

- ☆ 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

# 1. ボンテラン工法とは

従来、再資源化が不適とされてきた浚渫土砂や軟弱土等の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、**ハンドリング性・施工性を向上させ、迅速な災害復旧に貢献し、優れた強度特性・高耐久性等の機能を付加し、これらを積極的に地盤材料に再資源化する工法です。**



ボンファイバー

# 対象泥土

建設汚泥



地盤改良工事

浚渫土砂



河川や港湾等の浚渫工事

ため池底泥



ため池修繕工事

軟弱土砂



地震や集中豪雨による土砂崩れ

## 2. 施工手順

必要な設備は、  
攪拌槽・バックホウ・攪拌アタッチメントのみ

① 泥土の状態



② ポンファイバー投入



③ 固化材投入



④ 敷均し



⑤ 締め固め



⑥ 完成



# 再利用用途



### 3. 何を改善した技術なのか

- ① 広大な敷地と水切り・天日乾燥に必要な工程が不要となり、大幅な工期の短縮が可能となる。



- ② 簡易な装置で泥土の改良が可能となり、大型装置の設置が不要となり、コスト削減が可能となる。



- ③ 安定処理土は混合直後のハンドリング性に問題があり、事前に何らかの施工上の工夫・対策が必要となる。一方、本工法は繊維質系泥土改良材を混合することで改良直後のハンドリング性が向上し、大幅な工期の短縮が可能となる。



