

ARIC NNTD 登録番号 0245

土木学会

学会誌連載企画
「土木技術十二選」



ものづくり日本大賞
経済産業大臣賞

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

12 つくる責任
つかう責任



ため池つくる責任
底泥土つかう責任

老朽化ため池改修技術

—— 激甚化・頻発化災害に強い堤体作り ——

ボンテラン工法

ため池底泥土・堤体掘削土を原料として高機能地盤材料に再資源化
東北大学大学院環境科学研究科教授 高橋弘博士と共同開発

A Challenge for the Troublesome “Mud” in Constructions.



株式会社 森環境技術研究所

MORI Institute for Environmental Technology

ボンテラン工法とは

厄介物底泥土のリサイクル・ため池周辺からの土質材料採取不要

ため池既設堤体掘削土と底泥土を原材料として堤体の改修・補強を目的に、**ため池周辺からの土質材料採取を不要とした自己完結型工法となる。**



既設堤体掘削土



底泥土



ボンファイバー投入・攪拌



固化材投入・攪拌



改良後団粒化状況



完成

ボンファイバーとは

環境基準をクリアしたエコでクリーンな改良材

ボンファイバーは新聞等の古紙を原材料とした繊維質系泥土改良材になる。ちぎるように裁断し毛羽立たせる特殊加工をしている。

本製品の品質や安全性については、環境基準等をクリアした製品を現場へ出荷している。

- 寸法：90cm × 90cm × 90cm
- 重量：250kg/個
- 運搬：10t車(平ボディ)にて40個積み
- 備考：金属番線による束縛済み
飛散防止用フィルムによる被覆済み
専用吊り帯標準装備



ボンファイバー



荷姿 (フィルムによる被覆状況)



10t平ボディ積み込み状況

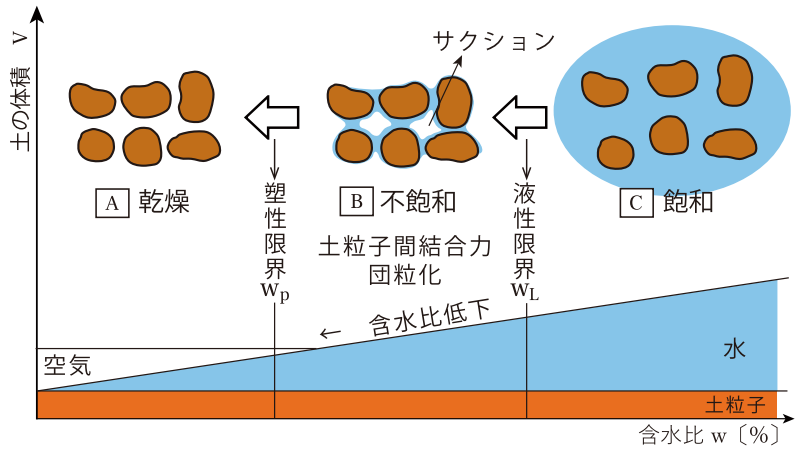
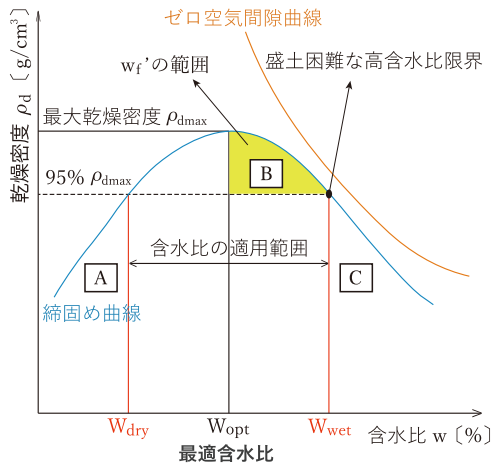


現場投入状況

底泥土はなかなか乾かない

速やかに団粒化・効率的に含水比低下

底泥土は 高含水状態となり、敷均し・転圧作業が出来ない。そのため、早急に W_{wet} 95 [%] 程度に含水比を低下させる技術開発が望まれている。



含水比 w と乾燥密度 ρ_d の関係 (締固め曲線)

