

一般報告・総括

前に精度良く把握することの重要性を指摘している一連の研究であり、今回は砂質地盤における間隙比と粒度特性の関係や、地盤条件による効果確認事例を考察することによって、注入効果の予測法へ進展しようとしている。706は連続データが入手できるダイナミックコーン貫入試験装置を利用し、注入率の違いによる改良固結体の均一性の判定を行っている。さらに、注入率と注入前後の N_a 増加量の関係より、本施工時の改良目標強度についての定量的評価法が試みられているが、討議されたように周辺摩擦の補正法や N_a 増加量が正規分布すると仮定している点などに吟味していただきたい。

707, 710, 711は最近注目されている超微粒子セメントを用いた懸濁型薬液の浸透形態や改良固結体の強度特性、透水性、耐久性等の基本的な性質を室内実験で求めているものである。特に710は大型三軸セル注入実験装置等を用い、粒径の異なる種々の地盤材料に対しセメント材の粒径、濃度を変えながら、その浸透限界や浸透状況を調べている。また711は超微粒子懸濁型薬液の固結体強度の耐久性に着目し、種々の超微粒子セメントを用いた供試体を作成し、湿潤および水中養生での一軸圧縮強度、透水係数の経時変化を求め、溶液型薬液や普通ポルトランドセメント懸濁型薬液との対比、検討がなされている。これらの実験は薬液注入工が地下空間利用等と相まって懸濁型薬液への重要性が増している現在、基本をなすものであり今後さらに研究を押し進めていただきたい。

708は構造物直下における薬液注入の施工管理例について報告されたものであり、注入圧力や吐出量のほかに構造

物の隆起量を実際に測定し、これらのデータから管理チャートを作成しこれを基に施工を進める、いわゆる情報化施工を試みている点に興味もたれる。

709は金属塩を添加したアルカリ性活性水ガラスについて、粒径、粘度の経時変化等の独自の性質や、ゲル化剤と混合した場合のゲル化特性について、従来の不活性水ガラスとの対比、検討がなされている。活性水ガラスの方がゲル化タイムを調整しやすい特徴を有することが報告されており、今後は質疑がなされたように耐久性等についての研究も望みたい。

712, 713は高圧噴射注入法に関する研究であり、712は溶液型薬液が高圧注入においても浸透注入になりうる条件を明らかにするために、吐出部の形状を種々変えながら各種の地盤材料に対して実験を行い検討を加えている。この実験において吐出孔近傍に土圧計を埋設し、高圧注入時の土圧分布も併せて測定しながら注入形態への判断資料にしている点に興味もたれる。713は懸濁型薬液を用い、平板状の改良固結体を造成した場合に、注入圧、引抜き速度、セメントの種類が固結体の形状、強度に及ぼす影響について実験がなされているが、対象地盤の粒度組成、グラウタビリティや固結体体積に対する注入量割合がどうかという質問がなされた。

714は大口徑地盤改良に対処するための超高圧ウォータージェットグラウト工法の切削特性について、切削効率に関与する最も基本的な圧力と流量の因子に絞り実験がなされている。圧力を増加させるより流量を増やす方が経済的報告であるとされている。

地盤改良2(化学的安定処理工法)

総括

(財)土木研究センター 千田昌平

地盤改良2(化学的安定処理工法)では、セメントや石灰などの安定処理材を用いて、軟弱な粘性土地盤あるいは掘削残土などを混合処理をする工法が対象になっている。この分野の汎用的な工法分類としては、表層混合処理工法または浅層混合処理工法と呼ばれるもののほか、深層混合処理工法、高含水比掘削残土の混合処理などが含まれる。

過去の成果

セメントや石灰による路床や路盤の安定処理工法は古くから用いられてきているが、深層混合処理工法や浅層混合処理工法といった軟弱な地盤を固化処理する工法が、一般工法として普及してきたのはここ十数年来のことである。すなわち、運輸省がDLM工法とよばれる石灰による深層混合処理工法を開発したこと、軟弱な地盤における路床および路盤の混合処理工法として浅層混合処理工法が開発されたことなどが引き金になって、この種の工法が昭和50

