

- ☆ NETIS登録番号 TH-020042-V
- ☆ NETISプラスデータベース AC-120001-V
- ☆ 建設技術審査証明 第2203号
- ☆ ARIC登録番号 0245



# 泥土リサイクル技術 ボンテラン工法

東北大学大学院環境科学研究科 教授 高橋弘

ボンテラン工法研究会

《民間技術交流会》

日時:平成27年6月18日(木)

場所:国土交通省 中部地方整備局 港湾空港部 丸の内庁舎 第1会議室

# 1. 従来の泥土処理方法

## 泥土とは？

建設汚泥



浚渫土砂



ため池底泥

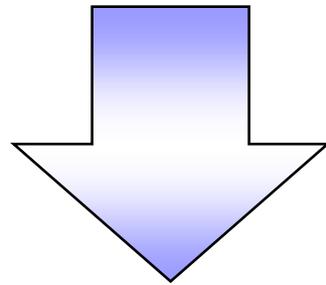


軟弱土砂



# 従来はどのように処理していたのか？

- 従来は、「泥土」を土砂処分場へ運搬し、排出者が処分費用を負担していた。
- 新たに山砂等を購入し、土木構造物を築造していた。



**極めて歪な  
公共工事の社会的問題**



**泥土発生**



**泥土運搬**



**土砂処分場へ委託処理**



**山砂の採取(購入土)**



**購入土で造られた堤防**



**購入土で造られた道路**

# 安定処理土とは？

泥土にセメントや石灰等の固化材を添加・混合し、  
強度発現させるための安定処理技術

改良直後の安定処理土



# 安定処理土のハンドリング性

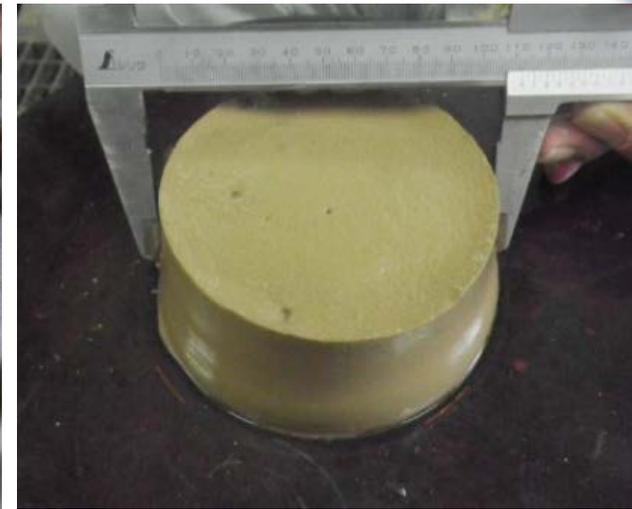
改良直後の安定処理土は、まだ液性状態であるため、ハンドリング性を改善するには大量の固化材が必要となる。



【原泥】  
改良前 W=80%



【セメント安定処理土】  
セメント系固化材  
50kg/m<sup>3</sup>  
→フロー値:210mm



【セメント安定処理土】  
セメント系固化材  
350kg/m<sup>3</sup>  
→フロー値:110mm

改良材費用:約4,750円

**安定処理土は、ハンドリング性を向上し、ダンプトラックで運搬するためには、広大な改良土の養生場所と日数が必要となる。**

**安定処理土の改良直後の状況**



**改良土養生ピット**



# 2. ボンテラン工法とは？

東北大学大学院環境科学研究科

高橋弘教授が開発した泥土リサイクル技術



# 高橋弘

厄介者の高含水泥土をどう処理するか  
古紙を再利用した「ボンテラン」で  
地盤造成と緑化への道

○環境科学研究科教授

高橋教授が、泥土に古紙化する「繊維質固化処理」のことでした。2000年「ボンテラン研究会」を結成し、や川などに堆積したヘドロで、ボンテラン改良し、地盤

ボンテラン工法の特徴は「破壊強度および破壊力強い」「乾湿繰り返しに耐性が高い」「耐震性がいい」などの優れた地盤工法のため、河川湖沼や海岸ではじめ、さまざまな地盤へるものです。

