

オンライン地震応答実験による戸建住宅基礎地盤の液状化について

山口大学 学生会員 今田光一
山口大学大学院 正会員 兵動正幸
山口大学大学院 正会員 中田幸男
報国エンジニアリング(株) 正会員 近者淳史
山口大学大学院 学生会員 野田翔兵

1. はじめに

2011年3月11日14時46分、M9の東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震は、3つの地震が連動して発生する連動型地震であったと推定され、震源域は南北約500km、東西約200kmもの広範囲に及び、関東地方沿岸部に多大な液状化被害を引き起こした。特に液状化被害が甚大な地域は、千葉県浦安市であった¹⁾。この地域では、8000世帯を超える戸建住宅が液状化の被害を受けており、特に、建物が不揃いに沈下を起こす不同沈下の被害が甚大であった。

本研究では、戸建住宅の基礎に液状化対策としてタイヤチップを用いる方法を試みた。タイヤチップの低い剛性とゴム自体の弾性的性質に着目し²⁾、地震時における過剰間隙水圧上昇の抑制による液状化抑止効果、震動低減による免震効果があると考えた。そこで、オンライン地震応答実験を行い、液状化した地盤の挙動の評価とタイヤチップを戸建住宅の基礎地盤に敷設した場合の挙動の変化について評価を行うことを目的とした。

2. オンライン地震応答実験の概要²⁾

オンライン地震応答実験は、地盤の応答解析と地盤の構成要素の要素試験を同時に行なうものである。本研究では、図-3に示すような住宅と基礎地盤を多質点系にモデル化し、基盤より地震波を入力して応答解析を行なったが、住宅基礎から6mまでの3層を3連の単純せん断試験機により試験を行なうことにより、地盤ばね定数および履歴減衰を評価した。すなわち、振動方程式を時刻歴で解き、各時間ステップでの応答変位を求め、応答変位に相当するせん断ひずみを供試体に与え、計測された復元力を振動方程式にフィードバックして、次のステップの応答変位を算出する。この過程を地震動が継続する間、又は片振幅軸ひずみが20%を超過するまで繰り返す。このようにして、刻々と変化する地盤の非線形な復元力特性を要素試験の供試体から直接求め、それをオンラインで応答解析に結びつけて地震時の地盤挙動をシミュレートする。

3. 試料及び実験条件

実験には千葉県浦安市より採取した砂質土を用いた。表-1に本実験で使用した今川砂、豊浦砂、タイヤチップの物理的性質、図-1に今川砂、豊浦砂、タイヤチップの粒度分布、図-2に繰返し三軸試験による今川砂と豊浦砂の液状化強度曲線を示す。本研究では地表面に戸建住宅が存在するという条件のもと解析に用いるモデルパラメータを作製した。図

-3に実験対象断面のモデルを示す。地表面から最下層までを12層に分け(以下S1~S12層と呼ぶ)S1~S3層目までをオンライン層、残りの層を修正R-Oモデルによる解析層とした。供試体作製方法は実験に用いた試料の細粒分含有率($F_c=42\%$)が高く細粒分の飛散を避けるため水中落下法を採用した。供試体は、直径6cm、高さ4cm、相対密度 $D_r=50\%$ の飽和状態とした。供試体に付加される有効拘束圧は、未改良地盤モデルの場合、S1層、S2層、S3層でそれぞれ18.672kPa、32.472kPa、46.272kPaであり、改良地盤モデルではS1層、S2層、S3層でそれぞれ18.672kPa、27.042kPa、35.412kPaであった。改良材としてのタイヤチップはS2層に置くことで液状化抑止、免震効果の検討を行った。本研究で用いた東北地方太平洋沖地震の地震波の入力加速度波形を図-4に示す。図の加速度波形は、K-net浦安の地表面で観測された地震波であり、観測地点では液状化は発生していない。

