

陸上工事における
深層混合処理工法
設計・施工マニュアル

平成11年6月

財団法人 土木研究センター

5.4.4 地下水への影響

粉体系工法における原地盤のpH、改良体のpHおよび改良体中間の未改良区域のpHの測定例を図-5.4.4に示す。改良体中間部は改良柱体から0.3m離れた位置を調査している。調査期間は施工後2ヵ月経過しており、原地盤のpHとほとんど変わらないことがわかる。

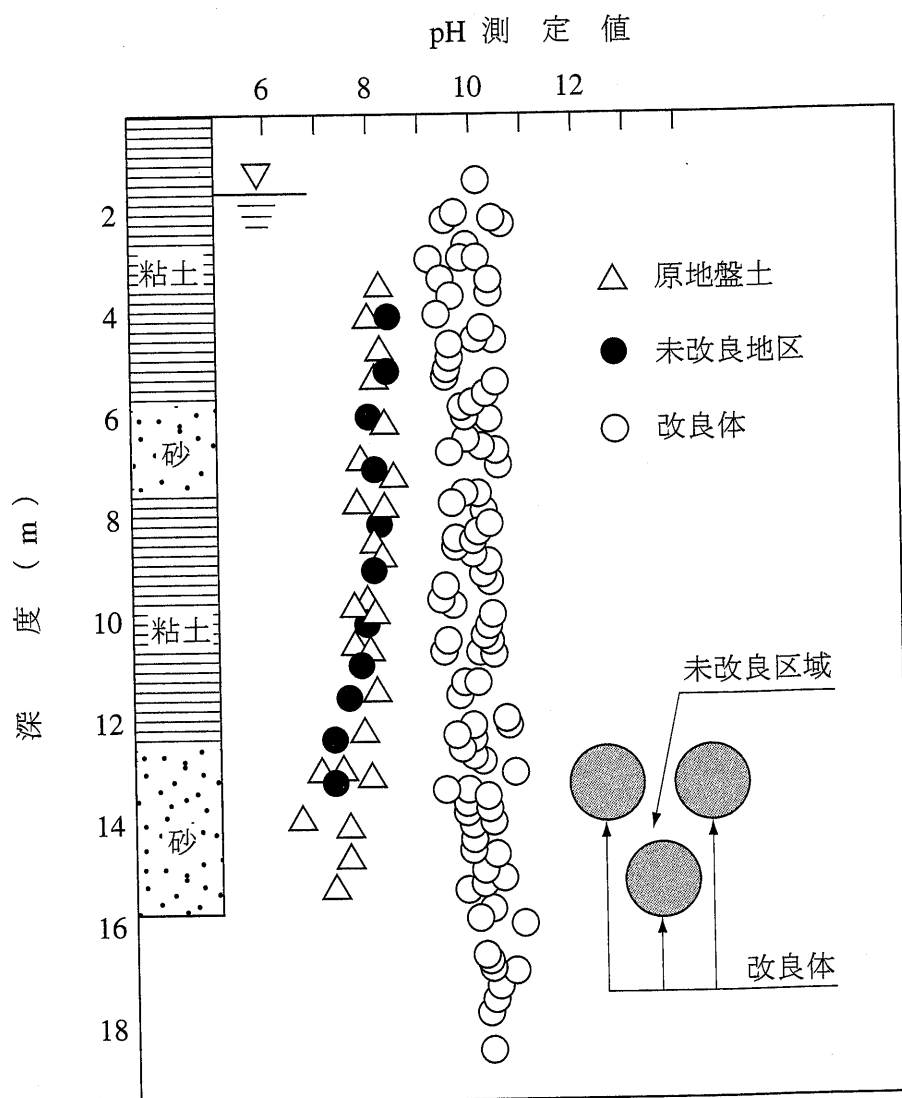


図-5.4.4 pH測定例²⁾

セメント系固化材による

地盤改良 マニュアル

第3版

社団法人 **セメント協会**

発売元 **技報堂出版株式会社**

(2) 植 生

セメント系固化材で固化処理した地盤は土質工学的に一定の水準を満たすことが要求されているため、転圧を伴うことが多く必然的に改良土は高い硬度を有し、かつ当初は強アルカリ性を伴う土壤環境となる。このような改良土は土木構造的には安定するものの植物の生育にとっては大きな環境要因になる。参考として、土の硬さと植物の根の成長の関係を図-2.40²³⁾に、芝草の適応 pH 域を図-2.41²³⁾に、樹木の必要最小土層厚さを図-2.42²⁴⁾に示す。

