電気比抵抗法による深層混合処理土の圧縮強度に関する品質管理

QUALITY CONTROL ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF THE DEEP MIXING SOIL USING THE ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD

武智耕太郎 — * 1 藤井 衛 — * 2
高 元浩 — * 3 新井 マウリシオ淳 — * 4

Kotaro TAKECHI — * 1 Mamoru FUJII — * 2
Yuanhao GAO — * 3 Mauricio Jun ARAI — * 4

キーワード：
電気比抵抗, 圧縮強度, 深層混合処理工法, 品質管理

Keywords:
Electrical resistivity, Compressive strength, Deep mixing method, Quality control

The controls of quality in the deep mixing stabilized soil methods are normally applied after the conclusion of construction, and depending on the results of tests, it is necessary to re-execution. In this study, it was examined the applicability of quality control methods on the compressive strength of deep mixing stabilized column by electrical resistivity method, comparing the resistivity ratio of 28th and third day age (ρ_{28}/ρ_3) of field column with the laboratory tests. In addition, by resistivity of 28th day age (ρ_{28}) of the column and the laboratory, is possible to estimate the compressive strength of improved column.

1. はじめに

深層混合処理工法における品質管理は、品質確認が難しく、通常は、改良体をボーリングによって採取し、コア試験体の状態と材齢28日における圧縮強度から品質を評価している。これは非常に確実な方法であるが、抜き取りによる手間や、抜き取りの本数の面で問題がある。その上、ボーリングによるコア試験体は、ビットで削孔して採取するため、慎重に作業を行ってもコア試験体を傷める可能性がある。もし、現場において非破壊的検査ができれば、試験の効率化や評価の信頼性の向上を図る事ができる。筆者らは、これまで打設直後の改良体内に電極を挿入し、電気比抵抗（以後、比抵抗と呼ぶ）の変化から現場において、改良体の均質性の評価を行ってきた^{1)~3)}。しかし、均質に攪拌が行われても、固化不良を起こすおそれもある。そこで筆者らは、現場改良体の材齢28日における比抵抗 ρ_{28} と材齢3日における比抵抗 ρ_3 との比（ ρ_{28}/ρ_3 ）と室内配合土の ρ_{28}/ρ_3 との比較から品質を評価する方法や改良体の材齢28日における圧縮強度を推定する方法を明らかにしたのでここに報告する。

2. 本報告で用いる用語

まず本報告で用いる主な用語の意味は次のとおりとする。
処理土：深層混合処理工法によって築造されるセメントと原地盤の改良土であり、改良体を形作る材料
改良体：処理土により地中に形成される柱状の構造物

3. 室内実験による適用性の検証

比抵抗から圧縮強度を推定する試みは、モルタル⁴⁾、コンクリート⁵⁾の分野でも、これまでいくつかの方法が試みられてきた。モル

タルやコンクリートの骨材は土とみなすことができ、1種の処理土とも言える。したがって、比抵抗から圧縮強度を評価する価値は十分にある。処理土の固化作用の中で、最も大きな働きをするのは、セメント鉱物自身の水和反応である。まず、練混ぜ水とセメント鉱物が反応し、セメント水和物が生成される。次に、そのセメント水和物が土粒子間の空隙を緻密に埋めて発達し、強い結合状態となり、圧縮強度が増大する⁶⁾。まず、土の比抵抗計測において、間隙水の比抵抗が明らかであれば、比抵抗から土の間隙の大きさが推定できる事に着目し⁷⁾、処理土が硬化していく時の比抵抗の変化と圧縮強度の変化の関連性を明らかにする事を目的として室内実験を行った。

