

Eーディフェンスにおける加振・計測の長時間化と地盤系実験のポテンシャル

(独) 防災科学技術研究所 正会員 ○河又 洋介
 (独) 防災科学技術研究所 正会員 田端憲太郎
 (独) 防災科学技術研究所 正会員 梶原 浩一

1. 背景

1995 年兵庫県南部地震において、神戸を中心として甚大な被害が発生し、建物の耐震性に関する研究の重要性が高まった。それをうけて、兵庫県南部地震から 10 年後の 2005 年、大規模の試験体に兵庫県南部地震で観測された地震動を入力することができる、(独) 防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター (Eーディフェンス) が建設された。

Eーディフェンス運用開始から約 6 年後、2011 年東北地方太平洋沖地震において、6 分を超える長継続時間地震動が観測された。また、本震と同等規模の余震が短い間隔で発生している。長継続時間地震動により、地盤が液状化しやすくなる可能性がある。本震で液状化しなかった地盤が、余震で液状化するケースも確認されている^{例えば 1)}。これらの現象を振動台実験で再現するためには、加振中だけでなく、加振後の間隙水圧消散過程の計測も重要である。

兵庫県南部地震を再現できるように設計されていた Eーディフェンスの油圧系加振システムでは、東北地方太平洋沖地震のような継続時間の長い地震動を、3 次元で 100% 入力をすることはできない。また、数百チャンネルのセンサーを用いて長時間計測するためには、大容量のデータ収録システムが不可欠である。これらの経緯から、2012 年度に長継続時間地震動の再現・長時間計測を可能にする改造工事を実施し、2013 年度より改造後の震動台の運用を開始した。

本論文では、長継続時間化工事前後の震動台性能について述べ、それにより、どのような地盤系実験が実施可能になったのか等、そのポテンシャルについて実験例を挙げながら議論する。

2. 改造工事前後の震動台性能の比較

Eーディフェンスの長継続時間化は、作動油の供給能力向上と作動油の供給量削減により行った。前

者はアキュムレータの増設 (増設前 20kl → 増設後 24kl) により、後者は加振機にバイパスバルブを装着し、機能している加振機を低減することにより実現した。工事内容の詳細については別紙²⁾に譲る。

表 1 に、代表的な地震波の改造前後の消費油量を示す。代表的な地震波として、東北地方太平洋沖地震における K-NET 仙台・岩沼・古川波、東海東南海地震想定波の三の丸波³⁾、兵庫県南部地震における JR 鷹取波⁴⁾を選定した。改造前は、JR 鷹取波以外は油量不足となり加振できなかった。改造後では、一部の加振機を機能しないように設定することにより、すべての加振波を入力できるようになっている。参考までに、表 1 の検討に用いた三の丸波、古川波、JR 鷹取波の主要方向速度波形を図 1 に例示する。

3. 長継続時間化と地盤系実験のポテンシャル

Eーディフェンスの長継続時間化改造工事により、改造前には困難だった、1) 長継続時間・大振幅の巨大地震の入力、2) 大量のセンサーを用いた長時間計

表 1: 改造前後の油量比較

地震波	改造前 アキュムレータ容量 20kl		改造後 アキュムレータ容量 24kl	
	消費油量 (kl)	可否	消費油量 (kl)	可否
仙台波	23.2	×	23.2	○
岩沼波	31.7	×	23.3*	○
古川波	49.1	×	21.7*	○
三の丸波	42.5	×	23.6*	○
鷹取波	14.5	○	14.5	○

※バイパスバルブを用いて、一部の加振機を機能しないようにする

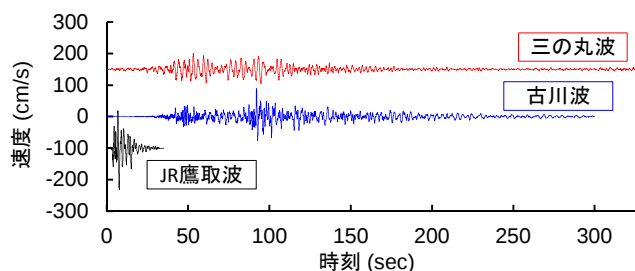


図 1: 各地震波の速度波形

キーワード Eーディフェンス, 大型試験体, 振動台実験, 長継続時間地震動

連絡先 〒673-0515 兵庫県三木市志染町三津田西亀屋 1501-21 河又洋介 TEL: 0794-85-8963

測の2つが可能となり、地盤系実験のポテンシャルも大きくあがっている。ここでは、震動台および計測システムの長継続時間化に伴い、どのような地盤系実験が実施可能になったのかについて、2つの実験例を挙げて論じる。