従来こういった改良土表面の緑化は、上層への良質土の敷き込み（覆土）により植栽を行ったり、大型コンテナを設置して緑化を図っていた。覆土による植生

根の生長状態	根の成長容易				生長可能	生長困難	根の侵入不可能 割目に入るか 地表をはう
	10	15	18	20			
カタサ指数(mm)					23	27	30
一軸圧縮強さ ($\times 100 \text{ kN/m}^2$)		0.5			1		3
							10

図-2.40 土の硬さ（山中式土硬度計）と根の成長度

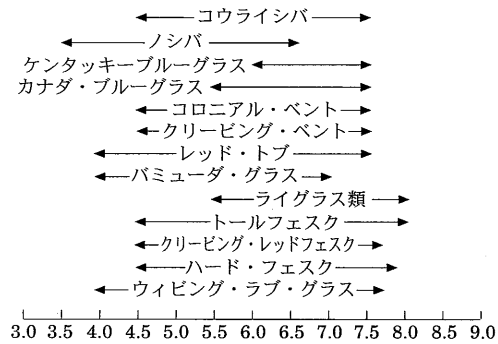


図-2.41 土 pH と芝草の適応域

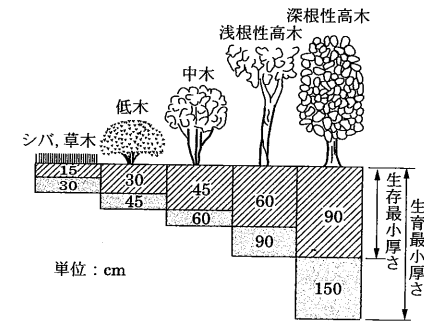


図-2.42 樹木の必要最小土層厚さ

対策の例を表-2.11²⁵⁾に、その効果をウィーピング・ラブ・グラスによって確認した結果を写真-2.4²⁵⁾に示す。

表-2.11 改良土への植生対策

対策	内容	具体案
植物の選定	アルカリ性に強い、成長力の強い植物を選ぶ。	(例) ケンタッキー 31 ホワイトクローバー 木物 ニセアカシア
覆土	改良土表面に必要な応じた覆土を施し、植生を行う。	5～15 cm (草物の場合) (樹木の場合は根の伸長に必要な厚さ)

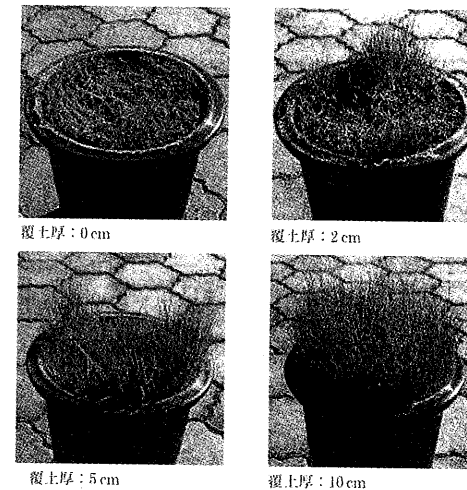


写真-2.4 覆土による芝の生育状況（ウィーピング・ラブ・グラス、2か月）

また、炭酸ガス等により改良土表面をエージング（中性化）することで植生に適した pH とすることも対策の一つとしてあげられる。

一方で改良を施した盛土面も間もなくして雑草地化している等の現象がみられることから、固化処理面への直接緑化の可能性が注目されている。改良土への緑化について現場改良盛土斜面に泥吹きによる播種を行って検討した結果^{26,27)}を表-2.12 および写真-2.5 に示す。改良盛土の固化材添加量にかかわらず順調な発芽が認められた。その後の生育状況は添加量が多くなるに従い背丈が抑えられる傾向にあった。この傾向は添加量の増加に伴い改良土の強度（硬さ）が大きくなり、根の発達を抑制されたためであるが、施肥を行うことで成長促進が可能であることが確認されている。

