

令和元年5月22日現在

機関番号：42686

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06597

研究課題名(和文)スウェーデン式サウンディング試験データを直接利用した宅地の液状化判定

研究課題名(英文)Liquefaction potential evaluation directly used by Swedish weight sounding data for residential ground

研究代表者

酒匂 教明(SAKO, Noriaki)

日本大学短期大学部・その他部局等・教授

研究者番号：00435273

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：2011年東日本大震災時に起きた大規模な液状化により2万戸を超える戸建て住宅が被害を受けた。このことの要因の一つに宅地地盤調査の主流であるスウェーデン式サウンディング試験の能力の限界が挙げられる。本研究では、同試験に土質分類能力を持たせ、同試験データから直接液状化強度を評価できることを試みた。その結果、スウェーデン式サウンディング試験から土質分類をすることが可能であることを示し、さらに液状化危険度を精度よく評価できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

宅地地盤の調査は、費用の面と法律の関係からスウェーデン式サウンディング試験に頼らざるを得ないのが現状であるが、同試験からは土質分類ができず、また液状化の予測ができないという問題点が挙げられる。この問題を打開するために、本研究は進められた。研究成果としては、スウェーデン式サウンディング試験から液状化の可能性を持つ砂質地盤を分類できるようになり、細粒分含有率の検討が今後必要であるものの、同試験データから直接かつ精度を伴う地盤の液状化強度を評価できることを示した。

研究成果の概要(英文)：More 20,000 houses were damaged due to ground liquefaction in the Great East Japan Earthquake of 2011. One of the factors of these damages was pointed out the limitations of the ability of Swedish weight sounding (SWS), which is the mainstream of residential ground surveys in Japan. In this study, it was tried to give a soil classification ability to SWS and to evaluate liquefaction strength from SWS data directory. As a result, it was shown that it is possible to classify the soil from SWS, and it was further shown that the liquefaction potential can be evaluated accurately from SWS data.

研究分野：地盤工学

キーワード：液状化 スウェーデン式サウンディング試験 土質分類 摩擦音

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

平成12年の「住宅の品質確保の促進等に関する法律」の施行により、小規模建築物が建つ宅地地盤の地盤調査がほぼ必須となった。宅地の地盤調査には、費用が安い、簡便である、敷地の制約を受けない、連続したデータが取れるなどから、スウェーデン式サウンディング試験（以降、SWS試験と略記する）が圧倒的に多く採用されている。

通常のSWS試験からはWsw値およびNsw値というデータが得られ、基本的には建物の許容支持応力度が評価できる。また、現状ではWsw、Nsw値の分布から土層境界の判定を行っているが、採取試料等で確認していないため正確な土質分類（さらに、詳細なデータとして細粒分含有率の評価）はできないのが実情である。なお、大規模建築物の地盤調査には、大半に標準貫入試験が採用され、データとしてN値とサンプリング試料が得られる。

一方、平成23年東日本大震災時の大規模な液状化被害を背景に、近年では様々な宅地地盤の調査技術が開発されてきた。しかしながら、調査費用、簡便性、確認申請の観点から、宅地地盤の場合はSWS試験をベースにした調査技術・評価方法でないと実務で活用されにくいのが現状である。

一般に大規模建築物の液状化判定に用いられているFL法（建築基礎構造設計指針、建築学会、2001年）を適用してSWS試験より液状化判定する場合、N値と細粒分含有率が必要となる。一般社団法人住宅生産団体連合会で取りまとめた「液状化に関する参考情報の提供」に関する手引きでは、SWS試験からN値と細粒分含有率を評価する場合、換算方法として図1および図2を示している。

図1はSWS試験から得られたデータをN値に換算するため、図2はSWSサンプラーから細粒分含有率を評価するための関係である（同図中の太線部分）。しかしながら、同評価方法は大きなばらつきの下限值、言い換えるとあまりにも安全側のため、SWS試験を実施した大半の地盤は“液状化”の判定になってしまい、その結果地盤改良等が必要となり、コスト負担を避けるための詳細な調査の実施という本来の主旨からはずれてしまう。

