

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23310119

研究課題名(和文)大都市沿岸域の広域複合地盤災害に関する研究

研究課題名(英文)Study on combined geotechnical hazards in wide coastal area around mega-cities

研究代表者

井合 進 (IAI, Susumu)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：20359780

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,900,000円、(間接経費) 4,470,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大阪湾沿岸域を念頭に、津波との複合災害：何回も来襲する津波進行性破壊、間隙水の移動・消散：津波による水圧上昇による破壊の進行、逆に、沈下の時間遅れによる浸水の軽減、被害軽減とライフサイクルコスト：段階的な対策実行、のような時間的なファクターを導入し、広域にわたる沿岸域の合理的な面的耐震診断・対策へと結びつけた。

研究成果の概要(英文)：This study focuses on time factor in remediation of coastal areas in Osaka Bay area as (1) combined failure of geotechnical structures due to Tsunami: progressive failure due to repeated arrivals of Tsunami, (2) pore water flow and pressure dissipation: progress of failure due to excess pore water pressure generation due to Tsunami and reduction effect on failure due to dissipation of pore water pressure, (3) mitigation measures and life cycle costs: progressive implementation of remediation measures. The results of the study lead to a methodology for evaluation of vulnerability in wide area and implementation of mitigation measures.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：社会安全システム科学・自然災害科学

キーワード：地盤災害 地震災害 津波災害 広域災害 防潮堤 河川堤防 沿岸域 液状化

1. 研究開始当初の背景

東南海・南海地震の発生が切迫している。その発生確率は、今後 30 年間で 50%とされている。これらの地震により、防潮堤・水門などが地震時に機能を発揮できないと、その直後に来襲する津波などにより甚大な被害が発生することが想定される。このためには、海岸保全施設の耐震点検などを緊急に実施し、補強の必要な箇所を把握し、対策を講じていかなければならない。

これまででは、断層面上のアスペリティを含む発震機構に基づく強地震動予測の研究、有効応力解析による地盤の液化化シミュレーション、津波シミュレーション、などの研究が進展し、わが国の研究レベルは、世界でも第一線のレベルにある。しかし、地震と津波による複合災害の現象は、地震動による液化化の影響が残る状態で津波の作用を受ける現象であり、2004 年スマトラ地震を契機に、ようやく研究が開始された段階にあり、未だ未解明な点が多い。また、大都市沿岸域が潜在的に抱える地震と津波による複合災害は、広域に亘る。これまででは、地震、液化化、津波浸水ハザードマップなどの個別の研究が行なわれてきたが、複合災害への防災対策を合理的に進めるためには、これらの研究では不十分であり、許容被害程度を骨子とする性能設計に基づく方法論を、広域に適用可能な新たな方法論の構築が必要な段階にある。本研究では、このような複合的かつ広域の災害軽減を目指し、これに向けた新たな研究を行なう。

2. 研究の目的

本研究は、大都市沿岸域の地震動と津波による複合地盤災害の脆弱性評価と被害軽減のための方法論の構築を目的とする。世界初の大型ハイブリッド型遠心力載荷装置による複合地盤災害の現象解明に基づき、性能設計の枠組みに基づく広域脆弱性評価と被害軽減のための新たな方法論の構築、地震と津波による複合災害現象の解明、チャート式耐震診断システムの複合地盤災害への応用、広域複合地盤災害軽減のための方法論の構築を行う。南海地震などの発生が切迫し、緊急性も高い大阪湾岸の防潮堤・河川堤防、水門・樋門・門扉の構造系施設を具体的なモデルケースとして想定する。これまででは地震、液化化、津波浸水ハザードマップなどの個別の研究が行なわれてきたが、複合災害への防災対策を合理的に進めるためには、これらの研究では不十分であり、許容被害程度を骨子とする性能設計に基づく方法論を、広域に適用可能な新たな方法論の構築が必要な段階にある。