表-2.12 室内土質試験結果一覧（通常に締固めた状態）

分類	項目	材 齢	固化材添加量			
			0 kg/m ³	75 kg/m ³	150 kg/m ³	225 kg/m ³
C B R 試 験	含水比 (%)	7 日	26.5	24.6	23.7	21.1
		28 日	25.6	24.1	23.5	20.9
	湿潤密度 (g/cm ³)	7 日	1.176	1.398	1.350	1.396
		28 日	1.169	1.394	1.346	1.392
	乾燥密度 (g/cm ³)	7 日	0.929	1.123	1.091	1.152
		28 日	0.931	1.123	1.091	1.151
	CBR (%)	7 日	0.72	8.32	18.9	31.1
		28 日	0.19	12.2	26.5	47.7
一 軸 圧 縮 試 験 ・ そ の 他	含水比 (%)	7 日	22.6	20.1	19.3	18.4
		28 日	22.1	19.8	19.1	18.0
	湿潤密度 (g/cm ³)	成型時	1.192	1.403	1.353	1.401
		7 日	1.204	1.396	1.397	1.397
		28 日	1.205	1.401	1.347	1.393
	一軸圧縮強さ (kN/m ²)	7 日	測定不能	165	180	258
		28 日	測定不能	202	190	411
	コーン指数 (kN/m ²)	7 日	186	2 158<	2 158<	2 158<
28 日		265	2 158<	2 158<	2 158<	
土壌硬度 (mm)	7 日	6.3	29.0	33.7	37.5	
	28 日	5.8	29.3	26.1	33.1	

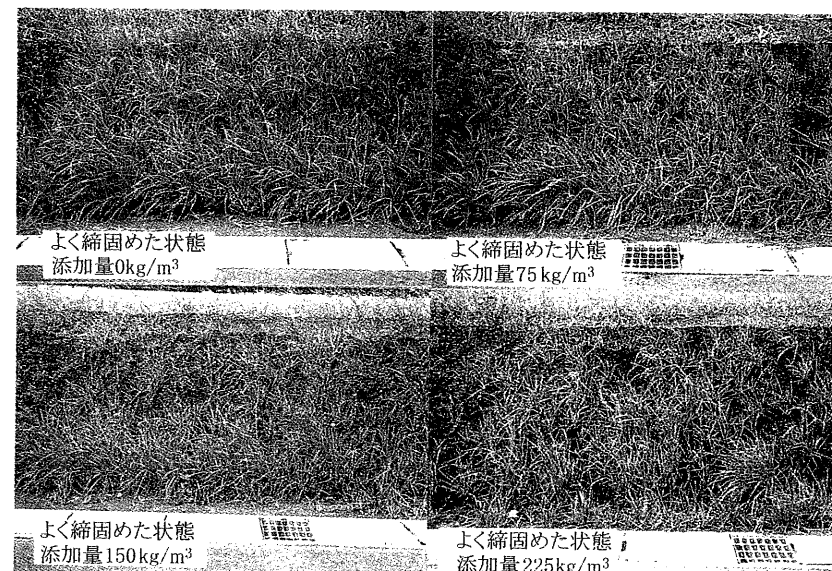


写真-2.5 セメント系固化材の添加量と締固め度合の異なる条件下におけるトールフェスク・コモン播種3か月後の発芽状況

(3) pH

セメント系固化材は、その硬化の過程で、水和反応により水酸化カルシウム (Ca(OH)₂) を生成する。この Ca(OH)₂ は水中で解離 (Ca(OH)₂ → Ca²⁺ + 2OH⁻) し、液相の pH がアルカリ性となるため、セメント系固化材による改良土はアルカリ性を示す。改良土の pH 試験結果²⁸⁾ を表-2.13 に示す。

表-2.13 セメント系固化材による改良土の pH 試験結果

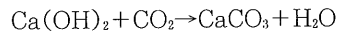
試料土	添加量 75 kg/m ³			添加量 150 kg/m ³		
	3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
A (pH=8.3)	12.0	11.6	11.4	12.5	12.0	11.7
B (pH=8.8)	11.7	11.3	11.2	12.0	11.7	11.6

注) 表中 () は試料土の改良前の pH 測定値

セメント系固化材による改良土はアルカリ性を示すが、その表面は空気中の炭酸ガスによる炭酸化や降雨等によるアルカリ成分の溶脱等によりしだいに中和され、周辺地盤へ浸透したアルカリ成分は土の緩衝作用によって拡散が抑制される。