年代になって急速に普及してきている。特に、深層混合処理工法は、海底地盤改良用に安定処理材をスラリー化して用いる工法が普及してきたのに引き続き、安定処理材を粉粒体状のまま地中に供給して固化処理をするDJM工法が開発されるに至り、スラリー系の工法と合わせて陸上の工事にも多く用いられるようになってきている。それだけに、当研究発表会においてもこれまで固化処理に関する数多くの論文が発表されてきた。その主な内容は、①設計に関するもの、②混合処理土の強度特性に関するもの、③混合性、施工性に関するもの、④品質管理に関するものに大別することができる。例えば、深層混合処理工法の設計施工上の問題として、地中にブロック状または格子状の改良体を造成し、それをケーソンとみなして設計するといった考え方と、改良体を群杭状に配置し、それを群杭または補強材とみなして設計する考え方が提案されており、多くの議論を呼んでいるところである。設計施工に当たっては、そのどちらを採るかによって改良柱体に対する要求品質、柱体の配置改良率などが大幅に異なってくる。

表層混合処理工法は、あらかじめセメントや石灰などを地表に散布しておき、それをロータリー形またはレンチャ形の混合処理機械によって混合攪拌する工法に定着してきているが、それぞれの特徴を持つ混合機械の開発が進められてきている。

一方、掘削泥土や浚渫泥土の固化処理は、浅層混合処理工法にも属する原位置で混合処理をする方式を用いるものと、専用のプラントで混合処理をする方法に大別され、河川堤防や裏込め土などに利用されるようになってきつつある。しかしながら、まだ広く普及しているとはいえず、利用土として適用するために解決しなければならない諸課題が多く残っている。

最近の動向

深層混合処理工法は、地盤の強度が発現するまでに長い時間を要しないことや力学的にも安定していることから、急速に普及し発展してきた工法である。最近では、適用対象が地中連続壁や杭基礎などにも広がってきており、その要求品質も対象物によって低い強度のものから高い強度のものまで、広範囲にわたっている。特に品質の向上に対しては、混合攪拌性を高めるため、各種の正逆転の攪拌翼を持つ攪拌方式が提案されてきている。また、従来のスラリー系の工法ではセメントミルクの混じった排土が発生し、その処理が問題になっていることから、あらかじめ所定の土を排土してから混合処理する方式の工法も出現している。

浚渫泥土や掘削残土などの混合処理工法は、処理費がほかの処分方法に比べて高いことや、再利用の対象が明確にされていないこともあって、これまではあまり多く採用されていなかった。しかしながら、従来産業廃棄物として処分しなければならない泥土が、良質な土に改良することによって盛土や裏込め材として利用できることから、専用の混合プラントが開発されるなど、改良土を積極的に利用しようといった気運が高まってきている。今回の発表では、高含水比泥土の固化処理のほか、石炭灰、下水汚泥焼却灰、ステンレススラグ、製紙焼却灰なども固化処理の対象として取り上げられ、その諸特性について紹介されている。これらの成果ができるだけ早い時期に実用されることを念願するものである。

泥土の混合処理の方法には、深層混合処理工法の方式を浅層混合処理に応用した形式の、ピットまたは処理用の池の中で混合処理するいわゆる、原位置で固化処理をする形式のものと、専用の処理プラントによって固化処理をするものに分けられる。

表層混合処理工法では、表面に改良材をあらかじめ散布しておいたのち、混合攪拌をする方式を採っているため粉塵の問題が避けて通れなくなり、その対策が今後の課題となっている。

将来の展望

上記のように、本セッションで取り上げられている安定

処理材による固化処理工法は、その工種および応用範囲が広く、それぞれに対応した設計施工法を確立しておかなければならない。その意味では、この分野はまだ発展途上にあるといえることができる。しかしながら、本研究発表会では、深層混合処理や浅層混合処理に関係した研究発表の論文数がここ2～3年横ばいまたは減少の傾向にあることが少し気になる。すなわち、これらの固化処理工法に関して、その設計法、施工法、品質管理法に関しても、更に究明しなければならない問題が多く残っていることを考えれば、さらに多くの研究発表がなされることを期待するものである。