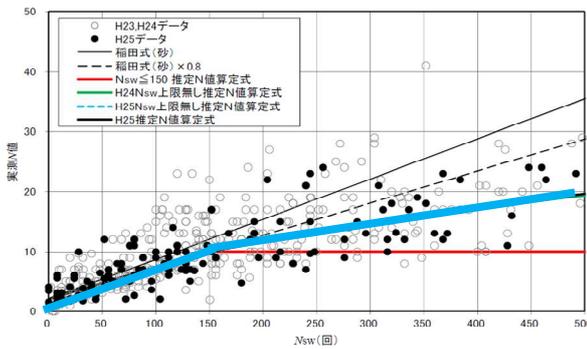


図1 N値とNsw値の関係

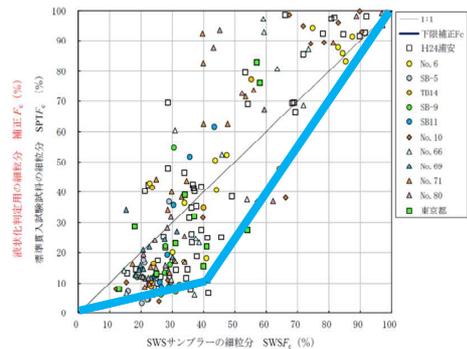


図2 標準貫入試験とSWSサンプラーによる細粒分含有率の比較

2. 研究の目的

本研究では、背景で述べた問題を打開するため、SWS試験のデータから直接液状化を評価できる方法の構築を目的としている。標準貫入試験を基にしたFL法に関する研究の知見は多いため、小規模建築物の液状化被害の予測方法もFL法に倣うと、既往の多くの知見を活用できる。

FL法では(1)砂質地盤（土質分類）(2)砂質地盤の締まり程度（液状化抵抗）(3)地下水位の情報が必要である。宅地地盤の調査では、(1)については、精度の高い土を採取する方法が望まれるが、これについては実際費用の面で難しい。そこで、研究代表者は摩擦音を利用した土質分類の開発を進めてきた。本研究ではさらに電気比抵抗の利用も合わせて、SWS試験による土質分類について検討した。(2)については、液状化強度を直接Nsw値から液状化強度を評価できる方が良い。具体的には、図3に示したように液状化抵抗比（原位置の条件に応じた液状化強度）と（補正した）Nsw値の関係を求めたい。なお、(3)についてはSWS試験孔を利用した精度の高い測定方法が開発されつつある（現在は、実務で多く用いられるようになった）。

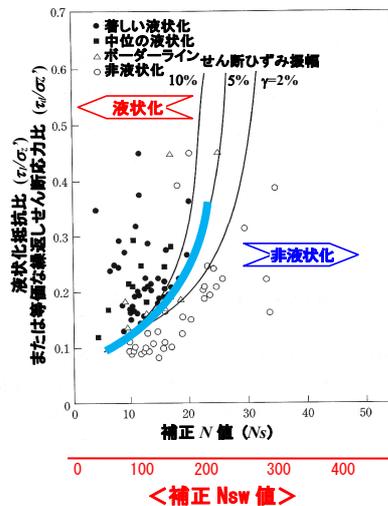


図3 Nsw値から直接評価する液状化強度（イメージ図）

3. 研究の方法

研究の方法は以下の二通りである。

(1) 摩擦音および電気比抵抗を利用した SWS 試験

図 4 は摩擦音を利用した SWS 試験の概略図である。本試験機を用いて、室内モデル地盤により土質と摩擦音の関係を調べ、フィールドで測定した摩擦音を基に土質を分類する。

写真 1 は自動化された SWS 試験と電気比抵抗を測定できるピックアップである。これらを組み合わせて摩擦音と同様に予め室内モデル地盤により土質と電気比抵抗の関係を調べ、フィールドで測定した電気比抵抗を基に土質を分類する。