① 改良土表面の中性化

中性化とは、空気中の炭酸ガス (CO_2) の作用により、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が徐々に炭酸カルシウム (CaCO_3) となり (炭酸化)、アルカリ性 (pH) が低下する現象を示す。



改良土表面および表面を流れる水の pH は、この中性化の進行に従って低下し中性を示す。

② 土の緩衝作用

土に含まれる粘土鉱物の微粒子は、水と接しているときその表面がマイナスに帯電し陽イオン (M^{n+}) を吸着している。この土粒子と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が接触すると、表面に吸着していた陽イオンの内、 Ca^{2+} より親和力の小さい陽イオンを放出し、代りに Ca^{2+} が吸着される。解離した OH^- は、放出された M^{n+} と反応することで消費される。また、粘土鉱物によっては両性電解質の性質により pH が高くなると H^+ を放出することで pH の緩衝作用を示す。

粘土鉱物による中和作用以外にも土壌有機物も中和作用を示し、さらには日本の土には酸性土が多く、アルカリの中和作用を有する。

これら土の緩衝作用により、改良土からの浸透水やその表面を流れるアルカリ性の水は未改良土を浸透することで pH が低下し、アルカリの拡散はほとんど問題とならない。

また、セメント系固化材による改良土からのアルカリ溶出についてはその制御方法の検討により、土の緩衝作用を利用した覆土や敷土が有効であることが明らかとなっている²⁸⁾²⁹⁾。

セメント系固化材による改良土の pH の影響について、図-2.43 に示す実験装置により検討した結果²⁰⁾、改良土の pH およびその浸透水はアルカリ性を示すものの、表面水の pH は材齢とともに中和に近づき、未改良土の pH 自体は土の緩衝作用によりほぼ中性を示した。pH の測定結果を図-2.44 に示す。

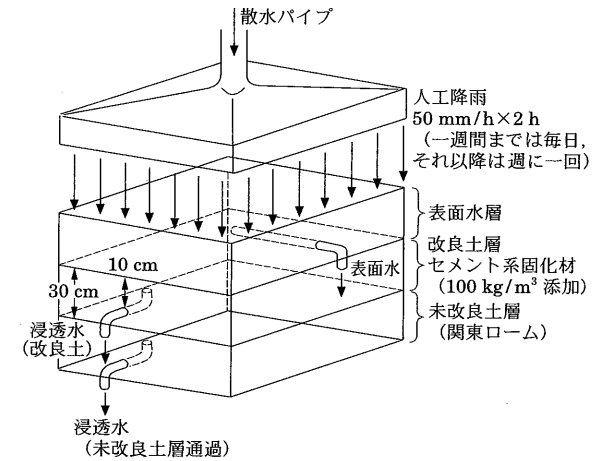


図-2.43 実験装置

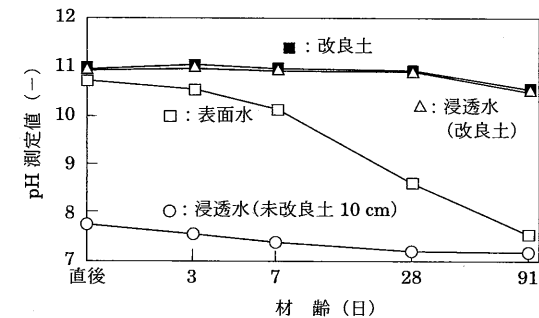


図-2.44 pH測定結果（室内モデル試験）

また、セメント系固化材による改良土の長期安定性の検討⁷⁾においても、改良土自体の pH は高いものの、周辺土（改良土から 5 cm, 15 cm 地点）の pH は長期にわたり変化なくほぼ中性を示していた。pH の測定結果を図-2.45 に示す。

施工後 2 年 9 か月を経過した実現場における検証においても、改良土内部は pH 11~12 程度であったが、地表部では pH=8~9 と中性化が確認された。また、改良底面より下の未改良土の pH は急激に低下しており、改良底面から 10 cm の地点ではほぼ中性を示していた。検証結果を図-2.46 に示す。

