

# 吸水材混合処理工法の開発

- 古紙とポリマーを混合した高含水比粘性土の固化造粒処理工法の開発 -

苑田 貴文\* 車田 佳範\*  
長津 辰男\*\* 武田 公明\*\*\*  
薦田 学\*\*\*

## 要 旨

高含水比粘性土の早期かつ経済的な有効利用を目的に、従来の固化材にポリマーを加えた改良手法である「建設汚泥リサイクルシステム」の新たなメニューとして、回収古紙の破砕物を吸水材として加えた「吸水材混合処理工法」を開発した。試験施工および室内試験の結果より、古紙の吸水材としての有用性が確認されるとともに、固化材の種類、添加量および古紙やポリマーの添加量を変化させることにより、有効利用の目的に応じて強度や粒度の異なる改良土の作成が可能であることが判明した。

## 1. はじめに

従来、河川や湖沼の高含水比浚渫土を有効利用する場合は、浚渫箇所付近に脱水処理ヤードを設け長期間天日乾燥した後、搬出する工法が一般的であった。しかし近年は、広大な脱水処理ヤードを確保することが困難になってきており、これらを早期、かつ省スペースで改良して土木材料として有効利用する技術が望まれている。

我が社の「建設汚泥リサイクルシステム」<sup>1)</sup>も、これら高含水比浚渫土や建設汚泥の早期改良を目的として開発されたものであり、汚泥を数分で高品位に粒状化処理する工法としてすでに多くの施工実績を残している。しかしながら従来のシステムでは、高含水比の建設汚泥に適用する場合ポリマー量が多く必要となり、従来のセメント改良に比べ改良コストが高くなることから、含水比の低下のために石炭灰を混入するなど、新たな試みがなされているところである。

今回開発した「吸水材混合処理工法」は、従来の固化材と水溶性ポリマーに加え、新たに吸水材として回収古紙の破砕物を混入することにより、より安価に、造粒固化処理が可能であり、幅広い用途での適用が期待される。

## 2. 吸水材混合処理工法

### 2.1 工法の概要

本工法は、浚渫土あるいは建設汚泥に、固化材、古紙破砕物、水溶性ポリマーを適量で配合することにより、用途に応じて表 - 1 に示す第一種～第四種改良土<sup>2)</sup>を作成する工法である。利用する吸水材は古紙であり、固化材やポリマーは用途や利用時期により適宜混合する。すなわち運搬の容易性を確保するだけでよいのなら古紙のみ、また高品位に粒状化処理したい場合は古紙、固化材、ポリマーを併用するといった工法が可能である。図 - 1 に、本工法におけるシステムの例を示す。古紙の攪拌混