土粒子間結合力・団粒化とコンシステンシー限界

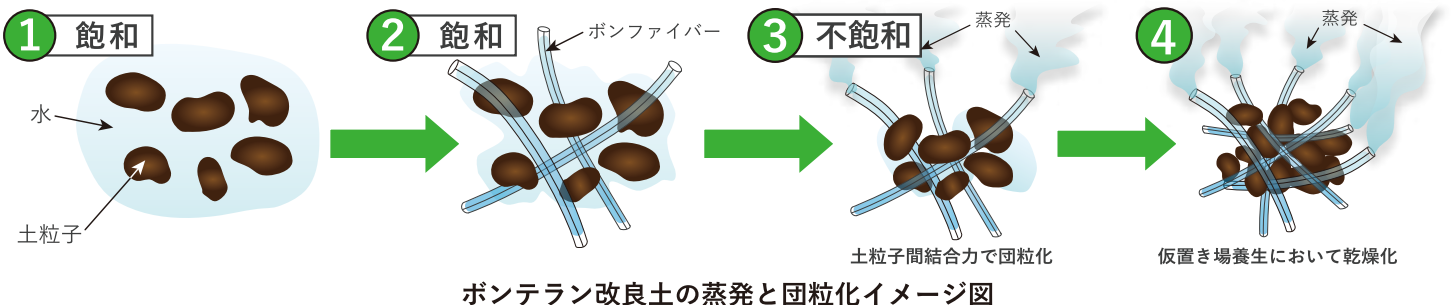


A B C イメージ写真

含水比を効率的に低下

乾きにくい底泥土が効率的に乾く

底泥土の水分がボンファイバーに吸水され、蒸発が始まる。ボンテラン改良土の含水比が低下・団粒化して速やかに強度が発現される。蒸発速度 $E = 4.38 \sim 6.21$ [kg/h・m²]



ボンテラン改良土の団粒化形成状況例

水まくら状態の安定処理土

水和するのに必要な理論水量は添加するセメントの40[%]となる。^{※1}



安定処理土のひび割れ

含水比 $w=45[\%]$ セメント添加量 $56[\text{kg}/\text{m}^3]$

$V_c=0.018[\text{m}^3]$	セメント	$m_c=0.056[\text{t}]$	$m=1.823[\text{t}]$
$V'_c=0.010[\text{m}^3]$ ^{※2}	C-S-Hゲル	$m'_c=0.022[\text{t}]$	
$V'_s=0.527[\text{m}^3]$	未水和水	$m'_w=0.527[\text{t}]$	
$V_s=0.451[\text{m}^3]$	土粒子	$m_s=1.218[\text{t}]$	
体積 $[\text{m}^3]$		質量 $[\text{t}]$	

※1 岸利治 et al(2001)、土木協会
 ※2 高橋茂 (2009)、セメント協会

○ 乾湿繰返し試験 含水比 $w=45[\%]$ セメント添加量 $56[\text{kg}/\text{m}^3]$



試験前



1 サイクル 乾



1 サイクル 湿



6 サイクル 乾



6 サイクル 湿



完全崩壊

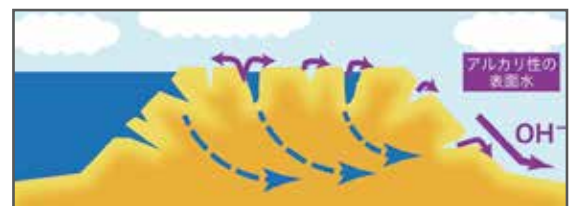
セメント・生石灰改良土 → 収縮によるひび割れ

学会・国交省・セメント協会の評価

- 嘉門雅史先生他 (1991) 「安定処理土の乾燥収縮の影響は避けられない。」 👉 注目!
- 小川伸吉先生他 (1996) 「安定処理土の土構造物表面部は乾湿繰返しの影響を大きく受ける。」 👉 注目!
- 嘉門雅史先生他 (2005) 「安定処理土の乾湿繰返しによる中性化が改良土の劣化を進行させる。」 👉 注目!
- 国土交通省 (2009) 河川土エマニュアル：安定処理土を堤体に原則使用不可 👉 注目!
- セメント協会 (2021) 地盤改良マニュアル：安定処理土の収縮ひび割れ懸念 (冒頭表明) 👉 注目!



