

一般報告

地盤改良 2 (化学的安定処理工法)

一般報告

㈱竹中工務店 馬場崎亮一

- 847 生石灰杭工法により改良された地盤の特性 (田中・奥山)
- 848 生石灰系パイル工法による軟弱海成粘土の改良効果について (シンガポール 地下鉄工事への適用) (後藤・細井・石井・鈴木・竹田)
- 849 生石灰系パイル工法改良地盤の長期的特性について (鈴木・木次・多賀・藤井・菅原)
- 850 トラフィカビリティー向上を目的とした生石灰系パイル工法の適用例 (鈴木・川端・本山・中園・佐藤)
- 851 風化凝灰岩質粘土の工学的性質とその化学的土質安定処理 (鳥居・川村)
- 852 超軟弱有機質土の生石灰による安定処理 (その1) (石田)
- 853 桜島降下火山灰の石灰・セメント系固化による有効利用 (友久・嘉門・澤)
- 854 石炭灰の土木材料としての利用に関する研究 (その11) — 水流埋立地盤の密度に及ぼす投入速度の影響 — (堀内・小田原・安原・平尾)
- 855 石炭灰埋立地盤の支持力 (平尾・安原・堀内)
- 856 ポトムアッシュの地盤改良材への適用性に関する実験的研究 (小堀・山本・藤井)
- 857 補強材を布設した石炭灰固化体の曲げ変形特性 (川村・塚田・吉田)

本セッションの11編は4つに分類される。847~850は、生石灰パイル工法により改良された地盤の改良効果確認のための調査に関するものである。851, 853, 856, 857は、現地発生土、副産物の土工材としての有効利用に関するものである。854, 855は石炭灰による埋立て地盤の特性に関するもの、852は改良効果の不十分な泥炭層の生石灰による改良効果に関するものである。

847は、羽田空港沖合展開工事における改良地盤より得られたデータに基づいて現行の強度の推定方法による計算値と実測値との比較検討を行い、両者の差の要因について詳細に検討されている。ここでは、パイル間の含水比分布に関して850の調査結果との相違について質疑応答がなされた。848は、シンガポールの地下鉄工事における2つの地盤改良工事の改良効果の調査に関するもので、ほぼ期待どおりの改良効果が得られたことが報告されている。ここでも、847と同様に実測値と計算値の強度の差として土質定数の設定が問題とされている。849は、改良地盤の長期安定性について3つの工事例に対する調査結果に関するものである。調査結果より、パイルおよびパイル間粘性土

はともに長期的に強度増加が認められた。今後、この種の長期安定性に関する調査および報告がなされることを期待したい。850は、超鋭敏性粘性土地盤の掘削工事におけるトラフィカビリティー向上のための生石灰パイル工法の適用性に関するものである。ブルドーザーによる現場走行試験が実施され、走行性、走行回数とわだち深さおよび走行に伴う地盤強度の低下について興味あるデータが得られている。

851は、石川県南部に分布する風化凝灰岩の物理的・化学的性質および耐水性、安定処理した凝灰岩質粘土の路床・路盤材としての適用性に関するものである。X線回折および示差熱分析による粘土鉱物分析、各種の試験に基づいた詳細な耐水性の検討がなされているのが特徴的である。853は、桜島降下火山灰の路床・路盤材への利用を計るための固化処理実験に関するものである。3種類の固化材を用いて、初期強度、長期強度の検討、粒径の違いによる固化効果の検討がなされている。856は、生石灰の代替材としてのポトムアッシュの利用に関するものであり、室内配合試験、パイル状改良による土槽実験により改良効果が確認されている。ここでは、実験結果において強度発現が早過ぎることに対する質疑応答がなされたが、今後の検討事項として残された。857は、石炭灰の道路土工材への利用を目的としてポリマーグリッドにより補強した石炭灰の曲げ試験に関するものである。未処理灰よりも安定処理灰を用いたものが曲げ強度が大きく、靱性も改善されており、安定処理灰では高剛性の補強材を用いたものほど大きい曲げ強度が得られている。今後予定されている大型供試体による確認試験が期待される。

