

固化破碎土による河川堤防施工の 手引き

令和8年3月

北海道開発局 堤防技術研究会

寒地土木研究所 寒地地盤チーム

目 次

1	概説	1
1.1	目的	1
1.2	固化破碎土による河川堤防施工の適用の範囲.....	1
1.3	用語・記号	2
1.4	固化破碎土の定義	3
1.5	堤防材料として施工ができない材料	4
1.6	堤防材料として施工ができない材料の対策.....	6
1.7	使用材料の調査	8
2	固化破碎土	11
2.1	固化破碎土の強度特性	11
2.2	固化土と固化破碎土による盛土の変形.....	13
3	固化破碎土による河川堤防の施工手順	15
3.1	固化破碎土による堤防盛土の施工手順.....	15
3.2	目標値の設定	17
3.3	室内配合試験	17
3.4	試験施工	20
3.5	本施工	21
3.6	品質管理	22
4	施工上の留意点	23
	参考資料	24
1	室内試験における締固め管理基準について.....	24
2	放置時間と室内試験における目標値を満足する固化材混合量について.....	24
3	室内と現場の配合	26
4	固化破碎土の作製条件と締固め曲線	27
5	破碎前の固化土のコーン指数と締め固めた固化破碎土のコーン指数.....	28
6	飽和度・空気間隙率の計算に用いる土粒子密度.....	28
7	固化土の低温養生と発現強度	30
8	締め固めた固化破碎土の水浸による変状.....	30
9	室内配合試験における固化破碎土作製方法.....	31
10	試験施工例	31
	参考文献	33

1 概説

1.1 目的

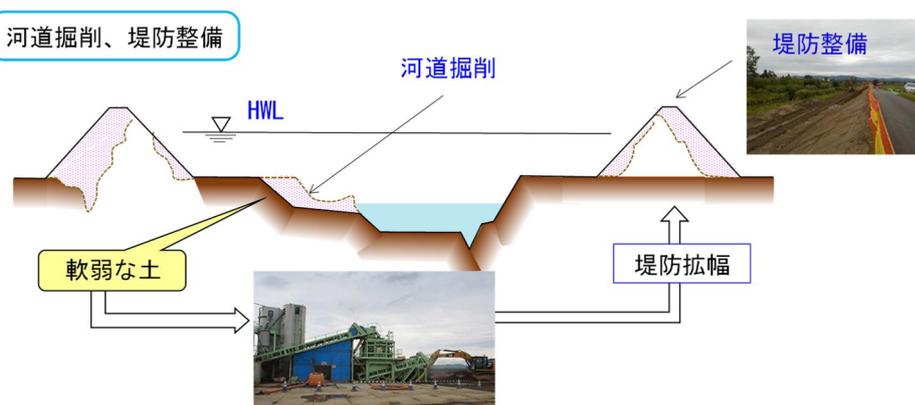
本手引きは、軟弱地盤上に堤防を施工する際、工事現場や土取場で発生した土材料（以降発生土と称する）が堤防材料として施工ができない材料である場合の改良方法として、セメントや石灰などの固化材を混合して、堤防材料に適した材料である固化破碎土にして堤防を施工するための標準的な方法を取りまとめたものである。発生土を固化改良して固化破碎土により堤防を施工するうえでの、設計、施工および管理を行うのに資することを目的とする。

【解 説】

石狩川下流域の治水対策として北村遊水地が整備されている。北村遊水地の堤防は、軟弱地盤上に新規に最大9mの盛高の堤防を施工する。大半を河川の掘削工事で発生する土砂により施工しているが、その発生土がそのままの状態では堤防材料として使用できない場合には改良して資源を有効利用している。本手引きでは、発生土について堤防材料として適しているかを技術的に判断する方法および堤防材料として施工ができない場合に利用するための対策手法のうち、発生土に固化材を混合し固化破碎土に改良して施工する方法について、設計、施工に関する方法を示したものである。

1.2 固化破碎土による河川堤防施工の適用の範囲

本手引きは、原則として河道の掘削工事やその他の工事により発生した土砂をセメントや石灰などの固化材により固化改良し固化破碎土として河川堤防に使用する場合に適用する。また、本手引きの内容で、他の関係法令、基準、指針などに制限がある場合には、それらによるものとする。



【解 説】

本手引きは、令和5年度までに国土交通省北海道開発局札幌開発建設部岩見沢河川事務所で実施された固化破碎土による堤防施工の実績¹⁾²⁾³⁾⁴⁾と国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所寒地地盤チームで現在の技術水準を踏まえて作成したもので、現在において標準的と考えられる技術的基準を示すものである。

したがって、将来的には施工実績の累積や研究の進展にともなう技術水準の向上や関係法令、基準、指針などの制定に応じて本手引きの改訂を行う必要がある。

「他の関係法令、基準、指針など」とは次のものをいう。

- (1) 法律
- (2) 政令
- (3) 国土交通省令
- (4) 国土交通省訓令
- (5) 国土交通省河川砂防技術基準
- (6) 河川土工マニュアル（財団法人 国土技術研究センター）
- (7) 漏水対策工設計施工指針（北海道開発局）
- (8) 泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル（寒地土木研究所）
- (9) 北海道における不良土対策マニュアル（寒地土木研究所）
- (10) その他土木工事に関する技術基準類に適宜準拠

1.3 用語・記号

本手引きで使用する用語・記号は特別の定めがないかぎり「地盤工学用語辞典」（地盤工学会編）に準ずるものとする。

【解 説】

本手引きに関する地盤工学およびコンクリート工学用語については、「地盤工学用語辞典」に準ずる。

1.4 固化破碎土の定義

固化破碎土とは、対象土に固化材を混合し、ある程度時間が経過した後に破碎し、締固め可能な材料としたものである。

【解説】

固化破碎土とは、**図-1.1** および**写真-1.1** に示すように、軟弱でそのままの状態では堤防材料として使用できない発生土にセメントや石灰などの固化材を混合して、固化土として仮置きした後、破碎して締固め可能な材料としたものである。

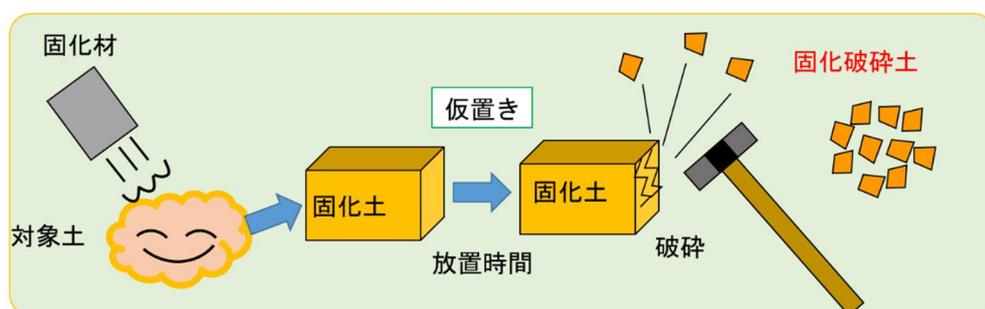
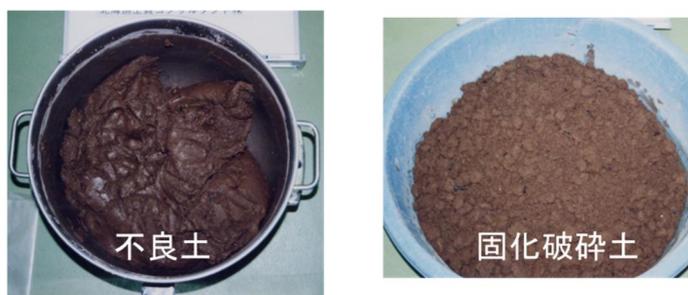


図-1.1 固化破碎土の概略



締固め不可

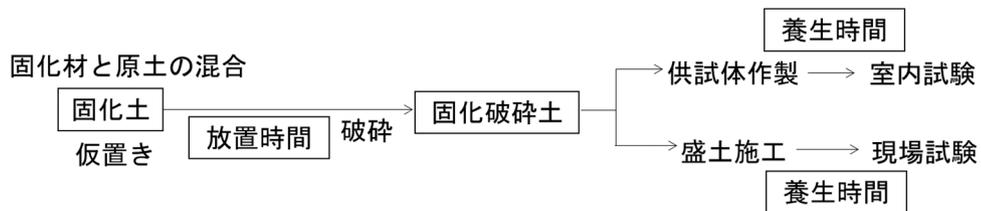
締固め可能

写真-1.1 不良土と固化破碎土

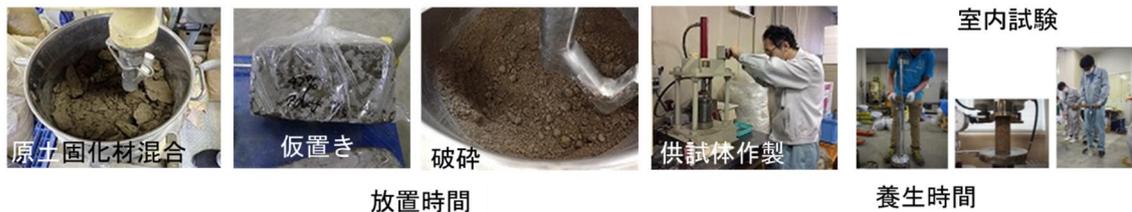
また、本手引きでは、固化破碎土に関する用語を**図-1.2** に示すように定義する。

- ・固化土：固化材と改良対象土（以降、原土と称する）を混合したもの。
- ・放置時間：固化材を混合してから破碎するまでの時間。
- ・固化破碎土：固化土を破碎したもの。
- ・養生時間：固化土および固化破碎土について供試体を作製してから試験を実施するまでの時間。

室内や現場で固化破碎土の時間経過による強度を測定する場合に使用



室内試験



試験施工および現場施工



図-1.2 固化破碎土に関する用語の定義

1.5 堤防材料として施工ができない材料

本手引きにおいて、地山掘削したままの自然含水比状態で堤防材料として使用するのことが適さない土および堤防完成後何らかの変状を起こし、河川堤防として問題が発生することが予想される土を「堤防材料として施工ができない材料」と定義する。

【解説】

堤防材料としてそのままの状態ですぐに施工できる材料は、トラフィカビリティの確保に必要な強度および締固め管理基準を満たしていることである⁵⁾。

トラフィカビリティの確保に必要な強度を表-1.1に示す⁶⁾。この表から工事に使用する建設機械によりトラフィカビリティの確保に必要な強度を設定する。例えば、国土交通省北海道開発局の場合、河川工事で比較的軟弱な土砂を盛土材料として施工する場合に、写真-1.2に示すバックホウ、コンバインド振動ローラ3.5t級を広く使用しており、転圧時に用いるコンバインド振動ローラ3.5t級の走行性