現在まで、全国で76の実績を残しています。

**従来、盛土としての利用が不適とされてきた泥土に、繊維質系泥土改良材「ボンファイバー」と固化材を添加・混合することにより、耐震性・耐久性に優れた高機能性地盤材料に再資源化する工法です。**



# 施工方法

① 泥土発生



② ボンファイバー添加・混合



③ 固化材添加・混合



④ 改良土即時搬出



### ⑤養生後、敷均し



### ⑥締固め



### ⑦地盤材料として再利用



# 再利用用途

路体盛土



造成盛土



堤体盛土

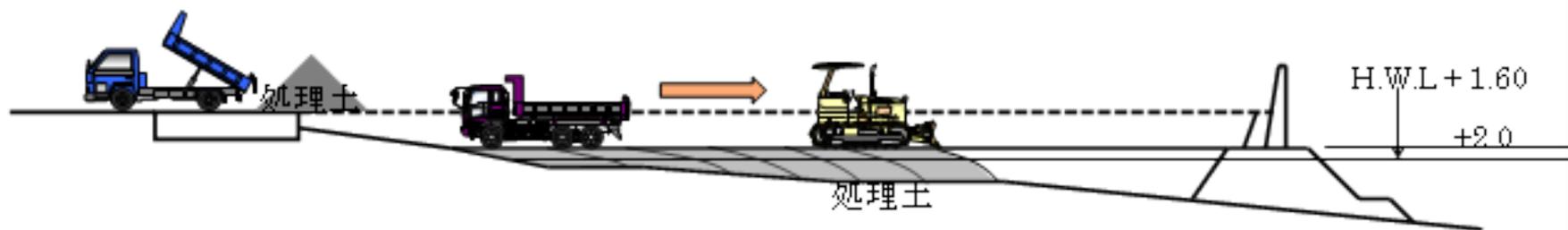


高規格堤防盛土



# 再利用用途（提案）

## 中仕切堤部の埋戻し材料として再利用



ブルドーザーによる処理土の押出施工状況イメージ

# 何を改善した技術なのか？



① 安定処理土の問題点であったハンドリング性を改善し、改良直後に改良土の即時搬出が可能。

安定処理土



セメント系固化材:  $50\text{kg}/\text{m}^3$

ボンテラン改良土



セメント系固化材:  $50\text{kg}/\text{m}^3$   
ボンファイバー:  $15\text{kg}/\text{m}^3$



**② 現場内で発生した泥土を盛土材として再利用するため、山砂等の購入土が不要。**





**③ 現場内で発生した泥土を盛土材として再利用するため、泥土の委託処理コストが不要。**



**④ 普通バックホウと攪拌アタッチメントのみで改良が可能のため、大掛かりな仮設設備が不要。**

### 3. 改良土の特長

#### 改良土の顕微鏡写真およびイメージ図

安定処理土



土粒子と土粒子が固化材の結晶により繋がっている

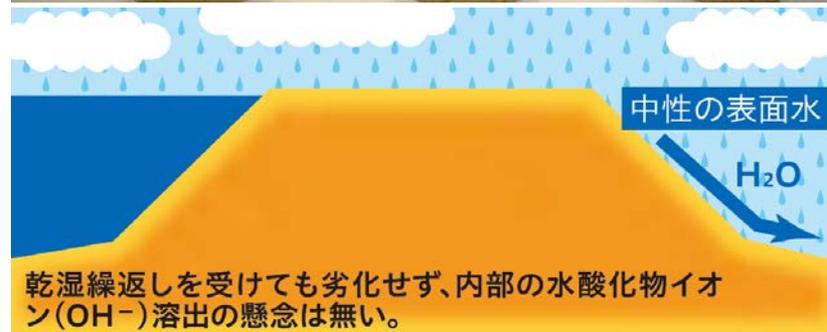
ボンテラン改良土



土粒子と土粒子に繊維が絡み合い固化材により繋がっている

# ① 乾湿繰返し試験

乾湿繰返し試験（40℃炉乾燥2日、20℃水浸1日）の結果、安定処理土はサイクルの進展に伴い、乾燥収縮により亀裂が発生して劣化するが、ボンテラン改良土は一切劣化せず、極めて高い耐久性を示すことを確認した。また、ボンテラン改良土はクラックが生じないために改良体内部からの長期にわたるアルカリ等の溶出懸念が無い。



## ② 水中不分離特性の検討

埋立て・裏込めに使用する際、改良土を所定の場所に投入して安定した地盤を構成する。そのために改良土の水中不分離特性について検討した。

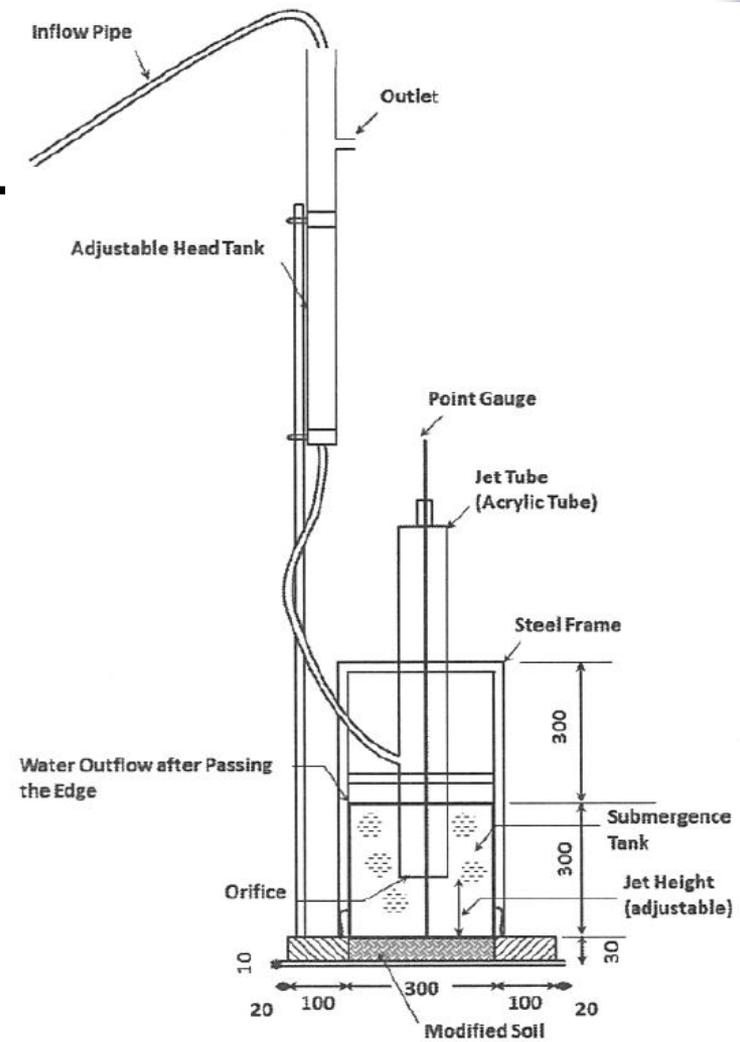
改良土を屋外で十分に養生し、乾燥した状態で水中に埋立てした直後の状況を模擬したものである。その結果、**安定処理土は供試体表面から剥離現象が表われ次第に崩壊するが、ボンテラン改良土は、まったく変化がなく、極めて高い水中不分離特性を示すことが確認された。**



