

三次元鉄筋コンクリート構造物のせん断土槽振動実験シミュレーション

電力中央研究所 正会員 松尾 豊史 島端 嗣浩
東電設計株式会社 正会員 ○小林 正幸 市川 卓也

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)製地中構造物の耐震性能照査は、地盤・構造物連成系の二次元有限要素(FEM)解析により横断面方向に対して行われるのが一般的である[1]。一方で、構造物が多軸応答を示す場合や応答挙動を厳密に評価する場合などには、三次元FEM解析が有効となる場合もある。しかしながら、地中に埋設されたRC部材に面内力と面外力が同時に作用する条件下で、三次元地震応答解析手法の適用性を検討した事例は極めて少ない。

そこで、地盤・構造連成系の三次元地震応答解析手法の適用性を確認することを目的として、せん断フレームに埋設された立坑型RC模型の振動台実験に対するシミュレーション解析を実施した結果を報告する。

2. 検討概要

対象とした実験は、文献[1]の技術資料Ⅲに記載された振動台実験である。試験概要を図1に、加振ケースと実験結果を表1に示す。当実験は、RC試験体の対角方向に図2に示す3.0Hzの漸増正弦波を用い、異なる最大加速度振幅で全6CASE加振したものである。

解析コードにはCOM3[2][3]を用いた。構成則については、地盤はR-Oモデルの骨格曲線とMasing則による履歴特性、構造物は分散ひび割れ型のRC構成則により材料非線形性をそれぞれ考慮した。RC試験体の解析物性値は材料試験結果に基づいて設定し、地盤の解析物性値は文献[1]に基づいて設定した。

解析モデルを図3に示す。RC試験体、地盤、せん断フレームは全てソリッド要素(1次要素)でモデル化した。RC試験体-地盤間とせん断フレーム-地盤間には、剥離とすべりを考慮したBOND要素を設けており、せん断フレーム各層は同図に示すように節点間を共有させず、側方地盤に付加重量として考慮されるよう作成した。

境界条件について、解析モデル底面は固定境界とし、自重解析時にはせん断フレームの節点を全拘束し、動的解析時にはその節点を水平ローラーとした。

解析ケースについて、本検討では最大加速度振幅が最大であるCASE6の1波形を用いた解析を実施し(解析ケース1)、次に、加振履歴の影響を考慮するために、最大振幅が大きいCASE5-CASE6の波形を連続入力した解析を実施した(解析ケース2)。

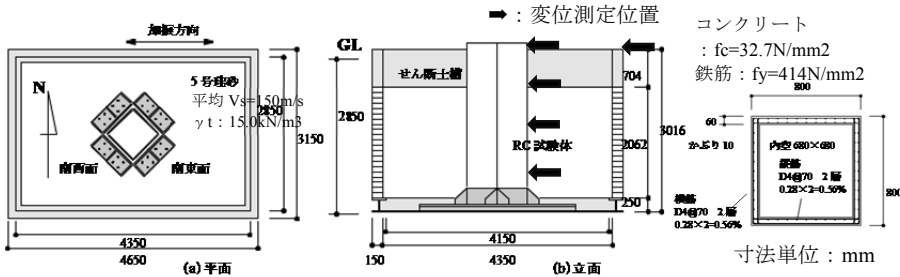


図1 試験概要

表1 加振ケースと実験結果

	振動台最大 加速度(Gal)	構造物最大 変位(mm)	地表面最大 変位(mm)	構造物/地盤 変位比
CASE1	53	0.028	0.05	0.56
CASE2	128	0.076	0.21	0.36
CASE3	243	0.3	0.86	0.35
CASE4	748	5.537	22.14	0.25
CASE5	927	10.739	26.16	0.41
CASE6	931	12.232	27.44	0.45

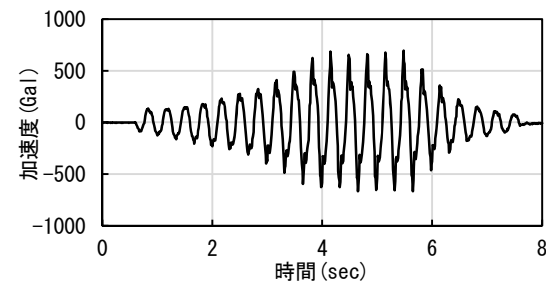


図2 入力加速度波形(CASE6)

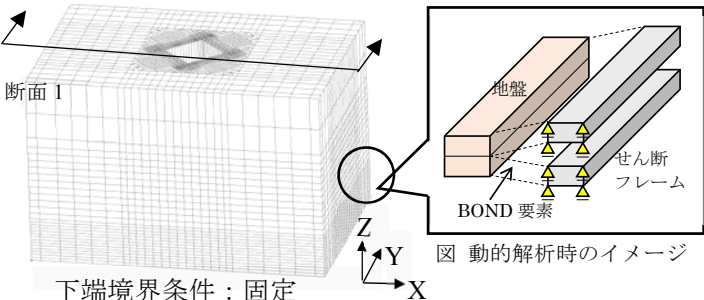


図3 解析メッシュ

キーワード：三次元非線形解析、地盤・構造物連成解析、せん断土槽振動実験、RC立坑、耐震性能照査
〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財)電力中央研究所 TEL：04-7182-1181 (代表)

3. 解析結果および考察

図4には、図3に示す断面1において、RC試験体の変形最大時刻での変形図およびせん断ひずみ分布図を示している。なお、両解析ケースともに概ね同じ傾向であったことから、ここでは解析ケース2の結果を示している。同図から、せん断フレームは各層で節点を共有していないことにより生じる挙動となっており、さらに、地盤との間ですべりが生じていることが確認できる。また、RC試験体-地盤との境界においてもすべり・剥離が確認でき、モデル作成時に想定した挙動となっていることを確認した。

