

多方向応力測定による盛土内応力状態と地震時挙動  
 Stress States and Seismic Behaviors during Earthquakes in an Embankment  
 Observed by Multi-Directional Stress Measurements

○村井佑次・ピパットポンサー ティラポン・宮崎祐輔  
 ○Yuuji MURAI, Thirapong PIPATPONGSA, Yuusuke Miyazaki

The 2011 Tohoku earthquake occurred on 11<sup>th</sup> March 2011 led to catastrophic devastations including liquefactions underneath embankments which were located on the impermeable soft ground. Therefore, the research focusing on the liquefaction inside embankment is important for preparedness of the coming huge earthquakes. The purpose of this research is to investigate the transition of stress states due to earthquakes thru dynamic centrifugal model tests. To observe the seismic behaviors of the embankment from the view point of the reorientations of the principal stress axis, multi-directional stress measurements were applied. The results implied that the major principal stress axis near one side of the abutment of arch was significantly rotated by excitations, leading to the yielding and vanishing of arch action on that side of the embankment.

1. はじめに

非液状化軟弱地盤である粘性土地盤上盛土の液状化被害に関して Okamura ら<sup>1)</sup>は地盤の沈下によって盛土底部に側方伸長変形が生じ、中央底部の密度低下、側方拘束圧が減少すること、つまり液状化抵抗が減少している可能性があることを遠心模型実験により示した。また、権代<sup>2)</sup>は基礎地盤の中央部が集中的に沈下することで、盛土内の応力がアーチ状に分配される（以降、アーチ作用）ことを遠心実験により示した。アーチ作用が形成された盛土は内部応力が受働土圧を呈する領域を有する。よって、加振時にアーチ作用が加振せん断により圧縮破壊するなど、通常の応力状態とは異なる特有の動的挙動を示すと考えられる。

しかし、アーチ作用形成時の盛土動的挙動に関して十分な検討は行われておらず、今後軟弱地盤上盛土の防災について考慮するにはアーチ作用時の動的挙動メカニズムを解明することは喫緊の課題である。本研究ではアーチ作用が形成した盛土の地震時動的挙動を解明することを目的として遠心模型実験を行った。実験の際、3方向の土圧測定を行うことによりそれらの値から主応力軸角度を算出、主応力軸の地震時推移の観点からアーチ作用の動的メカニズムを検討する。

2. 遠心模型実験概要

本研究では地盤材料としてビニールを被せ密封

したウレタンを用い、非液状化軟弱地盤をモデル化した。盛土材料には広島山砂を1mmのふるいにかけて、含水比8%に調整した土を用いて締固め度90%となるように作成した。模型の寸法、測定器配置図を図1に示す。

本研究では50G遠心载荷を行っており、以降のスケールはプロトタイプである。実験手順としては50G遠心圧密、その後盛土内部からメトロズ流体を供給し、各計測器の値が落ち着いたところで加振を行う。図1の地点2~5において、一辺1cmの正三角柱に形成したアルミ板のそれぞれの面に土圧計を取り付け、3方向の土圧測定を目的とした計測器を配置し、3方向の応力を分解することで同地点の水平土圧、せん断応力、主応力軸角度を算出した。

