

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360250

研究課題名(和文) 激震後の高層建築物群からの同時一斉避難による街区群集の制御に関する研究

研究課題名(英文) Control of Crowd with Evacuated People after Strong Earthquake in the District with Many High-rise Buildings

研究代表者

北後 明彦 (Hokugo, Akihiko)

神戸大学・都市安全研究センター・教授

研究者番号：30304124

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,100,000円

研究成果の概要(和文)：地域避難シミュレーションモデルに、屋内ネットワークモデルを追加することで、屋内外を連続的に扱える建物群・街区一体モデルに改良し、建物内と街路を一体として扱うことのできる新たな避難シミュレーションシステムの開発を行った。人口集中地区である東京都中央区東京駅東部において激震後の避難者の動向に関してのケーススタディを行った結果、街区、建物内での群集による滞留状況を把握することができることが明らかになり、今後の高層建築物群を有する人口集中地区での群集制御のための避難性状予測を可能とした。

研究成果の概要(英文)：An integrated evacuation model has been developed for this research project. This model is based on the potential evacuation model for area disaster and networking model of building was build-in to the evacuation model. A case study in a district in Chuo-ku, Tokyo which is a densely-populated was performed to estimate the situation of occupied people after a strong earthquake. It has been turned out that it is possible to estimate the situation of crowd with people in the district with many high-rise buildings under the control by stuff of high-rise buildings.

研究分野：防火・避難計画

キーワード：街区群集 高層建築物 激震 火災 都市

1. 研究開始当初の背景

高層建築物内における在館者の動向に関しては、過去30年間にわたって、不特定多数が利用する施設等の地震時における人間行動に関して調査され、近年では避難シミュレーションにより緊急避難行動の予測や全館避難に要する時間算定も行われ、また、研究代表者の北後、研究分担者の関澤、野竹らによって、高層建築物で地震後発生する火災による危険を避けるための高層建築物からの避難シミュレーションに基づく避難誘導方策の検討を平成21年度～23年度の科研費基盤研究Bで実施し、順次避難誘導を行うことにより全館避難時間が最小とはならないものの、在館者へかけるストレスは最小限となることを明らかとした。

この間に、東日本大震災が発生し、仙台の高層建築物(事務所ビル1棟、商業ビル2棟)において研究代表者の北後らが調査を行った結果、震度7程度まで増幅された揺れとなったと考えられる高層階等の激震下では一斉同時避難の傾向があることを確認した。東京都心部においても、高層ビルから一斉に地上へ避難し、都心部において駅ターミナルや日比谷公園等において群集が滞留する現象がみられ、街区レベルでの群集災害発生の危険性も指摘されている。

以上のように街区群集の発生源としての高層建築物等からの避難に関する研究、及び街区に避難した個々の人々の広域移動指向に関連する帰宅困難者問題としての研究が数多くなされてきたが、群集災害の危険性が考えられる建築群・街区レベルでの群集制御の問題として、建築レベルでの個々のビル在館者が避難することによる群集の発生源対策と、都市レベルでの避難者の移動指向を考慮した帰宅困難者対策を関連づけて捉えた研究はこれまでに実施されていない。

そこで、ポテンシャル法に基づく地震火災時の地域における避難シミュレーションモデルの開発の実績のある西野を研究分担者として加え、また、研究代表者の北後が実施しているイベント開催時の群集誘導方策の研究成果を活用することによって、街区内の群集流動の制御を検討可能な研究チームを構成し、高層建築物群からの避難と広域移動指向を同時に考慮にいたした街区内での群集流動シミュレーションの開発とそれを利用した群集誘導方策についての研究を推進することとなった。

2. 研究の目的

激震の場合、高層建築物等においては停電による暗闇、大きな揺れ、建築部材の落下、家具の転倒、余震発生への恐れ等により在館者が建物外へ避難する傾向が強くなり、また、別の地域にいる家族を心配して広域に移動する指向が強くなる。大都市圏の高層建築物等が集中する街区においては、結果的に多数のビルから同時に一斉避難が開始され、地上

に多数の群集が発生し、広域移動を指向するいわゆる帰宅困難者が駅ターミナル等に集中すると、局所的には群集災害の発生も懸念される事態となる。

本研究は、激震時の高層建築物等における在館者の挙動や広域移動指向性を基とした建物からの群集流動、及び、地上における群集流動シミュレーション手法を開発し、地震後火災による在館者安全確保を行った上での建物内滞留方策を含めた適切な群集誘導等による街区群集の制御方策の検討を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