表-1.1 建設機械の走行に必要なコーン指数（道路土工要綱に加筆）

建設機械の種類	コーン指数 q_c (kN/m ²)
超湿地ブルドーザ	200 以上
湿地ブルドーザ	300 以上
普通ブルドーザ (15t 級)	500 以上
普通ブルドーザ (21t 級)	700 以上
スクレーパー	600 以上 (超湿地型は 400 以上)
非けん引式スクレーパー (小型)	700 以上
自走式スクレーパー (小型)	1000 以上
タイヤローラ (8t~20t)	1000 以上
ダンプトラック	1200 以上



a. バックホウ



b. コンバインド振動ローラ 3.5t 級

写真-1.2 施工機械の例

を確保できる強度であるコーン指数 $q_c=400\text{kN/m}^2$ である。締固め管理基準は、国土交通省北海道開発局の河川堤防においては表-1.2に示す品質管理基準⁷⁾を適用している。また、河川土工マニュアルの締固め度の規定⁸⁾も表-1.3に示す。この品質管理は、砂置換法などによる密度測定結果より、締固め度管理とし、これによりがたい場合は、飽和度、空気間隙率管理による品質管理とするものである。締固め度管理とした場合の規格値は、北海道開発局の場合、締固め度90%以上、飽和度、空気間隙率による品質管理では土質（75 μm ふるい通過分）により異なっており、砂質土では空気間隙率が15%以下、粘性土では飽和度が85%以上95%以下、または空気間隙率が2%以上10%以下である。

これらを満足していない材料は、そのままの状態では堤防材料として施工ができない材料である。

表-1.2 国土交通省北海道開発局河川堤防における品質管理基準

土質	締固め度	飽和度(S_r)	空気間隙率(V_a)
砂質土 ($25\% \leq 75\mu\text{m}$ ふるい通過分 $< 50\%$)	90%以上 (砂置換)	-	$V_a \leq 15\%$
粘性土 ($50\% \leq 75\mu\text{m}$ ふるい通過分)		$85\% \leq S_r \leq 95\%$	$2\% \leq V_a \leq 10\%$

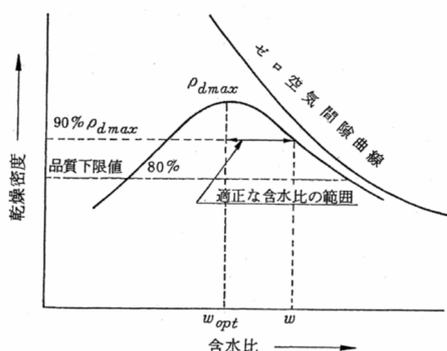
表-1.3 河川土工マニュアルの締固め度の規定

土質分類 名称	粗粒質	砂質土{SF} ($15\% \leq -75\mu\text{m} < 25\%$)	砂質土{SF} ($25\% \leq -75\mu\text{m} < 50\%$)	粘性土 Cs
締固め度(D_c)	$D_c = 90\%$	$D_c = 90\%$	-	-
施工含水比(w_n)	-	-	トラフィカビリティを確保しうる範囲	トラフィカビリティを確保しうる範囲
空気間隙率(V_a)	-	-	$V_a \leq 15\%$	$2\% \leq V_a \leq 10\%$
飽和度(S_r)	-	-	-	$85\% \leq S_r \leq 95\%$
品質合格率(%)	-	-	90%	90%
品質下限値	$D_c = 80\%$		-	-

$$S_r = v_w / v_v \times 100 (\%) \quad \text{式-1.1}$$

$$V_a = v_a / v \times 100 (\%) \quad \text{式-1.2}$$

S_r : 飽和度
 v_w : 水の体積
 v_v : 空気と水の体積の合計
 V_a : 空気間隙率
 v_a : 空気の体積
 v : 土の体積 (水+土粒子+空気の体積の合計)



土の突固め曲線

1.6 堤防材料として施工ができない材料の対策

発生土を堤防材料として利用する場合は、堤防材料として施工ができるかどうかの判定を行い、施工ができない場合は、対策工法、施工方法、維持管理方法を検討する。

【解 説】

堤防材料として施工ができない材料を有効利用するための一般的な手法を図-1.3に示す。発生土について施工機械に必要なトラフィカビリティを確保できるかを判定する。発生土がコーン指数 $q_c=400\text{kN/m}^2$ を確保できている場合、締固め管理基準（締固め度、飽和度、空気間隙率）を満たしているかを判定する。コーン指数および締固め基準のいずれも満足している材料であれば、そのままの状態ですぐに堤防材料として使用できる。コーン指数または締固め基準のいずれかまたはいずれも満足できない材料であれば、堤防材料として適さない材料であることから、土質改良を行い堤防材料として使用する。

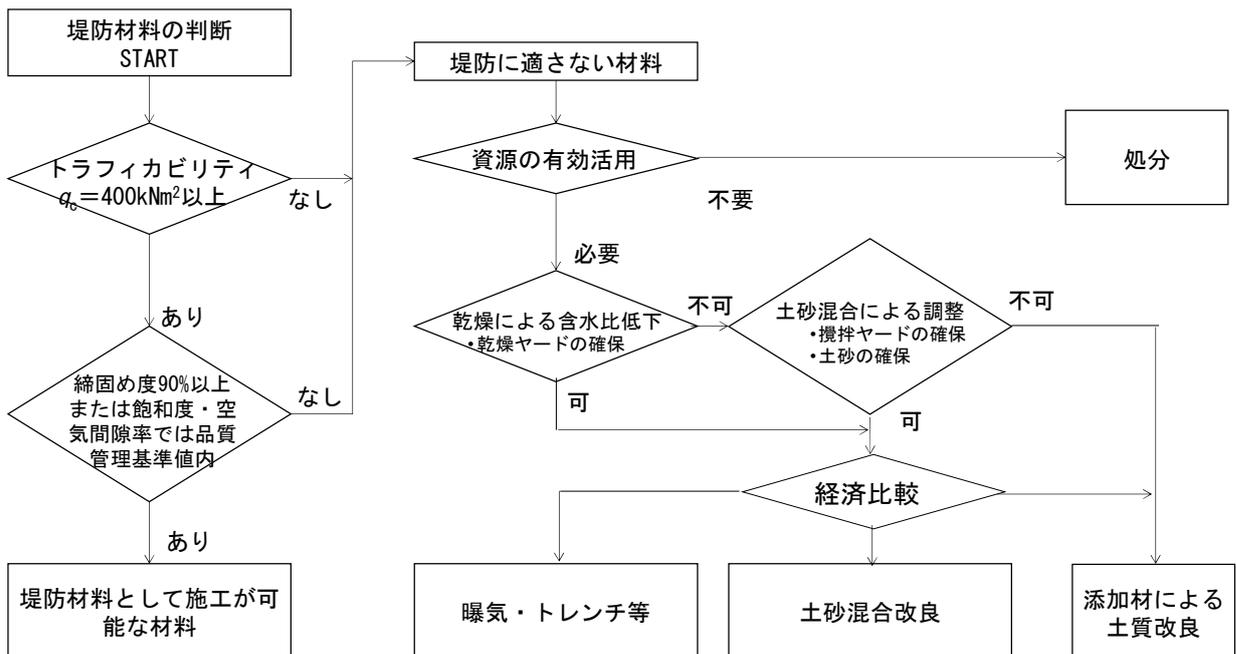


図-1.3 堤防材料として施工ができない場合の対策フロー

土質改良の方法の代表的な方法として、他の土砂との混合、乾燥による含水比低下、添加材による土質改良がある。工期が十分ある場合には、他の土砂との混合または、乾燥による含水比低下が選定される場合が多く、経済比較を基本として総合的に適した改良方法を採用する。他の土砂との混合は、粒度分布の悪い土砂に他の粒度分布の土砂を混合して締固め効果のある材料とする方法である。さら

に、高含水比の粘性土に低含水比の砂質土を混合することにより、土砂全体の含水比を低下し強度を増加させる効果もある。周辺に改良に必要な土砂があれば効果の大きい方法であるが、対象とする土砂がない場合、土砂の購入や土砂の運搬などが必要であり、経済的に不利となる場合がある。

乾燥による含水比低下は、含水比を低下させることにより締固め効果が高まることから、曝気乾燥やトレンチ掘削による排水を行うことより水分が低下しやすい土質であれば、比較的安価に効率よく改良できる方法である。しかし、北海道のような積雪寒冷地では対策を行う時期が限られていることから、強制的に含水比を低下させるために天地替えの作業や乾燥機械の導入など費用が大きくなる場合もある。また、必要土量が多い場合、乾燥させるための広大なヤードを確保しなければならない場合がある。

添加材による土質改良は、セメントや石灰などの固化材を混合して強度発現させる方法である。固化材が比較的高額であることから工費が大きくなるものの確実な改良効果を得ることができる⁹⁾。

しかし、セメントや石灰などの固化材を土材料に混合すると、一般的には図-1.4に示すように時間が経過すると強度が増加する。このように固化した材料により、軟弱地盤上に盛土を施工すると、図-1.5¹⁰⁾に示すように地盤の変形に盛土が追随できず、盛土にひび割れが発生し堤防が漏水する懸念がある。

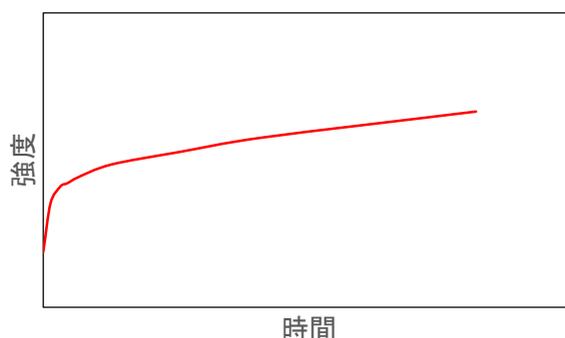


図-1.4 固化改良土の時間と強度の関係例

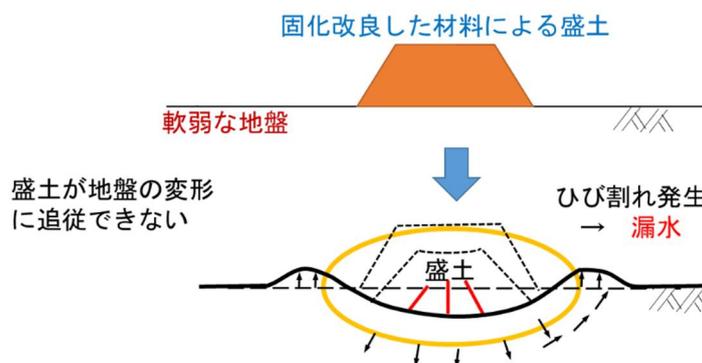


図-1.5 盛土による軟弱地盤の変形(参考文献10に加筆)

このため、国土交通省北海道開発局札幌開発建設部岩見沢河川事務所と国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所寒地地盤チームでは、固化材を混合しても固化土より少ない配合量で締固め可能な材料として固化破碎土に着目し、堤防材料として使用する方法について検討を行ってきた。固化破碎土とは、対象土に固化材を混合して、ある程度時間が経過した後で破碎して締固め可能にしたものである。固化破碎土は固化土よりも発現強度が低いため、軟弱地盤上に堤防を施工したとき、地盤の沈下に追従して変形することから、盛土にひび割れの発生が抑制され堤防の漏水がないと考えられ、堤防材料として有効な材料である。