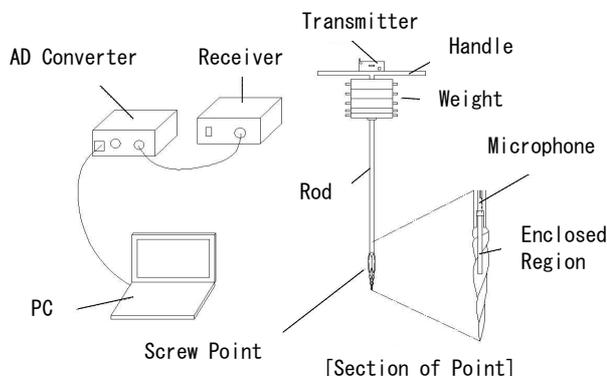


図 4 摩擦音を利用した SWS 試験の概要



写真 1 電気比抵抗を利用した SWS 試験

(2) N_{sw} から直接液状化強度を評価する方法

写真 2 は加圧せん断土槽試験機、写真 3 は繰返し三軸試験機である。前者からは、原位置の拘束条件を再現した状態で SWS 試験による N_{sw} 値を確認できる。後者からは、原位置の拘束条件を再現した状態で土が有する液状化強度を確認できる。両者の試験結果を組み合わせることで原位置の拘束条件を再現した状態で、ある土の N_{sw} と液状化強度の関係が得られる。

ある程度の実験結果が得られた後に、解析的にも検討した。解析対象のデータは、平成 24・25 年度建築基準整備促進事業（国土交通省）の課題「小規模建築物に適用する簡易な液状化判定手法の検討」の報告によるものである。詳しい実験手法並びに解析条件については、発表論文を参照されたい。



写真 2 加圧せん断土槽試験機



写真 3 繰返し三軸試験機

4. 研究成果

研究成果は以下の通りである。

(1) 摩擦音および電気比抵抗を利用した SWS 試験

図 5 はモデル地盤を対象に摩擦音を利用した SWS 試験の結果である。土を構成する粒径が大きいほど先端のスクリーポイントと土の間で発生する摩擦音が大きくなる傾向にあることが分かる。これを参照値として、フィールドの摩擦音の深度分布から推定された土質と予め既知である地盤情報と比較した結果の一例が図 6 である。摩擦音から推定される土質は一部の砂質地盤を見逃す結果となったことを除くと、比較的良好な推定結果であることが判明した。

図 7 は電気比抵抗を利用したモデル地盤の細粒分含有率と基準化した電気比抵抗の関係である。同図から、地下水の電気比抵抗値を抑えておくと、土の電気比抵抗から細粒分含有率が程度推定できることが分かる。図 8 は電気比抵抗を利用した SWS 試験によるフィールド試験の結果の一例である。同図から、地下水位を推定できることと大まかではあるが細粒分の少ない砂質土の層を推定できることが分かる。これらにより、液状化の可能性のある層を特定することができる。その上で、後述する SWS 試験から得られる N_{sw} から推定される液状化強度と標準貫入試験から得られる N 値から推定される液状化強度の比較をおこなった。その結果、両者の値は平均するとほぼ同様であった。ただし、深度ごとに比較するとその差は 0.7 倍から 1.9 倍程度であった。

土質分類については、今後も引き続きフィールド調査による検討を重ねる予定である。

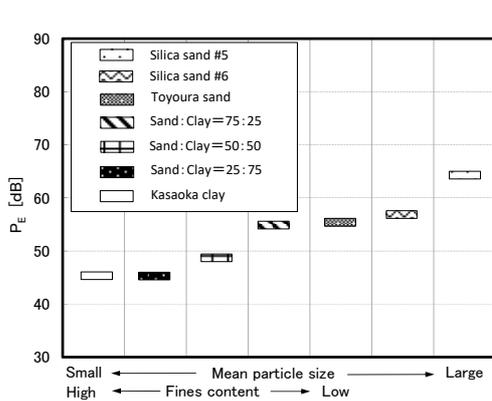


図 5 摩擦音を利用した SWS 試験結果 (モデル地盤)

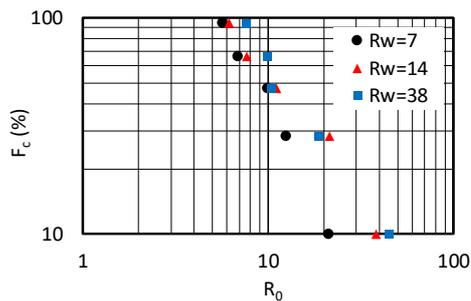


図 7 電気比抵抗を利用した SWS 試験結果 (モデル地盤)

