

大型振動実験による丸太打設の液状化対策効果

沼田 淳紀¹・村田 拓海²・Saima RIAZ³・三村 佳織⁴・原 忠⁵

¹正会員 飛鳥建設株式会社 技術研究所 (〒270-0222千葉県野田市木間ヶ瀬5472)
E-mail: atsunori_numata@tobishima.co.jp

²正会員 飛鳥建設株式会社 技術研究所 (〒270-0222千葉県野田市木間ヶ瀬5472)
E-mail: takumi_murata@tobishima.co.jp

³Student Member of JSCE Univ. of Engineering and Technology Lahore (54890, Pakistan)
E-mail: saimariaz04@gmail.com

⁴正会員 兼松日産農林株式会社 ジオテック事業部 (〒102-0083東京都千代田区麹町3-2 3F)
E-mail: k-mimura@knn.co.jp

⁵正会員 高知大学 (〒783-8502高知県南国市物部乙200)
E-mail: haratd@kochi-u.ac.jp

筆者らは、木材を長期間用いることが地球温暖化緩和策および林業再生の具体策になることから、丸太打設による液状化対策の開発を行ってきた。この方法の液状化対策効果に対する検討を行うために、既に大型土槽を用いた大型振動実験を実施した。この結果、丸太打設による液状化対策が密度増大によるものと同程度以上に効果があること、この効果は丸太間の密度増加や水平土圧の増加によると考えられることなどの結果を得た。本論文では、さらに、地盤内の応力ひずみ関係、丸太間地盤のサウンディング結果の検討、要素試験結果との比較を追加した。この結果、丸太打設による液状化対策は、純粋に密度増加させた地盤よりも数倍程度効果があることを明らかにした。

Key Words : countermeasure, liquefaction, log piling, shaking table test, sounding

1. はじめに

IPCC第5次報告は、地球温暖化には疑う余地がなく、これに対する人間の影響が明瞭であることを示した¹⁾。地球温暖化対策は、今世紀前半に解決すべき重要課題である。木材の長期利用は、これを解決する対策の一つであり、丸太を使用した軟弱地盤対策は、木材を生物劣化させることなく長期に利用できる具体策である²⁾。一方、2011年東北地方太平洋沖地震では、千葉県南房総市から青森県おいらせ町の広い範囲で液状化が発生し³⁾、震央距離380kmの千葉県浦安市などの遠方における被害も甚大⁴⁾であった。今後、大地震発生の可能性が高まっており^{例えは5)}、地震減災対策も重要課題となっている。

このような背景から、著者らは丸太打設による液状化対策工法を開発してきた。この工法の地震時における対策効果を確認するために大型土槽を用いた大型振動実験を行い、丸太打設による液状化対策が密度増大によるものと同程度以上に効果があること、この効果は丸太間の密

度増加や水平土圧の増加によると考えられることなどの結果を得た⁶⁾。その後、丸太打設による液状化対策効果が、純粋に密度増加させた地盤よりも大きいことをより

表-1 実験ケース

ケース	対策方法	土層番号
NIP	無対策 $D_{mm} = 48\%$	1
P5D	丸太打設 $B=5D, a_s = 3.1\%$, $D_{mm} = 64\%, D_{mmo} = 49\%$	
P4D	丸太打 $B=4D, a_s = 4.9\%$, $D_{mm} = 70\%, D_{mmo} = 54\%$	2
DNS	密度増大 $D_{rmm} = 91\%$	

B : 丸太打設間隔
 D : 丸太直径 (末口) (m)
 a_s : 改良率 (%)
 D_{rmm} : 相対密度 (最小法) (%)
 D_{rmo} : 丸太打設前の初期相対密度 (最小法) (%)