過去の地震時に関する調査資料を収集・整理するとともに、近年の地震を受けた各用途・階数の高層建築物についての調査を実施し、激震時の高層建築物等における在館者の挙動、防災センター要員等の情報収集・対応行動について明らかとする。また、東日本大震災時の帰宅困難現象に関する調査を実施し、大都市圏在勤・在学者の地震時広域移動指向の解明を行う。以上の在館者等の特性及び高層建築物等における地震後の構造・火災危険性の評価による避難抑制効果及び一旦地上へ避難した場合の高層建築物等への再収容効果を反映できる高層建築物群における群集流動シミュレーションと街区における群集シミュレーションを連動させた予測システムを構築・活用し、高層建築物等の防災センターにおける誘導方策、建築群・街区単位の誘導方策、街区全体の防災計画等について、特定の街区についてケーススタディを行いながら、同時一斉避難による街区群集の制御方策の効果を把握可能とする。

4. 研究成果

(1) 物品販売店舗における激震後の全館避難の群集制御に関する検討

不特定多数の在館者が想定される商業施設では、大地震時には全館避難を余儀なくされる可能性が高く、避難誘導が適切になされない場合、避難時の混雑や混乱による二次災害の危険性も高まる。そこで2011年東北地方太平洋沖地震後の仙台市内の百貨店における避難誘導状況について、現地ヒアリング調査を実施した。そして避難シミュレーションを用いて、当時の避難状況を混雑度に着目して再評価し、より有効な激震後の全館避難シナリオを考察した。

実態調査の結果、物販店舗における地震後の避難では、階毎で状況判断し、避難誘導等の対応を行うことが必要になるため、できるだけシンプルなルールに基づく避難誘導方策が望まれることが明らかになった。そして避難シミュレーションを用いた検討を通じて、多数の在館者数を想定した場合、階毎に使用する階段を振り分けて合流を少なくし、地震後避難でも多数の階段を有効活用すれば、避難の効率(時間短縮、混雑緩和)が向

上することが確認できた。この結果を実際の対策に反映させる場合、各階でどの階段を避難時に利用するかをあらかじめ決めておくと同時に、階段までのアプローチ経路を整備し、平常時にも意識され、利用されやすいように工夫することが重要である。

2011年東北地方太平洋沖地震時の仙台市における百貨店避難誘導実態を調査し、さらにその結果を避難シミュレーションによって再現および再評価し、激震後の全館避難の群集制御に関する知見を検討するという、建物内の激震後の避難誘導に着目し、事例調査から解析まで一連の検討を行った例は、国内外を見ても類例がなく、先駆的な取り組みであると言える。こうした事例調査を出発点に、解析的手法を用いて再評価することで、普遍化できる知見を模索するというアプローチは、今後の地震後対策のソフト面の知見の蓄積に寄与するものである。

また、これまで主に建築の防火設計分野で用いられてきた避難シミュレーションの手法を、防火・防災管理の局面に適用する試みも、当該手法の適用領域を拡張する上で意義深い取組であると言える。また、結果を画像で示すことができ、実地で対応する係員等、防火・防災の専門家ではない人々にも結果や対策の効果を示しやすいため、より主体的な関与を引き出しやすいという可能性も持っていると考えられる。

商業施設としてのフロアレイアウトの利便性・集客性と、非常時の避難経路としての安全性の両立を模索することが課題である。物販店舗は店舗やフロアで個性が非常に大きいと、個別の事例を蓄積していくとともに、解析手法としては、効率的なモデル化等により、入力から結果の出力までの労力・時間等の低減が望まれる。

(2) 事務所ビルにおける地震後避難行動の状況調査と全館避難シナリオの構築に関する検討

東日本大震災における仙台市と首都圏における建物からの避難状況に関する聞き取り調査及び文献調査から、激震後の全館避難シナリオ構築に必要な要素について検討した。その結果、激震後の全館の状況把握や指示連絡の実施しやすさは、建物規模、用途、構造形式、設備（非常放送、防災センターの有無）、自衛消防組織の有無、避難方針の設定や訓練実施の有無等によって影響を受ける可能性が大きいことが示唆された。また、地震火災を想定した対応は、一般の火災と同様の対応を行うと回答した例が多く、地震火災特有の条件を反映した対策については、検討している例は得られなかった。