クラックの開口最大幅 2cm 程度



クラックからの漏水、パイピングに発展

安定処理土のクラック発生状況 (クラック調査による石灰水投入後の染み出し状況)

写真引用：国土交通省 関東地方整備局 資料提供

乾湿繰返し室内試験

安定処理土

含水比：45 [%]

セメント添加量：56 [kg/m³]

ボンファイバー：0 [kg/m³]



試験前



1 サイクル 乾



1 サイクル 湿



3 サイクル 乾



3 サイクル 湿



6 サイクル 乾



6 サイクル 湿



10 サイクル 乾



10 サイクル 湿

終了

終了

完全崩壊

ボンテラン改良土

含水比：45 [%]

セメント添加量：56 [kg/m³]

ボンファイバー：25 [kg/m³]



試験前



1 サイクル 乾



1 サイクル 湿



3 サイクル 乾



3 サイクル 湿



6 サイクル 乾



6 サイクル 湿



10 サイクル 乾

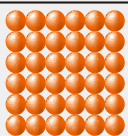


10 サイクル 湿

崩壊クラックの発生なし

乾湿繰返し および 凍結融解耐久性試験（フィールド試験）

安定処理土



固化材だけの土粒子間結合力



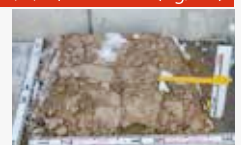
乾湿試験前



養生 30 日目



養生 180 日目



養生 228 日目

含水比：100 [%]

セメント系固化材：55 [kg/m³]

ボンファイバー：0 [kg/m³]

ボンテラン改良土



固化材と繊維が複雑に絡み合う土粒子間結合力



乾湿試験前



養生 30 日目



養生 180 日目



養生 228 日目

含水比：100 [%]

セメント系固化材：55 [kg/m³]

ボンファイバー：25 [kg/m³]



ボンテラン改良土クラックの発生なし（2年間放置）

安定処理土とボンテラン改良土の乾湿繰返しおよび凍結融解耐久性試験を室内とフィールドで実施した。その結果、安定処理土は多数のクラックが確認された。一方、ボンテラン改良土はクラックが発生せず、極めて高い漏水防止効果が確認された。

注目！


ボンテラン改良土と安定処理土の透水性

- ① 粘土・シルトを多く含む底泥土を原料としている。
- ② **ボンテラン改良土は団粒化により早期に締固めが可能となるので高い密度が得られる。(不透水性)** 👉 注目!
安定処理土は早期に締固めが不可能なため、固化後に解砕して締固めが行われるので高い密度が得られない。(透水性)
- ③ **ボンテラン改良土 ⇒ クラック発生抑制** 👉 注目! **安定処理土 ⇒ クラック発生** 👉 注目!


透水係数 k [m/s]	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0
透水性	実質上不透水		非常に低い		低い	中位		高い				
対応する土の種類	粘土性 (C)		微細砂、シルト 砂-シルト-粘土混合土 (SF) (S-P) (M)			砂及びれき (礫) (GW) (GP) (SW) (SP) (G-F)			清浄なれき (GW) (GP)			