1.7 使用材料の調査

堤防材料の調査と判定にあたっては、使用する建設機械の調査、現場条件のうち気象、施工時期、作業範囲、環境保全、供用開始時期などを検討する。これらの結果を地盤工学的性質に関する調査・試験結果から総合的に堤防材料として適しているかについて判定を行う。

【解 説】

堤防に使用する材料は、施工の当初および土質の変化したときに、表-1.4の試験を実施する。各試験の結果より総合的に判断して、そのままの状態では河川堤防に使用できない不良土と診断された場合は、固化破碎土に改良する。

表-1.4 試験項目

試験名	JIS
土粒子の密度試験	JIS A 1202
土の含水比試験	JIS A 1203
土の粒度試験	JIS A 1204
土の液性限界・塑性限界試験	JIS A 1205
土の締固め試験 (A・c 法)	JIS A 1210
締固めた土のコーン指数試験	JIS A 1228

原土 1 試料あたり

河川堤防として適した材料であるかの判定は、次の項目により判断する。

①施工機械のトラフィカビリティの判定

・室内試験方法 ¹⁾

- a. 室内における試験は、モールド内で締固めた土のコーン指数を求めるために行う。
- b. 試料を直径 15cm のモールド、2.5kg ランマーにより規定された方法に従って締固める。
- c. コーンペネトロメータ (図-1.6) を鉛直にぶら下げ、プルービングリングのダイヤルゲージの指針を 0 に合わせる。
- d. 締固めた供試体表面にコーンペネトロメータを鉛直に立て、1cm/sec の速さで貫入させ、コーンの底面が供試体の表面から 2.5cm および 5.0cm 貫入したときのプルービングリングの読みをとる。

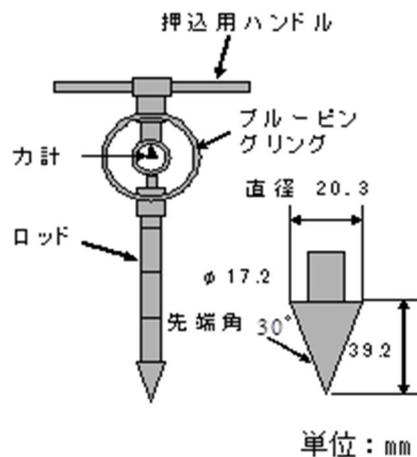


図-1.6 コーンペネトロメータ

- e. 測定は、1 個の供試体について 2 回行う。測定する箇所は供試体上面の直径を 3 等分する 2 点とする。
- f. 貫入量 2.5cm および 5.0cm のときのプルービングリングの読み (測定値合計 4 個) を平均して、平均抵抗値を求める。コーン指数は式-1.3 を用いて求める。なお、火山灰質粘性土のような高含水比粘性土の場合で礫質土がない場合、10cm 直径のモールドを用いてもさしつかえない。ただし、この場合の測定は、モールドの中心 1 箇所のみとする。
- g. コーン指数は次式により求める。

$$\text{コーン指数 } q_c = \frac{\text{平均貫入抵抗力}}{\text{コーンの底面積}} = \frac{(N)}{324(\text{mm}^2)} \quad (\text{kN/m}^2) \dots\dots\dots \text{式-1.3}$$

建設機械のトラフィカビリティについては、表-1.1 に示すようにコーン指数から判定ができる。本表から工事に使用する建設機械により、施工に必要な強度を判定する。

② 締固め管理基準による判定

河川堤防の設計では、定められた断面形状で締固め度、飽和度、空気間隙率などの締固め管理基準を満たして施工した場合、安全性を確保し堤防に求められる機能を確保するものとされている。この規格値は 1.5 堤防材料として施工ができない材料の表-1.2、表-1.3 の通りである。国土交通省北海道開発局の品質管理は、砂置換法などによる密度測定結果より、締固め度管理とし、これによりがたい場合は、飽和度、空気間隙率管理による品質管理とするものである。

③ 堤防が漏水しないこと

札幌開発建設部における改良土では透水係数を 10^{-5}m/sec 未満として施工してきたことからこれと同じとする。

・透水係数 10^{-5}m/sec 未満

④ 泥炭は比較的含水比が高く、時間が経過しても強度が低く堤防材料として施工ができない場合があることから、現時点で固化破碎土として利用しない¹²⁾。

2 固化破碎土

2.1 固化破碎土の強度特性

締固めた固化破碎土は、放置時間の長さにより強度特性が異なるので注意を要する。

【解 説】

締固めた固化破碎土の強度は、**図-2.1** に示すように放置時間（固化材を混合してから破碎するまでの時間）の長さにより強度特性が異なる。破碎するまでの時間が短いときは、まだ固化が終了していないため軟弱ではあるが、固化能力が残っており、時間が経過すると固化反応が進み強度が大きくなる。破碎するまでの時間が長くなると、ある程度強度を有する状態で破碎するため、施工性は良好になるものの、固化能力があまり残っていないため時間が経過しても強度増加は小さいと考えられる。なお、放置時間と強度の増加の関係は固化材の種類、固化材量、原土の種類によって異なる。岩見沢河川事務所の固化破碎土に関する工事では、放置時間を7日から1か月として施工する場合が多い。

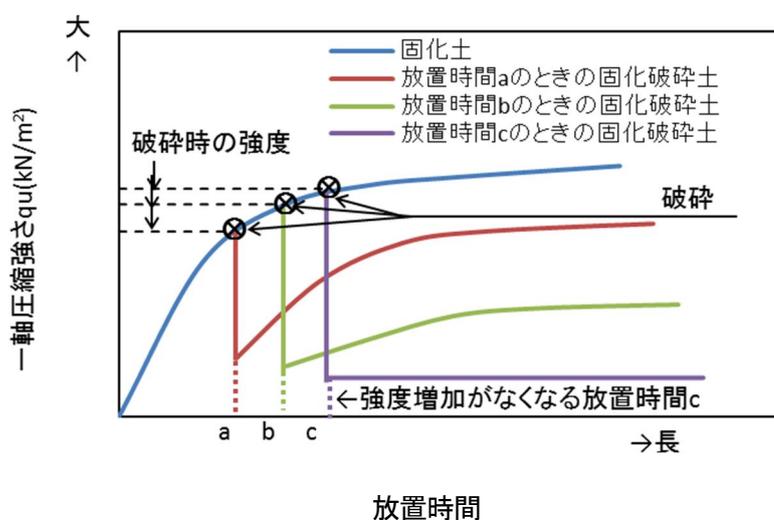


図-2.1 固化破碎土の放置時間と強度

室内試験で作成したときの固化破碎土の養生時間と一軸圧縮強さの関係例を**図-2.2**に示す。CHに分類される原土にETR3（反応速度が比較的速いとされるセメント系固化材）または高炉セメントB種（以降高炉B種と称する）を混合した。ETR3混合量 115kg/m^3 、高炉B種 110kg/m^3 では放置時間が短い固化破碎土の一軸圧縮強さが固化土とほぼ同じ場合があったが、ほとんどの固化破碎土で、固化土の一軸圧縮強さよりも低くなった。

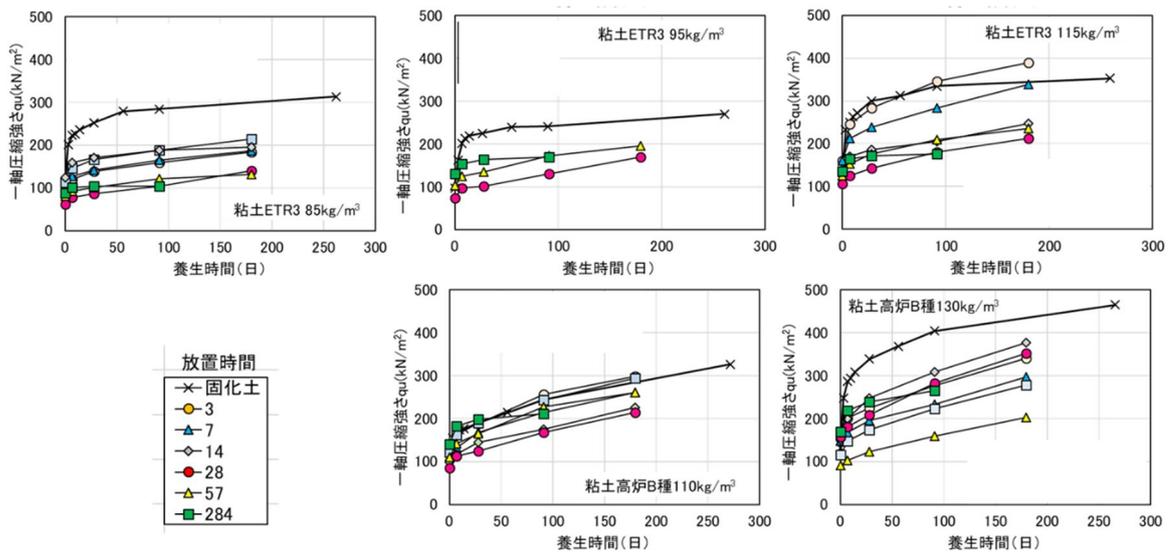


図-2.2 固化破碎土の養生時間と強度の関係例¹⁴⁾

次に、室内試験を行った図-2.2と同じ材料で作製した固化土と固化破碎土の盛土の長期養生後の破壊ひずみと一軸圧縮強さの関係を図-2.3に示す。固化破碎土は養生時間2年後と3年後で破壊ひずみにかかわらず一軸圧縮強さはほぼ同じで、養生時間による一軸圧縮強さの変化はほとんどみられなかった。これに対し固化土は、養生時間3年後は2年後よりも一軸圧縮強さは約2倍に、破壊ひずみは約1/2になり、時間が経過することにより地盤への追随性が小さい材料となる傾向がみられた。

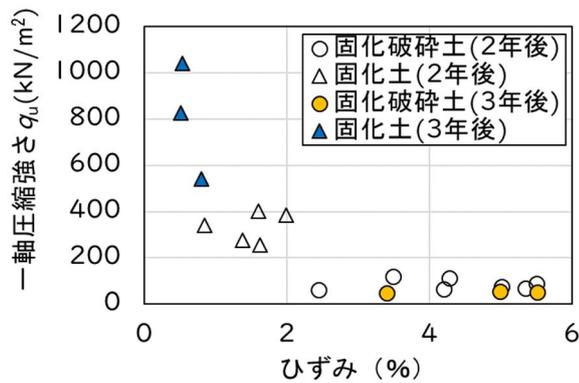


図-2.3 固化破碎土の破壊ひずみと一軸圧縮強さ強度の関係¹⁵⁾

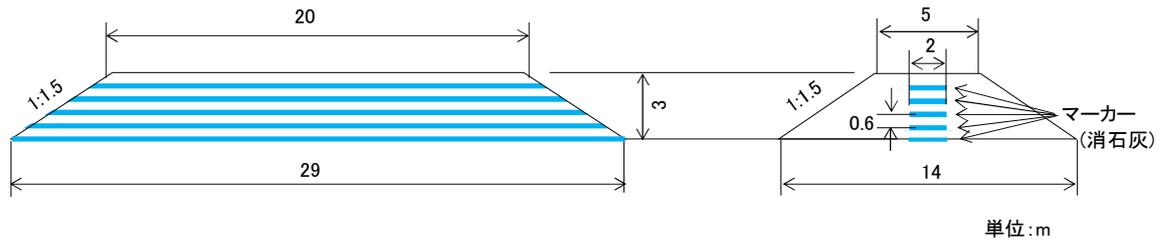
2.2 固化土と固化破砕土による盛土の変形

軟弱地盤上に施工した固化土と固化破砕土による盛土の変形は異なり、固化土は地盤の変形に追随しないが固化破砕土は地盤の変形に追随することができる。大きな変形が予想される箇所に用いる場合は室内試験や試験施工により変形性を確認することが望ましい。