### ③ 水中耐浸食特性

改良土を護岸背面土としての利用を想定した場合、海水の潮位差により発生する水流に長期間曝らされることによる耐浸食特性を評価する必要がある。

そこで、本研究ではHansonらが考案した水中噴流試験装置を用いて、経過時間に対する浸食量を測定し、限界せん断応力 ( $\tau_c$ ) と浸食係数 ( $K_d$ ) を算定して、土の浸食に対する脆弱性について検討した。



水中噴流試験装置の概要

浸食速度  $\varepsilon_{\tau}$  は式-1 に示すように、作用するせん断応力の限界せん断応力に対する超過度に比例すると考える。

$$\varepsilon_{\tau} = K_d (\tau_e - \tau_c) \quad \dots \text{式- (1)}$$

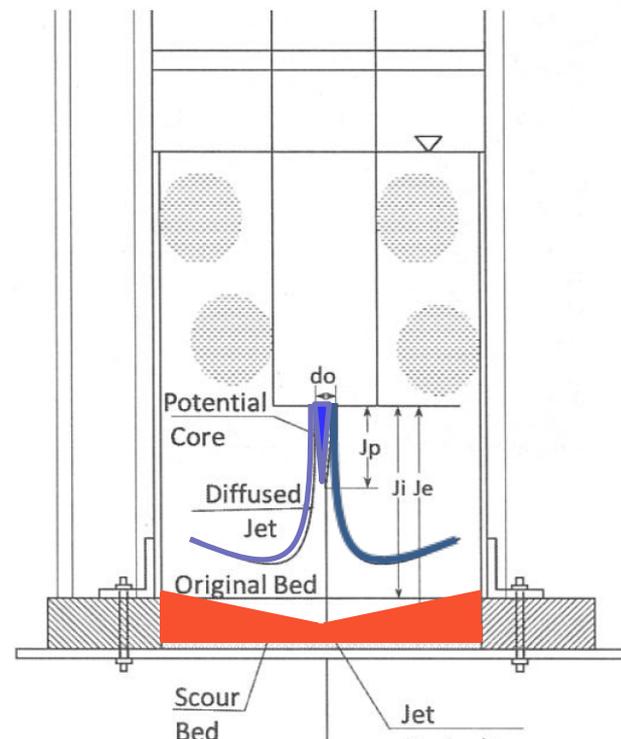
ここに、

$\varepsilon_{\tau}$  : 浸食速度

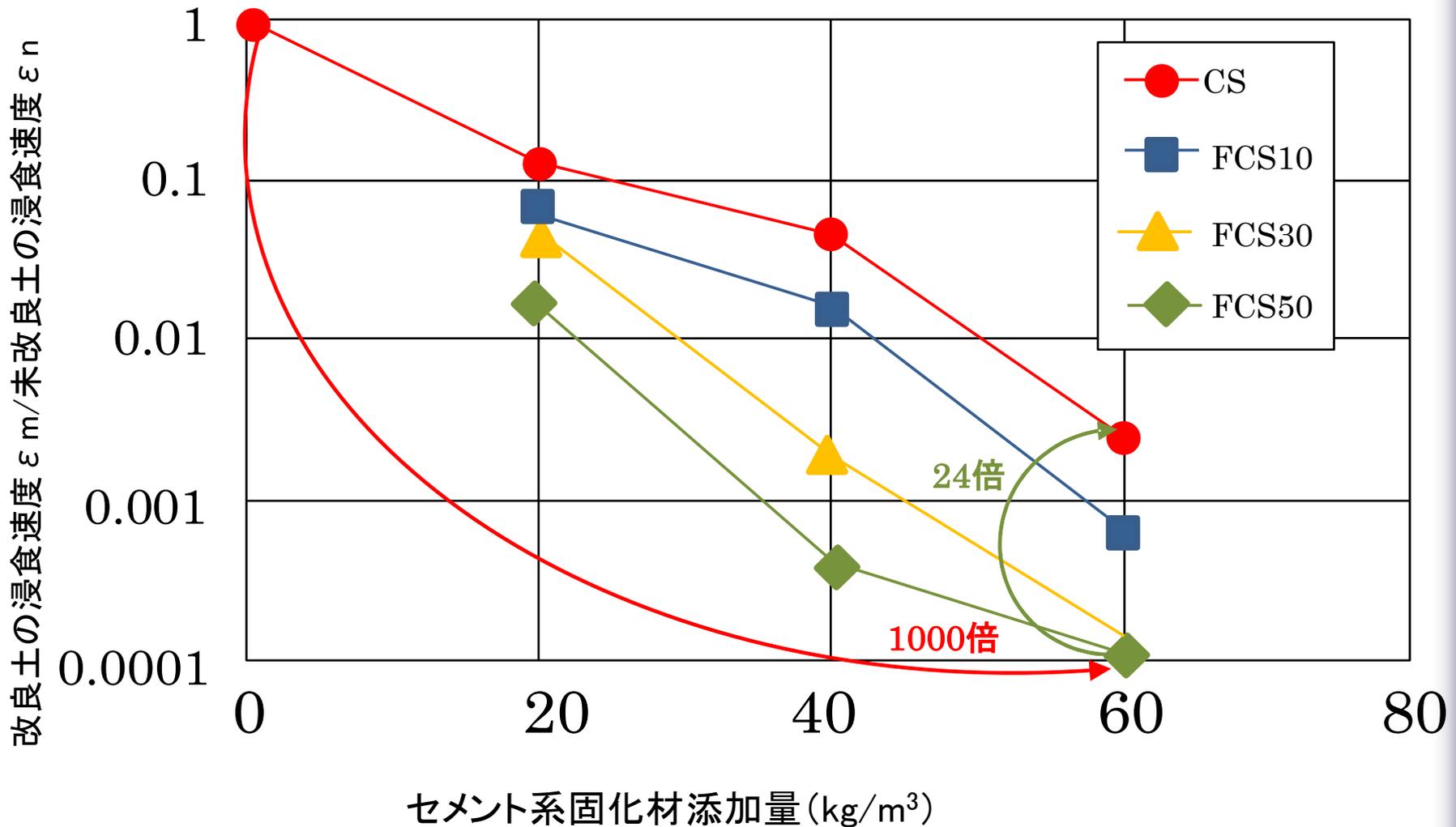
$K_d$  : 浸食係数

$\tau_e$  : 地盤表面における噴流の有効せん断応力

$\tau_c$  : 地盤の浸食が生じる限界せん断応力



試験装置底部構造図



CSは安定処理土を、FCSはボンテラン改良土を示し、FCSの後の数字はボンファイバーの添加量を示す。

ボンテラン改良土は未改良土に対して約1000倍の耐浸食性を有し、安定処理土に対して24倍といった極めて高い耐侵食性を有していることが確認された。

# 施工事例

工事名：市街地水空間整備事業芳賀池地区造成工事

発注者：郡山市農地林務課

概要：ため池に堆積したヘドロの悪臭に周辺住民から多くの苦情が寄せられており、ヘドロの処分地の確保、運搬時の騒音・振動問題、膨大な事業費用等の解決策として本工法が採用され、改良土は親水公園の盛土材として再利用した。施工後約1年は直接水に接する状態であったが、乾湿繰返し耐久性、水中不分離性、耐浸食性によりガリ浸食等の被害は一切見られなかった。