3. 研究の方法

a) 地震と津波による複合災害現象の解明

遠心場における模型実験および有効応力解析に基づく数値シミュレーションにより、

地震動を受けて液化化などが発生した直後、または津波来襲までにある程度の時間が経過して、やや間隙水圧が消散した状態、での津波による複合災害現象の解明を行なう。地震動終了後から津波来襲までの時間を主なパラメタとし、地震動継続時間の長短に着目し、地盤の密度等の条件を 3 種類に変化させ、実験を 6 ケース実施する。さらに、代表的な海岸保全施設である防潮堤および水門を対象として、被災形態および被害程度の評価を行う。

b) チャート式耐震診断システムの複合地盤災害への応用

応募者が研究開発してきたチャート式耐震診断システムは、防潮堤や重力式護岸のような海岸保全施設の代表的断面について、構造、地盤、地震動に関する代表的なパラメタをパラメトリックに変化させて解析した総合的な解析結果を設計チャートの形にとりまとめ、これを基に、構造物の天端沈下量など地震後の被害程度を簡易に評価するもので、広域への性能設計の応用にとって重要な役割を果たす。このシステムは、これまで、非排水条件における解析結果に基づいていたが、本研究においては、上に述べた複合災害現象の解明結果に基づき、既往の検討結果について、排水が影響する実条件下での妥当性、および、精度向上の必要性の有無を明らかにする。

c) 広域複合地盤災害軽減のための方法論の構築

大都市沿岸域の広域に亘る地盤災害軽減のための方法論として、大阪湾岸地域をモデルケースとして、広域に亘る地盤調査や地盤モデル構築のための方法論、チャート式耐震診断システムやライフサイクルコスト的なアプローチを総合化し、被害軽減策としての構造補強や地盤改良オプションの選択にも有用な一連の方法論を、性能設計の枠組みに基づいて構築する。地盤モデル構築においては、地形の形成過程など地質学的な側面をどのように組み込むか、また、これらにより不足する地盤情報をどのような地盤調査により補うか、などを明らかにする。また、性能設計の枠組みに基づいて構築する方法論として、広域に亘る大都市沿岸域における被害の影響度合いの評価方法を明らかにする。

4. 研究成果

a) 地震と津波による複合災害現象の解明

地盤を構成する土の力学的特徴は、その非線形性および誘導異方性の 2 点にあり、地震動による繰返しせん断応力履歴を受け、液化化に至った後、間隙水圧の消散に伴って有効応力が回復してくる途中で、再び津波によるせん断応力履歴を受ける際の現象は、十分な研究が行なわれておらず、学術上、ほぼ未解明の現象である。本研究では、この課題に対して、遠心力模型実験と有効応力解析により、液化化と津波の複合的な作用に起因する新

たな被害機構を明らかにした。具体的には、液状化の影響を受けた施設は、津波の来襲が早いほど、被害が著しくなり、被害形態も、液状化により弱体化した部分に変形が集中する形態となることを明らかにした。

b) チャート式耐震診断システムを組込んだ広域複合地盤災害軽減のための方法論

大都市沿岸域の広域にわたる災害軽減のための方法としては、これまで、地震、液状化、津波ハザードマップなどの研究が行なわれてきたが、性能設計に基づく方法論を、広域に適用しようとする研究は、これまで見られなかった。これまでのハザードマップが地震、液状化、津波という個別の現象を扱ってきたのに対して、本研究では、これらの災害が複合的に発生する際に適用可能な総合的な方法論、時間依存性の観点を軸に、構築した。特に、被害の影響度合いを適切に評価し、これに基づいて、メリハリの効いた対策の実施に結びつけるための方法論が得られた点に特徴がある。

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29件)

著者(第一著者)名: 井合 進

論文標題: 巨大地震における沿岸域の広域複合地盤災害

雑誌名(大学の研究紀要等を含む): 地盤工学会誌

査読の有無: 有

巻: Vol.62, No.1, 総説

発行年(西暦): 2014

最初と最後の頁: 3-5

著者(第一著者)名: lai, S., Tobita, T. and Ozutsumi, O. (lai, S.)