【解 説】

軟弱地盤上に固化土または固化破砕土により盛土を試験的に施工し時間経過による盛土の状態を調べた。盛土を施工した地盤は、泥炭と粘土の互層で含水比が高い。粘性土と高炉 B 種を固定式の土質改良プラントを用いて混合し、仮置き盛土を施工し放置時間を 28 日として固化破砕土を作製した。固化土および固化破砕土について、**図-2.4**に示すように、仕上がり厚さが 0.3m となるように盛高 3m、のり勾配 1:1.5、天端幅 5m、長さ 20m の盛土を施工し、施工から約 1 年後に開削して変状を調べた。開削時に盛土の変状をわかりやすくするため、施工厚さ 60cm ごとに盛土の断面中央の幅 2m にマーカとして消石灰を 1cm の厚さで敷設している。

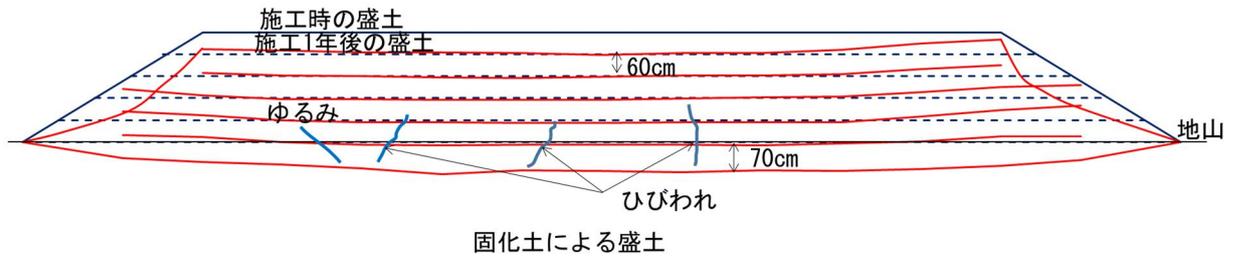
開削した盛土の断面を**写真-2.1**、**写真-2.2**に示す^{15) 16)}。固化土および固化破砕土による盛土はいずれも軟弱地盤上の盛土の沈下例に示されるように盛土全体が変状し、中心部で約 60cm～70cm の沈下が見られた。固化破砕土による盛土は、全体に均質で盛土内にひびわれは確認されなかった。固化土では、底面付近に 4 箇所のひびわれ、ゆるみが見られた。4 箇所のうち 3 箇所は幅 1～2cm 程度のひび割れが盛土底面から 2.0～2.5m の長さで上部に向かって生じた。これは固化土が地盤の変形に追随しない変状であったためひび割れが発生し、固化破砕土は、一般的な土砂と同様に軟弱な地盤に追随した変形となった。



a. 縦断面

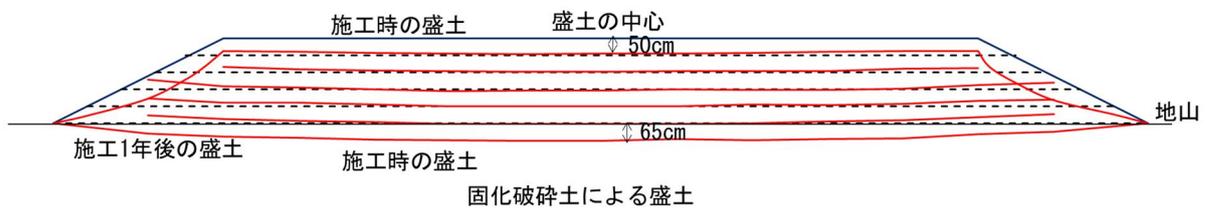
b. 横断面

図-2.4 軟弱地盤に施工した固化土および固化破碎土による盛土の概略



固化土による盛土の開削断面 → ひび割れ、変状発生

写真-2.1 固化土による盛土の開削断面



固化破碎土による盛土の開削断面→地山に追随

写真-2.2 固化破碎土による盛土の開削断面

3 固化破碎土による河川堤防の施工手順

3.1 固化破碎土による堤防盛土の施工手順

固化破碎土による堤防の施工は、目標値の設定、室内配合試験、試験施工、本施工、品質管理により行う。

【解 説】

固化破碎土による堤防施工の手順を図-3.1に示す。本施工の固化材の種類、固化材混合量、施工方法（転圧方法）を決めるために、室内配合試験および試験施工を行う。施工に必要な目標値を設定し、2～3種類の固化材を用いて目標値を満足する最も経済的な固化材の種類を室内配合試験により求める。各固化材で目標強度を満足する固化材混合率を求める。原位置混合、地山混合、プラント混合など、混合条件に応じて混合土の密度を測定する。室内試験と実際の現場では、混合、養生、締固めなどの条件が異なるので、実際の現場で試験施工をして本施工時の固化材混合率、転圧方法などの施工方法を決定する。試験施工の結果より本施工の固化材混合率、施工方法を決定する。品質管理を行いながら施工を進める。

なお、過去の施工実績等で現場の改良土が室内と比較して強度や密度基準値等を上回ることが担保されている場合には試験施工を省略できる場合がある。

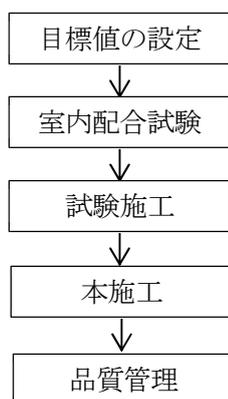


図-3.1 固化破碎土による盛土の施工手順

3.2 目標値の設定

固化破碎土を堤防材料とするための改良の目標値は次の通りである。

1. 建設機械が走行できる強度
2. 盛土の安定性が確保できる強度
3. 堤体材料として適した透水係数¹⁶⁾
4. 六価クロム溶出量が基準値以下¹⁷⁾

【解 説】

固化破碎土により堤防を施工する場合には、ある程度固化反応が進んだ固化土を破碎して締め固めた材料（固化破碎土）について、次の項目を満足するように改良しなければならない。

①建設機械が走行できる強度

破碎して締め固めた固化破碎土の強度として、コンバインドローラが走行できるコーン指数 $q_c=400\text{kN/m}^2$ 以上であること。

②盛土の安定性が確保できる強度

締め固め管理基準を満たしていれば、盛土の安定性を確保していることから、締め固め度、飽和度・空気間隙率などの管理基準を満足すること。参考資料1に室内試験における締め固め基準の算出方法を示す。

③堤体材料として適した透水係数

締め固め度90%で作製した供試体について、透水係数が 10^{-5}m/sec 未満であること。

④六価クロム溶出量が基準値以下

固化破碎土の六価クロム溶出量が 0.05mg/l 以下であること。

3.3 室内配合試験

室内配合試験は、本施工を実施するための固化材の種類および試験施工の配合を決定するために行う。

【解 説】

室内配合試験は、採取した試料について本試験で使用する固化材の種類を決定し、試験施工のための配合を決定するために行う。

①配合試験の試料採取

室内配合試験を行う試料は、当初および土質の変化したときに行う。土質の変化の確認は一般的には困難であることが多い。ここでは、岩見沢河川事務所では固化破碎土の実績が多く、施工を行う際次のような方法によったのでその例を紹介する。

事前調査においては河道掘削の場合、**図-3.2**に示すように、50～100(m)メッシュで試掘を実施し、土層確認を行う。このとき改良材料 5,000m³ もしくは改良面積 2500m² に 1 点以上の割合で土の含水比試験を行う。含水比試験の結果、最も含水比の高い試料により室内配合試験を実施する。

なお、メッシュ調査は試掘・ボーリング・ピートサンプリング等の手法によるものとし、試料採取は試掘により実施するものとする。

室内配合試験は土質が均質であれば 5 万(m³)に 1 箇所程度、土質を含水比等で区分する必要がある場合は 1 万(m³)に 1 箇所程度実施するものとする。

なお、ボーリングデータや試掘結果と施工量の関係を考慮して、掘削深さを決定する。



写真-3.1 試掘の例

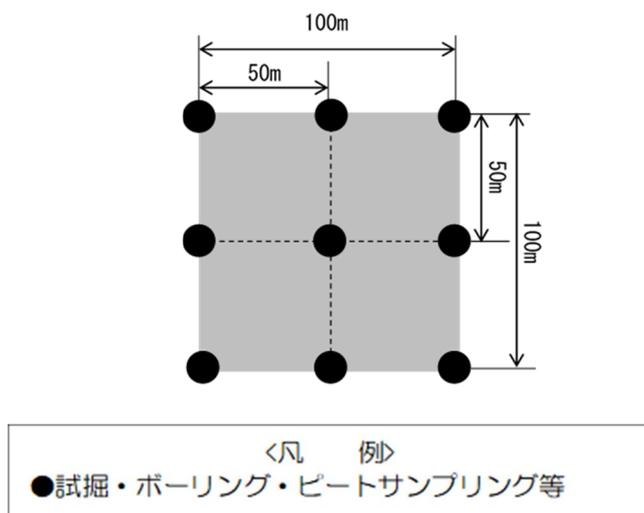


図-3.2 室内試験用試料の採取例

②配合試験

固化破碎土は、**図-3.3**に示すように、固化材混合量が多い場合、養生時間が長くなると強度は大きくなり強度の伸びも大きく、固化材混合量が少ない場合、養生時間が長くなっても強度は小さく強度の伸びも小さい。これを考慮して、配合試験を行う。配合試験の条件を次のとおりとする。

- ・ 固化材の種類：高炉 B 種、セメント系固化材、石灰、石灰系固化材などである。
- ・ 固化材量：5、10～20kg/m³ 程度の間隔で設定する。
- ・ 放置時間：7 日以上 ヤードの広さ、作業量 など（現場に応じて）を考慮して設定する。

