

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—

中川 肇*

Demonstration of reappearance in the Long Period Ground Motion Using the Earthquake Shaking Table

- Reappearance of 2011 Off Pacific Coast of Tohoku, 2003 Tokachi offshore and
2004 Kii peninsula southeast offshore earthquakes-

Hajime NAKAGAWA

ABSTRACT

This paper presents the demonstration of reappearance in the long Period ground motions using one direction shaking table. The long Period ground motions based on the K-NET earthquake observation systems are the 2003 Tokachi offshore in the K-NET Tomakomai, the 2004 Kii peninsula southeast offshore in the K-NET Nishinomiya, and the 2011 off Pacific coast of Tohoku earthquakes. The Tohoku earthquake ground motions are two type waves observed in the K-NET Shinjuku and Osaka.

The demonstration of reappearance in the long Period ground motions are estimated for the maximum acceleration response and the frequency characteristics between earthquake wave recorded in the K-NET systems and earthquake wave reappeared using of the shaking table.

KEY WORDS: Reappearance of the long period ground motions, 2003 Tokachi offshore earthquake, 2004 Kii peninsula southeast 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)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。

2003年9月26日、午前4時50分、釧路沖を震源とするM8の十勝沖地震が発生した。この地震はプレート境界地震で、苫小牧市は不整形な堆積盆地構造上に位置していたために、継続時間が長く、やや長周期成分が卓越する長周期地震動と呼ばれている。2004年9月5日、午後11時57分、紀伊半島南東沖を震源とするM7.4の紀伊半島南東沖地震が発生した。この地震において、K-NET西宮、大阪、堺でやや長周期な地震動が観測されている。

一方、2011年3月11日、午後2時46分18秒、宮城県牡鹿半島の東南東(約130km)を震源とする

M9の東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震は前報¹⁾で示したように、震源域は幅200km、長さ500kmであり、低角のプレート境界内で2、3箇所の断層破壊が進行し連動型の巨大地震を引き起こしたと考えられている。本震は短周期の地震動であったが、東京都内、神奈川県横浜市、愛知県名古屋市、大阪市内では堆積盆地構造のため、やや長周期の地震動が観測されている。

平成23年度まで使用してきた3次元地震波振動台では、継続時間が60秒以内の短周期地震動の再現は可能であったが、振動台のストローク、最大加速度、継続時間の制約により、継続時間が60秒を超える長周期・長時間地震動を再現することは不可能であった。平成23年度末に振動台の駆動源であるクロスリニアガイドの摩擦係数を極限まで低減することにより、1方向加振ではあるが、継続時間が60秒を超える長周期・長時間地震動を再現す

*建築学科

ることは可能となった。

本論では、改良した1方向振動台を用いて、十勝沖地震、紀伊半島南東沖地震、東北地方太平洋沖地震を再現し、地震観測システム K-NET²⁾ (以下、K-NET) で観測された記録波形(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。

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

写真1に平成23年度まで使用してきた振動台の全景を示す。写真1に示すように、1m角の振動台を水平2方向、上下1方向の計3方向に加振できる振動台である。振動台は、永久電磁石型の振動台であったが、水平方向の最大加速度応答値が無負荷で0.42G、変位振幅が±75mmであり、平成7年の兵庫県南部地震以後、発生している内陸型の地震動を100%で再現することは不可能であった。

写真2に示すように、振動台の駆動部分であるリニアガイドの摩擦係数を極限まで小さくし変位振幅を±125mmまで増大させ、1m角での最大加速度が無負荷で0.375Gまで加振ができ、1m角の振動台とXY方向の加振機を切り離し、加振機単独で400mm角の振動台として使用できるように改良を施した。

この400mm角の振動台(写真3を参照)において、無負荷で1.76G、変位振幅で±125mmまで対応



写真1 3次元地震波振動台(改良前)



写真2 2方向地震波振動台(改良後)



写真3 400mm角の振動台

可能となり、従来、再現が不可能であった内陸型の1Gを超える地震動、地震動の継続時間が60秒を超え、長周期成分が卓越するやや長周期地震動が再現することが可能になった。