激震後の全館避難シナリオのモデル化・シナリオ化は、国内外を見ても未だ確立された概念がない。こうした中、本研究では、地震後の避難のみならず、地震後火災の状況をも想定した全館避難シナリオを目指し、データ

の蓄積・分析に取り組んでおり、先進的な事例であるといえる。

今後は、激震後のビル側の対応行動や在館者の挙動に関する事例をさらに充実させ、建物の規模・用途別・地震の応答別の地震後避難シナリオの具体化を進め、街区レベルの地震後の避難モデルの構築への反映と、予測・評価につなげていきたい。

(3) 高層建築物等における誘導方策の検討

高層建築物において大規模な火災が発生した場合には、原則として全館避難が必要とされる。その全館避難において、「一斉避難」による避難階段内の混雑を避けるために避難開始のタイミングをまとめた階ごとに数段階に分ける「順次避難」という方法がある。本研究では、高層建築物の全館避難について、実際の高層建築物ではどのような計画や考えをもっているのかを知るために、国内の18の高層建築物における避難誘導計画担当者に対してアンケート調査を実施した。その結果、ほとんどの高層建築物では、全館避難という事態に対しては順次避難を行う計画を有しているが、順次避難を行う際の避難フェーズ別の待機時間や避難対象階を決める方法が不明であるなどの課題が残されていることがわかった。

高層建築物は、国内のみならず海外においても今後ますます増大する傾向にある。その一方で、こうした高層建築物における火災時の避難誘導計画、とりわけ全館避難が必要とされるような場合における避難計画、あるいは避難誘導計画に関する系統的な調査研究は、国内外を含めてこれまでほとんど行なわれてこなかった。その意味で、本研究による成果は、今後の高層建築物における火災時の避難誘導計画に関する研究課題の整理に資するとともに、研究開発におけるターゲットを明確にするものと位置づけられる。

ほとんどの高層建築物では、全館避難という事態に対しては順次避難を行う計画を有しているが、順次避難を行う際の避難フェーズ別の待機時間や避難対象階を決める方法が不明であるなどの課題が残されていることがわかっている。したがって、以下の事項が今後の課題として挙げられる。

合流を避ける避難順序の設定

避難者の多い階が、上層階との合流により、階段室内での滞留を生じさせるボトルネックとなることから、予め各階の在席を分散させるのが有効である、しかしながら、ビルの各階における用途配置計画などによる制約は考慮しなければならない。一方、下層階の避難者が少ない場合には、滞留の軽減に有効である。そのためには、ボトルネックが連続しないように在館者数の把握を行い、避難階のフェーズの振り分け方法など研究開発が必要である。

避難完了時間の最適化

避難放送のフェーズ間隔を広く設定すれ

ば、合流が軽減されるが、避難完了時間は増大してしまう。また、避難放送を待ちきれずに避難してしまう避難者も懸念される。そのため、避難者の心理状態をもよく考慮した最適なフェーズ間隔の研究が必要である。

(4) 建物群・街区一体モデルの開発とケーススタディ

屋外での地域避難シミュレーションモデルに、屋内ネットワークモデルを追加することで、屋内外を連続的に扱える建物群・街区一体モデルに改良し、建物内と街路を一体として扱うことのできる新たな避難シミュレーションシステムの開発を行った。人口集中地区である東京都中央区東京駅東部において激震後の避難者の動向に関してのケーススタディを行った結果、街区、建物内での群集による滞留状況を把握することができることが明らかになり、今後の高層建築物群を有する人口集中地区での群集制御のための避難性状予測を可能とした。

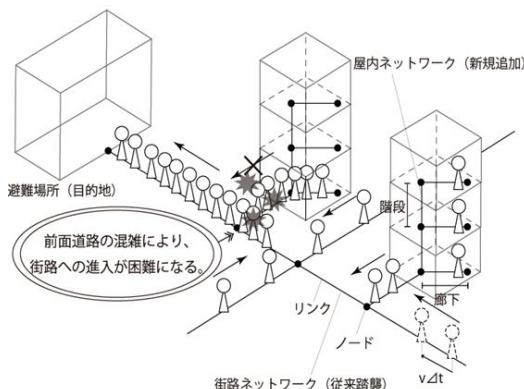


図1 屋内外統合避難モデルの概念

今後の課題としては、火災や倒壊などといった要因と複合した、複合災害時における高層建築物が多数存在する地域での滞留状況について考慮することや、地震発生から2時間後以降の長時間の場合での避難性状などについても考える必要性がある。