## ④ 強度特性（圧密排水三軸圧縮試験）

- 粘着力については、ケースB-2を除き90kN/m<sup>2</sup>以上の強度発現が確認された。
- 内部摩擦角については、何れのケースも30°以上確保できた。
- ボンテラン改良土の応力-ひずみ曲線は、軸ひずみ15%までの範囲では明確なピークを示さない。
- ボンテラン改良土は良好な粘性土又は良く締まった砂質土と同程度のせん断強度を同時に有する構造資材に改良しうることが確認できた。

	ケースNo.	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3
材 料	初期含水比 $W_0$ [%]	105			150		
	固化材添加量 [kg/m <sup>3</sup> ]	40	60	80	80	100	120
	古紙添加量 [kg/m <sup>3</sup> ]	50			65		
せん 断	粘着力 $C_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]	93.6	113	91.7	99.5	59.3	98.1
	内部摩擦角 $\phi_d$ [°]	32.4	36.4	41.6	33.1	41.3	36.8

## ⑤ ボンテラン改良土の液状化抵抗率

$F_L$  法とは、液状化に対する抵抗力と地震力の強さとを比較し、液状化に対する抵抗率( $F_L$  値)を求める手法である。

液状化に対する抵抗率 $F_L$ を次式により算出し、この値が**1.0以下**の土層については液状化すると見なされる。

$$F_L = R/L$$

$F_L$ : 液状化に対する抵抗率

R: 動的せん断強度比(繰返し三軸試験)

