

ISSN 1346-7328  
国総研資料 第 866 号  
ISSN 0286-4630  
建築研究資料 第 167 号  
平成 27 年 10 月

## 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE

National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 866

October 2015

## 建築研究資料

Building Research Data

No. 167

October 2015

# 地震観測に基づく地盤-建築構造物の動的相互作用 に関する研究

小豆畑達哉・井上波彦・飯場正紀・鹿嶋俊英・小山信・  
中川博人・田沼毅彦・森田高市

Study on dynamic soil-building structure interaction  
based on strong motion observation

Tatsuya AZUHATA, Namihiko INOUE, Masanori IIBA, Toshihide KASHIMA, Shin KOYAMA,  
Hiroto NAKAGAWA, Takehiko TANUMA and Koichi MORITA

## 国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

## 国立研究開発法人 建築研究所

Building Research Institute

National Research and Development Agency, Japan



## 地震観測に基づく地盤-建築構造物の動的相互作用に関する研究

小豆畑 達哉	*
井上 波彦	**
飯場 正紀	***
鹿嶋 俊英	*
小山 信	****
中川 博人	****
田沼 毅彦	*****
森田 高市	**

### 概要

本資料は、国土技術政策総合研究所、(独)建築研究所及び(独)都市再生機構の3者により、2010-2013年度に実施した地盤-建築物の同時地震観測に関する共同研究の成果を取りまとめたものである。本研究では、地盤-構造物の動的相互作用(SSI)に着目して、地盤-建築物の同時地震観測点の拡充と、地震観測記録の収集、整理及び分析に取り組んでいる。

まず、地震観測記録の整理方法を定めた上で、記録の整理結果に基づき建築物の階数等に応じたSSIの様相を大局的に把握している。次に、SSIによる建築物の地震応答低減効果を定量的に表示する方法を提案し、2011年東北地方太平洋沖地震を含む観測記録に基づき、いくつかの建築物事例について建築物への地震入力と地震応答に対するSSIの影響を分析している。また、基礎入力動に関する既往の簡易評価方法の妥当性を、地震観測記録を用いて検証し、建築物への入力損失効果に対する基礎構造形式等の影響を検討している。

なお、本共同研究は、国土技術政策総合研究所の総合技術開発プロジェクト(総プロ)「地震動情報の高度化に対応した建築物の耐震性能評価技術の開発」(2010-2013年度)が着手されたのを機に実施された。本共同研究では、総プロに地震観測記録と地震観測点の情報を提供するとともに、そこでの検討を踏まえ記録の整理・分析に取り組んだが、本書はこれらの活動の成果を報告するものである。

キーワード：強震観測、地盤-構造物の動的相互作用、2011年東北地方太平洋沖地震、建築物の設計用地震力

- 
- \* 国立研究開発法人建築研究所 国際地震工学センター
  - \*\* 国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部
  - \*\*\* 北海道大学大学院 工学研究院 教授(元・独立行政法人建築研究所)
  - \*\*\*\* 国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ
  - \*\*\*\*\* 国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ(元・独立行政法人都市再生機構)

## Study on soil-building structure dynamic interaction based on strong motion observation

Tatsuya AZUHATA	*
Namihiko INOUE	**
Masanori IIBA	***
Toshihide KASHIMA	*
Shin KOYAMA	****
Hiroto NAKAGAWA	****
Takehiko TANUMA	*****
Koichi MORITA	**

### Synopsis

This report presents findings of joint research for strong motion observation on buildings and ground surfaces conducted by three organizations, which are National Institute for Land and Infrastructure Management (NILIM), Building Research Institute (BRI) and Urban Renaissance Agency (UR) from FY2010 to FY2013. In this joint research, we increased observation stations where we can acquire seismic records both in a building and on the surrounding ground surface to investigate soil-structure dynamic interaction (SSI), collected and processed seismic observation records, and analyzed them.

At first, we determined a data-processing rules of seismic observation records and found general aspects of the SSI effects focusing on structural parameters such as a number of building stories based on these records. Then we proposed the method to evaluate quantitatively the reduction effects of building structure response by the SSI and analyzed the SSI effects to foundation input motion and responses of some buildings using seismic observation records observed in some earthquakes which include the 2011 Off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. Furthermore we examined the validity of existing simple prediction methods for the foundation input motion using seismic observation records and investigated the effects of foundation structural type etc. to input loss on building foundation.

