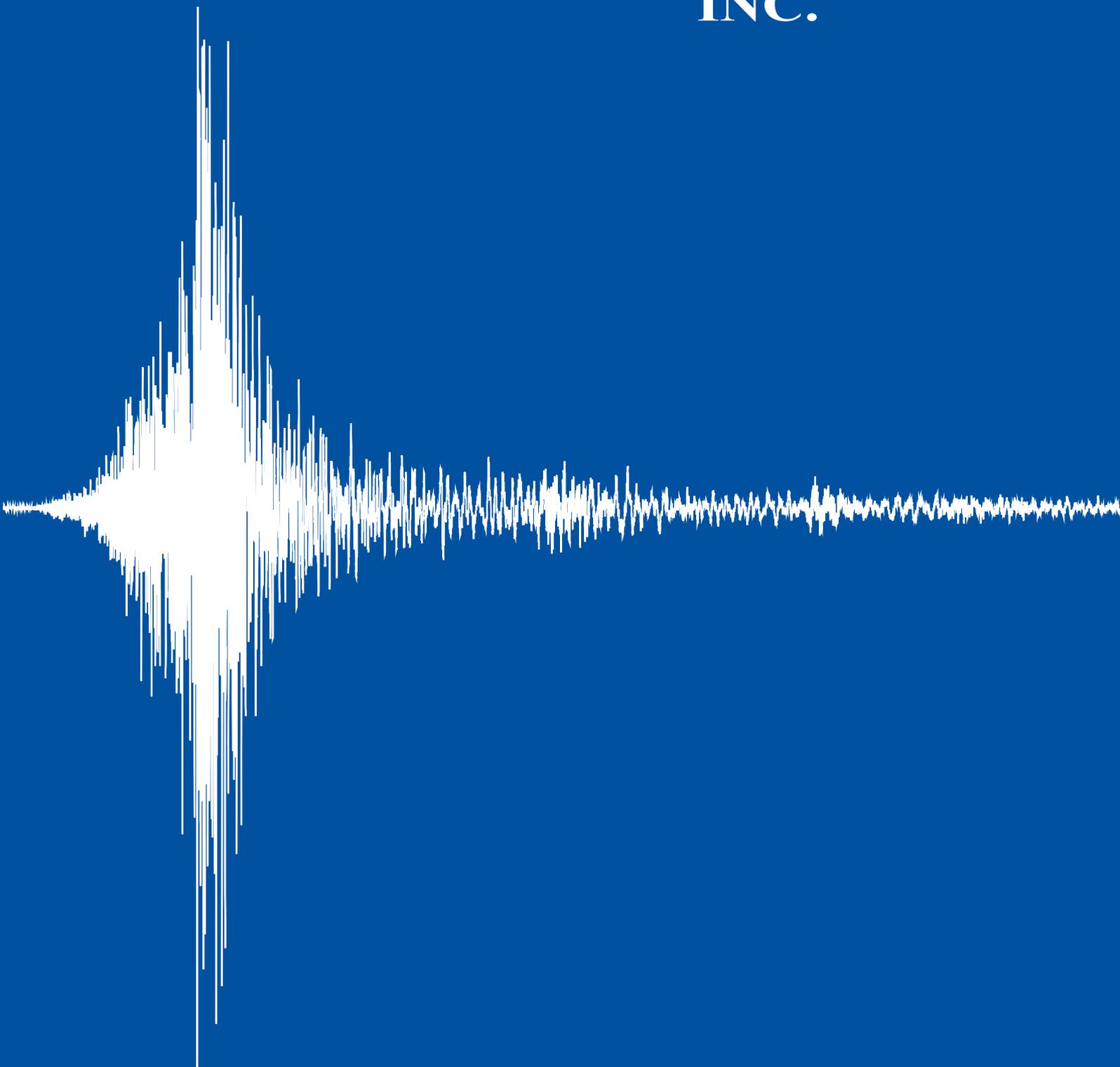


2021 年  
KOBORI   
RESEARCH  
COMPLEX  
INC.



