

## 強地震動を受ける鉄筋コンクリート製地中構造物の 実用的な耐震安全性評価手法の提案

### 背景

電気事業においては、1995年の阪神淡路大震災における鉄筋（RC）コンクリート構造物の大きな被害状況に鑑みて、このような強地震動に対してはある程度の構造物の損傷を許容する設計の考え方（変形することで地震エネルギーを吸収し、構造物の安全性を確保する）を採り入れ、地中構造物への適用を検討している。このような考え方を普及させるためには、地盤および地中構造物の強地震時の挙動を精度よく評価すると同時に、合理的に安全性を確認する方法を構築することが必要である。

### 目的

原子力発電所のRC製地中構造物を対象として、想定される最大級の地震に対して構造物の安全性を確保するための耐震性能照査手法を提案し、耐震安全性の向上を図る。

### 主な成果

1. 地盤の地震応答解析への全応力モデルの適用性の検証  
1/30縮尺模型を用いた遠心載荷模型振動台実験の結果、およびこれらを対象とした既存の解析モデル（全応力モデル、有効応力モデル）を用いた数値解析結果を分析した結果、全応力モデルは、従来の比較的ひずみレベルの小さい範囲から1～2%程度の大きな地盤ひずみ領域まで安全側に適用可能であることを明らかにした（図1）。
2. 地中構造物の地震応答解析における上下地震動の取り扱いおよび構造物の応答に与える影響評価  
地震応答解析において、従来、上下動の作用を静的荷重として取り扱ってきたが、水平動、上下動ともに時刻歴波形として取り扱う場合、両者の最大加速度発生時刻の一致する/しないが構造物の挙動に与える影響にほとんど差がないことを確認したことにより、与えられた時刻歴波形を同時に入力する考え方を示した。また、上下動の影響を水平動のみが作用する場合と比較した結果、現状で考慮されている上下動のレベルでは、地中構造物の耐震安全性に大きな影響を与えないことを明らかにした（図2）。
3. 地中構造物のせん断破壊に対する合理的な安全性照査法の提案  
地盤との相互作用により地震動に抵抗する地中構造物の優れた耐震性を考慮して、現行のせん断耐力評価における安全係数の合理化を図る（図3）とともに、最近の汎用化された高度な数値解析技術を採り入れて、新しい2つのせん断耐力評価手法（線形被害則を用いる方法、材料非線形有限要素解析を用いる方法）の提案を行った。
4. 地中構造物を対象とした確率論的安全性評価手法の提案  
簡易な地盤応答解析と構造物の荷重-変形解析にモンテカルロシミュレーションを組み合わせ、地盤と構造物の物性を変動要因とする地中構造物の確率論的損傷度（部材断面の破壊）評価手法を提案した（図4）。試計算による検討の結果、前提となる地盤、構造物のモデルの制約条件があるものの、十分に実務に適用できる可能性のあることを示した。

### 今後の展開

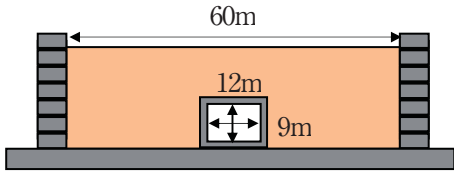
本研究成果を、平成14年5月（社）土木学会原子力土木委員会から刊行した「屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針」に反映させて改訂を行い、講習会の開催（平成17年6月）などにより新しい技術の実務への普及を図る。

主担当者 地球工学研究所 地震工学領域 主任研究員 河井 正  
地球工学研究所 構造工学領域 主任研究員 松井 淳、宮川 義範

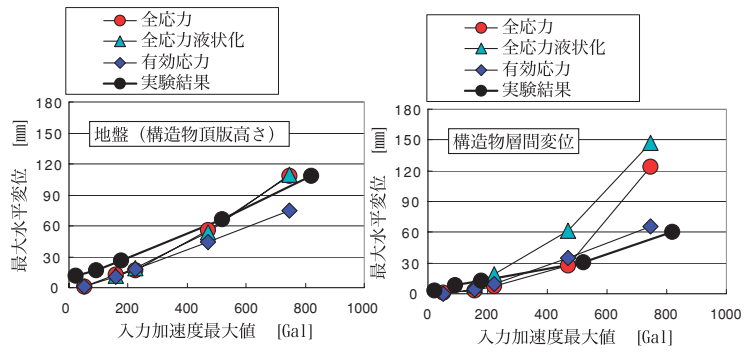
関連報告書等 「動的上下動が鉄筋コンクリート製地中構造物の耐震性能に与える影響評価」電力中央研究所報告：U04003（2004年8月）  
「分布荷重を受けるRC部材のせん断耐力評価に関する実験的研究」電力中央研究所報告：U02052（2003年4月）  
「飽和地盤に埋設されたダクト構造物に作用する荷重について」第27回地盤工学論文集（2003年12月）