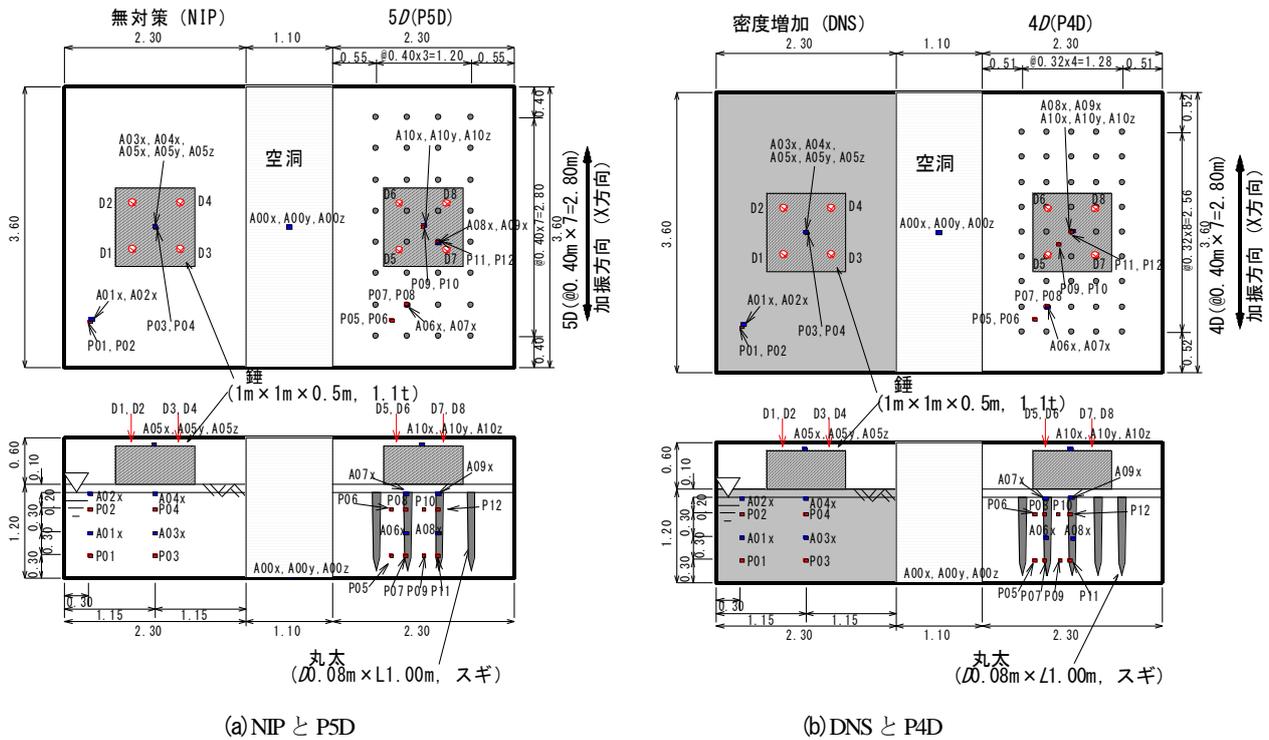


図-1 模型地盤の概要とセンサー配置

明確にするために追加検討をおこなったので、本論ではこの検討結果を示す。

2. 実験方法⁶⁾

実験は、大型土槽に緩詰め模型地盤を作製し、それに丸太を打設し液状化対策を実施した。この地盤に錘を載せ、主にこの沈下量を用いて液状化対策効果の比較検討を行った。以下に実験方法を示す。なお、実験方法と結果には、文献6)に詳しい。

表-1に、実験ケースを示す。振動実験は、2ケースを1つの土槽に作製し同時加振した。丸太打設のP5DとP4Dは、無対策のNIPの地盤に、所定の丸太打設間隔で丸太を打設した。DNSは、密度増大である。

図-1に、模型地盤の概要とセンサー配置を示す。模型地盤は、内寸横5.7m×奥行3.6m×高さ1.8mの大型土槽を2つに仕切り、水中落下法により作製した。水位は、GL-0.1mに設定し、地盤上部0.1mを非液状化層とした。初期の地盤密度は相対密度 $D_{rmin}=48\sim 54\%$ である(相対密度の定義は、後述する)。丸太は、下部に0.1mの未改良層を残し、静的圧入により打設した。丸太頭部上部は、現場施工と同様に碎石を充填した。ただし、砂と混ざらないように粗い目の布の袋に入れ充填した。地盤には、液状化程度を性能として評価するために、横1m×奥行1m×高さ0.5mで質量1.1tのコンクリート製の錘を載せた。なお、図に示す通り、丸太は錘を直接支持していない。丸太打設による液状化対策効果との

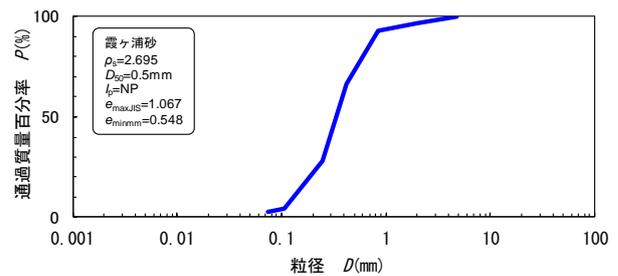


図-2 用いた砂の粒度組成と物理的性質

比較を行うために、密度増大による模型地盤も作製した。密度増大は、振動棒により地盤を締固めた。

使用したセンサーは、変位計(D1~D8)、加速度計(A00x, A00y, A00z, A01x~A04x, A05x, A05y, A05z, A06x~A09x, A10x, A10y, A10z)、間隙水圧計(P01~P12)である。加速度計(A06x~A09x)と水圧計(P07, P08, P11, P12)は、それぞれ丸太にセンサーを埋め込んだ。

図-2に、用いた砂の粒度組成と物理的性質を示す。図中の最小法とは、最小間隙比をJIS法ではなく、突固めなどで粒子破碎が生じない範囲で最も小さな間隙比を求めたもので、人為誤差が大きくなる場合があるが、これにより求めた相対密度は液状化抵抗との相関が高い⁷⁾。

使用した丸太は、樹種がスギで、末口径 $D_T=8\text{cm}$ 、長さ $L=1\text{m}$ で、先端部はペンシル状になっている。皮を剥いただけの自然木を用いた。使用にあたっては200本の中から末口径が8cmに近い77本を選び出した。

図-3に、丸太の末口径 D_T と元口径 D_B の度数分布図を示す。元口は、末口より平均で0.65cm太い。

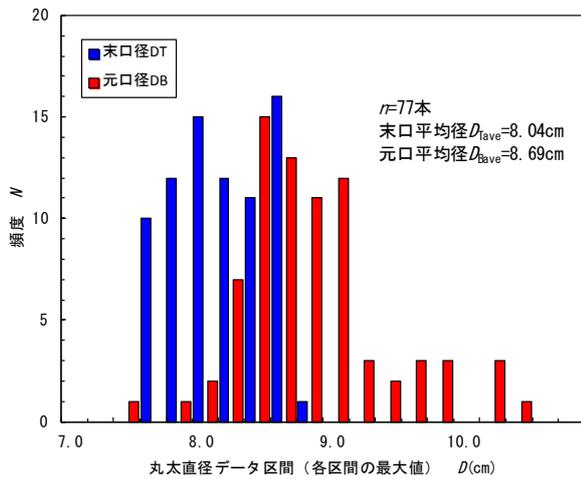


図-3 用いた丸太の末口径と元口径

図-4に、加振に用いた入力波形を示す。主要部は4Hzで20波の正弦波であり、前後に5波ずつの立ち上がり部と収束部がある。加振は、振幅を約50galずつ増やすステップ加振とした。加振後、次の加振をする前には、水位が所定の高さにあり、上昇した過剰間隙水圧が十分消散していることを間隙水圧計で確認した。