3.1 実験概要

表1に実験条件を、表2に使用した土の物理諸元を示す。試験体（直径50mm、高さ100mm）は、表1に示す様に、笠岡粘土と珪砂7号を質量比5:5、6:4、7:3で配合した土に、W/Cを60%、80%、90%、固化材添加量を200kg/m³、300kg/m³、400kg/m³に変化させたセメントスラリーを混合攪拌して27配合の試験体を作製した。同じ配合条件での試験体は、13体作製し、12体を一軸圧縮試験用、1体を比抵抗測定用とした。比抵抗測定用の試験体には、電極と同径の直径12mm、深さ75mmの試験孔をあらかじめ設けた。セメントは普通ポルトランドセメント、練混ぜ水には水道水を用いた。一軸圧縮試験（JIS A 1216:2009）は材齢3、7、14、28日とし、圧縮強度は3体の平均値から求めた。比抵抗は、写真1に示す様に、電気伝導率計の電極を試験孔に挿入して計測した。表3に使用した電気伝導率計の仕様を示す。写真2は、比抵抗の測定状況である。計測は、孔内に0.1 mol/kgの塩化カリウム溶液（以下、KCL溶液と呼ぶ）を注入し、各配合で1体を材齢1~28日まで連続的に行った。

¹⁾ ジャパンホームシールド(株) 修士(工学)
(〒130-0026 東京都墨田区両国2丁目10-14 両国シティコア17F)
²⁾ 東海大学工学部建築学科 教授・工博

³⁾ 東海大学総合理工学研究科総合理工学専攻 院生・修士(工学)

⁴⁾ システム計測(株) 修士(工学)

¹⁾ Japan Home Shield Co., Ltd., M. Eng.

²⁾ Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Search Institute, Tokai Univ., Dr. Eng.

³⁾ Graduate Student, Course of Science and Technology, School of Science and Technology, Tokai Univ., M. Eng.

⁴⁾ System Measure Co., Ltd., M. Eng.

表1 実験条件

固化材添加量 kg/m ³	W/C %	土の種類 笠岡粘土：珪砂7号
200	60	5:5
300	80	6:4
400	90	7:3

表2 使用した土の物理諸元

土の種類 笠岡粘土：珪砂7号	土粒子 の密度 g/cm ³	自然 含水比 %	液性 限界 %	塑性 限界 %	粒度特性 (%)		
					砂分	シルト分	粘土分
5:5	2.75	23.6	35.8	14.0	45.2	26.1	28.7
6:4	2.60	23.3	41.6	16.1	36.7	30.2	33.1
7:3	2.76	31.6	46.5	19.5	30.3	36.5	33.2

表3 電気伝導率計の仕様

型番	CT-27112B
比抵抗測定範囲	0.5 Ω・m～10K Ω・m
使用温度	0～80℃
使用湿度	<95RH %

写真1 電気伝導率計

(a) 全貌

(b) 断面

写真2 測定状況

3.2 実験結果と考察

図1は、圧縮強度と比抵抗の関係を示したものである。図1に示すように、すべての試験体で、圧縮強度と比抵抗との間に相関関係が認められた。この要因として、含水比の変化と間隙の変化の2つの要因が考えられる。図2は含水比の材齢による変化を示したものであるが、いずれも材齢による大きな違いは見られなかった。したがって、比抵抗の材齢による変化は含水比の影響を受けているとは考えられない。また、写真3は処理土の組織の材齢による変化を、電子顕微鏡で観察した状況である。これより、材齢が進むにつれて、組織が緻密になって行く様子が分かる。このことから、溶液の比抵抗が一定の場合、処理土の比抵抗は、間隙の変化を示していると考えられる。したがって、各試験体の比抵抗の増加に伴う圧縮強度の変化量と材齢28日の比抵抗から、(1)式の様な圧縮強度予測式が表される。ここでは測定精度を考慮し、(1)式のa及びbは材齢3、7、14日の3点から求めた。

$$q_{u28p1} = a \cdot \rho_{28} + b \quad (1)$$

q_{u28p1} : 推定材齢28日の圧縮強度 ρ_{28} : 材齢28日の比抵抗

$$a: (\sum \rho_i \cdot q_{ui} - n \cdot \rho_i \cdot q_{ui}) / (\sum \rho_i^2 - n \rho_i^2)$$

n: 測点数

$$b: q_{ui} - a \rho_i$$

q_{ui} : 同一配合の圧縮強度 ρ_i : 同一配合の比抵抗

(1)式より推定値 q_{u28p1} を求め、実測値 q_{u28} と比較すると、図3に示すように、両者は概ね一致した。以上より、圧縮強度と比抵抗の関係から、材齢28日の圧縮強度の推定が可能となる。これを現場で使用する事を考えた場合、事前に室内配合土で(1)式のa、bを算出し、この結果と現場改良体の材齢28日における比抵抗から圧縮強度が求まることになる。しかし、この方法で強度を推定するには、現場改良体から求め得るa、bと室内配合土で求めたa、bが近い値であるという条件が必要となる。両者の材料は同じであるため、固化不良を起こしていなければa、bは近い値になるものと考えられる。

