

鉄筋コンクリート構造物の
全体系地震応答解析手法に関する研究

研究課題番号 16360222

平成16年度～平成17年度 科学研究費補助金
(基盤研究(B)(1)) 研究成果報告書

平成18年5月

研究代表者 睦 好 宏 史
(埼玉大学大学院理工学研究科 教授)

目 次

1. 研究課題名	1
2. 期間および種別	1
3. 課題番号	1
4. 研究組織	1
5. 交付決定額	1
6. 研究成果概要	2
7. 研究発表	
1) Seismic Behavior of Reinforced Concrete Piles under Ground	5
2) 杭部材のモデル化が RC 杭-地盤系の応答性状に及ぼす影響	17
3) 液状化を生じる地盤における RC 杭基礎の非線形応答に関する実験的研究	23
4) Numerical Study on Seismic Behavior of RC Bridge Piers with Bond Controlled Reinforcement	29
5) 鉄筋の付着を制御することによる RC 柱部材の耐震性状改善に関する研究	35
6) Enhancing Shear Capacity by Controlling Bond of Reinforcement	51
7) 繊維補強コンクリート杭基礎の耐震性状に関する研究	57
8) Seismic Performance of RC Piers with Bond Controlled Reinforcement	63
9) Lateral Loading Tests of Full-scaled Concrete Piles embedded into the Ground	73
10) 地盤中における RC 杭基礎の非線形動的応答に関する 3 次元有限要素解析	79
11) 鉄筋の付着を制御した RC 構造物の地震被害軽減に関する研究	85
12) 実地盤中に設置された実大コンクリート杭の耐震性状に関する研究	91
13) Lateral Loading Tests of Full-scaled Concrete Piles Embedded into the Ground	97
14) Study on Seismic Behavior of Piles using Lateral Loading Tests on Full Scaled Piles	103
15) RC Pile-Soil Interaction Analysis using a 3D-Finite Element Method with Fiber Theory-based Beam Elements	107
16) Analytical Study on Seismic Behavior of Full-scale Concrete Piles in Cohesive Soil	127
17) Full-scale Test on Concrete Piles under Seismic Loading	133
18) Fixed-Head Pile Bending by Kinematic Interaction and Criteria for its Minimization at Optimal Pile Radius	143
19) Multi-Chemo Physical Approach to Life-Cycle Assessment of Structural Concrete and Soil Foundation	153
20) Cross-Sectional Damage Index for RC Beam-Column Members Subjected to Multi-Axial Flexure	171
21) ジオグリッドとコンクリートパネルからなる補強土擁壁の 耐震性評価のための数値解析	185

1. 研究課題名

鉄筋コンクリート構造物の全体系地震応答解析手法に関する研究

2. 期間および種別

平成 16 年度～平成 17 年度 科学研究費補助金(基盤研究(B)(1))

3. 課題番号

16360222

4. 研究組織

研究代表者 : 睦好宏史(埼玉大学大学院理工学研究科 教授)
研究分担者 : 前川宏一(東京大学大学院工学系研究科 教授)
研究分担者 : 若井明彦(群馬大学工学部建設工学科 助教授)
研究分担者 : 斎藤正人(埼玉大学大学院理工学研究科 助教授)
研究分担者 : 牧 剛史(埼玉大学大学院理工学研究科 助教授)

5. 交付決定額(配分額)

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合 計
平成 16 年度	6,000,000	0	6,000,000
平成 17 年度	5,100,000	0	5,100,000
総 計	11,100,000	0	11,100,000

6. 研究成果の概要

(研究の背景と目的)