L: 地震時せん断応力比



繰返し三軸試験機

## 繰返し三軸試験からの液状化抵抗率

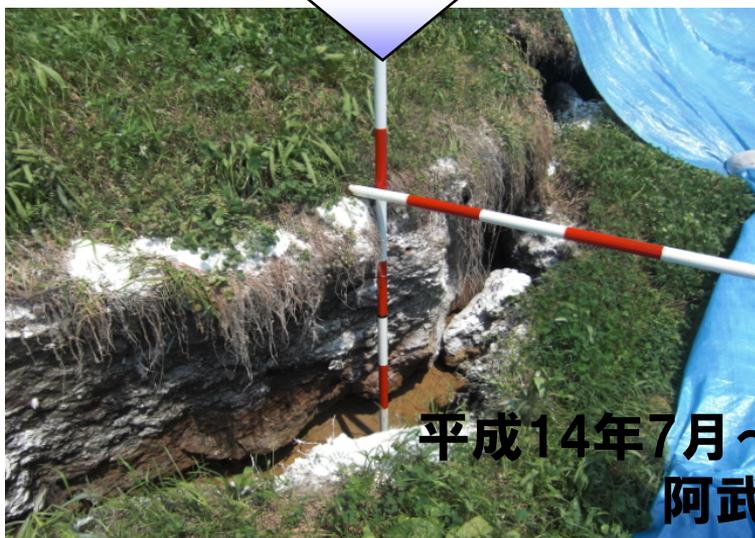
S市で採取した砂質土（津波堆積物）とその砂質土を改良したボンテラン改良土の液状化抵抗率を検討するため、「土の液状化強度特性を求めるための繰返し非排水三軸試験」を実施した。

その結果、砂質土の液状化抵抗率は $F_L=0.12$ であるのに対し、ボンテラン改良土は $F_L=1.5$ であり、砂質土の13倍の液状化抵抗率 $F_L$ を確認した。

	砂質土	ボンテラン改良土
液状化抵抗率 $F_L$	0.12	1.50
液状化判定	×	○

震度6強を観測した福島県須賀川市の浜尾遊水地では、山砂(購入土)を用いて施工した堤防が液状化によるせん断破壊やクラックが発生した。

一方、ボンテラン改良土を用いた堤防(現地のヘドロを再利用)は、被害が確認されず、地震対策用地盤材料としての有効性が実証された。



# 国土交通省 関東地方整備局

## 平成23年度建設技術フォーラム

### 東日本大震災で効果を発揮した技術に選定(6技術)

#### 【東日本大震災で効果を発揮した技術】

Geo-KONG工法[KT-990271-A] (株)鴻池組)

締固め砕石ドレーン工法[KT-980473-A](株)鴻池組)

**ボンテラン工法[TH-020042-V](ボンテラン工法研究会)**

2段タイ材地下施工法[THK-090001-A](株)大林組)

ピア-リフレ工法[KT-060074-V](オリエンタル白石(株))

延長床版システムプレキャスト工法[KT-090058-A](株)ガイアートT・K)

全国のボンテラン工法採用件数:356件(平成24年度末集計)

