

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：34407

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560601

研究課題名(和文) 基礎杭における地震時衝撃上下動による支持力発生力学挙動の模型実験に基づく研究

研究課題名(英文) Model tests on mechanical behaviors of piles due to impact up-down earthquake motions

研究代表者

玉野 富雄 (TAMANO, Tomio)

大阪産業大学・工学部・教授

研究者番号：10268245

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：地震時衝撃上下動による基礎杭の破壊は、都市防災を考えるうえで、看過できない緊急課題である。兵庫県南部地震時の調査では、基礎杭に衝撃せん断破壊や衝撃引張破壊が生じていることが確認できた。しかしながら、これらの衝撃破壊の力学挙動については、今なお不明な点が残されている。

こうした観点より、本研究では、地震時衝撃上下動を模擬した衝撃載荷による基礎杭の模型実験を行った。その結果、基礎杭の衝撃破壊についての力学的知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：The failure of piles due to impact up-down earthquake motions is a pressing subject which cannot be overlooked. In an investigation after the 1995 Kobe Earthquake, shear and tension failures have been revealed. However, obscure points still remain in terms of the mechanical behavior of such impact failures.

From such a viewpoint, model tests were conducted in this study on the mechanical behavior of piles due to impact up-down earthquake motions. As a result, the mechanical behavior brought about by the impact failure of piles is presented.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：地震 衝撃破壊 基礎杭 耐震設計 基礎支持力 衝撃載荷 基礎地盤 模型実験

1. 研究開始当初の背景

東京・大阪などの日本の大都市には、沖積軟弱地盤上に発達したところが多く、地震時には甚大な基礎杭（以下、単に杭と呼ぶ）の被害が予測される。そのため、直下型地震の生起時の杭の耐震性能の確保は看過できない緊急課題である。

兵庫県南部地震では、震災後の現地調査により、杭の衝撃上下動による衝撃せん断破壊や衝撃引張破壊が確認された。しかしながら、こうした衝撃破壊の力学挙動については不明な点が残された状況にあった。

2. 研究の目的

地震時衝撃上下動による杭の破壊は、都市防災を考えるうえで、看過できない緊急課題である。兵庫県南部地震時の調査では、杭に衝撃せん断破壊や衝撃引張破壊が生じていることが確認できた。しかしながら、これらの衝撃破壊の力学挙動については、今なお不明な点が残されている。

こうした観点より、本研究では、地震時衝撃上下動を模擬した衝撃载荷による杭の模型実験を行った。

すなわち、高精度な杭衝撃载荷実験装置を製作し、地震時衝撃上下動を模擬した各種の衝撃载荷実験を行い、地盤と杭の相互力学作用の解明を目指した。

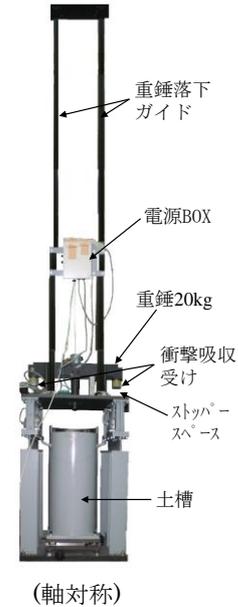
3. 研究の方法

3.1 実験装置

軸対象実験装置および半割実験装置の30cm径実験装置の写真を図-1に説明図を図-2に示す。半割実験装置は、軸対象実験装置を単純に半割にしたものである。亚克力製透過板を設け、特に杭と地盤の動きを前面よりビデオカメラで撮影し可視化できるように製作した。

実験においては、1秒間に100万コマ撮影できる超高速ビデオカメラおよび1秒間に20万回計測できるひずみ計測システムを導入した。

実験に使用した杭はアルミ製である。軸対象実験杭は、直径2.83cmで高さ30cmである。半割実験杭は直径4cmで高さ30cmである。軸対象杭と半割杭の断面積は同じである。杭は実験に際し、繰り返し使用は残留ひずみの影



(軸対称)



(半割)