地震を受ける鉄筋コンクリート構造物の応答性状は、地上構造物に対しては、地表面に地震波を入力することによって、かなりの精度で地震応答性状を求めることが可能となってきた。しかし、これまでの震災例を見てみると、地上にある上・下部構造物のみならず、地中の杭等にもかなりの損傷例が報告されている。また、隣り合う同じ構造物が、地盤条件が異なるだけで被災程度が全く異なることも報告されている。さらに、阪神・淡路大震災以降、既設橋脚の耐震補強が数多く行われているが、柱脚部を補強した場合、地下の杭に負担がかかるのは明らかであるが、現状では橋脚、杭の損傷メカニズムや損傷程度の割合などについてはほとんど明らかにされていない。さらに、2002年に刊行された、土木学会コンクリート標準示方書「耐震性能照査編」では、構造物の地震応答を求める際、地盤、杭を含めた全体系の応答解析を行うことを原則としている。これらのことは、地震を受けるコンクリート構造物の耐震安全性を照査する手法の一つとして、地盤－杭－上・下部構造物全体系の地震応答性状を破壊に至るまで精度よく求める解析手法が必要とされている。本研究では、これまでの研究成果をもとに、地盤－杭－コンクリート構造物の実大規模の模型供試体を用いた載荷実験を行い、その応答性状を明らかにするとともに、実験結果を踏まえて、構造系全体の精度よい地震応答解析手法を開発しようとするものである。

本研究の目的は、実大コンクリート杭の屋外水平載荷実験を行い、杭の力学的性状を明らかにする。また、これまで行った砂地盤と模型RC杭の実験をもとに、すでに開発した地盤と杭を含む全体系の構造物解析手法を用い、上記実験と比較検討して、深さ方向における地盤定数の変化、水の影響、地盤と杭の剥離等による影響を考慮することにより、解析プログラムの精度を向上させることである。

(研究成果の概要)

平成16年度は、実大コンクリート杭の屋外水平載荷実験を行い、杭の力学的性状を明らかにするとともに、これまで行った砂地盤と模型RC杭の実験をもとに、すでに開発した地盤と杭を含む全体系の構造物解析手法を用い、上記実験と比較検討した。すなわち、ボーリング調査を行った屋外において、一般の構造物に用いられているPHC杭（プレストレストコンクリート杭）を用い、外堀工法により、掘削後ベントナイトを注入してから杭を設置した。杭径は300mm、全杭長は26mで、14mと12mの2本を溶接により接合したものである。平成17年度は、地盤と杭の間にベントナイトを注入することなく、杭を地盤に直接打ち込む施工法を用いて杭を施工した。杭は一般の構造物に用いられているPHC杭（プレストレストコンクリート杭）を用いた。杭径は400mm、全杭長は16mである。地震荷重として水平載荷とし、各年度において、1本は単調載荷、2本目は正負交番載荷とした。計測項目は、杭頭荷重、変位、目視できる位置のひび割れ幅、杭の内部の鋼材から得られるひずみ等である。実験および解析から以下のことが明らかとなった。

- 1) 杭に生じた曲率分布を単調載荷と正負交番載荷で比較すると、正負交番載荷による方が、曲率の最大値は深さ方向に移動することが明らかとなった。
- 2) ベントナイトを新たにモデル化することによって、比較的精度よく杭の荷重－変位関係を解析的に求めることが可能となった。
- 3) 3次元有限要素法により解析を行った結果、比較的精度よく、杭の荷重－変位関係を示すことが明らかとなった。