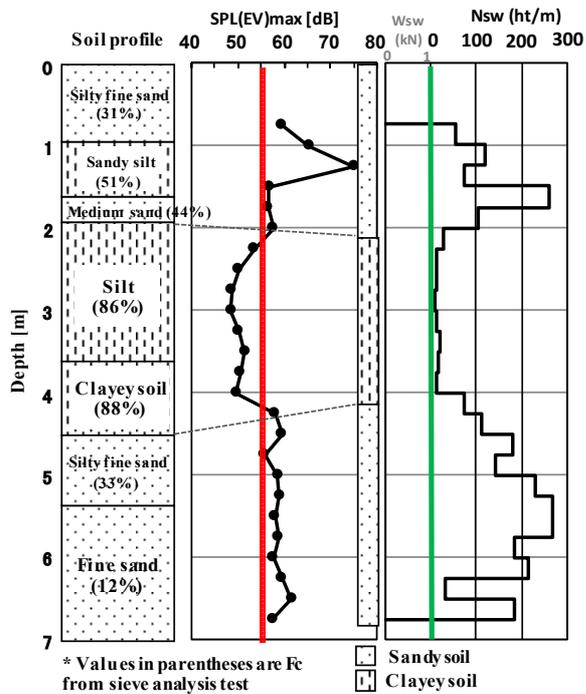


図 6 摩擦音を利用した SWS 試験結果の一例 (フィールド試験)

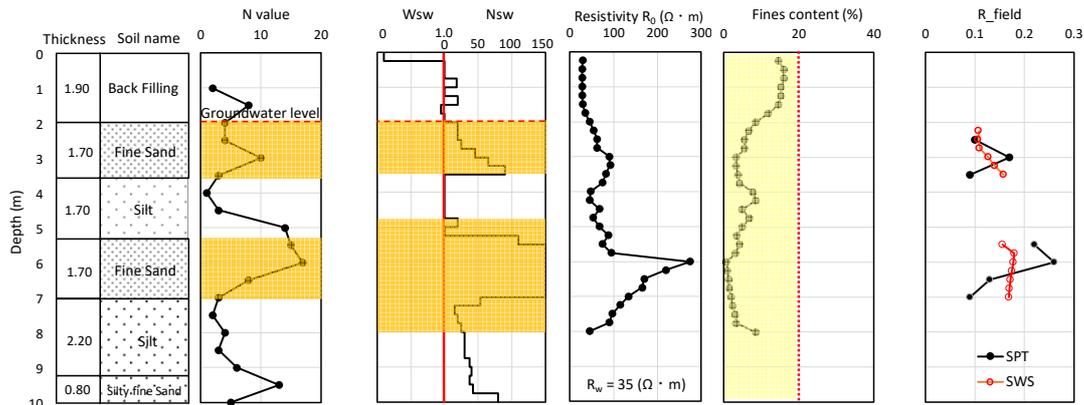


図 8 電気比抵抗を利用した SWS 試験結果 (フィールド試験)

(2) Nsw から直接液状化強度を評価する方法

図 9 は加圧せん断土槽により Nsw の拘束圧依存性を調べた結果である。同図より、Nsw は拘束圧に比例する関係であることが分かった。図 10 は 2 種類の異なる土、3 種類の異なる密度による土を対象に Nsw と液状化強度の関係を調べた結果である。同図よりきれいな砂の限定ではあるが、概ね基準化した Nsw と液状化強度は比例する関係であることが分かった。

図 11 は解析対象サイトの一覧である。同図では 2011 年に起きた震災による各サイトの液状化履歴、近郊の地震観測記録、N 値から求めた液状化強度などの情報が揃っている。これらを基に、解析結果、室内実験結果ならびに液状化履歴の情報をまとめたものが図 12 である。図 12 より、液状化の有無の境界ラインが線引きできそうであること、細粒分含有率が小さい(きれいな砂質土に近い)条件であれば、室内実験結果に対応していることなどが示された。これらから言えることは、SWS 試験のデータ Nsw から原位置の液状化強度を精度よく推定できるということである。