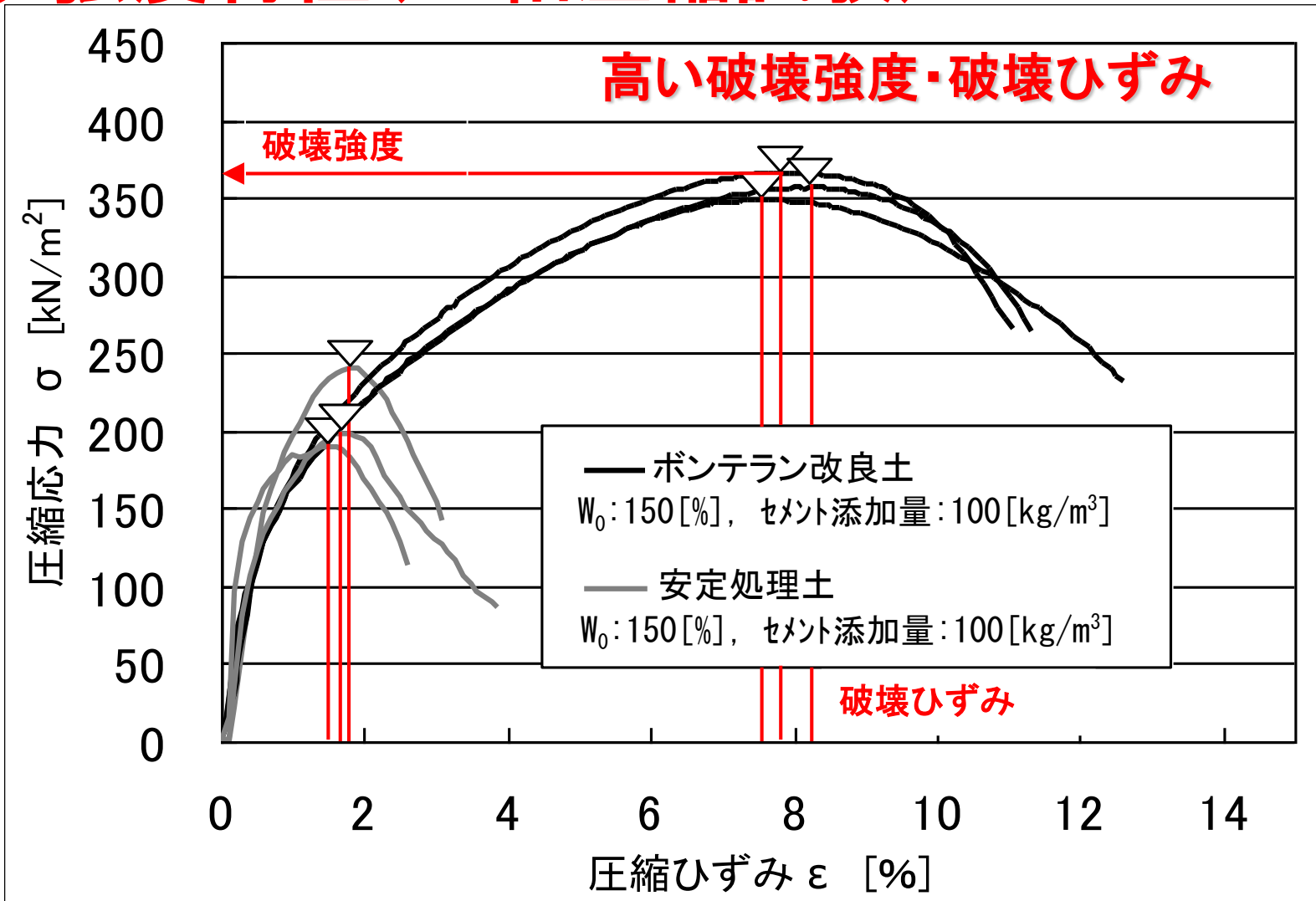
安定処理土による改良直後の状況



ボンテラン工法による改良直後の状況

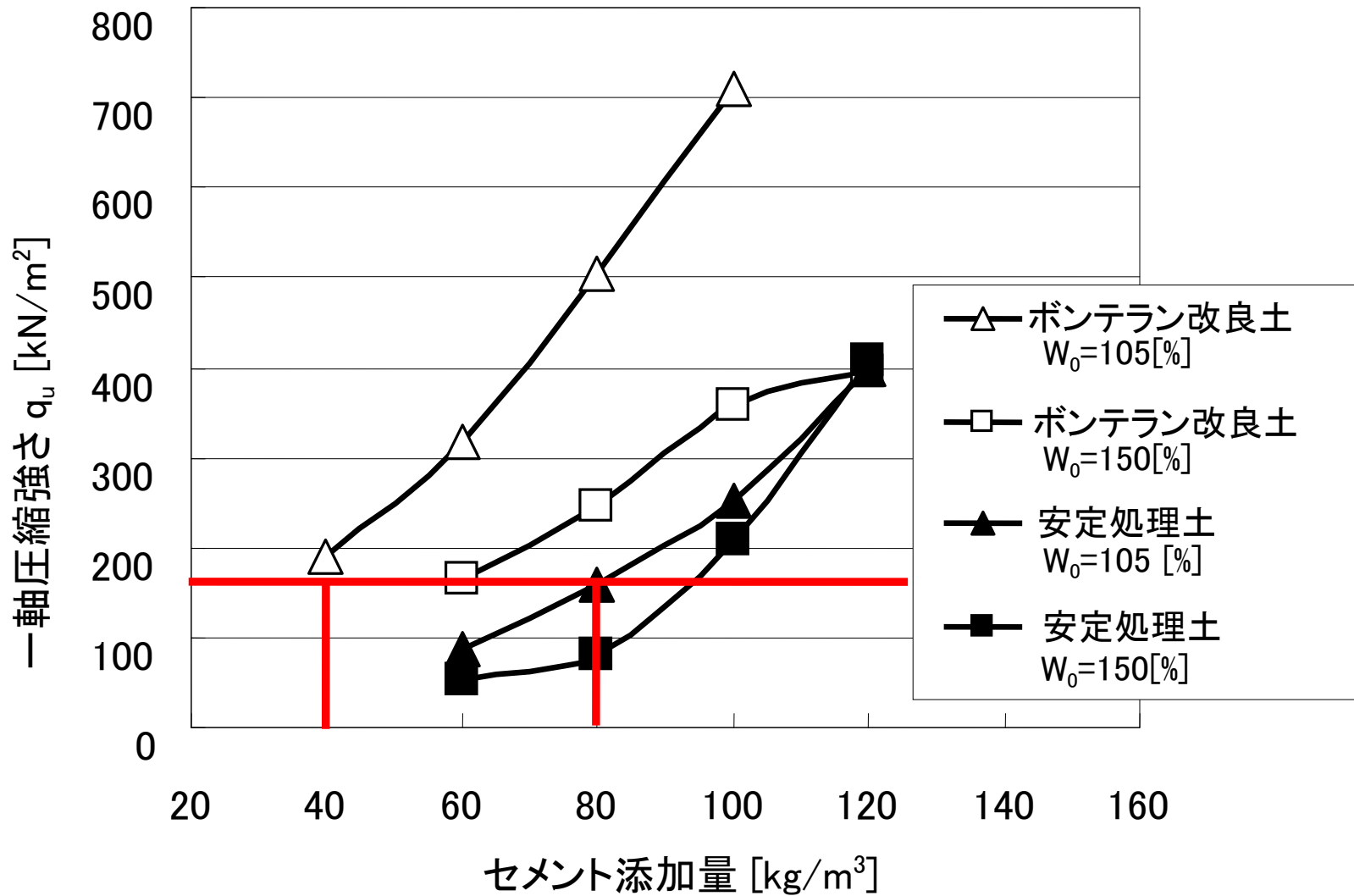
# 4. 改良土の特長

## ① 強度特性(一軸圧縮試験)



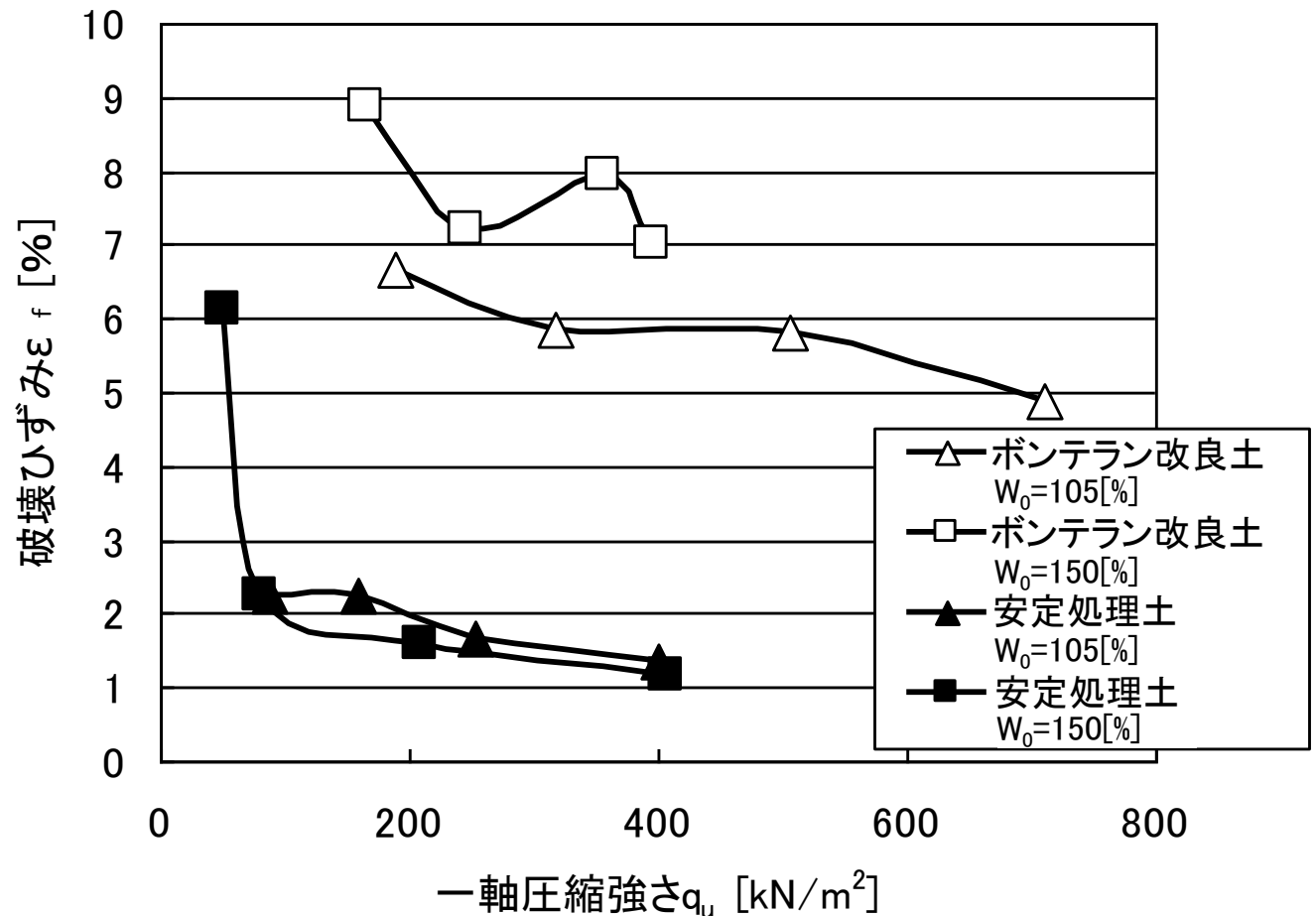
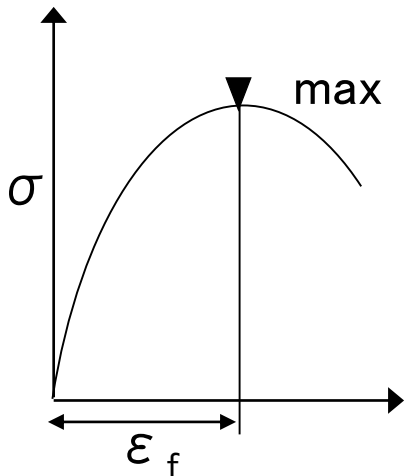


