

4. 地盤挙動；地盤改良（圧密促進，深層混合処理，サンドコンパクションパイル，注入工法，噴射攪拌・セメント系改良・他，バイプロフローテーション・静的締固め・他）

総 括

独立行政法人 港湾空港技術研究所 山崎 浩之
本部門は、「圧密促進」，「深層混合処理工法」，「サンドコンパクション」，「注入工法」，「噴射攪拌・セメント改良・他」，「バイプロフローテーション，静的締固め，他」の六つのセッションから構成され，全部で65編の発表がなされた。その分類は表一1に示すとおりである。

「圧密促進」のセッションは，プラスチックボードドレーン(PD)ならびに真空圧密工法に関するもので，改良効果と解析手法に関するものに大別された。改良効果についてはPDの超軟弱粘土に対する自重圧密促進効果，PDの泥炭性有機質粘土に対する効果，沈下管理手法，強制脱水工法の効果，凍結融解による新しい工法に関するものであった。一方解析手法については，バーチカルドレーンによる圧密解析手法の比較と真空圧密工法に関する解析手法の研究であった。討論では，531と535の発表がPDの泥炭性有機質粘土に対する効果に関して異なった結論となっており，これを例にPDの効果に関して活発な議論がなされ，原地盤の状況（透水係数，地層構造など）によって改良効果の現れ方が大きくことなることが示され，改めて改良効果の把握の難しさが認識された。解析手法に関しては，境界条件の設定方法，真空による荷重と盛土による荷重の取扱い方について議論がなされた。

「深層混合処理工法」のセッションは，杭式改良体の応力分担・支持力・変形挙動・液状化防止効果の解明など設計(メカニズム)に関するものと，施工時の混合攪拌性・施工手順など施工性(成水性)に関するものに大別された。研究方法では，数値解析が主体なものが2編，模型実験が主体なものが6編，現場での施工(試験施工的)が2編に分類された。討議では，数値解析に関して柱状改良体を二次元のFEMにどのようにモデル化するか，その際の柱状間の土のすり抜けの表現ができないこと，水理境界条件の設定の工夫に関して議論された。模型実験の相似則について，重力・拘束圧の影響によりそのまま実物には適用することは難しく，数値解析によるシミュレーションが必要である，などの議論がなされた。

「サンドコンパクション」のセッションは砂質土地盤を対象とした液状化対策に関するものと粘性土地盤を対象とした圧密沈下対策・安定問題に関するものに大別された。液状化対策に関しては砂杭間の原地盤の締固め効果の把握・メカニズムについての発表で， K_0 値の評価，砂杭の拡張効果に関するものであった。一方粘性土地盤に関しては，打設された砂杭の力学特性および改良地盤全体の変形挙動についての発表で，砂杭に新材料を用いた場合，改良形態を変えた場合，砂杭の排水機能，サウンディング，新しい工法などに関する発表であった。研究は要素試験，模型試験，遠心載荷試験，現地載荷試験，理論解析，数値計算など様々な方法で行われていた。討論では，各解析・実験において，施工過程・打設順番・ K_0 ・砂杭の排水性などの評価，地盤の不均質性に関して質疑があった。サンドコンパクション工法に関しては，最近，砂杭にリサイクル材などが使われ始めており，その力学特性などの評価が求められる。また，締固めを振動を伴わない静的

表一1 研究内容の分類(65編)

項 目	編数	内 容
圧密促進・沈下(プラスチックボードドレーン，真空圧密など)	13	自重圧密(530)，泥炭性有機質土(531, 535)，拘束圧による通水量低減(532)，沈下管理手法(533)，圧密解析(534)，強制圧密脱水(537)，真空圧密の解析手法(538, 539, 540)，凍結融解(541)，鋼矢板併用による変形抑制(595)，碎石屑の利用(596)
固結工法(深層混合，攪拌混合，石灰系安定処理)	19	コラム-スラブ系の応力分担(542)，改良体(杭)の周面摩擦(543)，部分改良による液状化防止(544)，攪拌性能(545, 546)，応力・変形(547, 548, 549, 581, 590)，施工(550, 551)，攪拌時の変形(574)，水平方向への改良(575, 576)，安定処理地盤の振動特性(578)，凍上対策(580)，表層改良による支持力(591, 592)
複合地盤(サンドコンパクション，強制置換)	10	砂杭の力学特性(552)，圧密解析，応力分担(555, 562, 589)，現地試験・計測(556)，砂杭中へのコーン貫入(559, 560)，水平抵抗(561)，ジオネットを用いた地盤のFEM解析(582)，長短礫杭(586)
締固め(サンドコンパクション，その他締固め)	8	施工過程・効果のFEM解析(553, 554)， N 値， K_0 値と密度(557)，施工過程・密度増加の実験(558, 588)，膨張性固化材の打設(579)，高周波・高出力バイプロフローテーション工法(585)，地盤の変形係数(587)
注入工法	7	土遺構の保存(563)，沈下対策(564)，浸透流下の注入試験(565)，現場実験・施工事例(566, 570, 571, 572)
固結土の力学特性	6	恒久グラウト改良土の強度特性・耐久性(567, 568, 569)，セメント安定処理した細粒分を含む砂礫の強度特性(577)，高圧脱水セメント処理土の力学特性(583, 584)
その他	2	凍結工法(593)，ポリマー電気泳動による液状化対策(594)