模型地盤作製後には、地盤の強さを知る目的でスウェーデン式サウンディング試験 (JIS A 1221) (以降、SWSと示す。)、簡易動的コーン貫入試験 (JGS 1433-2003) (以降、PDCPTと示す。)、オートマチックラムサウンディング⁸⁾ (以降、ARSと示す。)、ピエゾドライブコーン⁹⁾ (以降、PDCと示す。)、フラットダイラトメータ (以降、DMTと示す。)による水平土圧計測を実施した。図-5に、サウンディング実施地点を示す。サウンディング結果は、次式を用いてN値に換算した。本論文ではこれをN値換算値と示し、以降の検討を進める。

$$\text{SWS}^{11)}: N=0.002W_{sw}+0.067N_{sw} \text{ (砂・砂質土)} \quad (1)$$

ここで、 W_{sw} : 1000N以下で貫入した場合の荷重 (N)

N_{sw} : 回転により貫入させた時の貫入量 1m 当たりの半回転数 (回/m)

$$\text{PDCPT}^{12)}: N_d > 4 \text{ のとき: } N=1.1+0.30N_d$$

$$N_d \leq 4 \text{ のとき: } N=0.66N_d \text{ (砂質土)} \quad (2)$$

ここで、 N_d : 簡易動的コーン貫入試験より得られた 100mm ごとの打撃回数 (回)

$$\text{ARS}^{8)}: N=N_d$$

ただし、 $N_d \leq 5$ のとき: $N_d=N_{dm}$

$$N_d > 5 \text{ のとき: } N_d=N_{dm}-\Delta N_{dm} \quad (3)$$

ここで、 N_d : ラムサウンディングで得られたコーン試験値 (回)

N_{dm} : ラムサウンディングで得られた 200mm ごとの打撃回数 (回)

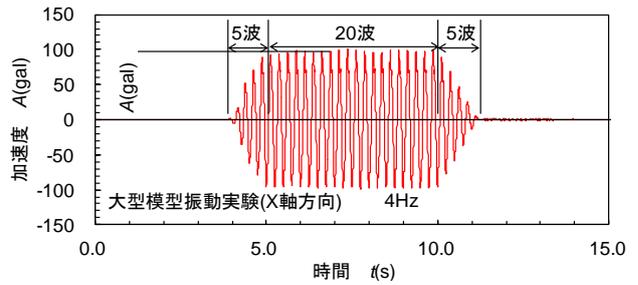


図-4 入力波形

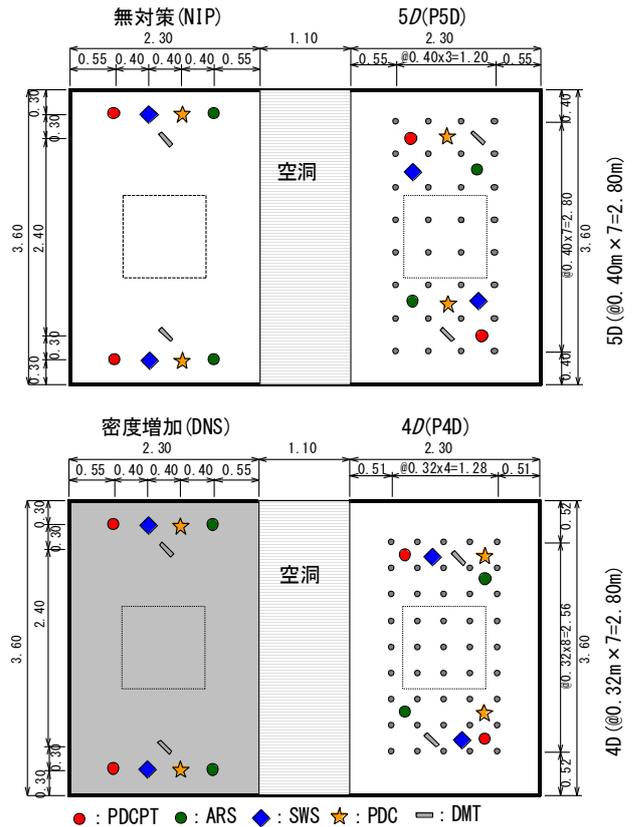


図-5 サウンディング実施地点

ΔN_{dm} : トルクより求められる補正回数 (回)

$$\text{PDC}^{9)}: N=N_d, \text{ ただし, } N_d = \frac{10}{d} - 0.16M_r \quad (4)$$

ここで、 N_d : ピエゾドライブコーンで得られた貫入抵抗値 (回)

d : ラムサウンディングの 1 打撃当たりの貫入量 (cm)

M_r : 回転トルク (N・m)

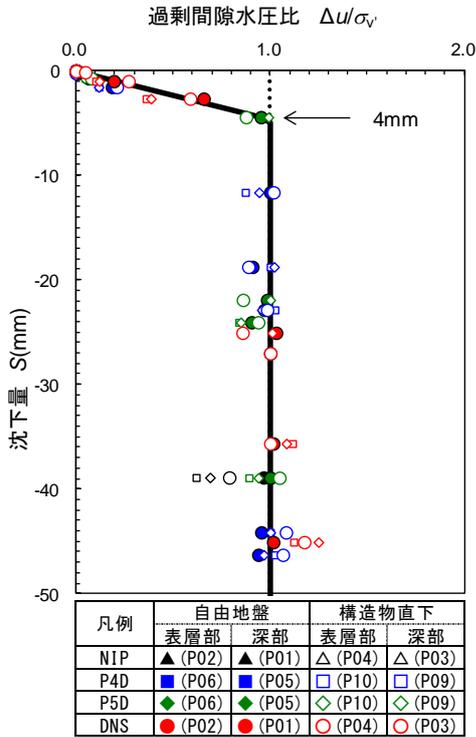


図-6 過剰間隙水圧比と沈下量

3. 大型振動実験結果⁶⁾

大型土槽を用いた振動台実験結果の概要を示す。

図-6に、過剰間隙水圧比 $\Delta u/\sigma_{v0}$ と沈下量の関係を示す。過剰間隙水圧 Δu は、加振終了時における値(残留値)である。有効上載圧 σ_{v0} は、基本的には密度より求めたが、一部液状化時の残留過剰間隙水圧を有効上載圧とした。過剰間隙水圧比が1.0未満の時は、過剰間隙水圧比が大きくなるほど沈下量が大きくなるが、沈下量は4mm未満で小さい。過剰間隙水圧比が1.0に達すると、沈下量が急激に大きくなるのがわかる。過剰間隙水圧が1.0に達したときの沈下量は4mmで、本論文では、この時点をも型地盤が液状化した加速度と定義した。