# ボンテラン改良土の発現強度(養生28日)



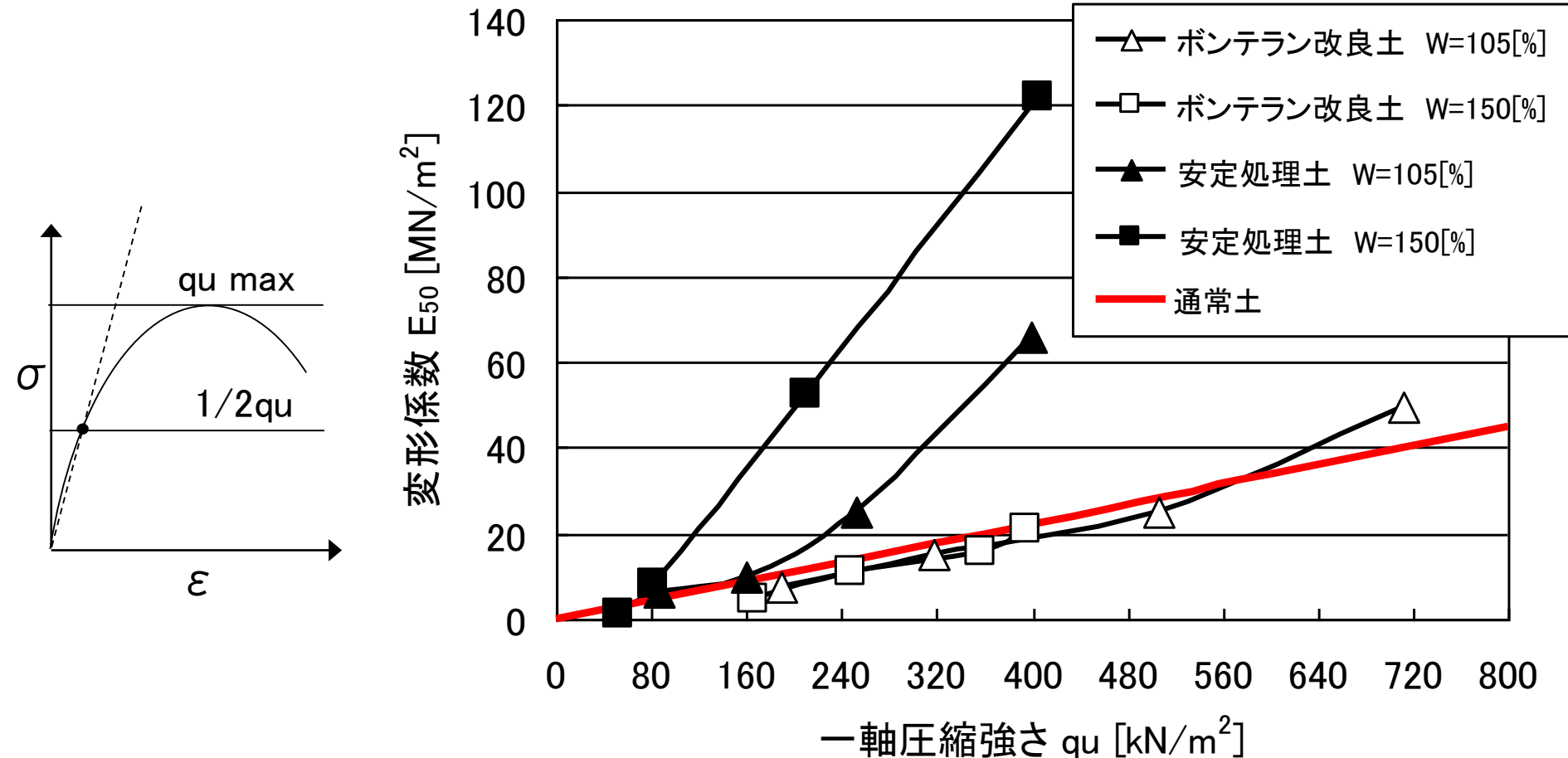
# ボンテラン改良土の変形特性(破壊ひずみ)(28日養生)

ボンテラン改良土は同じ一軸圧縮強さの安定処理土と比べて数倍の破壊ひずみ  $\epsilon_f$  を持つことが分かる. このことはボンテラン改良土が破壊に至るまでに, 大きな変形に耐え得ることを示している.