図1 圧縮強度と電気比抵抗の関係

(笠岡粘土：珪砂7号=5:5、W/C=60%)

図2 含水比と材齢の関係の例

(笠岡粘土：珪砂7号=6:4、W/C=60%、固化材添加量 400kg/m³)

(a) 材齢3日

(b) 材齢7日

(c) 材齢14日

(d) 材齢28日

写真3 材齢経過に伴う試験体の組織の変化の例 (倍率500倍)

(笠岡粘土：珪砂7号=6:4、W/C=60%、固化材添加量 400kg/m³)

図3 推定値 q_{u28p1} と実測値 q_{u28} の関係

4. 固化不良の改良体について

3.2 で示した様に、比抵抗が間隙の変化を反映する事により、圧縮強度の予測が可能であるが、室内配合土から求めた値を用いて(1)式から現場の改良体の強度を推定しようとする場合、現場の改良体が固化不良を起こしていないという条件が必要となる。ここでは、改良体の不良杭を例に、比抵抗による固化不良の評価方法を示す。表4は、既往の文献⁸⁾に示されている改良体の不良杭の例に、筆者が加筆したものである。改良体の不良杭には、1～4のパターンが考えられる。1と2は、攪拌具合のばらつきによる不良であり、3と4は、未固化による不良である。3と4は、未固化のため、水和反応による間隙の収縮が少ない。したがって、正常に固化した試験体と比抵抗の材齢による変化量を比較する事で品質の評価が可能となる。1と2は、未固化と固化部分が存在するため、間隙の収縮具合に、ばらつきが生じる。そのため、同一土層中の比抵抗のばらつきを確認する事で、判断が可能と考えられる。比抵抗の材齢による変化量は、材齢3日と材齢28日の比抵抗を割った値(以下、 ρ_{28}/ρ_3 とする)で、評価することとした。既往の文献においてセメント水和物の生成が、材齢3日から増大し、材齢28日までに収まることが報告されていることから⁹⁾、 ρ_{28}/ρ_3 は水和反応全体の間隙の変化を表す値であるため、反応速度の異なる現場改良体と室内配合土の値を比較しても問題がないと考えられる。すなわち、室内配合土で正常に固化した際の ρ_{28}/ρ_3 を求め、現場改良体との比較と、同一土層における ρ_{28}/ρ_3 のばらつき具合を確認する事により、現場改良体が固化しているかどうかを評価する事が可能となる。

5. 比抵抗による品質検査法の提案

比抵抗による圧縮強度に関する品質検査方法の流れを図4に示す。比抵抗による圧縮強度に関する品質検査は、強度予測式の適用条件である現場の改良体が固化不良を起こしていない事を①、②の ρ_{28}/ρ_3 の大きさとそのばらつきから評価し、適用が可能である場合③で、圧縮強度の推定式を適用し、この強度と設計基準強度の比較をし、改良体の連続性と強度の大きさの両面を評価する。

5.1 試験方法

図5に、計測状況概要図を示す。また、計測の状況を写真4に示す。計測は、未固化状態の改良体に比抵抗プローブと同径の鉄製の棒を挿入し、翌日その棒を抜き取り作製した試験孔に、比抵抗プローブを圧入して行った。計測の際には、比抵抗プローブと改良体の間を0.1 mol/kg KCL溶液を注入して間隙を満たした。測定間隔は、

