丸太打設による既設戸建て住宅の液状化対策の 小型振動実験および数値解析による検討

三輪 滋1・吉田 雅穂2・村田 拓海3・沼田 淳紀4

¹フェロー会員 飛島建設 (〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸3丁目2番1号) E-mail: shigeru miwa@tobishima.co.jp

²正会員 福井工業高等専門学校 (〒916-8507 福井県鯖江市下司町) E-mail: masaho@fukui-nct.ac.jp

³正会員 飛島建設技術研究所 (〒270-0222千葉県野田市木間ケ瀬5472) E-mail: takumi murata@tobishima.co.jp

⁴正会員 飛島建設エンジニアリング部 (〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸3丁目2番1号) E-mail: atsunori numata@tobishima.co.jp

著者らは、小規模な構造物にも適用できる丸太を用いた液状化対策を開発し、適用事例も増えている.その原理は地盤に丸太を打設し、地盤の密度を増大させることであり、同時に木材を利用することで、CO2 を半永久的に固定し、地球温暖化緩和にも効果があることがわかっている.一方で、戸建住宅などの既設 小規模構造物の対策については、効果を定量的に検証した工法が適切な価格で提供されてはいないのが現 状である.既設構造物の周囲に丸太を打設して液状化の被害を低減する工法を考案し、小型の振動台実験 と数値解析によりその有効性を示した.

Key Words : log, liquefaction countermeasure, existing residential house, densification

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震では、東京湾岸や利根 川下流域で激しい液状化が発生した^{1),2)}.液状化によっ て、住宅など多くの小規模構造物が沈下や傾斜といった 被害を受けた^{1),2),3)}.被害の一例を図-1 に示す.このよう な小規模な構造物に対する合理的な液状化対策の提供が 急務である.著者らは、すでに、図-2(a)に示すような、 新設の小規模な構造物にも適用できる丸太を用いた液状 化対策を開発している^{3,4)}.その原理は図-3 に示すよう に、地盤に丸太を打設し、地盤の密度を増大させること であり、木材を利用することで、CO₂を半永久的に固定 し、地球温暖化緩和にも効果があることがわかっている ^{4,5)}.振動台での実験^{6,7)}や、現場での実証³も行われ、実 際の工事での適用事例^{89,10,11)}も増えつつある.

一方で、戸建住宅などの既設小規模構造物の液状化対 策については、効果を定量的に検証した工法が適切な価 格で提供されていないのが現状である.そこで,著者らは、図-2(b)のように既設構造物の周囲に丸太を打設して液状化の被害を低減する工法を提案し、小型の振動台実験¹⁰と3次元数値解析¹³,2次元数値解析¹⁴により有効性の検証を行った.



図-1 液状化による小規模構造物の沈下・傾斜



a) 新設の場合(建物の下にも丸太打設)

b)既設の場合(建物の周囲のみ丸太打設)





2. 小型模型振動台実験による効果の検討

(1) 実験方法

まず、小型模型振動台実験により効果の検討を行っ た¹²⁾. 図-4 に模型地盤の概要を示す. 振動台上にアクリ ル製の土槽を設置し、丸太を打設した対策地盤、打設し ていない無対策地盤をそれぞれ作製した. 使用した土槽 の内寸は幅800mm×奥行き800mm×高さ600mmである. 同図は対策地盤を示しており,無対策地盤は同図から丸 太を取り除いたものである. 模型地盤は珪砂7号を用い て水中落下法で作製した.相対密度約50%の緩詰めの飽 和砂層を予備加振(正弦波, 5Hz, 100gal, 30 秒)して, 相対密度を実地盤の緩い砂層を想定した約65%に調整し、 地下水位はG.L. -30mmとした. 敷砂利を模擬するために G.L. -20~-30mmに砕石7号を用いて砕石層,表層の土を 模擬するためにG.L.~-20mmに乾燥した珪砂7号を用いて 非液状化層を作製した.また、地盤がせん断変形しやす いように加振方向の壁の両端に緩衝材を設置した. 丸太 模型は、福井県産のスギ間伐材で、直径6mm、長さ