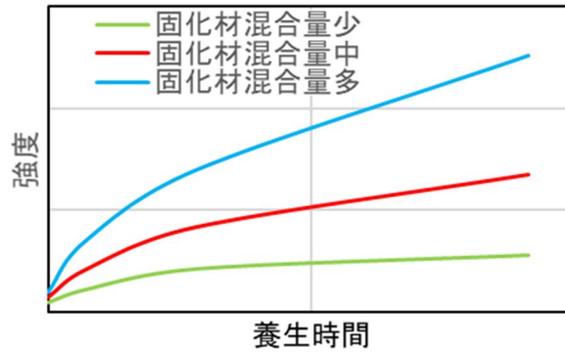


図-3.3 締固めた固化破碎土の養生時間と強度の関係例

参考資料2に放置時間と目標値を満足する固化材混合量を示す。

- ・強度：施工機械が走行できるコーン指数。北海道開発局では、締固め後の $qc \geq 400 \text{ kN/m}^2$ 以上
- ・締固め基準を満足すること。
- ・透水係数 k 10^{-5} m/sec 未満 (m/s) (90%密度における室内透水試験)
- ・六価クロム溶出試験：0.05(mg/l)以下

③使用する固化材および試験施工の配合の決定

室内配合試験により図-3.4に示すように、各固化材において目標強度を満足する配合量を求める。石灰以外の固化材では、六価クロム溶出量を求め、基準値以下であることを確認する。表-3.1に示すように最も経済的な固化材の種類を1つ決める。

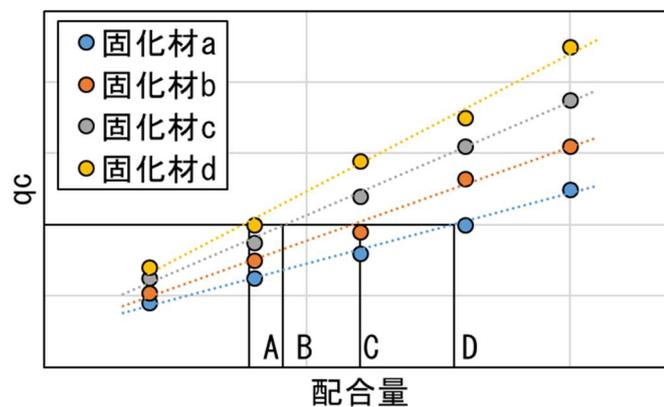


図-3.4 室内配合試験による配合量とコーン指数の関係

表-3.1 固化材の決定

	配合量	固化材単価	固化材費
固化材 a	A	I	A×I
固化材 b	B	II	B×II
固化材 c	C	III	C×III
固化材 d	D	IV	D×IV

固化材の配合量は原土の体積に対する固化材質量 (kg/m³)、もしくは原土の質量に対する固化材質量(%)で表記することが標準的であるが、両者の換算は原土を自然含水比での締固めた土のコーン指数試験を行ったときの湿潤密度で行うものとした。

室内配合試験に必要な試験項目と数量の概略を表-3.2 に示す。

表-3.2 室内配合試験に必要な試験項目と数量の概略

試験名	JIS
締固めた土のコーン指数試験	JIS A 1228
六価クロム溶出量試験	環境省告示

原土 1 試料、固化材 1 種類あたり

3.4 試験施工

試験施工は、本施工の配合および転圧方法や転圧機械などの施工方法を決定するために行う。

【解 説】

室内試験の結果で決定した固化材と使用する原土により固化材と原土の混合方法、固化破碎土の敷均し、転圧など本施工に使用する施工機械により試験施工を行う。

試験施工の配合は、室内試験で求めた配合を中心としてこれよりも多い配合、少ない配合のそれぞれ 2 配合ずつ計 5 配合とする。参考資料 3 にこれまで岩見沢河川事務所で実施してきた固化破碎土の室内と現場の配合を示す。

原土と固化材を混合し仮置き盛土を施工する。仮置き盛土には降雨による雨水が浸透しないように盛土表面をバケットで押さえつけて成形する。盛土の天端は雨水が溜まらないように勾配をつける。

室内配合試験と同じ放置時間で、仮置き盛土を破碎し固化破碎土を作製する。なお、放置時間を28日までの間で長くすることができれば固化材量を低減できる可能性があるため、十分な検討を行った上で放置時間を設定する（参考資料2）。

締固め度または飽和度・空気間隙率など、堤防盛土の品質管理方法を決定する。

現場の品質管理を締固め度により行う場合は、最大乾燥密度が原土の種類、固化材の種類、固化材量、放置時間によって異なる（参考資料4）ことから可能な限り現場の固化破碎土を採取して、締固め試験を行うことが望ましい。

図-3.5、写真-3.2に示すように各配合で転圧回数を変えて試験施工する。

転圧後に、品質を確保している転圧回数および配合を決定する。



図-3.5 試験施工の例



写真-3.2 試験施工状況の例

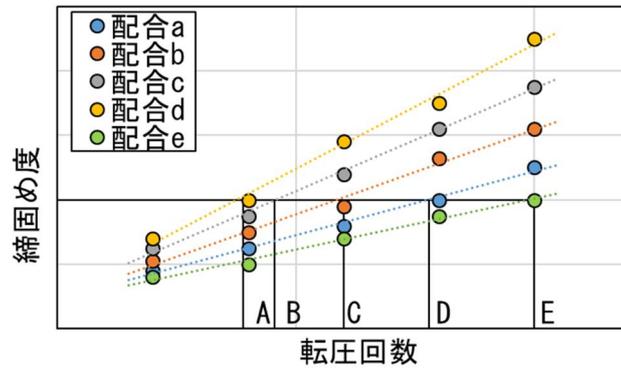


図-3.6 転圧回数と締固め度

例えば締固め度管理とする場合は、図-3.6のように転圧回数と締固め度の関係を求め、配合と転圧回数の組み合わせで、最も経済的となる施工方法を定める。ほとんどの場合、最も低い配合となる。

3.5 本施工

試験施工で決定した固化材と固化材混合量により原土と固化材を混合し、所定の放置時間後に破碎して固化破碎土を作製する。試験施工で求めた転圧機械と転圧方法により施工する。

【解説】

試験施工の結果をもとにして図-3.7に示すように本施工を行う。



図-3.7 本施工の流れ

固化破碎土とする原土を発生箇所から原土と固化材を混合するヤードに運搬する。固化材を混合した後、仮置き盛土とする。このとき、盛土の天端は雨水が浸透しないようにバックホウのバケットなどで成形する。また、雨水が天端でたまらないように勾配をつける。放置時間が確実に設定した日数以上であることを確認できるように、仮置き盛土とした日付を記載した簡易な看板を設置す

る。なお、破碎前の固化土のコーン指数と締め固めた固化破碎土のコーン指数の関係を参考資料5に示す。

3.6 品質管理

固化破碎土による河川堤防の品質管理は、締め固め基準を満たしていることを確認しながら行う。

【解 説】

盛土施工後、1.5 堤防材料として施工ができない材料について表-1.1 で規定した目標値を満足しているかを確認するため、河川堤防の品質管理を行う。締め固め管理は、現場密度を測定して行うが、「砂置換法（JIS A 1214）」、「RI 計器を用いた盛土の締め固め管理要領（案）」¹⁹⁾、「TS・GNSS を用いた盛土の締め固め管理要領」²⁰⁾、「衝撃加速度による方法」²¹⁾ のいずれかを実施する。



写真-3.3 締め固め度管理の方法の例

品質管理のうち飽和度・空気間隙率により盛土の品質を管理する場合、土粒子の密度により計算する。適用する土粒子密度の計算式を参考資料6に示す。

4 施工上の留意点

寒冷な時期の施工は、施工上の注意が必要である。

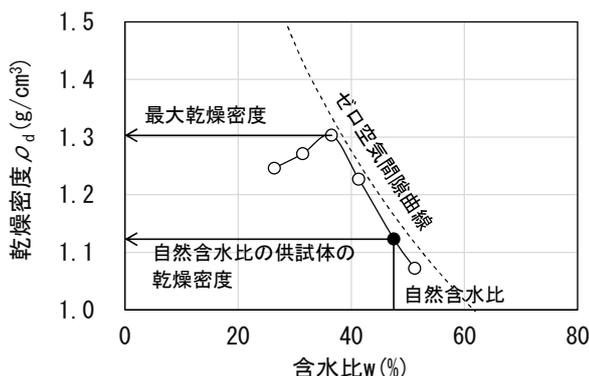
【解 説】

秋から冬にかけての施工では、雪の混入や、外気温が低くなり、固化土の強度発現が十分でなくなる場合がある（参考資料7）。気温が低くなる寒冷な時期の改良では、投入する固化材量の増加や、放置時間を長くするなどの検討が必要となる場合がある。

参考資料

1. 室内試験における締固め管理基準について²²⁾

本来、締固め度とは、盛土または河川堤防を施工した後の現場で測定した乾燥密度とその土砂の最大乾燥密度との比であるが、本手引きでは参図-1、参式-1に示すように、固化破碎土の締固め試験において、自然含水比の供試体の乾燥密度と最大乾燥密度の比を締固め度と仮定した。同様に固化破碎土の締固め試験において、自然含水比の供試体の飽和度、空気間隙率を算出した。



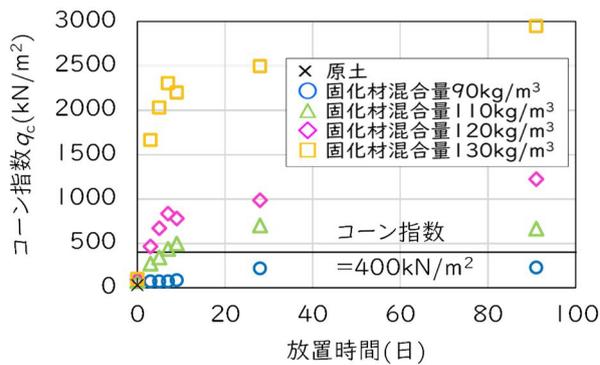
参図-1 室内試験における締固め度の定義

$$\text{締固め度 } D_c = \frac{\text{自然含水比の供試体の乾燥密度}}{\text{最大乾燥密度}} \quad \text{参式-1}$$

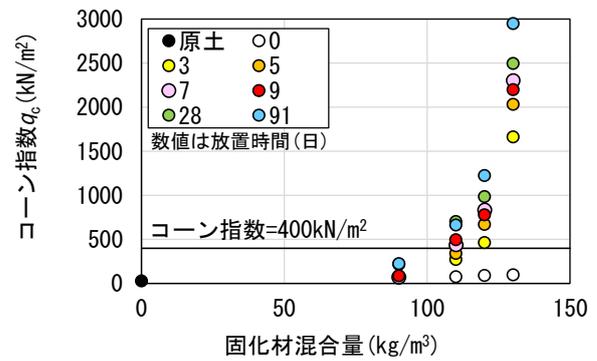
2. 放置時間と室内試験における目標値を満足する固化材混合量について²³⁾

(1) 放置時間とコーン指数 $q_c \geq 400 \text{ kN/m}^2$ を満足する固化材混合量

原土とセメント系固化材による固化破碎土の放置時間と締固め試験時の自然含水比の供試体のコーン指数の関係例を参図-2に示す。放置時間7日程度までは放置時間が長くなるとコーン指数は大きくなり、その後放置時間28日までは、緩やかにコーン指数は大きくなった。放置時間が28日を超えると、固化材混合量が 120 kg/m^3 、 130 kg/m^3 ではやや緩やかにコーン指数が大きくなったが、 90 kg/m^3 、 110 kg/m^3 ではコーン指数は大きくならなかった。また、同じ放置時間では、固化材混合量が多くなるほどコーン指数が大きくなった。この原土では、固化材混合量が 90 kg/m^3 では、放置時間91日までの間で目標コーン指数を満足できなかった。このデータを固化材混合量とコーン指数で整理し参図-3に示す。この図より、各放置時間についてコーン指数 $q_c = 400 \text{ kN/m}^2$ の前後の固化材混合量から比例配分して目標コーン指数 $q_c = 400 \text{ kN/m}^2$ となる固化材混合量を求め参図-4に示す。放置時間28日までは、放置時間が長くなるほど、目標コーン指数 $q_c = 400 \text{ kN/m}^2$ となる固化材混合量が少なくなる傾向が