表-1 試料の物理的特性

試料	今川砂	豊浦砂	タイヤチップ
$F_c(\%)$	42	0	0
$\rho_{dmax}(g/cm^3)$	1.403	1.645	0.456
$\rho_{dmin}(g/cm^3)$	1.018	1.335	0.322
e_{max}	1.480	0.973	2.658
e_{min}	0.800	0.635	1.583
e	1.140	0.804	2.121
U_c	6.000	1.325	3.049
$\rho_s(g/cm^3)$	2.525	2.635	1.178

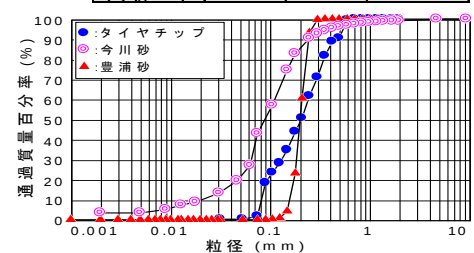


図-1 試料の粒度分布

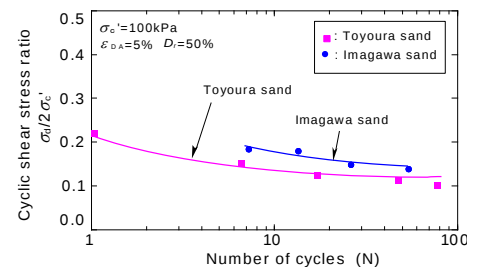


図-2 今川砂と豊浦砂の液状化強度曲線

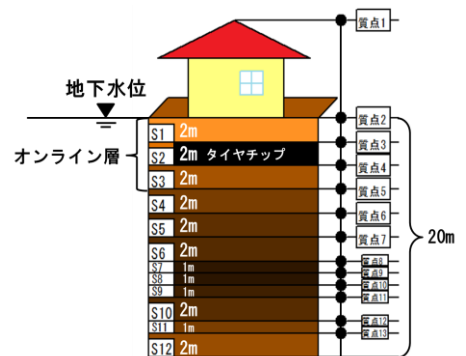


図-3 実験対象断面

4. 実験結果および考察

オンライン地震応答実験の実験結果を示す。図-5(a), (b)は、S3層（深度4～6m）での未改良地盤およびタイヤチップによる基礎改良地盤の有効応力経路をそれぞれ示す。両図を見ると、いずれも地震時に有効応力が大きく減少しており、いずれの地盤もほぼ液状化に至っていることが確認できる。図-6(a), (b)は、S2層（深度2～4m）でのそれぞれの有効応力経路を示す。図-6(a)では、下層がすでに液状化しているため、地震動が伝わりにくくなっており完全に液状化には至っていないことが見て取れる。しかしながら、間隙水圧は有効上載圧の60%程度は上昇している。一方図-6(b)はタイヤチップ敷設層の有効応力経路を示しているが、間隙水圧が発生せず、有効応力が殆ど変化していない。タイヤチップ層は全く液状化を起ささない層であるといえる。また、図-7(a), (b)は、それぞれ未改良およびタイヤチップ改良地盤の過剰間隙水圧時刻歴を示すものである。未改良地盤のS1層（深度0～2m）、S2層、S3層では間隙水圧が0.9までは至っていないが100秒間の間に大きく増加しているのが見て取れる。一方、タイヤチップ改良地盤の場合、S3層では間隙水圧が1.0近くまで増加しているが、タイヤチップを用いたS2層では間隙水圧が0.05と殆ど増加していない。また、S1層では間隙水圧がわずかに増加しているが0.15にも至っていない。このことから、タイヤチップは間隙水圧が発生しない材料であり、さらにその上層の間隙水圧も低く抑えられていることがわかる。これらの結果から、地盤内にタイヤチップ層があることで非液状化層を造り出すことが可能といえる。図-8(a), (b)は、未改良およびタイヤチップ改良地盤上の家屋での応答加速度時刻歴をそれぞれ示す。図-7(a)の未改良地盤では最大加速度(α_{max})が33.1Galとなっており、図-7(b)のタイヤチップ改良地盤の場合では、最大加速度(α_{max})は10.9Galとなっている。タイヤチップ層が存在することで構造物に伝わる加速度は3分の1以下となっていることがわかる。これは、タイヤチップの剛性が非常に低いことから、高周波成分の伝播を妨げ地震動を減衰させる効果を発揮したためと考えられる。