1) 非線形化した地盤が揺すり続けられることによる地盤・周辺構造物変位の進行

大地震初期の時間帯で非線形化し、大きく剛性の低下した地盤が、長継続時間地震動で揺すり続けられことにより、地盤変位や周辺構造物が大きく変位する経緯を再現、多数のセンサーにより詳細に計測することができる。擁壁など、フリーサーフェスのある構造物の数値解析において、長継続地震動を入力すると、変位が異様に大きくなることがあるが、大型実験を実施して詳細に計測することにより、解析結果の妥当性を検証することができる。

2) 間隙水の移動を考慮した地盤の液状化強度

長継続時間地震動における地盤の液状化に関するキーファクターは、間隙水圧の蓄積と消散が同時に発生することであり、排水条件が悪く間隙水圧が消散しないと、間隙水圧が蓄積し続ける可能性があることである。現行の液状化判定法では、地盤の締固め度をベースに地盤の液状化強度を評価しているが、長継続地震動に対しては排水条件（地盤の透水性も含む）の評価も重要である。図2に、Eーディフェンスの直方体土槽（長さ16m×幅4m×高さ4.5m）で実施可能な、排水条件の異なる地盤における液状化実験例を示す。液状化層の上下に不透水層を設置することで排水性が異なる地盤とし、Eーディフェンス震動台を用いて長継続時間地震動や、短時間の間に大きな余震を伴う地震動を入力する。入力地震動が大きいと、水圧の蓄積速度が高くなるが、排水条件が良好だと水圧の消散速度も大きくなるため、地盤の液状化強度は大きくなる（図3）。同様に、本震と余震の間隔が短いケースでは、排水条件が良好だと本震と余震の間に水圧が大きく消散し、余震の際に完全液状化に到達しにくくなる（図4）。これらのことは要素試験では再現しにくく、小型模型実験では、結果の妥当性を検証するデータが不足している。Eーディフェンス実験によりベンチマークとなるデータを得ることで、その後の研究に繋げることができると考えている。

4. 結語

大型振動台実験はコストがかかることから、繰り返し実施することは難しい。したがって、優先順位が高く、かつ大型模型を用いないと実験できない研究テーマを慎重に選定する必要がある。学会などを通して、多くの研究者と意見を交換することで、より有意義な実験を提案していきたい。

参考文献

- 1) Yasuda, S. et al. (2012) : Characteristics of liquefaction in Tokyo Bay area by the 2011 Great East Japan Earthquake, Soils and Foundations, Volume 52, Issue 5, October.
- 2) 阿部健一, 梶原浩一 (2013) : Eーディフェンスの長周期地震動加振対応の改造, 日本地震工学会年次大会, #183
- 3) 愛知県設計用入力地震動研究協議会 (2005) : 愛知県設計用入力地震動の作成—想定地震による強震動予測—改訂版
- 4) 中村他 (1996) : 1995年兵庫県南部地震の地震動記録波形と分析 (II), JR地震情報 No. 23d, (財)鉄道総合技術研究所

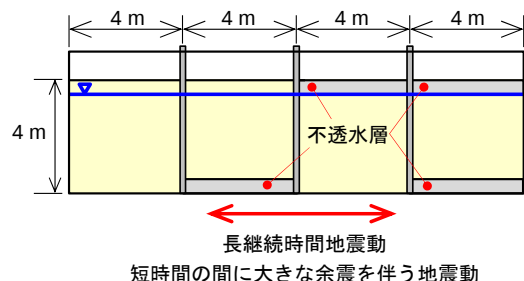


図2：排水条件の異なる地盤における液状化実験例

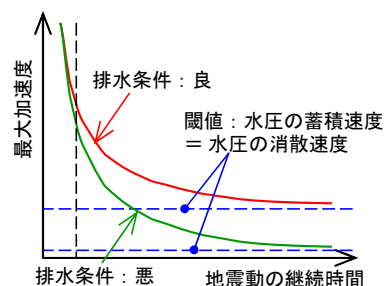


図3：排水条件と地盤の液状化の関係（イメージ図）

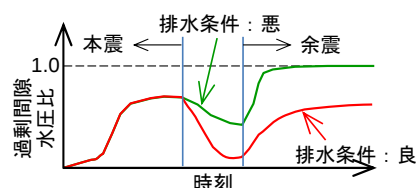


図4：排水条件と余震による地盤の液状化の関係（イメージ図）