例えば、品質管理において、通常改良体の品質を一軸圧縮強さ q_u で管理しているが、 q_u で5～10 kgf/cm² の固化処理土のコアサンプルを採取し、一軸圧縮試験を行ってその品質を評価するといった現在の方法では、管理法の経済性の面だけでなく、その信頼性においても常に疑問をもっているところであり、適切な管理法の開発が望まれる。

以上のほか、地層の変化や施工の不均一性などによる強度のばらつきの評価法、施工管理法なども今後の研究の対象になるものと考えられる。

一方、年々増大する掘削残土の処理処分が、大きな社会問題になっている昨今、処理土の有効利用をさらに一層促進していかねばならないことは、誰もが認識しているところである。それには、処理処分地を確保するといった行政的問題が解決しないかぎり前に進まない問題ではあるが、われわれ技術者の立場においては、工学的観点から固化処理土の力学的化学的特性を明確にして、いつでも利用土としての適用対象および適用条件を提示できるように、理論および基礎データを完備しておくことが肝要であるものと考えられる。

一般報告

金沢大学 鳥居和之

715 深層混合処理工法による側方流動抑止効果に関する実験的研究(黒田・梅本・奈須・境)

716 深層混合処理工法による側方流動抑止に関する模型実験(奈須・梅本・黒田・真海・境)

717 深層混合処理地盤を基礎とした半地下構造物の設計(加古・小森・鶴田)

718 生石灰安定処理土の硬化反応と凍上防止(その1)(石田)

719 生石灰系パイル工法による鋭敏比低減度の算定法について(鈴木・木村・足立)

720 生石灰表層安定処理土の長期耐久性(山本・下田・中村・岡田)

721 固化処理泥水の盛土としての適用性について(田中・苗村・西川・儀賀)

722 Physical and Chemical Aspects on the Dura-

bility of S-Slag Additive Mixtures (勝見・嘉門・Supakij Nontananandh)

723 製紙焼却灰のセメント系固化による有効利用 (その2) (友久・嘉門・澤)

724 下水汚泥焼却灰の建設資材としての利用方法 (土質改良材としての強度特性および処理コストの比較について) (佐伯・伊藤・成江)

725 セメント系固化材を添加した浚渫土の流動特性 (相良・阪本・中村・古賀)

726 セメント安定処理した石炭灰 (海外炭灰) の強度推定について (鈴木)

上記の12編の論文は、深層混合処理土の設計法に関するもの (715~717)、生石灰処理土の改良効果に関するもの (718~720)、産業廃棄物の有効利用に関するもの (721~726) に分類できる。

715, 716は側方流動抑止の目的での深層混合処理土の効果を実験的に検討している。改良幅が小さい杭式改良では、曲げ破壊が生じる可能性があることを指摘している。今後、実験で得られたデータを実際の設計にいかに関与させていくかが重要な課題となる。717は東京湾岸道路での実際の設計例を示している。本論文で採用している設計計算法はすでに提案されているものではあるが、設計における安全率および各種係数の取り方には未確定の部分も残されているので、それらの妥当性について検証していく必要がある。地盤の相対変形量の大きい場合の設計について質問があり、隣接する地盤の圧密度が80%になった時点で深層混合処理の施工を行ったとの返答があった。

718は生石灰処理土の凍上抑止効果において生石灰による含水比低下の効果が大きいことを指摘している。生石灰処理土の強度発現における反応生成物の役割について質問があったが、主要な生成物であるC-S-H生成物がX線回折より定量が困難であることを考慮しておく必要がある。719, 720は生石灰処理土の現場調査の結果より鋭敏比の計算法の提案および長期安定性の確認を行っている。安定処理土の適用範囲が広がるにつれて、耐久性の問題が重要になってくることが予測される。乾湿の繰返し、大気中での暴露、海水などの侵食水の影響に関する耐久性のデータの蓄積が望まれる。

721は固化処理泥水の盛土材料としての適用性を検討している。都市土木工事では、掘削残土や泥水の処理が非常に重要になっており、安定処理して再利用することが経済的な面からも可能になっている。品質管理の問題、環境への影響、長期性状の確認について今後の研究の発展を期待したい。722はステンレススラッグの路盤材としての適用性について検討している。高炉スラッグは利用法がすでに確立されており、転炉スラッグを含めた各種スラッグの利用法の開発が今後の課題として残されている。各種スラッグの利用においては化学成分、鉱物組成との関係でそれらの長期安定

