



津波堆積物の再資源化 ーポンテラン工法ー

東北大学大学院環境科学研究科
教授 高橋 弘

株式会社森環境技術研究所
所長 森 雅人

1



1. ポンテラン工法の改良手順

2

高含水比泥土とは



津波堆積物



浚渫土砂



建設汚泥

3

改良手順(その1) 原泥の状態



4

改良手順(その2) 古紙破碎物の投入・攪拌



5

改良手順(その3) 固化材の投入・攪拌



6

改良手順(その4) 敷均し・締固め



7

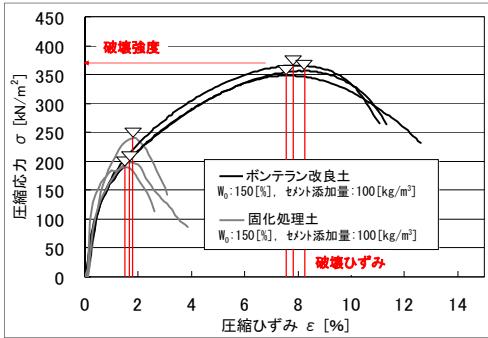
地震対策用人工地盤の造成
構造物背面盛土材として利用
液状化対策・軽量地盤材料

2. ポンテラン改良土の特徴(その1)
優れた強度特性・変形特性



8

一軸圧縮試験における応力-ひずみ曲線

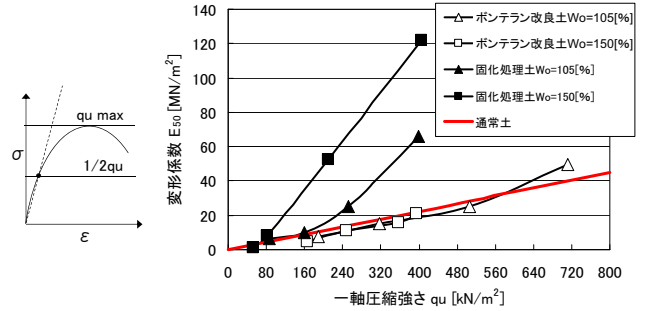


高い破壊強度・破壊ひずみ

9

ボンテラン改良土の変形係数

固化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/m²) $\approx 0.056q_u$ (kN/m²) (出典: (社)地盤工学会「地盤調査の方法と解説」P287, P323~324)

10

三軸試験

実験試料 実験方法および結果

実験には模擬泥水(シルト:粘土=60:40, 密度=2.623[g/cm³])を使用した。三軸圧縮試験は、JGS 0521-2000(地盤工学会基準)「土の圧密排水(CD)三軸圧縮試験方法」に従って計測を行った。

表3-3 せん断強度一覧

| 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 ²] | 40 | 60 | 80 | 80 | 100 | 120 |
| | 古紙添加量 [kg/m ²] | 50 | | | 65 | | |
| せん断 | 粘着力 C_d [kN/m ²] | 93.6 | 113 | 91.7 | 99.5 | 59.3 | 98.1 |
| | 内部摩擦角 ϕ_d [°] | 32.4 | 36.4 | 41.6 | 33.1 | 41.3 | 36.8 |

11

せん断強度について

- 粘着力については、おおむね90kN/m²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事が確認できた。

12

三軸圧縮試験後の試料の写真



固化处理土

明確な破壊面が存在



ボンテラン改良土

明確な破壊面が見られず、試料は樽型に変形

3. ボンテラン改良土の特徴(その2) 高い耐久性



乾湿繰返し試験



実験方法 模擬泥水(シルト80[%], 粘土40[%]土粒子密度2.623[g/cm³])

乾湿繰返し(耐久性)試験
試験方法は独立行政法人 土木研究所編著 建設汚泥再生利用マニュアルPP219 ~220 乾湿繰返し試験方法に準拠した。

| 試験項目 | 供試体 | 乾湿1サイクル | 試験方法 | 確認項目 |
|---------|------------|--------------------------------|--|------|
| 乾湿繰返し試験 | φ5×10 [cm] | 40[°C]炉乾燥2日 20[°C]水浸1日の合計3日 | 所定サイクル終了後、一軸圧縮試験(JIS A1216) 各サイクルの乾燥後、水浸後に供試体の状況観察、写真撮影 | |