# ボンテラン改良土の変形特性(変形係数)

安定処理土の硬くもろい性質と大きく異なり、ボンテラン改良土の変形特性は破壊ひずみが大きく、変形係数が小さく、周辺地盤との剛性の違いがない。



通常土  $E_{50}$  (MN/m<sup>2</sup>)  $\doteq 0.056q_u$  (kN/m<sup>2</sup>) (出典:(社)地盤工学会「地盤調査の方法と解説」P267、P323~324)

# 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

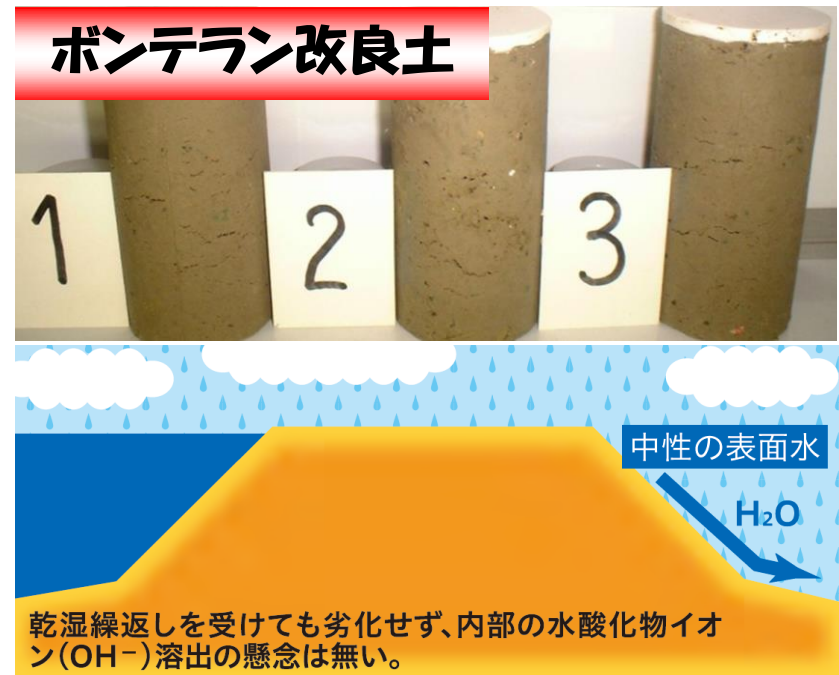
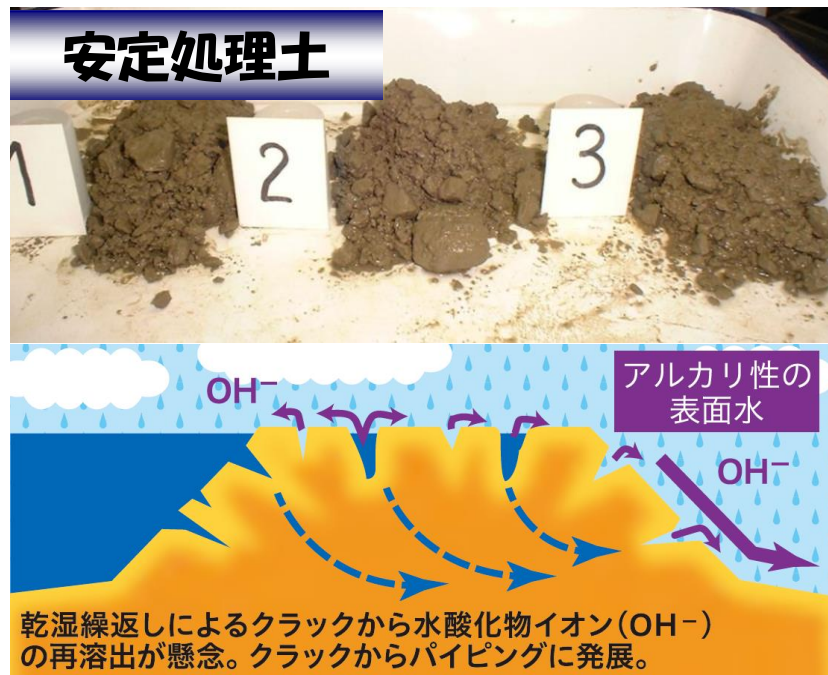
ボンテラン改良土



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

## ② 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。



### ③ 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	×	○

# 5. 東日本大震災における被害確認

## 《浜尾地区築堤工事》

東北地方整備局福島河川国道事務所発注の浜尾地区築堤工事では遊水地内にヘドロ状の軟弱土が発生した。この軟弱土の再資源化工法について検討した結果、本工法が採用され平成14年12月に築堤が完成した。  
(撮影日:平成14年12月)

原泥



敷均し・締固め



改良状況



完成





平成23年3月11日に発生した東日本大震災により、東北地方整備局管内における堤防の被災箇所は773か所にのぼり、**浜尾遊水地内においても流用土および購入土を用いた堤体箇所において、せん断破壊やクラックが確認された。**

**一方、ボンテラン改良土を堤体盛土に利用した箇所では被害箇所が確認されず、地震対策用地盤材料としての有効性が実証された。**



## 《芳賀池》

福島県郡山市の「芳賀池」では、堆積したヘドロ再資源化技術として本工法が採用されました。東日本大震災の影響により、山砂で埋戻された部分は液状化により沈下変形しましたが、本工法で施工した箇所は全く被害がありませんでした。



施工前



ボンテラン改良土による  
施工箇所

## 《小池》

福島県矢吹町の「小池」では、浚渫による池の機能回復と管理用道路の整備を目的として本工法と浅層混合処理工法が採用されました。東日本大震災により、浅層混合処理工法による施工箇所ではクラックや沈下等の被害を受けましたが、本工法の施工箇所では被害がなく、地震対策用地盤材料としての効果を発揮しました。