## 会社概要

企業名	株式会社 小堀鐸二研究所 通称「小堀研」 (英文名 KOBORI RESEARCH COMPLEX INC.)		
設立	1986年11月1日		
登録	一級建築士事務所東京都知事登録 第29193号 ISO9001 認証MSA-QS-3912		
資本金	2000万円		
株主	電源開発株式会社 東芝エネルギーシステムズ株式会社 株式会社日立製作所 三井不動産株式会社 三菱地所株式会社 かたばみ興業株式会社 八千代エンジニアリング株式会社 株式会社アルテス		
所在地	〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 TEL 03-5561-2421 FAX 03-5561-2431		
取締役 および 監査役	代表取締役社長 常務取締役 取締役 伊藤 康行 藤野 篤	中島 正愛 加藤 研一 佐藤 周吾 櫻井 隆喜 伊藤 康行 藤野 篤	大堀 正博 川村 浩 吉貝 滋 兼近 稔
	監査役	市橋 克典	小栗 薫
執行役員	社長執行役員 常務執行役員	中島 正愛 加藤 研一	執行役員 神田 克久 佐藤 周吾

## 社長メッセージ

我が国の安寧に欠かせない地震災害の抑止と軽減について、当社は創設以来、耐震工学に関わる「先進技術」の開発に、災害の「予測」「予防」「対応」という三つの側面から取り組んでまいりました。現在は、地震発生から強震動の生成に至る過程、地盤条件に伴う強震動の増幅、構造物・基礎・地盤の相互作用、構造物の応答評価と制震機構による応答制御、地震時の構造物健全度判定、リスク評価・BCP 対応など、「予測」「予防」技術の進化に努めるとともに、これら技術の ICT 等を援用したシームレスな融合をもって、発災時「対応」の高度化に注力しています。詳細につきましては次頁以降をご覧ください。

迫り来る少子化とグローバル化への対応は、我が国が直面する喫緊の課題です。災害の「予測」「予防」「対応」の最前線に立つ人材確保には、縦割りを超えた有機的な「人的資源の融合」が求められます。またグローバル展開においては、各国や地域が持つ固有の歴史、文化、生活等を理解した上で我が国の長を訴求する、「適応の心構え」が必須です。当研究所は、産官学をまたぐ人的ネットワークづくりや、海外の有力大学や民間事業者等との共同研究・事業の推進を通じて、産官学の融合を指向する人材やグローバル化に伍してゆける人材を養成することを、使命の一つとして精進を重ねてまいる所存です。

