

大地震動による基礎周辺地盤沈下と基礎根入れ部に働く土圧

正会員
同○遠山和嗣*¹ 時松孝次*²
田村修次*³ 鈴木比呂子*⁴ 吉田洋之*⁵

直接基礎

土圧

沈下

1. はじめに

2007 年の新潟県中越沖地震の際、柏崎刈羽原子力発電所の施設への被害は少なかったが、付帯する配管やダクト等の被害が大きく発電所の再稼動を遅らせる原因となった。地震後の調査から被害の主な原因として建物の基礎周辺地盤の沈下の影響が大きい可能性が示唆された。また既往の研究から基礎周辺地盤の沈下により、基礎壁面に働く地震時土圧が予想される値より大きくなる可能性が示唆されている。しかし根入れされた基礎周辺地盤の沈下の分布、及びその土圧への影響については十分把握されていない。本研究では、砂地盤に支持され根入れを持つ直接基礎構造物の動的遠心実験から、基礎周辺地盤の沈下の分布と地震時及び地震後の土圧の検討を行う。

2. 実験概要

実験は京都大学防災研究所の遠心載荷装置を用いて 50g 場で行った。実験は基礎根入れ地盤相対密度をパラメータとした 2 Series で、相対密度が 40% の場合を Series L、90% の場合を Series D とした。図 1 に Series L の実験モデルを示す。模型地盤は長辺長さ 450mm、短辺長さ 150mm、深さ 200mm の長方形せん断土槽に、豊浦乾燥砂を用いて空中落下法により作成した。相対密度 90% の乾燥砂地盤を深さ 142mm まで作成し、構造物モデルを配置してから深さ 52mm で相対密度 40% の基礎根入れ地盤を作成した。構造物モデルの基礎部は長辺長さ 124mm、短辺長さ 64mm、高さが 60mm の長方形直接基礎でその重量は 1.0kg である。上部構造物の重量は 2.0kg でその固有周期は 105Hz である。基礎内部には両側面それぞれに働く鉛直力とせん断力を分離して計測するため、小型 2 分力計を設置した。入力地震波は Rinkai92 を用いた。加振は Series 毎に実大スケールの最大加速度で 0.7, 1.5, 3.7, 6.5m/s² の四段階で、小さいほうから順に入力した。以後、特に注記しない限り実験結果は実大換算された値を示す。

3. 実験結果

図 2, 3 に入力最大加速度が 6.5m/s² の場合の Series L, Series D における、入力、地表地盤、基礎、上部構造物の水平加速度、深さ 1.5m の地盤のせん断応力およびせん断ひずみの時刻歴を示す。なおせん断ひずみは、基礎根入れ地盤の地表と底部の加速度計から求まる水平相対変位を、それら 2 点間の鉛直方向距離で除すことで求めている。

せん断力はその 2 点で計測された水平加速度の平均値に、中間点までの土の重量をかけて求めている。計測された基礎の最大加速度は両 Series 共におよそ 5m/s² で、地表地盤のそれよりも小さく、地盤と建物の相互作用効果を示唆している。また上部構造物及び基礎の最大水平加速度は両 Series においてほとんど違いは見られない。

