

不良土の盛土材への有効利用について Effective use of unsuitable soil as filling materials

佐藤 厚子* 西川 純一** 山澤 文雄***

Atsuko SATO, Jun'ichi NISHIKAWA and Fumio YAMASAWA

近年、河川の浚渫不良土、土木工事現場から発生した不良土、廃棄物の処理過程で生じるスラッジ等、処理の容易でない土が増加している。北海道のような広大な地域でも、今後、廃棄できる場所は限られ、環境への配慮などから、このような土を積極的に利用することが求められるようになってきた。また、北海道のような積雪寒冷地では、その気候条件に適応した処理を行う必要があり独自の技術開発が求められている。

本研究では、土木材料として使用できない不良土を有効利用する方法として、脱水処理と安定処理を取り上げ、その有効性について検討した。脱水処理では、自然脱水、強制脱水を比較した。また、安定処理では、利用条件に応じて改良した固化土、固化破碎土、改良土の強度特性に関する実験を行った。

実験の結果、強制脱水のうちフィルタプレス、遠心脱水による方法では有効かつ経済的に含水比を低下できなかった。しかし、安定処理による改良では、処理土の強度特性や目標強度を得ることのできる固化材添加率を明らかにし、有用な土木材料の一つとなりうるものであることを確認できた。

《キーワード：不良土、盛土材、脱水処理、安定処理、強度特性》

Dredged unsuitable soil from rivers and surplus soil from construction sites have increased recently. These materials are difficult to be disposed of. Land area for their safe disposal will be limited even in Hokkaido which has vast space. Their disposal requires greater consideration with respect to environmental damage and safety. In cold regions like Hokkaido, such unsuitable soil should be treated in such a way to suit cold weather conditions.

Dehydration and stabilization were adopted for treating those unsuitable soil in this study, and their availability was examined. Natural dehydration and forced dehydration were compared among dehydration methods. Solidified soil, crushed soil and improved soil were tested for their strength. It was revealed that even forced dehydration can not lower water content efficiently. On the other hand, strength characteristics of stabilized soil and necessary stabilizer amounts for stabilized soil were identified. It was confirmed that improvement of unsuitable soil by stabilization is the most efficient method.

key words: unsuitable soil, filling materials, dehydration, stabilization, strength characteristics

1. はじめに

建設産業は、我が国の資源利用の約50%を建設資材として消費する一方で、産業廃棄物としての排出量の約20%、最終処分量の40%を越える大きな量を建設廃棄物として最終処分している現状にある¹⁾。しかし、最近においては処分地が不足し遠隔化していることから建設発生土の有効利用が課題となってきた。

建設発生土を有効利用するためには、①建設発生土の発生を抑制する施工技術、②より良質な建設発生土に改良する技術、③不良土でもそのまま利用できる施工技術が必要であり²⁾、それらの開発が進められているところである。

北海道開発局においても建設廃棄物の抑制および有効利用を積極的に図っているところであり、建設発生土の有効利用に関する技術開発を行ってきた。

以上の背景から、本研究室では上述の「良質な建設発生土に改良する技術の開発」の研究として、河川浚渫土や掘削などの建設工事で発生するそのままの状態では盛土材料として使用できない不良土を対象として、盛土材料として有効利用するための方法を検討している。

2. 土の性質と処理の方法

建設発生土は、コーン支持力および日本統一土質分類により5種類に区分されている。この区分と盛土材料としての利用の評価³⁾を表-1に示す。第1種建設発生土～第3種建設発生土については、施工上の工夫を施せば、そのままの状態でも盛土材として使用できるが、第4種建設発生土および泥土については、そのままの状態では使用できない。本研究の対象とした不良土は表中に示す第4種建設発生土および泥土である。

北海道開発局における泥土の再生フローを図-1⁴⁾に示す。泥土は現場内およびストックヤードにて一時保管され、脱水した後、必要な強度が確保できれば、盛土材として利用される。ここで、一時保管場所がない場合や保管する時間がない場合には安定処理することになる。

本研究では、表-2に示す試料について脱水と安定処理による対策の効果を確認した。表中の試料名は採取地を示しており、北空知は第4種建設発生土であり、他の試料は泥土に分類される試料である。苫小牧、北空知は、土取り場の一部より発生した土砂、他は河川