浅層混合処理工法による  
施工箇所



ボンテラン改良土による  
施工箇所

# 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)

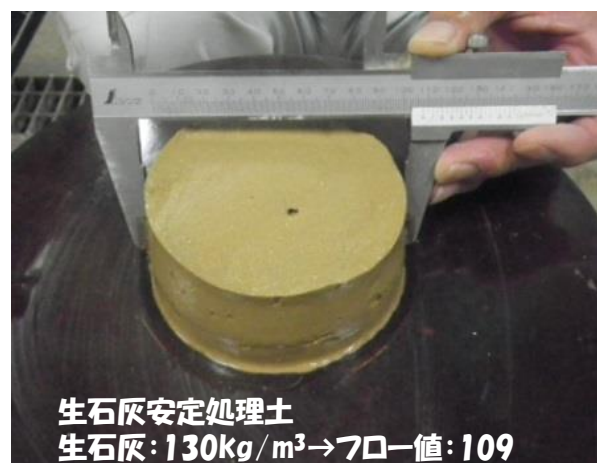
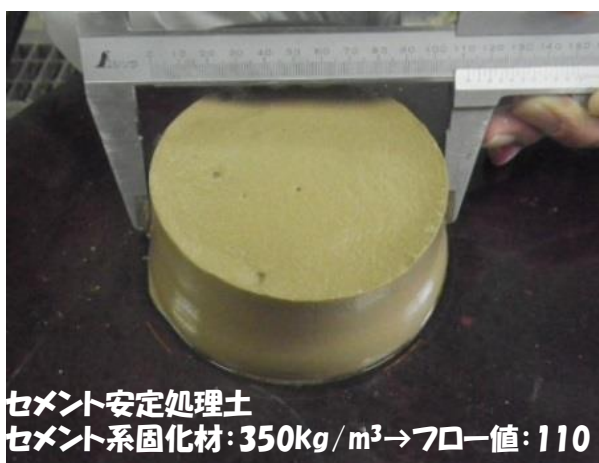
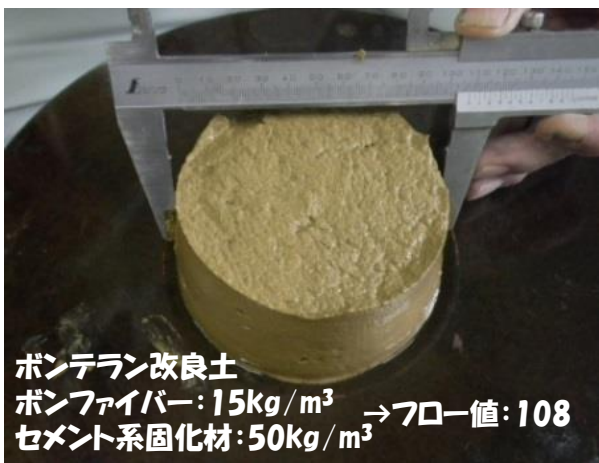
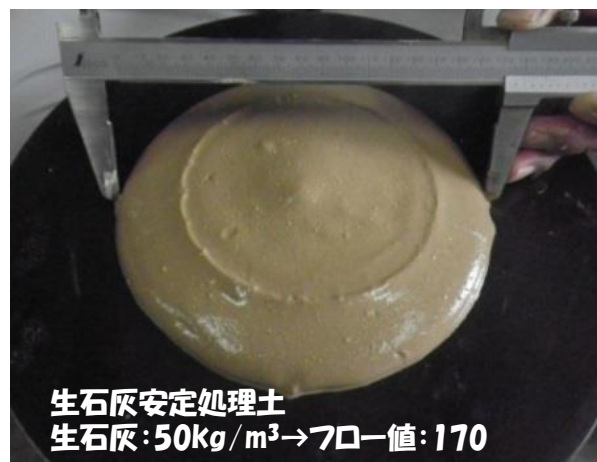
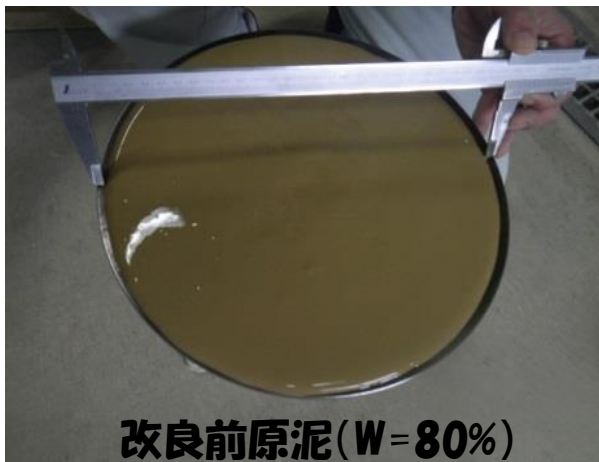
ピア-リフレ工法[KT-060074-V] (オリエンタル白石(株))