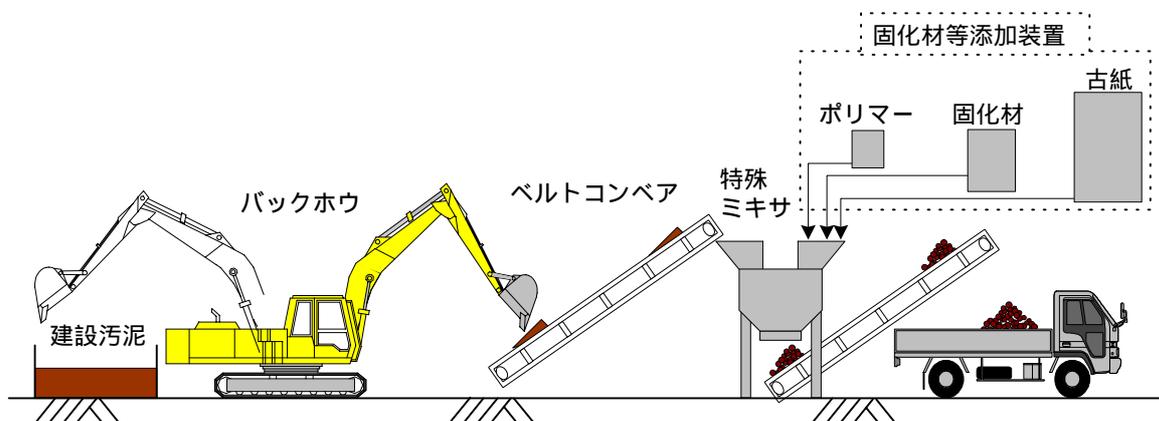


図 - 1 システムの例

合は通常のパドル式ミキサなどでも可能であるが、更に高品位な粒状改良土を作成するためには特殊ミキサが必要である。

表 - 1 改良土の土質区分

区分	基準値 コーン指数 $q_c$ (kN/m <sup>2</sup> )	備考
第一種改良土	-	固結強度が高くレキ、砂状を呈するもの
第二種改良土	800以上	
第三種改良土	400以上	
第四種改良土	200以上	

## 2.2 古紙の性質

写真 - 1 に、当工法に使用する古紙の破砕物を示す。材料は回収古紙を 10mm 四方以下に破砕したもので次のような特長を持つ。

重量比で約 10 倍の吸水能力を持つ。

吸水後、強い摩擦抵抗を示し、改良土の強度発現に貢献する。

特に安全性の高い古紙を厳選しており、環境ホルモンなど一切の有害物を含まず、安全・無公害である。

生分解性である。

資源の有効利用に役立つ。



写真 - 1 古紙

## 2.3 特殊ミキサ

特殊ミキサは外羽根と内羽根の 2 種類の攪拌翼からなり、これらの回転数を変化させることにより通常の固化処理から粒状化処理までが可能となる。外羽根を低速回転、内羽根を高速回転にすることにより、土にせん断力が与えられ高い造粒効果が得られる。図 - 2 に、特殊ミキサの構造を示す。