表-1 建設発生土の土質区分と盛土材としての利用の評価³⁾

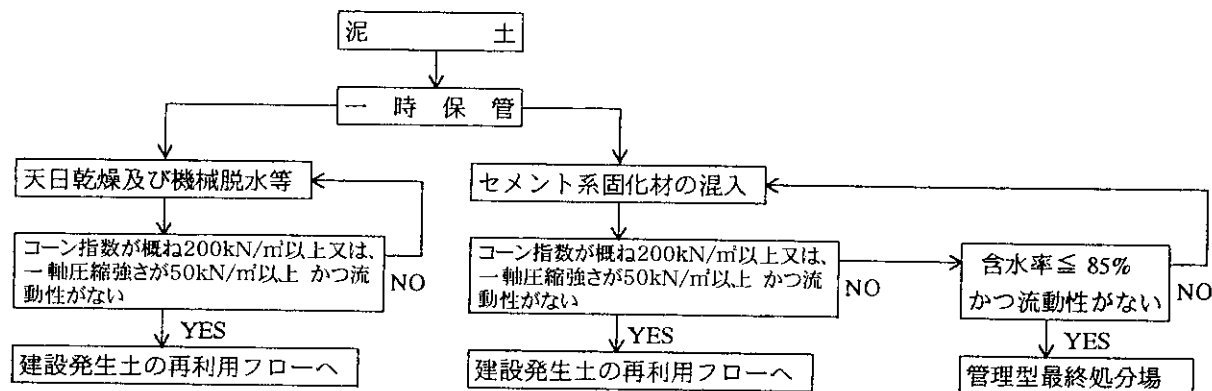
区 分 (建設省令)	土 質 区 分	コーン指数 qc (kN/m ²)	日 本 統 一 土 質 分 類		道路(路床)盛土	
			中 分 類	土 質	評価	付帯条件
第1種建設発生土 砂、礫およびこれらに準ずるもの	第1種発生土	—	{G}	砂	◎	最大粒径注意
	第1種改良土		{S}	礫	◎	最大粒径注意
第2種建設発生土 砂質土、礫質土およびこれらに準ずるもの	第2a種発生土	800以上	(改良土)		◎	—
	第2b種発生土		{GF}	礫 質 土	◎	最大粒径注意
	第2c種発生土		{SF}	砂質土(Fc=15~25%)	◎	—
	第2種改良土			砂質土(Fc=25~50%)	◎	—
			(改良土)		◎	—
第3種建設発生土 通常の施工性が確保される粘性土及びこれに準ずるもの	第3a種発生土	400以上	{SF}	砂質土(Fc=25~50%)	○	施工上の工夫 含水比低下 安定処理
	第3b種発生土		{M}, {C}	シルト、粘性土	○	施工上の工夫 安定処理
	第3種改良土		{V}	火山灰質粘性土	○	施工上の工夫 安定処理
	第4a種発生土		(改良土)		○	施工上の工夫 安定処理
第4種建設発生土 粘性土及びこれに準ずるもの(第3種建設発生土を除く)	第4b種発生土	おおむね200以上	{SF}	砂質土(Fc=25~50%)	△	安定処理
	第4c種発生土		{M}, {C}	シルト、粘性土	△	安定処理
	第4d種発生土		{V}	火山灰質粘性土	△	安定処理
	第4種改良土		{O}	有機質土	△	安定処理
	泥土a		(改良土)		×	安定処理
泥土 浚渫土のうちおおむねqc200kN/m ² 以下のもの及び建設汚泥	泥土b	おおむね200以下	{SF}	砂質土(Fc=25~50%)	△	安定処理
	泥土c		{M}, {C}	シルト、粘性土	△	安定処理
			{V}	火山灰質粘性土	△	安定処理
			{O}	有機質土	△	安定処理
			{Pt}	高有機質土	×	安定処理