健全度ランク

| | クラック状況 | 欠落状況 |
|---|---------------------------|-------------|
| A | 外見上、ほとんど変化なし | |
| B | 微細クラック/局部クラック発生 | 表面剥離が局部的に発生 |
| C | 明確なクラックが一部に発生 | 供試体の一部が僅に欠落 |
| D | 明確なクラックが全体に発生 | 供試体がより大きく欠落 |
| E | 供試体の一部または全体が崩落(~20%程度) | |
| F | 供試体が全体的に崩落、崩壊、供試体としての形は存在 | |
| G | 供試体全体が崩壊し、片々は塊状 | |
| H | 供試体全体が崩壊し、片々は細粒化~泥状化 | |

乾湿繰返し試験写真



固化处理土1
(2サイクル終了時 W₀=105[%] 固化材80[kg/m²])



ボンテラン改良土2
(10サイクル終了時 W₀=105[%] 固化材90[kg/m²])



固化处理土2
(6サイクル終了時 W₀=150[%] 固化材100[kg/m²])



ボンテラン改良土4
(10サイクル終了時 W₀=150[%] 固化材100[kg/m²])

水浸による耐久性比較



固化処理土

ボンテラン改良土

17

顕微鏡写真

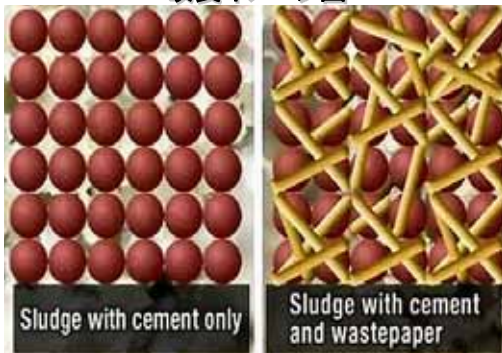


固化処理土

ボンテラン改良土

18

改良イメージ図

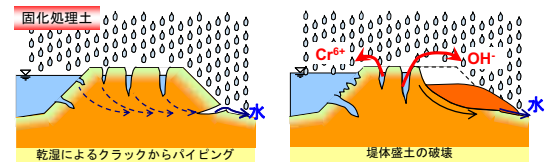


固化処理土

ボンテラン改良土

19

固化処理土を堤体材料として利用した場合の劣化と耐久性に関する問題点



固化処理土の劣化耐久性に関する問題点



固化処理土の水浸状況

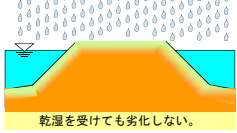
固化処理土により造成された堤防や嵩上げ地盤は、湿潤・乾燥等により発生した亀裂などから侵入した浸透水により土粒子が移動してパイピング現象を発生させ、土構造の安定性を低下させる場合がある。
さらに、六価クロム(Cr^{6+})や水酸イオン(OH^- 、高アルカリ)の溶出が懸念される。

20

ポンテラン改良土を堤体材料として利用した場合の劣化耐久性と実績



ポンテラン改良土



実際に施工された現場においても、乾湿繰り返しによる劣化がなく、改良土が崩壊しない。

ポンテラン改良土の劣化耐久性に関する実績



ポンテラン改良土のイメージ

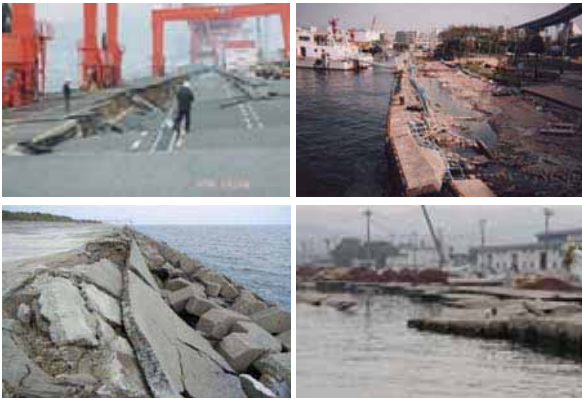
実際に施工された嵩上げ地盤において、
 浸水および長期にわたる乾湿繰り返しを受けても一切劣化が無く、東日本大震災で発生した震度6強の地震に対しても液状化によるせん断破壊が発生しなかった。