854は、堆積密度が埋立てに必要な石炭灰量を把握するために重要となることから、水流埋立てによる埋立て速度と堆積密度の関係を室内実験により求めたものである。この結果、石炭灰の投入速度が増すに従って堆積密度が高くなることが判明した。今後、実施工のデータによる検証が期待される。855は、乾式埋立てに硬化材を用いて埋立て地盤の支持力増大を計ろうとするものである。実験は、模型土槽において平板載荷試験、コーン貫入試験が行われ、少量の硬化材添加により支持力の増加が認められた。ただし、今回の実験では脱硫石膏の支持力増大への阻害性が検討事項として残された。

852は、改良効果の不十分な泥炭層に生石灰との反応性の良い火山灰質粘性土を混合して改良効果を高めようとするものである。実験の結果、火山灰質粘性土の混合は効果的であることが判明した。今後、火山灰質粘性土の混合量、生石灰の混合比を変化させた実験による検討を期待したい。

金沢大学 鳥居和之

858 DMMによる改良地盤の破壊実験(中村・寺師・北誥)

859 水平力を受ける深層混合処理地盤の変形特性(その1)(村井・塚田・川村・後藤)

860 水平力を受ける深層混合処理地盤の変形特性(その2)(後藤・塚田・川村・村井)

861 深層混合処理地盤の水平荷重に対する三次元解析(芦田・嘉門・塚田・児玉)

862 深層混合処理工法(DJM工法)の設計に関する一考察(古谷・塚越・井上)

863 ソイルセメントコラムの部材強度性状(高橋・井上・日比野)

864 ジオテキスタイルと深層混合処理工を併用した工法の現地試験(その2)(奥田・磯田・塚田・木下)

865 深層混合処理工法による杭状改良地盤の載荷試験(大久保・吉岡・吉長)

866 深層混合処理工法による杭状改良地盤の滑動破壊に対する検討(赤本・三宅・綱干)

867 深層混合処理工法による杭状改良地盤の着底部のすべり抵抗力(三宅・赤本・綱干)

868 ソイルセメントコラムの施工と力学的特性(田中・石堂・伊藤・小石原)

深層混合処理工法はここ十数年間に急速に普及しており、土質安定材料および攪拌混合機械の改良に伴って、今日では広い範囲かつ任意の深さに均質な改良地盤を作成できるようになった。その一方で、設計手法および改良効果の確認手法にはまだ不備な点が多いことも指摘されている。本セッションの報告では、現行設計法を見直し、合理的かつ経済的な設計法を確立することを目指したものが多くみられた。本セッションにおける11編の報告は、いずれもセメント改良地盤を対象としており、改良方式の選定(858, 859, 860, 861)、現場試験および挙動観測(862, 863, 864, 865)、滑動の検討(866, 867)、混合機の施工性能(868)に分類できる。

深層混合処理工法は、基礎地盤の支持力の増大、すべり破壊の防止および沈下量の低減といった従来からの改良目的に加えて、盛土の側方流動の防止、掘削時の変形防止および土留めの土圧低減といった新たな用途にも多く使用されるようになった。このような改良目的においては、当然水平荷重に対しての安定性の問題が重要となる。858は、改良体の破壊形式について遠心模型実験により検討している。改良体に曲げ引張りが作用する状態では破壊過程の検討において弱点部になるラップ部の評価がさらに重要なものとなるが、改良体のクラックの発生およびそれに伴う破壊過程を明確にし、現行設計法の中にこれらの要因が取り入れられるよう今後の研究に期待したい。859, 860は、水平荷重に対する抵抗性を考慮した最適な改良形式について

土層模型実験により検討している。その結果、荷重伝達と地盤の拔出しの拘束との関係より、改良体と地盤とが一体となって抵抗する改良形式(具体的には、地中構造物的な格子式改良)を選択することによって、より大きな水平抵抗性が得られることを明らかにしている。また、861は、三次元有限要素モデルによる弾性解析により859, 860と同様な結果を得ている。格子式および壁式改良は、経済性の面からも今後増加していくものと考えられるが、今後は現場でのデータの蓄積を行うとともに、このような改良形式において改良体を剛な構造体とみなせるかどうかの限界についてさらに検討されることを期待したい。