◎：そのまま使用が可能なもの

○：施工上の工夫、もしくは簡易な土質改良(安定処理を含む)を行えば使用可能なもの

△：安定処理等の土質改良を行えば使用可能なもの

×：使用が不能なもの



図－１ 北海道開発局における泥土の再生フロー¹⁾

表－２ 試料の基本物性値

試 料	No	1	2	3	4	5	6	7	8
試 料 名		長沼1	長沼2	網 走	苫小牧	江 別	北空知	美登位	蘭 越
土 粒 子 の 密 度 ρ_s (g/cm ³)		2.571	2.690	2.306	2.625	2.609	2.590	2.630	2.647
含 水 比 w(%)	浚渫直後		930	1060					
	浚渫排出直後		446						
	試料採取時	186.2	173.1	122.3	78.4	98.4	62.8	69.0	104.9
粒 度 特 性	砂 分(%)	0	0	10	10	0	0	0	0
	シルト分(%)	5	39	56	55	0	9	2	0
	粘土分(%)	95	26	34	35	100	91	98	22
コ ン シ ス テ ン シ ー 特 性	液性限界LL(%)	147.3	121.1	178.9	87.8	—	74	80	78
	塑性限界PL(%)	59.6	40.0	99.1	39.7	125*	32	33	2
	塑性指数IP(%)	87.7	81.1	77.8	38.1	—	42	47	82
日 本 統 一 土 質 分 類		CH	CH	MH	CH	CH	CH	CH	CH
コ ー ン 指 数 q_c (kN/m ²)		測定不能	測定不能	測定不能	20	測定不能	200	測定不能	測定不能

*印の液性限界はフォールコン試験によった。

コーン指数で測定不能の表示は、試料が軟弱であるため、トラフィカビリティ試験に際して締固めができなかったものである。

浚渫工事に伴って発生した土砂である。河川浚渫土砂は沈澱池で自然脱水した後の含水比を自然含水比としており、長沼2と網走については脱水処理工法の効果を確認する目的で、浚渫直後の含水比や沈澱池排出直後の含水比も測定している。

3. 脱水処理工法

現場で発生した不良土はヤードや時間がない場合を除いて、一旦ストックヤードにおいて自然または機械脱水処理される。そこで自然および機械脱水の効果を確認した。

3. 1 試験方法

脱水処理工法の検討対象とした試料は、浚渫土砂のうち沈澱池で粗粒分が除去された後排泥池で沈降したものであり、特に含水比が高い。自然脱水では、排泥池で沈降した試料を別な場所へ排出し、その場所で時間経過に伴う含水比の変化を測定した。強制脱水では、

排泥池で沈降した試料を、現在実用化されているフィルタープレス、遠心脱水、袋式重力脱水の3つの方法により脱水して含水比を測定した。

フィルタープレスは、対象土砂を圧搾版に挟み、高圧力で脱水する方法である。遠心脱水は、高速回転させた円筒容器内に対象土砂を注入し、泥分と水との比重差を利用し固液分離を行う方法である。袋式脱水は、内袋と外袋を組み込んだ袋の中に土砂を投入し、袋内部の土砂の重量を利用して脱水する方法である。

なお、対象とした試料の粒径がかなり小さかったので、No.3以外は脱水効果を上げる目的で凝集剤を使用している。

3. 2 試験結果⁴⁾

自然脱水による含水比の変化を試料No.2、No.3で確認した。No.2は天日乾燥のみの脱水であり、No.3はトレンチ掘削している。2つの試料は異なる浚渫工事で発生したものであるが、ともに日本統一土質分類では粘土に分類される試料である。これらの時間経過

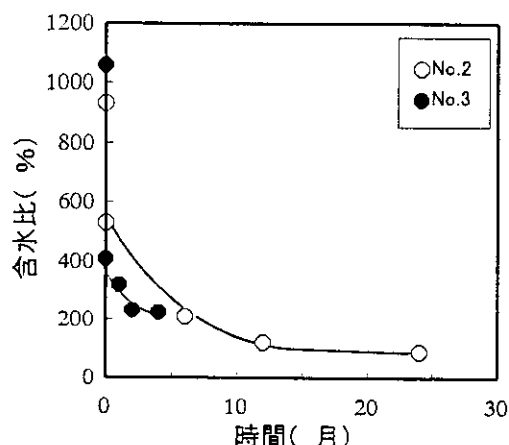


図-2 自然脱水による脱水効果

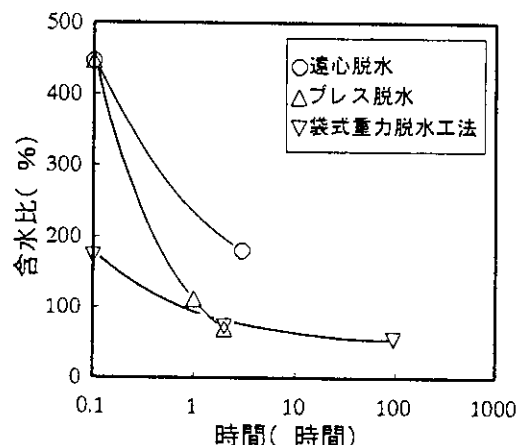


図-3 機械脱水による脱水効果

に伴う含水比の変化を図-2に示す。

No.2の試料は、浚渫直後の含水比が930%であり、200%の含水比に低下するまで、約半年かかっている。これに対し、No.3の試料は、浚渫直後の含水比が1060%であり、2か月程度で200%まで含水比が低下しており、トレンチ掘削の効果が表れている可能性が高い。

