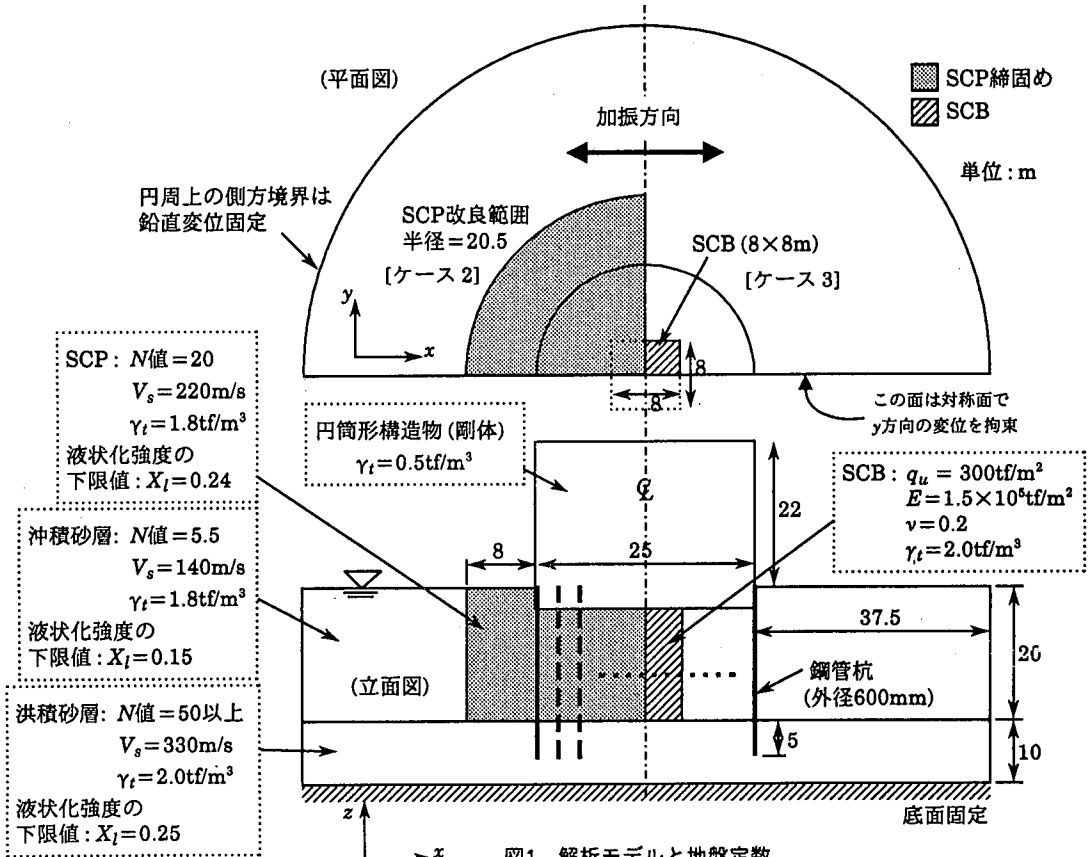


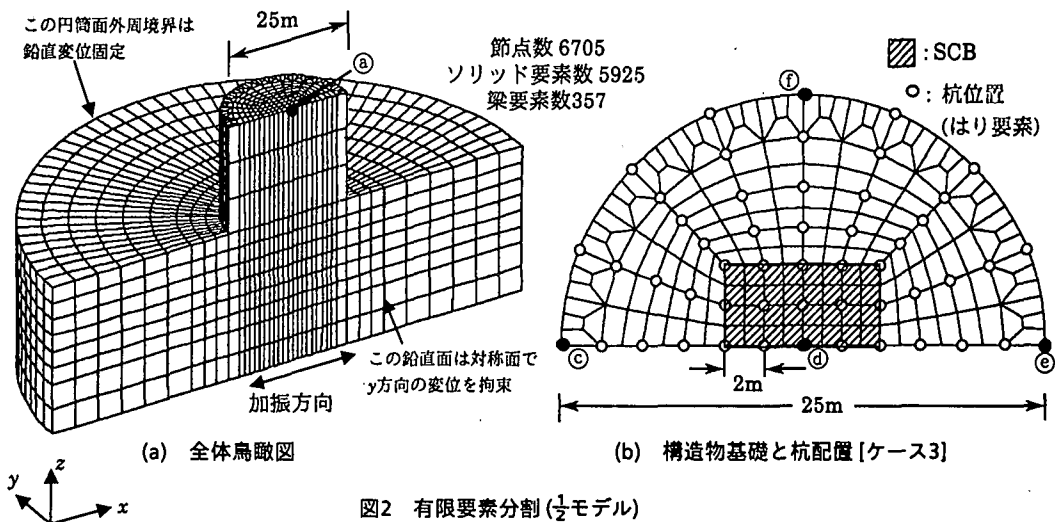
(106) 基礎中心部のみを地盤改良した場合の杭断面力低減効果の解析的検討

清水建設(株) 正会員 ○ 福武 毅 芳 大槻 明

1. はじめに 液状化対策として、1) サンドコンパクションパイル(SCP)などにより締固めて過剰間隙水圧を抑制しようとする工法、2) 地盤や基礎の地震時せん断変形を抑制しようとする工法、などがあ。我々は、2)の工法の一つとして、基礎の周りにソイルセメント壁(SMW)を施し、地盤・基礎の変形抑制効果により、杭の断面力が低減できることを三次元解析により示した¹⁾。基礎の「周り」を改良する場合、改良面積はさほど小さく押さえることはできず、全体としてコスト高につながる可能性がある。また、改良体は薄い壁状となるため、品質のばらつきが強度低下につながる危険性もある。今回の検討では、円筒形の構造物の杭基礎の「中心部」にセメント系深層混合改良体を設けた場合について、杭の曲げモーメントがどの程度低減できるか解析した。また比較のために、SCPによる締固め改良を施工した場合についても解析した。以下、中心部にあるブロック状の深層混合改良体を、SCB(Soil Cement Block)と呼称する。検討には、過剰間隙水圧を考慮した三次元非線形解析(液状化解析)プログラムHiPER^{2),3)}を用いた。