862は、低強度のフローティング形式の改良において変形の生じた事例の原因調査より設計における留意点を報告している。このような事例報告はこれまで少なく、今後の設計および施工において非常に参考になるものと思われる。863は、改良体の部材としての各種強度性状についてコア供試体と比較検討している。曲げおよびせん断強度は圧縮強度と比較して改良体表面に発生するクラックの影響を大きく受けることも予想されるので、長期にわたる部材の強度性状および表面部の乾燥が強度に及ぼす影響についても確認されることを望みたい。864は、改良体とジオグリッドとを併用することの効果进行现场載荷試験とその後の挙動観測により検討しており、ジオグリッドの使用により側方変形量および改良部一未改良部の不同沈下量を大きく低減できたことを報告している。865は、有明粘土地盤での現場載荷試験の結果より、改良地盤の変形挙動は剛体的挙動とは異なり、現行の設計法では改良体の安定性および変形量を説明できないことを報告している。これらの観測結果はいずれも設計上の留意点について貴重な資料を与えると同時に、情報化施工へと発展させるのにも役立つものと考えられる。866, 867は、滑動破壊の問題を遠心模型実験と一面せん断試験による支持層と改良体のすべり抵抗性の測定とにより検討しており、現行設計法での滑動の計算式は支持層が密な砂地盤の場合にはあてはまるが、過圧密粘土地盤には適用できないことを報告している。868は、現場施工試験により小型一軸攪拌機において攪拌ロッドと混合ロッドの回転方向が混合性能に及ぼす影響について報告している。

最後に、改良体の底面部の乱れがすべり破壊に及ぼす影響、および模型実験における地盤と改良体との強度および変形係数の設定に関する問題について活発な質疑応答がなされたことを付記しておきたい。

京都大学 嘉門雅史

869 深層混合処理改良地盤の掘削を目的とした低強度改良に関する研究(その1)—低強度調整用安定材の有効性—(細谷・西林・小日向)

870 深層混合処理改良地盤の掘削を目的とした低強度改良に関する研究(その2)—モデル実験による低強度改良方

一般報告

法の検討—(松尾・西林・細谷・小日向)

871 深層混合処理工法による山砂の改良実験(松本・水野・苗村)

872 セメント系硬化材による砂質地盤の改良に関する研究(その2)—室内改良土の強度特性(2)—(白井・斉藤・奥村)

873 セメント系硬化材による砂質地盤の改良に関する研究(その3)—改良土の三軸圧縮試験結果—(馬場崎・斉藤・奥村)

874 模型処理機による砂質地盤の改良実験(斉藤・奥村・小林・島)

875 水中ソイルセメントの基礎特性について(三木・山田・大北・蔵野)

876 セピオライトを添加したソイルモルタルの性状(山本・福田・桜田・名草)

877 ソイルモルタルの三軸圧縮せん断特性(八畝・栗原・深沢)

878 流動化処理工法におけるミキサー性能比較試験(吉原・久野・高橋・今井・杉山)

879 軽量充填材を用いた建築物基礎下充填工事施工報告(今井・久野・松下・中角・吉原)

869 から 879 までの11編の研究は、すべてセメント添加による改良土の物性を取り扱ったものであり、深層混合処理(869~874)、水中盛土打設(875、876)、現地発生土処理(877~879)を対象としている。これらの研究スタンスは、従来のように固化強度が大きければ良いとするのではなく、改良目的に合致したばらつきの少ない高品質の改良を中心課題としている。したがって、改良目標強度は必ずしも大きくなく、地盤改良後の掘削の必要性等から、 $q_u = 5 \sim 10 \text{ kgf/cm}^2$ 程度の低強度改良を目指したものが多くみられる。

まず869、870は、軟弱粘土の深層混合処理において、低強度改良安定材料の開発と造成方法に関するモデル試験結果を示したものである。低強度を得るために石灰系特殊セメントが有効であり、セメント処理の配合試験結果から、石灰との反応が鈍感な粘土では配合を容易に推定しうることを述べている。

モデル試験では上記の室内試験結果を検証し、低強度安定材を用いて、全体にばらつきの少ない改良体を得ている。

871 は砂地盤の液状化防止やシールド掘進などへの深層混合処理の適用性の検討として、室内と現場モデル試験の両方を実施している。固化材スラリーの W/C を高め、セメント量を増やすほど改良体の品質は向上することを明らかにし、低強度安定材のために導入したクレイサンドの効果述べている。さらに、三軸試験結果では過圧密土の特性を、特に CU でよく表現している。 CD では排水効果が出ている。