強制脱水の効果を試料No.2で確認した。図-3は、経過時間と含水比の関係を示したものである。No.2の試料では、遠心脱水の場合、3時間経過後で含水比は180%であった。フィルタープレスの場合、1時間で110%、2時間で70%まで含水比が低下し脱水効果は大きい。1回の処理量が小さく、実用的ではない。袋式重力脱水では、2時間で70%にまで含水比は低下した。この含水比70%の強度はコーン指数 $q_c \approx 500 \text{ kN/m}^2$ であり、盛土材として使用できる状態にまで改良できた。

実験を行った3つの方法の中では、経済性、効率の面から袋式重力脱水が最も効果が大きいといえる。

4. 安定処理

脱水により盛土材として使用できる状態にならなかったり、時間や用地の関係で脱水工法を適用できない場合には固化材による安定処理を行い、不良土を改良する方法がある。

本研究では、安定処理の方法として固化材を加えて不良土を固化する方法（固化土）、固化材を加えた後固化が完了する前に破碎する方法（固化破碎土）、高分子系改良剤を混入し不良土中の遊離水を吸収し団粒化させることにより不良土の性質を変えてから固化材を加える方法（改良土）の3つの方法により不良土を改良し、その強度を検討した。

自然含水比の高い材料を原料とする安定処理土は施

工時においてはスラリー状であるため、現場に設置した型枠にポンプ圧送した処理土を流し込む方法によって施工される。このため、複雑な構造物の充填や埋戻しに適していること、すでにスラリー状であることから、軽量土の作製には加水・解泥する必要がなく有利であること、固化するため転圧が不要であり、固結後は水平土圧が発生しないなどの長所をもっている。しかし、ある程度の強度になるまでは、建設機械の走行が不可能であり、施工が滞ることもある。

そこで、この固化土を転圧可能な土としての特性を持つ新しい材料である「固化破碎土」、「改良土」に改良し、その強度特性を求めることとした。固化破碎土とは、固化材添加後から固化が完了する前に破碎し締固め可能な材料としたものである。

4. 1 試験方法

4.1.1 目標強度

安定処理土の目標強度として、7日間で2.5mの盛土を想定してすべり安全率1.2を確保できる強度（7日養生後の一軸圧縮強さ $q_{u7} = 150 \text{ kN/m}^2$ ）とした。また、転圧可能な材料である固化破碎土、改良土では安定処理土の目標強度を確保するとともに施工に必要なトラフィカビリティとして普通ブルドーザーの走行性を確保できるコーン支持力（ $q_c = 500 \text{ kN/m}^2$ ）とした。

4.1.2 試料作製方法

(1) 固化土

目標強度を得ることのできる配合を求めるため、各試料についてセメント系固化材を混合して所定期間養生後の一軸圧縮強さを求めた。

(2) 固化破碎土

対象とする不良土にセメント系固化材を混合し、ビニール袋中で養生した後、4750 μm ふるいを通す

程度に破碎する。この破碎した試料を締固め、締固め直後のコーン支持力と所定期間養生後の一軸圧縮強さを求めた。

(3) 改良土

対象とした不良土に高分子系改良剤を添加し、その性状の変化をスランプで確認した後、生石灰を混合し所定期間養生後一軸圧縮強さを求めた。

4. 2 結果と考察

4.2.1 固化土⁵⁾

不良土発生現場に適当な用地がなかったり、直ちに次の工事に不良土を使用しなければならない場合には、固化材を投入してスラリー状で施工する固化土の利用が考えられる。

この場合、含水比が高くなると必要強度を確保するための固化材量が多くなると考えられる。そこで、目標強度である7日養生後の一軸圧縮強さ (qu_7) で150 kN/m²を確保するための固化材添加率が含水比によってどのように変化するかを調べた。