2. 解析モデルと解析条件 解析の対象としたのは、図1に示すようなタンクのような円筒形構造物⁴⁾の基礎である。対称性を考慮してFEMにより1/2モデルとした。モデル全体の有限要素分割と、円筒形構造物の水平面内の要素分割ならびに杭配置を図2に示す。杭中心間隔は2~3m程度である。杭は線形梁要素でモデル化した。基礎底面と地盤は密着とせず、二重節点にして滑動を許した。(基礎底面と地盤が節点共有の場合(密着させた場合)の挙動や、地盤改良を施工しない杭のみの群杭挙動については既に検討している^{4),5)}。)





地震動は、El Centro波(N-S成分)を振幅100Galとして15秒間一方向(x方向)に入力した。解析ケースは、[ケース1: 未改良]: 杭のみの場合、[ケース2: SCP]: 杭とSCP締固めを併用した場合、[ケース3: SCB]: 杭とSCBを併用した場合、の3ケースである。ケース3では図2(b)に示すように、基礎の中央に構造物を支持する杭のうちの数本を包含するSCBを想定した。地震時あるいは液状化時には、水平せん断力をSCBと杭とで分担し、杭断面力を低減することができる。転倒モーメントに対しては杭軸力で抵抗する。SCBの改良面積率は、基礎底面積に対しては15%、SCPの改良面積に対しては5%である。

