

## 2軸地震波振動台を用いた長周期地震動の再現性に関する検証

中川 肇\*

### Demonstration of Reappearance in Long Period Ground Motion Using Two Dimensional Earthquake Shaking Simulators

Hajime NAKAGAWA

#### ABSTRACT

This paper presents the demonstration of reappearance in long period ground motions using two dimensional earthquake shaking simulators. The long period ground motions based on the K-NET earthquake observation systems are the 2003 Tokachi offshore earthquake in the K-NET Tomakomai, and the 2011 off pacific coast of Tohoku earthquake in K-NET Furukawa and Osaka.

The demonstration of reappearance in long period ground motions are estimated for the maximum acceleration response and the frequency characteristics between earthquake waves recorded in the K-NET systems and earthquake waves that reappeared using two dimensional shaking simulators.

**KEY WORDS:** Reappearance of long period ground motions, 2003 Tokachi offshore earthquake, 2011 off pacific coast of Tohoku earthquake

#### 1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震以後、日本各地の地震観測網（K-NET、KiK-net等）<sup>1)</sup>が整備され、地震発生後に即座に観測記録が入手可能となった。

本校建築学科が保有している3軸地震波振動台を平成23年度末に改良し、1軸振動台で地震の継続時間が60秒以上で長周期地震動が再現できるようになった。前報<sup>2)</sup>では、この1軸地震波振動台を用いて2003年の十勝沖地震、2004年の紀伊半島南東沖地震、2011年の東北地方太平洋沖地震におけるやや長周期が卓越する地震動を再現し、周波数特性の観点から検討を加えた。

前報<sup>2)</sup>で示した地震波振動台を更に改良し、振動台の質量を軽量化し、南北方向（X方向）、東西方向（Y方向）の加振機を夫々3台、2台に増強することによって、2軸地震波振動台において、無負荷で最大加速度が約 $1100\text{cm/s}^2$ （1.12G）、最大速度が $80\text{cm/s}$ 、最大変位が $125\text{mm}$ 、継続時間が650秒まで内陸型から長周期地震動まで再現可能になった。

本報の目的は、2軸地震波振動台を用いて十勝沖

地震K-NET 苫小牧波、東北地方太平洋沖地震K-NET 古川波（宮城県大崎市）、K-NET 大阪波におけるNS成分、EW成分の合計6成分の再現実験を行う。

K-NETで観測された記録波形（以下、目標波）と振動台で再現した地震波形（以下、再現波）の最大加速度応答値及びその周波数特性を比較し、その再現性を検証することである。振動台実験において、地震動の再現性を追及している論文は少なく、長周期地震動を再現し周波数特性の観点から検証する意味は十分にある。

#### 2. 地震波振動台の改良及び実験概要

##### 2-1 地震波振動台の改良設計

前報<sup>2)</sup>で示した写真1の2軸地震波振動台と加振機を振動台から切り離すことによって1軸単体で加振することが可能となった。

写真1に示す2軸地震波振動台の加振機の増強工事、制御システムの更新及び振動台の軽量化を図り、2軸地震波振動台において、低周波数から高周波数、地震動の継続時間が650秒まで加振可能となるように改良設計を行った。写真2に改良した2軸地震波振動台の全景を示す。

\*建築学科



写真 1 2軸地震波振動台(改良前)



写真 2 2軸地震波振動台(改良後)

### 2-2 実験概要

本実験では、十勝沖地震 (K-NET 苫小牧 NS, EW 成分)、東北地方太平洋沖地震 (K-NET 古川波、大阪波 NS, EW 成分) を写真 2 に示す 2 軸地震波振動台を用いて再現を行う。実験に用いた 3 波を振動台に入力する場合、振動台に関する変位及び速度値の制約のために、低周波数 0.2Hz 以下に対しハイパスフィルター処理を行っている。この波形を本報では目標波と呼び、振動台で再現した波形を再現波と呼ぶ。

### 3. 長周期地震動の再現実験結果

図 1 には、十勝沖地震 K-NET 苫小牧波 NS 成分、東北地方太平洋沖地震 K-NET 古川波 EW 成分、K-NET 大阪波 NS 成分の減衰定数 5% の速度応答スペクトルを描いている。