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. 取扱い性(ハンドリング)の向上

安定処理土は改良直後の状態が液体状(スープ状)となり、取扱い性(ハンドリング)を改善するため大量の固化材添加が必要となる。



ボンテラン材料費:約1,850円

セメント安定処理材料費:約4,750円

生石灰安定処理材料費:約2,850円

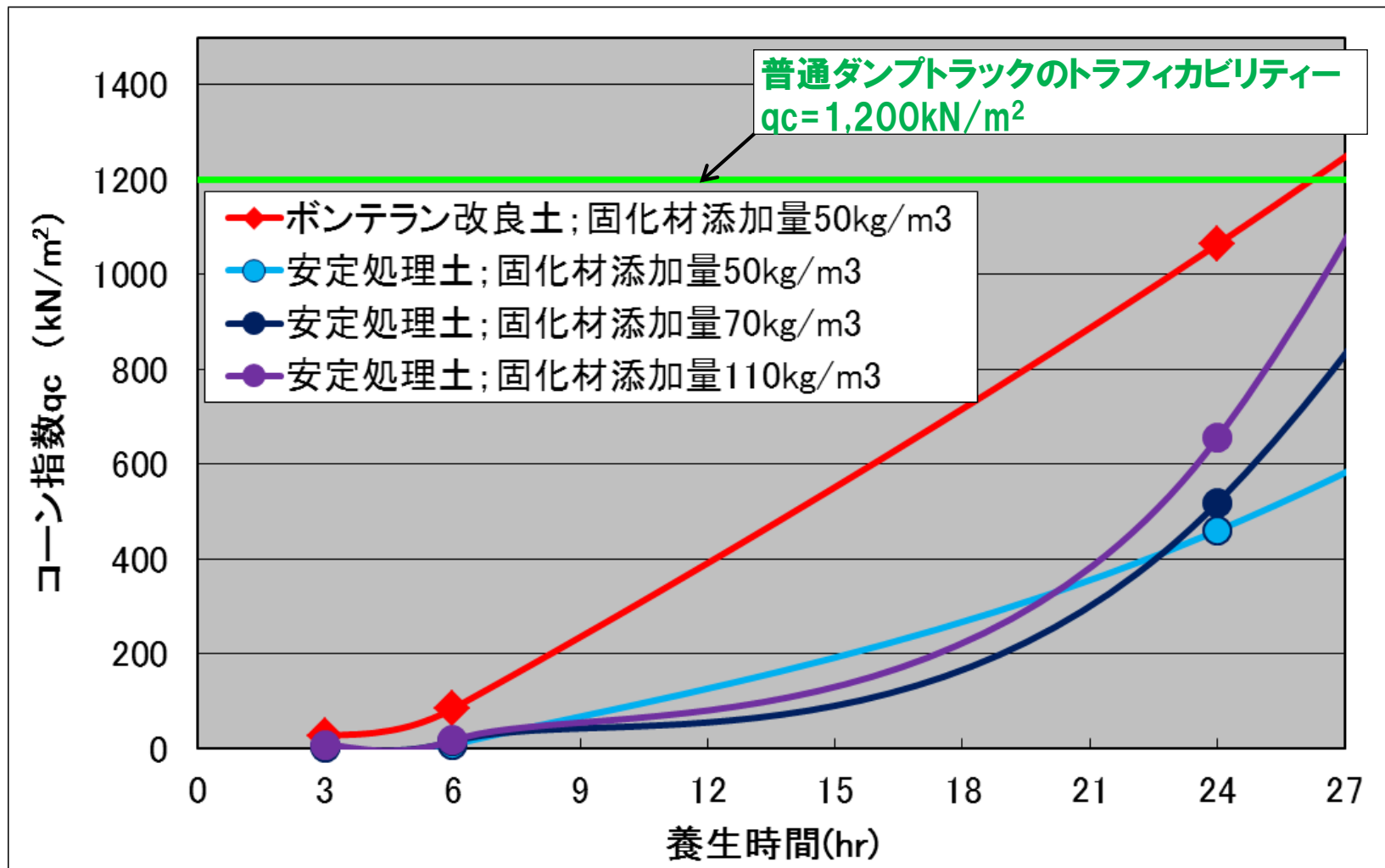
## 7. 初期材齢における強度発現

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:  $\phi 10\text{cm} \times 12.7\text{cm}$

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

## 8. 施工性(オーバーコンパクション)

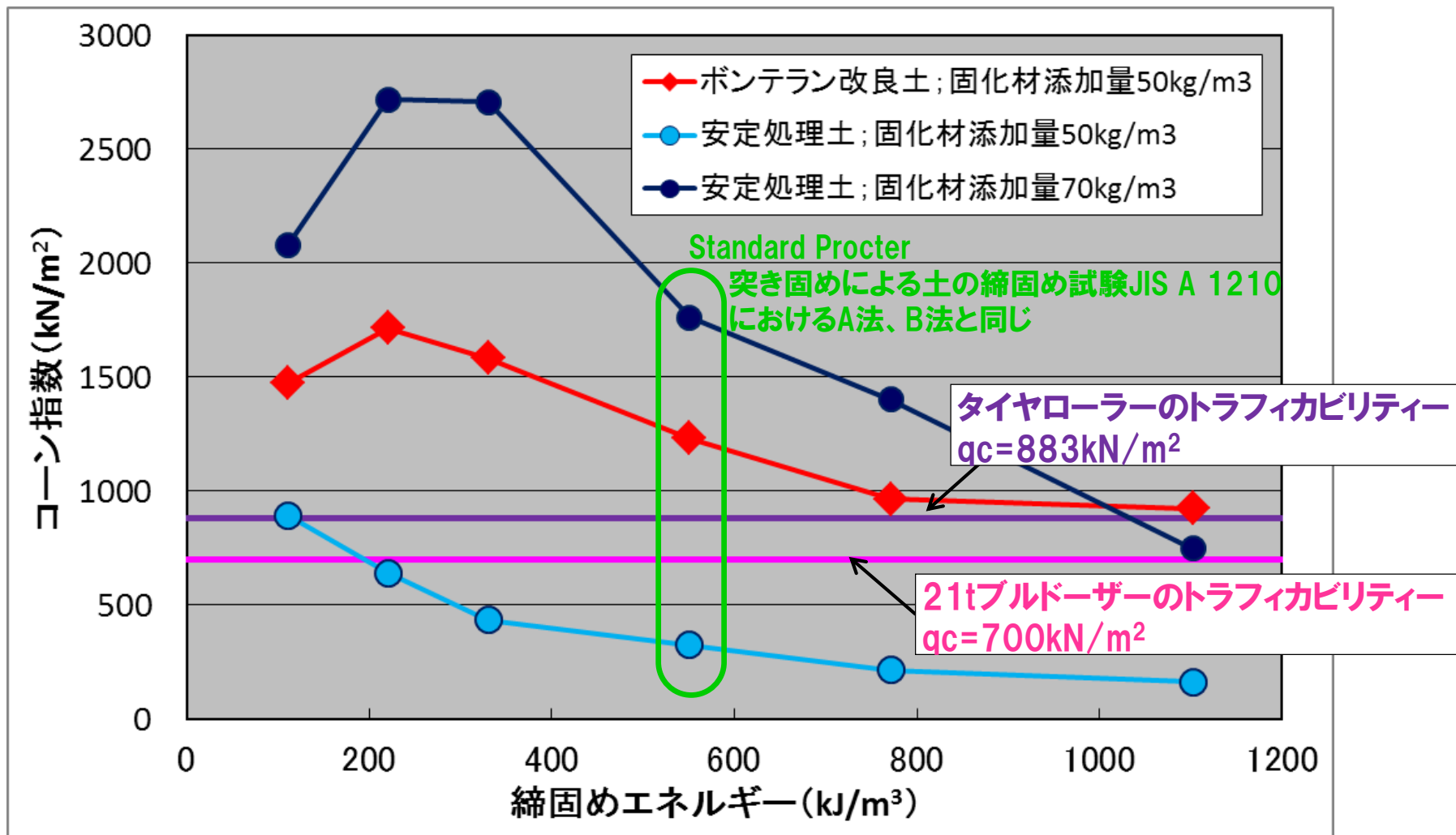
安定処理土は固化材による化学的な固結構造による強度発現であるため、締固めにより固結構造が壊れてしまうとオーバーコンパクションになり強度低下してしまうことが知られている。