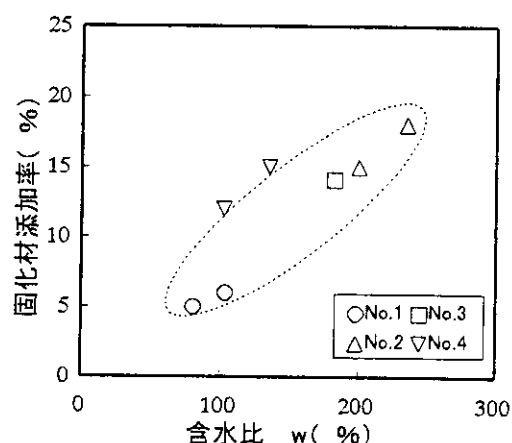


図-4 固化土の含水比と目標強度となる固化材添加率

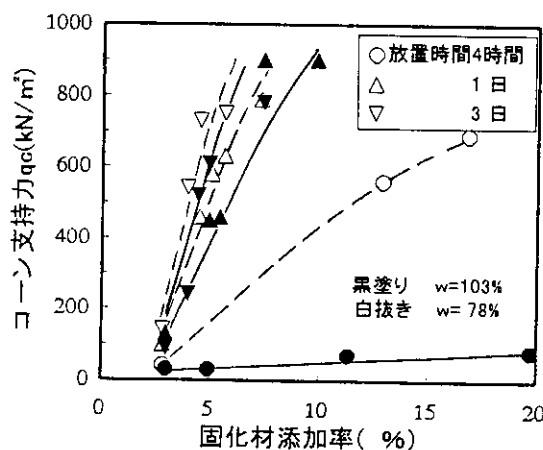


図-5 固化破碎土の固化材添加率とコーン支持力

図-4は、試料No.1、No.2、No.3、No.4の含水比とセメント系固化材による固化土が $qu_7=150\text{kN/m}^2$ となる固化材添加率を示したものである。全体の傾向として、含水比の増加にともない固化材添加率も大きくなっている。No.4の試料は他の3試料と比較して同じ含水比であっても固化材添加率が若干大きくなっているが、この試料は他の3試料よりやや砂分の多い土質であった。

4.2.2 固化破碎土⁶⁾

施工現場にある程度のヤードを確保でき、すぐに強度が必要な場合には、固化破碎土の利用が適当である。そこで固化破碎土の施工性、強度特性を明らかにした。

(1) 施工性

固化破碎土をつくる目的が、転圧可能な土にすることにあることから、施工機械に応じたトラフィカビリティの確保が必要となる。そこで、固化破碎土のトラフィカビリティをコーン指数(qc)で求めた。図-5は、試料No.4の固化材添加率と締固められた固化破碎土のqcとの関係を固化材添加から破碎までの時間（以降「放置時間」と称する）ごとに示したものである。固化材添加率を大きくすると固化破碎土のqcは大きくなっており、同じ固化材添加率では、含水比の低い方、放置時間の長い方が固化破碎土のqcは高くなり、施工性が良くなるといえる。放置時間が短い場合、固化材の固結作用があまり進んでいないので、破碎しても不良土もとの性質がかなり残っているのでqcは小さくなるとみられる。これに対し、放置時間が長くなると、不良土中の水分が固結のために使われ含水比が低くなり、固結が進行した後に破碎するので、qcは大きくなると考えられる。