(5) 観光客を対象とした地震火災の避難想定意識調査

京都市清水地域を回遊する観光客を対象に、地震火災からの避難を想定した意識調査を街頭において行った。ここでは次の点に関する質問をインタビュー形式で行い、地震火災時における観光客の避難行動のモデル化に利用可能な基礎データを収集した。

観光客の避難行動にはどのようなタイプがあるのか

地域の観光事業者が行う避難誘導に観光客は従うのか

調査結果を整理し、多項ロジットモデルと二項ロジットモデルを用いた要因分析を行った結果、次のような成果が得られた。

観光客の避難行動は、大きく、志向型・探索型・方向型・その他の4つのタイプに分類できる。地震後の避難では、観光客の居住地が、避難行動タイプの選択確率を最も良く説明する。近畿圏内や近畿圏外からの観光客は、来訪時に利用した交通施設や観光先等、観光に関連した施設を目指して避難しやすく、志向型の選択確率が比較的高い。地震火災からの避難では、避難行動タイプの選択確率を説明する特定の要因は存在しない。延焼の危険性が少ない方向への避難を重視する方向型の選択確率が最も高く、観光客の属性によらない共通の特徴となっている。地震後の避難では、観光客の年齢が、避難誘導に対する追従確率を最も良く説明する。追従確率は、年齢の高い観光客に低い傾向があるが、全体としては80.0~98.3%と高い。地震火災からの避難では、グループ人数、居住地、当日の宿泊予定の3つが、避難誘導に対する追従確率を最も良く説明する。追従確率は、まず、当日の宿泊予定がある場合、ない場合の順に高く、それぞれの条件の中で、近畿圏内、近畿圏外、京都府内の順番で、グループ人数が増加するほど低下する。地震火災時の避難誘導に対する追従確率は、地震後のそれに比べて全体的に低く、地震火災時には、観光事業者の避難誘導が地震後に比べて機能しにくくなる。

本研究のモデルを既往の地震火災避難シミュレーションモデルに組み込めば、観光客についても、地震火災避難の全体像を予測することができると考えられる。今後、地震火災に対する観光客の避難計画を検討するには、こうしたモデルの活用により、観光客の地震火災リスクを評価する手法の整備が課題となる。

(6) 大都市圏在勤・在学者の地震時広域移動指向の解明

街区の群衆流動を予測し制御するためには、都市スケールの視点から街区間を移動する人数なども重要な知見となる。ここでは、東京23区を対象とし、筆者らが行った帰宅困難者のアンケートから滞留、徒歩での移動、自動車利用などの発生人数を予測することで、シミュレーションの前提条件の示唆を与えることとした。用いた選択行動モデルは多項ロジットモデルで、最尤法を用いてパラメータ推定をした。その結果、図2が全滞在者の滞留を選択する割合で、図3が全滞在者中の徒歩帰宅を選択する割合、図4が全滞在者中の自動車を利用して帰ることを選択する割合である。滞留者については、都心を中心として約半分が滞留するが、徒歩帰宅者はやや周縁部に、自動車利用者は23区内の最も外周部に集中することが分かった。

