

「深層混合処理工法施工マニュアル」について

土質基礎研究室

はじめに

室蘭開発建設部苫小牧道路事務所では、高規格幹線道路「日高自動車道」（北海道縦貫自動車道苫小牧東 IC～浦河町、延長約 120 km）の建設工事に鋭意取り組んでいる。現在、苫小牧東 IC から門別町までの延長 40 km の整備計画区間の工事が進められているが、このうち柏原から鶴川にいたる区間は、軟弱地盤地帯を通過するためいくつかの軟弱地盤対策工法が検討されている。高規格道路であるために一般道路よりも高い道路設計水準の設定が必要であり、これを満足するために軟弱地盤対策工法として深層混合処理工法が主体となることが予想されている。

深層混合処理工法の設計・施工法ならびに施工管理方法については「泥炭性軟弱地盤対策工指針」（社団法人北海道開発技術センター発行、昭和 63 年 10 月）に基本的な考え方が記載されているところであるが、「日高自動車道」における大規模な深層混合処理工法の施工に際し、苫小牧道路事務所では「同指針」を土台として新たな「同工法施工マニュアル(案)」の作成を行った。その際、土質基礎研究室に対し、内容の吟味、修正意見などの依頼があったため、当研究室においては改めて深層混合処理工法の設計・施工・管理全般にわたる見なおしを行うこととした。

以下に述べる「深層混合処理工法施工マニュアル」は、苫小牧道路事務所が作成したマニュアル（案）を土台とし、当研究室が実施した各地における施工実態調査ならびに関係機関の聞き取り調査の結果を加味して作成されたものである。従来の「泥炭性軟弱地盤対策工指針」の記載内容に比べて大幅に変更した点もあるので、内容をよく理解して設計積算を行うとともに、施工に当たっては本マニュアルの〔解説〕を除く全文を施工業者に提示し、適切な指導を行っていただきたい。

なお、以下の記述で〔解説〕に述べられていない部分は、「泥炭性軟弱地盤対策工指針」に準じているものである。

1. 深層混合処理工

1-1 定義

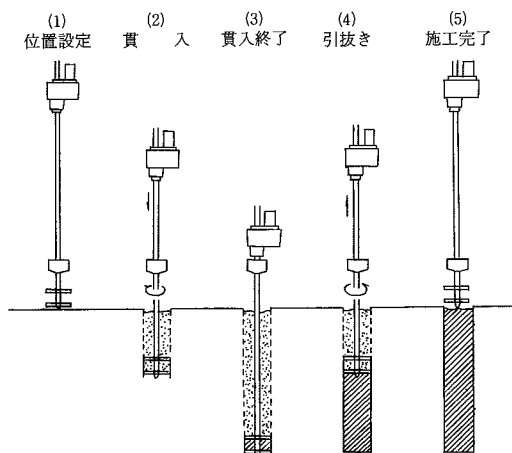
深層混合処理工とは、軟弱地盤中に粉体状あるいはスラリー状の改良材を供給し強制的に原位置土と攪拌混合することにより、土と改良材を化学的に反応させて土質性状を安定なものとし、強度を増加させ、盛土のすべり破壊、沈下量の低減、橋台の側方移動などに対処するものをいう。

1-2 施工方法

深層混合処理工法は、改良材ならびに攪拌混合方式の相違により、プロベラ状の攪拌翼を用いる機械的攪拌方式と高圧噴流で行う噴射攪拌方式に大別される。いずれの工法も最大深さ 25～30 m 程度まで施工が可能である。

標準的な施工手順は図—1、2 に示すように引抜き時に改良材を供給することが多いが、貫入時に改良材を供給する場合もある。また、改良材の設計混合量が使用機械の最大混合能力を上まわる場合は、2 回に分けて攪拌混合することもできる。

機械攪拌方式の改良機本体部は、攪拌軸・攪拌翼・駆動装置・ベアマシン・リーダマストなどからなる。高圧噴流による噴射攪拌方式では、攪拌翼に替わってスラリーを横方向に噴射する回転ノズルが装