一層のご指導とご鞭撻を謹んでお願い申し上げます。

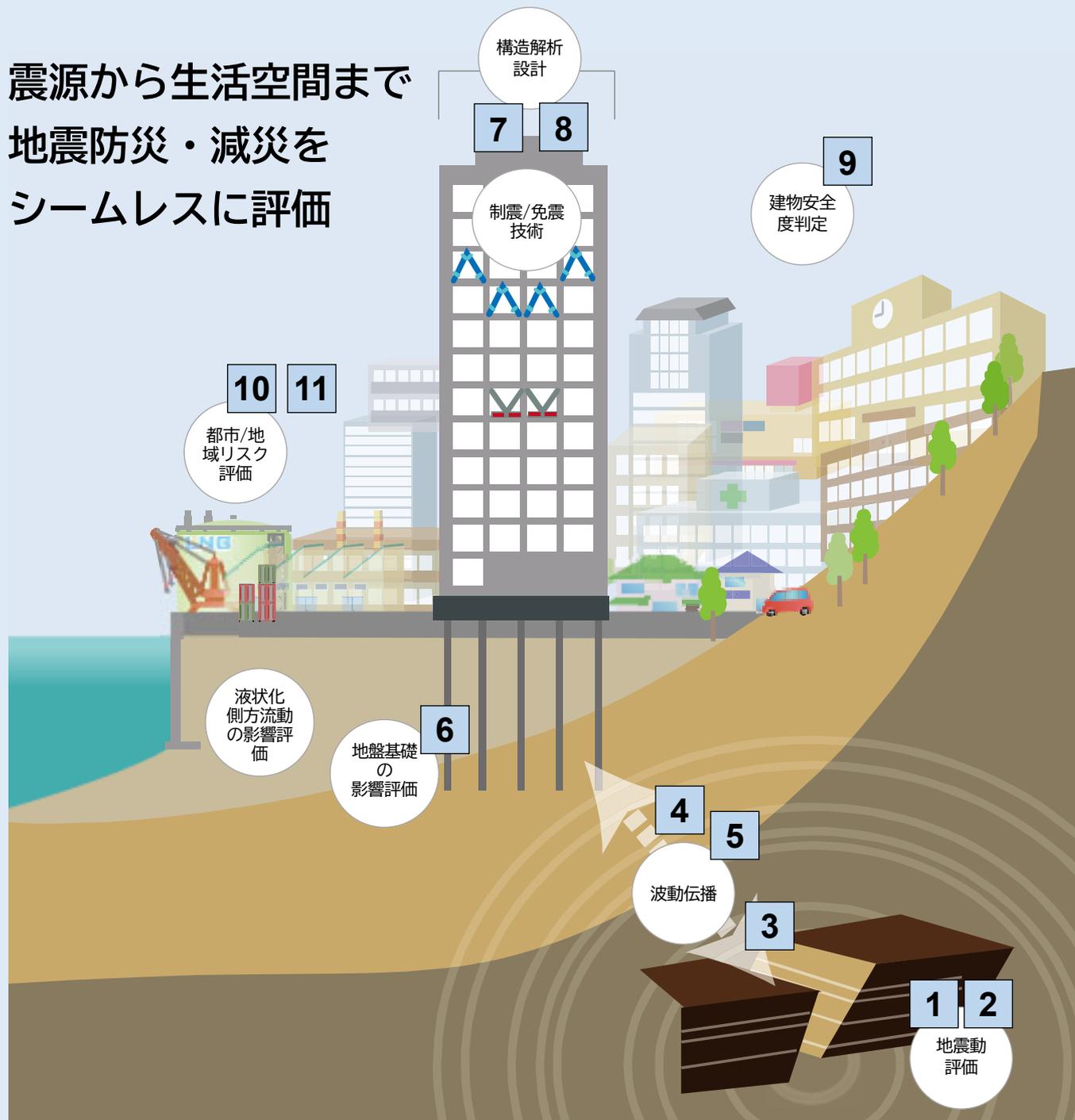
2021年6月

なかしま まさよし  
中島 正愛

株式会社 小堀鐸二研究所 社長  
京都大学 名誉教授  
国際地震工学会 会長  
米国工学アカデミー 外国人会員



# 震源から生活空間まで 地震防災・減災を シームレスに評価



## 2021 年度掲載テーマ

1. 超高層・免震建築物の耐震性検討に資する入力地震動評価……………P3
2. 動力学的断層モデルによる2013年栃木県北部の地震の強震動シミュレーション……………P3
3. 富岳を用いた大規模地震動計算に向けた計算コードの検証解析……………P3
4. 2018年北海道胆振東部地震で震度7相当を記録した地震観測点における地下構造評価……………P4
5. 1948年福井地震の地震動シミュレーション……………P4
6. 既存杭を含む敷地での新築建物の設計法の構築に向けた解析的検討……………P4
7. 告示波を超える大地震に対する超高層鉄骨造建築物の耐震安全性評価方法……………P5
8. 日米共同研究による耐震性能設計手法とそれぞれの設計手法による超高層建築物の日米比較……………P5
9. 2021年2月13日福島県沖の地震における建物安全度判定支援システム『q-NAVIGATOR<sup>®</sup>』……………P6
10. IoTネットワーク技術を活用した都市建物格付けシステムの開発……………P6
11. 長周期地震動による都市機能障害の事例調査と復旧戦略評価……………P6

## 1 超高層・免震建築物の耐震性検討に資する入力地震動評価

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震は東北から関東にかけて大きな揺れをもたらし、超高層建築物や免震建築物など固有周期の長い構造物においては、長周期地震動への対応が以前にも増して重要な課題となりました。2016年には国土交通省から、南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策の必要性が示されましたが、関東地域では1923年大正関東地震などの相模トラフ沿いの巨大地震への配慮も併せて求められています。また、建設地域や建築物の特性を踏まえた上で、大正関東地震だけでなく、周辺で過去に発生した地震や今後の発生が想定されている地震を考慮した地震動評価が重要となります。当社では、最新の知見を適宜反映しながら、地震動評価技術を開発・整備しており、今後も公的機関等の動向に注視しつつ、設計支援の強化を図ります。

浜松町二丁目地区第一種市街地再開発事業に伴う建設工事

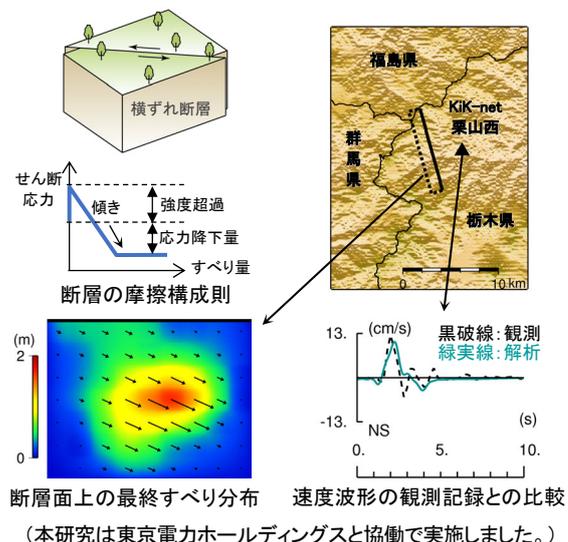


建築主：浜松町二丁目地区市街地再開発組合  
入力地震動評価の適用例

## 2 動力学的断層モデルによる2013年栃木県北部の地震の強震動シミュレーション

動力学的断層モデルは、断層面内の各部のすべりが相互に影響し合う効果を物理的に解くことができる特長を有しています。精度の高い結果を得るためには断層の摩擦構成則におけるパラメータ設定が鍵となります。そこで地震観測記録の再現性の観点から、これまでに2016年鳥取県中部の地震(M6.6)、2014年長野県北部の地震(M6.7)および2016年熊本地震(M7.3)を検討してきました。