## 2.4 改良のメカニズム

図 - 3 に、吸水材混合処理工法の改良のメカニズムを示す。材料は通常汚泥に、古紙、ポリマー、固化材の順に添加する。

古紙 汚泥に古紙を添加すると、古紙が間隙水中の水分を吸収することにより見掛けの含水比が低下する。

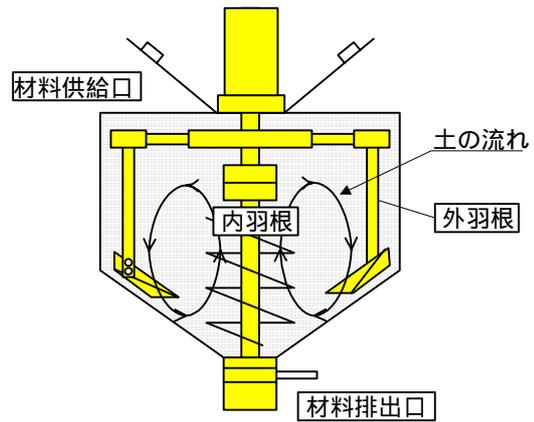


図 - 2 特殊ミキサ構造

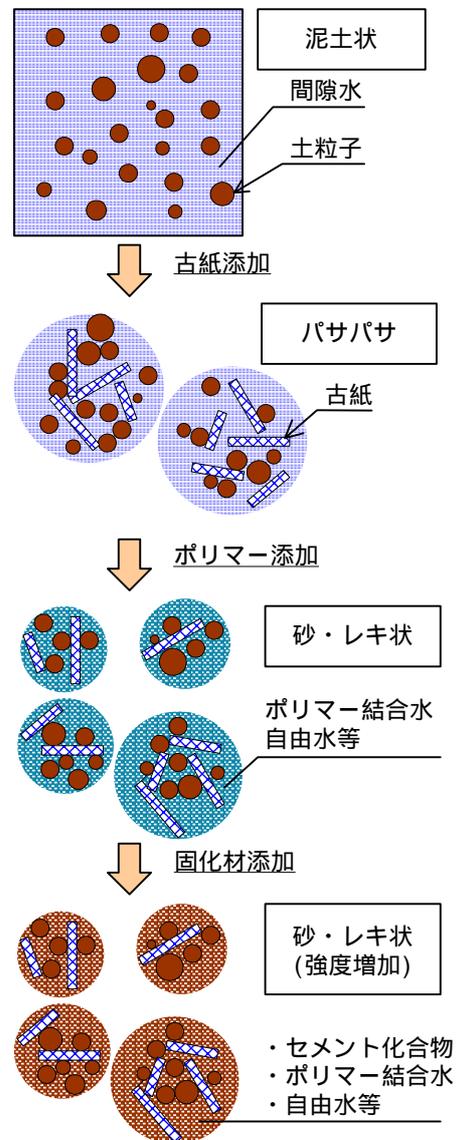


図 - 3 改良のメカニズム

また古紙どうしまたは古紙と土粒子との接触により摩擦抵抗が増加し、土の流動性が失われる。この時点で処理土はバサバサあるいは粗レキ状を呈しており、古紙の添加のみでも運搬の容易性は格段に向上する。

**ポリマー** 次に水溶性ポリマーを添加すると、ポリマーと水と土粒子の結合により処理土の結合力が高まり、この状態で特殊ミキサによりせん断力を与えると処理土はさらに細かく粒状化する。

**固化材** 最後に固化材を添加すると材料中の水と反応し、強度が増加する。

### 3. 試験施工

#### 3.1 試験施工の目的

現在、国土交通省関東地方整備局荒川下流工事事務所では、リバーステーション建設に伴う河川浚渫土を高規格堤防盛土材として有効利用することを目的とした各種処理工法についての検討が実施されている。この一環として吸水材混合処理工法の試験施工を行った。

試験施工の目的は、吸水材混合処理工法のうち各種固化材、古紙、ポリマーの添加量の組み合わせにおいて、各配合条件での有効利用が可能になる養生期間、利用時の施工性、改良コストなどを比較検討することである。

#### 3.2 試験施工ケース

表-2に、試験施工の配合ケースを示す。固化材としては、一般に利用される高炉セメントB種、高有機質粘性土に対して効果の高い高有機質土用セメント系固化材、中性固化材である石膏の3種類を用い、それぞれ古紙およびポリマーの配合を変えて施工を行った。

表-2 配合ケース

Case	固化材	配合 (kg/m <sup>3</sup> )		
		固化材	古紙	ポリマー
1	-	-	-	-
2	高炉B	80	-	-
3		80	30	1
4	高有機質土用	80	-	-
5		40	30	1
6		80	30	1
7		80	50	-
8	石膏	150	80	0.5

#### 3.3 試験施工方法

図-4に、試験施工の概要フローを示す。

処理対象土は、荒川下流域において現在浚渫中の土砂を土運船より採取後、現場のベッセルに移動してそのまま利用した。表-3に、浚渫土の土質特性を示す。

図-1と同様の特殊ミキサを利用したシステムを現地で組み、各材料を添加した。添加順序は、浚渫土と古紙

は同時添加で、次にポリマー、固化材の順であり、攪拌時間はそれぞれ投入完了から30秒間攪拌した。ミキサの回転数は外羽根45rpm、内羽根500rpmに統一した。1ケース毎の処理土量は約3.0m<sup>3</sup>とし、処理土は仮置きヤードに運搬して天日乾燥で養生した。その後1日1度処理土をモールドに詰めてコーン試験を行い、その結果が高規格堤防の規格値であるqc=400kN/m<sup>2</sup>以上になった時点で、実際に高さ60cmの盛土施工を行った。盛土はバックホウにて一層あたり40~50cmの高さに成型し振動ローラにて二層転圧を行った。盛土造成後の強度評価は盛土に直接コーンを貫入して行った。