論文標題: Evolution of fabric in a strain space multiple mechanism model for granular materials,

雑誌名(大学の研究紀要等を含む): International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics

査読の有無: 有

巻: 37(10)

発行年(西暦): 2013

最初と最後の頁: 1326-1336

DOI: 10.1002/nag.2087

著者(第一著者)名: lai, S., Ueda, K., Tobita, T. and Ozutsumi, O. (lai, S.)

論文標題: Finite strain formulation of a strain space multiple mechanism model for granular materials

雑誌名(大学の研究紀要等を含む): ,

International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics

査読の有無: 有

巻: 37(9)

発行年(西暦): 2013

最初と最後の頁: 1189-1212

DOI: 10.1002/nag.2084

著者(第一著者)名: 一井 康二, 森 佑樹, 角田 光法

論文標題: 要素地震波の時刻歴波形の差異が推定地震動の波形の差異に及ぼす影響の検討

雑誌名(大学の研究紀要等を含む): 土木学会論文集 A 1 (構造・地震工学)

査読の有無: 有

巻: Vol.69, No.4,

発行年(西暦): 2013

最初と最後の頁: p.1_207-I_217

著者(第一著者)名: 一井 康二, 山本 豊, 角田 光法

論文標題: 岸壁上の移動式荷役施設の耐震設計のためのケーソン間相対変位の予測法の検討

雑誌名(大学の研究紀要等を含む): 土木学会論文集 A 1 (構造・地震工学)

査読の有無: 有

巻: Vol.69, No.4,

発行年(西暦): 2013

最初と最後の頁: p.1_218-I_227

著者(第一著者)名: 松野 隆志, 一井 康二, 北出 圭介

論文標題: 異方圧密状態の砂の動的沈下特性に及ぼす載荷振動数の影響

雑誌名(大学の研究紀要等を含む): 土木学会論文集 A 1 (構造・地震工学)

査読の有無: 有

巻: Vol.69, No.4,

発行年(西暦): 2013

最初と最後の頁: p.1_228-I_234

著者(第一著者)名: 北出 圭介, 一井 康二, 木下 洋樹, 久賀 真一, 米浦 大輔

論文標題: 東日本大震災における沿岸部埋立地の液状化が工場被災に伴う企業の特別損失におよぼす影響

雑誌名(大学の研究紀要等を含む): 土木学会論文集 A 1 (構造・地震工学)

査読の有無: 有

巻: Vol.69, No.4

発行年(西暦): 2013

最初と最後の頁: p.1_337-I_344

著者(第一著者)名:平田昌史・飯塚敦・
太田秀樹
論文標題:二次圧密による先行効果を考慮した弾・粘塑性構成モデルの拡張
雑誌名(大学の研究紀要等を含む):土木学会論文集C(地圏工学)
査読の有無:査読有
巻:Vol. 69, No. 4
発行年(西暦):2013
最初と最後の頁:404-416

著者(第一著者)名:高町茉莉, 一井康二, 北出圭介
論文標題:地盤条件の差異が液状化の被害程度に及ぼす影響について~東日本大震災における浦安市の被害事例の分析から~
雑誌名(大学の研究紀要等を含む):地盤工学会中国支部論文報告集、地盤と建設
査読の有無:有
巻:Vol.31、No.1
発行年(西暦):2013
最初と最後の頁:pp.47-54

他 20 件

[学会発表](計 35 件)

発表者(代表)名:井合 進
発表標題:ひずみ空間多重せん断モデルによる表層地盤の地震応答(液状化)解析
学会等名:地盤工学会 地盤材料の構成式ワークショップ(第3回)
発表年月日:2014年1月9日
発表場所:東京 地盤工学会(JGS 会館) 地階大会議室