図—1 機械式攪拌工法の施工手順

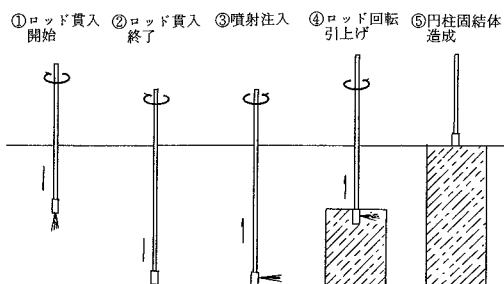


図-2 高圧噴射攪拌工法の施工手順

着されている。

改良材プラント部は改良材がスラリー状の場合は、ミキサー・スラリー圧送ポンプからなり、粉体状の場合には改良材吹き込み機、空気圧縮機などから構成される。

1-3 施工上の留意点

① 施工機械の特性は、軟弱地盤改良の出来形に影響を与えるので、機械の選定は慎重に行わなければならない。

② 深層混合処理による地盤改良効果は、改良材の混合量だけではなく、改良材の吐出方法および原地盤土と改良材との攪拌混合の均一性などによっても大きく左右されるので、施工機械の特性を勘案しつつ施工方針について事前に検討しなければならない。

③ 地盤あるいは施工条件などにより周辺地盤に側方変位の影響を与える場合があるので、その対策についても検討しておく必要がある。

④ 施工機械の攪拌、引抜きにより施工地盤に数10 cm程度の盛り上がりの生じる場合があるので、事後処理について、考慮しておく必要がある。

⑤ 高圧噴射工法1サイクル当たりの改良範囲は対象土質、含水比などによって大きく異なる場合があるので、施工時には十分な確認調査を実施しなければならない。また、地表面に近い改良部は圧力が上方へ作用するため、設計上の改良範囲が保持できない場合があるので、上部軟弱部分の置換え、あるいは表層処理などの処理についても検討しておく必要がある。

2. 室内配合試験

2-1 定義

室内配合試験とは、原位置から採取した試料と改

良材を混合して供試体を作成し、一軸圧縮試験を行い、深層混合処理工法に用いる改良材の種類および混合量を決定するための試験をいう

2-2 試料土および改良材

室内配合試験に用いる試料は、改良予定区域内の最も軟弱と思われる地点から採取したものとする。深さ方向に土性が大幅に変化する場合には、施工性を考慮して代表的な2～3種類の土層について配合量の検討を行う。配合試験に用いる改良材は、現状土に適すると思われる3種類程度の改良材を使用するものとする。ただし、既存資料で判断できるものについては1種類に限定してもよい。なお、改良材の品質は4-3①によるものとする。

2-3 供試体作成方法

室内配合試験に供する供試体の作成は、土質学会基準「安定処理土の締固めをしない供試体作成方法」(JSF T 821-1990)、石灰系については、運輸省港湾技術研究所土質部「石灰による深層混合処理工法・室内試験マニュアル」に準ずるものとする。

2-4 改良材および混合量の決定

① 改良効果の判定は、「土の一軸圧縮試験方法」(JIS A 1216-1990)により行い、材令7日および28日の供試体各3個以上の一軸圧縮強さ q_u により判断するものとする。

② 室内目標強度 q_{ui} は、現場所要強度 q_{ur} の2～5倍とし、③に示す最低混合量に近いほど大きな値とする。

③ 各改良材ごとに図-3に示すように整理し、室内目標強度 q_{ui} に相当する改良材の種類と混合量を決定し、さらに、経済比較を行って1種類の改良材を決定するものとする。ただし、セメント系では100 kg/m³、石灰系では40 kg/m³を最低混合量とする。

3. 試験施工

3-1 定義

試験施工とは、室内配合試験結果の現場確認、あるいは現場において混合量を直接決定するために行うものである。改良範囲が広く、室内配合試験結果だけでは評価がむずかしい場合、数年に及ぶ工事で土性が変化している可能性がある場合、施工実績の乏しい現場条件の場合などに実施するものである。試験施工の実施の必要性については、監督員と協議の上決定する。