3. 解析結果 図3, 4には3本の杭③, ④, ①の最大曲げモーメントの比較を示す。未改良の場合は、基礎の縁にある杭③, ①の杭頭で大きな値を示し、基礎中心にある杭④の杭頭では小さい値となっている。図には示していないが、せん断力に関しても同様に、縁にある杭の杭頭で大きな値となっている。SCP締固めの場合には、基礎の縁にある杭③, ①の杭頭で約40%の曲げモーメント低減効果が見られ、基礎中心にある杭④の杭頭では約20%の低減効果が見られる。その結果、SCPの場合は杭の位置によらず20tf・m程度の値になっている。SCBがある場合には、基礎の縁にある杭③, ①の杭頭で60%の低減効果が見られる。SCB改良体から外れた場所に位置する杭で低減効果があった理由は、基礎が剛であるため、全ての杭の杭頭変位が一様に抑えられたためである。一方、基礎中心にある杭④では、ある程度深い所では低減効果があるものの、杭頭付近では低減効果がない。この理由は、基礎底面とSCB上面が分離しているため、地盤からの力がSCBが受けて主に杭に伝えたり、構造物からの力がSCBにはあまり伝わらず主に杭に伝わったためと思われる。図4には、基礎底面とSCB上面を密着させた場合の結果も示してある。この場合は中心の杭④でもかなりの低減効果が認められる。よって、SCB工法の場合は、基礎底面にシエアコッターなどを設けて基礎とSCBとが滑らないようにしておく効果的である。

図5に、杭③の杭頭における曲げモーメント M と軸力 N (自重を含まない動的成分のみ)の関係(M - N 相関図)を示す。未改良の場合と比較してSCPの場合は、曲げモーメントの値は小さくなっているが、軸力の値はさほど変わらない。SCBがある場合には、曲げモーメントはかなり小さくなっているが、軸力が増加している。これは剛性の高いSCB改良体が基礎中心部にあるため、ロッキングが励起されたためである。

図6には、構造物頂部⑥における加速度時刻歴を示す。改良体の有無にかかわらず、加速度の最大値にはさほど差異はない。周辺地盤は約6秒で液状化に至っているが、未改良の場合の波形をみると6秒以降の応答が小さくなっている。一方、SCPやSCBの改良体がある場合には未改良の場合に比べ、6秒以降の応答はやや大きくなっている。

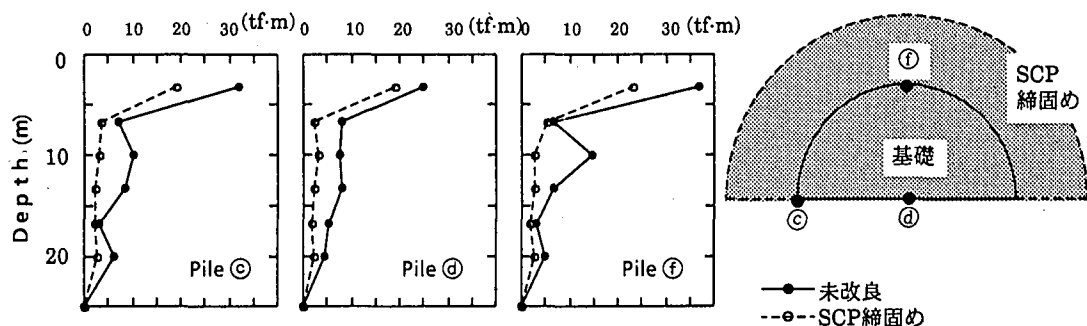


図3 杭の最大曲げモーメント (未改良とSCP締固め)

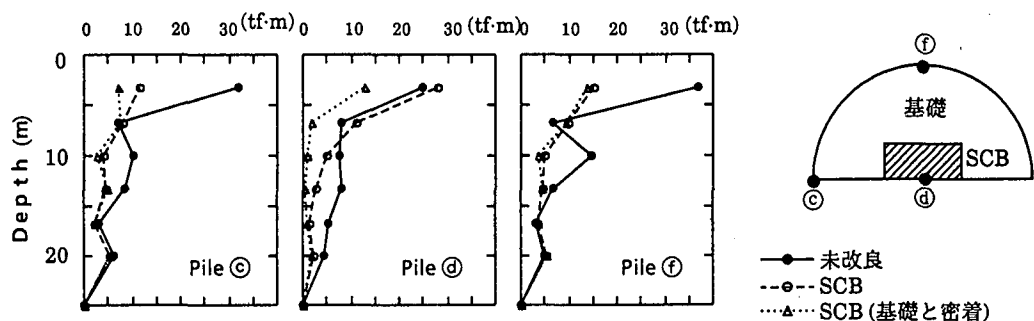


図4 杭の最大曲げモーメント (未改良とSCB)