性について十分に検討しておく必要がある。硫酸塩による劣化に関する質問に関して、硫酸塩腐食とエトリンタイトの生成との関連が示された。723, 724は固化処理焼却灰の建設材料としての適用性を検討している。焼却灰の埋立用地の確保が年々困難になっており、焼却灰の利用法の開発研究は非常に意義深いものである。725は浚渫汚泥の固化処理と流動特性を検討している。近年開発された水中不離性コンクリートの手法を浚渫汚泥の処理に適用して、水質汚濁の防止を計っている点が興味深い。流動性の評価の質問に関して、浚渫汚泥はねばりけが大きいので、モルタルフロー値で評価したとの返答があった。726はセメント処理した石炭灰の強度推定を検討している。石炭灰自身のポゾラン反応による効果は長期間にわたって継続すると考えられるので、石炭灰の物理的、化学的特性値と長期材齢における強度発現との関係についても詳細な検討を期待したい。

本セッションは発表件数が多く、多種多様な内容であり、十分な質疑の時間が取れなかったのが残念であった。

愛媛大学 榎 明潔

727 三軸応力下におけるセメント安定処理砂の力学特性 (安田・宮北・前川・関口)

728 固化材混合泥土の水中打設に関する基礎実験 (後藤・荻野)

729 繊維補強ソイルモルタルのせん断強度特性 (五十嵐・深沢・八織)

730 砂地盤における混合処理工法の施工に関する室内実験 (斎藤・白井・奥村・小林)

731 正逆転攪拌翼を有する攪拌装置の混合性能に関する模型実験 (荻野・後藤)

732 セメント系固化材による高有機質土の安定処理効果 (内山・高野・逸見・佐藤)

733 セメント添加土の加圧による強度特性 (中野・山田・斉・斎藤)

734 深層混合処理工法を用いる有機質土用安定材の検討 (白井・斎藤)

735 水-ベントナイト-セメント-スラグ系スラリーの強度発現機構の検討 (久保・喜田)

736 青森県内ロームの安定処理についての基礎的試験 (川崎・諸戸・佐藤)

737 阿武隈山地に分布するまさ土の風化度が安定処理効果に及ぼす影響 (古河・藤田)

738 軽焼ドロマイトの土質改良効果 (湖沼泥土の場合) (横尾・横山・日下部・萩原)

副座長から各発表の簡単な紹介とともに、セメント系の固化材を用いた混合工法ではセメント添加量が m^3 当たり 200~300 kg と貧配合のコンクリート以上あるので、処理土は第1次近似としては内部に孔隙として余剰水や小粘土塊を含むセメント硬化体の多孔体と考え、多孔体理論から

得られる強度以上に強度が発現したらセメント硬化以外の反応が、その強度以下しか強度が発現しなかったらセメント硬化の阻害が、それぞれ生じていると考えるのが妥当ではないかという提案があった。

各発表に対する質疑の概略は以下のとおりである。

727 に対しては、三軸圧縮を最高 30 kgf/cm² の高拘束圧で行っている実用的意義が問われ、軟岩類似と扱っているため、また過圧密的挙動を調べたいためという回答があった。729 に対しては繊維を混合するときの均一性が問われ、「だま」は生じなかったとの回答があった。732 に対しては、固化材の種類（セメント系、スラグ系）および攪拌時間（標準10分を3分としている）について質問があり、フミン酸の影響を調べるために固化材の種類を変えていること、2分以上の攪拌では強度が増加しなかったことが示された。733 では加圧脱水後のリバウンド量が問われ、ほとんど見られなかった旨の回答があった。735 に対しては、

セメント水和反応で生じた CaO が長期材齢ではポゾラン反応で消費され pH が低下するのではないかという質問に対し、ほとんど低下が見られなかったとの回答があった。736 に対しては、材料のロームで非晶質の含有量と含水比にもともと関係があるのではという質問があり、そのとおりであるという回答があった。738 に対しては、対象とした湖沼泥土の化学組成が問われたが、重金属が含まれている以外は未調査であるとの回答があった。全般的には、混合土で生じる化学反応、生成鉱物に関する議論は活発であったが、力学特性（例えば強度）に関する議論は少なかった。これは、個々の対象土、固化材、配合で得られる混合土の強度を共通に論じる理論がなく個別的・記述的にならざるを得ないためであろう。なお、試料土や固化材の組成を明示しない発表が多く見られた。学会の場であるから企業秘密は最低限に抑えていただきたい。

