

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 10 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22360226

研究課題名（和文）

極大地震入力に対する高耐震基礎の開発と入力機構の解明に関する研究

研究課題名（英文）

Study on seismic isolated foundation and its input mechanism for extreme earthquake

研究代表者

宮本 裕司 (MIYAMOTO YUJI)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50416856

研究成果の概要（和文）：

極大地震時における上部構造の応答低減を目的に、高耐震基礎絶震構造の開発を目的とした。大歪み域まで安定な新地盤材料として、高減衰ゴムチップと繊維補強材を混合した複合改良地盤材料の開発と、その性状を室内試験により把握した。複合改良地盤を擁壁に適用して免震建物との衝突応答および、直接基礎の底面を絶縁状態にして側面に複合改良地盤を用いた場合の低減効果を振動台実験と 3D 非線形 FEM 解析により確認した。

研究成果の概要（英文）：

This study addresses the developing of the improved soil which reduces the response of the superstructure. The mechanical properties of the improved compound soil are investigated by laboratory tests. Then earthquake response behaviors of spread foundation model and base-isolated building in collision to retaining wall are discussed with improved backfill soil by shaking table tests. Furthermore analysis results by 3D-nonlinear FEM are also discussed to clarify the effect to the response reduction of structures during an extreme earthquake.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2011 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2012 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
総計	8,600,000	2,580,000	11,180,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 建築構造・材料

キーワード：建築構造、応答低減、絶震基礎、複合改良地盤、免震衝突、地盤 - 基礎相互作用

1. 研究開始当初の背景

逼迫している南海トラフ沿いの巨大地震や大都市圏直下地震で想定されている強震動の大きさは、現在の設計用地震動を遥かに超えている。このような地震動に対して建物の耐震性を高め、地震後の機能維持を保証す

るためには、基礎-上部構造を一体とした高度な耐震化が必要となる。上部構造の高耐震化技術は阪神大震災以降に確実に進歩し、実際の建物に適用されている。一方、極大地震に対する基礎構造の耐震性評価や高耐震化の技術については、未だ開発途上にある。従

って、上部構造の耐震性を高め、機能維持を保証するためには、周辺地盤の大歪み域までの動特性や基礎構造の塑性化による実効入力動を精度良く評価し、建物の非線形応答を適確に把握することが重要となる。

さらに、周辺地盤の陥没や沈下は上部構造体への影響のほか、過去の地震でも問題となったように防災拠点となるべき病院、消防署、電力施設内に伸びる地中のライフラインの断絶や、地震後の緊急車両の出動を不可能にする。それを防止するためには、基礎周辺の地盤に、大歪み域まで非線形特性が安定な新しい地盤材料を用いれば好都合となる。

このような課題に対して、研究代表者は新地盤材料として、廃タイヤリサイクル材のゴムチップと繊維補強材を混合した複合地盤を併用した基礎が効果のあることを指摘している。また、大地震の度に議論される、「大振幅の加速度記録が数多く観測される割に、建物被害が極めて小さい」というギャップ、すなわち「大加速度と建物被害小」の原因の一つに、基礎構造の損傷や基礎近傍地盤の強非線形化が少なからず影響していることを指摘している。

2. 研究の目的

内陸直下型地震や海溝型地震の極大地震に対する耐震研究では、上部構造の高耐震化や免震・制振デバイスの開発が勢力的に行われ、その成果は実用化されている。しかし、上部構造を支える地盤-基礎構造に関しては研究実績が乏しく、その耐震性は一段と劣る。極大地震時に建物近傍地盤の陥没・沈下や基礎構造が損傷すると、建物の機能損失に直結する。また、このような地盤-基礎構造の強非線形化によって上部構造への入力メカニズムが急変し、建物の被害度評価にも大きく影響する。本研究では、大歪み域まで安定な新しい地盤材料の開発を推進するとともに、それを併用した高耐震基礎の開発を主目的とする。さらに、極大入力時の地盤-基礎構造の強非線形挙動を実験、解析研究の両面から解明し、高機能を保証する高耐震な基礎-上部構造の実現を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、極大地震に対する地盤-基礎構造の高耐震化を目指すため、

(1) 高機能を保証できる新地盤材料の開発

(2) 地盤-基礎の強非線形挙動の解明

(3) 高耐震基礎の開発

を主目的としている。研究方法は、小型振動台を用いたパラメータ実験に遠心動的実験を組み合わせた現象解明を目的とする実証実験と、それと並行して行う三次元FEMによる弾塑性解析の両面から検討する。さらに、強度、靱性をもつ新地盤材料の開発において

は、数多くの要素試験と地盤材料のみの振動台実験及び実構造物への適用性を解析的に検討する。

4. 研究成果

極大地震時における上部構造への入力機構の解明と、新地盤材料と非線形相互作用を応用した高耐震基礎構造の開発を目的として、下記の研究成果を得た。

(1) 大歪み域まで安定な新地盤材料の開発を行い、高減衰ゴムチップと繊維補強材を混合した複合地盤材料の動的せん断試験を行い、その性状を把握した。

(2) 地盤-基礎の非線形挙動および実効入力動を解明するため、杭基礎の杭頭部の損傷や地盤改良が上部構造物の応答に与える影響を、動的加振実験と解析により検討した。その結果、杭周地盤の非線形性と杭頭部の損傷および地盤改良が、杭応力や上部構造の応答低減に影響を与えることを明らかにした。

