

土木と建築の複合地下構造物の地震応答計算の一考察

早稲田大学 学生会員 ○石田 充朗
早稲田大学 フェロー 清宮 理

1. はじめに 鉄道施設、上下水道施設などでは土木構造物と建築構造物が一体で建設される場合がある。それぞれの部分で耐震設計は建築土木と別個になされている。構造物としては一体であるのでこのような施設での耐震性を検討することとした。汎用プログラム TDAPⅢを用いた FEM 動的解析によって入力地震動、モデル化の相違による耐震性能を比較する。構造設計で耐震性能を照査する場合 2次元モデルを通常用いるが、より合理的に照査するため 3次元モデルも検討した。両者の地震時の挙動の違いについて考察を行う。

2. 解析モデルと条件

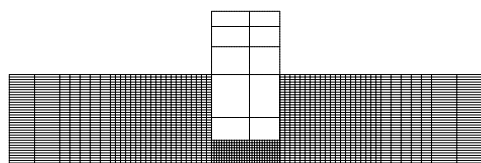


図1 解析対象モデル

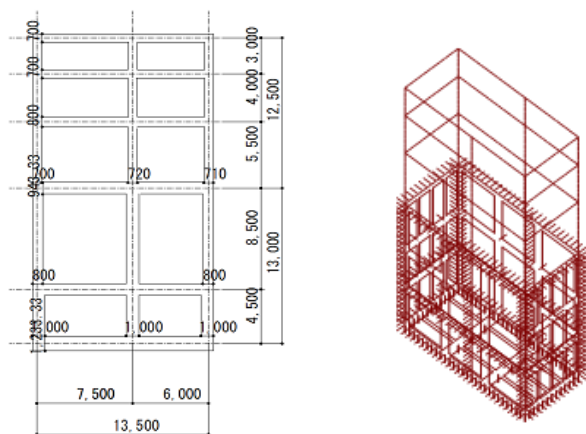


図2 構造物のモデル図(2次元と3次元)

今回検討した下水道施設での解析モデルを図1及び図2に示す。地上建築部3階、地下土木部2階である。建築部の高さ12.5m、地下部の深さ13m、奥行き6m、表層地盤厚さ12.3mである。この施設は「下水道施設地震対策指針と解説」(1997版(社)日本下水道協会)と建築基準法に基づいて設計されている。地表面の設計水平震度はレベル1地震動が

0.22、レベル2地震動が0.27で耐震設計が行われた。3次元モデルの地下部分には壁が有り、2次元モデルでは壁を考慮した場合としない場合のケースの検討を行う。構造物の梁と柱を非線形はり要素(武田モデル)、壁を平面応力要素、地盤を平面歪要素(修正 Ramberg-Osgood モデル)で2次元モデル化した。3次元モデルは梁と柱を非線形はり要素(武田モデル)、壁を平面応力要素、地盤はバネ要素を用いた。地盤と構造物の物性値を表1と表2にそれぞれ示す。

表1 地盤物性値

土質名	層厚 (m)	平均N値	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kN/m ²)	単位体積重量 (kN/m ³)
①盛土	1.3	5	0	1	17
②シルト	11	5	0	3.7	16.7
③砂レキ	1.8	50	40	0	19

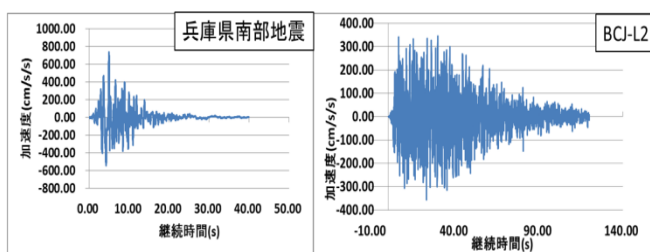
表2 コンクリートおよび鉄筋の物性値

土木部分	コンクリート	設計基準強度 $f_{ck}(N/mm^2)$	24
		ヤング係数 $E_c(kN/mm^2)$	25
鉄筋	規格降伏点強度 $f_{sy}(N/mm^2)$	345	
	ヤング係数 $E_s(kN/mm^2)$	210	
鉄筋コンクリート	単位体積重量 $\gamma(kN/m^3)$	24.5	
建築部分	コンクリート	設計基準強度 $f_{ck}(N/mm^2)$	21
	ヤング係数 $E_c(kN/mm^2)$	23.5	
鉄筋	規格降伏点強度 $f_{sy}(N/mm^2)$	345	
	ヤング係数 $E_s(kN/mm^2)$	210	
鉄筋コンクリート	単位体積重量 $\gamma(kN/m^3)$	24.5	

表3に示す5種類の地震動を入力波とした。土木でのレベル2地震動タイプ2の兵庫県南部地震と建築模擬地震動 BCJ-L2 の地震波形を図3に示す。

表3 入力地震動の詳細

入力地震動	継続時間 (s)	最大加速度 (Gal)
レベル1地震動 (昭和43年日向灘地震)	30	118
レベル2地震動タイプ1 (平成23東北地方太平洋沖地震)	240	675
レベル2地震動タイプ2 (平成7年兵庫県南部地震)	40	736
BCJ-L1 (建築模擬地震動)	60	207
BCJ-L2 (建築模擬地震動)	120	355



キーワード 複合地下構造物、地震応答計算、断面力照査、せん断破壊、層間変形角
〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学創造理工研究科清宮研究室
TEL 03-5286-3852