図7には、加振終了時 (時刻=15秒)における過剰間隙水圧比のコンターを変形と併せて示す。未改良の場合、杭の地盤変形拘束効果によって、基礎下の杭間地盤では周辺地盤よりも水圧が10%ほど

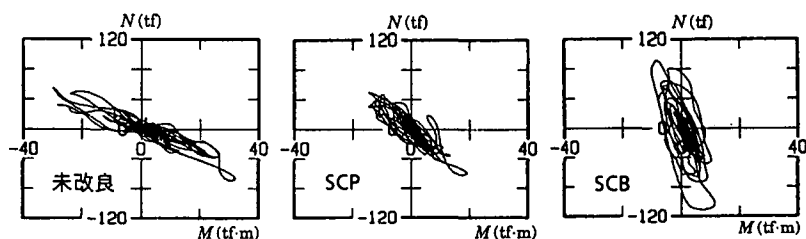


図5 杭③の杭頭における曲げモーメントMと軸力Nの相関図

小さくなっている。また、基礎底面と地盤が節点共有の場合^{4),5)}と比較(図7の(a)と(b)の比較)して大差はない。SCP締固めの場合には、改良体の中央で水圧比は最大でも50%程度に抑えられている。SCBの場合には、SCBから少し離れた地盤でもせん断変形の拘束効果により水圧が抑えられている。

4. まとめ 動的非線形三次元解析により、基礎中心部をセメント系深層混合改良体(SCB)で部分的に改良した場合、杭の曲げモーメントが低減できることを示した。このときの基礎底面に対する改良率は15%である。基礎底面積に対する改良面積率は15%と小さくても、杭頭で約60%の低減効果が見られた。これは改良体のせん断抵抗により基礎の変形が抑制され、基礎が剛であるため全ての杭の杭頭変位が抑えられたためである。超高層の基礎についてもSCBの有無に関して同様の検討⁶⁾を行ったところ、やはり曲げモーメント低減効果が確認できた。

このSCB 液状化対策の特徴としては、(1)改良体は基礎の一部でよくローコストとなること、(2)改良体がマッシブであるため施工しやすく品質のばらつきを押さえることができること、などが挙げられる。さらに対策効果を詳しく検討するため、現在動的な遠心載荷装置を用いて実験中⁷⁾である。最後に、この工法のアイデアを提案され有益な助言をいただいた吉見吉昭常任顧問、ならびに関係者の方々に感謝致します。

参考文献 1) 藤川・福武・大槻・吉見・中村: 連続地中壁による杭-地盤系の液状化防止に関する三次元解析, 第9回日本地震工学シンポジウム, Vol.1, pp.991-996, 1994. 2) 大槻・福武・藤川・佐藤: 液状化時群杭挙動の三次元有効応力解析, 土木学会論文集, No.495/I-28, pp.101-110, 1994. 3) 大槻・福武: 三次元液状化シミュレーション, 電力土木 No.253, pp.110-116, 1994.9. 4) 福武・大槻・鈴木・大槻明・大槻健: 円筒形構造物の杭基礎の液状化挙動(その1, その2), 第49回土木学会年次学術講演会 I pp.1636-1639, 1994. 5) Fukutake, K., Ohtsuki, A. and Yoshimi, Y.: A new soil cement block system for protecting piles in liquefiable ground, 1st International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (IS-TOKYO'95), 1995.11(投稿中) 6) 福武・大槻・大槻明・玉置克之: 基礎中心部を部分的に地盤改良した杭基礎の曲げモーメント低減効果の解析的検討, 日本建築学会大会学術講演概要集, 1995. 7) 佐藤・大槻: 遠心力場における構造物-群杭基礎-地盤系の液状化実験(その2), 第30回土質工学研究発表会, 1995.6