発表者(代表)名:Susumu Iai and Keisuke Nagaura
発表標題:RATE OF DISSIPATION OF EXCESS PORE WATER PRESSURE IN LIQUEFIABLE SAND DEPOSIT
学会等名:(招待講演) NZ-Japan Workshop on "Soil Liquefaction during Recent Large-Scale Earthquakes"
発表年月日:December 2-3, 2013
発表場所:, University of Auckland, New Zealand

発表者(代表)名:Susumu Iai
発表標題:Combined Failure Mechanism of a Breakwater subject to Tsunami during 2011 East Japan Earthquake
学会等名:(招待講演) The University of Auckland Centre for Earthquake Engineering Research, 2013 Earthquake Engineering Research Symposium
NZ-Japan Workshop on "Soil Liquefaction

during Recent Large-Scale Earthquakes
発表年月日:December 4, 2013
発表場所:University of Auckland, New Zealand

発表者(代表)名:Susumu Iai
発表標題:How to meet catastrophic flooding events?
学会等名:(Discussion Leader) ISSMGE/TC303 on floods, THE 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING
発表年月日:September 2-6, 2013
発表場所:Palais des Congrès de Paris, Paris, France

発表者(代表)名:H. Ohta, T. Ishigaki and N. Tatta
発表標題:Retrofit technique for asphalt concrete pavements after seismic damage
学会等名:Proc. 18th Int. Conf. Soil Mech. And Geotechnical Engineering
発表年月日:September 2-6, 2013
発表場所:Palais des Congrès de Paris, Paris, France

発表者(代表)名:Hideki Ohta
発表標題:Engineering practice of vacuum consolidation with prefabricated vertical drain
学会等名:GSIC Int. Symp on Slope Stability Assessment, Reinforcement and Monitoring in Open-Pit Mining (招待講演)
発表年月日:August 16, 2013
発表場所:Chiang Mai, Thailand

発表者(代表)名:木村勝, 石垣勉, 横田聖也, 藤岡一頼, 阿部文彦, 飯塚敦, 齋藤邦夫, 太田秀樹
発表標題:東名牧の原崩壊盛土材料の締固め - 定体積単純せん断強度特性
学会等名:第 48 回地盤工学研究発表会講演論文集, pp. 481-482
発表年月日:2013年7月23日~25日
発表場所:富山

発表者(代表)名:加藤真司, 杉江茂彦, 佐々木徹, 太田秀樹
発表標題:泥炭が厚く堆積する地盤での真空圧密併用盛土の荷重伝播について
学会等名:第 48 回地盤工学研究発表会講演論文集, pp. 981-982
発表年月日:2013年7月23日~25日
発表場所:富山

発表者(代表)名:平田昌史, 飯塚敦, 太田秀樹
発表標題:二次圧密による擬似化過圧密化を考慮した弾・粘塑性構成モデル
学会等名:第48回地盤工学研究発表会講演論文集, pp. 1001-1002
発表年月日:2013年7月23日~25日
発表場所:富山

発表者(代表)名:Susumu Iai
発表標題:Combined failure mechanism of a breakwater subject to Tsunami during 2011 East Japan Earthquake
学会等名:(招待講演) International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering - From Case History to Practice · In honour of Prof. Kenji Ishihara
発表年月日:17-19 June 2013
発表場所:, Istanbul, TURKEY · Boğaziçi University · Albert Long Conference Hall

発表者(代表)名:Susumu Iai
発表標題:Strain space multiple mechanism model for sand
学会等名:(招待講演) Kick-off meeting of PRENOLIN (Improvement of Prediction of soil Non Linear effects caused by strong seismic motion)
発表年月日:June 10-11, 2013
発表場所:Sainte Foy lès Lyon, Lyon, France

発表者(代表)名:井合 進
発表標題:ひずみ空間多重せん断モデル(カクテルグラスモデル系)
学会等名:地盤工学会 地盤材料の構成式ワークショップ(第2回)
発表年月日:2013年5月27日
発表場所:東京 地盤工学会(JGS 会館) 地階大会議室