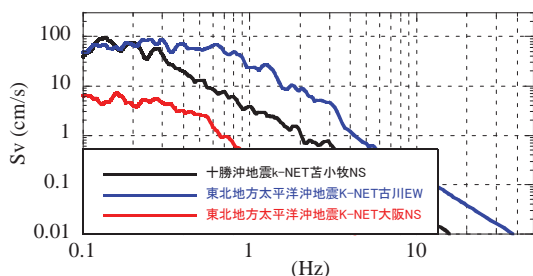


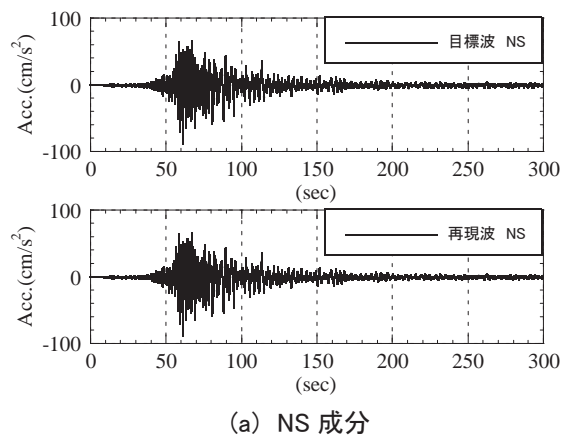
図 1 速度応答スペクトル

図 1 より、3 波とも 0.3Hz 以下の低周波数帯域に

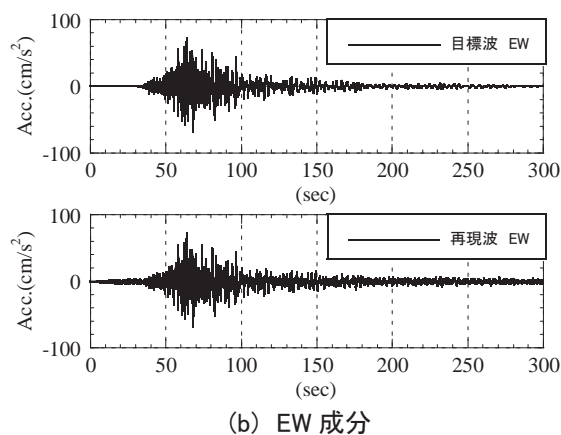
おいて速度応答が卓越しており、やや長周期地震動と判断できる。

### 3-1 十勝沖地震の再現

図 2 には、十勝沖地震 K-NET 苫小牧波の NS, EW 成分に関する目標波と再現波が描かれている。図 3 には、図 2 に示した目標波と再現波に関する周波数応答解析を実施し、夫々のフーリエスペクトルが描かれている。



(a) NS 成分



(b) EW 成分

図 2 十勝沖地震

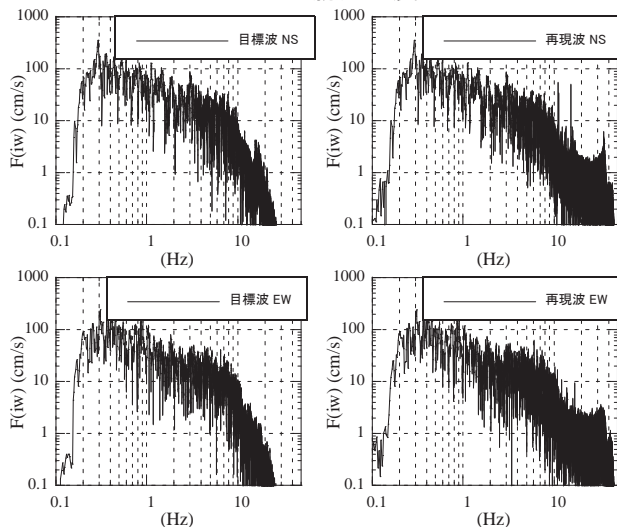


図 3 十勝沖地震の周波数特性

図2より、最大加速度及び位相は、ほぼ類似していることが判る。図3より、0.2~1Hz 付近の周波数帯域において、よい一致を示しているが、30~40Hz の高周波数帯域において、やや異なる特性を示している。これは、振動台を構成する井型のリニアガイド部分及び加振機の駆動部の摩擦によって生じたものであると推察している。

表1に、目標波と再現波の最大加速度及びその比率を示している。表1より、再現波の再現性の誤差は、0.5~1.4%であり、ほぼ再現できていると判断している。

表1 目標波と再現波の最大加速度の比較

十勝沖地震	目標波	再現波	再現波/目標波
	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	
苫小牧 NS	86.62	87.87	1.014
苫小牧 EW	72.87	72.54	0.995