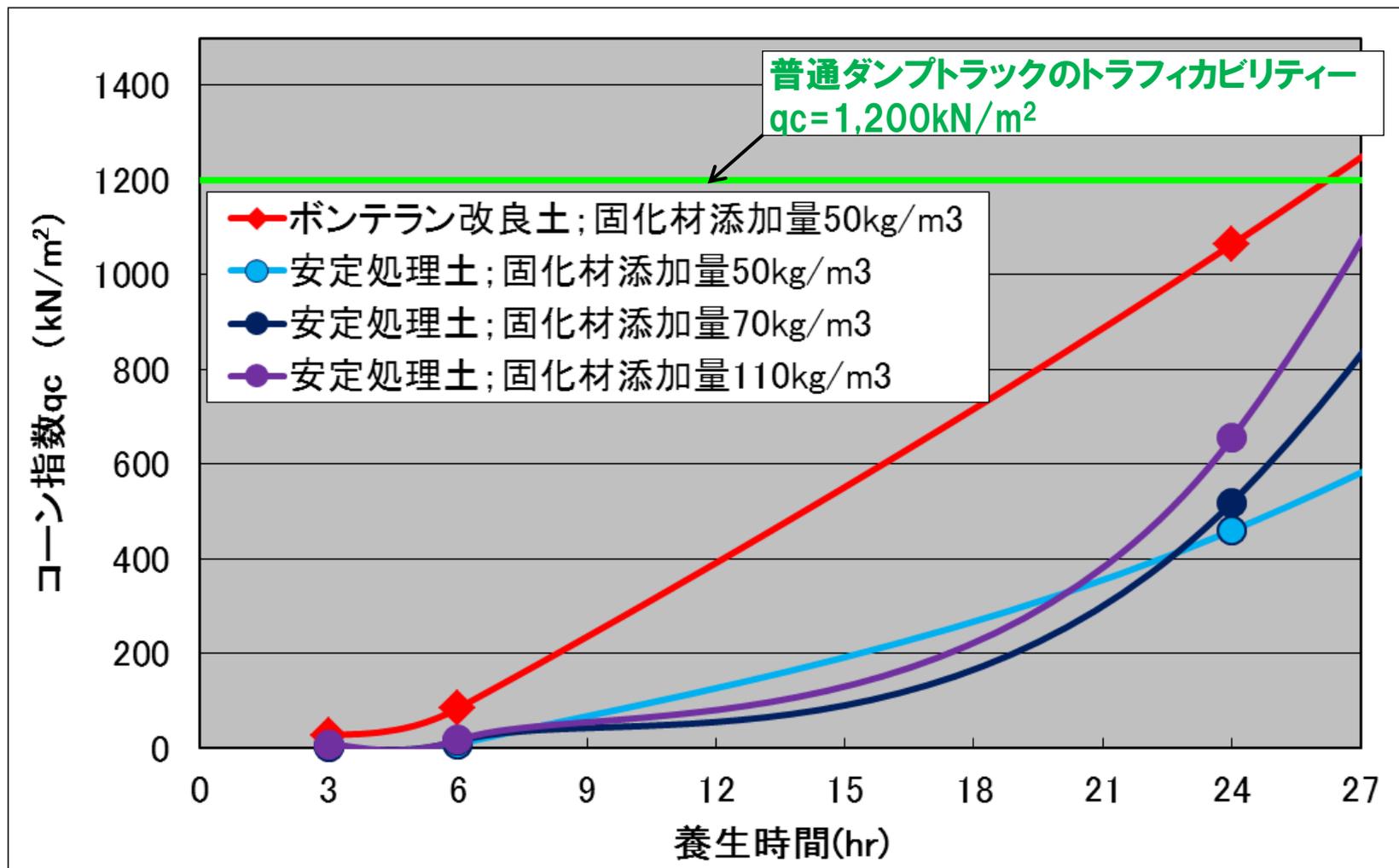
## ⑥ 初期材齢における強度発現

改良土の初期材齢における強度発現を確認するために、ボンテラン改良土と安定処理土の比較した。試験方法としては締固めをしない供試体作成方法により供試体を作成し、所定の養生時間後にコーン指数を確認した。

モールド：φ 10cm×12.7cm

養生時間：3時間、6時間、24時間

# 養生時間とコーン指数の関係



ボンテラン改良土と安定処理土の養生時間とコーン指数の関係

## ⑦ 施工性(オーバーコンパクション)

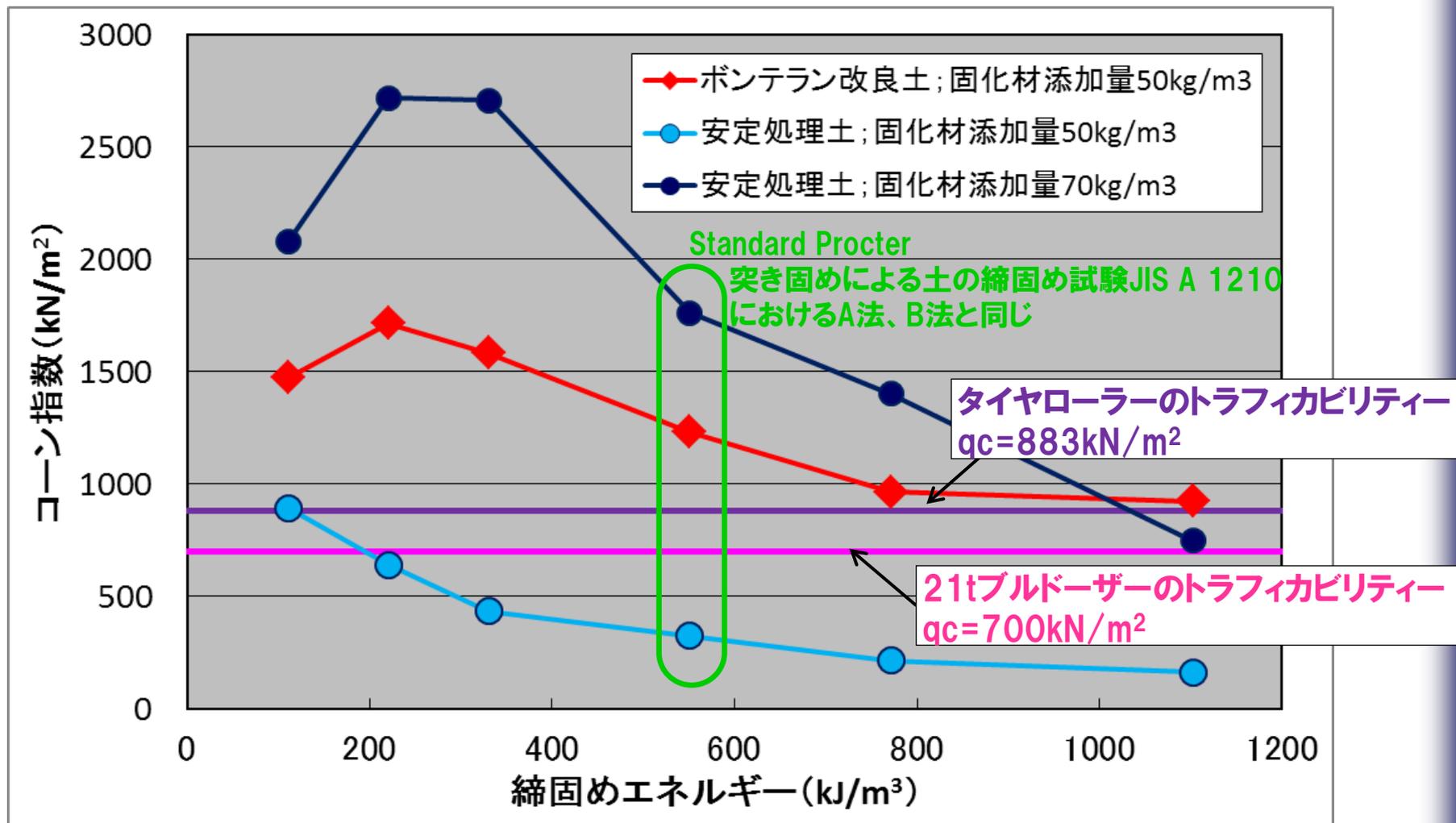
安定処理土は固化材による化学的な固結構造による強度発現であるため、締固めにより固結構造が壊れてしまうとオーバーコンパクションになり強度低下してしまうことが知られている。