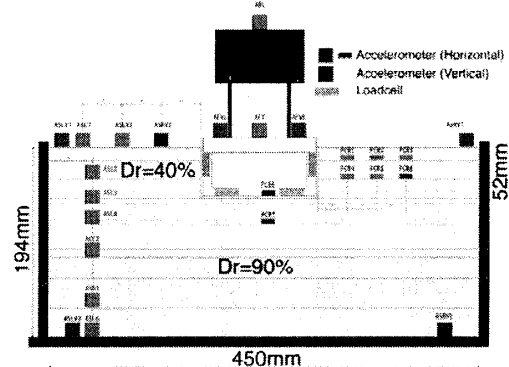


図 1 Series L の実験モデル

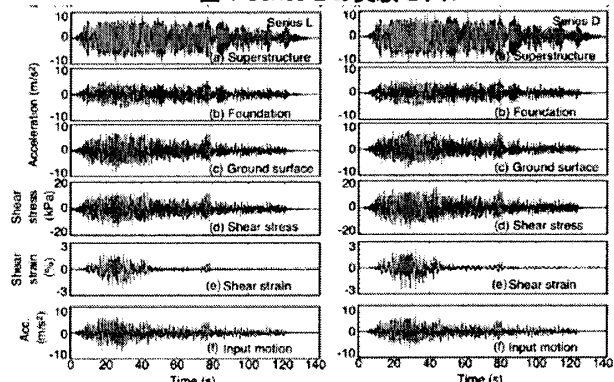


図 2 Series L の時刻歴

図 3 Series D の時刻

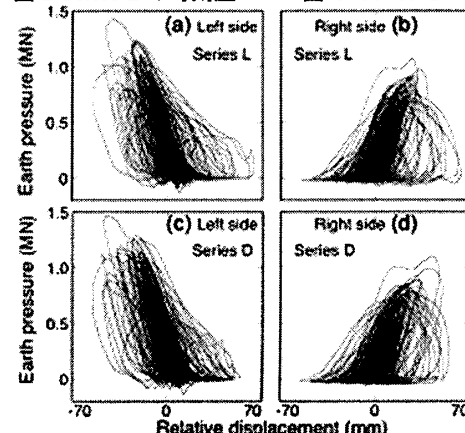


図 4 土圧と相対変位の関係

Investigation on settlement and its effects on earth pressure acting on spread foundation during ruinous earthquake motion

Kazushi TOHYAMA, Kohji TOKIMATSU, Shuji TAMURA
Hiroko SUZUKI, Hiroyuki YOSHIDA

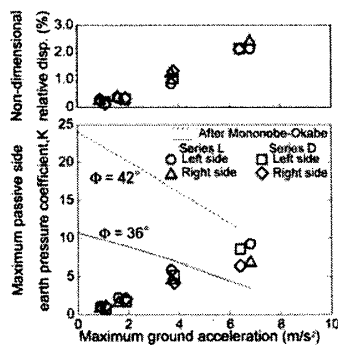


図5 土圧係数と最大加速度、無次元相対変位の関係

4. 土圧と基礎周辺沈下

4-1. 動的土圧

図4に入力最大加速度が 6.5m/s^2 の場合の Series L, Series D における基礎左右の動的土圧と相対変位の関係を示す。変位は加速度の2階積分で求め、基礎と地盤の相対変位はそれらの変位の差をとることで求めているが、残留変位は再現できていない。基礎根入れ地盤密度によらず、両 Series の動的土圧と相対変位の関係はほぼ等しい。これは Series L では繰り返し載荷による根入れ地盤密度の増加が、Series D では逆に根入れ地盤が乱されて密度の低下が起こり、両 Series の地盤密度が近づいた可能性が示唆される。また左側の最大受動土圧時の土圧係数は8~9で右側の6~7よりも大きい。これは基礎左側に優勢な残留変位によるものと予想される。図5に各加振ごとの最大受動土圧係数と地盤深さ1.2mで計測された最大水平加速度、及び相対変位を根入れ深さで除して無次元化したものの関係を示す。図中の実・破線は物部・岡部の理論式 ($\text{Dr}=40\%$ で $\phi=36^\circ$ 、 $\text{Dr}=90\%$ で $\phi=42^\circ$) から導かれるものである。無次元化した相対変位で2.0%を越える、地盤水平加速度 6m/s^2 の加振時において理論値との対応はよいが、それより小さい加振時では理論値より小さい。これはそれ以下の加速度では受働土圧状態になる為に必要な地盤と基礎の相対変位が生じていない為と考えられる。

4-2. 基礎周辺沈下分布

図6に加振後の Series L, Series D における基礎周辺地盤沈下分布を示す。これより以下の3点が分かる。1) 構造物から離れた地盤では Series L で5mm程度の全体的な沈下が見られ、Series D ではその傾向は見られない。2) 周辺地盤は加振方向に建物に近づくにつれて基礎に向かって潜り込むように沈下する。Series L ではその勾配がおおよそ1/5と緩やかで、Series D ではおおよそ1/2と急である。3) 両 Series において基礎左側端で右側にはない地盤の起伏が見られ、加振後基礎左方向に残留変位を生じていると考えられる。これより基礎左側で受働土圧状態なり、