3・2 東北地方太平洋沖地震の再現

図4、5には、東北地方太平洋沖地震 K-NET 古川波、大阪波に関する目標波と再現波が描かれている。

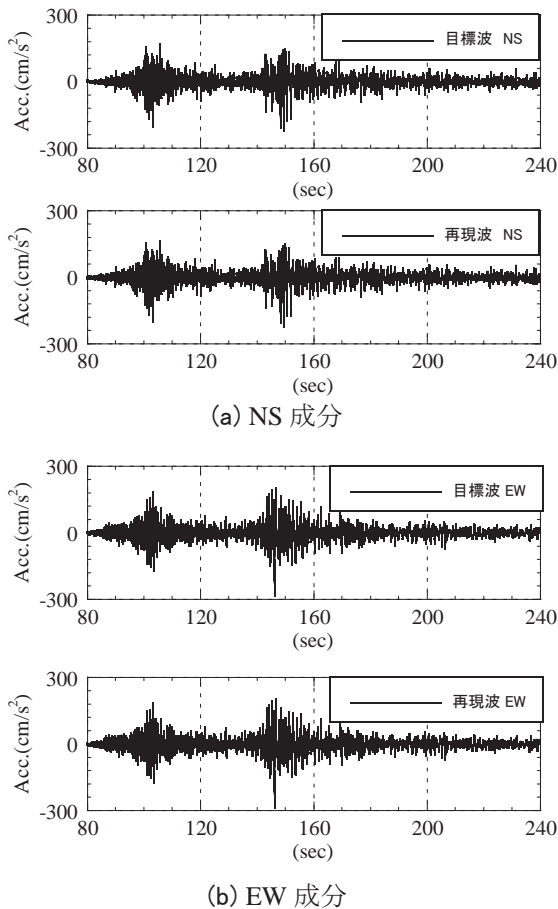


図4 東北地方太平洋沖地震(K-NET 古川)

なお、古川波において、観測記録（原波）の最大速度が 95cm/s を示しており、振動台の制約条件を超過しており、0.5 倍に縮小し再現実験を行う。また、大阪波において、原波の最大加速度が 7.26cm/s<sup>2</sup> と微振動であり、2 軸地震波振動台において、再現実験を行っているが、今後の複合免震・制震構造の模型実験に備えて、本論では、原波の約 8 倍に拡幅し再現実験を行っている。

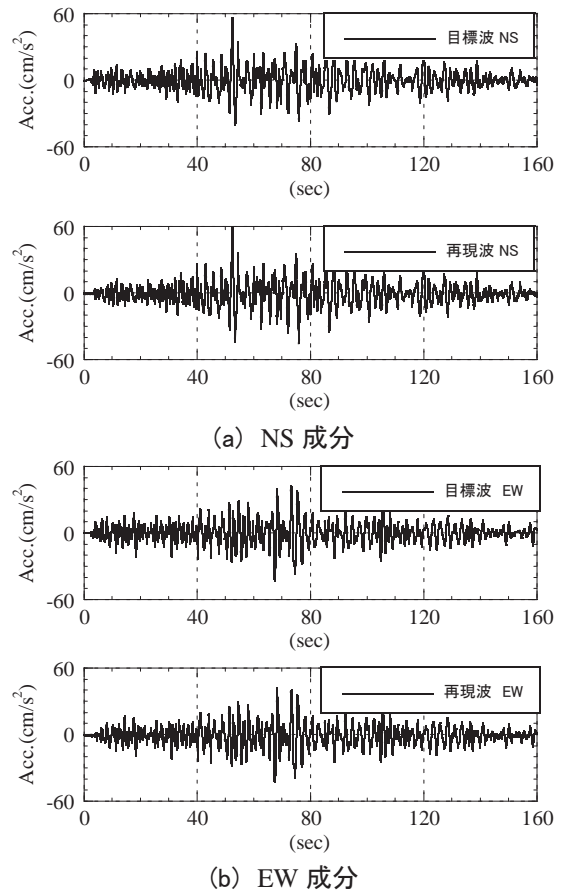


図5 東北地方太平洋沖地震(K-NET 大阪)

図6、7には、図4、5に示した目標波と再現波のフーリエスペクトルが描かれている。

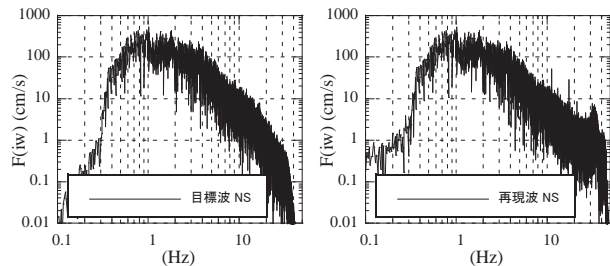


図6 東北地方太平洋沖地震(K-NET 古川)の周波数特性

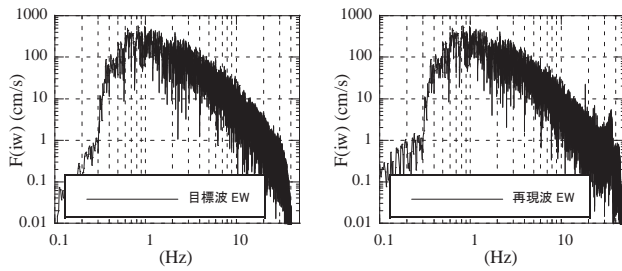


図6 東北地方太平洋沖地震(K-NET 古川)の周波数特性(Continued)