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:  $\phi 10\text{cm} \times 12.7\text{cm}$ 、ランマー: 2.5kg

締固め回数: 5回( $110\text{kJ}/\text{m}^3$ )、10回( $220\text{kJ}/\text{m}^3$ )、  
15回( $331\text{kJ}/\text{m}^3$ )、25回( $551\text{kJ}/\text{m}^3$ )、  
35回( $772\text{kJ}/\text{m}^3$ )、50回( $1103\text{kJ}/\text{m}^3$ )

# 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**

# 9. 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。

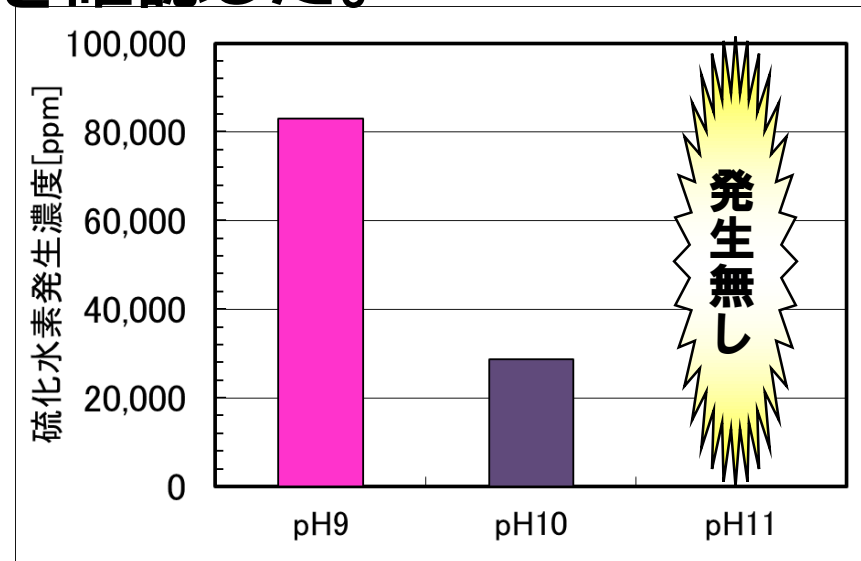
# 10. 木くずを含む津波堆積物の再資源化

## 《木くず等の有機物の分解および硫化水素発生抑制》

木くず等有機物を分解する糸状菌、硫酸塩還元菌およびメタン細菌は、水素イオン濃度(pH)4~8の中性生育菌に区別される。

硫化水素発生の条件の中からpHの観点に注目してpHを変化させた試験結果から、**pH11に調整した試料では硫化水素が発生しないことを確認した。**

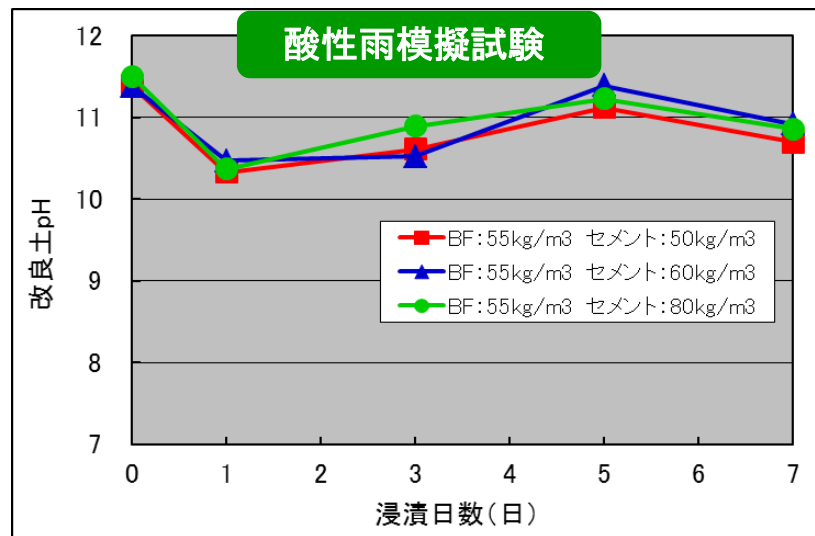
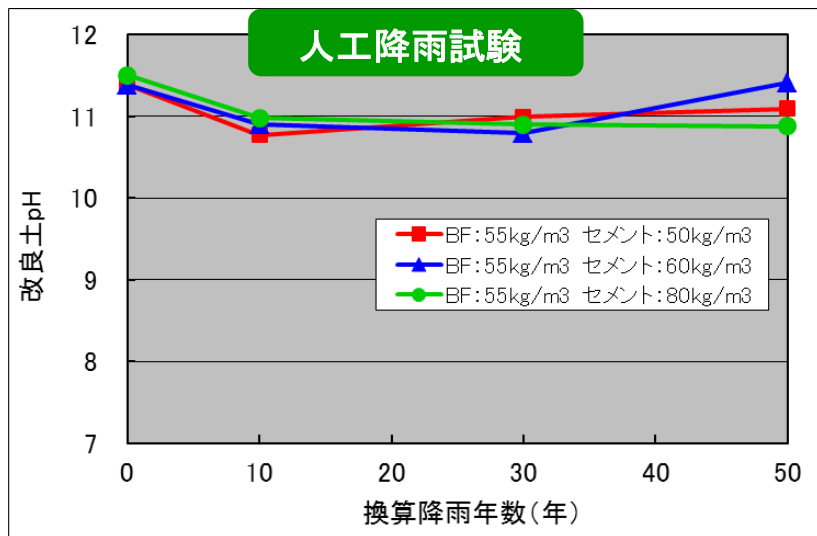
種別	糸状菌	硫酸塩還元菌	メタン細菌
生育条件			
温度	10℃~25℃	15℃~45℃	27℃~35℃
pH	4.0~6.0	6.5~8.0	6.5~7.5