図-1 衝撃実験装置

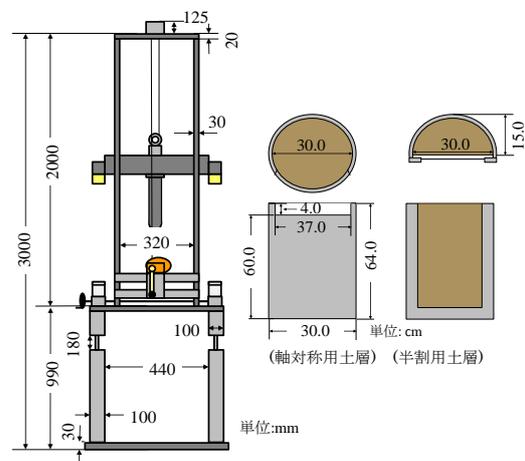


図-2 衝撃実験装置説明図

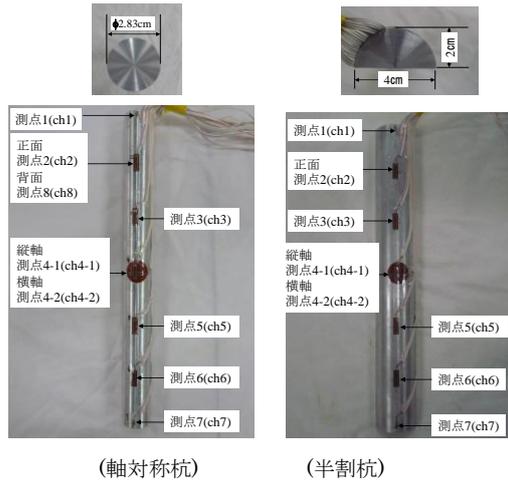


図-3 ひずみゲージ設置位置

響が懸念されたため行わず、正確さを期するため1回使いとした。軸対象杭および半割杭におけるひずみゲージの設置位置を図-3に示す。

超高速ビデオカメラは、毎秒25万コマ、タテ260×ヨコ360 pixelの解像度で撮影を行い102枚の画像をPCへ取り込んだ。計測トリガーはレーザー法を用いた。杭上端面の沈下量とその時点で杭に生じている計測ひずみから杭下端の変位量を算定した。また、半割実験における杭下端における杭の時間一杭下端部沈下関係については直接的に超高速ビデオカメラで撮影し算定した。測定結果をもとに画像解析とPIV解析を行った。

3.2 実験結果

軸対象実験における実験条件は、水平地盤・杭の埋設深さ0cm・20cm・質量20kg・40kgの重錘・高さ0.25m・1m・2mから落下を組み合わせて行った。本実験においては、重錘と杭上端とのスペースを設定可能な最も小さいスペースとして0.1mmに設定した。

実験の結果を実験名F-1：重錘質量20kg・落下高さ2m・埋設20cmの場合について図-4に、また、拡大図を図-5に例示する。図-6に時間一杭下端部沈下量関係を例示する。なお、測点4-1は杭頭部に直下に設置したことによる乱れのある計測値が生じたことから実験結果より除外した。また、測点-4.2は横方向のひずみである。

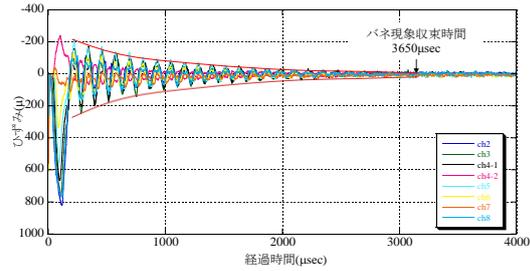


図-4 時間一ひずみ関係 (重錘質量 20kg・落下高さ 2m・埋設 20cm)

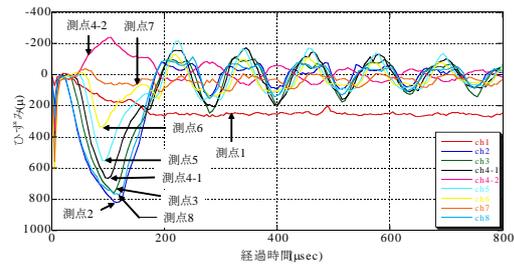


図-5 時間一ひずみ関係 (図-4 の拡大図)