2.2 実験概要

本実験では、防災科学研究所が全国に設置しているK-NETを使用し、十勝沖地震(K-NET 苫小牧NS成分)、紀伊半島南東沖地震(K-NET 西宮NS成分)、東北地方太平洋沖地震(K-NET 新宿、大阪NS成分)を写真3に示す1方向振動台を用いて再現を行う。

K-NETで観測された記録波形を振動台に入力する場合、加振力の制約のために、0.5Hz(一部0.3Hz)以下をカットするハイパスフィルター処理を行っている。この波形を本論では、目標波と呼ぶ。また、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

3.1 十勝沖及び紀伊半島南東沖地震の再現

図1、2には、十勝沖地震、紀伊半島南東沖地震で観測された地震波を(a)図に示し、(a)図の目標波の位相、応答を再現した波形を(b)図に示している。

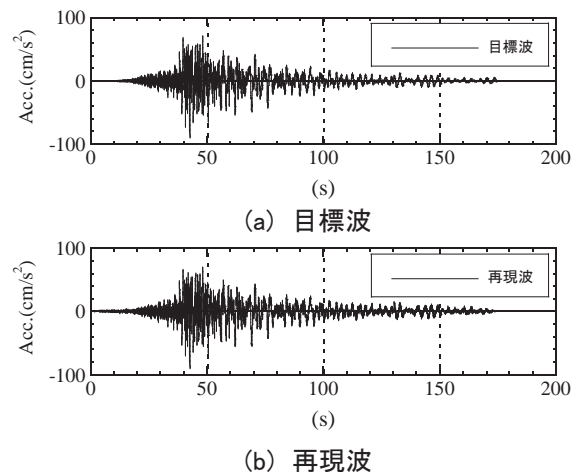


図1 十勝沖地震

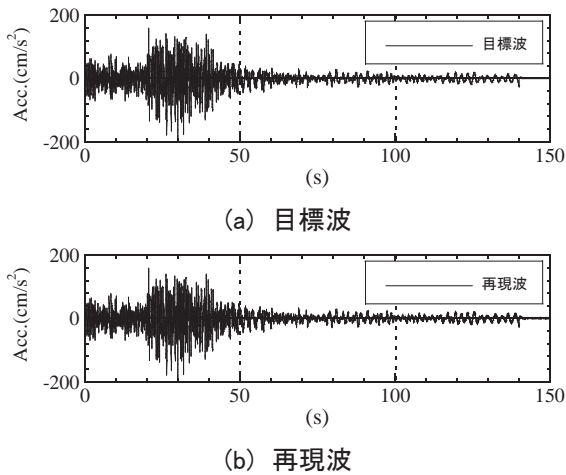


図2 紀伊半島南東沖地震

図1と2より、最大加速度及び位相は、ほぼ類似しており、90~100秒付近以降、再現波には若干の高振動数成分のノイズが見られる。これは、駆動源であるリニアガイド部分の摩擦が若干影響を及ぼしているが、地震波を再現する上での問題とはならないと判断している。

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、両者の最大加速度はほぼ同じである。

表1 目標波と再現波の最大加速度の比較

地震波名	目標波	再現波	再現波/目標波
	最大加速度 (cm/s ²)	最大加速度 (cm/s ²)	
十勝沖	89.65	89.95	1.003
紀伊半島南東沖	198.90	199.05	1.001

図3、4には、図1、2に示した目標波及び再現波のフーリエスペクトルを示している。十勝沖及び紀伊半島南東沖地震とも40Hz以降の高周波数側で若干異なるが、ほぼ類似した周波数特性を示している。

図3、4の目標波のフーリエスペクトルにおいて、0.3Hzがフラットになっているのは、2.2節の実験概要で述べたように、振動台の加振条件の制約のために0.3Hz以下の振動をハイパスフィルターでカットしたためである。