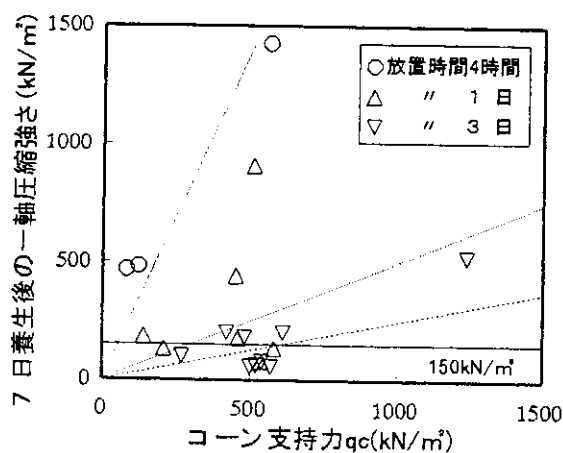


図-6 固化破碎土の破碎時のqcと qu_7

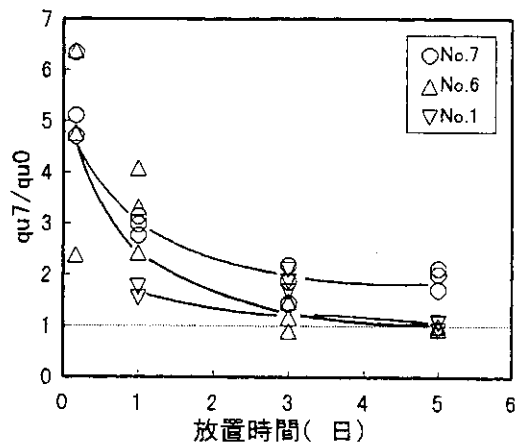


図-7 固化破砕土の放置時間と qu_7 と qu_0

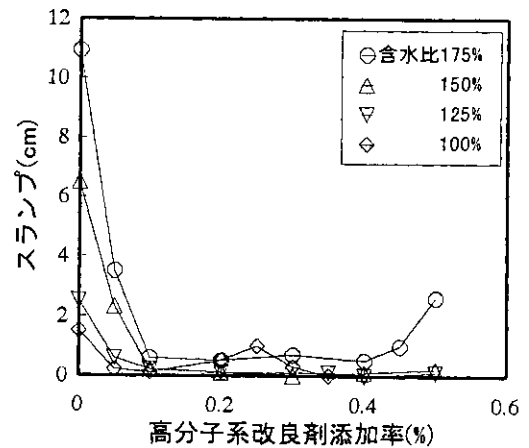


図-8 高分子系改良剤添加率とスランプ

(2) 強度特性

1) コーン支持力と一軸圧縮強さ

固化破砕土の qc は、固化材添加率、含水比、放置時間など作製条件の影響を受けることがわかった。これを盛土材として使用する場合、重要な点は盛土完成後の安定保持である。そこで、施工の目標強度を普通ブルドーザの走行を確保できるコーン支持力である $qc=500\text{kN/m}^2$ として、条件を変えて作製した締め固められた固化破砕土の7日養生後の一軸圧縮強さ(qu_7)の変化を求めた。図-6は、締め固めた固化破砕土の qc と qu_7 を示したものである。締め固め時の qc が同じであっても、 qu_7 は大きく異なっている。しかし、放置時間で分けてみると、放置時間1日では qu_7 は qc の約3倍、3日では1/2、5日では1/4であった。これらのことから、放置時間を確認しておけば、固化破砕土のコーン支持力を求めることにより、 qu_7 をある程度推定できるといえる。

2) 放置時間と一軸圧縮強さ

固化破砕土の qu に影響を与える因子として、放置時間があげられることがわかった。そこで、放置時間と7日養生後の一軸圧縮強さ(qu_7)と破砕直後の一軸圧縮強さ(qu_0)の比(qu_7/qu_0)を求めた。図-7は、放置時間と qu_7/qu_0 との関係を示したものである。全体の傾向として、放置時間が長くなると qu_7/qu_0 は小さくなっている。放置時間が短い場合には、締め固めた固化破砕土であっても固化土と同じように、固化材の固結作用が大きく働くため、 qu_7/qu_0 が大きくなるとみられる。しかし、放置時間が長くなるに従い、固化材の固結作用が小さくなるので、締め固められた固化破砕土の qu_7/qu_0 が小さくなり、さらに放置時間を長くすると、ある程度固化が進んだ状態で破砕するため qu_0 と qu_7 とがほぼ等しくなると考えられ

る。

以上のことから、固化破砕土の強度を検討する場合には、放置時間により、固化材の固化作用を考慮する必要がある。

3) 固化破砕土の配合

固化破砕土の施工性にはコーン指数が、盛土のすべり安全率の確保には一軸圧縮強さが必要である。固化破砕土のコーン指数、一軸圧縮強さは放置時間の影響が大きく、固化破砕土のコーン指数は放置時間が長いほど大きく、一軸圧縮強さは放置時間が短いほど大きくなり、相反する条件となる。

これらのことから実際の施工においては転圧の有無、転圧機械の大きさなど現場の転圧条件に応じて、コーン指数、一軸圧縮強さのどちらも満足する放置時間を検討しなければならない。

4.2.3 改良土⁷⁾

不良土発生現場にヤードがなければ、一旦別な場所に不良土を移動させる必要がある。しかし、不良土は流動性があるため、運搬は特殊な方法によらなければならない。これを一般の方法で運搬する目的で、高分子系改良剤を添加して不良土を自立できる材料に改良した。また、この材料を盛土材料として使用するために固化材を混合しその強度を求めた。