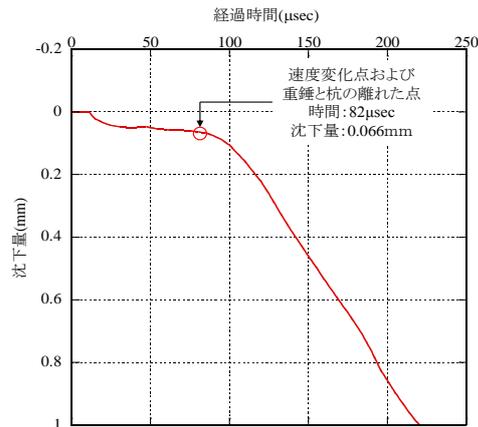


図-6 時間一杭下端部沈下量関係 (重錘質量 20kg・落下高さ 2m・埋設 20cm)

4. 研究の成果

この事例の計測結果を含めたすべての軸対象実験での力学挙動を考察すれば以下のようなのである。

- (1) 第1波応力波による最大圧縮ひずみは5～10μsecで発生し、32.6～678.6μであった。次に、30～200μsec間で第2波応力波による圧縮ひずみが生じ、最大圧縮ひずみは75～125μsecで発生し、14.2～

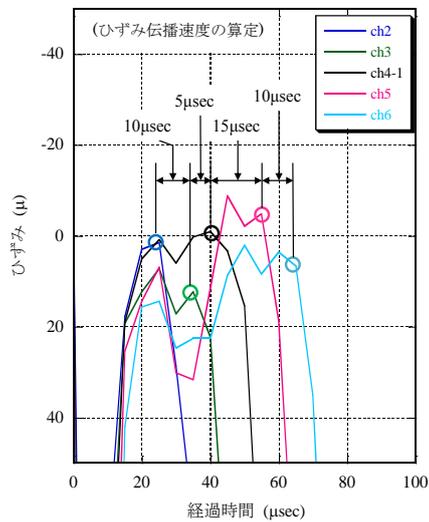
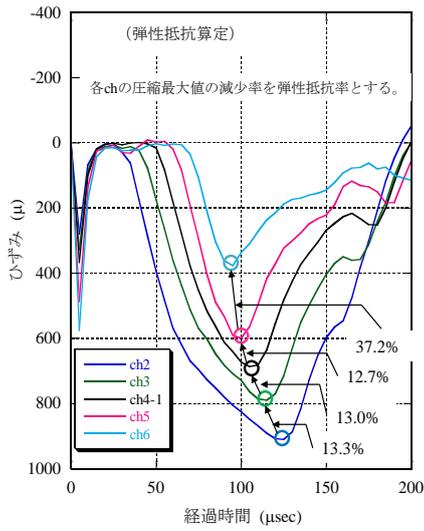


図-7 弾性抵抗およびひずみ伝播速度の検討説明図 (重錘質量 40kg・落下高さ 2m・埋設 20cm)

910.9 μ であった。それ以降では圧縮と引張が繰り返す減衰振動が生じた。第1波応力波が圧縮波として上端より下端へ伝播したのち、反射圧縮波として跳ねかえり下端より上端へ伝播していくという力学現象が考察できる。その時の杭上端の沈下量は0.02~0.09mmで0.1mmより小さかった。減衰率は10~30%で、時間経過とともに減衰率は上昇した。周期は115 μ sec程度である。それ以降も減衰振動が続き2815~3960 μ secでひずみはゼロとなった。

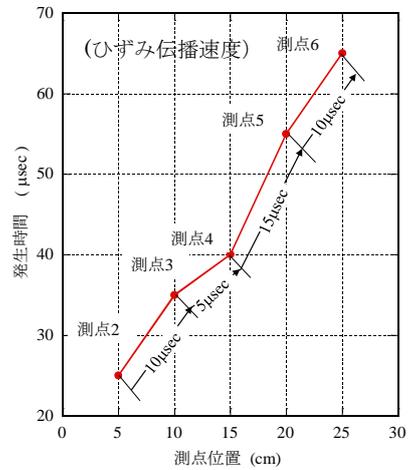
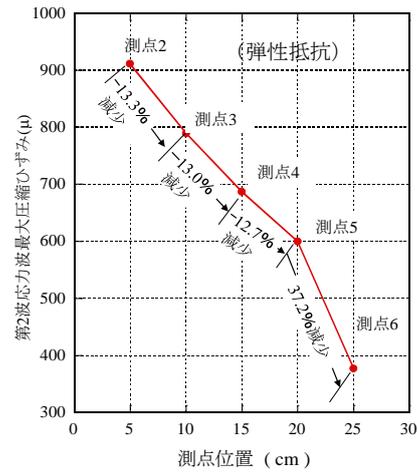