土の種類と透水性の関係

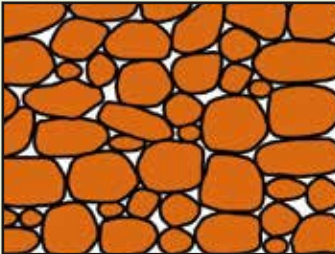
ボンテラン改良土



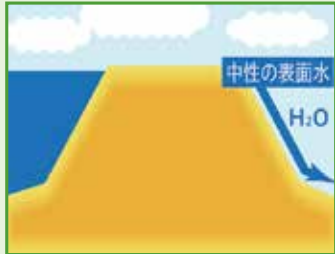
団粒化したボンテラン改良土



ボンテラン改良土は早期に締固め可能




団粒化→締固め→空隙小




クラックの発生無し

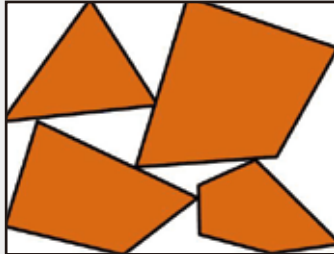
安定処理土



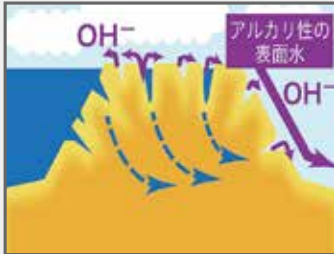
大きく固まった安定処理土



安定処理土は早期に締固め不可



固化後→解砕→締固め→空隙大

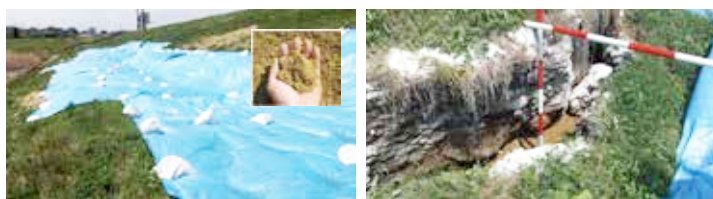


クラックからの漏水パイピングに発展

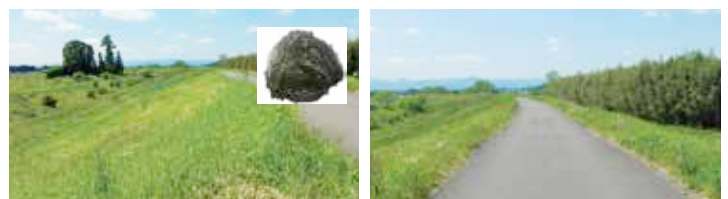
災害に強い堤体造り

地震に強い堤体の材料となる

2002年に完成した福島県須賀川市の浜尾遊水池築堤工事では、2011年に発生した東日本大震災において現地発生土（砂質土）を用いた浜尾堤防は液状化により堤体天端にクラックが発生し被災した。一方、**底泥土を用いたボンテラン堤体は液状化による被害は一切確認されず、厄介物「泥」の再資源化技術が評価され、土木学会より日本の土木技術十二選に選定された。**