300mmの円柱状である.丸太の打設方法は,地盤作製後 に静的に圧入した.打設間隔は21mm, 3.5D(D:丸太の 直径),改良率は約6.4%であり,構造物の周囲に2列で 計144 本打設した.なお,丸太模型は,構造物模型およ び土槽底面と連結していない.地表面に設置した構造物 模型は底面が300mm四方,高さ112mmの防水処理を施 した木箱で,重さ4.6kg,接地圧0.5kN/m²(べた基礎の2 階建て木造住宅の接地圧を想定)である.ここで,丸太 模型の打設条件,構造物模型の接地圧および底面の寸法 は実際の30分の1を想定している.入力波は振動数5Hz の正弦波,目標最大加速度180gal,加振時間60秒とした. なお,実験中は入力加速度(A1),構造物模型の応答 加速度(A2),地盤の応答加速度(A3~A5),地盤内の 過剰間隙水圧(P1~P4),構造物模型の鉛直方向変位量 (D1)を計測した.

(2) 実験における建物と地盤の挙動

図-5 に構造物模型の沈下量の時刻歴を示す.いずれの地盤でも沈下は加振終了まで継続し,無対策地盤では終了後も継続している.最終沈下量は,無対策地盤で26mmまで達したのに対して,対策地盤では19mmであり,沈下量は無対策地盤の約70%に抑制された.



図-6 に構造物模型の不同沈下による傾斜角を示す. ここでは、図-4 の平面図に示すように、加振方向と加 振直交方向の傾斜角を求めた.無対策地盤の不同沈下の 傾斜角は、加振方向で5.1/1000、加振直交方向で5.4/1000 であるのに対して、対策地盤では、いずれの方向も 1.9/1000 となり、傾斜角がそれぞれ無対策地盤の約35% に低減された.なお、対策地盤では、いずれの方向でも、 傾斜角が不同沈下の設計目標値の参考値¹⁵⁾である3/1000 以下となった.



図-7(a)にGL -130mmにおける過剰間隙水圧比の時刻 歴を示す.対策地盤と無対策地盤のいずれの地盤におい ても過剰間隙水圧比の最大値が1.0 に達して地盤が液状 化していることがわかる.一方,上述のように対策地盤 では無対策地盤と比べて沈下と不同沈下が軽減されてい る.これは,丸太と砂の複合地盤が壁体として構造物直 下の地盤を拘束することで地盤の側方への移動を抑制し て構造物のめり込み沈下を防いだためと考えられる.また,図-7(b)に過剰間隙水圧が大きく上昇した0~3秒間を拡大して示す.対策地盤では無対策地盤に比べて水圧が緩やかに上昇しており,水圧の立ち上がりの抑制が確認された.



図-8(a) (b)にGL.-90~-200mmにおける無対策地盤と対 策地盤の有効応力経路を示す.いずれの地盤でも繰り返 しせん断に伴い有効応力がゼロにまで低下しているが, 対策地盤は無対策地盤に比べて有効応力がゼロにまで低 下するまでの繰り返しせん断回数が多く,大きなせん断 応力に対して有効応力の回復が確認できる.これは図-7(b)の対策地盤の水圧の立ち上がりが抑制される結果と 調和的であり,軟弱な砂地盤に剛な丸太を打設すること によって丸太と砂が複合地盤として剛性の高い壁となり, 壁体で囲まれた構造物直下地盤のせん断変形を抑制した ためと考えられる.

図-9(a) (b)にGL.-90~-200mmにおける無対策地盤と対 策地盤の応力-ひずみ関係を示す.無対策地盤では,小 さなせん断応力で大きなせん断ひずみが発生している. これに対して対策地盤では大きなせん断応力に対してせ ん断ひずみの発生が小さく,繰返しせん断に伴うせん断 剛性の低下が抑制されている.さらに,せん断応力の回 復が確認でき,密な砂地盤で生じるサイクリックモビリ ティーの挙動を示した.これは,軟弱な砂地盤に剛な丸 太を打設することによって丸太と砂が複合地盤として剛 性の高い壁となり,壁体で囲まれた構造物直下地盤のせ ん断変形を抑制し,密な地盤として挙動したためと考え られる.