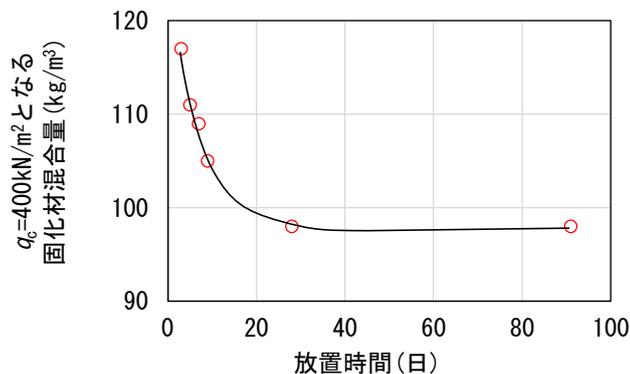


参図-2 固化破碎土の放置時間とコーン指数



参図-3 固化破碎土の固化材混合量とコーン指数

見られた。しかし、28 日以上放置時間を長くしても目標コーン指数 $q_c=400\text{kN/m}^2$ となる固化材混合量は少なくならなかった。この原土では、放置時間を長くすることにより目標コーン指数を満足することのできる固化材混合量を低減できる可能性があり、この放置時間は 28 日程度までである。



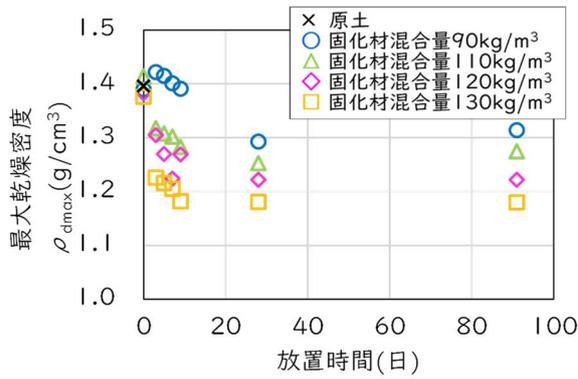
参図-4 固化破碎土の放置時間とコーン指数が 400kN/m² となる固化材混合量

(2) 放置時間と締固め度を満足する固化材混合量

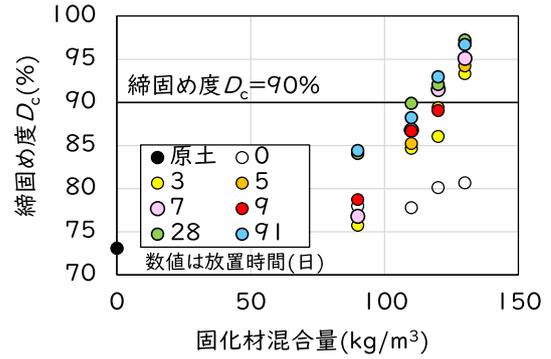
原土とセメント系固化材による固化破碎土の放置時間と最大乾燥密度の関係例を参図-5 に示す。いずれの固化材混合量でも放置時間 0 の固化破碎土の最大乾燥密度は原土の最大乾燥密度とほぼ等しかった。固化材混合量 90kg/m^3 の放置時間 0 日を除いて、固化破碎土の放置時間が長くなると最大乾燥密度は低くなった。また、固化破碎土の固化材混合量が多くなるほど最大乾燥密度が低くなった。

各固化破碎土の固化材混合量と締固め度の関係を参図-6 に示す。固化破碎土の締固め度は原土の締固め度よりも高くなり、固化破碎土とすることにより締固め効果が高い材料となった。全体の傾向として固化材混合量が多いほど、放置時間が長いほど締固め度が大きくなった。

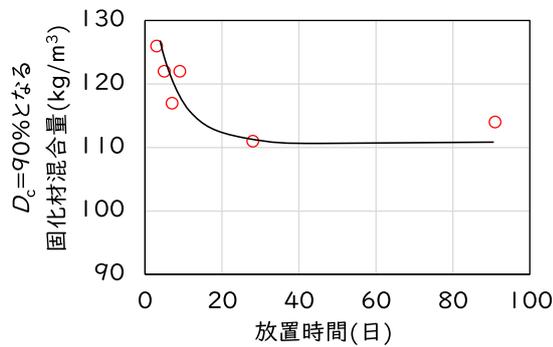
次にこの図より、各放置時間において締固め度 90%前後の固化材混合量を比例配分して締固め度 90%となる固化材混合量を求め参図-7 に示す。多少のばらつきはあるものの、放置時間が長くなると



参図-5 固化破碎土の放置時間と最大乾燥密度



参図-6 固化破碎土の固化材混合量と締固め度

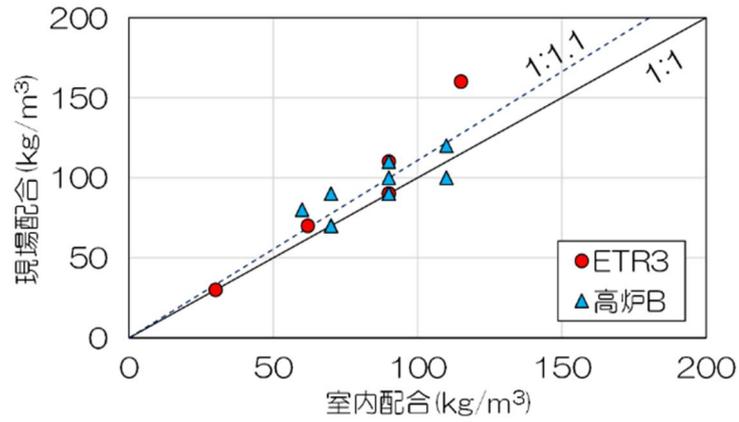


参図-7 固化破碎土の放置時間と締固め度 90%となる固化材混合量

締固め度 90%となる固化材混合量が少なくなり、放置時間 28 日で締固め度 90%となる固化材混合量が最低となった。放置時間 91 日は、28 日よりも固化材混合量が若干多くなった。この原土では、放置時間を 28 日まで長くすることにより目標締固め度を満足することのできる固化材混合量を低減できる可能性がある。

3. 室内と現場の配合

室内と現場の配合量の比較として岩見沢河川事務所で令和 4 年度以前に実施した固化破碎土の例を参図-8 に示す。固化材の種類や原土の種類にかかわらず、全体として、現場配合は室内配合の約 1 割増しの配合となっている。

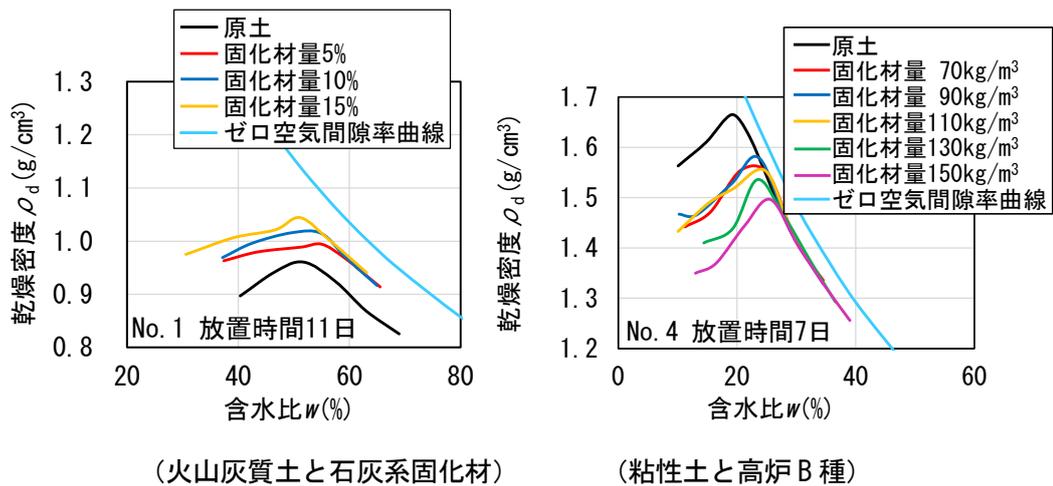


参図-8 室内配合試験と現場で実際に施工したとき配合の比較

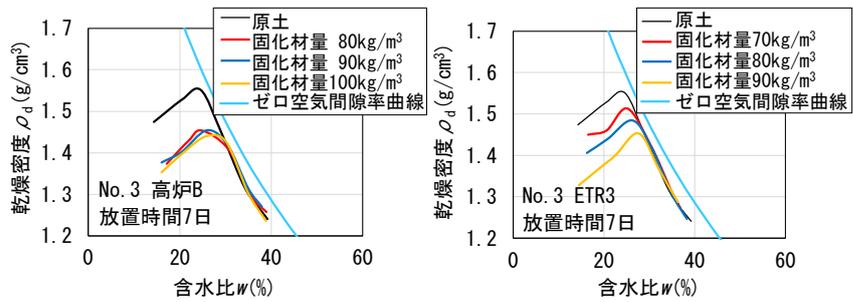
4. 固化破碎土の作製条件と締固め曲線^{23) 24)}

固化破碎土の締固め曲線を参図-9~11に示す。これらの図から次のことがいえる。

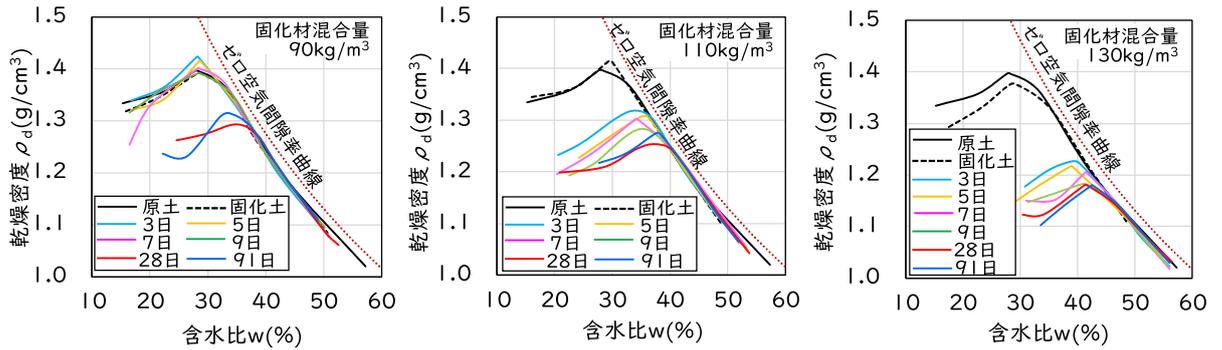
- ・参図-9より、固化破碎土の締固め曲線は、原土の種類や固化材量により異なる。
- ・参図-10より、固化破碎土の締固め曲線は固化材の種類により異なる。
- ・参図-11より、放置時間により、固化破碎土の最大乾燥密度は異なる。