図-8 弾性抵抗の変化およびひずみ伝播速度の解析結果(重錘質量 40kg・落下高さ 2m・埋設 20cm)

- (2) 応力波の発生過程で杭に200 μ を超える過大な引張ひずみが作用し、コンクリートであれば衝撃引張破壊が生じる可能性があることがわかった。兵庫県南部地震時や新潟県中越地震時での杭を含む構造物の引張破断現象を説明できる耐震性評価のための基礎的な力学知見が得られた。
- (3) 圧縮と引張が繰り返される弾性バネとして減衰振動が生じる理由は以下のように考察できた。0.02~0.066mmの杭上端の沈下以降では杭上端は自由端となる。杭上端が重錘と離れると、圧縮波は引張波として、杭上端より杭下端に伝播する(逆に引張波は圧縮波として反射す

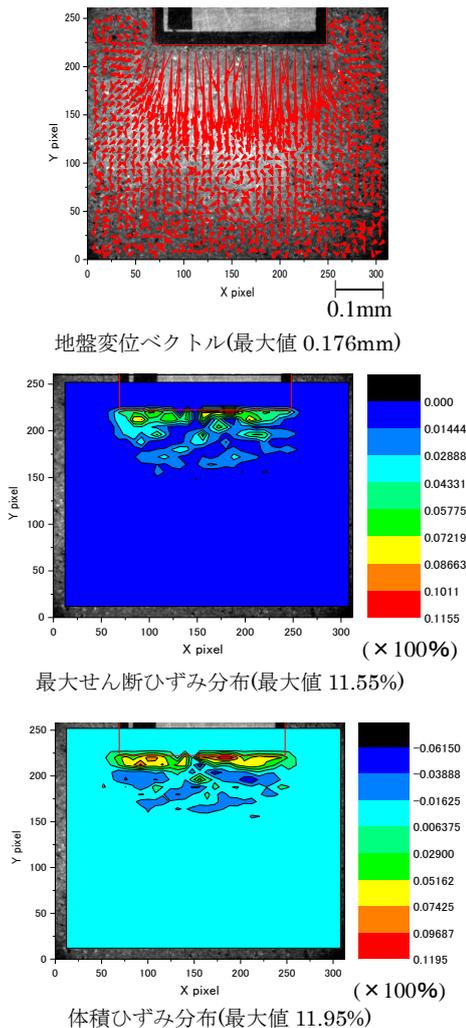


図-9 衝撃発生から 120 μ sec 時のベクトル分布・最大せん断ひずみ分布・体積ひずみ分布(重錘質量 20kg・落下高さ 1m・埋設 10cm)

る)。杭と杭下端地盤のインピーダンス比が55であり、ほぼ自由端として機能する。結果として、両端自由条件のばね振動が生じた。

- (4) 弾性抵抗とひずみ伝播速度(応力波伝播速度と同じ力学的意味をもつ)を実験名 F-2: 重錘質量40kg・落下高さ2m・埋設20cmの場合で例示する。図-7に説明図を示す。各ひずみ測点における時間-ひずみ関係から、最大圧縮ひずみの減少率を弾性抵抗、圧縮ひずみの増大を示し始める時間の差からひずみ伝播速度を算定した。算定結果を図-8に示す。弾性抵抗