図3 土木と建築のレベル2地震波形

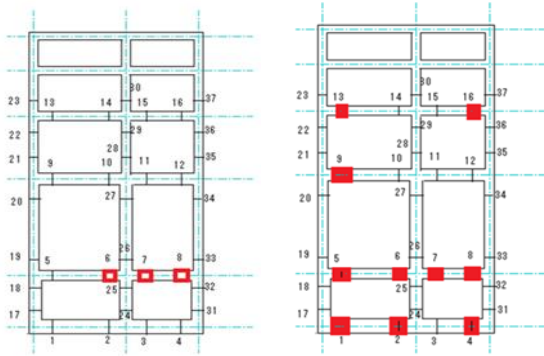


図4 せん断破壊位置
(土木：壁なし)

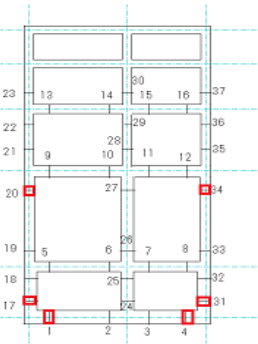


図5 曲げ破壊位置
(土木：壁なし)

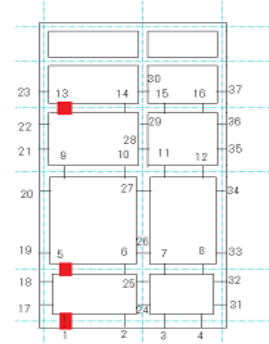


図6 せん断破壊位置
(土木：壁有り)

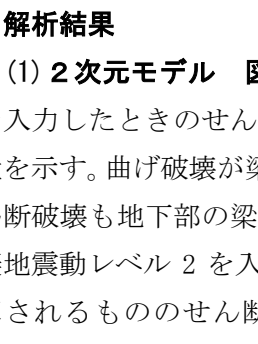
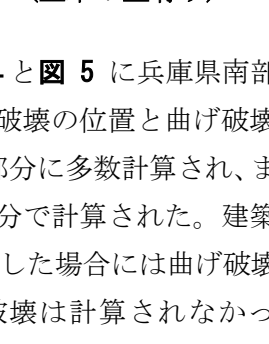


図7 曲げ破壊位置
(土木：壁有り)



3. 解析結果

(1) 2次元モデル 図4と図5に兵庫県南部地震を入力したときのせん断破壊の位置と曲げ破壊の位置を示す。曲げ破壊が梁部分に多数計算され、またせん断破壊も地下部の梁部分で計算された。建築の模擬地震動レベル2を入力した場合には曲げ破壊は計算されるもののせん断破壊は計算されなかった。図6と図7に壁を考慮した場合の計算結果を示す。壁を考慮することにより、破壊の起きる位置が大きく変わった。建築の地震波ではせん断破壊は計算されなかった。図9に2次元モデルの層間変形角(絶対値)の時系列を示す。振動時の最大層間変形角が0.04程度で振動後の残留の層間変形角は0.001程度で非常に小さい値となり建築基準である1/200以内となった。

(2) 3次元モデル 3次元モデルにおいてはいずれの破壊も計算されなかった。図10に3次元モデルの層間変形角(絶対値)の時系列を示す。建築構造部分の振動時の最大層間変形角が0.02程度で振動後の残留の層間変形角は0.001程度となった。3次元モデル

での値が小さくなっていることが確認できる。

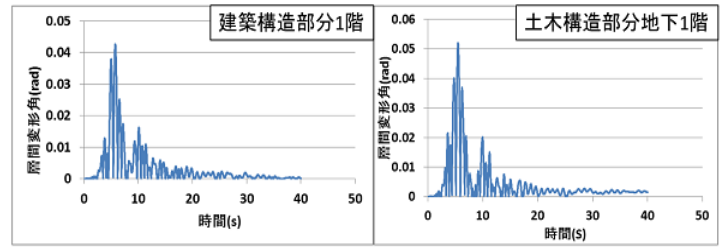


図9 レベル2地震動タイプ2の層間変形角(2次元)

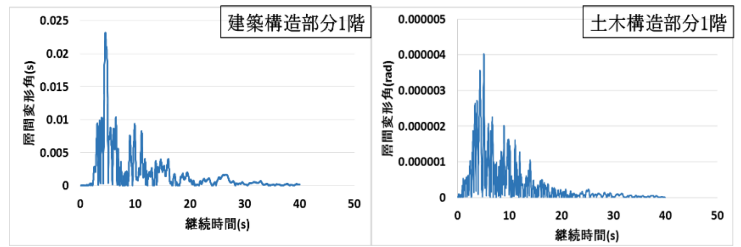


図10 レベル2地震動タイプ2の層間変形角(3次元)

4. 結論 (1) 今回計算対象の構造物は2次元モデルより、曲げ先行破壊であるが、せん断破壊が起きており土木の耐震基準を満たさなかった。破壊が起きた断面ではせん断補強が必要である。一方建築の基準は満たしていた。レベル2地震動では、建築模擬地震動より土木設計での地震動の応答値が大きいことから、土木設計の方が構造物の破壊に対して基準が厳しいといえる。ただし層間変形角、剛性率ともに建築基準を満たしていた。

(2) 3次元モデルで曲げおよびせん断破壊は計算されず、応答値も大きく減少した。2次元の壁ありのモデルの計算結果からもモデルの3次元化の効果が大きかった。以上より、3次元モデルで設計を行うことでより合理的な構造物が設計できると考えられる。

参考文献

- 1) 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 平成8年12月 社団法人 日本道路協会
- 2) 地下構造物の耐震性能照査と地震対策ガイドライン(案) 平成23年9月 社団法人 土木学会
- 3) 建築基準法 平成25年6月 法律44号、国土交通省