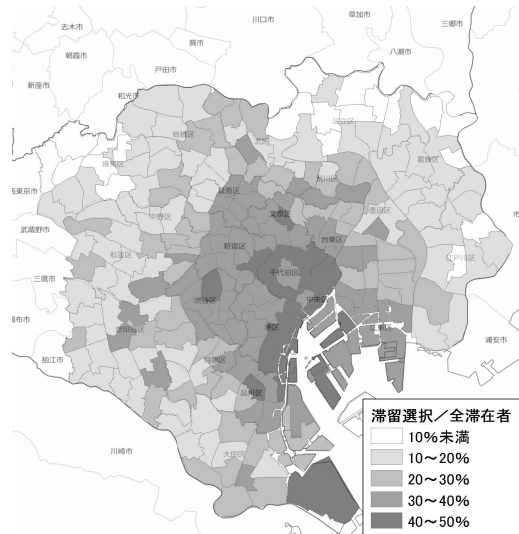


図2 滞留を選択する割合

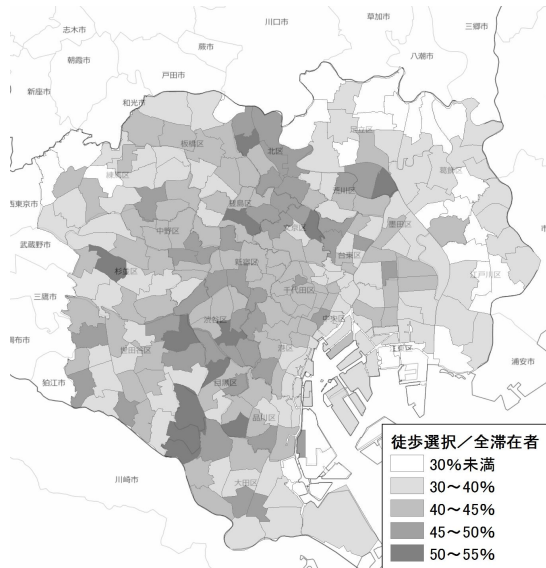


図3 徒歩帰宅を選択する割合

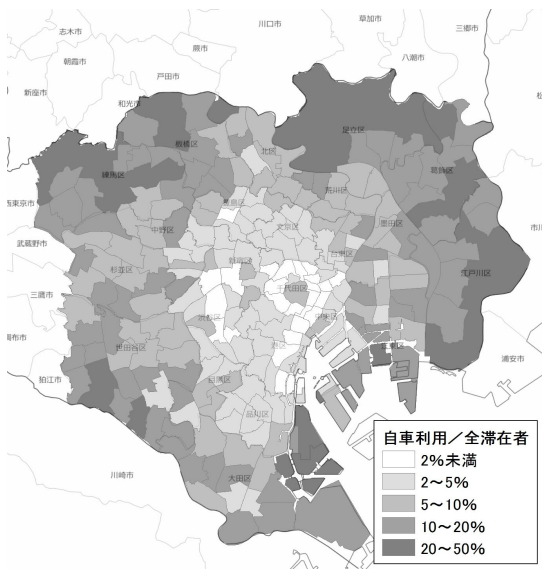


図4 自動車による帰宅を選択する割合

本研究で得られた成果は、対象とした首都圏のみならず、あらゆる大都市の群衆制御に関する研究の基礎的知見になるものと考えられる。これまで都市スケールを対象とした避難研究はほとんど行われてこず、この意味で本研究は以降の大都市避難研究の基礎的件になるものと考えられる。

今後は本研究の成果を生かし、大規模災害時における都市スケールでの避難をどのように再現し制御するかに関する研究に展開する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計7件)

西野智研, 田中哮義, 北後明彦, 市街地避難の性状を支配する不確定要因の影響を考慮した地震火災リスクの評価に関する基礎的検討, 日本建築学会計画系論文集, 査読有, Vol.77, No.676, 1265-1274, 2012年6月

村田明子, 高橋済, 花井英枝, 市川安奈, 金秀蘭, 北後明彦, 東日本大震災被災後の分譲マンションにおける生活の継続に向けた組織的活動, 日本災害復興学会論文集, 査読有, No.3, 1-10, 2013.1

中濱慎司, 関澤愛, 池島由華, 野竹宏彰, 超高層ビルを対象とした全館避難時のエレベーター利用に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 査読有, 第78巻, 第693号, 2273-2280, 2013年11月

関澤愛, 佐々木克憲, 2011年東日本大震災による火災の発生状況に関する研究 - 被災消防本部へのアンケート調査結果に基づく分析 -, 日本火災学会論文集, 査読有, 第63巻, 第3号, 23-30, 2013年12月

西野智研, 北後明彦, 映像記録の観察を中心とした津波避難ビル周辺で発生する火災の事例研究, 日本火災学会論文集, 査読有, Vol.63, No.1, 1-8, 2013年4月

ピニエイロ・アベウ・タイチ・コンノ, 北後明彦, 西野智研, 市街地避難訓練時の歩道及び歩道橋階段における引率下の保育園児年齢別歩行速度, 日本建築学会計画系論文集, 査読有, No.697, 583-588, 2014年3月

ピニエイロ・アベウ・タイチ・コンノ, 北後明彦, 保育施設における市街地避難対応力に関する事例研究 - 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波からの気仙沼市における避難を例として -, 神戸大学大学院工学研究科・システム情報学研究科紀要, 査読有, 第5号, 25-32, 2014年3月