(1) 流動性

不良土に高分子系改良剤を添加したときの流動性の変化をスランプで求めた。試料No.5について、高分子系改良剤の添加率とスランプの関係を示したものが図-8である。どの含水比でも高分子系改良剤の添加率が大きくなるにしたがいスランプは小さくなっている。また、どの含水比でも高分子系改良剤の添加率が0.1%で、スランプが0.5cm程度に低下し、それより高分子系改良剤の添加率が大きくなっても、スランプの

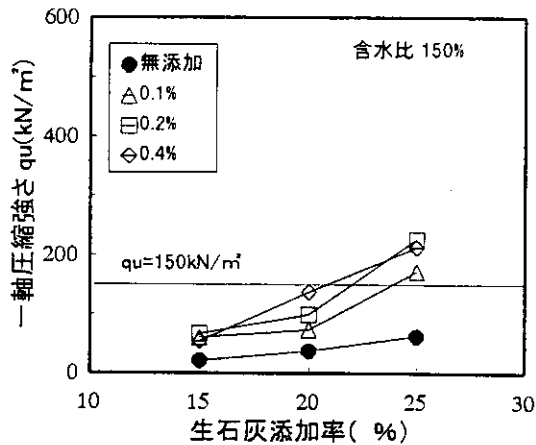


図-9 生石灰添加率と改良土の q_u

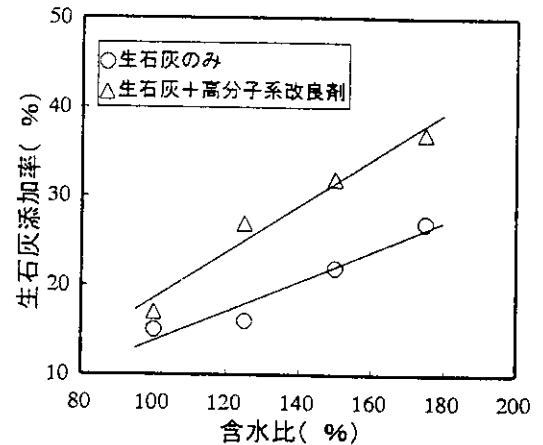


図-10 含水比と目標強度となる固化材添加率

大きな変化はない。このことから、スランプの低下に有効な高分子系改良剤の添加率は0.1%であり、含水比が高い土ほど高分子系改良剤によるスランプ低下の効果が大きいといえる。この傾向は、No.8の試料でも同じであり、土質による傾向の違いはない。

これらのことから、そのままでは運搬不能な試料であっても、高分子系改良剤を添加することにより、運搬可能な試料へと変化することがわかる。

(2) 強度特性

高分子系改良剤により不良土の性質がかなり変化することを確認できたが、高分子系改良剤だけでは強度のある材料とはならないので、盛土材として使用できない。そこで、高分子系改良剤添加後の試料について固化材を添加して改良土としその強度特性を求めた。

固化材を生石灰とした場合、試料No.5を含水比150%に調整し、材料土とする改良土の生石灰添加率と7日養生後の一軸圧縮強さの関係を図-9に示す。

生石灰の添加率を大きくするにしたがい、一軸圧縮強さは大きくなっている。特に、高分子系改良剤を添加した場合には無添加と比較して大きな一軸圧縮強さになっている。しかし、高分子系改良剤の添加率による差はほとんど無いことから、高分子系改良剤の添加率が一軸圧縮強さに与える影響はほとんどないといえる。このことから、高分子系改良剤の添加率は、スランプの低下に有効な添加率である0.1%程度で十分といえる。

次に材料土の含水比を変えて目標強度 $q_{u7}=150\text{kN/m}^2$ が得られる生石灰添加率を求めた (図-10)。初期含水比が高くなるほど同じ目標強度を得るための生石灰添加率の差が大きくなっており、初期含水比が125%以上では高分子系改良剤を添加することにより、生石灰添加率を10%以上少なくすることができる。このこ

とから、高分子系改良剤により目標強度を得ることのできる生石灰添加率を軽減できることがわかった。

5. 不良土の改良フロー

今回、固化土、固化破碎土、改良土の強度特性が明らかになった。現場で発生した不良土は、泥土の再生フローにしたがって (図-1) 脱水した後、安定処理し現場条件に応じて使用する。