これらの結果から,既設の戸建住宅の周囲に丸太を打 設する液状化対策を行うことによって,住宅直下地盤の 過剰間隙水圧の立ち上がりおよび,繰返しせん断に伴う せん断剛性の低下が抑制され,構造物の沈下抑制および 不同沈下を低減することが確認された.



3. 数値解析の条件

次に, 数値解析を用いて, より定量的な評価を試みた 13,14).検討するモデルは、液状化の可能性がある地盤上 に立つ80m²の広さを有する2階建て戸建て住宅とする. 建物,基礎の重量はそれぞれ4.97kN/m²とし,基礎はベ た基礎を想定し剛体として板要素でモデル化し、荷重は 等分布荷重として考えた. 建物は基礎から剛梁要素で立 ち上げ,高さ5.5mに集中荷重を持つ一質点系でモデル化 した. 地盤は、液状化層が10mまであり、その下にS波 速度310m/sの5mの非液状化層が存在するモデルとした. 建物のモデル図を図-10に示す.地盤の物性値を表-1に 示す. 液状化層は相対密度50%, 液状化対策を施した部 分は密度増加により相対密度が75%となるものとした. 液状化強度は、図-11に示すように、沼田らの研究¹⁰か ら得た、相対密度と相関のある液状化強度とし、それに 合うように液状化パラメータを設定した.同じ考え方の パラメータを用いて, 建物下をすべて改良する場合の大 型振動台実験の結果⁷をおおよそ再現できることを確認 している.丸太は地表面から深さ8mまで打設し、下に 2mの液状化層が残るようにしている.丸太は長さ8m, 末口14cmの丸太とし、元口に行くに従い1mで直径が1cm 太くなるものとした.丸太は、基本的には梁要素でモデ ル化している. 丸太の物性値を表-2に示す. これらをま ず、3次元でモデル化し、解析コードFLIPを用いて3次元 非線形有効応力解析¹⁷を実施し、その効果を検討した. 次に、同じく解析コードFLIPを用いて、検討するパラメ

ータを増やして2次元非線形有効応力解析¹⁸⁾を実施し, その効果を検討した.入力地震動は,1995年兵庫県南部 地震で神戸海洋気象台で観測された波形¹⁹⁾を用いた.図 -12に波形を示す.



図-10 戸建住宅のモデル

表-1 地盤の物性値

層	相対 密度 Dr	平均有効 拘束圧 _{σma} ' [kN/m ²]	初期せん 断剛性 Gma [×10 ³ kN/m ²]	体積弾性 係数 Kma [×10 ³ kN/m ²]	ポアソ ン比 v	質量密度 Psat [t/m ³]	間隙率 n	粘着力 C [kN/m ²]	内部摩 擦角 φf [deg.]
液状化層	Dr=50%	98	94.8	247	0.33	1.98	0.419	0	39.6
改良層	Dr=75%	98	106.5	278	0.33	2.03	0.391	0	41.6
非液状化層	-	-	-	538	0.4	2.00	-	-	-



	表2 丸太	この物性値
せん断 剛性 [×10 ³	ポアソン比 v	密度 ρ [t/m ³]
637	0.4	0.33

G.L [m]	直径 [m]	断面積 [m ²]	断面二次 モーメント [×10 ⁻⁵ m ⁴]
-0.5	0.215	0.0363	10.49
-1.5	0.205	0.0330	8.67
-2.5	0.195	0.0299	7.10
-3.5	0.185	0.0269	5.75
-4.5	0.175	0.0241	4.60
-5.5	0.165	0.0214	3.64
-6.5	0.155	0.0189	2.83
-7.5	0.145	0.0165	2.17