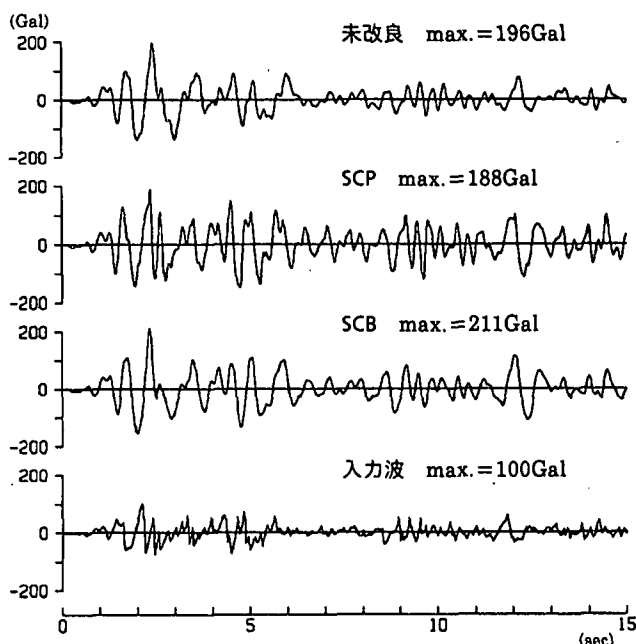
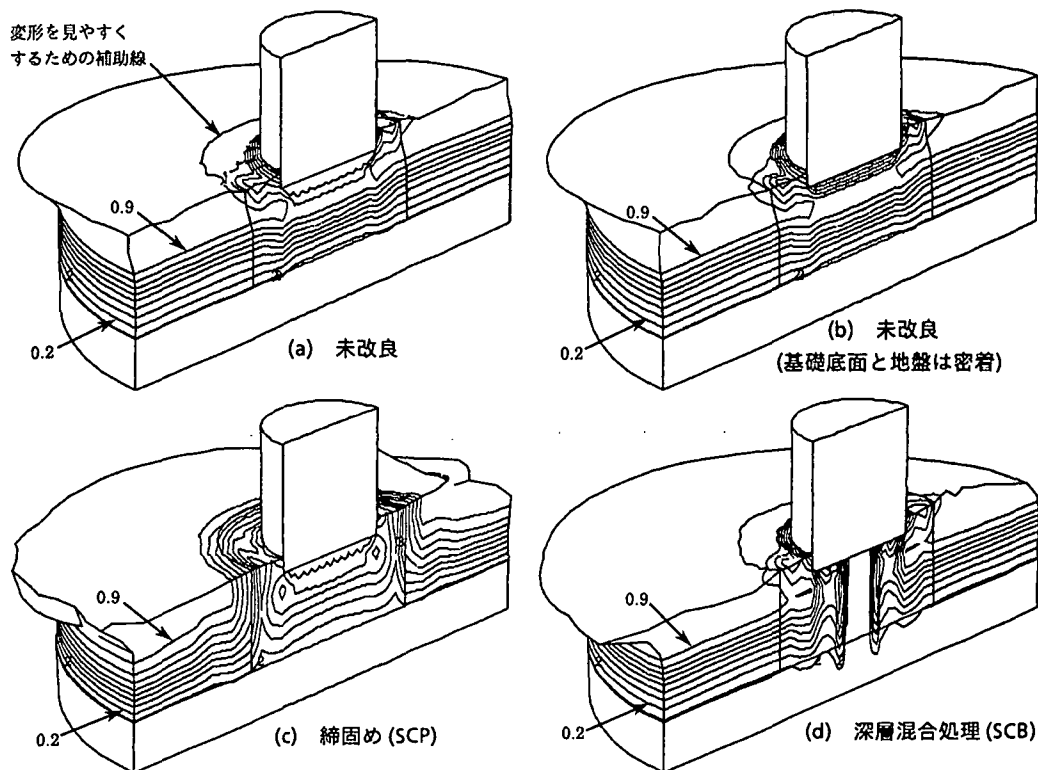


図6 構造物頂部③の水平加速度と入力波



(変形は150倍に拡大、コンター(P_w/σ'_0)は0.1ピッチ、 $P_w/\sigma'_0 > 0.9$ はほぼ液状化)

図7 変形と過剰間隙水圧比(P_w/σ'_0)のコンター (時刻=15秒)