図5には、図1に示す地表面の変位計測位置におけるCASE6加振時の変位時刻歴を示している。まず、地盤応答に相当する結果として、せん断フレームの変位時刻歴(図5(a))を確認すると、最大変位についてはどちらの解析ケースも概ね実験結果と概ね一致している。その一方で、入力加速度波形漸増時刻では、解析ケース2の方が、加振履歴の影響を考慮したことで実験結果をより再現する結果であった。次に、RC試験体の変位時刻歴(図5(b))を確認すると、入力加速度波形漸増時刻および最大変位発生時ともに各解析ケースで差異が確認されるが、せん断フレームでの結果と同様に解析ケース2の方がより実験結果を再現している。

図6には、実験での変位時刻歴をより再現していた解析ケース2の結果を用い、RC試験体およびせん断フレームの最大変形時刻での変形モードを示しており、実験での変形モードを概ね再現する結果となっている。

図7には損傷の比較として、実験後に観察したひび割れ状況と解析ケース2での最大主ひずみ分布の最大値分布および鉄筋ひずみと解析ケース2での鉛直ひずみ分布の最大値分布図を示している。実験で生じたRC試験体のひび割れは基部に集中しており、主に曲げ変形に依るものと判断できる。解析では、鉄筋降伏が 1000μ 程度で生じることによる残留ひび割れ領域が試験体基部に集中しており、実験での曲げ変形に伴う損傷を概ね再現している。また、実験で生じた鉄筋ひずみと解析による鉛直ひずみ分布図より、鉄筋降伏状況も概ね再現できている。

4. おわりに

加振履歴の影響を考慮した解析を行うことで、実験での変位時刻歴や損傷状況を概ね再現する結果を得ることができた。今後は、地盤・構造物連成系の三次元地震応答解析によるパラメータスタディを実施するとともに、各種照査指標の適用性などについても検討を行う。

参考文献

- [1]土木学会原子力土木委員会：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル，2005。
- [2]岡村甫，前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技報堂出版，1991。
- [3]Maekawa, K., Okamura, H. and Pimanmas, A.: *Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete*, SPON PRESS, 2003。

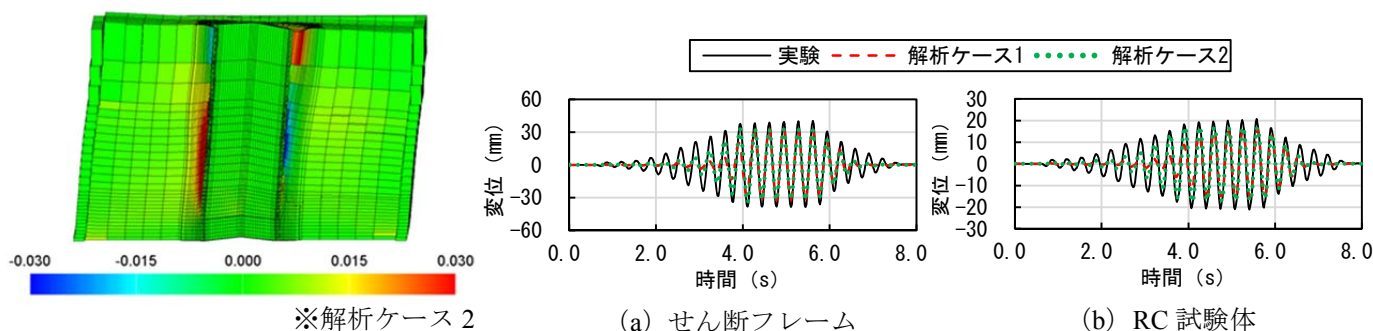


図4 変形図およびせん断ひずみ分布図

図5 地表面位置の水平変位時刻歴

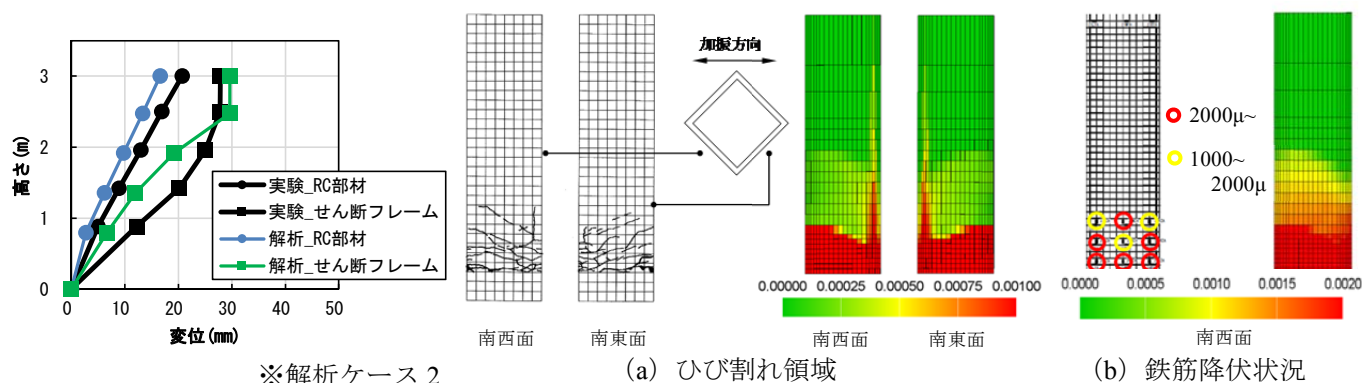


図6 実験と解析ケース2の変位分布

図7 RC試験体の損傷比較