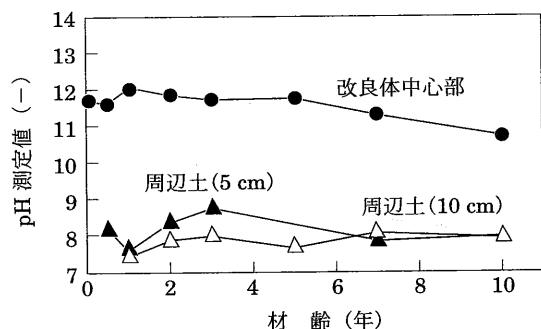


図-2.45 pH測定結果 (長期安定性)

試 料：駐車場改良試験工事追跡調査(東京都)
材 齢：2年9か月

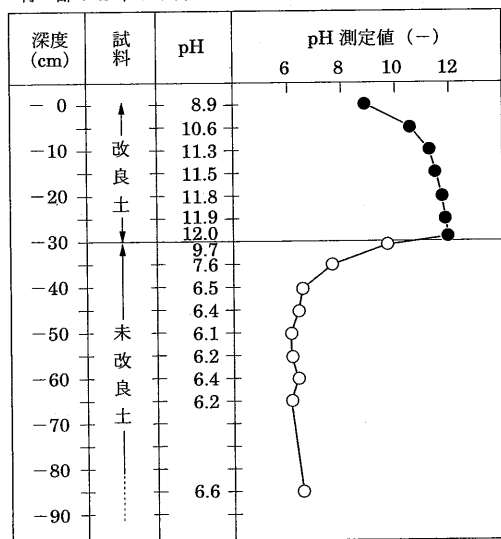


図-2.46 改良土 pH 追跡調査一例

(4) 粉塵対策

市街地や農業地域に近接した浅層改良工事の場合、固化材の散布・混合の際の発塵による周辺環境への影響および作業環境への影響が懸念されてきた。

セメント系固化材の中には、固化性能・施工性を損なわずに、特殊な加工を施すことにより発塵および飛散を抑制した固化材がある。その種類と発塵抑制機構を表-2.14に示す。

表-2.14 発塵抑制固化材の種類と機構

種 類	発塵抑制機構	施工法
スラリー状固化材系	セメント系固化材と水とを通常1:1程度に混合して液状化したもの	現場仮設プラントで製造し、混合箇所までポンプ圧送する
湿潤石灰系	石灰系(消石灰)に20%程度の水を加え湿潤状態にしたもの	通常の消石灰と同様にして施工を行う 荷姿=バラ、フレコン
ブリケット状タイプ	セメント系固化材と生石灰の混合物をブリケット状の塊状に圧縮したもの	粒状生石灰に準じて施工を行う 荷姿=バラ、フレコン
テフロン処理タイプ	セメントや石灰および固化材に微量のフロンを添加し、液体中にサブミクロン系の繊維を形成させて微粒子を補足し、粉体の発塵や飛散を抑制したもの	通常のセメントや石灰と同様にして施工を行う 荷姿=バラ、フレコン 袋詰 (20 kg, 25 kg)
ウェットタイプ	セメント系固化材に油脂系もしくはアルコール系の液体を添加し、固体粒子表面を濡らし湿潤感を持たせたもの	通常の固化材と同様にして施工を行う 荷姿=フレコン

[参考資料] 土木研究センターおよび各社カタログ

◎参考文献

- 1) 山田順治・有泉昌 共著：わかりやすいセメントコンクリートの知識，鹿島出版会（1976）。
- 2) セメント協会：セメントの常識（2002）。
- 3) W. チェルニン 著・徳根吉郎 訳：建設技術者のためのセメントコンクリート化学，技報堂出版（1969）。
- 4) 高速道路調査会：セメント，石灰による路床安定処理の計画，設計および施工に関する研究報告書（1978.2）。
- 5) 吉田信夫：セメント系地盤改良の原理から施工まで，土木施工，22巻，3号（1981.3）。
- 6) 黒田栄三 他：セメント系硬化剤の改良効果について（その5），第18回土質工学研究発表会（1983.6）。
- 7) セメント協会：セメント系固化材を用いた改良体の長期安定性に関する研究（2002.3）。
- 8) 太平洋セメント：技術資料（2001）。
- 9) 土研センター：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル（1999.6）。
- 10) セメント協会：セメントの常識，15（1998）。