試験体寸法  
高さ30cm  
幅 40cm  
壁厚25mm  
左写真は配筋状態

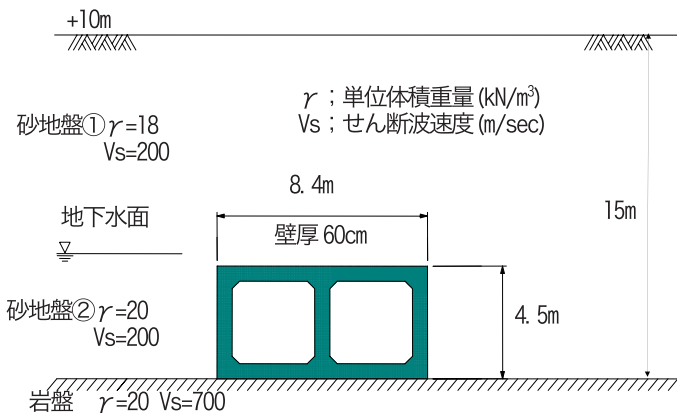


(a) 土槽と1/30の構造物模型  
遠心载荷による加速度で30Gを再現している  
ので、実寸法として幅12m、高さ9mと等価  
になる。

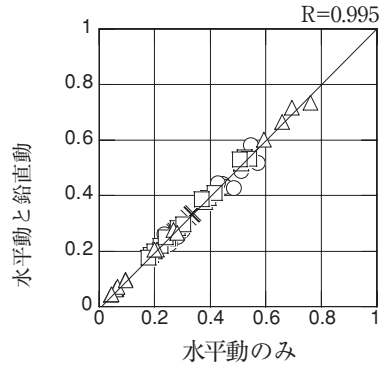


(b) 地盤と構造物の変位の実験値と解析値の比較  
全応力モデル、有効応力モデル等を用いた有限要素解析の結果、全応力モデルは1~2%のひずみ領域(変位で100mm程度)まで適用可能であることを確認した(実験値に対して、安全側である大きめの評価を与えている)。

図1 遠心载荷模型振動台実験とその結果検討の概要

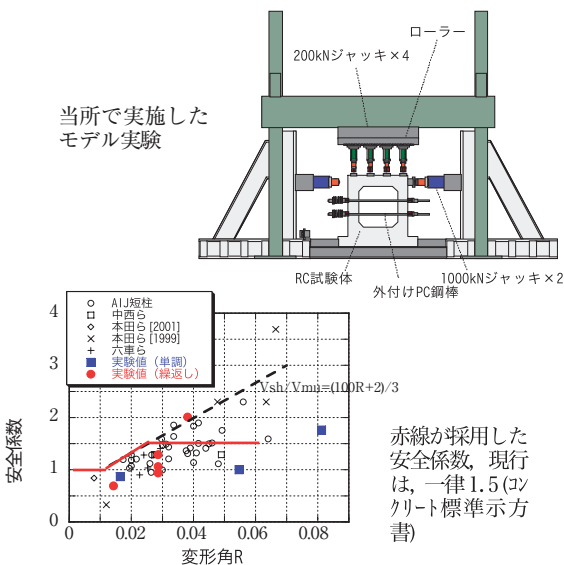


(a) 検討対象の1層2連のボックスカルバート構造  
- 岩着条件 -



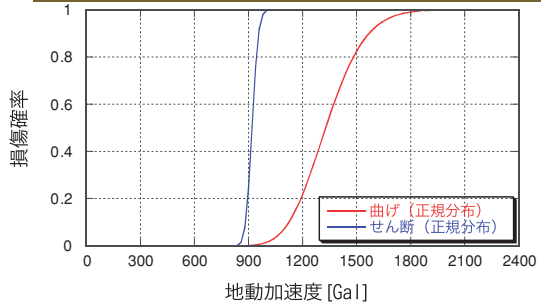
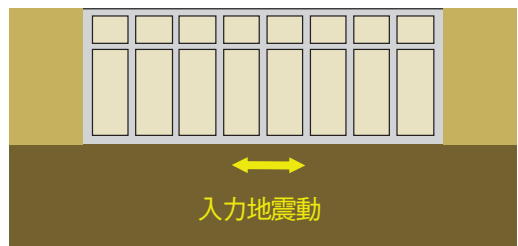
(b) せん断耐力比による上下動の影響評価  
地震応答解析結果を構造部材断面に発生するせん断耐力比(せん断耐力に対する発生せん断力の比)についてみると、鉛直動を考慮した場合は、水平動のみの場合とほとんど差がない。

図2 上下動の影響検討のための地盤、構造物のモデルとせん断力に関する計算結果



大変形領域で繰り返し荷重を受ける場合、現行のせん断耐力評価法は危険側の値を与えるため、一律の安全係数を付与して安全性を担保している。本研究では、変形量に応じた安全係数を与えることを提案した。

図3 せん断力照査方法の合理化



地盤と構造物の非線形性を考慮した簡易な応答解析を用いており、構造物1ケースの損傷確率の計算を行い図化するのに要する時間(上記の図を描くための時間)は、十数分程度である。

図4 確率論的安全性評価の例(8連2層取水ピット)