な方法で行うことが増えてきているが，動的な方法を含めた締固めのメカニズムの解明が求められる。

「注入工法」のセッションでは10編の発表があり，その内7編が水ガラス系恒久グラウト材を用いた注入工法に関する発表であった。水ガラス系恒久グラウトは最近注目を集めており，その長期耐久性や強度特性の研究，施工事例，浸透流の影響などが報告された。水ガラス系の注入工法は仮設工事に限られていたが，恒久グラウト材の開発によって最近，同工法を本設工事に利用する事例が増加している。しかしながらその実績は少なく，今後，長期耐久性等の改良土の特性に関する研究を進めていくことが望まれる。水ガラス系恒久グラウトに関する研究以外では，土遺構の保存を目的とした注入工法や，注入能率の向上を目指した新しい方法，圧入固化工法の原についての注入圧一打設順一地盤変状一改良体品質の関係といった改良メカニズムの分析も報告されていた。

「噴射攪拌・セメント改良・他」のセッションはセメントや石灰が関連する材料を地中に投入，攪拌混合，安定処理して地盤改良を行う際の施工性，材料の強度特性，周辺地盤への影響，および改良効果を扱った研究の発表がなされた。討議では，攪拌混合における周辺地盤の変位のFEM解析に対して境界条件に関する質疑があった。高圧噴射攪拌により地盤改良を水平方向に行うシステムの発表に対して，推進可能距離や最小土被り厚さに関して質疑があった。膨張性固化材を静的締固め工法に用いた発表に対しては，密度増大を考える場合の設計，使用している石灰に関して質疑があった。本セッションはテーマが広範囲であったことか

ら統一した討議は難しかった。セッションを通じて、投入される材料の強度特性、耐久性、およびこれらを事前に予測するためのデータの蓄積と予測精度の向上の必要性が感じられた。

「パイロフロートーション・静的締固め、ほか」のセッションは、液状化対策、複合地盤による軟弱粘性土地盤の支持力向上、その他の地盤補強の三つに大別された。液状化対策では、低振動・低騒音のパイロフロートーション、静的締固め、高分子電気泳動といずれも周辺環境対応、既設構造物対応のものであった。支持力向上では、地盤中に鉛直方向に固化体を圧入するものと表層部に水平方向に改良版を造成する二つのグループに分かれた。前者は長短礫杭の現場計測、低置換 SCP の応力分担の解析、砕石屑を利用した柱体造成効果の模型実験についての報告で、後者は建家の沈下軽減、支持力向上に関する模型実験と解析の報告であった。そのほか、凍結工法に鋼管やコンクリートを併用して経済性の向上をはかる研究、真空圧密工法施工時の周辺地盤変状防止の現場施工事例が報告された。

以上のように、本部門は地盤改良全般を取り扱った幅広い内容のセッションであった。大きく分ければ、粘性土地盤を対象としたものと砂質土地盤を対象としたものに分かれる。粘性土地盤の場合は圧密と支持力、砂質土地盤については液状化が、主要な土

質力学的問題といえる。どのような対策工法も、対象となる現象の原因を土質力学的に遡って取り去る、あるいはその現象の影響を低減することにより成り立っており、その対策原理・メカニズムは比較的容易に説明される。例えば砂質土の液状化であれば、緩い砂が液状化するのであるから密に締固めるというだけである。しかし、どうして、その方法、施工の仕方原因が取り除かれるか、という施工のメカニズムになると以外と不明なところが多い。例えば、最近、締固め工法で、サンドコンパクションのように動的に砂杭を打設しなくても、静的に打設すれば原地盤が締め固まることがわかってきた。しかし、なぜ？、静的に打設しても砂は締まらないのと違うの？、近所迷惑な振動、騒音は何だったの？、とサンドコンパクションの基本的なところに立ち返ったと思われる研究が最近見受けられる。地盤改良は結果が出ればそれで良いのであるが、その施工のメカニズムにちょっと踏み込むと設計法も含め、大幅な改善の可能性があると思われる。今後の施工過程を含めた改良メカニズムの研究について期待したい。なお、本総括をまとめるにあたり、北詰昌樹（港湾空港技術研究所）、五十嵐寛昌（鹿島建設）、山田岳峰（鹿島技術研究所）、堀越研一（大成建設）、石黒 健（前田建設技術研究所）の各氏からのメモを参考にさせていただいた。深く感謝いたします。