872、873では室内試験によって、セメント・ベントナイ

トスラリーを用いた改良効果を、ベントナイトの種類や量が強度に及ぼす影響等について調べ、粘土のセメント反応性やブリージングによる強度増大効果を述べている。さらに、 CD 、 CU 試験を実施して、施工条件の差の影響を検討している。対象土中の細粒分のポズラン反応性の高低が、得られる強度に大きく影響することを示している。

874 は N 値10以下の人工砂地盤へモデル試験機による改良柱体の打設時の貫入抵抗、トルク、強度等の調査結果を示した。硬化材スラリーにベントナイトを混入すると、施工時の貫入・引上げ抵抗とトルクとを小さくすることができるとしている。

875 は水中分離抵抗材と消泡剤とによる、ソイルセメントの水中での分離抵抗性および圧縮強度を、 pH ・ SS ・圧縮強度の点から検討し、40%の消泡剤+分離材 2 kg/m^3 以上の添加が効果的であることを得ている。

876 は粘土鉱物であるセピオライト添加によるソイルモルタルの基礎物性について、特に高分子系粘結材との差の観点から水中での分離抵抗性を検討している。セピオライトを少し多めに添加すると、分離抵抗効果がみられることを示している。

877 では表層安定処理としてのソイルモルタルの三軸圧縮特性を UU ・ CD 試験から検討している。871、873と同様の特性が得られている。

878、879は現地発生土の有効利用のために流動化処理に着目し、ミキサー性能の比較による工法開発と建物基礎下の空隙充填効果の実施工報告を扱っている。関東ロームにセメント系固化材を添加し、水分量を高めて流動性を与え、充填効果を得るためのミキサーの混合性能と混合時間との相関を明らかにしている。過度の混合は流動性や圧縮強度が低下することを示している。さらに流動化処理土の軽量化を図るために、気泡を混入させた充填材を用い、建物基礎の空洞部と床下部へ注入した結果、充填性は良好であり、一応の強度と軽量性が確保されたことを報告している。

討論では低強度改良の目的と施工の難易・水中ソイルセメントの打設方式などが議論され、改良目的に合致した試験条件の重要性が指摘された。最後に座長の総括として、改良体の高品質化に伴って軟岩のような材料を人工的に作り出していることから、従来の土質改良とは異なる新しいアプローチの必要性が提示された。

日本大学 青木正雄

880 無機質化学薬品を用いた土質安定処理工法に関する研究(その1)(関口・鈴木・田口・黒田)

881 処理対象土の土壤養分量と発現強度の相関(中司)

882 下水汚泥焼却灰の土質改良材としての有効利用について(佐伯・伊藤・江成)

883 脱りん・硫黄スラグの土質安定材への利用に関する基礎的実験(久保・喜田・泊)

884 砂質土改良土の弾塑性構成モデルに関する研究(山

田・平井・高橋)

885 ソイルセメントの一軸圧縮強度に影響を与える要因(第2報)(本多・南側・荒木・芹生・金岡)

886 固化処理へどろの一軸圧縮強度と透水係数の測定(阪本・中村・鎌田)

887 セメント微量添加土の乾燥特性について(伊藤・飯塚)

888 粒状発泡スチロールと山砂の混合軽量材料を用いた施工(山田・松岡・能見・白井・長坂)

889 発泡スチロール片混合軽量盛土(埋戻し)材の材料特性(西田・長坂・山田)

890 ソイルセメントによる貯水池の山砂斜面保護対策(その3)(遠藤・王野・熊沢)

891 ソイルミキシング地中連続壁工法における基礎的改良実験について(鈴木・国藤)

本セッションは12編の論文からなり、材料に関するものとして、土質安定材2編(882, 883), 埋戻し材2編(888, 889)があげられる。また改良土の物理的、力学的性質を扱ったものが多く3編(886, 887, 891)あり、関連して改良土の発現強度2編(881, 885), 改良効果に関するもの1編(880)である。このほか、力学的挙動の定式化についての論文が1編(884), 斜面保護に関するものが1編(890)となっている。以下、各編の概要を眺めて見る。