さらに、RC構造物の全体系応答解析を開発するために、RC橋脚についても実験を行った。これらの研究成果は以下に示す研究発表で詳しく述べられている。

7. 研究発表

- 1) Maki, T. and Mutsuyoshi, H.: Seismic Behavior of Reinforced Concrete Piles under Ground, *Journal of Advanced Concrete Technology*, Japan Concrete Institute, Vol.2, No.1, pp.37-47, 2004.4
- 2) 牧 剛史, 前川宏一, 睦好宏史: 杭部材のモデル化が RC 杭-地盤系の応答性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.2, pp.1165-1170, 2004.7
- 3) 鍋島信幸, 牧 剛史, 半井健一郎, 平野勝識: 液状化を生じる地盤における RC 杭基礎の非線形応答に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26, No.2, pp.1177-1182, 2004.7
- 4) Pandey, G. R., Mutsuyoshi, H., Maki, T. and Uchibori, H.: Numerical Study on Seismic Behavior of RC Bridge Piers with Bond Controlled Reinforcement, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, Vol.26, No.2, pp.1207-1212, 2004.7
- 5) 睦好宏史, 牧 剛史, Pandey, G. R., 杉田清隆: 鉄筋の付着を制御することによる RC 柱部材の耐震性状改善に関する研究, 土木学会論文集, No.802/V-69, pp.155-169, 2005.11
- 6) Pandey, G. R., Mutsuyoshi, H., Maki, T. and Tanino, R.: Enhancing Shear Capacity by Controlling Bond of Reinforcement, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, Vol.27, No.2, pp.799-804, 2005.6
- 7) 吉田祥二, 牧 剛史, 和田 望: 繊維補強コンクリート杭基礎の耐震性状に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.2, pp.913-918, 2005.6
- 8) Govinda R. Pandey and Hiroshi Mutsuyoshi : Seismic Performance of RC Piers with Bond Controlled Reinforcement, *ACI Structural Journal*, Vol.102, Issue 2, pp.295-304, 2005
- 9) Tuladhar, R., Mutsuyoshi, H., Maki, T. and Daigo, K.: Lateral Loading Tests of Full-scaled Concrete Piles embedded into the Ground, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, Vol.27, No.2, pp.919-924, 2005.6
- 10) 牧 剛史, 前川宏一, 半井健一郎, 平野勝識: 地盤中における RC 杭基礎の非線形動的応答に関する 3 次元有限要素解析, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.2, pp.925-930, 2005.6
- 11) 谷野良輔, 睦好宏史, 牧 剛史, Pandey, G. R. : 鉄筋の付着を制御した RC 構造物の地震被害軽減に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.2, pp.985-990, 2005.6

- 12) 醍醐宏治, Rabin Tuladhar, 牧 剛史, 睦好宏史 : 実地盤中に設置された実大コンクリート杭の耐震性状に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.28, No.2, 2006 (掲載予定)
- 13) Rabin Tuladhar, Hiroshi Mutsuyoshi, Takeshi Maki and Kohji Daigo: Lateral Loading Tests of Full-scaled Concrete Piles Embedded into the Ground, Proceedings of Japan Concrete Institute, Vol.27, Paper No. 2154, June, 2005.
- 14) Rabin Tuladhar, Hiroshi Mutsuyoshi, Takeshi Maki and Kohji Daigo: Study on Seismic Behavior of Piles using Lateral Loading Tests on Full Scaled Piles, Proceedings of the 7th International Summer Symposium, Japan Society of Civil Engineers, pp. 89-92, July 2005.
- 15) Maki, T., Maekawa, K. and Mutsuyoshi, H.: RC Pile-Soil Interaction Analysis using a 3D-Finite Element Method with Fiber Theory-based Beam Elements, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2006
- 16) Rabin Tuladhar, Hiroshi Mutsuyoshi, Takeshi Maki and Kohji Daigo: Analytical Study on Seismic Behavior of Full-scale Concrete Piles in Cohesive Soil, Proceedings of Japan Concrete Institute, Vol. 28, Paper No. 6021, July, 2006. (Accepted)
- 17) Rabin Tuladhar, Hiroshi Mutsuyoshi and Takeshi Maki: Full-scale Test on Concrete Piles under Seismic Loading, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, Paper No. 745, September, 2006. (Accepted)
- 18) Masato Saitoh: Fixed-Head Pile Bending by Kinematic Interaction and Criteria for its Minimization at Optimal Pile Radius, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.131, No.10, pp.1243-1251, 2005
- 19) Koichi Maekawa, Tetsuya Ishida and Kenichiro Nakarai : Multi-Chemo Physical Approach to Life-Cycle Assessment of Structural Concrete and Soil Foundation, Anais do VI Simposio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, 2006
- 20) Satoshi Tsuchiya and Koichi Maekawa : Cross-Sectional Damage Index for RC Beam-Column Members Subjected to Multi-Axial Flexure, JCI Journal of ACT, Vol.4, No.1, pp.179-192, 2006
- 21) 若井明彦, 天野正道, 飯塚豊, 鵜飼恵三 : ジオグリッドとコンクリートパネルからなる補強土擁壁の耐震性評価のための数値解析, 土木学会論文集, No.813/Ⅲ-74, pp.157-168 2006.