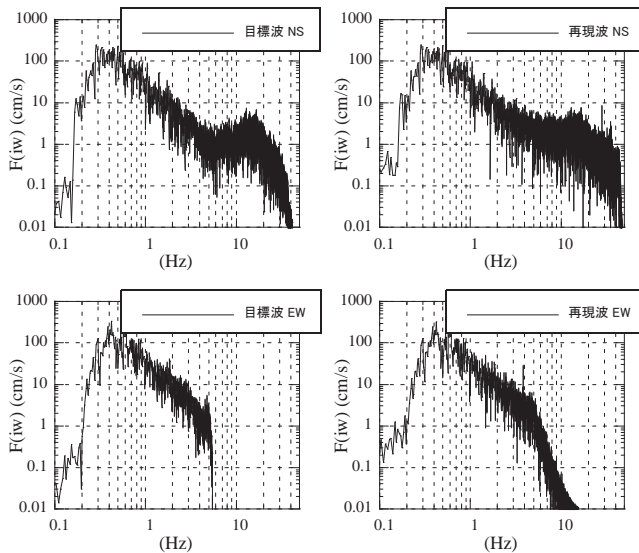


図7 東北地方太平洋沖地震(K-NET 大阪)の周波数特性

図4、5より、最大加速度及び位相は、ほぼ類似していることが判る。図6、7より、0.2~1Hz付近の周波数帯域において、よい一致を示しているが、30Hz以上の高周波数帯域において、やや異なる特性を示している。

表2に、目標波と再現波の最大加速度及びその比率を示している。表2より、再現波の再現性の誤差は、0.7~7%であり、大阪波においては、目標波と再現波に少し誤差が生じているように思える。

表2 目標波と再現波の最大加速度の比較

東北地方太平洋沖地震	目標波	再現波	再現波/目標波
	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	
古川 NS	221.83	223.96	1.010
古川 EW	285.56	287.69	1.007
大阪 NS	55.91	59.24	1.060
大阪 EW	52.15	55.79	1.070

### 3-3 再現波の軌跡

図8には、3.1、3.2節で再現した十勝沖地震(K-NET 苫小牧波)、東北地方太平洋沖地震(K-NET 古川波、大阪波)におけるNS、EW成分の変位軌跡を示す。

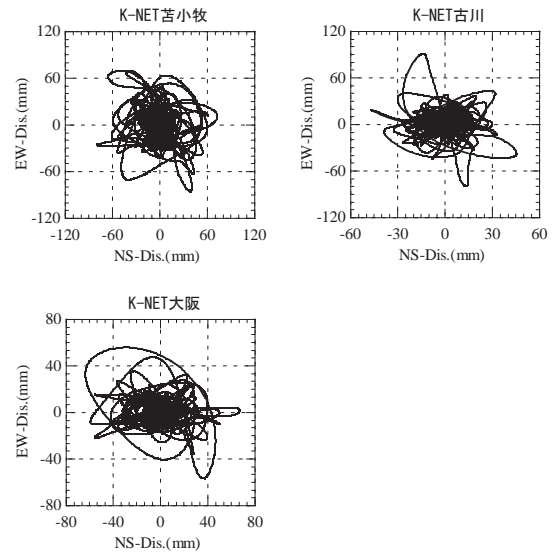


図8 再現波の変位軌跡

図8より、再現した3波とも振動台の変位振幅±125mm以内で再現できていることが確認できる。

### 4. まとめ

本論では、2軸地震波振動台を用いて2003年の十勝沖地震(K-NET 苫小牧波)、2011年の東北地方太平洋沖地震(K-NET 古川波、大阪波)の3波を再現した。これらの地震動の再現性について、目標波と再現波の最大加速度応答値及び周波数特性の観点から検証した。

周波数特性の観点から30Hz以上の高周波数帯域において若干違いが見られるが、地震動波形から見る限り、十分に再現できている。

今後は、これらの長周期地震動を用いた複合免震構造、制震構造、減震構造に関する振動実験を実施する予定である。この結果については、稿を改めて報告したい。

### 参考文献

- 1) (独)防災科学研究所：地震観測システム K-NET、<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin>
- 2) 中川肇：振動台を用いた長周期地震動の再現性に関する検証 - 東北地方太平洋沖(2011)、十勝沖(2003)及び紀伊半島南東沖(2004)地震の再現 - , 明石高専研究紀要, 第55号, pp.22~25, (2013)