〔学会発表〕(計11件)

関澤愛
「震災時の一斉避難・集団行動に起因する問題を考える - ビル避難から帰宅困難問題まで - 」

第 170 回 神戸大学都市安全研究センター
RCUSS オープンゼミナール

2013 年 3 月 16 日

神戸 神戸市危機管理センター

野竹宏彰、岩崎啓太

「激震後の全館避難シナリオと混雑度の評価に関する研究 - 東北地方太平洋沖地震後の仙台市内の百貨店における事例を通じて -」

第 170 回 神戸大学都市安全研究センター
RCUSS オープンゼミナール

2013 年 3 月 16 日

神戸 神戸市危機管理センター

岩崎啓太、野竹宏彰、北後明彦、西野智研、関澤愛、廣井悠

「激震後の全館避難における群衆制御に関する研究 その 1: 階段使用パターンに着目した避難誘導シナリオ」

日本火災学会発表会

2013 年 6 月 8 日 ~ 2013 年 6 月 9 日

熊本 熊本大学

野竹宏彰、岩崎啓太、北後明彦、西野智研、関澤愛、廣井悠

「激震後の全館避難における群衆制御に関する研究 その 2: 最大混雑時間に着目した避難誘導方法の有効性の考察」

日本火災学会発表会

2013 年 6 月 8 日 ~ 2013 年 6 月 9 日

熊本 熊本大学

北後明彦、河野守、成瀬友宏、萩原一郎、鈴木淳一、近藤史朗、高橋済、花井英枝

「高層建築物の地震後火災に対する緊急点検・対応計画に関する調査その 1. 調査概要」

日本建築学会大会

2012 年 9 月 12 日 ~ 2012 年 9 月 15 日

名古屋 名古屋大学

北後明彦、野竹宏彰、関澤愛、西野智研、廣井悠

「物品販売店舗における激震後の全館避難の群衆制御に関する研究 その 1: ヒアリング調査に基づく階段使用パターンに着目した避難誘導シナリオ」

日本建築学会大会

2013 年 8 月 30 日 ~ 2013 年 9 月 1 日

札幌 北海道大学

関澤愛、北後明彦、野竹宏彰、西野智研、廣井悠

「物品販売店舗における激震後の全館避難の群衆制御に関する研究 その 2: 避難完了時間と最大混雑時間に着目した避難誘導方法の考察」

日本建築学会大会

2013 年 8 月 30 日 ~ 2013 年 9 月 1 日

札幌 北海道大学

西野智研

「南海トラフ地震に伴う地震火災・津波火災の人的被害軽減に向けた研究構想」

第 184 回 神戸大学都市安全研究センター
RCUSS オープンゼミナール

2014 年 6 月 21 日

神戸 神戸市危機管理センター

長野誠、西野智研、北後明彦、野竹宏彰、関澤愛

「激震後の人口集中地区における建物内及び街区を一体として扱う避難シミュレーション」

日本火災学会研究発表会

2014 年 5 月 27 日 ~ 2014 年 5 月 28 日

東京 東京理科大学森戸記念館

長野誠、西野智研、北後明彦、野竹宏彰、関澤愛

「中高層建築物群から成る人口集中地区における同時一斉避難時の建物内及び街区の滞留状況に関する基礎的検討」

建築学会大会

2014 年 9 月 12 日 ~ 2014 年 9 月 14 日

神戸 神戸大学

廣井悠

「人口集積地区の混乱の可能性(『首都直下地震』: 被害想定をどう読み解き、実際に起こり得る現象をどう理解すべきか ~ 想像力を深めるべき災害事象 ~)」

日本建築学会都市計画委員会都市防災マネジメント小委員会公開研究会

2015 年 1 月 28 日

東京 建築会館ホール

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北後 明彦 (HOKUGO, Akihiko)

神戸大学・都市安全研究センター・教授

研究者番号: 30304124

(2) 研究分担者

西野 智研 (NISHINO, Tomoaki)

独立行政法人建築研究所・研究員

研究者番号: 00609894

関澤 愛 (SEKIZAWA, Ai)

東京理科大学・教授

研究者番号: 30358775

廣井 悠 (HIROI, Yu)

名古屋大学・准教授

研究者番号: 50456141

野竹 宏彰 (NOTAKE Hiroaki)

清水建設株式会社・技術研究所・研究員

研究者番号: 50550167