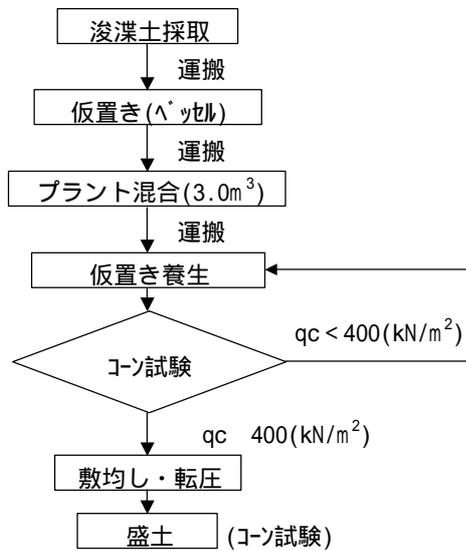


図-4 実験フロー

表-3 浚渫土の土質特性

特性		結果
土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )		2.669
含水比 (%)		73.1
粒度	砂分 (%)	38.2
	シルト分 (%)	35.8
	粘土分 (%)	26.0
コンスタンシー	液性限界 w <sub>L</sub> (%)	59.9
	塑性限界 w <sub>p</sub> (%)	37.2
	塑性指数 I <sub>p</sub>	22.7
強熱減量 Li (%)		6.42

#### 3.4 試験施工結果

##### (1) 処理土の強度

処理土のコーン試験結果を図-5, 6に示す。

Case1は、無処理土を天日養生したものであるが、28日後においても強度発現はなく、重機による盛土施工はできない状態であった。Case2は固化材として高炉セメントB種のみを添加した場合である。この場合、処理直

後は原泥よりも多少流動性が落ちる程度であり、直ぐにダンプトラックなどによる運搬ができる状態ではない。また養生期間5日後 $q_c=400\text{kN/m}^2$ となり強度増加が認められたが、敷均し・転圧するとオーバーコンパクションにより再泥化してしまった。次にCase3は、Case2に古紙とポリマーを添加したものである。この場合処理土は瞬時に粒状化し、ダンプ運搬等が良好になる。処理直後( $q_c=270\text{kN/m}^2$ )に盛土施工することは困難であるが、養生期間3日後( $q_c=700\text{kN/m}^2$ )には振動ローラによる転圧施工が可能となった。古紙とポリマーの添加は処理直後のダンプ運搬等を容易にするだけでなく、強度増加に大きく貢献し、養生期間が短縮されることが明らかとなった。

Case4は、Case2に対して処理後の養生期間の短縮を目的に高有機質土用セメント系固化材を使用したケースである。このケースでは養生期間2日後に $q_c=1200\text{kN/m}^2$ となり、固化材のみでも初期の強度を増加しトラフィカビリティーを確保することは可能である。ただし、処理土は泥土状から塊状となり、処理直後の運搬は容易ではなく、盛土施工にあたっては破碎作業が必要であった。また長期的に強度は更に大きくなるので再掘削などの作業は困難と思われる。それに対してCase5は、高有機質土用固化材の添加量を低く抑え古紙とポリマーを添加したケースである。古紙とポリマーを加えることにより、固化材量が少なくても処理直後の運搬は容易となり材齢2日後( $q_c=700\text{kN/m}^2$ )には重機による盛土施工が可能であった。また、盛土施工後の強度も固化処理のみと比較して適度に抑えられていることがわかる。つまりCase5においては古紙とポリマーを加えることにより初期強度を必要十分に保ちつつ、固化材添加量を減らすことにより長期強度の抑制が可能であった。Case6、7は、より早く有効利用するために固化材量を多くしたケースである。固化材量を増やすことにより、いずれのケースも1日の養生後( $q_c=1800\sim 2000\text{kN/m}^2$ )に盛土施工が可能である。Case8は、固化材として中性の石膏を用いたケースである。石膏の特徴として、強度の発生が小さいため材料は多く必要となるが、水和反応が1時間程度で完了するため、処理後養生期間を置くことなく敷き均し、転圧作業が可能である。