図-7に、入力加速度と累積沈下量の関係を示す。図中、白抜きの点は錘各点における沈下量で、塗りつぶしは4点の平均値である。また、図中には、密度増加した地盤の相対密度と丸太間地盤の相対密度も併記した。

丸太間地盤の密度は、次のように求めた。図-8に、丸太が打設された地盤を模式的に示す。斜線部の丸太間地盤の断面積は、丸太の面積(隅角部は丸太の1/4、それ以外の周囲は1/2、斜線内は丸太そのままの面積の合計)を斜線部面積から差し引いた。体積は、この断面積に、丸太打設後に計測した40点の地盤高さの平均値を乗じた。斜線部地盤の土の乾燥質量は、斜線部の面積と丸太打設前の地盤高さを乗じて求めた体積に、丸太打設前の地盤の乾燥密度を乗じて求めた。丸太打設前の地盤の乾燥密度は、地盤作製時に投入した砂の乾燥質量を初

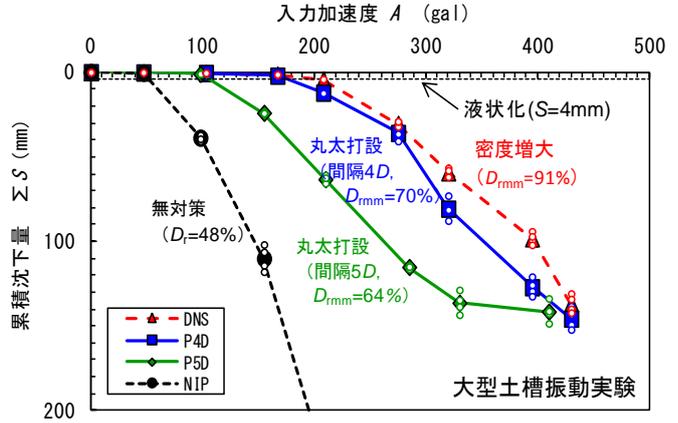


図-7 入力加速度と累積沈下量

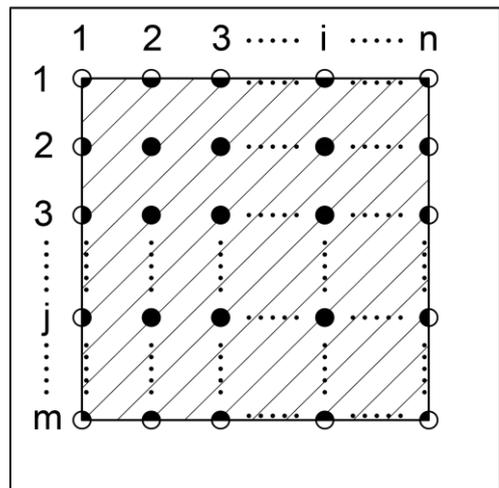
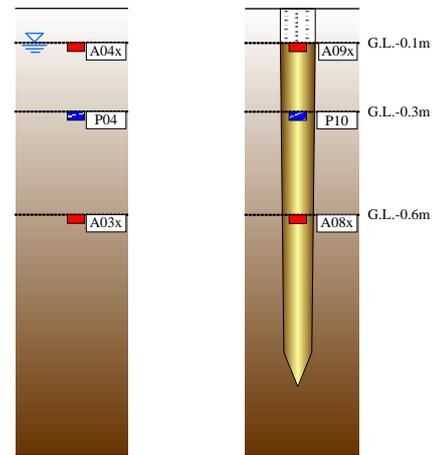


図-8 丸太間地盤の密度の求め方



(a) NIP, DNS

(b) P5D, P4D

図-9 加速度計と水圧計の配置

期地盤の体積で除して求めた。求められた密度より、最小法により相対密度を求めた。

丸太打設または密度増加した場合は、いずれも無対策の場合に比べ沈下量が小さく、これらの方法が液状化対策に効果的であることがわかる。また、その効果は、丸

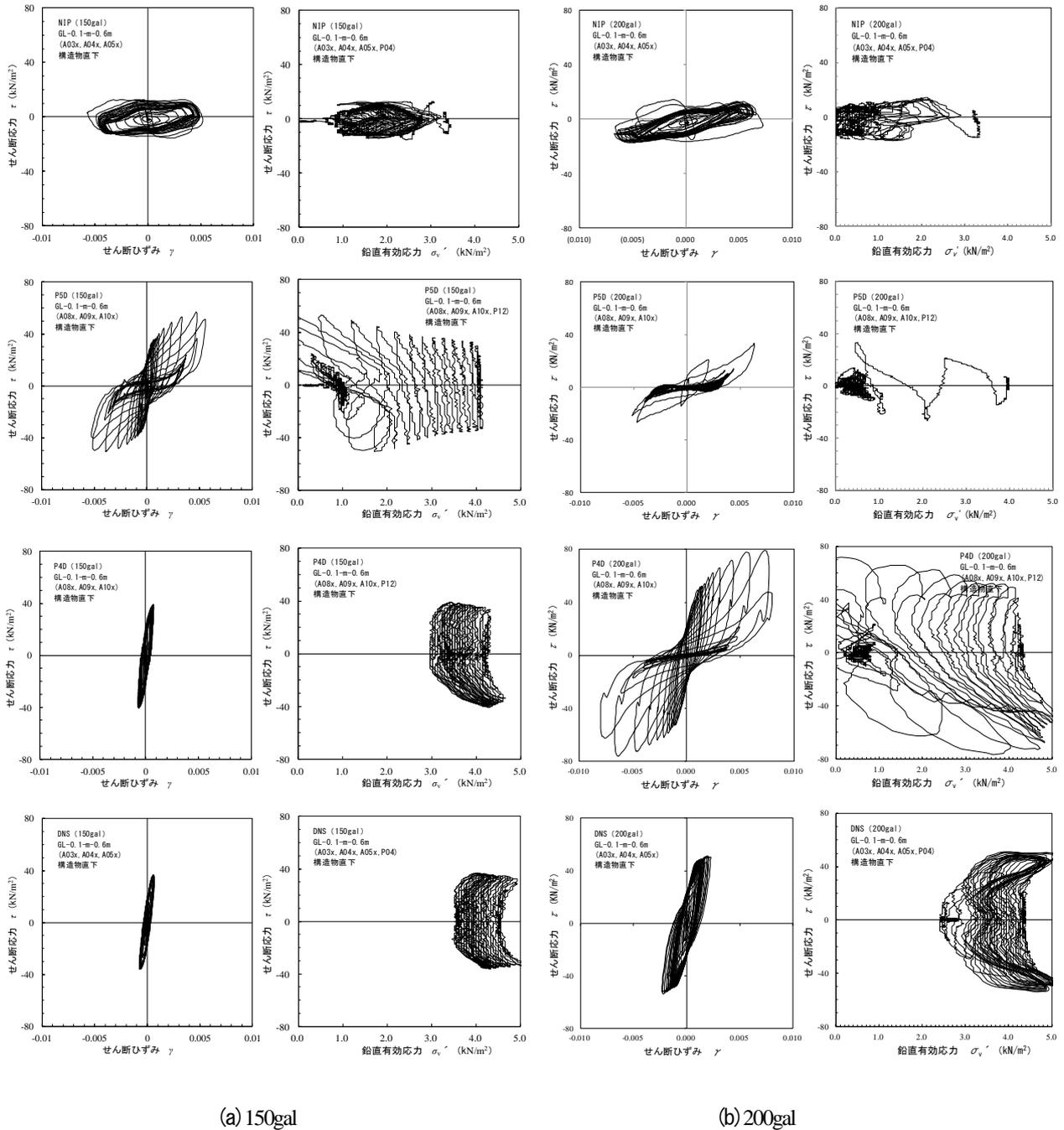


図-10 応力ひずみ関係と有効応力経路

太打設の間隔が $5D(D$: 丸太径)より $4D$ と丸太打設間隔が小さいほど大きく、丸太打設間隔が $4D$ の場合は丸太間地盤の相対密度が $D_{\text{mm}}=70\%$ であるのに、相対密度 $D_{\text{mm}}=91\%$ とかなり密締めにした地盤と同程度であることがわかる。さらに、丸太打設したケースでは、大きな加速度レベルでも沈下量はある程度以上で頭打ちとなる傾向が認められる。これは、丸太が杭機能を発揮するためだと考えられる。

4. 地盤内の挙動³⁾

地盤内の挙動を求めるために、加速度計および間隙水圧の値を用いて応力ひずみ関係と有効応力経路を求めた。応力ひずみ関係と有効応力経路は、次のように求めた。図-9に、加速度計と水圧計の位置を示す。NIP と DNS では加速度計(A03x, A04x)が地盤内に設置され、P5D と P4D では加速度計(A08x, A09x)は丸太に埋め込んだ。

せん断ひずみは、構造物直下の $GL-0.1m\sim-0.6m$ の層を対象とし、この層の上限と下限の応答加速度を2回積分し絶対水平変位を求め、両者の相対変位を層厚で除しせん断ひずみとした。ある時刻 i における第 n 層のせん

断ひずみ γ_{ni} の計算式を式(5)に示す。

$$\gamma_{ni} = (d_{ni} - d_{(n+1)i}) / H_n \quad (5)$$

ここで、 d_{ni} ：時刻*i*における*n*層上限の水平変位(m)

$d_{(n+1)i}$ ：時刻*i*における*n+1*層上限の水平変位(m)

H_n ：*n*層の層厚(m)

ある時刻*i*における第*n*層中間点におけるせん断応力 τ_{ni} は式(6)より GL-0.35m を対象に求めた。

$$\tau_{ni} = \sum_{j=1}^{n-1} \left(\frac{A_{ji} + A_{(j+1)i}}{2} \right) H_n \rho_n + \frac{\rho_n H_n}{8} (3A_{ni} + A_{(n+1)i}) \quad (6)$$

ここで、*n*：層番号

A_{ji} ：時刻*i*における*j*層上限における応答加速度 (m/s^2)

H_n ：第*n*層の層厚(m)

ρ_n ：第*n*層の密度(kg/m^3)

なお、本検討では、地盤と丸太は同じ挙動をすると仮定した。

鉛直有効応力は、構造物直下の GL-0.30m を対象とし、対象地盤が明らかに液状化したケースの残留過剰間隙水圧を初期上載圧とし、水圧計 (P04, P10) の値を減じて有効応力とした。せん断力を求めた深度と鉛直有効応力を求めた深度が 0.05m 異なるが、検討においてはこれを無視し、同一深度として求めた。

図- 10に、入力加速度が 150gal と 200gal の時の構造物直下の GL-0.35m における、せん断応力とせん断ひずみの関係、および、有効応力経路を示す。NIP では、150gal の段階でせん断剛性が低下し、液状化状態になっていることがわかる。一方、P4D と DNS は、150gal のレベルでは弾性に近い挙動を示し、有効応力もほとんど減少していない。P5D では、有効応力の減少が認められるが、応力ひずみ関係では、ひずみの増加に伴いせん断剛性が回復するサイクリックモビリティが認められ、地盤が密に締め固められていることがわかる。

200gal の場合は、P5D では有効応力が減少しせん断剛性も低下している。P4D では、有効応力の低下は認められるが応力ひずみ関係は密な地盤の特性が現れ、ひずみの発生も靱性のある挙動となっている。DNS は、有効応力の減少は少なく、応力ひずみ関係も弾性挙動に近い。

以上より、丸太を打設した地盤は、密な地盤の特性を示し、特に丸太打設間隔が小さい P4D の場合にはその傾向が顕著である。したがって、丸太を打設することで錘の沈下量が小さくなるのは、丸太が錘を支えているのではなく、丸太を打設することで地盤が密になり、地盤が液状化による支持力低下を起こさないために錘の沈下

が抑制されるといえる。

5. 丸太間地盤の液状化特性

サウンディング結果より、丸太を打設することで丸太間地盤の *N* 値換算値が増し、これにより沈下量も低下すること、同じ地盤密度で比較した場合は、丸太打設した方が密度増加のみの方法よりも沈下量が小さく、この傾向は要素試験結果との比較結果でも同様で、丸太打設による液状化対策効果は、単に密度を増加させる以上であることを示す。

図- 11に、それぞれのサウンディング結果の深度分布を示す。いずれも *N* 値換算値である。全体的に深度が大きくなるほど *N* 値換算値が大きくなる。これは拘束圧の影響である。この影響は、PDCPT では少ない。NIP における *N* 値換算値はいずれも小さく、ARS や PDC では 0 であった。丸太打設後は、密度増加と同様に *N* 値換算値はいずれも増加し、丸太打設により丸太間地盤が強度を増していることがわかる。前項で示した応力ひずみ関係や有効応力経路図で、丸太打設した地盤にはサイクリックモビリティが認められるのは、このように地盤の *N* 値換算値が増加し地盤自体が密度増加を主体として強化されたことを裏付けている。SWS 以外では、NIP, P5D, P4D, DNS の順で *N* 値換算値が大きくなり、この順に従い地盤も強化されているといえる。

図- 12に、各サウンディングより求められた *N* 値換算値と目標入力加速度 150gal における沈下量を示す。*N* 値換算値は地盤中央付近の GL-0.7m における値を用いた。150gal における値を用いたのは、各ケースにおける沈下量の差が顕著に表れるためである。PDC を除き、*N* 値換算値が 3 以下になると沈下量が発生し、*N* 値換算値が小さくなるほど沈下量が大きくなることがわかる。

N 値換算値が大きくなる要因の一つが密度である。そこで、図- 13に、地盤または丸太間地盤の相対密度と沈下量の関係を示す。図中には、目標入力加速度が 150gal と 200gal の場合を示した。密度増加の DNS のケースは、1 ケースしかないので、他で実施した小型振動台実験などの結果⁹を参考にそれぞれ破線で結んだ。丸太打設のケースでは相対密度が 70% 以上ではほとんど沈下が生じないことがわかる。密度増加のみの場合は、他の実験結果を参考にすると、相対密度 70% ではある程度の沈下が生じ、丸太打設することで、地盤は密度増加以上に対策効果をあげると推測される。

丸太打設による液状化対策効果と密度増加による効果について、繰返し非排水三軸試験結果を用いて明らかにする。

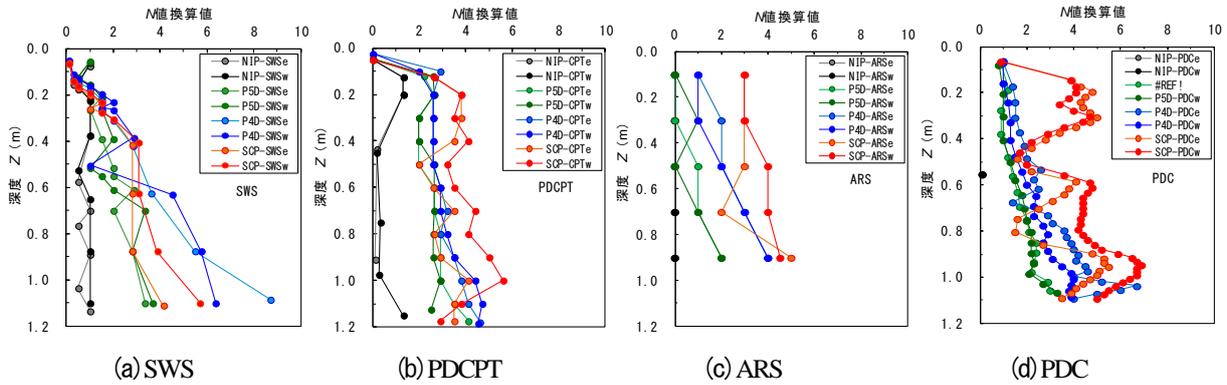


図-11 サウンディング試験より求められたN値換算値の深度分布

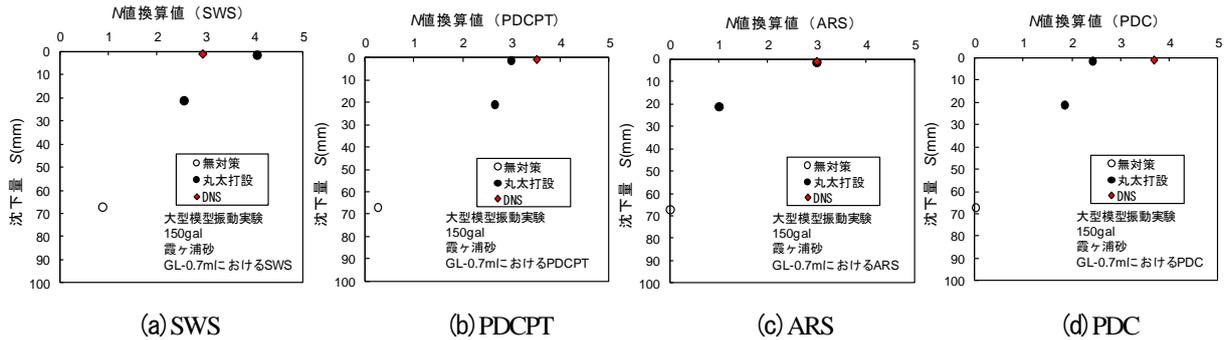


図-12 N値換算値と150galにおける沈下量

図-14に相対密度と繰返し抵抗の関係を示す。図中の太い実線と破線は、大型振動実験より得られた結果であり、その他の細い波線、および、小さな点は繰返し非排水三軸試験より得られた繰返し回数20回で（ただし、佐々木他¹⁴⁾の結果は繰返し回数10回）両振幅ひずみ5%に至る繰返し抵抗 R_{20} である⁷⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。

大型振動実験から得られた繰返し抵抗は、次のように求めた。繰返し抵抗は、大型土槽内における全体系として繰返し抵抗を求めることとし、GL-0.7mにおけるせん断応力 τ_d と有効拘束圧 σ'_c との比 τ_d/σ'_c を求めた。ここで、 τ_d は式(7)より求めた。

$$\tau_d = A_{Liq}(\rho_1 Z_1 + \rho_2 Z_2) \quad (7)$$

ここで、 A_{Liq} : 液状化発生時の入力加速度(m/s^2)

ρ_1 : 上部の不飽和層の乾燥密度(kg/m^3)

ρ_2 : 下部の飽和層の飽和密度(kg/m^3)

Z_1 : 上部の不飽和層の厚さ(0.1m)

Z_2 : 下部の飽和層の厚さ(0.6m)

大型振動実験における入力加速度 A_{Liq} は、土槽全体を一つの要素と捉え、入力加速度を代表値とし、沈下量が4mm発生するときの入力加速度を図-7より求めた。

有効拘束圧 σ'_c は、式(8)より求めた。

$$\sigma'_c = G(\rho_1 Z_1 + (\rho_2 - 1)Z_2) \left(\frac{1 + 2K_0}{3} \right) \quad (8)$$

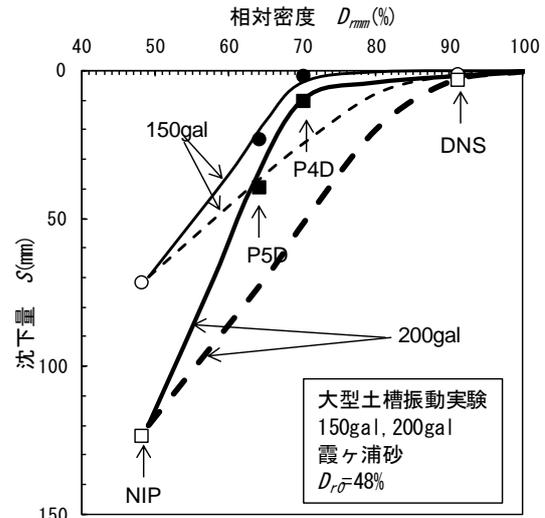


図-13 相対密度と沈下量

ここで、 G : 重力加速度($9.8m/s^2$)

K_0 : 静止土圧係数(-0.5)

繰返し回数は、入力波の前後に立ち上がりと収束の波があるが主要動は20波なので、特に補正はしていない。

無対策のNIPと密度増大によるDNSは、繰返し非排水三軸試験結果のばらつきの範囲内に入り、このような要素試験より得られた繰返し抵抗と一致している。これより、DNSより得られた繰返し抵抗と、NIPより得られた

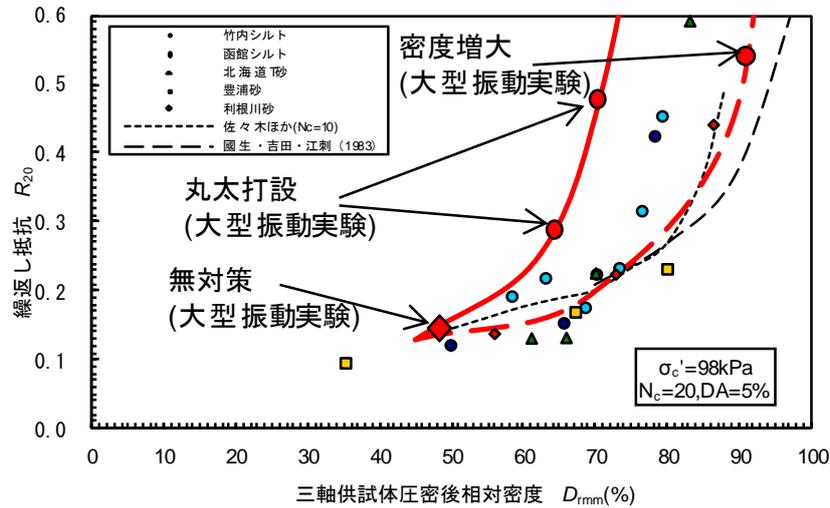


図-14 相対密度と繰返し抵抗

繰返し抵抗は、他の繰返し非排水三軸試験結果と同様な傾向を示すと考えられ、両者を図中に示す太い波線で結んだ。したがって、前述の図-13に示した密度増加による破線の関係は、妥当な推測だといえる。

丸太打設による関係は、繰返し非排水三軸試験で得られた密度と繰返し抵抗との関係と比較すると、ばらつきの範囲より、2~3倍程度繰返し抵抗が大きく、丸太打設された地盤の繰返し抵抗が、純粋に密度増加させた地盤と比較して大きくなることが明らかになった。

丸太打設された地盤の繰返し抵抗が密度増加以上に増加する理由として、①丸太打設による水平土圧の増加、②地盤と丸太の複合地盤としてのせん断剛性の増加、③丸太の杭機能による地盤補強効果の増加、④丸太打設による地盤内土質の構造的な強化などが考えられる。

6. 結論

- (1) 過剰間隙水圧比が大きくなると沈下量も大きくなるが、それが1.0未満の場合には沈下量は小さく、1.0以上となると沈下量が著しく大きくなる。過剰間隙水圧比が1.0に達するときの沈下量は4mmであった。
- (2) 丸太打設することで沈下が抑制され、液状化対策効果がある。この効果は、丸太打設間隔が小さい方が大きく、丸太打設間隔が、丸太直径の4倍の場合には、相対密度91%の地盤とほぼ同じ傾向を示す。
- (3) 沈下を抑制する理由は、丸太が錘を直接支えるのではなく、丸太打設された地盤が密になり繰返し荷重に対して液状化を抑制し、剛性低下が生じないからである。
- (5) 大型振動実験で無対策と密度増加させた地盤の相対密度と繰返し抵抗の関係は、繰返し非排水三軸試験より得られた関係と良く一致した。一方、丸太打設

した地盤の繰返し抵抗は、丸太間地盤の密度で比較すると、繰返し抵抗は純粋に密度増加した地盤と比べ数倍大きくなり、丸太打設による液状化対策効果が、純粋な密度増加よりも相当に大きくなることが明らかになった。

謝辞：本実験は、林野庁地域材供給倍増事業のうち木造住宅・木造建築物等の構造部材開発等支援事業の中の木造中高層建築物等の部材開発等支援事業の補助を得て実施したものである。また、検討の一部は、科研費（基礎研究(C), 24580221）の助成を受けた。実験には農業・食品産業技術総合研究機構、元早稲田大学の濱田政則教授、昭とマテリアル(株)、飛鳥建設(株)技術研究所の各位に御協力いただいた。ここに記して感謝申しあげる。

参考文献

- 1) 環境省：IPCC 第5次評価報告書の概要—第1作業部会(自然科学的根拠)—, 2013
- 2) 富松 義晴, 沼田 淳紀, 濱田 政則, 三輪 滋, 本山寛：持続可能社会へ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.
- 3) 若松加寿江：2011年東北地方太平洋沖地震による地盤の再液状化, 日本地震工学論文集, 第12巻, 第5号, pp.69-88, 2012.
- 4) 三輪 滋, 本山寛, 沼田 淳紀, 筒井 雅行：2011年東北地方太平洋沖地震における東京都江戸川区と千葉県浦安市と埼玉県東部と千葉県北西部の液状化, 日本地震工学会年次大会 2011, pp.92-93, 2011.11.
- 5) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）, 2013.5.
- 6) Rias, S., Numata, A., Mimura, K., Ikeda, H. and Hori, T.: The effect of log piling on liquefaction, *Journal of JSCE*,

- Vol.2, pp.144-158, 2014.
- 7) 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, No.764/III-67, pp.287-305, 2004.6.
 - 8) 日本建築学会: 2.SWS 試験以外の原位置試験方法, 小規模建築物基礎設計指針, pp37-45, 2008.2.
 - 9) S. Sawada, D. Yoshizawa, N. Hiruma, M. Nagase, T. Sugano and H. Nakazawa: Evaluation of differential settlement following liquefaction using Piezo Drive Cone, *Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, pp.1064-1067, 2009.10.
 - 10) Silvano Marchetti: In Situ Tests by Flat Dilatometer, *J. Geotech. Eng. Div.*, ASCE, Vol.106, No.GT3, pp.299-321, 1980.3.
 - 11) 地盤工学会: 第 4 章スウェーデン式サウンディング試験, 地盤調査の方法と解説, pp.280-289, 2004.6.
 - 12) 地盤工学会: 第 3 章簡易動的コーン貫入試験, 地盤調査の方法と解説, pp.274-279, 2004.
 - 13) 村田 拓海, 吉田 雅穂, 三輪 滋, 沼田 淳紀, 三村 佳織, 水谷 羊介, 堀 俊和, 池田 浩明, Riaz Saima, 原忠, 坂部 晃子: 丸太打設液状化対策大型模型振動実験における地盤内の応力ひずみ関係, 第 48 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1789-1790, 2013.7.
 - 14) 佐々木 勉, 龍岡 文夫, 松村 正重, 関 眞一: 振動三軸試験における試験条件が砂の液状化強度に及ぼす影響, 第 16 回土質工学研究発表会, pp.597-600, 1981.5.
 - 15) 国生 剛治, 吉田 保夫, 江刺 靖行: 密な砂地盤の地震時安定性評価法の検討(その 2)標準貫入試験による評価法, 電力中央研究所報告, 383026, pp.1-32, 1983.10.

EFFECT OF LOG PILING METHOD FOR LIQUEFACTION COUNTERMEASURE BY LARGE-SCALE SHAKING TABLE TEST

Atsunori NUMATA, Takumi MURATA, Saima RIAZ, Kaori Mimura
and Tadashi HARA

Since a long-term use of wood is a concrete means of mitigating global warming and regenerating forestry, the authors have been developing a liquefaction countermeasure by log piling. To investigate the effect of this method against liquefaction, a large-scale shaking table test has already been conducted. From this experiment, it was understood that the liquefaction countermeasure of log piling method was more effective than the densification. And the densification at the ground between piled logs, and increasing horizontal earth pressure were considered as a reason. In addition to this experiment, the discussion about the stress-strain relation and the effective stress path, the results of sounding tests at the ground between piled logs and the comparison between large-scale shaking table tests and results of element tests were considered. As the results, it is clarified that the liquefaction countermeasure by log piling method is more effective than that by the densification.