参図-9 異なる原土による固化破碎土の締固め曲線の例



参図-10 固化材の種類を変えたときの固化破碎土の締め固め曲線の例

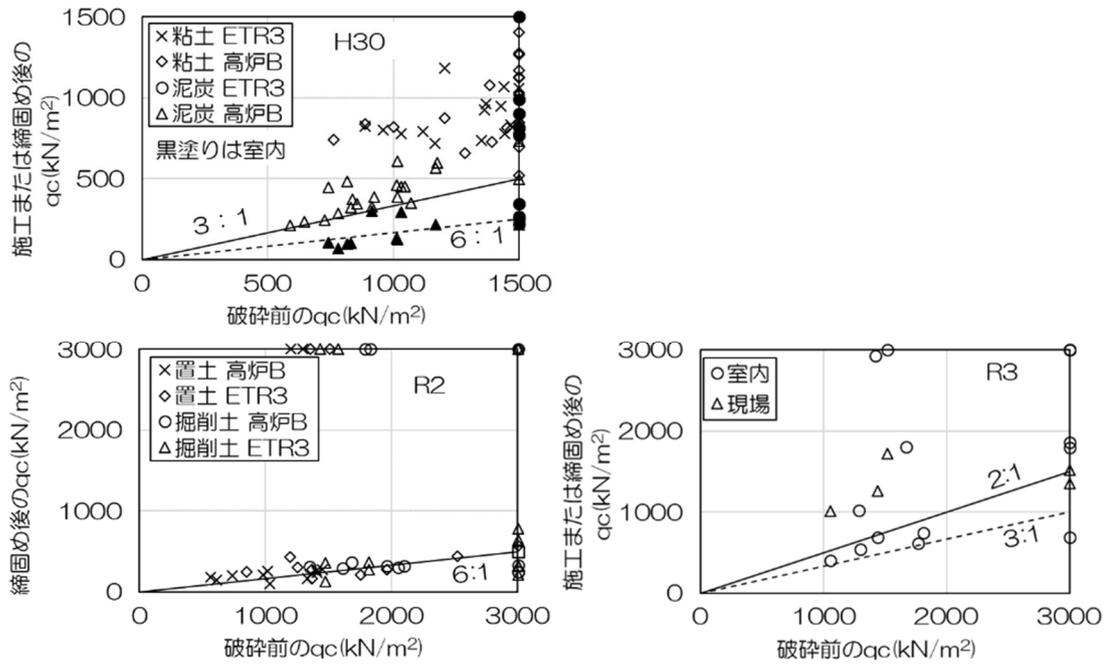


(粘性土とセメント系固化材)

参図-11 固化材混合量を変えたときの固化破碎土の締め固め曲線の例

5. 破碎前の固化土のコーン指数と締め固めた固化破碎土のコーン指数^{13) 23)}

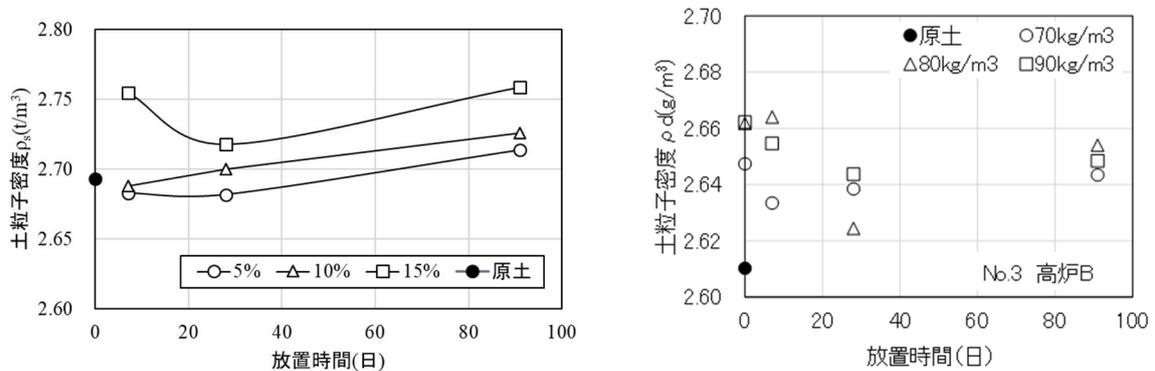
仮置き盛土の破碎前と固化破碎土の転圧後のコーン指数の関係の例を参図-12 に示す。破碎して締め固めたときのコーン指数は破碎前の1/2~1/3程度であり、目安として参考にされたい。



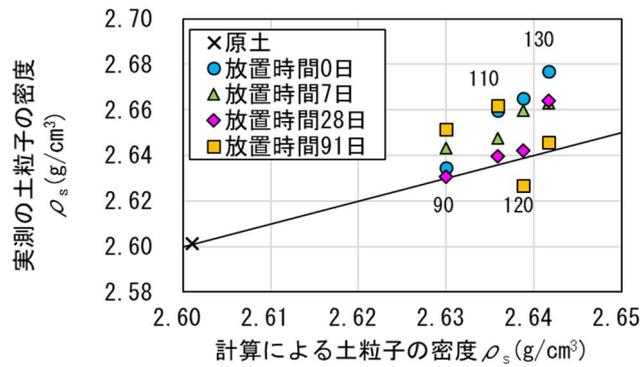
参図-12 仮置き盛土のコーン指数と破碎して締固めたときのコーン指数

6. 飽和度・空気間隙率の計算に用いる土粒子密度^{22) 27)}

参図-13 に原土と放置時間を変えた固化破碎土の土粒子密度を示す。固化材量が多くなると固化破碎土の土粒子密度は大きくなる傾向がある。放置時間と固化破碎土の土粒子密度の関係性は明確ではない。試験を行った固化破碎土の土粒子密度の最大値と最小値の差は 0.06g/m^3 程度である。



参図-13 固化破碎土の放置時間と土粒子密度



図中の数値は固化材混合量 (kg/m³)

参図-14 固化破碎土の土粒子密度

原土と固化材の比重から固化材を混合したときの土粒子密度を参式-3により算出し、固化破碎土の実測値と比較し参図-14に示す。この原土では、固化破碎土とすることにより土粒子の密度は大きくなり、固化材混合量が増えると土粒子の密度も大きくなる傾向が見られた。これは、固化材の比重が3.01であり、原土の土粒子の密度2.601よりも大きいことから、固化材混合量が多くなると固化破碎土の土粒子の密度が大きくなったためと考えられる。実測値の土粒子の密度はいずれの固化材混合量でも計算値よりも若干大きかったが、飽和度や空気間隙率の算出には大きく影響を与えないと考えられ、固化破碎土の飽和度や空気間隙率の計算は、参式-3に示す原土の土粒子の密度と固化材の比重から算出した土粒子の密度を用いてもよい。

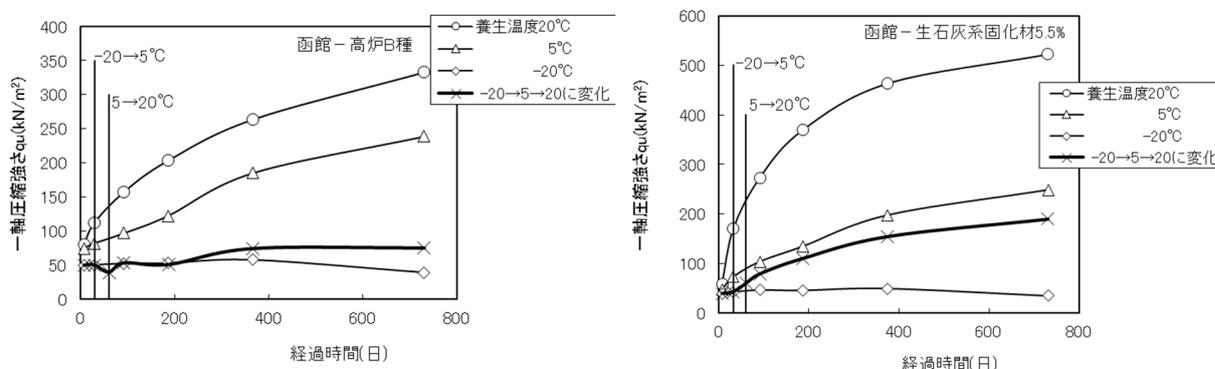
$$\text{固化破碎土の土粒子の密度} = \frac{\text{原土の重さ} + \text{固化材の重さ}}{\text{原土の体積} (\text{原土の重さ} / \text{土粒子の密度}) + \text{固化材の体積} (\text{固化材の重さ} / \text{固化材の比重})}$$

参式-3

7. 固化土の低温養生と強度発現²⁶⁾

低温養生での強度発現の例として、養生温度を20°C、5°C、-20°Cとしたときの養生時間と一軸圧縮強さの関係を参図-15に示す。図には、厳冬期に施工することを考慮して、養生温度を-20°Cで1か月、その後5°Cで1か月、その後20°Cとした場合も合わせて示す。20°C、5°Cで養生した場合、固化材の種類によって強度の現れ方は大きく異なり、養生温度が低いと一軸圧縮強さは小さい。高炉セメントB種では、はじめに養生温度を-20°Cとするとその後養生温度を高くしても強度はほとんど大き

くならない。石灰系固化材でもはじめに養生温度を-20℃とするとその後養生温度を高くしても強度は5℃で養生したときよりも大きくなる。マイナス気温での改良は寒冷的な気温とならないような対策をして行う必要がある。



参図-15 低温養生での強度発現の例

8. 締固めた固化破碎土の水浸による変状²⁸⁾

固化破碎土は、養生時間が長くなっても強度が著しく増加しないことを目的としている。そこで、締固めた固化破碎土を水浸して状況を確認した。参写真-1 は ETR3 を 225kg/m³ 混合し放置時間 28 日、養生時間 182 日の固化破碎土について一軸圧縮試験終了後に水浸して 1 か月経過したときの状況である。水浸により崩壊することにはなかった。他の締固めた固化破碎土でも水浸により崩壊することにはなかったことを確認した。