の減少率は13~32%で、ひずみ伝播速度は毎秒5kmでアルミ杭の密度と弾性係数より計算できる弾性波速度の毎秒4.68kmとよく一致した。

- (5) 半割実験での画像解析とPIV解析例を実験名N: 重錘質量20kg・落下高さ1m・埋設10cmの場合で図-9に例示する。最大の地盤変位量は0.176mm、最大の最大せん断ひずみは11.35%、最大の体積ひずみは11.95%であった。地盤変位は杭直下近傍のみで垂直方向に生じることがわかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① 西田一彦、大嶋和則、玉野富雄、山中稔、白石建、笠博義、西山秀哉、北園和憲；高松城天守台修復における地盤改良技術の適用について、日本材料学会誌「材料」、査読有、Vol. 63、2014、No. 1、pp. 2-7.
- ② M. Kanaoka, N. Mizutani, H. Matsukawa, B. Shrestha, K. Takehara, T. Tamano: Model Tests on Impact Bearing Capacity of Foundations during Impact Loading, Proceedings of the 23th International Offshore and Polar Engineering Conference, 査読有, 2013, Paper No. 2013-TPC-0195.
- ③ 水谷夏樹、鍛冶允啓、宮島昌弘: PIV 計測データに基づいた風波波面上の気流の圧力分布、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、Vol. 69、No. 2、2013、pp. I_1401-I_1405.
- ④ 金岡正信、水谷夏樹、荒木重信、竹原幸生、玉野富雄: 杭の衝撃支持力、第 10 回地盤改良シンポジウム論文集、日本材料学会、査読有、2012、pp. 239-246.
- ⑤ 金岡正信、水谷夏樹、小西秀明、荒木重信、竹原幸生、玉野富雄: 落下重錘接地時の地盤力学挙動、第 10 回地盤改良シンポジウム論文集、査読有、日本材料学会、2012、pp. 189-194.
- ⑥ T. Tamano, M. Kanaoka, H. Ishikawa, H. Tsuboi, K. Morikawa: Brittle failure in impact tension tests using steel

wires , Proceedings of the 22th International Offshore and Polar Engineering Conference, 査読有, 2012, PaperNo. TPC-0142.

- ⑦ 水谷夏樹、鍛冶允啓、宮島昌弘：波面上の気流分布に対する対数則分布の適用性に関する考察、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、Vol. 68、No. 2、2012、pp. I_46-I_50.
- ⑧ 水谷夏樹：風波波面上の気流の剥離と水面のせん断応力について、油空圧技術、643、Vol. 51、No. 13、2012、pp. 30-34.
- ⑨ M. Kanaoka, T. Tamano: Model Tests on Pressurized Friction-Type Anchors, Proceedings of the 14th Asian Regional Conference on SMGE, ISSMGE, 査読有, 2011, paper No. 237.
- ⑩ 水谷夏樹、鍛冶允啓、宮島昌弘：碎波を伴わない風波の自己調整機能に対する気流の剥離の役割について、土木学会論文集 B2(海岸工学)、査読有、Vol. 67、No. 2、2011、pp. I_56-I_60.

[学会発表] (計 5 件)

- ① 金岡正信、石川博喜、水谷夏樹、竹原幸生、玉野富雄：モルタル直方体供試体の衝撃せん断破壊挙動、土木学会学術講演会、2013. 9. 6、日本大学生産工学部津田沼キャンパス.
- ② 水谷夏樹、鍛冶允啓、宮島昌弘：風波界面上の気流の対数則について、日本流体力学会年会 2012 講演要旨集、USB.
- ③ N. Mizutani, M. Kaji and M. Miyajima: On the role of air flow separation for momentum flux transfer at water surface, 18th Conference on Air-Sea Interaction, Boston, U. S. A, AMS, 2012, Web.
- ④ 玉野富雄、金岡正信、石川博喜：針金を用いた衝撃引張実験における脆性破断現象、土木学会学術講演会、愛媛大学、2011. 9. 7.
- ⑤ 玉野富雄、西田一彦、金岡正信、西川禎亮、鈴木邦勇：石造構造物の力学安定評価における温度-ひずみ係数、第 46 回地盤工学研究発表会、神戸国際会議場、2011. 7. 6、pp. 163-164.

[図書] (計 1 件)

- ① 玉野富雄：地盤工学会編「全国 77 都市の地盤と災害ハンドブック」、分担執筆、丸善出版、2012. 1、pp. 367-380.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

玉野 富雄 (TAMANO Tomio)
大阪産業大学・工学部・教授
研究者番号：1 0 2 6 8 2 4 5

(2) 研究分担者

金岡 正信 (KANAOKA Masanobu)
大阪産業大学・工学部・准教授
研究者番号：4 0 2 6 8 2 7 2

水谷 夏樹 (MIZUTANI Natsuki)
大阪産業大学・工学部・教授
研究者番号：5 0 3 5 6 0 3 6