表4 改良体の不良杭の例⁸⁾に加筆・変更

No	1	2	3	4
改良体の固化状況	改良体中で固化部分が筋状に形成される	未処理土と処理土が混り合う塊状改良体となる	改良杭の外周部のみ改良され塊状中心部は改良されない	特定の深度で改良体の強度が発現していない
原因	攪拌回数が少ないと、攪拌翼の軌跡に沿ってスラリーが集中する。	1) 攪拌翼の間隔が狭すぎると改良対称土が処理機の回転軸と共回りし、混練りがなされない。 2) スラリーの吐出が不規則 3) 攪拌回数が少ない。	攪拌翼の回転速度が速すぎたり、スラリーが改良杭の外周部に多く存在するという偏りが出て、中心部が固化されていない改良杭となる。	固化し難い土層がある。固化材種類、添加量の選定不備

図4 比抵抗による圧縮強度に関する品質検査方法の流れ

図5 計測状況概要図

25cmである。比抵抗の測定は、材齢1～7、10、14、21、28日に行った。また、現場にて1m 間隔で採取した土を用いて、改良体と同配合の室内配合土を作製し、一軸圧縮試験(材齢3、7、28日)、比抵抗計測試験(材齢1～28日、計測方法は3.1による)を行った。また、推定圧縮強度の妥当性の検証と改良体が固化しているかどうかを確認するために、ボーリングにより採取したコア試験体の一軸圧縮試験(材齢28日)を行った。比抵抗プローブの電極配置はWenner式4電極法を採用した。比抵抗プローブの電極配置図を図6、比抵抗測定器の仕様を表5、比抵抗プローブを写真5に示す。また比抵抗は、温度依存性が認められるため¹⁰⁾、測定値の温度補正が必要となる。ここでは、基準温度を25℃とし、温度補正は(2)式¹⁰⁾を用いて行った。

$$\begin{aligned} \rho_{25} &= \rho_t \cdot \{1 + 0.02 \times (t - 25)\} \\ \rho_{25} &: 25^\circ\text{Cの電気比抵抗} \quad (\Omega \cdot \text{m}) \\ \rho_t &: t^\circ\text{Cの電気比抵抗} \quad (\Omega \cdot \text{m}) \quad t: \text{温度} \quad (^\circ\text{C}) \end{aligned} \quad (2)$$

写真4 計測状況

図6 比抵抗プローブの電極配置

表5 比抵抗測定器の仕様

測定切替レンジ	0.1mA～20mA
比抵抗測定範囲	0Ω・m～20kΩ・m
電源電圧	DC100V
使用温度	0℃～50℃
使用湿度	<80RH %

写真5 比抵抗プローブ

6. 改良体の施工不備による固化不良の評価

提案した品質検査方法の流れに従い、改良体の固化不良の状況を確認し、品質検査方法の妥当性を検証した例を示す。

6.1 地盤と改良体の概要

地盤と改良体の概要を図7に、表6に土の物理諸元を示す。土層構成は上部から、盛土、粘土、シルトになっている。改良長は5.0m、改良体の径はφ600mm、配合はW/C=60%、固化剤添加量300kg/m³とした。なお、試験対象区間は、表層から3.25mまでである。室内配合土と現場改良体の比較は層区分を元に0～0.75mは0.5m、1m～1.75mは1.5m、2m～2.75mは2.5m、3m～3.25mは3.5mの深度で検討を行うこととした。図8に施工概要図を示す。固化材スラリーの吐出方法は、通常貫入時もしくは引抜時に行うが⁶⁾、本地盤では、貫入時と引抜時の両方で注入する方法で行った。この方法は、既往の論文¹¹⁾において攪拌回数の違いから、改良具合にばらつきが生じる事が示されており、攪拌不良になる事を想定し、実験用に作製した改良体である。

6.2 室内配合土、現場改良体の計測結果の検討

図9は室内配合土の圧縮強度試験結果であり、図10は室内配合土の各深度における ρ_{28}/ρ_3 を示したものである。図9より、室内配合土は材齢が進むに従って圧縮強度が、増加する傾向を示している。図10より、室内配合土の ρ_{28}/ρ_3 の基準値は、0～0.75mは2.1、1～1.75mは2.2、2～2.75mは2.8、3～3.25mは2.7となり、現場改良体で、この基準値と同等であれば、一定以上の圧縮強度が得られているものと考えられる。図11は、現場改良体の各深度における ρ_{28}/ρ_3 を示したものである。現場改良体の ρ_{28}/ρ_3 は、すべての深度で基準値の1/2程度であった。これは、全長で十分な圧縮強度が、発揮されていない可能性があることを示している。このことを検証するために、コア試験体の圧縮強度を調べた。

