地震動の予測を行い、これを耐震設計や耐震補強のための標準地震動として公表して行くことを目標としている。

(2)番目の課題は耐震診断と耐震補強の問題で、基礎構造の補強方法や、M=8クラスの震源域の地震動に対する補強などが主要のテーマになる。

(3)番目は、「大都市圏の地震防災性向上の方策の提言」であるが、東海地震では名古屋市が対策強化地域に、また東南海・南海地震では大阪府や京都府などが防災対策推進地域に指定されたことから、大都市圏の地震防災の在り方について土木学会としての提案をまとめたいと考えている。

(4)番目として自治体および民間事業者との連携を挙げているが、実際に自治体などで地震防災の実務に関わる方々から地震防災対策立案のための要望を聞き、これを学会の活動に反映されて行こうとするもので、静岡県や愛知県の防災担当者との懇談会などを開催して来ている。

(5)番目は、先ほど申し上げた三木市の震動台の問題も含めて、土木学会として、地震防災分野の国全体としての研究の在り方、組織、研究費の配分等について従来よりも積極的に発言して行こうとするものである。

(6)番目は災害情報の共有化に関するものであるが、海溝型の巨大地震になると、災害が広域に広がる。各省庁、自治体あるいは民間企業でこの問題について検討がなされて来ているが、なかなか全体として統一された情報システムの構築には至らないというのが現状だと思う。土木学会が各省庁、自治体などの間に立って、災害情報を真に共有化出来るシステムの在り方について提言をすることを目指している。

最後に、委員会のテーマとして掲げたのは地震防災教育であるが、ここでは一般市民向けの防災教育のための教材作りや講習会などを行う予定である。幼稚園や保育園の幼児向けの絵本や紙芝居などに関し、出版社と連携して作成する方向で活動を開始している。

# 土木学会

## 巨大地震災害への対応特別委員会（平成15年11月～平成17年10月）

### 検討項目

- (1) 東海地震等による地震動の予測
  - ・長周期地震動
  - ・M=8クラスの地震における震源域の地震動
- (2) 耐震診断および耐震補強に関する技術の総合化
  - ・基礎構造の補強
  - ・M=8クラスの震源域地震動に対する補強
- (3) 大都市圏の地震防災向上の方策の提言
  - ・大都市圏における地震防災の在り方に関する提言
- (4) 地震防災対策立案へ向けての自治体および民間事業者との連携
  - ・懇談会・講習会等の開催
- (5) 地震防災分野の研究開発の方向性に関する提言
  - ・研究開発の国としての基本的方向性，組織，研究費等
- (6) 災害情報の共有化に関する技術基盤の検討
  - ・広域地震災害の情報の共有化の活用の方法
- (7) 地震防災教育
  - ・防災教育のための教材作り
  - ・講習会等の開催



土木学会の特別委員会のテーマのうち、長周期地震動に関する課題については土木学会と建築学会で共同研究を実施することになり、既に活動が始まっている。

共同研究でどのようなことを実施しようとしているか、次頁のフローに沿って説明する。まずは、長周期地震動の予測手法についての検討を行っている。これは土木学会と建築学会さらに地震学会の協力を得て行っている。次に、各地域、これは東京、静岡、名古屋、大阪などを想定しているが、これらの地域で代表的な長周期構造物、すなわち超高層建物、免震建物および長大橋梁・免震橋梁等を選定する。これを受けてで選定された構造物の建物地点での入力地震動を算定する。この入力地震動を用いて選定された構造物の動的応答、損傷の有無、損傷があるとなればその度合、残留変位などを推定する。耐震補強の必要性があればその補強方法を提案するというものである。

その他に、より一般的に構造物の耐震性照査に用いる標準的な地震動の策定も予定している。最後にこれらをまとめて「耐震診断と耐震補強のガイドライン」を両学会共同でまとめる計画である。

これで、私の話しを終わるが、最後に一言だけつけ加えたいと思う。

9年4ヶ月前の兵庫県南部地震による大災害は残念ながら、土木技術への信頼を大きく損なった。

地震後約10年、信頼を回復するため構造物の耐震性向上や地震防災対策に懸命の努力を積み重ねて来たと思う。しかしながら、将来の東海地震などの巨大地震への対策が十分という状況にはなっていない。

将来の地震で、再び兵庫県南部地震と同じ失敗を繰り返すことは土木技術者として決して許されるものではない。

土木学会が巨大地震災害の軽減に向けて社会のリーダーシップをとって行かなければならないと思っている。御清聴感謝する。

# 長周期地震動に対する構造物の耐震性の検討

- 土木学会と建築学会による共同研究(平成16~17年度) -