そこで、ボンテラン改良土と安定処理土の比較として、養生7日後に解きほぐしを行い、締固めエネルギーを変化させてコーン指数を確認した。

モールド:  $\phi$  10cm $\times$ 12.7cm、ランマー: 2.5kg

締固め回数: 5回(110kJ/m<sup>3</sup>)、10回(220kJ/m<sup>3</sup>)、  
15回(331kJ/m<sup>3</sup>)、25回(551kJ/m<sup>3</sup>)、  
35回(772kJ/m<sup>3</sup>)、50回(1103kJ/m<sup>3</sup>)

# 締固めエネルギーとコーン指数の関係



締固めエネルギーとコーン指数の関係



**安定処理土の  
オーバーコンパクション状況**



**ボンテラン改良土の  
締固め状況**

# 迅速な災害復旧に貢献

平成16年、新潟県中越地震による新潟県旧山古志村芋川被災状況



工事名 : 芋川河道閉塞緊急対策工事

発注者 : 国土交通省北陸地方整備局湯沢砂防事務所

施工前全景



現状土(含水比約100%)



土砂災害現場では大型重機の使用が不可欠であるが、泥土が邪魔になり重機が現場に入り込めず復旧工事の妨げになる場合が多い。このように**泥土を如何に処理し、現場までのアクセス道路を確保するかが迅速な災害復旧において極めて重要な課題となる。**

## ボンファイバー攪拌状況



## セメント系固化材攪拌状況

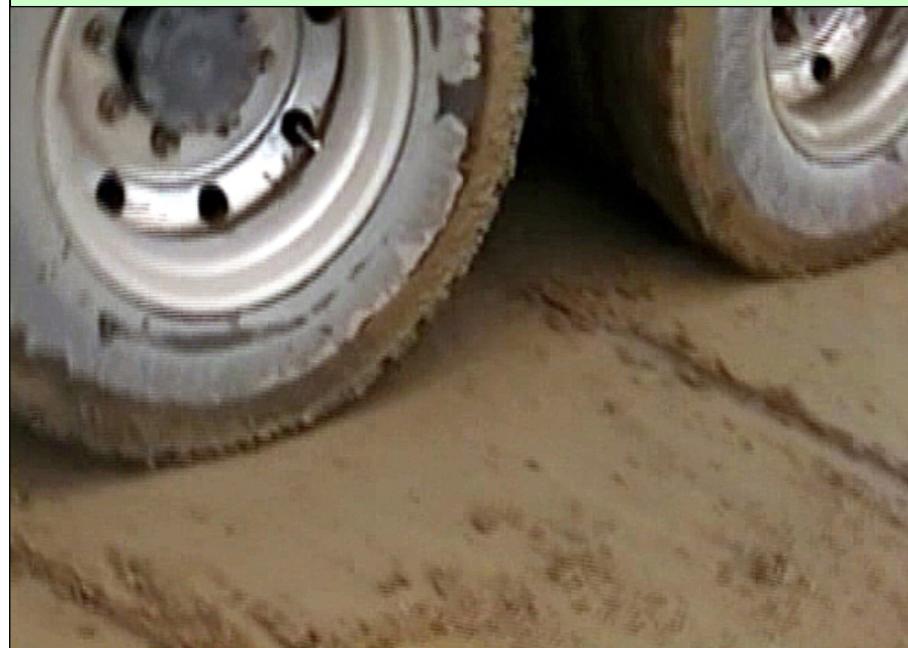


本工法では、攪拌機付きバックホウとボンファイバーおよび固化材等の改良材を現地に搬入するだけで原位置で改良が可能である。広大な敷地や特殊装置が不要となり、大幅なコスト削減が可能となる。