砂質土を用いた堤防



ボンテラン改良土を用いた堤防（被災なし）

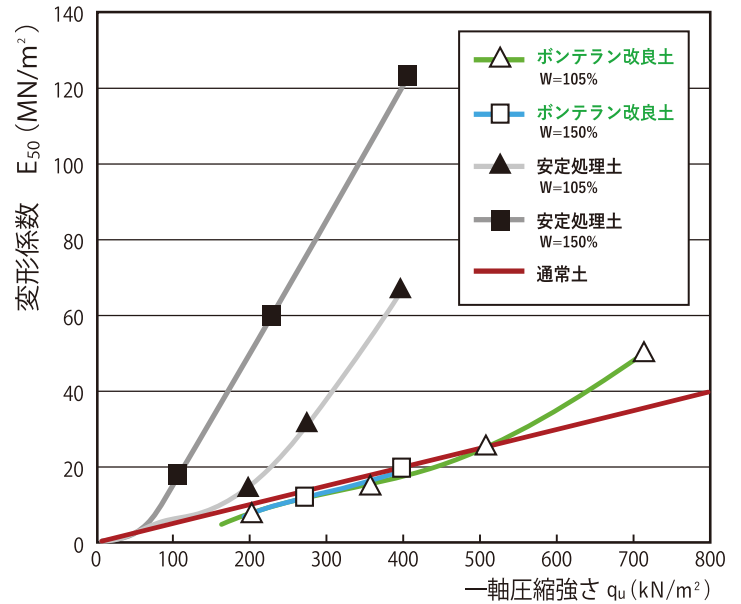
既設堤体となじみがよい

既設堤体と変形の相違をなくし密着性（なじみ）を改善。堤体の中に剛性の高い改良体を作ると、地震時の振動特性が異なるため、堤体の亀裂や破損の原因となる。

ボンテラン改良土の変形特性は、大きな破壊ひずみと小さな変形係数を持つため、既設堤体との剛性の違いが無く密着性（なじみ）を改善した。**注目！**



ボンテラン改良土と既設堤体の施工状況



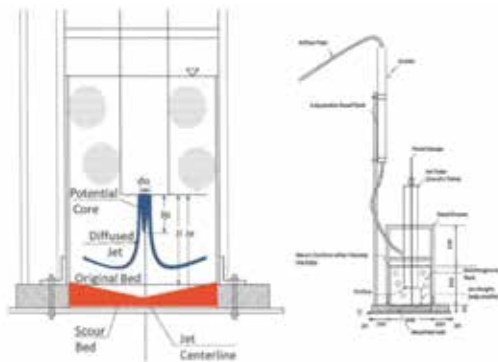
ボンテラン改良土と安定処理土の一軸圧縮強さと変形係数の関係

通常土 E_{50} (MN/m²) = 0.056 q_u (kN/m²)

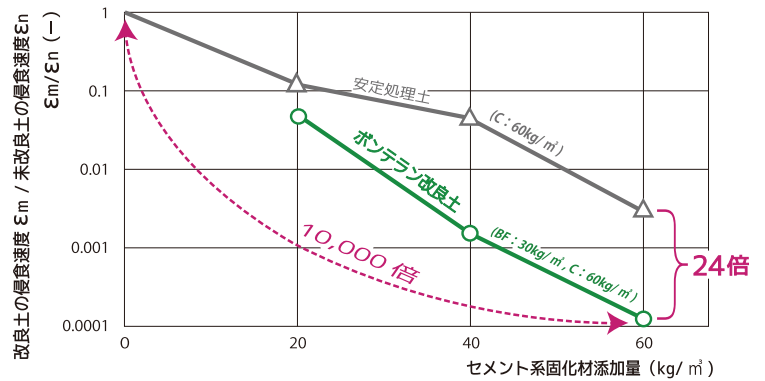
出典：(社)地盤工学会「地盤調査の方法と解説」p267, pp.323-324

豪雨災害における耐浸食性向上

水中噴流試験装置を用いた実験で、ボンテラン改良土に対しては約10,000倍、安定処理土に対しては約24倍という極めて高い耐浸食性を有していることが明らかとなった。**注目！**
この結果、貯水池内の波浪により浸食防止効果が確認された。