This joint research was undertaken in conjunction with the general technology development project (Sopro) by NILIM titled "Development of seismic performance evaluation technologies of buildings corresponding to advanced earthquake motion information (FY2010-FY2013)". The joint research team provided the Sopro with seismic records and information about observation stations, and processed and analyzed these records based on discussion results in the Sopro. This reports presents the achievement by this activity.

Key Words : Strong motion observation, Dynamic effect of soil-structure interaction, the 2011 Off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Seismic design force of building structure

- 
- \* Building Research Institute, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering
  - \*\* National Institute for Land and Infrastructure Management, Building Department
  - \*\*\* Professor, Hokkaido University, Graduate School of Engineering (formerly, Building Research Institute)
  - \*\*\*\* Building Research Institute, Department of Structural Engineering
  - \*\*\*\*\* Building Research Institute, Department of Structural Engineering (formerly, Urban Renaissance Agency)

## はしがき

海溝型等の巨大地震の発生がかなりの確率で予想される中、建築物に対する安全確保をより確実なものとするため建築物への地震入力と応答をより精度良く予測することの必要性が以前にも増して高まっている。

このような状況の下、国土技術政策総合研究所(国総研)において、2010年度より4年計画で総合技術開発プロジェクト「地震動情報の高度化に対応した建築物の耐震性能評価技術の開発」(総プロ)が実施されることとなった。本総プロは、地盤-建築物の同時地震観測記録の分析等に基づき、建築物の地震入力、応答に関する評価技術を点検、整備していくことを目的とした。

本総プロの前提となる地盤-建築物の同時地震観測は、国総研のみで実施することはほぼ不可能であったことから、2009年の総プロの計画段階から、国総研より、(独)建築研究所<sup>注1)</sup>(建研)、及び、(独)都市再生機構(UR 都市機構)に、共同で、建築物の地震観測記録を収集、分析することの依頼、提案がなされ、総プロの実施に合わせ、国総研、建研及びUR 都市機構の三者による地震観測に関する共同研究体制が構築された。

一方、建研では、1950年代から建築物の地震観測を一貫して実施しており、地盤-建築物の同時地震観測も主要なテーマの一つとしてきた。このような地震観測の取り組みの中で、建研においては、総プロが着手されたのを機に、基盤研究「建物を対象とした地震観測」(2009～2011年度)及び「建物の強震観測とその利用技術」(2012～2014年度)により、国総研及びUR 都市機構と連動して、これまでの観測記録と地震観測点の情報を整理し直し、その結果を、本共同研究を通し総プロに提供するとともに、総プロにて検討された観測記録の整理、分析方針と方法を、建研による今後の建築物の地震観測に取り入れることとした。

建築物の地震入力、応答をより精度良く評価するには、地盤-構造物の動的相互作用効果の影響を把握することが不可欠であるが、その影響を実証的側面から解明するには、地盤-建築物の同時地震観測記録を必要とする。しかしながら、この種の地震記録は、K-NET等の地盤上での記録と比較すると圧倒的に不足しているのが実状である。

そこで、本共同研究では、まず、地盤-建築物の同時地震観測点の拡充を図るとともに、統一的な整理方法を定め、2009年度以前のものも含め観測記録の収集整理を行った。2010-2013年度の研究期間には、新たな地震観測点として27棟分を追加した。また、2011年の東北地方太平洋沖地震においては、本書第2章に示す通り、低層から超高層までの複数の建築物で地盤及び上部構造の非線形現象を観測した。

整理した記録からは、建築物の階数、基礎形式等に応じた地盤-構造物の動的相互作用の影響を大局的に把握するとともに、これによる建物応答低減効果について定量的に分析し、さらに、入力損失効果を含む基礎入力動の既往の簡易評価式の妥当性の検証等を行った。

本共同研究の概要は以上の通りであるが、これらは、総プロでの委員会「地震動情報の高度化に対応した建築物の耐震性能評価技術の開発委員会」での検討を踏まえて実施している。この間、地震観測記録の収集、整理、分析方針の策定や分析結果の解釈等において、委員の方々には、大変、有益なご助言を頂いた。ここに記して謝意を表する次第である。

本資料は、地盤-建築物の同時地震観測に関する共同研究の成果を「地震観測に基づく地盤-建築構造物の動的相互作用に関する研究」として報告するものである。建築物における地盤-構造物の動的相互作用に係る地震観測の情報とそこから得られる知見を提供することで、動的相互作用を含め、建築物の耐震性能をよ