4. 3次元解析による検討

まず、奥行き方向の影響も含めて検討するため、3次 元解析による検討を実施した¹³⁾.3次元解析では、無対 策,丸太打設液状化対策で効果の幅を 1m とした場合, 液状化対策の効果の幅を 2m とした場合、丸太が列状に 配置されセメント固化による囲い込み工法のように壁の ような構造になっていると仮定した場合について検討し た. 解析ケースを表-3 に示す. 液状化対策は建物基礎 から 1m離れて施工されているとした. 幅 2mのケース は建物に接するように改良されているものとした. それ ぞれのモデルを図-13 に示す.底面は粘性境界とした. 加振方向の左右の側方境界は粘性境界とした. 奥と手前 の境界は面外への変形を拘束し、面内(加振方向)は拘 束していない. 丸太の配置間隔は 1m で、やや広い設定 で配置している.丸太に囲われた領域は、締め固まると して、その部分の地盤の要素は相対密度を75%に設定し た. この解析では、要素分割の関係で、改良域は丸太の 外側 1m の範囲とした.丸太は基本的には梁要素である が、ケース 3-3 では、丸太は連続的な壁としてモデル化 するため、シェル要素でモデル化した.

表-3 3次元モデルの解析ケース

ケース	解析の内容
3-1	未改良(無対策)
3-2	改良
3-3	改良:壁状(連続的な壁として改良)
3-4	改良:幅広(幅広く改良)

図-14 に基礎中央の沈下の時刻歴を未改良地盤の地表 での加速度,GL.4m での過剰間隙水圧の時刻歴とあわ せて示す.また,図-15 に基礎中央の残留沈下量を示す. 最大加速度の非常に大きな場合で検討したので,いずれ のケースも液状化に至った.沈下はそれぞれのケースで 違いがみられる.無対策では24cm 沈下するが,周囲に 丸太を打設することにより,沈下は18cm と3/4 に減少 する.実験での沈下低減の比率と近い傾向を示す.丸太 を密にして壁のようにし剛性を上げればその効果も寄与 しさらに14/24 に減少する.密度増大の幅を増加させる と 11/24 まで減少する.ただし、これには地盤改良部と 基礎が接していて、両者が結合して丸太による改良とべ た基礎が一体となって囲い込む効果も含まれると考えら れる.





図-16 2次元解析モデル

5. 2次元解析による検討

(1) 3次元解析と比較した検討

次に、できるだけ多くの検討を行うことを考え、2次 元解析による検討を実施した.2次元解析による検討で は、無対策(2-1)、図-16(a)の A-A'断面をモデル化した場 合(2-2), A-A'断面に加え, 面外の丸太の列の効果を副断 面に加えた場合(2-3), B-B'断面をモデル化した場合(2-4:建物の下をすべて液状化対策した場合に相当する) の4ケースを実施した.解析ケースを表-4に示す.図-16(b), (c), (d), (e)にそれぞれのケースの解析の主要 部分のモデルを示す. 図-16(f)に未改良の場合(2-1)の解 析モデルの全体図を示す. 境界の影響が及ばないように 150mの領域をモデル化した. 密度増大の領域は,3次 元解析と合わせるため、丸太の外側 1m の範囲とした. 他のケースも同様で、それぞれのケースで解析の主要部 分が異なる. 地震動のレベルを源波(818cm/s/s)だけでな く、100cm/s/s から 100cm/s/s きざみで増加させた場合に ついても検討した.

表-4 2次元モデルの解析ケース(1)

ケース	解析の内容
2-1	未改良 (無対策)
2-2	改良(A-A'断面)
2-3	改良 (面外の改良も考慮)
2-4	改良(B-B'断面:基礎下全面)

図-17 に図-14 と同様に時刻歴を示す. 図-18 に各ケー スの基礎の沈下量を3次元モデルでの解析結果と合わせ て示す. 2-2, 2-3 は 3 次元モデルとほぼ同様な沈下量が 得られた. 面外の丸太の効果はあまり見られない. 建物 下をすべて対策した場合はやはり効果が大きい. 無対策 は3次元モデルの場合よりも小さな沈下量となった. 無 対策の3次元モデルの場合、建物荷重のような限られた 範囲の荷重は、地盤中へ3次元的に分散する、一方、2 次元モデルで無対策を表す場合、平面ひずみ状態で考え るので、上載荷重は奥行き方向に連続するため、荷重の 分散が両側2方向に限られ、荷重分散の程度が小さくな り、3次元の場合に比べて有効拘束圧を大きめに評価す る可能性がある.液状化対策を施した場合には、3次元 モデルでは、荷重の分散は対策領域内に限定される傾向 が高くなることから、無対策の場合に比べて相対的には 大きめの拘束圧となると考えられる.2次元モデルでも、 対策領域内に荷重分散が限定されるため、3 次元モデル との違いは小さくなると考えられる.実際にも、2次元 の無対策のケースは相対的に拘束圧が大きくなっており、 上記の考えを支持する結果となっている. このような違 いがあることが、未改良地盤の場合、3次元解析と2次元解析で沈下量の違いとなって表れている可能性がある.