今後は、細粒分を含む砂質土を対象とした検討が必要である。

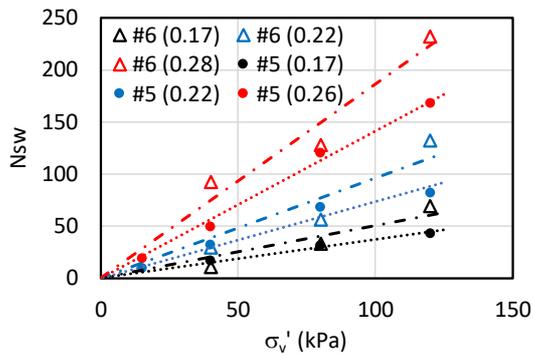


図9 Nswの拘束圧依存性

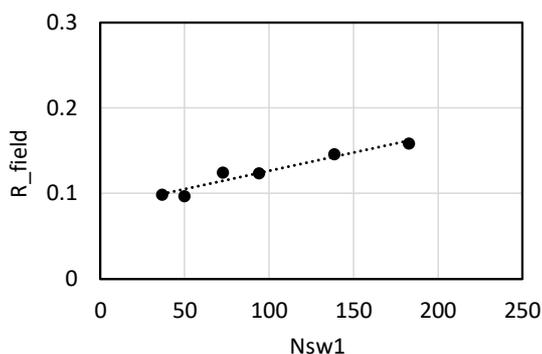


図10 Nswと液状化強度の関係

No.	サイト		被害程度	PGA(m/s ²)	強震記録
	名称	地域			
1	UYS	浦安, 千葉県	■	1.57 [CHB008]	A
2	IRF	浦安, 千葉県	●	1.57 [CHB008]	A
3	HND	浦安, 千葉県	●	1.57 [CHB008]	A
4	HDM	浦安, 千葉県	○	1.57 [CHB008]	A
5	MEK	浦安, 千葉県	○	1.57 [CHB008]	A
6	TSC	浦安, 千葉県	●	1.57 [CHB008]	A
7	UTC	浦安, 千葉県	●	1.57 [CHB008]	A
8	TSK	浦安, 千葉県	■	1.57 [CHB008]	A
9	NRS-3	習志野, 千葉県	●	2.32 [CHB024]	A
10	EDG	江戸川, 東京都	○	2.12 [TKY027]	A
11	SKW	葛飾, 東京都	○	1.33 [TKY024]	A
12	WKB	葛飾, 東京都	○	2.34 [CHB002]	A
13	HKM7	葛飾, 東京都	■	2.34 [CHB002]	A
14	KUK-1	久喜, 埼玉県	■	2.02 [SIT003]	B
15	KTR-1	香取, 千葉県	●	3.01 [CHB004]	C
16	SB-5	香取, 千葉県	●	3.01 [CHB004]	C
17	SB-9	香取, 千葉県	●	3.01 [CHB004]	C
18	SB-11	香取, 千葉県	○	3.01 [CHB004]	C
19	KTRK	香取, 千葉県	●	3.01 [CHB004]	C
20	TB-14	香取, 千葉県	●	3.01 [CHB004]	C
21	ITK-1	潮来, 茨城県	■	3.01 [CHB004]	C
22	ITK-21	潮来, 茨城県	●	3.01 [CHB004]	C
23	ITK-22	潮来, 茨城県	●	3.01 [CHB004]	C
24	ITK-23	潮来, 茨城県	●	3.01 [CHB004]	C
25	ITK-25	潮来, 茨城県	●	3.01 [CHB004]	C
26	KMSH	神栖, 茨城県	●	2.16 [IBRH20]	D
27	KMS-1	神栖, 茨城県	■	2.16 [IBRH20]	D
28	KMS-4	神栖, 茨城県	●	2.16 [IBRH20]	D
29	KMST	神栖, 茨城県	●	2.16 [IBRH20]	D
30	KMS-10	神栖, 茨城県	■	2.16 [IBRH20]	D

凡例 (●):液状化大・中, (■):液状化小, (○):液状化なし
 A:夢の島観測所 B:小川観測所 C:K-NET 佐原 D:KIK-NET 波崎 2

図11 解析対象サイト

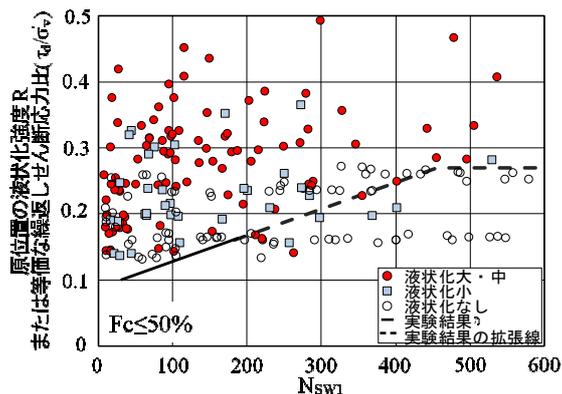


図12 解析結果

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① 酒匂教明, 下村修一, 川村政史, 塩川博義, 片岡翔太, スウェーデン式サウンディング試験から得られるスクリーポイントと地盤間の摩擦音を利用した土質分類方法, 査読有, 日本建築学会構造系論文集, 第83巻 第743号, pp111-121, 2018