以上の結果より、吸収材混合処理工法においては、固化材の種類、添加量および古紙、ポリマー添加量を適正に配合することにより、高含水比粘性土を有効利用の目的、利用時期に応じて幅広く処理することが可能といえる。

## (2) 粒度試験結果

図-7に、原泥と処理土の粒度を示す。粘性土の原泥に、固化材、古紙、ポリマーを添加することによりCase6、7のように細レキ～粗レキ状となる。Case6を代表とする古紙とポリマーを両方添加したケースにおいては、処理土はいずれも細レキ～中レキ状を呈する粒状体となった。一方Case7を代表とする古紙のみ添加したケースにおいては、処理土の粒は少し大きくなり中レキ～粗レキ状となった。このように、固化材および古紙とポリマーの添加量を変化することによって処理土の粒度調整も可能であり、有効利用の目的にあった処理が可能である。写真-2、3に、古紙、ポリマーの有無による処理土の状況を示す。

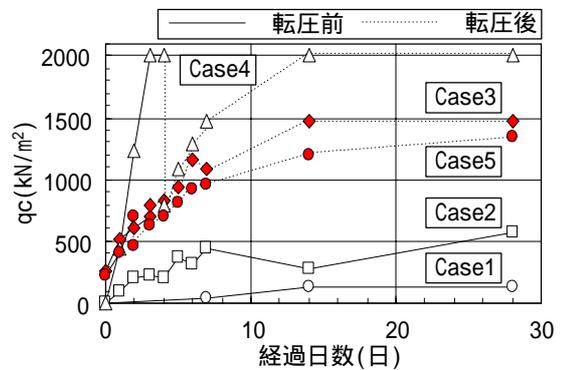


図-5 コーン試験結果(1)

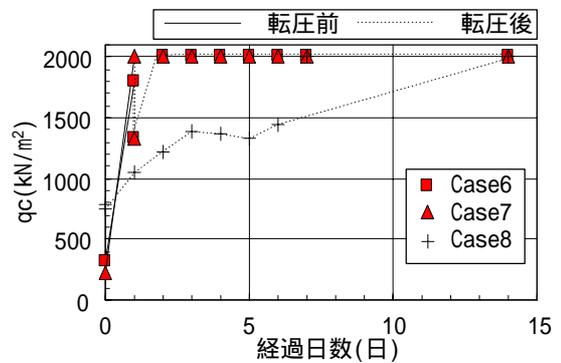


図-6 コーン試験結果(2)

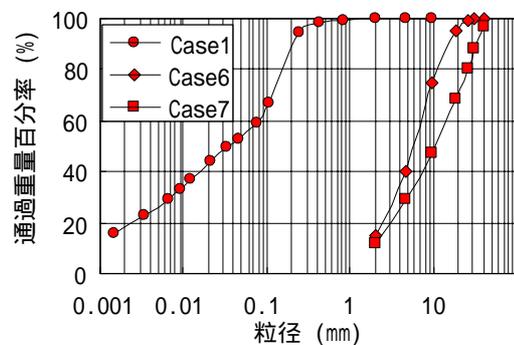


図-7 粒度分布



写真 - 2 改良土 (固化材のみ)



写真 - 3 改良土(固化材 + 古紙 + ポリマー)

### (3) 環境評価

Case8 の処理土は中性であるため、従来のセメント系固化材では困難であった植生用土壌としての利用も可能である。また、固化材としてセメント系材料を用いる場合は、六価クロムの溶出がないことを確認しておく必要があるが、今回の配合においては土壤環境基準以上の六価クロムの溶出は認められなかった。(表 - 4)