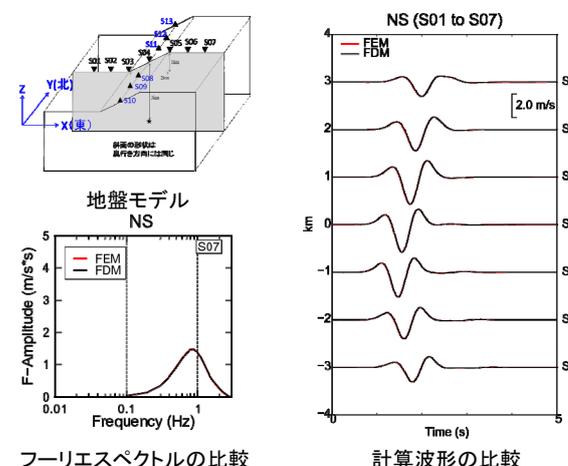
検証事例を増やすために、横ずれ断層破壊を起こした2013年2月25日栃木県北部の地震(M6.3)を対象に検討を進めました。運動学的なインバージョン(逆解析)結果から摩擦構成則のパラメータの空間分布を適切に与えることにより、動力学的断層モデルで断層面上の最終すべり分布と震源近傍の強震動の両方を精度よく再現できることを確認しました。



## 3 富岳を用いた大規模地震動計算に向けた計算コードの検証解析

現在、文部科学省「富岳」成果創出加速プログラム「大規模数値シミュレーションによる地震発生から地震動・地盤増幅評価までの統合的予測システムの構築とその社会実装」において、当該プロジェクトで開発した大規模有限要素法であるE-wave FEMを用いた長周期地震動計算手法を、重要構造物に対するサイト波設定の実務に適用する取り組みが進められています。

当社は、同プロジェクトにおいて、海洋開発研究機構、東京大学、理化学研究所と協同で、E-wave FEMと実務で多くの適用事例のある有限差分法FDMとの計算コードの検証解析を進めています。単純な地盤モデルを設定して計算し、両手法の結果がほぼ一致することを確認しました。今後はより現実に近い地盤モデルを設定して計算を行い、検証解析を進めていく予定です。

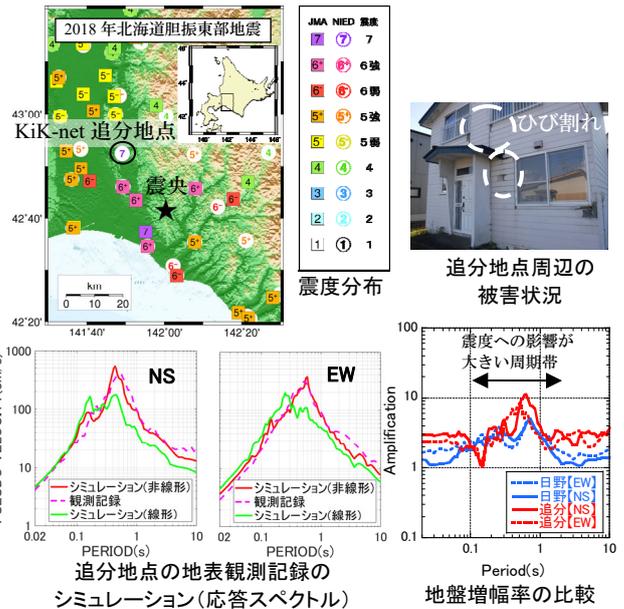


文部科学省「富岳」成果創出加速プログラムの一環で実施しました。FEMによる地震動計算は、東京大学情報基盤センターと筑波大学計算科学研究センターが共同運営する、最先端共同HPC基盤施設のスーパーコンピュータOakforest-PACSの計算資源の提供を受けました。FDMによる地震動計算には、海洋開発研究機構の地球シミュレータを使用しました。

## 4 2018年北海道胆振東部地震で震度7相当を記録した地震観測点における地下構造評価

2018年北海道胆振東部地震において、KiK-net追分地点(以後、追分地点と略す)では震度7相当が観測されましたが、周辺に目立った地震被害はありませんでした。震度が大きいにもかかわらず被害が小さかった要因として、追分地点には特異な地盤増幅があった可能性が考えられます。当社では、記録に基づく現象解明のため、地盤条件の観点から同地点の震度7の発生要因の検討に取り組んでいます。