浸食速度の計測に用いた水中噴流試験装置

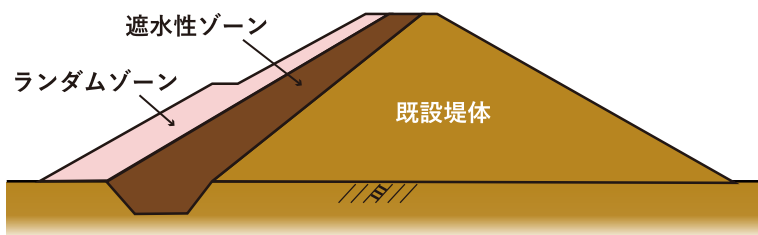


ボンテラン改良土と安定処理土の浸食速度の比較

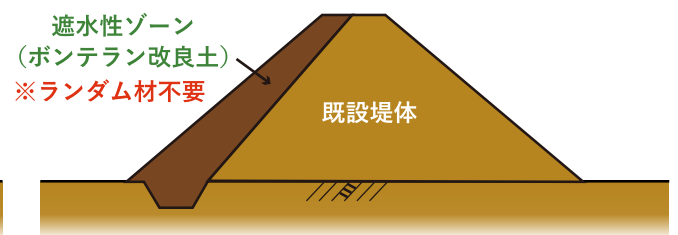
ランダム材不要・施工の簡素化

土工量を大幅に削減可能

ボンテラン改良土は強度・遮水性および耐浸食性に優れており堤体法面を急勾配とした堤体改修が可能であり、土工量を大幅に削減することができる。**注目！**



現地採取土を用いた従来工法



ボンテラン工法による改修

ポントラン工法評価

ARIC NNTD No,	0245
NETIS 登録 No,	TH-020042-V (現在は掲載終了)
NETIS 事後評価	実施済み
建設技術審査証明	財団法人先端建設技術センター第 2203 号
日本素材物性学会「山崎賞」受賞	平成 16 年度 (2004 年)「高含水泥土の再資源化を 目指した軽量繊維質固化処理土の生成に関する研究」
「国土技術開発賞」受賞	平成 19 年度 (2007 年)財団法人国土技術研究センター、 財団法人沿岸技術研究センターが主催する第 9 回国土 技術開発賞受賞
資源・素材学会「論文賞」受賞	平成 20 年度 (2008 年)「ペーパースラッジを用いた 繊維質固化処理土の強度特性および乾湿繰り返し試験 における耐久性に関する実験的研究」
「国土交通大臣賞」受賞	平成 20 年度 (2008 年)内閣府・総務省・文部科学省・ 経済産業省・が主催する第 6 回産学官連携功労者表彰
第 5 回モノづくり連携大賞において 「特別賞」受賞	平成 22 年度 (2010 年) (株) 日刊工業新聞社が主催
第 38 回環境賞において 「優良賞」受賞	平成 23 年度 (2011 年) 公益財団法人日立環境財団・ (株) 日刊工業新聞社が共催
日経地球環境技術賞において 「優秀賞」受賞	平成 26 年度 (2014 年) (株) 日本経済新聞社が主催
第 6 回ものづくり日本大賞において 「経済産業大臣賞」受賞	平成 27 年度 (2015 年) 経済産業省他が主催
「土木技術十二選」に選定	令和 4 年 (2022 年) 公益社団法人土木学会が 主催・土木学会誌 1 月号に掲載

共同研究開発者



高橋 弘

東北大学大学院環境科学研究科
環境科学専攻教授 (工学博士)



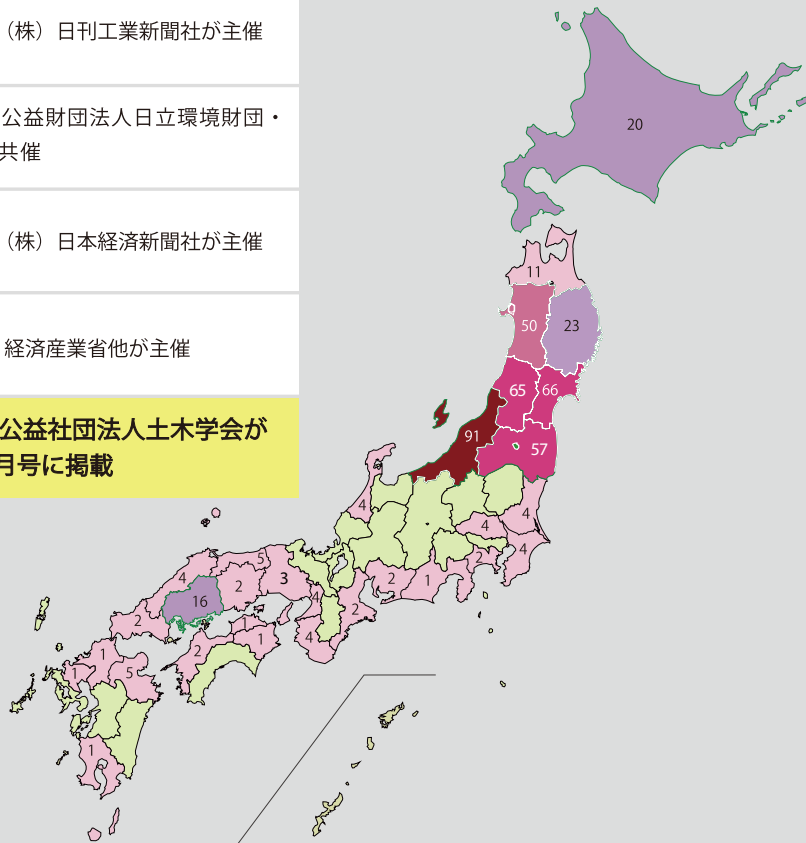
森 雅人

株式会社森環境技術研究所
所 長 (博士 (環境科学))

採用実績

約 **780,000** m³
458 件

令和 4 年 12 月現在



株式会社 森環境技術研究所

〒996-0071 山形県新庄市小田島町 7-36

TEL : 0233-22-0832

FAX : 0233-22-0932

mail : bt@mori-kankyo.co.jp

web : <https://mori-kankyo.co.jp>