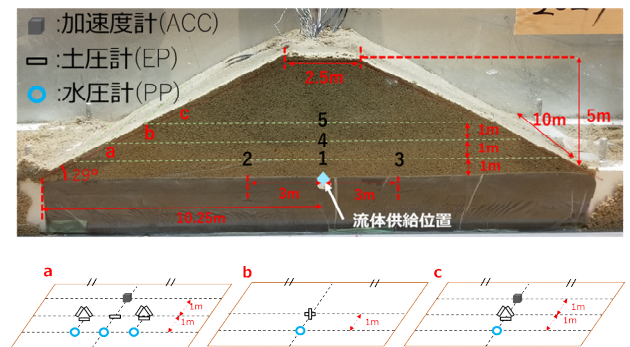


図1 盛土寸法、計測器配置図

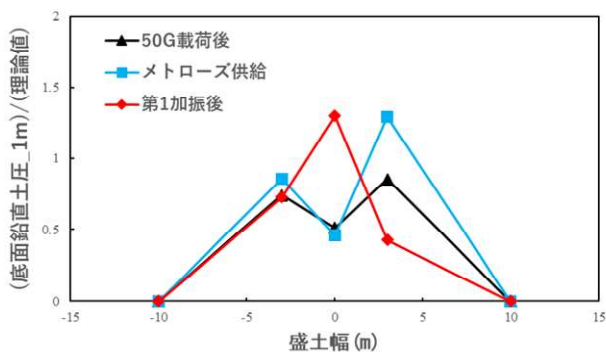


図2 鉛直土圧比の推移

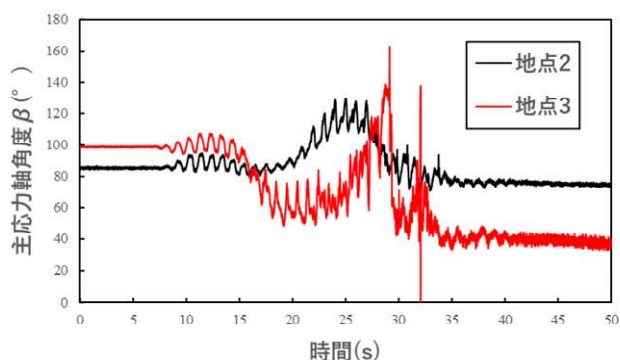


図3 主応力軸角度-時間推移

### 3. 実験結果

図2に、50G到達時における初期の土被り圧で、計測された鉛直土圧を除いた値で定義される鉛直土圧比を示す。この初期の土被り圧は、盛土模型の初期寸法、目標とした湿潤密度を用いて、遠心場の相似則の下で求めた値である。メトロースの供給後、地点2、3において鉛直土圧比がそれぞれ0.86、1.29を示しているが、盛土中央部において鉛直土圧比は0.46を示しており、盛土中央底部においてゆるみが発生し、本来中央にかかる土被り圧がその側部に伝達していることが考えられる。加振によって盛土中央部の鉛直土圧が急増しその側部の鉛直土圧が減少していることからアーチ作用の消失が確認できる。

つぎに、加振時の図1における地点2、3の主応力軸角度時間推移を図3に示す。主応力軸角度は水平右方向を0として反時計回りに度数法で表記する。加振前、地点2において80度、地点3において100度ほどの主応力軸角度となっており、地盤の沈下によって主応力軸が鉛直でなく盛土中央に向くように傾いていることがわかる。加振が6.70sに発生し、その後地点2、3において増減幅の差異はあるが、おおむね主応力軸角度の増減のモードは一致している。つまり、形成されていた

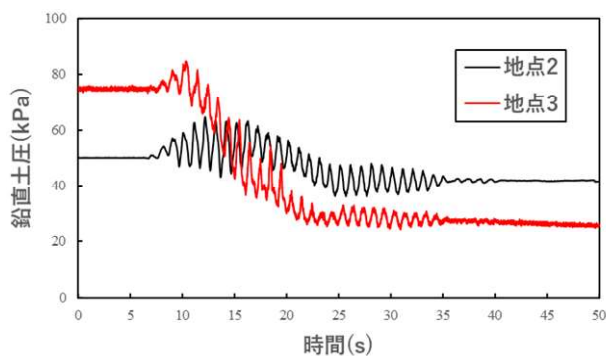


図4 鉛直土圧-時間推移

アーチ主応力軸が加振によるせん断力によって回転している可能性が考えられる

ここで、地点2、3における加振による鉛直土圧の時間推移を図4に示す。地点2において鉛直土圧は一定の値を推移しているが、地点3において加振後急減していることがわかる。主応力軸角度の推移を踏まえると、まず、加振によって形成されていたアーチが地点2の方に傾く挙動を見せている。この際、継続する地震動により地点3に伝達される応力が減少するに伴い、地点3周辺の地盤が降伏したと考えられる。その結果、アーチ作用の消失に起因した盛土の崩壊につながったと推測できる。

### 4. まとめ

本研究では非液状化軟弱地盤上の盛土を対象として、盛土内応力分配、主応力軸推移の観点から動的挙動を解明するために動的模型実験を行った。その結果、3方向土圧測定に基づく主応力軸の算出からアーチ作用が加振により回転している可能性が示唆された。

### 参考文献

- 1) Okamura, M., Tamamura, S., and Yamamoto, R.: "Seismic stability of embankment subjected to pre-deformation due to foundation consolidation," *Soils and Foundation*, Vol. 53, No. 1, pp.11-22, 2013.
- 2) 権代知輝, ピパットボンサー・ティラポン, 北岡貴文, 大津宏康: 沈下形状に伴う盛土内アーチ作用に関する動的模型実験, 令和元年度京都大学防災研研究発表講演会, D15, 2020.