したがって、ポンテラン改良土は固化処理土に比べ極めて高い劣化耐久性を有することが確認された。

4. ポンテラン改良土の特徴(その3) 高い動的強度



液状化による岸壁の被災事例



液状化現象とは？



地震により液状化した堤体での液状化抵抗率 F_L



「北上川等堤防復旧に関する中間報告書(案)」
 国土交通省東北地方整備局北上川等堤防復旧技術検討会



液状化の判定方法(F_L 法)

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



繰返し三軸試験状況

25



液状化の判定

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

26



繰返し三軸試験からの液状化抵抗率

仙台市若林区藤塚で採取した砂質土(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。

27



5. 地震対策用地盤材料としての 実証現場(震災後状況確認)

28

芳賀池地区造成工事



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
工期 : 平成16年9月～平成17年11月
改質量 : 11,360m³
含水比 : 約100%
改良目標 : 第3種改良土 (qc=400kN/m²以上)

工事概要: 郡山市街地にあるため池の「芳賀池」は、以前から堆積したヘドロの悪臭がひどく、多くの苦情が寄せられておりました。その対策としてヘドロをポンテラン工法により改良し、親水公園の盛土材として全量再利用しました。現在は親水公園として近隣住民の憩いの場として利用されています。



29

転圧状況



盛土完成(水に接し続けた状態で1年経過)



平成17年5月12日撮影

親水公園完成



平成19年10月3日撮影

ポンテラン改良土による盛土箇所



平成23年4月26日撮影、震災後状況確認

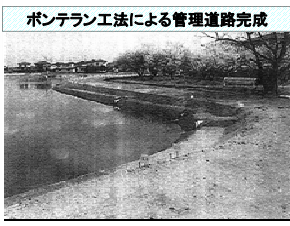
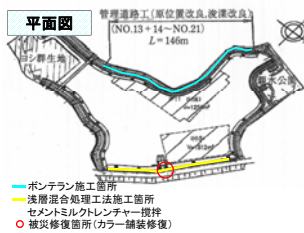
30

小池地区工事



工事名 : 地域用水環境整備事業 小池地区第1601号工事
発注者 : 福島県南農林事務所
工期 : 平成16年10月～平成17年3月
改質量 : 2,500m³
含水比 : 200%

工事概要: 「小池」は福島県矢吹町にあるため池で、貯水機能および水辺景観が著しく低下していたために、池の液状化による機能回復と合わせて管理道路等の整備を実施しました。その対策工法として本工法および浅層混合処理工法が採用されました。



31

平成24年6月撮影、震災後状況確認



クラックや液状化による沈下の被害

浅層混合処理工法の被災箇所



クラックや液状化による沈下の被害



液状化やクラック等の被災は一切無し



液状化やクラック等の被災は一切無し

32

藤沼ダムの決壊



平成23年3月11日に発生した東日本大震災により、東北地方の河川堤防は甚大な被害を受けました。中でも震度6強が確認された福島県須賀川市にある藤沼では下に示す写真のとおり堤体が決壊し、約150万tの水が流出し、多くの樹木を巻き込んだ鉄砲水となって下流にある居住地域を襲う大災害が発生しました。



平成23年4月26日撮影、震災後状況確認

浜尾地区築堤工事



平成14年、東北地方整備局福島工事事務所発注の浜尾地区築堤工事において、遊水地内にヘドロ状の軟弱土が発生しました。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月に築堤が完成しました。