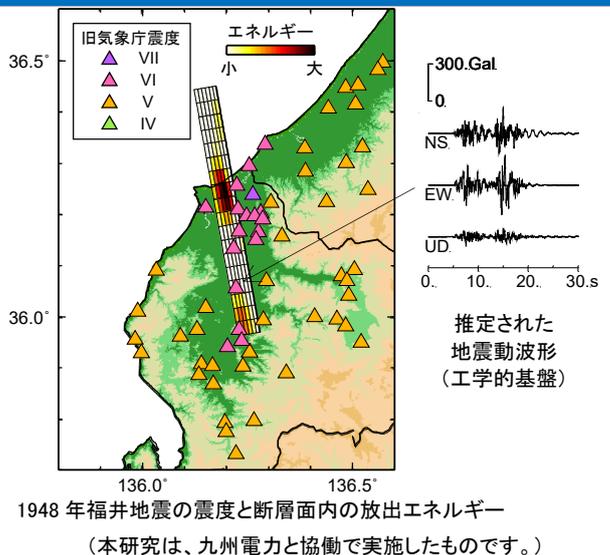
弱震時の地盤増幅率は地盤モデルから求められますが、強震時には表層地盤が大きく歪んで見かけ上軟らかくなり、固有周期が変化する非線形化の特徴があります。線形時(弱震時)の地盤モデルと非線形時のひずみ依存特性の評価を通して、追分地点の地盤増幅率を推定しました。過去に震度7相当が観測された他の記録(KiK-net日野地点)との比較から、追分地点では地盤増幅率が特に顕著で、これが大震度を引き起こした要因になりうることを示しました。



## 5 1948年福井地震の地震動シミュレーション

1948年(昭和23年)福井地震は都市部の直下で発生し、死者3,700人を超える甚大な被害をもたらした内陸地殻内地震です。このような歴史地震の震源特性を明らかにし、当時の地震動を再現することは、将来発生が懸念される内陸地殻内地震の防災対策を考える上で重要です。

当社では、この地震の震源特性を明らかにするために、当時のアンケート資料などに基づく震度データを用いて、断層面内で大きなエネルギーを放出した場所を推定する、震度インバージョン解析を行いました。この情報に基づき震源モデルを構築し、福井地震の地震動シミュレーションを行いました。その結果、震度VIやVIIを再現する地震動波形が得られました。このような歴史地震から得られた情報を、将来の地震動予測に活用し、防災に役立てていく予定です。

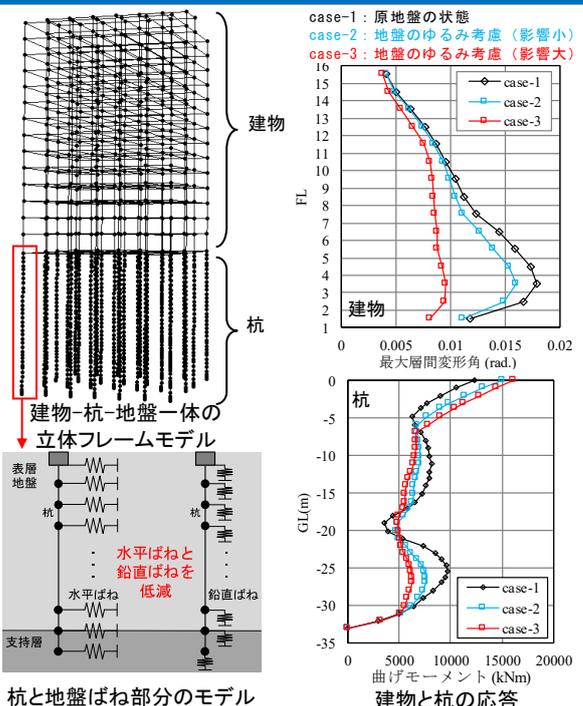


## 6 既存杭を含む敷地での新築建物の設計法の構築に向けた解析的検討

国土交通省の総合技術開発プロジェクト「建築物と地盤に係る構造規定の合理化による都市の再生と強靱化に資する技術開発」(令和2~5年度)では、既存杭を含む敷地での新築建物の合理的な設計法の構築に向けた検討を行っています。当社では、その一環として、既存杭の撤去に伴う地盤のゆるみが建物に与える影響を検討しました。