締固めた固化破碎土の水浸による変状確認



水に溶けない

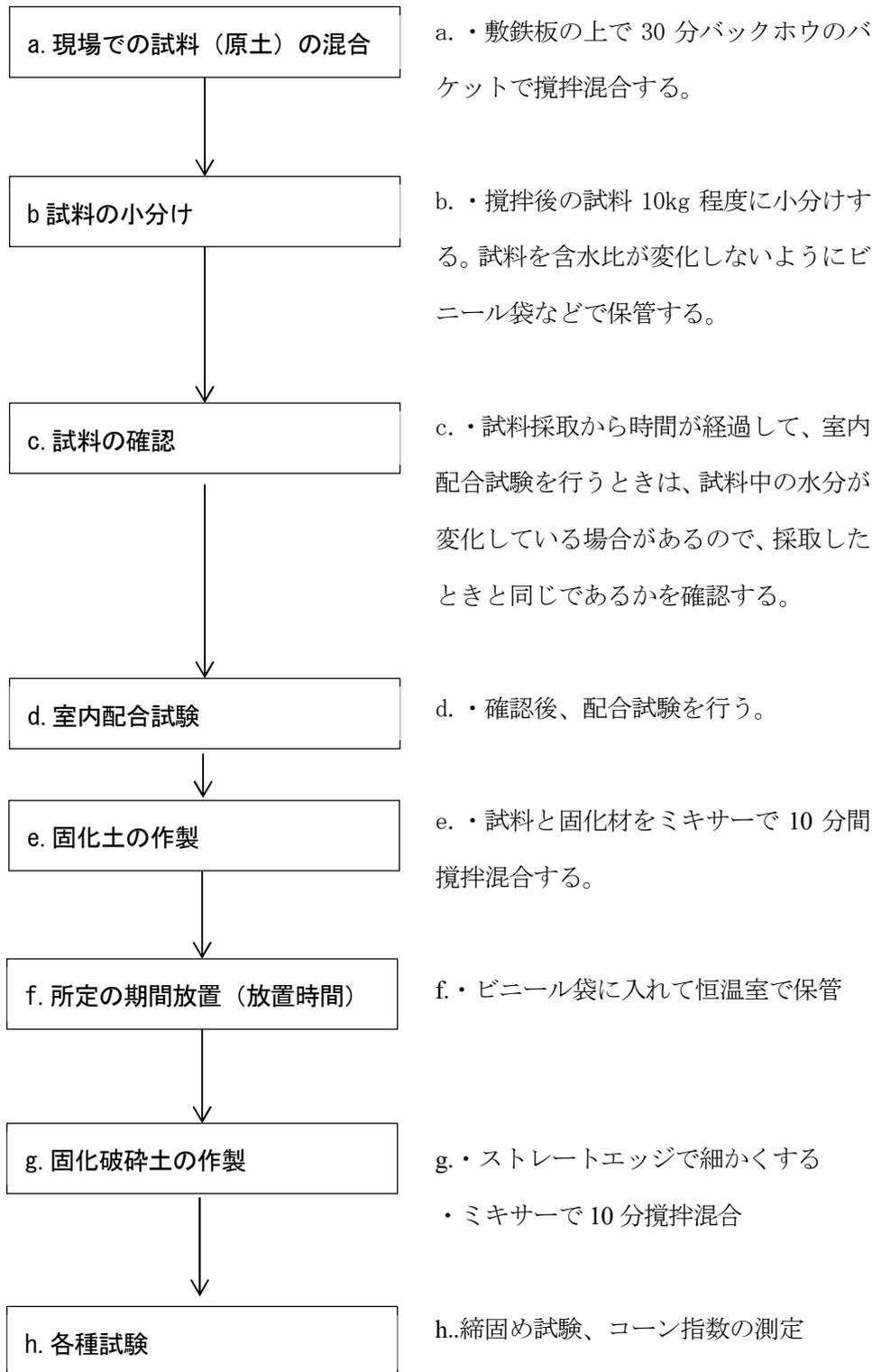


一軸圧縮試験後の供試体

参写真-1 固化破碎土の水浸状況

9. 室内配合試験における固化破碎土作製方法

室内配合試験に際して、原土および固化材混合のばらつきを抑制するために参図-16 にしたがう作業を行う。



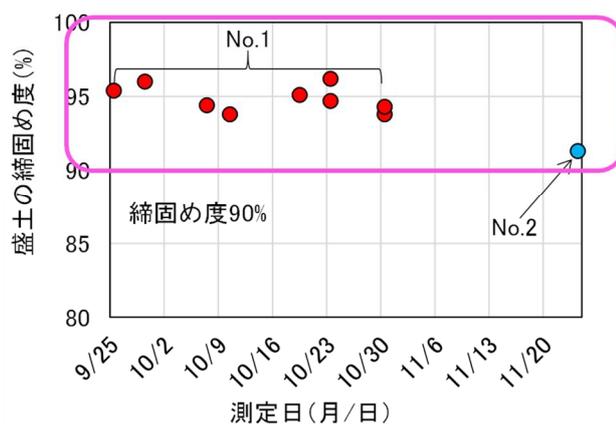
参図-16 室内配合試験における固化破碎土作製方法の流れ

・固化破砕土を作製するとき、原則として、4.75mm ふるいを通過させること。ただし、実際に原位置でできる固化破砕土が粗粒で、かつ4.75mm を超える粒子を含む大型供試体を試験できる環境がある場合はこの限りではない。

・各種試験を行う場合の供試体の密度は、原則として2.5kg ランマーによる標準締めエネルギーで締め固めたときの密度とする。

10. 試験施工例

令和2年度岩見沢河川事務所で実施した固化破砕土による堤防盛土の品質を参図-17に示す。この施工では、締め固め度により品質管理を行っていた。施工したすべての場所で締め固め度は基準値を上回っていた。



参図-17 現場の品質¹⁸⁾

参考文献

- 1) 田中大地、仲条元、岡田幸七：北村遊水地における堤防盛土材の改良工法について-固化破碎土による施工報告と今後の展望-、第 64 回北海道開発技術研究発表会、2021.
- 2) 片桐悠太、橋内英治、諸橋雅幸：北村遊水地における固化破碎土を用いた施工について、第 65 回北海道開発技術研究発表会、2022.
- 3) 中野龍己、鈴木利幸、渡邊一靖：北村遊水地における河道掘削土を活用した軟弱地盤上の堤防盛土について-真空圧密ドレーン工法と固化破碎土の併用-、第 66 回北海道開発技術研究発表会、2023.
- 4) 橋本嶺、鈴木利幸、渡邊一靖：北村遊水地における固化破碎土による堤防盛土について-固化破碎土のコスト縮減に向けて-、第 67 回北海道開発技術研究発表会、2024.
- 5) 財団法人国土技術研究センター：河川土工マニュアル、p.59、2009.
- 6) (社) 日本道路協会：道路土工要綱、p.287、2009.
- 7) 国土交通省北海道開発局：道路・河川工事仕様書、品質管理基準及び規格値、4-42、2024.
- 8) 財団法人国土技術研究センター：河川土工マニュアル、p.76、2009.
- 9) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所寒地基礎技術研究グループ寒地地盤チーム：北海道における不良土対策マニュアル、p.50、2013.
- 10) 国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所：泥炭性軟弱地盤対策マニュアル、p.101、2017.
- 11) 日本産業標準調査会：締固めた土のコーン指数試験方法、JIS A 1228、2020.
- 12) 佐藤厚子、林宏親、渡邊一靖、大森未音：固化破碎土による盛土の時間経過にともなう地盤工学的性質の変化、地盤工学会北海道支部技術報告集第 63 号、pp.131-136、2023.
- 13) 佐藤厚子、畠山乃、甲岡宏次、稲澤豊、永多朋紀、高橋秀彰、畠山潔芽：固化破碎土の作製条件と地盤工学的特性、地盤工学会北海道支部技術報告集第 60 号、pp.93-100、2020.
- 14) 佐藤厚子、林宏親、渡邊一靖、大森未音：固化破碎土の長期強度特性、令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会、III-102、2023.
- 15) 永多朋紀、稲澤豊、甲岡宏次：北村遊水地における堤防盛土材の改良工法について、第 63 回北海道開発技術研究発表会、pp.737-742、2020.
- 16) 佐藤厚子、畠山乃：固化破碎土の物性値・強度と作製条件との関係、第 14 回地盤改良シンポジウム、2020.
- 17) 日本産業標準調査会：土の透水試験方法、JIS A 1218、2020.
- 18) セメント及びセメント系固化材を使用した改良土の六価クロム溶出試験実施要領（案）
<https://www.mlit.go.jp/tec/kankyokurom/pdf/siken.pdf>

- 19) RI 計器を用いた盛土の締固め管理要領 (案)
https://www.qsr.mlit.go.jp/s_top/doboku/hikkei-kanri12.pdf
- 20) TS・GNSS を用いた盛土の締固め管理要領
<https://www1.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001612921.pdf>
- 21) 国土交通省北海道開発局：道路・河川工事仕様書、付表、4-42-47、2024.
- 22) 佐藤厚子、林宏親、渡邊一靖、大森未音：固化破碎土による河川堤防の品質管理に関する検討、地盤工学会北海道支部技術報告集第 64 号、pp.257-262、2024.
- 23) 佐藤厚子、畠山乃、仲条元：固化破碎土による北村遊水地の築堤工事例、地盤工学会北海道支部技術報告集第 61 号、pp.229-236、2021.
- 24) 舟根熙、高橋秀彰、西村聡、林昌一、畠山潔芽：盛土材料のセメント改良工法における品質評価に関する考察、地盤工学会北海道支部技術報告集第 62 号、pp.336-345、2022.
- 25) 佐藤厚子、林宏親、仲条元：固化破碎土の締固め特性、第 57 回地盤工学研究発表会、pp.22-3-2-01-22-3-2-01、p.11-6-4-05、2022.
- 26) 佐藤厚子、林宏親、渡邊一靖、大森未音：固化破碎土の放置時間と締固め特性、第 58 回地盤工学研究発表会、2023.
- 27) 佐藤厚子、久慈直之：固化破碎土の放置時間と土質工学的性質、第 13 回地盤改良シンポジウム、pp.415-418、2018.
- 28) 佐藤厚子、鈴木輝之、西本 聡：セメントおよび石灰改良土の発現強度に及ぼす養生温度の影響、地盤工学ジャーナル Vol. 3、No. 4、331-342、2008.
- 29) 佐藤厚子、守田穂人、畠山乃、林宏親、稲澤豊、渡邊信明、永多朋紀：泥炭を材料とする固化破碎土の放置時間と土質工学的性質、第 13 回環境地盤工学シンポジウム、2019.

固化破碎土による河川堤防施工の手引き（令和7年度版）執筆者

寒地土木研究所	寒地地盤チーム	上席研究員	山木 正彦
	同	主任研究員（前上席研究員）	林 宏親
	同	特任研究員	佐藤 厚子
北海道開発局	札幌開発建設部	特定治水事業対策官	稲垣 尚人
北海道開発局	札幌開発建設部 岩見沢河川事務所	調査課長	廣瀬 純司
	同	前調査課長	渡邊 一靖
北海道開発局	札幌開発建設部 岩見沢河川事務所	調査課治水専門官	山崎 智弘
	同	前計画課 専門官	大森 未音