平成23年3月11日に発生した東日本大震災により、東北地方の河川堤防は甚大な被害を受け、浜尾遊水地内の流用土や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ました。

一方、ポ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ました。



遊水地内の軟弱土を現場内でポンテラン改良し、築堤材料として利用
(撮影日:平成14年12月)



震災後、現地発生土を用いた築堤箇所
(大規模せん断破壊が発生) 平成23年4月撮影

震災後、ポンテラン改良土を用いた築堤箇所
平成23年4月撮影

国土交通省 関東地方整備局 東日本大震災で効果を発揮した技術に選定

(応募総数165技術の中から6技術の一つに選定)

記者発表資料

【東日本大震災で効果を発揮した技術】

Geo-KONG工法[KT-990271-A]

締固め砕石ドレーン工法[KT-980473-A](株)鴻池組

ポンテラン工法[TH-020042-V](ポ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・K)



6. 津波堆積物および浚渫土の 再資源化事例

37



砂押川河道掘削工事

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 : 28,500m³
 工事概要 : 宮城県多賀城市内を流れる二級河川「砂押川」は、東日本大震災の津波により仙台北港湾内の土砂が河川に押し上げられ、船舶の航行に支障がでました。そこで、河川に堆積した土砂を土質改良し、河川堤防の築堤材として再利用する工事にポンテラン工法が発注者指定工法として設計採用されました。



38



庶野漁港災害復旧工事

工事名 : 庶野漁港災害復旧工事
 発注者 : 北海道建設部・土木(室蘭建設管理部)
 工期 : 平成23年7月～平成23年9月
 改良土量 : 7,000m³
 工事概要 : 本工事は、東日本大震災の津波により庶野漁港内に堆積したヘドロを浚渫し、航路断面を確保することを目的とする工事です。浚渫土砂をポンテラン改良し、改良土を一旦仮置きした後、道路盛土や路肩盛土として再利用しました。



39



冬島漁港機能強化工事

工事名 : 冬島漁港機能強化工事
 発注者 : 北海道胆振総合振興局
 工期 : 平成24年12月5日～平成25年3月21日
 改良土量 : 3,800m³
 工事概要 : 北海道様似町の冬島漁港に堆積したヘドロを浚渫し、漁港の機能強化を図る工事です。浚渫土をポンテラン改良し、改良土を一旦仮置きした後、盛土材として再利用する予定です。



40

H16綾瀬川掘削工事



工事名 : H16綾瀬川掘削工事
発注者 : 国土交通省関東地方整備局
 江戸川河川事務所
工期 : 平成16年10月～平成17年6月
改質量 : 20,100m³ (W=50%)
工事概要 : 河道断面確保の為、バックホウ渡深船で綾瀬川のヘドロを掘削し、土運船にて改良場所の護岸まで運搬。護岸に待機していた攪拌用バックホウでヘドロを改良し、約16km離れた江戸川の高規格堤防の盛土材として再利用しました。

河川堆積土 掘削状況



改良状況



スーパー堤防盛土材に再利用



41

7. ポンテラン工法による再資源化事例



42

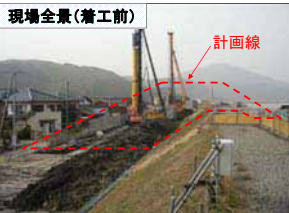
一日市地区他築堤工事



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 : 17,000m³
含水比 : 約60%

工事概要 : 築堤箇所は軟弱地盤であったため、CDM工法による地盤改良が計画されました。当初設計では、泥土は現場から30km離れた残土受け施設に逆有償処理される計画でしたが、泥土運搬に伴い発生するCO₂の発生抑制や交通渋滞を緩和するため、本工法が採用されました。

現場全景(着工前)



完成



43

汚泥排出状況



改良状況全景



敷均し状況



締固め状況



44

飽海中央地区広域営農団地農道整備事業第1工区工事



工事名：平成21年度 飽海中央地区広域
営農団地農道整備事業 第1工
区工事
発注者：山形県庄内総合支庁
工期：平成21年9月～平成21年9月
改質量：1,100m³