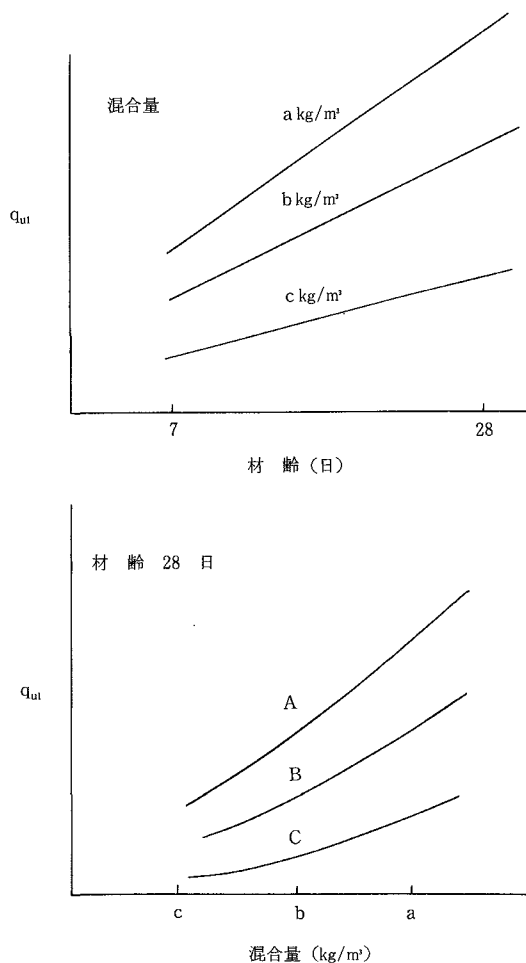


図-3 室内配合試験結果の整理

3-2 改良材

試験施工で使用する改良材は、室内配合試験にて決定した改良材と同等もしくは、同等以上の品質のものとする。

3-3 試験頻度

① 原則として本施工と同一機種および同一仕様により、ひとつの混合量当たり2サイクル以上の試験柱体を打設するものとする。

② 混合量は室内配合試験をもとに、3段階以上行うものとする。

③ 試験場所は、本施工個所の直近で行うものとする。

3-4 施工管理

施工管理は、本施工 4-2 に準ずる。

3-5 品質管理

改良材の品質については、本施工 4-3 ①に準ずる。

3-6 混合量の決定

① 改良効果を判定するための一軸圧縮試験用供試体は、施工後1週目、4週目にて改良柱体からオールコアボーリングで採取するものとする。ボーリング位置は、図-4 に示すように改良柱体直径Dの1/3～1/4付近にて行うものとする。

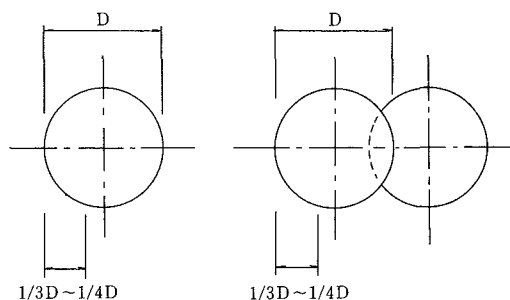


図-4 試料採取位置

② 改良効果の判定は、一軸圧縮強度 q_u で判定するものとし、一軸圧縮試験用供試体数は改良深さ 50 cm～1 m ごとに1試料とする。

③ 改良柱1本当たりの一軸圧縮強度 q_u は強度のバラツキを考慮して、全体の70%が満足する値を代表値と考えるものとし、次式で求めるものとする。

$$q_u = \bar{q}_u - 1/2 \sigma$$

ここに、 $\bar{q}_u$ ：平均値

σ ：標準偏差

④ 以上の試験結果より、現場所要強度 q_{ur} を満足する柱体の混合量を本施工混合量とする。

⑤ 施工条件により、施工後一週目強度にて判断する場合があるものとする。施工後1週目強度にて判断する場合は、室内配合試験結果の強度伸び率をもとに推定した4週目強度をもとに検討するものとする。