4. 地盤挙動；地盤への繰返し載荷（交通荷重、波浪・他）

総 括

財電力中央研究所 田中 幸久

597～606の10編は、交通荷重に関する発表である。このうち、598～604は交通荷重に対する地盤の健全性評価と対策に関するものであり、597、605、606の3編は交通荷重によって地盤内に生じた波動の伝播評価と対策に関するものである。598、599は、高さの低い鉄道盛土の列車荷重に対する対策として併用される深層混合処理工法とコラムネット工法のパンチングに対して効果的な配置方法などを実験的に検討したものである。その結果、高強度のジオテキスタイルを2層に配置するが有効であるとの結論を得ている。600、601は、砂地盤上に剛性車輪を走行させた場合の地盤内変位やひずみを精密に計測するとともに、走行車輪下の地盤内応力分布を下負荷モデルに基づく土の弾塑性モデルにより解析したものである。その結果、砂層表面付近のみが圧縮されること、土の変位データから地盤内の応力分布が予測できそうであるとしている。602～604の3編は、列車荷重を想定した繰返し荷重を受ける道床バラストの沈下を扱った論文である。602では、バラストに対する繰返し三軸試験が行われ、動的変形特性、残留変形特性などが調べられた。604では、模型実験により道床バラストの沈下特性が検討され、603では模型実験における最大荷重時の変位分布などのFEMによるシミュレーション解析が行われた。597では、高架道路上の車両走行荷重による地盤の波動伝播機構の把握を目的として、薄肉法と有限要素法の解析を行い、観測結果との比較を行い、良好な結果を得たとしている。605、606ではEPSブロックを地中へ埋設した際の防振壁としての効果を検討したものである。605では、実地盤で行われた実験結果が述べられており、振動加速度の距離減衰特性などが示されている。606では605の実験結果の考察が述べられており、減衰効果と防振壁の水平位置、深度、周波数の関係が述べられている。605、606に対して、会場より地盤条件ならびにEPSブロックの施工条件に関して質問があった。これに対して「地盤は $N=3$ 、 $V_s=100$ m/s である。EPSブロックは40 cm くらいの大きさであり、シ

表一 1 研究内容の分類 (18編)

項 目	発表件数	内 容
交通荷重による地盤挙動	10	列車荷重に対する効果的な地盤補強方法の検討 (598, 599)、車輪走行条件下における砂地盤の挙動測定と解析 (600, 601)、列車荷重による道床バラストの沈下挙動 (602, 603, 604)、EPS ブロックを地中へ埋設した場合の防振壁としての効果 (605, 606)、高架道路上の車両走行荷重による地盤の波動伝播機構 (597)
波浪による地盤挙動	2	波浪による砂地盤の液状化 (607, 608)
衝撃力による地盤挙動	4	発破衝撃力による間隙水圧挙動 (610, 611)、底開式土運船による土砂直投時の衝撃力 (613, 614)
繰返し荷重に関する基礎的な研究	2	繰返し荷重をうけるしらすの水圧挙動 (609)、連続地中壁上の点加振に対する振動遮断対策 (612)

ョイント部分は接合せず、すき間は水締めにより山砂を充填した。」との返答があった。

607～614の8編は、波浪による地盤への繰返し載荷によるものが2編 (607, 608)、その他地震、交通振動、発破による衝撃波、土運船による投下土砂による影響に関するものが6編 (609～614) であった。なお、613と614は、発表されなかったので、合計6編の発表となった。

607は、遠心場の模型実験を行い、波浪による負荷履歴が液状化抵抗に及ぼす影響を調べ、低レベルの負荷履歴を与えた場合には密度増加をほとんど伴わないが、液状化抵抗が上がることを示した。一方、高レベルの負荷履歴を与えた場合には、密度増加するが液状化抵抗が増加しないことを示した。低レベルの負荷履歴により液状化抵抗が増加するのは、繰返しの微小ひずみ履歴による微視的構造の強化であろうとのことであった。608は、数値解析を用いて、移動限界水深を求めるには波浪による上向きの浸透力の影響を考慮すべきとし、これを考慮した式を提案している。なお、繰返しの波浪による液状化への影響を、607は最大せん断応力面の回転ととらえ、608は浸透力としてとらえている。609は、しらす地盤の過剰間隙水圧の伝播挙動を模型実験により砂と比較している。間隙水圧の伝播や減衰は、模型地盤の飽和度や拘束条