加速度レベルの違いによる沈下量の比較を図-19 に示 す.未改良の場合は、3 次元解析で得られた沈下量を正 として、源波での検討で得られた沈下量に比(3 次元/ 2 次元)を係数として、それぞれの入力加速度で得られ た 2 次元解析の沈下量に乗じたものを沈下量としている. 地盤全体を改良する場合は、効果が一番大きく源波で半 分以下、600gal 程度まではほとんど沈下が発生せず、非 常に有効であることがわかる.丸太の下には 2m の液状 化層が残っており、そのような場合でも、沈下抑制効果 は大きい.建物の周りのみに丸太を打設する場合は、全 面改良に比較するとその効果が低いが、ある程度の沈下 抑制効果が認められる.





図-19 加速度レベルと基礎中央の沈下量の関係

(2) 効果の要因を分析する検討

丸太を打設した場合には、打設による周辺地盤の密度 増大の効果とその列が建物下の緩い地盤を拘束する効果、 あるいは、丸太そのものの剛性と丸太の列が建物下の地 盤を拘束する効果が期待される.また、丸太をできるだ け建物に近接させ、基礎と一体として挙動させる効果も 考えられる.これらのどの要因の効果が大きいかを検討 した.

解析ケースを表-5 に示す.図-20 に示す 2-5, 2-6, 2-7 が新たな検討ケースである.2-5 は丸太の打設間隔を 30cmとし,基礎から 10cmの位置に近づけた.丸太は1 列である.地盤改良の領域は、これまでと同様丸太の外 側 1mである.2-6 は 2-5 について、密度増大の効果を除 き、丸太の剛性のみの効果を検討した.丸太は1列では なく、4 列とし、全体としての剛性を高めた.2-7 は 2-5 について丸太を除いて、密度増大の効果のみを検討した. 地震動のレベルを源波(818cm/s/s)だけでなく、100cm/s/s でも検討した.

表−5 2次元モデルの解析ケ	ース(2)
----------------	-------

ケース	解析の内容
2-1	未改良(無対策)
2-4	改良(B-B'断面:基礎下全面)
2-5	改良(丸太を基礎に近接)
2-6	改良(丸太の剛性のみ考慮)
2-7	改良 (密度の増大のみ考慮)

図-21 にそれぞれのケースの基礎の沈下量を示す.無対策の場合は、図-19 と同様に3次元モデルの結果との比で補正している.丸太を密にし、改良位置を基礎に近づけたことで、地盤改良による効果は大きくなり、源波の場合では、沈下量は無対策の場合の60%程度にまで減少する.丸太のみでは4列に増やした場合でようやく70%程度に低減するのに対し、密度増大のみで65%となる.丸太を打設することで増加する密度増大効果の寄与

が大きいことがわかる.剛性の寄与度は相対的には小さ く、同等の効果を得るには、丸太を密にかつ複数列考慮 する要がある.また、丸太を近接することで、lm 話し た場合よりも、15%程度沈下量が減少する.3次元解析 で、改良幅を広くした場合は、改良域が基礎に接するよ うになって、沈下量が減少した.丸太を基礎にできるだ け近づけて打設すること、あるいは打設後なんらかの処 置で基礎と一体とすることで効果が大きくなることが期 待される.入力地震動が小さい場合にはさらに効果が高 く沈下量は基礎に近接した場合で40%程度、丸太のみで は70%、密度増大のみでは55%にまで減少する.地盤全 体を改良する場合は、効果が一番大きく源波で半分以下、 100cm/s/s では、ほとんど沈下は生じない.