4. 本施工

4-1 改良材および混合量

本施工に用いる改良材および混合量については、室内配合試験または試験施工の結果により決定するものとする。

4-2 施工管理

① 施工前

a. 攪拌翼の寸法。

- b. 改良材供給機重量計精度およびオシログラフの記録重量（ウェイト検査）。

C. オシログラフの記録紙送り速度。

② 施工中

- a. 噴射圧力（噴射攪拌の場合）。
- b. 自記記録計の作動状況。
- c. 地盤改良深さ（オシログラフの記録深さおよび残尺の計測）。
- d. 改良材混合量（オシログラフおよびデジタル表示量）。
- e. 貫入速度。
- f. 引抜き速度。
- g. 攪拌翼の回転数。

③ 施工後

- a. 試掘などによる改良範囲。

4—3 品質管理

① 改良材

a. セメント：セメントは JIS R 5210, 5211, 5212, 5213 に適合したものとし、工場出荷時の試験成績で品質を確認することができる。

b. セメント系固材：セメント系固材の試験は、使用量 500 tf に 1 回以上とし、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」、JIS R 5202「ポルトランドセメントの化学分析」により行い、詳細な室内実験を実施し、特に改良効果が認められたものとする。

c. 生石灰：生石灰は JIS R 9011 等級 2 号以上とし、高い反応性を有するものとする。品質試験は使用量 500 tf に 1 回以上とし、JIS A 1102, 1104, JIS R 5201 により、適正な粒度分布で、単位容積重量 1.3 t/m³、比重 3.0 以上のものとし、工場出荷時の試験成績で品質を確認することができる。

d. 細骨材：セメントモルタルに用いる細骨材の品質は「コンクリート標準示方書」に準ずるものとする。

e. セメントミルク：セメントミルクの比重は配合設計時の値以上とする。測定には泥水比重測定器（マッドバランス）を用いても良い。

f. セメントモルタル：セメントモルタルのフロー値は 210～220 mm の範囲とし、JIS R 5201 による。

② 改良柱体

a. 柱体試料は、施工後 4 週目で原位置でオールコアボーリングを行い、改良柱体が形成されている

ことを確認しなければならない。なお、ボーリング位置は、1/3 D～1/4 D 付近にて行うものとする。

b. 改良柱体の強度は、一軸圧縮強さ q_u で判定するものとし、一軸圧縮試験用供試体数は改良深さ 1 m ごとに 1 試料とする。

c. 改良柱体 1 本当たりの一軸圧縮強度 q_u の代表値は、次式で求めるものとする。

$$q_u = \overline{q_u} - 1/2 \sigma$$

ここに、 $\overline{q_u}$ ：平均値

σ ：標準偏差

改良柱体の状況により、オランダコーン貫入試験を行い改良柱体の総合判定を行う場合がある。

d. 管理頻度は、改良面積 500 m²につき 1 本以上オールコアボーリングを行うものとし、改良面積が狭い場合であっても最低 3 本の改良柱体を行うものとする。

4—4 品質管理基準

① 原則として、調査対象とした改良柱体の強度の代表値がすべて現場所要強度を越えるものでなければならない。

② 調査本数中、1/3 が現場所要強度を満足しない場合は、満足しない地点付近で再度 2 本のボーリングを行って改良柱体の強度を調べ、2 本とも現場所要強度を満足しなければ再施工を行うものとする。

③ 調査本数中、2/3 が現場所要強度を満足しない場合は、再施工とする。

4—5 再施工

① 本マニュアルに従って施工しても、なお品質管理基準を満足しない場合には、別途予算処置を講じて再施工を行うものとする。

② 再施工に当たっては、設計強度を満足しない原因の調査を行って改善あるいは修正を加え、強度不足の範囲をサウンディング等によって限定し、妥当と考えられる方法、工法で施工するものとする。

【解説】

1. 室内配合試験に用いる試料の採取

通常、室内試験に用いる試料は、対象区域の代表的な試料あるいは平均的な試料を用いるものであるが、深層混合処理工法ではきわめて軟弱な場合に未固結状態の部分が生ずる恐れがある。このため、室内配合試験に用いる試料は、ボーリングやサウンディング結果から判断して最も軟弱と思われる地点から