対象はSRC造14階建ての事務所建物で、建物-杭-地盤を一体とした立体フレームモデルを作成しました。このモデルの地盤ばねについて、原地盤の状態と、地盤のゆるみによればねが低減した状態を対象とした地震応答解析を行い、ゆるみの影響を検討しました。

建物については、地盤ばねの低減によって、建物と地盤の相互作用の影響が大きくなることで、原地盤の状態よりも層間変形角は大きく低減しました。一方、杭については、その影響で杭頭位置の応力が大きくなりました。このように、地盤のゆるみが、建物と杭の両方の応答に影響を与えることが確認されました。当社は今後も引き続き本プロジェクトに参画し、設計法の構築に向けて貢献する予定です。

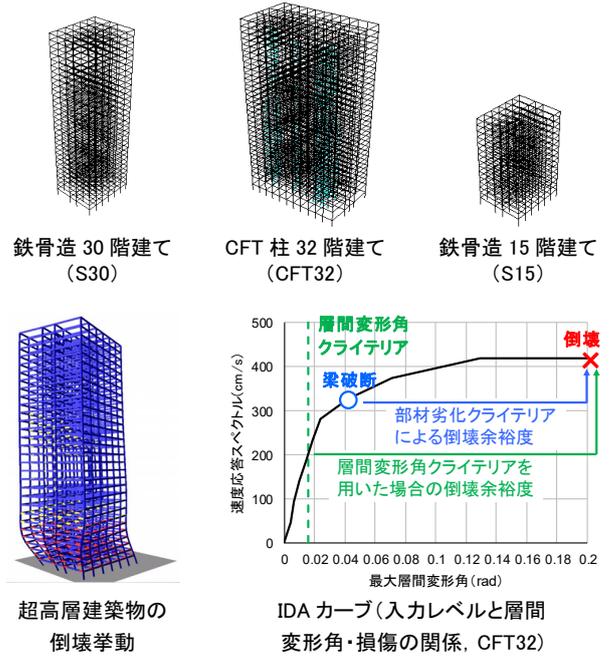


## 7 告示波を超える大地震に対する超高層鉄骨造建築物の耐震安全性評価方法

設計用長周期地震動は、地域により従来の告示波の2倍程度の応答が想定される場合があり、より建物の損傷が大きい状態における耐震安全性評価手法が望まれています。

新たな耐震安全性評価方法を検討すべく、6種類の超高層鉄骨造建築物について、長周期地震動に対するIDA(入力レベルを漸増していく地震応答解析)を実施しました。倒壊時は複雑な挙動を伴うため(左下図)、当社で開発してきた高度な部材モデルを適用しました。検討の中では、梁端の破断(部材劣化)のみをクライテリアとした場合、そこから倒壊までの余裕度が小さくなる場合があることが分かりました(右下図)。そこで、入力地震動や建物特性を考慮した、余裕度を確保するための層間変形角クライテリアを設定しました。梁端の破断や柱の耐力低下の判定と併せて、建物全体の耐震安全性評価方法を提案しています。

本研究は国土交通省基準整備促進事業S29の一環で実施しました。



## 8 日米共同研究による耐震性能設計手法とそれぞれの設計手法による超高層建築物の日米比較

日本は世界でも有数の「地震国」であり、1995年兵庫県南部地震をはじめとして多数の大地震を受けてきました。地震被害を受けるたびに建築基準が少しずつ改訂され、木造や鉄筋コンクリート造、鉄骨造のそれぞれについて地震に強い建築物を建てるための方法が基準の中に取り込まれてきました。その一方で日本の超高層建築物の設計において適用される耐震性能設計の枠組みと地震荷重の設定方法は、過去20年にわたり大きな変更はありません。一方で世界に目を向けると、米国では過去20年余にわたり耐震性能設計手法の開発が続けられ、建物の使用継続性や崩壊に対する安全度を直接的にとり入れた手法が開発されました。この性能設計手法はアジア諸国はじめ多数の国々においてグローバルスタンダードとして採用されています。

本研究では、米国の実務者・研究者で構成されるTeam Californiaをパートナーとして、日米の性能設計手法を比較し、建物の設計制約条件として設計外力の大きさ、用途や平面を共通として日米それぞれの設計手順・慣行に従い構造設計・解析を行って、耐震システムや耐震性能、建設コスト・工期等について多面的に日米を比較しました。

日本建物は、CFT柱鉄骨造の制震装置オイルダンパ付きラーメン架構で、米国建物はRC造コア壁と境界梁で地震力を負担して外周は鉛直力のみ考慮する、コア壁架構で設計されました。米国で広く行われている倒壊評価手法を適用した結果、日本建物は米国建物に対し1.5倍程度、(耐)倒壊性能が高いことがわかりました。一方で工期は同等、構造に関わる建設費は米国建物の方が約3割低く見積もられることが確認されました。