880 はセメント安定処理の際、土粒子周辺の付着水中に溶けこんでいるR-COOH(阻害要因)を無機質化学薬品の添加により、改良効果の向上を期待するもので、物理的特性、力学的特性および化学的特性から評価している。セメントの化学反応速度から長期的検討が必要である。

881 はセメント安定処理において、化学的土壌養分量と処理土の発現強度の関係について追求し、両者間に密接な相関があることを報告している。この種の研究はほかに類似の論文が見られないことから成果が期待される。

882 は下水汚泥焼却灰を土質改良材として有効利用するため、造粒試験を行いその適性を見たものである。既に一部の公共機関で試験的に製品化されているところもあるが、重金属類、コスト等まだ問題が残されているようである。下水汚泥は多量に発生することから、早急にその利用法の検討が期待される。

883 も882と同様、有効利用に関する報告である。製鉄所の製鋼工程において、りんや硫黄を取り出す技術が開発されたことにちなみ、脱りん・硫黄スラグ土質安定用固化材の利用について基礎的実験を行った。その結果脱りん・硫黄スラグ単体よりも、二水石膏を併用することにより実用的な固化材になり得ることを示唆している。

884 はセメント系固化材による砂質土改良土に対して、三軸試験および割裂試験を実施し、改良土の弾塑性構成モデルを提案、さらに実験結果とモデルシミュレーションによる解析結果を比較・検討している。

885 において、第22回土質工学研究発表会ではソイルセメントの一軸圧縮強度による強度算定式を提案した。本発表はその適用性を確認する目的で実証的研究を行っている。早期にソイルセメントの一軸圧縮強度を知ることは、現場の品質管理において有効である。

886 は高含水比の浚渫へどろをセメント系固化材を添加して固化処理を行い、透水試験および一軸圧縮試験を実施、止水壁への適用性を検討している。へどろの土質性状は場所によってかなり異なり、固化処理効果も様々である。有機物を多量に含んだへどろ等、今後の検討が期待される。

887 はセメント添加による泥土の乾燥特性について、室内実験を実施した。泥土の天日乾燥処理において、微量のセメントを添加すると鉛直方向の水分移動がより容易になり、乾燥処理効果を高めるとしている。現場での確認が急がれる。

888 は粒状発泡スチロール、山砂、セメント、水を混合した軽量材料を立坑の埋戻しに用いた現場施工の報告である。品質、性状等、今後検討すべき課題が残されている。

889 は888に関連し、その軽量材料の特性について室内実験を試みたものである。強度、透水性とも発泡スチロール片の混合比、セメントの添加量によって大きく変化している。廃棄発泡スチロールの粒径・形状による検討も必要であろう。

890 はダム建設に伴う貯水池の山砂池敷斜面において、セメント安定処理を施した報告である。斜面保護工の厚さは、安定処理土の乾湿繰返し作用に対する耐久性試験から決めているが、実際には各種の気象条件が影響し、クラックが発生する等、予想とはかけ離れた侵食が想定される。

891 はソイルミキシング地中連続壁において、強度および透水係数に影響を与える因子として配合を取り上げ、基礎的改良実験を行っている。結果の中で、炭酸ガスを添加すれば効果は増大すると述べているが、練混ぜ水中に溶存しているもの、空気中に含まれているもの等、厳密には言及する必要がある。

総括

福岡大学 吉田信夫

本部門における地盤改良に関する論文は44編で、そのなかで深層混合処理工法に関する論文が21編を占めている。筆者は超軟弱地盤の浅層設計の立場から深層設計のこれまでの動向とこれからの検討すべき方向とについて、若干の所見を述べてみたい。

これまでの深層混合処理工法の開発はPhase 1→2→3→……のように展開してきている。

Phase 1. セメント系、石灰系の深層混合処理工法による改良効果の確認から始まり、まず改良工法の現場におけるフィージビリティの確立からスタートした。

Phase 2. 奥村、寺師はブロック式、壁式、格子式の改

総 括

良パターンと岸壁や防波堤など、港湾構造物の下部構造物としての深層混合処理工法の設計法を確立した。港湾構造物の場合には作用する土圧、残留水圧の水平力が改良体に作用する接地圧の分布を台形または三角形分布にする。そこで設計は圧縮、引張り、曲げ応力のなかでも垂直方向の圧縮応力と圧縮強さで設計できる。