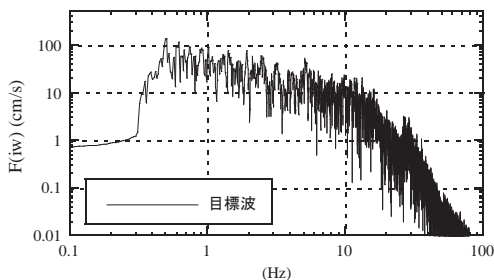


図3 十勝沖地震の周波数特性の比較

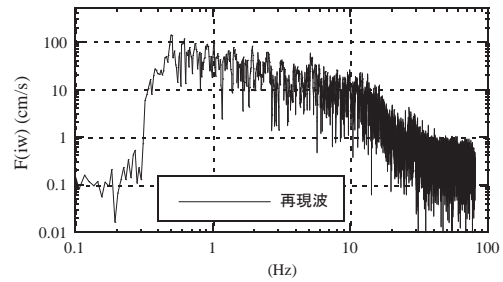


図3 十勝沖地震の周波数特性の比較(Continued)

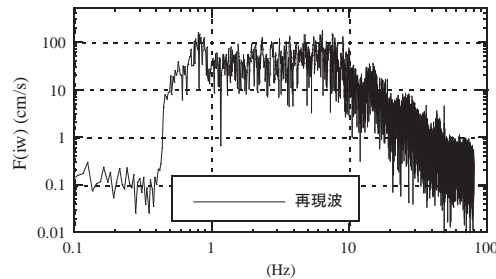
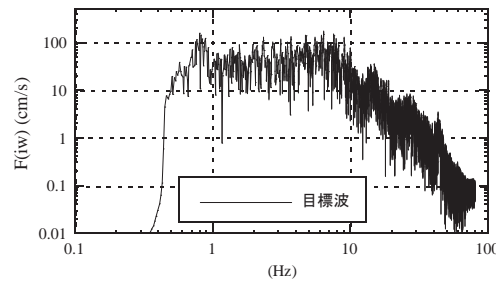
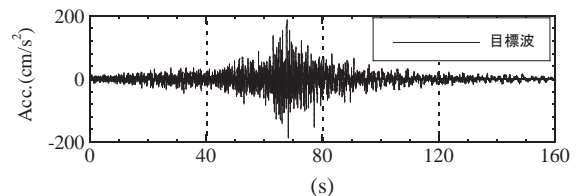


図4 紀伊半島南東沖地震の周波数特性の比較

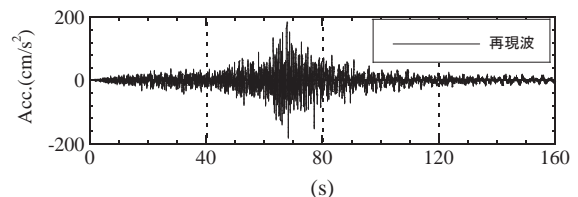
図3、4より、目標波と再現波のフーリエスペクトルを比較すると30Hz以降の高周波数でやや異なる傾向となっている。しかし、共振点がある約0.4Hz~10Hzのスペクトル特性は同じことが判る。

3.2 東北地方太平洋沖地震の再現

図5、6には、東北地方太平洋沖地震で観測されたK-NET新宿、大阪波を写真3の1方向振動台に入力し、0.3Hz以下のハイパスフィルター処理を適用した目標波及び再現波を示している。



(a) 目標波



(b) 再現波

図5 東北地方太平洋沖地震(K-NET 新宿)

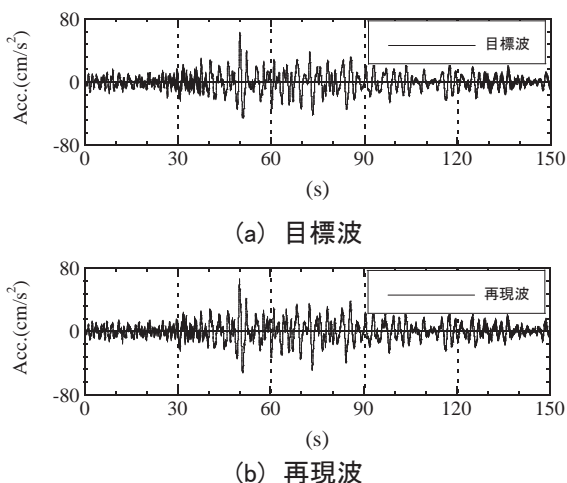


図 6 東北地方太平洋沖地震(K-NET 大阪)