補強土、軽量盛土

総括

農林水産省 山下恒雄

補強土・軽量盛土に関する論文は今まで地盤改良、締固め、透水性などのセッションで発表されていたが、最近このような論文が多くなってきたため、このセッションが24回大会より設置された。今大会のこのセッションには54編の論文が集まった。これ以外にこのセッションと同じ内容の論文が8編あった。

ところで補強土工法は土の中に別の部材（補強材）を敷設あるいは挿入し、土と補強材との相互作用によって土塊全体の安定や強度をたしかめる方法とされている。この工法は使用目的により、①壁面を有する盛土全体の補強、②一般の盛土体の補強、③地盤の補強、④自然地山の補強に分けられる。また、軽量盛土は従来荷重軽減工法として軟弱地盤対策工法の一つとして位置づけられていた。その中でも盛土材を軽量化し、沈下を軽減する工法として軽量盛土工法が発展してきた。そして擁壁などの土圧軽減にもこの工法が利用されている。これらは発泡スチロール(EPS)、気泡モルタル等を使う工法が開発されているが、近年は現地土の軽量化による利用方法の開発も行われており、今年はこれらに関係ある発表論文が多かった。

このセッションに属すると考えられる論文を21～25回大会より集め分類すると表-1のようになり、整理すると次の事が言える。①補強土・軽量盛土に関する論文は全体の論文の中で約8%を占めており、年ごとにやや増加の傾向がある。この増加は軽量盛土の発表が多くなってきたためである。②補強土を表-1のように四つに区分すると一般の盛土体の補強に関する論文は全体の約1/3であるが、毎

年減少している。壁体を有する盛土体の補強はやや増加している。補強土の研究は一般盛土から壁体を有する盛土体に移行しはじめている。

次に過去5回の発表論文を研究手法別に分類すると表-2のようになる。材料試験と模型試験がそれぞれ1/3を占める。材料試験はここ2～3年軽量盛土の研究が多くなっ

表-1 過去5回の大会に発表された補強土・軽量盛土に関する論文数の分類

| 大会(回) | | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|-------|--------------|---------|--------|--------|---------|----------|
| 補強土 | 壁体を有する盛土体の補強 | 7編(15%) | 4編(8%) | 5編(8%) | 9編(16%) | 11編(18%) |
| | 一般の盛土体の補強 | 23(49) | 19(37) | 21(34) | 18(32) | 16(26) |
| | 地盤の補強 | 5(11) | 7(14) | 5(8) | 7(13) | 6(10) |
| | 自然地山の補強 | 9(19) | 14(27) | 14(23) | 7(13) | 12(19) |
| 軽量盛土 | 0 | 5(10) | 15(23) | 13(23) | 14(23) | |
| その他 | 3(6) | 3(6) | 1(2) | 2(4) | 3(5) | |
| 合計 | 47(6) | 52(7) | 61(7) | 56(8) | 62(8) | |

注)：()内は補強土、軽量盛土全体に対する個々の割合をパーセントで示した。ただし合計はその大会に発表された全体の論文数に対する割合をパーセントで示した。

表-2 過去5回の大会に発表された補強土・軽量盛土に関する論文の研究手法別分類

| 研究手法 | 21回 | 22回 | 23回 | 24回 | 25回 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 材料試験 | 13編(28%) | 14編(27%) | 17編(28%) | 18編(32%) | 19編(31%) |
| 模型試験 | 22(47) | 22(42) | 20(33) | 16(29) | 24(39) |
| 解析 | 2(4) | 9(17) | 11(18) | 8(14) | 8(13) |
| 現場施工・計測 | 10(21) | 7(13) | 13(21) | 14(25) | 11(18) |
| 合計 | 47 | 52 | 61 | 56 | 62 |

注)：()内は各研究手法の補強土・軽量盛土の論文全体に対する割合をパーセントで示した。