工事概要：本工事では新設する道路の法
線直下に農業用ため池があり、その堆積泥
土を掘削・場外搬出し、盛土材(新材)を購
入する計画でした。しかし、堆積泥土及び
盛土材の運搬費用や新材の購入費用等を
考慮した場合、改良による自工区内での再
利用の方が経済的にも有利であると判断さ
れ採用に至ったものです。



着工前全景



泥土集積状況

45

改良状況



改良土強度確認



庄内総合支庁農村整備課現場説明会



完成



46

主要地方道新庄戸沢線歩道設置工事



工事名：平成17年度 地方道路交付金事
業(交通安全)主要地方道新庄戸
沢線歩道設置工事
発注者：山形県最上総合支庁
工期：平成17年6月～平成17年10月
改質量：2,000m³

工事概要：歩道の新設工事に伴い、当初設
計より歩道部及び一部車道部の路床置換
材料(CBR20%以上)として「再生改良土」ポ
ンテラン改良土が採用され、当研究会会員
の㈱マルカ再資源化施設から2,000m³の改
良土を出荷しました。



再生改良土(ポンテラン改良土)搬入



敷均し状況

47

タイヤローラーによる締固め



締固め後ブルフローリング沈下無し



完成



現場密度試験

48

助漕川橋他2橋下部工事



工事名：助漕川橋他2橋下部工事
発注者：国土交通省 北陸地方整備局
 新潟国道事務所
工期：平成19年8月～平成19年11月
改質量：3,200m³

工事概要：本工事は新潟県神林村にて日本
 海沿岸東北自動車道関連工事における橋
 梁下部工の場所打ち杭から発生する建設汚
 泥をポンテラン工法で改良し、自工区内の路
 体盛土材として全量再利用しました。廃棄物
 の有効利用という発注者の積極的な指示に
 より、当初設計であった産廃処理を協議に
 よって変更し、設計採用されました。

現場全景



原泥の状態(イメージ)



49

改良状況



改良土積み込み



改良土の締固め(イメージ)



改良土仮置き状況



50

仙台市高速鉄道東西線薬師堂工区土木工事



工事名：仙台市高速鉄道東西線薬師堂
 工区土木工事
発注者：仙台市交通局
工期：平成19年7月～平成25年6月
改質量：15,800m³

工事概要：本工事は、地盤改良工事から排
 出される自硬性汚泥15,800m³をポンテラン
 工法により改良し、他工事の道路盛土材料
 として再利用しました。仙台市初の個別指
 定制度を取得することで、改良土は仙台市
 建設局道路部発注の(国)457号竹の内橋架
 替工事に伴う道路改良工事の路体盛土材
 として再利用が可能になりました。

現場全景(Super Jet施工状況)



改良状況



51

改良土積み・運搬



盛土工区での敷均し状況



締固め状況



現場CBR試験状況



52

芋川河道閉塞緊急対策工事



全景 平成16年12月状況



軟弱土の状態(W=100%程度)

発注者：国土交通省北陸地方整備局湯沢砂防事務所
工事概要：平成16年の新潟中越地震では、旧山古志村において土砂崩れ等により芋川の河道閉塞が生じ、大量の軟弱泥土が発生しました。そこで、国土交通省北陸地方整備局湯沢砂防事務所では芋川河道閉塞緊急対策工事にポンテラン工法を採用し、現地の軟弱泥土を原位置で改良して、改良土は資材運搬路・仮設ヤード・国道291号迂回路の盛土材として再利用いたしました。

53

ポンファイバー攪拌状況(原位置攪拌)



セメント系固化材の添加状況



整形状況



改良4時間で大型DTで走行可能



54

改良土締め



改良土による橋台完成



橋桁設置状況



仮橋完成



旧山古志村において発生した軟弱泥土を原位置でポンテラン改良を施し、改良土を仮設の橋台(生コンの代替材料)として再資源化しました。

55

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION

56