り詳細に評価するための一助として、活用されることを大いに期待する。

平成 27 年 10 月

国土交通省国土技術政策総合研究所	副所長	井上 勝徳
国立研究開発法人建築研究所	理事長	坂本 雄三

注 1) 現、国立研究開発法人建築研究所

# 地震観測に基づく地盤-建築構造物の動的相互作用に関する研究

## 目次

第1章 はじめに	1-1
1.1 研究の背景	1-1
1.2 研究体制	1-2
1.3 研究の目的・意義	1-4
1.4 本書の構成	1-5
第2章 本研究での建築物地震観測と観測記録の整理結果	2-1
2.1 本研究での観測対象建築物	2-1
2.2 地震観測記録の整理項目	2-5
2.3 建築物区分に応じた地震観測記録の整理結果	2-10
2.3.1 建築物区分について	2-10
2.3.2 区分Ⅰ(5F以下)の建築物について	2-11
2.3.3 区分Ⅱ(6F~10F)の建築物について	2-18
2.3.4 区分Ⅲ(11F~20F)の建築物について	2-23
2.3.5 区分Ⅳ(21F)の建築物について	2-27
2.3.6 区分Ⅴ(免震)の建築物について	2-30
2.3.7 考察	2-32
2.4 まとめ	2-33
第3章 地盤 - 構造物の動的相互作用の分析	3-1
3.1 はじめに	3-1
3.2 同定に基づく方法による分析	3-2
3.2.1 同定に基づく方法について	3-2
3.2.2 地盤 - 構造物の動的相互作用に関する分析	3-11
3.3 シミュレーションに基づく分析	3-52
3.4 まとめ	3-59
第4章 基礎入力動の簡易評価	4-1
4.1 はじめに	4-1
4.2 基礎構造の根入れ深さに基づく方法	4-1
4.2.1 原田の提案式について	4-1
4.2.2 地震記録との対応について	4-18
4.3 基礎構造の根入れ深さと表層地盤の1・2次卓越振動数での 変位分布に基づく方法	4-21
4.3.1 限界耐力計算における方法と改良法の概要	4-21
4.3.2 建築物への基礎入力動に関する検討	4-22

4.4 まとめ	・ ・ ・ ・ ・	4-26
第5章 まとめ	・ ・ ・ ・ ・	5-1
5.1 本研究の成果	・ ・ ・ ・ ・	5-1
5.2 今後の課題	・ ・ ・ ・ ・	5-2
付録1 地震観測に関する補足的情報	・ ・ ・ ・ ・	付 1-1
1.1 (独)建築研究所による地震観測点一覧	・ ・ ・ ・ ・	付 1-1
1.2 本研究で用いた地震観測機器等	・ ・ ・ ・ ・	付 1-4
付録2 地震観測建築物 12 棟の地震記録整理結果	・ ・ ・ ・ ・	付 2-1
2.1 建築物 UTM	・ ・ ・ ・ ・	付 2-3
2.2 建築物 EDG	・ ・ ・ ・ ・	付 2-7
2.3 建築物 TKS	・ ・ ・ ・ ・	付 2-11
2.4 建築物 NIT	・ ・ ・ ・ ・	付 2-16
2.5 建築物 ANX	・ ・ ・ ・ ・	付 2-21
2.6 建築物 OHJ	・ ・ ・ ・ ・	付 2-26
2.7 建築物 NRK	・ ・ ・ ・ ・	付 2-30
2.8 建築物 UKM	・ ・ ・ ・ ・	付 2-35
2.9 建築物 HMB	・ ・ ・ ・ ・	付 2-39
2.10 建築物 SN2	・ ・ ・ ・ ・	付 2-43
2.11 建築物 CG7	・ ・ ・ ・ ・	付 2-48
2.12 建築物 URM	・ ・ ・ ・ ・	付 2-53
別添 地震観測建築物のシミュレーション		
1. はじめに	・ ・ ・ ・ ・	別 1-1
2. 建築物 UTM(3F+B1F,直接基礎)について	・ ・ ・ ・ ・	別 2-1
3. 建築物 EDG(3F,杭基礎)について	・ ・ ・ ・ ・	別 3-1
4. 建築物 TKS(5F,杭基礎)について	・ ・ ・ ・ ・	別 4-1
5. 建築物 NIT(6F,杭基礎)について	・ ・ ・ ・ ・	別 5-1
6. 建築物 ANX(8F+B1F,直接基礎)について	・ ・ ・ ・ ・	別 6-1
7. 建築物 UKM(20F, 杭基礎)について	・ ・ ・ ・ ・	別 7-1
8. 建築物 SN2(32F+B1F,杭+連壁基礎)について	・ ・ ・ ・ ・	別 8-1