表 - 4 六価クロムおよびpH試験結果

Case	六価クロム 計量結果(mg/l)	pH	温度
2	0.005	-	-
3	0.005	11.08	21.4
4	0.007	-	-
6	0.007	11.34	20.8
7	0.005	-	-
8	0.005未満	7.88	21

## 4. 室内試験

### 4.1 目的

通常固化処理の設計に際しては、対象土を用いて室内配合試験を実施したうえで、過去の実績での現場/室内強度比より安全率を考慮し、現場での配合を決定する。しかし本工法では、吸水材として古紙とポリマーを利用しており、必ずしも従来の現場/室内強度比が適用されるものではないと考えられた。そこで室内配合試験を実施し、「現場/室内強度比」について検討した。また、古紙は見

掛けの単位体積重量が $0.25\text{tf}/\text{m}^3$ と軽量なため少量の添加でも処理体積が増える可能性がある。そこで処理土の体積土量変化についても検討した。

### 4.2 現場/室内強度比

#### (1) 養生温度が強度発現に与える影響

まず養生温度が強度に与える影響について確認した。検討ケースは Case3 と Case5 であり、それぞれ養生温度 5 と 20 で封かん養生した。試験方法は、それぞれ所定の配合にて処理した後、室内コーン試験で強度を比較した。図 - 8 に、試験結果を示す。5 と 20 では、養生温度による強度差はほとんど認められない結果であった。

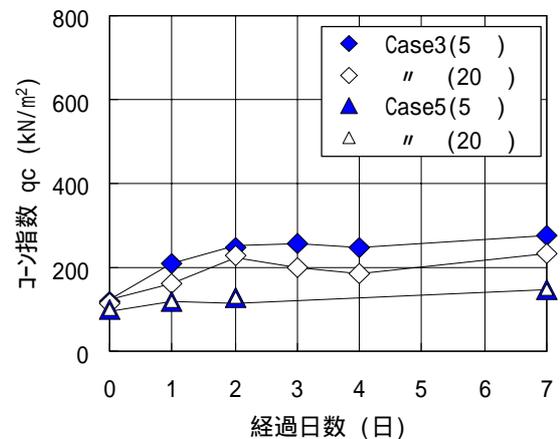


図 - 8 養生温度による強度差

#### (2) 乾燥による強度発現効果

処理土の現場での強度増加には、固化材の化学反応によるものと、含水比の低下によるものが考えられる。次に、養生方法についての比較実験を行った。検討ケースは Case5 であり、5 の室内でそれぞれ、ビニール袋内に入れて養生した場合（封かん養生）と暴露（そのまま放置しておく、表面から急速に乾燥し全体的に含水比がばらつくため表面にビニールを被せ、均一に乾燥するように一定時間毎にばつきを行い養生）した場合について、強度と含水比を比較した。図 - 9 に、試験結果を示す。室内で暴露したほうが含水比の低下に伴い強度が増加している事が明らかである。また図 - 5 と比較すると、室内暴露においては現場と同様に強度が増加しており、粒状化処理における現場/室内強度比を検討する場合には、養生方法はなるべく現地状況に合わせた方がよいといえる。

#### (3) 現場/室内強度比

図 - 10 に、Case5 における試験施工と室内試験（5、封かん養生）での強度比を示す。通常固化処理においては、現場/室内強度比は 1 以下となるが、粒状化処理に

においては1以上になっており、また日数が経過するほど増加傾向にあり、これは粒状化処理することにより乾燥が促進するためであると考えられる。すなわち粒状化処理土を早期に有効利用する際には、いかに早く含水比の低下を進行させるかが重要となることがわかる。