発表者(代表)名:Susumu Iai
発表標題:Recent advances in analysis of Liquefaction
学会等名:(招待講演) Kick-off Meeting of 111 Project and international Workshop on Embankment Engineering Safety and Disaster Reduction
発表年月日:2013年5月18~19日
発表場所:Hohai University, Nanjing, China

他 21 件

[図書](計12件)

著者(第一著者)名:井合 進・R.Scott Steedman (井合 進)

出版社名:コロナ社
書名:土木・環境系の国際人英語
発行年(西暦):2013年
総ページ数(共著の場合は最初と最後の頁):1-193

著者(第一著者)名:H. Ohta, Susumu Iai, Yukihiro Nishida, Shu Morioka, and Atsushi Iizuka
出版社名:Springer Dordrecht Heidelberg NewYork London
書名:Chapter 1 Tsunami Induced by 2011 Tohoku-Pacific Ocean Earthquake and a Possible Renewal Plan, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka
発行年(西暦):2013
総ページ数(共著の場合は最初と最後の頁):3-18

著者(第一著者)名:M. Hirata, A. Iizuka, H. Ohta, T. Yamakami, Y. Yokota and Koji Ohmori
出版社名:Springer Dordrecht Heidelberg NewYork London
書名:Chapter 7 Numerical simulation of soil structure reinforced by geosynthetics, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka
発行年(西暦):2013
総ページ数(共著の場合は最初と最後の頁):95-114

著者(第一著者)名:K. Matsumoto, A. Kobayashi, and H. Ohta
出版社名:Springer Dordrecht Heidelberg NewYork London
書名:Chapter 8 Deformation prediction of a structure placed on soft clay in Tokyo Bay affected by heavy deep well pumping, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka
発行年(西暦):2013
総ページ数(共著の場合は最初と最後の頁):115-130

著者(第一著者)名:T. Fujiyama, T. Ishiguro, Y. Uchita, and H. Ohta
出版社名:Springer Dordrecht Heidelberg NewYork London
書名:Chapter 9 Elasto-plastic FEM analysis and safety evaluation of large

rockfill dams during reservoir filling, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka
発行年(西暦): 2013
総ページ数(共著の場合は最初と最後の頁): 131-148

著者(第一著者)名: M. Hirata, A. Iizuka, H. Ohta, T. Fujiyama, and T. Takeyama
出版社名: Springer Dordrecht Heidelberg New York London
書名: Chapter 11 Spatial discretization of a water head in soil-water coupled Finite Element Method analysis using the hybrid-type penalty method, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka
発行年(西暦): 2013
総ページ数(共著の場合は最初と最後の頁): 163-180

著者(第一著者)名: T. Pipatpongsa and H. Ohta
出版社名: Springer Dordrecht Heidelberg New York London
書名: Chapter 13 Threshold of friction stabilizes self-weight transmission in gravitating loose sand heaps, Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards, edited by J. Chu, S.P.R. Wardani and A. Iizuka
発行年(西暦): 2013
総ページ数(共著の場合は最初と最後の頁): 199-214 (他5編: 199-214, 215-222, 229-240, 241-252, 353-374)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:

取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

井合 進 (IAI, Susumu)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号: 20359780

(2) 研究分担者

飛田 哲男 (TOBITA, Tetsuo)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号: 00346058

菅野 高弘 (SUGANO, Takahiro)
独立行政法人港湾空港技術研究所
研究者番号: 10187635

東畑 郁生 (TOWHATA, Ikuo)
東京大学工学系研究科(工学部)・教授
研究者番号: 20155500

渦岡 良介 (UZUOKA, Ryosuke)
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授
研究者番号: 40333306

岡村 未対 (OKAMURA, Mitsu)
愛媛大学・理工学研究科(工学系)・教授
研究者番号: 50251624

一井 康二 (ICHI, Koji)
広島大学・工学研究院・准教授
研究者番号: 70371771

太田 秀樹 (OHTA, Hideki)
中央大学・研究開発機構・機構教授
研究者番号: 80026187

(3) 連携研究者

()

研究者番号: