地中に打設された木杭の液状化時の浮上について

飛島建設 正会員 ○沼田 淳紀
福井工業高等専門学校 正会員 吉田 雅穂
金沢大学 正会員 宮島 昌克
飛島建設 上杉 章雄

1. はじめに

地球温暖化は，世界規模で解決しなければならない今世紀前半の最大の課題である．この防止対策について，人類はあらゆる分野で知恵を絞る必要がある．筆者らは，この防止対策として，木材を地中に打設することを検討している．木材を地中に打設することで液状化対策を行うとともに，炭素を地中に長期貯蔵し大気中の二酸化炭素削減に貢献しようというものである[1)2)]．

この対策を水中や海中で実施し，仮に液状化が生じてしまった場合，木杭が浮き上がってしまい，水面に浮上してしまうか否かと言った検討や木材の耐久性の検討が必要である．そこでここでは，1923 年関東地震の際に浮上りが生じた旧相模川の橋脚の事例[3)]と，2007 年新潟県中越沖地震の際に浮き上がった古木の事例[4)5)]を考察するとともに，地盤中にスギを打設した実験結果について述べる．

2. 旧相模川橋脚跡[3)]

1923 年 9 月 1 日発生した関東地震および 1924 年 1 月 15 日の地震により，当時水田であった地盤が液状化し突然木杭が出現した．この地点は，現在の相模川左岸の茅ヶ崎市国道 1 号線付近に位置し，国史跡「旧相模川橋脚」となっている．出現した木杭は，直径 60cm のヒノキであり，橋脚は 3 本を 1 列とした 4 列で，列の幅は約 7m，1 列目から 4 列目までの長さは約 23m である．水面から 0.8～1.2m 突出した．この橋脚は，「源頼朝の御家人，稲毛三郎重成が亡妻の追善供養のため，1198 年（建久 9 年）相模川に架けた橋のものである」と考証されている．

これから計算すると関東地震までの間 725 年間地中に存在していたことになる．この橋脚は，日本最古の橋脚として 1924 年（大正 13 年）に史跡保存の指定がなされ，池の中に保存されていた．しかし，近年腐朽の進行が激しく保存作業が行われている．このことから，浮上りを生じた直後の木杭はほぼ健全な状態であったと推察され，少なくとも腐朽し体積が失われるような状態ではなかったことが明らかである．

3. 出雲崎沖海底で出現した古木[4)5)6)7)]

前述の旧相模川橋脚跡の浮き上がり事例を見て，木材は密度が低く水に浮くから浮上したと誤解されることがある．木材は，地下水位以下で長期設置されていると飽和状態となる．木材の実質部分の密度を表す真比重は樹種に関係なく 1.50 なので[8)]，このときの木材の湿潤密度（気乾比重）は 1.0 より大きくなり，水に沈むことになる．ただし，一般には液状化地盤の密度よりは小さいので液状化時には地盤より浮き上がることになる．このような現象が 2007 年新潟県中越沖地震で生じた．なおここで，木材は土質に類似し，木材実質，水分，空気の 3 要素に分けることができるので，木材実質を土粒子に置き換えて考えられる．表現方法は木材の分野と地盤工学の分野で若干異なるので，ここでは表現方法を地盤工学に合わせ，括弧内に木材分野における呼び名を記した．

この地震では，新潟県の柏崎沖から出雲崎沖の水深 75～100m海底で，地震前 50 年以上の間網に引っかかることのなかった古木が大量に網に引っかかった[4)]．水中写真においても水中下の海底面上に木材が点在していることが見て取れる[5)]．これらの古木は，軟らかく，丸く円磨され，大きなもので 40cm×100cmあり，樹種はトチノキ，ヤチダモ，カエデ属，ヤナギ属，ハンノキ属，ケヤキ，トネリコ属，ブナなど多様である[6)]．5 個のサンプルについて実施された放射性炭素（^{14}C）を用いた年代測定から，古木は今から約 8650～2300 年前のものであることが明らかにされている[7)]．液状化により木材が液状化地盤上には浮き上がるが，水面にまでは浮き上がらないこと，および，水中（海中）下の地盤中にあった木材は，何千年のオーダーで虫害や腐朽で体積が失われるような状態にまでは到らないことがわかる．

4. 木杭の実験

木材の地中における密度変化や飽和度の変化を見るために，地下水位変動が可能である密詰め（目標乾燥密度 0.56g/cm^3，透水係数 2×10^{-5}cm/s）と緩詰め（目標乾燥密度 0.45g/cm^3，透水係数 8×10^{-5}cm/s）の模型地盤に打設したスギ丸太を調べた．模型地盤の寸法は，高さ 120cm 幅 400cm 奥行き 100cm であり，底面より 7cm の位置ま

キーワード 地球温暖化，木杭，液状化，湿潤密度，浮き上がり
連絡先 〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬 5472 飛島建設(株)技術研究所 TEL 04-7198-7553