(3) 直接基礎を対象として、複合地盤を用いた高耐震基礎の開発のための実験として、支持地盤が硬質地盤で、埋め込み材料、埋め込みの有り無し、基礎側面地盤や底面地盤の接触条件、入力地震動、入力レベル等をパラメータとした振動台実験を行い、応答低減に関する有益な実験データを得た。特に基礎底面の条件として、接着した場合、滑る場合、浮かした場合の側面地盤の影響について明らかにした。また、3D非線形FEMを用いた解析シミュレーションを行い、応答低減を可能とする高耐震基礎について有意な知見を得た。

(4) 免震建物と擁壁の衝突応答を低減するため、複合改良地盤を用いた擁壁の正弦波入力および地震波入力による衝突実験とシミュレーション解析を行い、応答低減効果と解析モデルの有効性を確認した。また、実大の免震建物モデルに適用した場合の衝突応答の低減効果を明らかにした。

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10件)

① 島村 淳、松本優資、奥中良佑、柏 尚稔、宮本裕司：複合改良地盤を用いた擁壁と免震建物の衝突応答低減に関する基礎的研究、日本建築学会構造系論文集 第684号、査読有 pp.309~317、2013年2月

② A. Shimamura, H. Kashiwa, Y. Miyamoto: Study on Earthquake Response Reduction of Direct Foundation Using Composite Geomaterial, 15th World Conference on Earthquake Engineering Paper No. 1862, Lisbon Portugal, 査読有 September 24-28, 2012

③Hisatoshi Kashiwa, Takaharu Nakano, Yuji Miyamoto: Effect of Ground Improvement around Pile Foundation on Seismic Behavior of Pile Structure during Very Large Earthquake, 15th World Conference on Earthquake Engineering Paper No. 3937, Lisbon Portugal, 査読有 September 24-28, 2

④Hisatoshi Kashiwa, Yuji Miyamoto: Seismic Response Analysis of Structure Supported by Piles Subjected to Very Large Earthquake Based on 3D-FEM, The 2011 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics, 査読有 pp.1920-1929, 18-22 September 2011, Seoul, Korea

⑤Atsushi Shimamura, Hisatoshi Kashiwa, Yuji Miyamoto: Earthquake Response Reduction Considering Nonlinear Interaction between Composite Geomaterials and Foundation, The 2011 World Congress on Advances in Structural Engineering and Mechanics, 査読有 pp.4972-4981, 18-22 September 2011, Seoul, Korea

⑥Yuji MIYAMOTO : Advanced technologies to reduce earthquake damage of structures、大阪大学フォーラム2011 防災・減災・災害復興と国際協力 日中の経験に学ぶ、査読無pp.20-21, 27-28 October 2011

⑦宮本裕司：建築の耐震技術と地震被害、生産と技術 大阪大学生産技術研究会編集 社団法人生産技術振興協会 Vol.63 別冊、査読無pp.18~22、2011年7月

⑧島村 淳、岸本美季、柏 尚稔、宮本裕司：ゴムチップと繊維材を用いた複合地盤材料の力学特性に関する研究、日本建築学会技術報告集、第17巻 第35号、査読有pp.61~66、2011年2月

⑨秀川貴彦、岸本美季、柏 尚稔、宮本裕司、田村修次：杭-地盤系の非線形性を考慮した杭基礎建物の地震応答性状、日本建築学会構造系論文集 第661号、査読有pp.491~498、2011年3月

⑩柏 尚稔、秀川貴彦、岸本美季、宮本裕司、田村修次：杭-地盤系の非線形性を考慮した杭基礎建物の地震応答性状、第13回日本地震工学シンポジウム、査読有pp.1024~1031、2010年11月23)

〔学会発表〕(計25件)

①柏 尚稔、中野尊治、宮本裕司：兵庫県南部地震・十勝沖地震における杭基礎被害のシミュレーション解析、第9回構造物と地盤の動的相互作用シンポジウム-最近の被害地震における地盤震動・動的相互作用の現象把握と構造設計への取り組み、pp.58~68、日

本建築学会、2013年1月11日

②奥中良佑、松本優資、島村 淳、柏 尚稔、宮本裕司：複合改良擁壁と免震建物模型の擁壁衝突実験と解析に関する研究その1.繰り返し載荷実験とシミュレーション解析、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.267~268、2012年9月

③松本優資、奥中良佑、島村 淳、柏 尚稔、宮本裕司：複合改良擁壁と免震建物模型の擁壁衝突実験と解析に関する研究 その2. 3次元有限要素解析による衝突時の挙動把握、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.269~270、2012年9月