5. まとめ

液状化被害の甚大な地域から採取した試料を用いてオンライン地震応答実験を実施した。結果、オンライン地震応答実験による液状化の再現を行うことができた。また、タイヤチップ層では間隙水圧が発生しないことから、地盤内に非液状化層を造ることができた。さらに、タイヤチップ層は構造物の応答加速度の低減を可能とした。

参考文献 1) 安田進, 原田健二: 東京湾における液状化被害, 地盤工学会誌, Vol. 59 No. 7 Ser. No. 642 pp38-41, 2011.

2) 金子崇, 兵動正幸, 中田幸男, 吉本憲正, ハザリカヘマンタ: タイヤチップによる飽和砂地盤の免震効果に関するオンライン地震応答実験, 材料学会論文集, Vol. 59, No. 1, pp. 20-25, 2010.

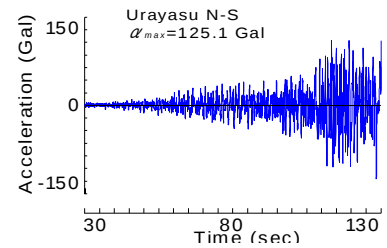
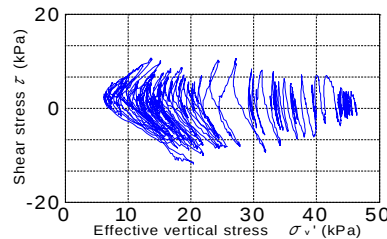
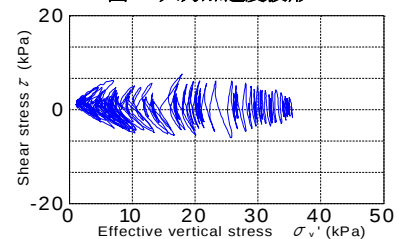


図-4 入力加速度波形

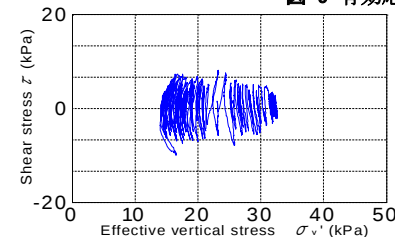


(a) 未改良地盤

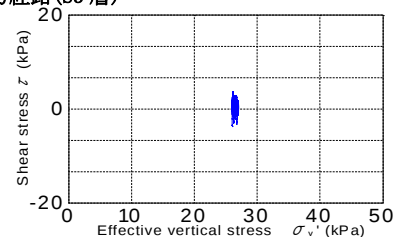


(b) タイヤチップ改良地盤

図-5 有効応力経路(S3層)

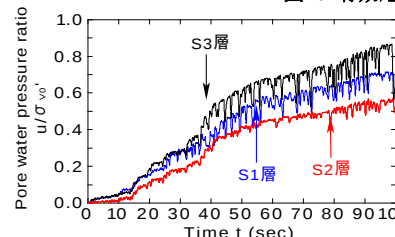


(a) 未改良地盤

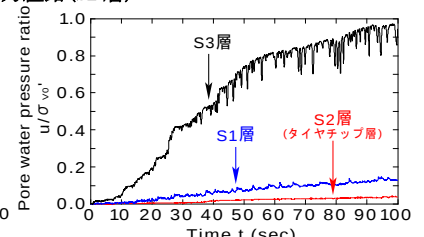


(b) タイヤチップ改良地盤

図-6 有効応力経路(S2層)



(a) 未改良地盤



(b) タイヤチップ改良地盤

図-7 過剰間隙水圧時刻歴

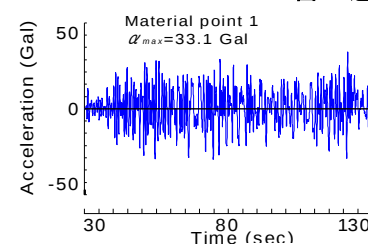


図-8 加速度時刻歴(質点1)