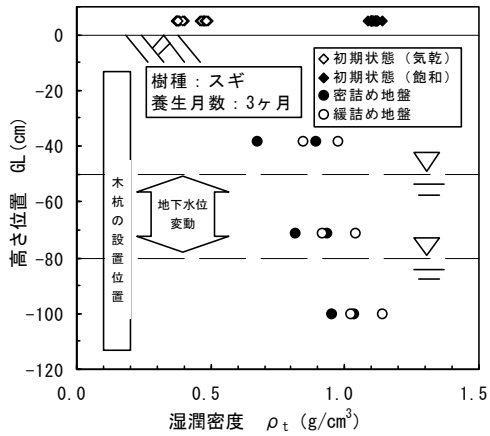

図-1 地中木材の湿潤密度

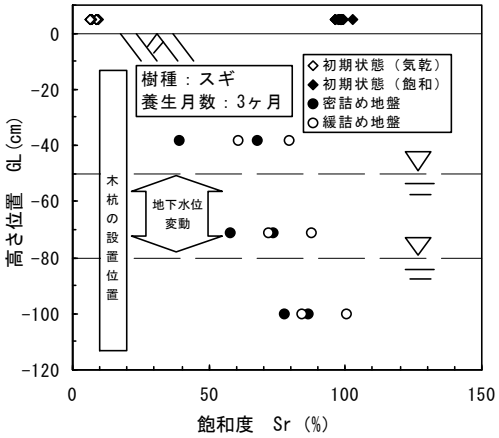

図-2 地中木材の飽和度

でドレーンが設置され，地下水位が 1 日 30cm の振幅で変動する．地盤は，黒土，鹿沼土，バームキュライトをそれぞれ質量比 60:20:6 で混合し作成し，地盤中には木片も多数混在されている．スギ丸太（直径 8cm×長さ 100cm）は，GL-13～-113cm の位置に設置されている．

図-1 と**図-2** は，実験開始 3 ヶ月後に，密詰めおよび緩詰め地盤よりそれぞれ 2 本ずつスギ丸太を堀出し，それより直径 8cm×長さ 16cmの円柱を切り出して計測した湿潤密度（気乾比重）と飽和度である．図中には上部に，スギ丸太の初期状態と真空容器に入れ脱気水で飽和した[9]状態の湿潤密度と飽和度も併記した．なお，一般的なスギの乾燥密度（絶乾比重）0.35g/cm^3 と，真比重 1.50 より[8]，飽和密度は 1.12g/cm^3 となる．

図より，当初 0.4g/cm^3 程度であった湿潤密度が地下水位のある地盤中に設置されたことで，3 ヶ月経過後には湿潤密度が大きくなり，地下水位変動の下限以深では 1.0g/cm^3 以上で飽和度もほぼ 100%となっていることがわかる．したがって，スギは飽和度が 100%になれば液状化時に地盤から浮き上がる可能性があるが，水面までは浮き上がらないことがわかる．また，密詰め地盤と緩詰め地盤では，緩詰め地盤の方が湿潤密度および飽和度が大きく，緩詰め地盤の方が通水性が高いために早期にこれらの値が大きくなったものと考えられる．

5. まとめ

(1) 1923 年関東地震でヒノキの木杭が液状化により浮き上がった事例を示した．この事例では 725 年間木杭が健全であったと推察された．

(2) 2007 年新潟県中越沖地震では，海水下の地盤の液状化で，海底面まで古木が浮き上がったが，海水面上にまでは浮き上がらない事例を示した．この事例では，何千年のオーダーで木材が海中の地盤中にあれば虫害や腐朽で体積を失うことがないことが明らかになった．

(3) 地下水変動のある模型地盤に打設したスギ丸太により，打設 3 ヶ月後にはスギはほぼ飽和状態となり湿潤密度が 1.0g/cm^3 を上回ることを確認した．

謝辞：本研究は，日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究（C）（一般），研究課題：カーボンストックを目的とした丸太打設による地盤の液状化対策技術の開発）の補助を受けて実施したものである．

参考文献

1) 沼田淳紀, 上杉章雄：地球温暖化対策のための木材利用の可能性について, 第 14 回地球環境シンポジウム, 土木学会, pp.97-102, 2006.8.

2) 沼田淳紀，吉田雅穂，宮島昌克，上杉章雄：1964 年新潟地震で液状化対策として機能した木杭，第 43 回地盤工学研究発表会発表講演集，2008.7.（投稿中）

3) 高久達将：日本最古橋杭”旧相模川橋脚跡”，土と基礎，40-3(410)，p.58，1992.3.

4) 日本応用地質学会ホームページ，日本応用地質学会新潟県中越沖地震現地調査団報告（2007.8.10），http://wwwsoc.nii.ac.jp/jseg/r_new/news/2007/chuetsuoki-rep.pdf

5) 新潟県水産海洋研究所ホームページ，柏崎沖海底古木調査結果概要について，http://www.pref.niigata.jp/norin/chiiki/suikai/joho/topics/H19koboku.htm

6) 中田誠，細尾佳宏，立石雅昭，宮下純夫：出雲崎沖の海底古木の樹種と成因に関する推察，2007 年新潟県中越沖地震新潟大学調査団ホームページ，http://geo.sc.niigata-u.ac.jp/~070716/rep07/nkt1025.pdf

7) 2007 年新潟県中越沖地震新潟大学調査団ホームページ，中田誠，細尾佳宏，立石雅昭，宮下純夫：出雲崎沖の海底古木の樹種と成因に関する推察，http://geo.sc.niigata-u.ac.jp/~070716/

8) 高橋徹，中山義雄編：物理，木材科学講座 3，海青社，pp.27-30，1995.3.

9) 沼田淳紀，上杉章雄：掘り出した木杭の腐朽評価の試み，第 56 回日本木材学会大会，T09-1315，2006.8.