④藤井 達、吉田隆充、島村 淳、柏 尚稔、宮本裕司：複合改良地盤を用いた地震応答低減基礎に関する実験的研究 (その1) 実験計画および基礎底面接触条件の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.629~630、2012年9月

⑤吉田隆充、藤井 達、島村 淳、柏 尚稔、宮本裕司：複合改良地盤を用いた地震応答低減基礎に関する実験的研究 (その2) 基礎側面地盤の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.631~632、2012年9月

⑥吉田隆充、藤井 達、島村 淳、柏 尚稔、宮本裕司：複合改良地盤を用いた直接基礎における地震応答低減に関する実験的研究、日本建築学会近畿支部研究報告集構造系、pp.21~24、2012年6月

⑦奥中良佑、松本優資、島村 淳、柏 尚稔、宮本裕司：複合改良擁壁を用いた免震建物の擁壁衝突時の応答低減に関する研究 (その1) 繰り返し載荷時の擁壁の応答特性の把握、日本建築学会近畿支部研究報告集構造系、pp.193~196、2012年6月

⑧松本優資、奥中良佑、島村 淳、柏 尚稔、宮本裕司：複合改良擁壁を用いた免震建物の擁壁衝突時の応答低減に関する研究 (その2) 3次元有限要素解析による衝突時の挙動把握、日本建築学会近畿支部研究報告集構造系、pp.197~200、2012年6月

⑨島村 淳、藤井 達、本村友一、柏 尚稔、宮本裕司：直接基礎-複合地盤の非線形相互作用と応答低減効果に関する実験研究 (その1) 複合地盤の特性と実験計画、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.195~196、2011年8月

⑩藤井 達、本村友一、島村 淳、柏 尚稔、宮本裕司：直接基礎-複合地盤の非線形相互作用と応答低減効果に関する実験研究 (その2) 硬質地盤上の建物模型の振動台実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.197~198、2011年8月

⑪本村友一、藤井 達、島村 淳、柏 尚稔、田村修次、宮本裕司：直接基礎-複合地盤の非線形相互作用と応答低減効果に関する実験研究 (その3) 遠心載荷装置を用いた砂質

地盤上の建物模型の振動台実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.199～200、2011年8月

⑫松本優資、三木久美子、島村 淳、柏 尚稔、宮本裕司：複合改良地盤を用いた免震建物の擁壁衝突時の応答低減に関する研究（その1）免震衝突応答と擁壁抵抗特性、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.477～478、2011年8月

⑬三木久美子、松本優資、島村 淳、柏 尚稔、宮本裕司：複合改良地盤を用いた免震建物の擁壁衝突時の応答低減に関する研究（その2）免震建物模型の擁壁衝突実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.479～480、2011年8月

⑭本村友一、藤井達、島村 淳、柏 尚稔、宮本裕司：直接基礎の非線形相互作用と地震応答低減効果に関する実験研究、日本建築学会近畿支部研究報告集構造系、pp.37～40、2011年6月

⑮三木久美子、松本優資、島村 淳、柏 尚稔、宮本裕司：複合改良地盤を用いた免震建物の擁壁衝突時の応答低減に関する研究、日本建築学会近畿支部研究報告集構造系、pp.101～104、2011年6月

⑯藤井 達、松本優資、柏 尚稔、宮本裕司：地盤-直接基礎構造物系の非線形地震応答に関する実証研究 その1：遠心載荷装置を用いた振動実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.657～658、2010年9月

⑰松本優資、藤井 達、柏 尚稔、宮本裕司：地盤-直接基礎構造物系の非線形地震応答に関する実証研究 その2：3次元有限要素解析による実験シミュレーション、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.659～660、2010年9月

⑱島村 淳、藤井 達、松本優資、柏 尚稔、宮本裕司：ゴムチップを用いた複合地盤材料の応答低減効果に関する実験研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.681～682、2010年9月

⑲飯場正紀、宮本裕司、木村 匠、護 雅史、田村修次：建物挙動に及ぼす動的相互作用効果、2010年度日本建築学会大会構造部門（振動）パネルディスカッション、pp.62～79、2010年9月

⑳宮本裕司、柏 尚稔、岸本美季：地盤-杭-上部構造系の動的解析による杭基礎の損傷評価、地震被害からみた建築基礎構造の設計・施工上の留意点、日本建築学会近畿支部基礎構造部会耐震基礎研究会、pp.33～47、2010年9月

[その他]

<http://www.arch.eng.osaka-u.ac.jp/labo-miyamoto/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

宮本 裕司 (MIYAMOTO YUJI)
大阪大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：50416856

(2)研究分担者

島村 淳 (SHIMAMURA ATSUSHI)
ケミカルグラウト株式会社・その他部局等
・研究員

研究者番号：10535967

田村 修次 (TAMURA SHUJI)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：40313837

柏 尚稔 (KASHIWA HISATOSHI)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：40550132

永野 正行 (NAGANO MASAYUKI)

東京理科大学・理工学部・教授

研究者番号：60416865