## 改良施工箇所全景



## ダンプトラックが乗上げ可能



改良土は資材運搬路・仮設ヤード・国道291号迂回路に再利用された。この現場では初期材齢の強度発現や施工性等の特長を生かし、転圧後すぐにダンプトラックが乗り上げ可能となり、迅速な災害復旧工事に大きく貢献した。

# 災害現場で発生した泥土を改良し、 仮設橋の橋台に再資源化した事例

## 改良土の締固め



## 橋台盛土部完成



## 橋桁設置状況



## 仮設栈橋完成



# 4. 施工事例

工事名：一日市地区他築堤工事

発注者：国土交通省近畿地方整備局  
豊岡河川国道事務所

工期：平成20年7月～平成22年3月

改質量：17,000m<sup>3</sup>

## 【工事概要】

- CDM工法による地盤改良
- 当初、残土受入施設に残土処分予定
- 残土運搬による近隣の交通渋滞、CO<sub>2</sub>発生抑制のため本工法採用
- 改良土を築堤材として再利用



工事名：高城川護岸工事（その2・その3）

発注者：宮城県

工期：平成26年11月～平成27年3月

改質量：34,000m<sup>3</sup>

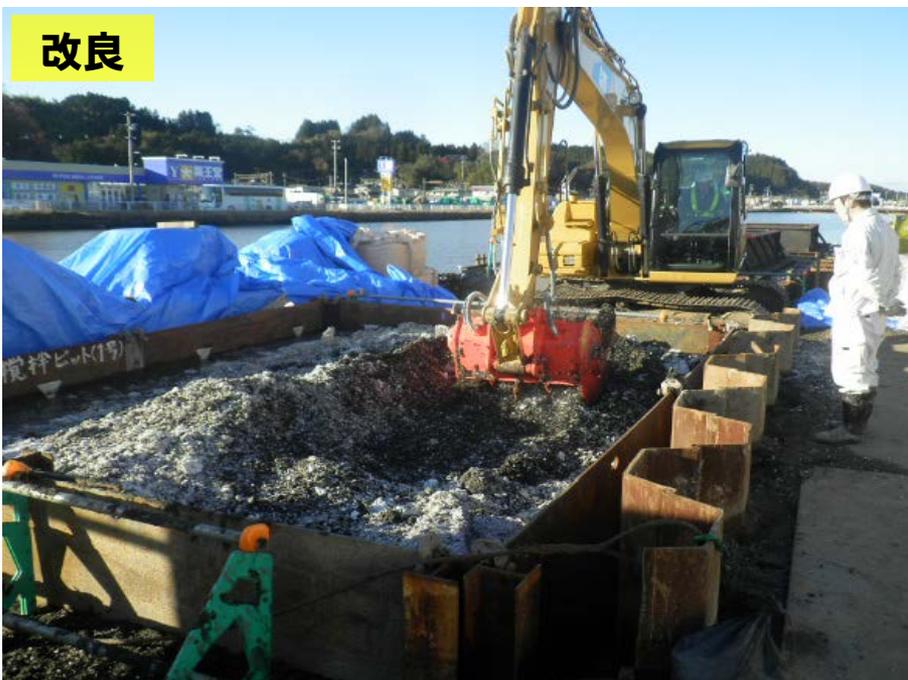
### 【工事概要】

- 津波堆積物が河川に流入し、河道閉塞
- 津波堆積物の再資源化技術として本工法が採用
- 改良土を築堤材として再利用

### 津波堆積物 掘削



### 改良



### 築堤材として再利用



工事名：平成24年度 砂押川河道掘削工事  
発注者：宮城県  
工期：平成24年11月～平成25年3月  
改良量：24,500m<sup>3</sup>

### 【工事概要】

- 宮城県多賀城市 二級河川「砂押川」
- 津波堆積物 船舶航行に支障
- 発注者指定工法として採用
- 改良土を築堤材に再利用

### 津波堆積物 掘削



### 改良



### 築堤材として再利用

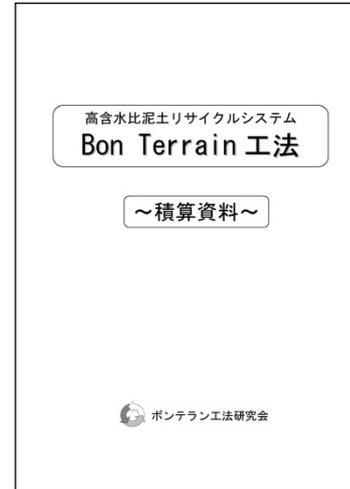


# 5. 当研究会の取り組み

## ① 配合試験の実施(無償)



## ② 積算業務(無償)



## ③ 各展示会への出展



## ④ 現場での施工指導



本工法についてご不明な点がございましたら、  
お気軽に当研究会までお問い合わせ下さい。

**ボンテラン工法研究会事務局**

〒996-0071山形県新庄市小田島町7-36

TEL:0233-32-0022

FAX:0233-22-0932

E-mail: [info@bonterrain.jp](mailto:info@bonterrain.jp)

URL: <http://bonterrain.jp/>

ご静聴ありがとうございました。