Phase 3. 深層混合処理工法が海上の工事から陸上の工事へ広がり、道路盛土、河川堤防などの沈下の低減、側方変形の低減、掘削に伴うヒービングの防止、主動土圧の低減など。深層混合処理工法の用途が多岐にわたってきた。

Phase 4. これらの広汎な用途への深層混合処理工法の広がりに対して、なによりまず施工が先行し、そして設計手法が後追いすることになった。つまり、改良体の改良強さが数 kgf/cm^2 から数 10 kgf/cm^2 に及ぶため、慣用の設計法であるマッシュで剛な構造とみなしてのケーソンとしての設計と極限設計としての円弧すべりの検討だけで十分であるのか？ 未改良土と改良土との非排水せん断強さの面積平均的な取扱いで妥当なのか？ などの意見がだされてきた。また、Phase 3 での改良強さはおよそ数 kgf/cm^2 であり、Phase 2 の改良強さ数 10 kgf/cm^2 よりもかなり低い改良強さである。数 10 kgf/cm^2 の改良土は軟弱地盤の土の強さと比べて変形から見ればはっきりと非連続である。しかし改良強さが数 kgf/cm^2 であればその変形の大きさは軟弱地盤の変形に近く、変形はほぼ連続を保っていると考えてよい。

Phase 5. 今回の研究発表では、858 の水平力を受ける改良体の底面反力の分布と改良体に発生するクラックの検討。859、860 の水平力が作用する改良体の望ましいタイプの検討。865 の改良体をケーソンとみなしての設計は現場の載荷試験の結果を説明できない。866 は杭状改良地盤の破壊モードの検討。867 は柱状改良地盤の着底部のすべり抵抗。以上のこれらの報告は深層混合処理工法のこれからの設計の考え方に貴重な実験と知見を提供している。

ここで、865 と (859、860) について筆者の考えを付言してみよう。

865 は円弧すべりの安全率とケーソンとみなしての設計とでは説明できない点として、①改良体の変形挙動は一体的とみられるものの、深部より傾斜する剛体的挙動とは異

なる。②ケーソンの設計における力の釣合いによる検討では、改良体の安定を説明できない。③ケーソンの設計から求められる変位量は実測変位量と大きく異なる。そして865 の図-5 から改良体天端の水平変位が最大となるような片持梁に似た変位のように見受けられる(筆者注)などを挙げている。

同じような観測を、福岡らは Prediction and Performance in Geotechnical Engineering. 1987. のなかの Embankment for interchange constructed on soft ground applying new methods of soil improvement で報告し、さらに立花らは福岡らと同じ IC の観測である早島 IC における軟弱地盤上の盛土の動態観測、とびしま技報1988.4 で865 と同じような報告をしている。ここで観測された改良体の水平変位はケーソンの剛体的な変位や Chang の杭の変位の形状とは異なっている。むしろ、超軟弱地盤の浅層改良での地盤係数法による変位と類似している。軟弱地盤の E_0 (浅層改良では地盤反係数 k に相当する) に比べ改良体の E_1 が大であるため改良体内での応力伝播が大であり、 E_0 と E_1 との比が水平変位の大きさに関係すると考えられる。ただし861 の報告では逆の結果がでてい

(859 と 860) はブロック式、杭式、格子式の改良体が水平力を受けるとき、格子式の改良体が優れた水平抵抗を示すことを明らかにした。これは改良体が外力を受けるとき、改良体が土構造物としての抵抗、つまり $E_1 \cdot I$ の剛性のなかで断面二次モーメント I が大きな影響をもって係り合うことを示している。つまり浅層設計と同じように、 E_1 は小さくても I を大きくする設計がよいのではなからうか。と同時に地盤係数法、弾性床土上の梁としての検討の必要があることを示唆していると考えてよいだろう。

以上のような観点から、当面は慣用的な設計法として改良体を剛体とみた設計、極限設計とした円弧すべり、群杭としての設計に加えて、地盤係数法、弾性床土上の梁としての設計を準用する。しかし、これらの設計によっては断面が over design になることが多いようである。したがって、改良体の変形挙動を再現でき、合理的で信頼性のある設計手法の確立を急ぐべきである。このため深層混合処理工法について、建設、運輸、道路公団などの官庁と民間とが一緒になった検討委員会の設置が望まれる。