図 5、6 より、地震動の継続時間が 150 秒程度の長周期でかつ長時間の地震動であっても目標波にほぼ類似した波形で再現できていることが判る。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 1 より、両者の最大加速度はほぼ同じであるが、3.1 節の十勝沖及び紀伊半島南東沖地震の再現性より若干、低下していると言える。

表 2 目標波と再現波の最大加速度の比較

観測地点	目標波	再現波	再現波/目標波
	最大加速度 (cm/s^2)	最大加速度 (cm/s^2)	
K-NET 新宿	186.93	184.61	0.988
K-NET 大阪	62.73	65.02	1.036

図 7、8 には、図 5、6 に示した K-NET 新宿、大阪での目標波及び再現波のフーリエスペクトルを示している。図 7 より、K-NET 新宿波において、卓越周波数のピークが現れず、0.4~8Hz まで一定と

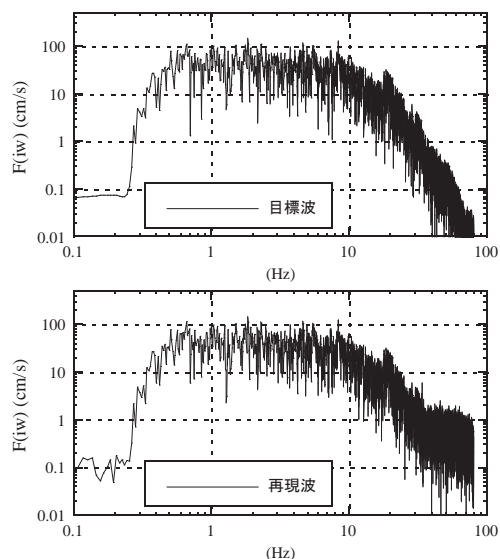


図 7 K-NET 新宿での周波数特性の比較

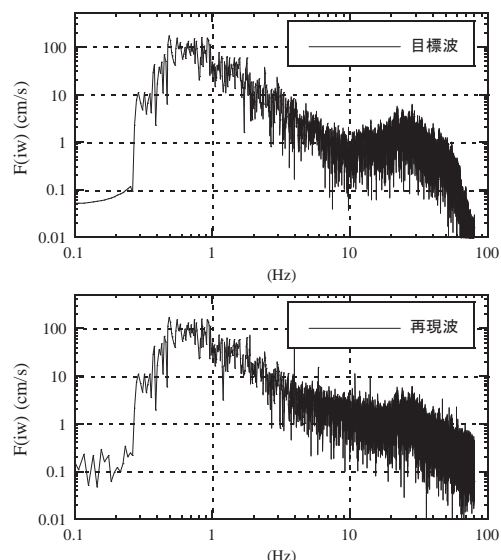


図 8 K-NET 大阪での周波数特性の比較

なっていることが判り、目標波と再現波の周波数特性については、30Hz 以降で若干異なる傾向をしている。また、図 8 より、K-NET 大阪波の卓越周波数は 0.4Hz 付近に存在し、目標波において、30Hz 付近に 2 次卓越周波数が見られる。一方、再現波において、目標波ほど顕著な 2 次卓越周波数は見られないが、ピークは存在している。以上より、東北地方太平洋沖地震において、やや長周期、継続時間が 120 秒以上の地震動を再現することは可能である。

4. まとめ

本論では、十勝沖地震 (K-NET 苫小牧波)、2004 年の紀伊半島南東沖地震 (K-NET 西宮波)、2011 年の東北地方太平洋沖地震 (K-NET 新宿波、大阪波) の 4 波を 1 方向地震波振動台で再現した。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高周波数帯域で若干異なるが、地震動波形から見ると十分再現できていると思う。

今後は、これらの長周期地震動を用いた免震構造、制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と思う。

参考文献

- 1) 中川肇：東北地方太平洋沖地震に関する現地調査報告及び地震動特性，明石高専研究紀要，第 54 号，pp.30~38，(2012)
- 2) (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/>