6. 傾斜・はらみだし

数値解析で得られた傾斜、はらみだしについて検討す る. 建物に偏心はないものの, 不規則波での加振のため, 傾斜や残留水平変位が生じる.図-22に傾斜の比較を示 す. 傾斜については基礎両端の沈下量の差を基礎幅10m で除した値として表示している.偏心がないため,傾斜 は小さな値であるが、対策を講じることで、減少させる ことができるのがわかる.基礎下全面を改良した場合に は、ほとんど傾斜は生じない、図-23に地盤雄側方への はらみだし量を比較して示す. 深さ2mから4m付近が変 形の最大を示すため、深さ2mと4mの値を示す. 両深度 ともおおよそ同程度の値である.変形は60%から80%程 度に低減しており、沈下量の低減の割合とほぼ対応して いる.対策を講じることで、側方への変形も抑制できて おり、その分めり込み沈下が抑制されていると考えられ る.2次元解析では、奥行き方向の変形が拘束されてい るため、側方への変形がやや大きめに評価されていると 考えられる.





図-23 地盤の側方へのはらみだしの比較

7. 結論

既設の戸建て住宅の液状化対策として提案した丸太で 建物周囲を囲む方法の有効性を,小型振動台実験と3次 元非線形有効応力解析,2次元非線形有効応力解析によって検討した.得られた結果を以下に示す.

1)小型振動台実験による検討から、建物の周囲に丸太を 打設することで、住宅直下の過剰間隙水圧の立ち上がり および、繰返しせん断に伴うせん断剛性の低下が抑制さ れ、構造物の沈下および不同沈下を低減することが確認 された.

2)数値解析による検討から、建物の周りのみに丸太を打 設する場合は、全面改良に比較するとその効果は低いが、 ある程度の沈下抑制効果が認められることが分かった.

3)数値解析により、丸太頭部と基礎を相互に拘束することで、一体としての挙動が発揮され、効果が向上する可能性があることが分かった.

4)数値解析による検討から、周囲に丸太を打設すること で期待される効果は、その部分の地盤の密度の増大、丸 太そのものの剛性が考えられるが、丸太を打設すること で増加する密度増大効果の寄与が大きいこと、同等の効 果を丸太の剛性のみで確保するには、複数列の丸太に期 待する必要があることが分かった。

5)数値解析による検討から、建物の下に丸太を打設し地 盤全体の液状化対策をする場合は、たとえ液状化層が下 に残っていても、効果が大きく、沈下は大きく抑制され ることが分かった.

6)数値解析による検討から、周囲に丸太を打設することで地盤雄側方への変形も抑えられ、めり込み沈下の抑制につながっていると考えられる。

謝辞:本研究の一部は,科研費(基盤 B,課題番号 25282115)の助成を得て実施いたしました.ここに記し て,深く感謝の意を表します.

参考文献

- Yasuda S., Harada K., Ishikawa K. and Kanemaru Y. Characteristics of Liquefaction in Tokyo bay area by the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake, S&F, Vol. 52, Issue 5, 793-810, 2012.
- 三輪滋,筒井雅行,本山寛,池田隆明,沼田淳紀:2011 年東北地方太平洋沖地震における関東地方の液状化調査, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.68, No4, pp.I-1250-I-1265, 2012.7.
- Numata A., Miwa S., Tsutsui M., Hara T., Mimura K. and Ikeda H. Use of wood for Countermeasure Against Liquefaction. World Conference on Timber Engineering, wcte-2014_PAP694, 2014.