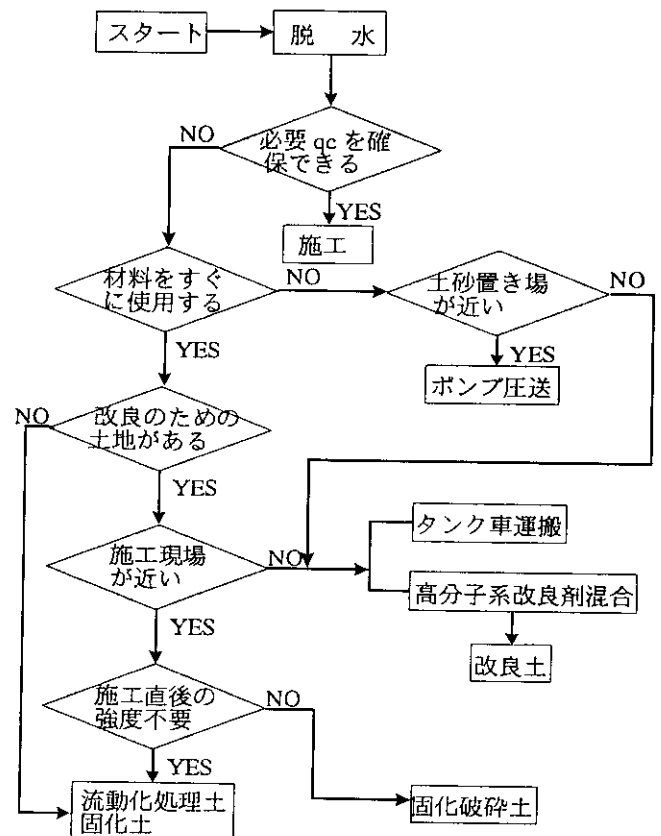


図-11 不良土の改良方法

脱水後、施工に必要な強度を確保できればそのまま施工し、必要な強度を確保できない場合には、不良土を安定処理し、発生現場や利用現場の状況により固化土、固化破碎土、改良土を使い分ける必要がある。

安定処理した材料の施工直後の強度が必要でない場合には固化土として施工できる。

しかし、施工直後の強度が必要な場合には固化破碎土として施工する。また、不良土発生現場に改良のための場所が無く施工現場が遠い場合には、不良土をトラック運搬しなければならないことから、高分子系改良剤を混合し改良土を作製して施工する。

以上現場に必要な利用状態の他、発生現場と施工現場のヤードの有無も固化土、固化破碎土、改良土の使い分けに関係する。これらをまとめて不良土の改良フローを図-11に示す。

6. まとめ

これまでの検討結果をまとめると次のことがいえる。

- ①自然脱水では、トレンチ掘削により脱水効果が大きくなり、強制脱水では、経済性、効率の面から袋式重力脱水が効果大きいといえる。
- ②固化破碎土は放置時間により、固化材の固化作用の残存を考慮する必要がある、これはもとの試料の特性が影響する。

③固化破碎土のqcは、含水比の低い方、放置時間の長い方が大きく、quは放置時間の短い方が大きいので、どちらの強度も満足できる放置時間を検討しなければならない。

④高分子系改良剤により生石灰添加率を軽減でき、初期含水比が高くなるほどこの効果が大きい。

⑤現場の状況に応じた不良土改良フローをまとめた。

参考文献

- 1) 北海道開発局：北海道開発局の建設副産物適正処理マニュアル、1999年7月
- 2) (財) 先端建設技術センター：建設業とリサイクル、大成出版、1992年
- 3) (財) 土木研究センター：建設発生土利用技術マニュアル、1994年7月
- 4) 佐藤厚子、西川純一：浚渫土砂の有効利用に関する検討、開発土木研究所月報、1996年6月
- 5) 佐藤厚子、西川純一、北野初雄：高含水比土の有効利用に関する検討、第31回地盤工学会研究発表会論文集、1996年7月
- 6) 佐藤厚子、西川純一、北野初雄、山澤文雄：固化破碎土の強度特性について（その2）、第33回地盤工学会研究発表会論文集、1998年7月
- 7) 佐藤厚子、西川純一、北野初雄：高分子系改良剤による浚渫土砂の改良効果について、地盤工学会北海道支部技術報告集、1997年2月



佐藤 厚子*

構造部
土質基礎研究室
研究員



西川 純一**

構造部
土質基礎研究室
室長
理学博士



山澤 文雄***

構造部
土質基礎研究室
室員