[学会発表] (計11件)

- ① Noriaki Sako, Mamoru Fujii, Liquefaction Evaluation Using Electric Logging Method for Ground Survey of a Detached House, ISOPE-2019 (Honolulu), The International Society of Offshore and Polar Engineers, 2019
- ② 酒匂教明, 下村修一, 安達俊夫, エネルギーの釣合に基づく地盤の液状化評価方法 —応力法との比較から見た特異性—, エネルギーに基づく液状化予測法に関するシンポジウム, 委員会活動報告書およびシンポジウム論文集, 地盤工学会 エネルギーに基づく液状化予測法に関する研究委員会, 2019
- ③ Kenta Kumada, Noriaki Sako, Shuichi Shimomura, Toshio Adachi, Tsutomu Hirade, Correlation between Liquefaction Resistance and Penetration Resistance of Swedish Weight Sounding Tests, ISOPE-2017 (San Francisco), The International Society of Offshore and Polar Engineers, 2017
- ④ 熊田健太, 酒匂教明, 下村修一, 安達俊夫, 平出務, スウェーデン式サウンディング試験結果から換算したN値を用いた液状化強度の評価, 第52回地盤工学会研究発表会, pp. 129-130, 2017
- ⑤ 熊田健太, 酒匂教明, 下村修一, 安達俊夫, 平出務, 液状化強度を推定するためのスウェ

ーデン式サウンディング試験に関する研究 その5 原位置の液状化強度の推定, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 構造1, 411-412, 2017

- ⑥ 酒匂教明, 下村修一, 安達俊夫, 平出務, 熊田健太, 液状化強度を推定するためのスウェーデン式サウンディング試験に関する研究 その4 外力評価の再検討, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 構造1, 409-410, 2017
- ⑦ 熊田健太, 安達俊夫, 酒匂教明, 平出務, 下村修一, スウェーデン式サウンディング試験から得られる回転貫入抵抗の拘束圧依存性 -加圧土槽実験に基づく考察-, 第51回地盤工学会研究発表会, pp. 247-248, 2017
- ⑧ 酒匂教明, 安達俊夫, 平出務, 下村修一, 熊田健太, 液状化強度を推定するためのスウェーデン式サウンディング試験に関する研究 -その3 東北地方太平洋沖地震の被害記録による検討-, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 構造1, pp. 557-558, 2017
- ⑨ 熊田健太, 安達俊夫, 平出務, 酒匂教明, 下村修一, 液状化強度を推定するためのスウェーデン式サウンディング試験に関する研究 -その2 室内試験に基づく NSW と液状化強度の関係-, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 構造1, pp. 555-556, 2017
- ⑩ 酒匂教明, 安達俊夫, 平出務, 下村修一, 液状化強度を推定するためのスウェーデン式サウンディング試験に関する研究 -加圧土槽実験による検討-, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, 構造1, pp. 497-498, 2016
- ⑪ 酒匂教明, 下村修一, 摩擦音による土質判別機能を付加したスウェーデン式サウンディング試験に関する研究 -フィールド地盤の土質判別例-, 第50回地盤工学会研究発表会, pp. 257-258, 2016

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：下村 修一

ローマ字氏名：(SHIMOMURA, Shuichi)

所属研究機関名：日本大学

部局名：生産工学部

職名：准教授

研究者番号 (8桁)：50443726

研究分担者氏名：平出 務

ローマ字氏名：(HIRADE, Tsutomu)

所属研究機関名：国立研究開発法人建築研究所

部局名：構造研究グループ

職名：研究員

研究者番号 (8桁)：40370704

(2)研究協力者

研究協力者氏名：安達 俊夫

ローマ字氏名：(ADACHI, Toshio)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。