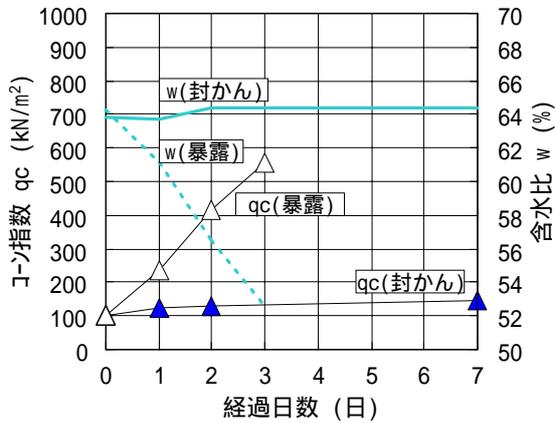
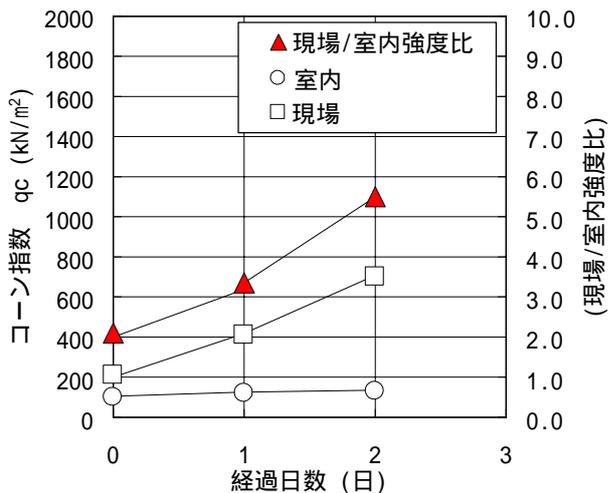


図 - 9 含水比と強度



#### 4.3 処理後の体積変化

古紙は見掛けの単位体積重量が小さいため、重量としては少量の添加においても見掛けの体積は非常に大きい。建設汚泥の処理において処理後の土量が大きく増加することは望ましいことではなく、そこで古紙添加による処理土の体積変化を実験により確認した。表 - 5 に、原泥の体積を1としたときの処理土の体積変化を示す。ここで締固め無しの処理土の体積は、処理後の粒状体を緩詰め単位体積重量計測容器に落下させただけの状態である。また締固め後の体積は飽和度が85~95%の場合であり、現場においてもこの範囲内に締固めることが可能であった。

泥土を粒状化処理すると、見掛けの体積は約2倍程度

にまで増加する。ただしそれらを適正に締固めることにより、通常の固化処理土と同様の体積変化にまで減少する。これは、古紙が攪拌により繊維状となり、土の間隙中に入り込むためであると考えられる。

表 - 5 改良による体積変化

Case	体積比	
	改良前	改良後
	粘土	改良体1 (締固め無し) / 改良体2 (締固め後)
4		- / 1.06 ~ 1.13
6	1	約1.67 / 1.07 ~ 1.15
7		約1.71 / 1.08 ~ 1.16
8		約1.95 / 1.12 ~ 1.19

#### 5. まとめ

現場実験および室内試験の結果より、「吸水材混合処理工法」は高含水比粘性土の早期利用に際し次の点において有利な工法といえる。

粒状化することにより、処理直後の運搬を容易にし、盛土造成時の施工性が向上する。

固化材の種類、添加量、古紙およびポリマーの添加量を適正に組み合わせることにより、強度や養生日数を任意に設定できる。

固化材として石膏を用いることにより中性の改良土が作製可能である。

今後は、対象土の含水比と粒度によるパラメトリックスタディを行い、本工法の適用範囲を明らかにし、改良土の土質特性や長期耐久性について検討する予定である。

#### 【謝辞】

本開発を進めるにあたり、(株)テルナイトの阿部勝久氏をはじめとする同社の皆様方には、貴重なご助言・ご尽力を頂きました。誌面を通じて感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

- 1)高崎、大内、塩田、古賀：建設汚泥リサイクルシステムの開発、第4回地盤改良シンポジウム発表論文集、pp.217-pp.220、2000。
- 2) (財)先端建設技術センター：建設汚泥リサイクル指針、pp.39、1999。