## 《ボンテラン改良土のアルカリ保持性能試験》

前述のとおり、ボンテラン改良土は乾湿繰返し耐久性が高く、アルカリ溶出が無いために改良土内部は高アルカリ環境を長期間保持することを確認した。

さらに、ボンテラン改良土の自然環境による長期的な安定性を検証するため、人工降雨試験と酸性雨模擬試験を実施した結果、約50年相当の降雨および約160年相当の酸性雨に暴露されても、改良土内部は高アルカリを保つことを確認した。



## 《 第三者機関による現地確認および現場施工例 》

技術審査証明委員会による現地確認が行われ、改良土中のボンファイバーが約12年間全く劣化せず、改良直後とほぼ同じ状態で存在することが確認された。

また、ヘドロの悪臭が問題となっていた芳賀池（郡山市）のヘドロを人工地盤として再資源化した現場では、その後悪臭が無くなり、親水公園として周辺住民の憩いの場となっている。



芳賀池での施行例





# 11. 採用事例

工事名 : 砂押川河道掘削工事  
発注者 : 宮城県仙台土木事務所  
工期 : 平成24年10月～平成25年3月15日  
改良土量 : 28,500m<sup>3</sup>  
工事概要 : 東日本大震災の津波が、宮城県多賀城市の二級河川「砂押川」を遡上し、大量の津波堆積物が河道を閉塞して河川の流下断面の確保が困難となった。そこで、河道を掘削し、掘削した津波堆積物を再資源化し、改良土を堤体盛土に再利用するため、本工法が発注者指定工法として設計採用された。

河川堆積土 掘削状況



改良状況



転圧状況



**工事名** : 石巻漁港西港浚渫工事  
**発注者** : 宮城県 東部地方振興事務所  
**工期** : 平成25年11月～平成25年12月  
**改質量** : 5,000m<sup>3</sup> (W=70%)  
**工事概要** : 石巻港内の津波堆積物の改良工法に本工法が採用された。仮置き後のボンテラン改良土は、腐敗臭が無くなり硫化水素発生防止対策として有効であることが実証された。さらに、翌日には0.7m<sup>3</sup>級BHによる締固めが可能であることが確認された。

泥土ピットへの泥土投入状況



改良直後の改良土状況



改良土の仮置き（敷均し・締固め）状況



**工事名** : 早川東海岸外災害復旧工事  
**発注者** : 仙台地方振興局農村整備課  
**工期** : 平成25年7月～平成25年7月  
**改質量** : 1,500m<sup>3</sup>  
**工事概要** : 本工事はヘドロを浚渫し、速やかに処理する計画であった。しかし、ヘドロは高含水比であり、安定処理工法で即時運搬を実現するためには大量の固化材添加が必要となる。そこでポンテラン工法を採用することで、施工性・即時運搬性・せん断抵抗等が評価され、大幅なコストが削減された。

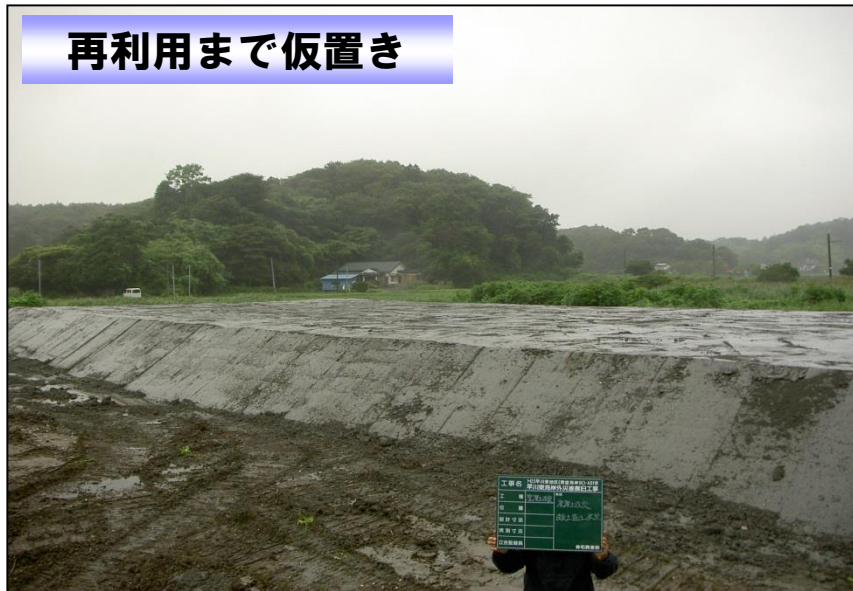
## 浚渫状況



## 改良状況



## 再利用まで仮置き



**工事名** : 高城川河川災害復旧工事  
**発注者** : 宮城県仙台土木事務所  
**工期** : 平成26年4月～平成26年7月予定  
**改質量** : 16,000m<sup>3</sup>推定 W=73%  
**工事概要** : 高城川の津波堆積物は高含水比であると同時に有機物を多く含んでおり、安定処理工法では即時運搬を実現するためには大量の固化材添加が必要となった。そこで、ボンテラン工法を採用することで改良直後に運搬可能な状態となり大幅なコスト削減と工期の短縮を実現した。

### 浚渫状態



### 改良状況



### 仮置き場での敷均し・締固め状況



# 12. 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)



項目	単位	計算式
1 数量		
2 工事名		
3 日付		
4 積算する土量(トン) (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	
5 日給標準の確定 (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	
6 積算する土量の種類 1		
7 積算する土量の種類 2 (m <sup>3</sup> )		
8 積算する土量の含水比 (%)	%	
9 土質の改良目標値 (m <sup>3</sup> )		
10 改良標準の定率 (m <sup>3</sup> ) (m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup>	
11 改良標準の定率 (%)	%	
12 改良標準の定率 (%)	%	
13 改良標準の定率 (%)	%	
14 改良標準の定率 (%)	%	
15 その他の条件		

## 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。