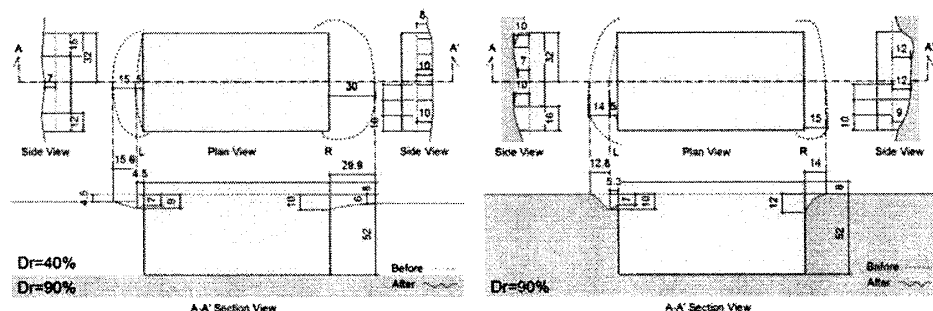


図6 Series L, Series D の地盤沈下分布(模型スケール)

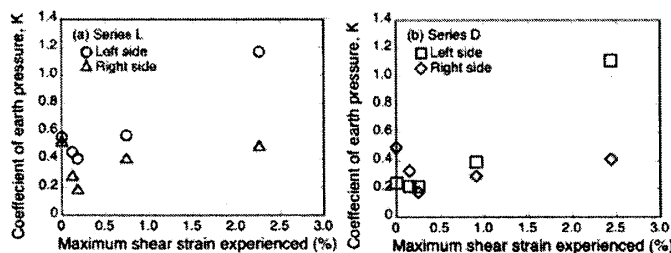


図7 土圧係数と最大せん断ひずみの関係

右側では主働土圧状態になっていると考えられる。

両 Series において内部摩擦角を $\text{Dr}=40\%$ で $\phi=36^\circ$ 、 $\text{Dr}=90\%$ で $\phi=42^\circ$ とし、主働くさび領域で相互作用による沈下を仮定すると、Series L で基礎根入れ深さの0.51倍、Series D で0.45倍となり、概ね実験値と整合する。

4-3. 大地震後の基礎壁面に働く土圧

図7は各加振後の基礎左右壁面における土圧係数と計測された表層地盤の最大せん断ひずみの関係を示す。せん断ひずみで2.5%を生じた最終加振後の土圧係数は基礎左側で1.2、右側で0.4と大きく異なる。これらは図6で指摘した、加振後の左側への残留変位による左右の土圧状態に応じて、土圧係数が増加したり減少したりすることによって考えられる。またその他の加振時の場合は加振前の値と同等か低くなっている。

5. 結論

地震時の及びその後の土圧と地盤沈下分布を検討するため直接基礎構造物の動的遠心実験を行い、以下の知見を得た。1) 地震時受動土圧は地盤水平加速度で 6m/s^2 の時に物部・岡部式と概ね整合するがそれ以下では小さい。2) 加振方向の相互作用による基礎周辺部の沈下は、根入れ深さの0.4~0.5倍程度の範囲で生じる。これは主働くさびの範囲に概ね一致する。また基礎周辺の地盤傾斜は1/5~1/2程度で、地盤相対密度が高いほうが大きい。3) 地震後の土圧は壁面近傍の主働・受働状態により、増加または減少する可能性がある。

(参考文献)

・Ishihara, K. (2009). New challenges in geotechnique for ground hazards due to intensity strong earthquake shaking, Earthquake and Tsunami, Geotechnical, Geological, and Earthquake Engineering, 2009, Volume 11, 91-114, DOI: 10.1007/978-90-481-2399-5_7.

*1 東京工業大学 学生 *2 同大学院 教授

*4 同大学院 助教 *3 京都大学 准教授

*5 東電設計

*1 Student, Tokyo Tech *2 Professor, Tokyo Tech

*4 Assistant Professor, Tokyo Tech

*3 Associate Professor, Kyoto University *5 TEPCO