当社では、日米共研を通じて米国式耐震性能設計及び倒壊確率等の性能評価に対応できる知見及び技術を獲得しました。今後は米国式性能設計手法と親和性の高い、リスク評価手法を取り込んだ建物の総合的な耐震性能評価手法を構築していきます。

### 米国 Team California コアメンバー

名前	所属
Farzad Naeim	Professor at University of California, Irvine and Farzad Naeim, Inc.
Ola Johansson	Thornton Tomasetti
Jack Baker	Professor at Stanford University
Marshall Lew	Wood AMEC Foster Wheeler
Robin K. McGuire	Lettis Consultants International, Inc.
Michael Mehraïn	Mehraïn International Inc.
Kristijan Kolozvari	Associate Professor at California State University, Fullerton
Vesna Terzic	Associate Professor at California State University, Long Beach



Farzad Naeim

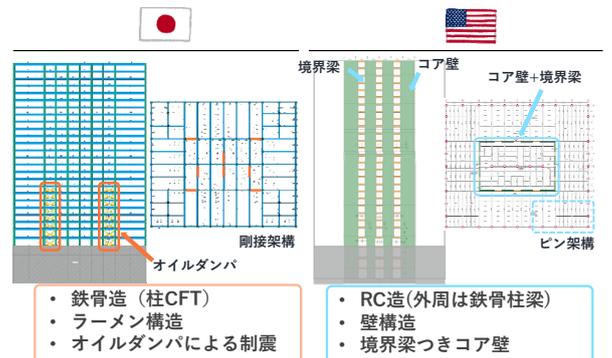


Ola Johansson

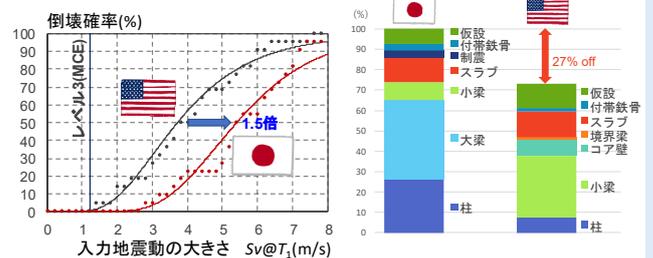


Kristijan Kolozvari

耐震性能設計チーム

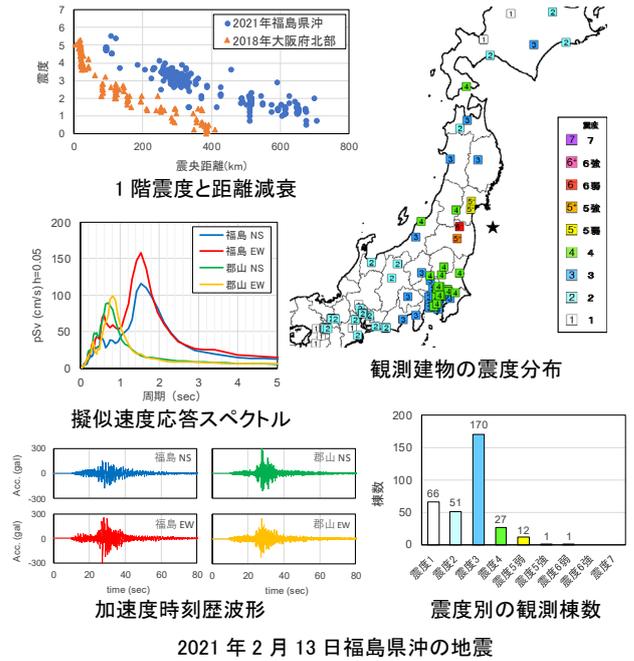


日米超高層建築物の比較(平面計画・階数、レベル2地震動を共通)



## 9 2021年2月13日福島県沖の地震における建物安全度判定支援システム『q-NAVIGATOR®』

建物安全度判定支援システムq-NAVIGATOR®は、2015年の事業展開から7年目を迎え、2021年4月末までに計484棟に導入されました。これまでシステムが観測した地震は800を、記録は13,000を超えます。2021年2月13日の福島県沖の地震(M7.3、震源深さ55km)では、北海道から関西まで過去最多の328棟で観測し、福島県で震度6弱、宮城県で震度5弱と大きな揺れを記録しました。深夜の地震でしたが、地震発生後1時間でクラウドサーバにアップロードされた建物判定や評価結果を自宅に居ながらインターネットで確認でき、迅速なデータ分析や顧客対応ができました。地震発生後4日後には、震度の大きかった福島県の建物で現地調査を行い、建物判定と被害状況を検証しています。また、観測記録を分析して、建物の被害の違いは地盤条件の影響が大きいことがわかりました。今後も蓄積された観測記録の分析を進めるとともに、通信環境やシステムの改善によって、更なる利便性向上を図ります。