採取したものをを用いることとした。

2. 改良材の種類

配合試験に用いる改良材は、生石灰、高炉セメント、普通ポルトランドセメント、それに数多くのセメント系特殊固化材などの中から3種類程度を選ぶが、近傍で過去に深層混合処理を実施している場合や土質工学的性質が近似した試料についてすでに配合試験が行われている場合には、それらのデータに基づき改良材を1種類に限定してもよいこととした。

3. 室内配合試験方法

土質工学会基準の改正に伴い、基準名と基準番号を訂正した。従来用いていた「締固を伴わない安定処理土の試験方法」(JSF T 31—1983)は安定処理土の力学試験を含めた内容になっていたが、改正後は供試体の作成および養生方法に限定されている。

4. 最低混合量の規定

現場強度は、原地盤の性状や攪拌効率などに起因して室内強度の1/5～1/2程度に低下する。特に混合量が少ない場合は均一な混合が困難となり、所定の品質が得られない恐れもあり、全国的な過去の実施例に基づき最低混合量を新たに規定した。なお、「指針」では「混合率」という表現を用いているが、現場の実態に合わせて「混合量」とした。

5. 試験施工の必要性

従来は、室内配合試験で改良材と混合量を決定し、さらに本施工に先立ち室内配合試験で決定した混合量を基準に混合量を3種類程度変えて試験施工を行うことを原則としていた。しかしながら、試験施工自体は、深層混合処理工法の開発初期に施工機械や混合精度に不安要素があって多数実施したものの、現在では実績が豊富となり、室内配合試験の結果だけで十分であると思われる。室内配合試験では原位置の地盤の複雑さに対応できないとしても、局部的な試験施工で広域地盤の複雑さに対処できないのは同様であり、むしろ多数の室内試験を実施する方が望ましいといえる。また、全国的にも試験施工を実施する例が少なくなっている。そこで、本マニュアルでは、必要に応じて試験施工を実施することとした。試験施工を実施する場合には別途予算処置を行い、特に本施工までの施工機械の待機費用(機械

損料)を計上する必要がある。

6. 改良柱体からの試料採取

試料採取のためのボーリング位置は、従来1/3 Dと限定していたが、改良柱体の中心から外縁部までの距離の半分の位置、すなわち1/4 Dの位置が望ましいとの意見もあり、厳しく限定するほどのことでもないため、若干幅を持たせて1/3～1/4 Dとした。また、「指針」においては「改良深さ50 cmごとに1本以上」の供試体数としていたが、改良長が大きくなると膨大な数量となることから、50 cm～1 mごとに1供試体とした。

7. 改良効果の判定

改良効果の判定に当たっては、強度のばらつきが大きい場合の管理基準の設定方法に準拠し、確率的に70%が合格となる値、すなわち「平均値—1/2標準偏差」を代表値とすることにした。

8. 固化材の管理試験

セメント系固体材の品質管理試験は、「指針」では200 tfに1回以上となっているが、やや大きな工事では膨大な数になる。全国的な施工事例では500～1000 tfに1回あるいはひと月に1回となっていることから、本マニュアルでは500 tfに1回とした。

9. 再施工

施工途中で監督員との十分な協議や入念な施工データのチェックは必要であるが、それでもなお地盤の不均一性に起因する強度不足という事態が生ずる可能性はある。これはもはや不可抗力であり、施工業者に責任を被せることは酷であろう。したがって、本マニュアルに基づいて十分な試験調査を行い、信頼できる施工を行ったにも拘らず、その結果が品質管理基準を満足しなかった場合の再施工は、別途予算処置を行って対処することになろう。再施工に当たっては、すでに部分的に固結した改良柱体が存在するため、機械式攪拌の深層混合処理はむずかしい。過去の事例を調べても再施工を行った例がないため、どのような再施工が望ましいかは明らかではないが、施工済の改良区域に接して新たに深層混合処理を行うか、高圧噴射式の深層混合処理が妥当と思われる。

(文責 能登繁幸)