- 富松義晴,沼田淳紀,濱田政則,三輪滋,本山寛:持続 可能社会に向けた土木事業における木材利用の提案,土 木学会論文集 F4(建設マネジメント), Vol.68, No.2, pp.80-91, 2012.7.
- Numata A., Hamada M., Yoshida M, Tonosaki M., Nakamura H. and Kubo H. Effect of Carbon strage due to Ground Improvement by Log Piling, International sympojium on Ground Improvement Technologies and Case Histories, 783-789, 2009.
- Numata A., Motoyama H., Kubo H. and Yoshida M, Log Piling Method to Mitigate Liquefaction Damage. 15th World Conference on Earthquake Engineering, 2012.
- Riaz S., Numata A., Mimura K., Ikeda H. and Hori T. The Effect of Log Piling on Liquefaction. Journal of JSCE, Vol.2, 144-158, 2014.
- 8) 沼田淳紀,筒井雅行,三輪滋,三村佳織,池田浩明:丸 太打設液状化対策工法における炭素収支原単位,土木学 会第69回年次学術講演会概要集,V-394, pp.787-788, 2014.9.
- (筒井雅行,三輪滋,沼田淳紀:丸太打設による液状化対 策工法の実工事への適用(その1工事概要と地盤改良効果),
 2014年度日本建築学会大会(近畿)学術講演会梗概集,
 構造 I -No20326, pp.651-652, 2014.9.
- 10) 三輪滋,筒井雅行,沼田淳紀:丸太打設による液状化対 策工法の実工事への適用(その2丸太打設による周辺地盤 の変位),2014年度日本建築学会大会(近畿)学術講演会 梗概集,構造 I-№20327, pp.653-654,2014.9.
- 11) 村田拓海,沼田淳紀,三輪滋,筒井雅行:二階建て集合 住宅の液状化対策事例における炭素貯蔵量,土木学会第

70回年次学術講演会, V-384, pp.767-768, 2015.9.

- 12) 村田拓海,吉田雅穂,五十島康平,三輪滋:丸太を用いた戸建住宅の液状化対策工法の開発に関する研究,第14回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.550-558, 2014.12.
- 13) 三輪滋,沼田淳紀,村田拓海,吉田雅穂:丸太打設による既設戸建住宅の液状化対策の数値解析による効果の検討,木材利用研究論文報告集14, pp.94-99, 2015.8.
- 14) 三輪滋,沼田淳紀,村田拓海,筒井雅行,吉田雅穂:丸 太打設による既設戸建て住宅の液状化対策の2次元解析 による検討,第34回日本自然災害学会講演会講演概要集, 2015.9(投稿中).
- 日本建築学会:小規模建築物基礎設計指針,丸善,pp.86-87,2008.
- 16) 沼田淳紀,嶋本栄治:N値と相対密度を条件とした非塑
 性で細粒な土の液状化抵抗,土木学会論文集,第764巻, 3-67号, pp.287-305,2004.
- Iai S. Three dimensional formulation and objectivity of a strain space multiple mechanism model for sand, Soils & Foundations, Vol.33, No.1, pp.192-199, 1993.
- Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T. Strain space plasticity model for cyclic mobility, Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol.29, No.4, pp.27-56, 1990.
- 気象庁:強震波形(平成7年(1995年)兵庫県南部地震), http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/hyogo_nanbu/in dex.html.

(... 受付)

SHAKING TABLE TESTS AND NUMERICAL ANALYSIS ON LOG PILING AS A LIQUEFACTION COUNTERMEASURE FOR EXISTING HOUSES

Shigeru MIWA, Masaho YOSHIDA, Takumi MURATA and Atsunori NUMATA

The 2011 Great East Japan Earthquake caused significant soil liquefaction, and many residences were damaged as a result of associated settlement and inclination. This highlighted the importance of seismic countermeasures for small-scale structures. One such measure involves driving logs into the ground to add density. As trees store carbon during growth, logs placed underground below the water table are not prone to deterioration. Based on this characteristic, subterranean log piling represents a dual measure against both global warming and liquefaction. Since log piles can be set only in ground around existing houses rather than directly beneath them, the effect of the resulting densification is limited. However, rigidity added using this approach and the associated partial densification of soil can be expected to have a certain effect in suppressing ground deformation. In this study, shaking table tests were carried out to investigate the effect of log piles placed around existing houses. Also, numerical analysis was conducted to clarify the effects of this technique. As a result, it is found that the settlements and tilts of houses were mitigated by this method.