## 10 IoT ネットワーク技術を活用した都市建物格付けシステムの開発

当社は、森ビル株式会社とPIラボの3者共同で「IoTネットワーク技術を活用した土地建物格付けシステムの研究開発」をBRAINに応募し、採択されました。BRAINとは、平成30年に閣議決定された「統合イノベーション戦略」を受けて(国研)建築研究所が立ち上げた建築・住宅・都市分野の国土強靱化等に資する革新的技術の実用化に向けた研究推進を目的とした事業です。

本研究開発では、最新のIoTネットワークを利用した地震計と、土地と建物の揺れ性能の評価手法を開発し、揺れ性能を横並びに評価するシステムの構築を目指しています。このシステムの普及により、耐震改修へのモチベーションの向上や、不動産取引の活発化を通じた地域の活性化が期待されます。

当社は、これまで培った耐震性評価やモニタリング技術を高め、この実用化を目指し、共同研究を進めております。



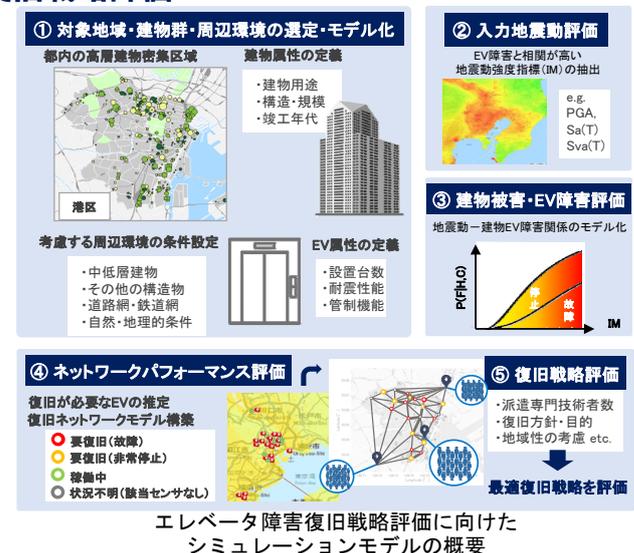
\*(国研)建築研究所による革新的社会資本整備研究開発推進事業

## 11 長周期地震動による都市機能障害の事例調査と復旧戦略評価

南海トラフ地震・津波による被害軽減のため、文部科学省により「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」が実施されています。本事業の一環として、当社は昨年度より大都市機能の維持に着目した調査研究業務を(国研)防災科学技術研究所から受注し、長周期地震動による都市機能被害の事例調査と復旧戦略評価手法の開発に携わっています。

本研究では、高層化する都市部において縦の導線を確保するエレベータの長周期地震動による障害に着目し、大都市機能維持の観点から望ましいエレベータ障害復旧戦略を検討するため、地震発生から災害の進行と復旧過程までを再現できるシミュレーションモデルの開発を目指しています。

当社は、今後も引き続き本プロジェクトに関わって、巨大地震に対する防災対策の高度化に向けて貢献していきます。



## 小堀鐸二研究所の技術

地震の発生から建物応答、応答制御までトータルに評価

- ◇ 超高層や免震構造物の設計用入力地震動評価・コンサルティング
- ◇ 重要施設の基準地震動評価・コンサルティング
- ◇ 液状化を含む相互作用解析と対策・コンサルティング
- ◇ 超高層建物（工作物）の構造設計・振動解析・コンサルティング・大臣認定対応
- ◇ 制震装置（HiDAX、HiDAM、Nu-DAM、HDS）の適用・コンサルティング
- ◇ 免震構造の構造設計・コンサルティング
- ◇ 地震時の実挙動評価のための動的耐震診断・コンサルティング
- ◇ BCP 対応技術（ $\alpha$ -NAVIGATOR<sup>®</sup>、緊急地震速報など）・コンサルティング
- ◇ 爆発・衝突現象などの特殊解析・コンサルティング
- ◇ 制震・免震改修の設計・コンサルティング
- ◇ 風力発電設備支持物の耐震評価・ウィンドファーム認証



〒107-8502 東京都港区赤坂6丁目5番30号  
TEL : (03)5561-2421 FAX : (03)5561-2431  
URL : <http://www.kobori-takken.co.jp>  
E-mail : [info@kobori-takken.co.jp](mailto:info@kobori-takken.co.jp)

©KOBORI RESEARCH COMPLEX INC. 2021