図12は、コア試験体の材齢28日における圧縮強度試験結果を示したものである。コア試験体の圧縮強度は、室内配合土の結果と比較して、やはり十分な圧縮強度が得られていない。またコア試験体を観察すると、全体として欠損が多く、攪拌が不十分な状態であった。コア試験体の状況を写真6に示す。以上より、圧縮強度が発揮されていない現場改良体では、 ρ_{28}/ρ_3 が、室内配合土の値よりも低い値を示すので、両者の ρ_{28}/ρ_3 の大きさから固化不良の状況を捉える事ができると分かった。

表6 土の物理諸元

標準貫入試験N値	深度(m)			
0 10 20 30	0.50	1.50	2.50	3.50
土質区分	土粒子の密度 (g/cm ³)			
盛土	2.7	2.7	2.7	2.7
粘土	28.4	28.3	34.3	36.1
シルト	74.8	67.0	57.0	64.1
	53.6	38.9	35.4	41.0
	改良体	30.9	1.6	0.4
34.5		62.3	74.6	71.3
19.5		36.1	25.0	27.1

図7 地盤と改良体の概要

図8 施工概要図

図9 室内配合土の圧縮強度試験結果

図10 室内配合土の各深度における ρ_{28}/ρ_3

図11 現場改良体の各深度における ρ_{28}/ρ_3

図12 コア試験体の材齢28日における圧縮強度試験結果

写真6 コア試験体の状況

7. 改良体の圧縮強度の推定

提案した品質検査方法の流れに従い、改良体の推定圧縮強度を確認し、品質検査方法の妥当性を検証した例を示す。

7.1 地盤と改良体の概要

地盤と改良体の概要を図13に、表7に土の物理諸元を示す。土層構成は、上部から盛土、黒ボク、ロームとなっている。改良長は4m、改良体の径は $\phi 600\text{mm}$ 、配合は $W/C=60\%$ 、固化剤添加量 300kg/m^3 とした。室内配合土と現場改良体の比較は層区分を元に0～1.0mは0.5m、1.25m～2mは1.5m、2.25m～2.75mは2.5m、3m～3.75mは3.5mの深度で検討を行うこととした。図14に施工概要図を示す。

7.2 室内配合土、現場改良体の計測結果の検討

図15に室内配合土の圧縮強度試験結果を、図16に室内配合土の各深度における ρ_{28}/ρ_3 を示す。図15より、室内配合土は、材齢が進むに従って、圧縮強度が増加する傾向を示している。図16より、 ρ_{28}/ρ_3 の基準値は、0～1mは1.4、1.25～2mは1.2、2.25～2.75mは1.1、3～3.75mは0.8となり、現場改良体がこの値と同等な値を示していると、一定以上の圧縮強度を得られているものと評価できることになる。図17は、現場改良体の各深度における ρ_{28}/ρ_3 を示したものである。現場改良体の ρ_{28}/ρ_3 は、基準値との差が最大で0.2であり、基準値とはほぼ同等な値を示している。これは、十分な圧縮強度が発揮されている可能性がある。このことを検証するためにコア試験体の圧縮強度試験を行った。

図18には、実測値としてコア試験体の材齢28日における圧縮強度試験結果を示している。各深度で、室内配合土の結果に、近い圧縮強度が得られている。したがって、現場改良体の ρ_{28}/ρ_3 と室内配合土の ρ_{28}/ρ_3 より、改良体が固化しているかどうかを評価できる。図18に(1)式より求めた推定圧縮強度 qu_{28p1} と深度の関係を、図19に推定圧縮強度 qu_{28p1} と実測値 qu_{28} の関係を示す。(1)式のa、bの算出には、室内配合土の材齢3、7、28日のデータを用い、 ρ_{28} には現場改良体の値を適用した。なお、表層0mは、不均質であるため、検討から除外している。図18、19より、推定値 qu_{28p1} は、実測値 qu_{28} と良く一致し非常に高い相関性を示す。したがって、室内配合土の圧縮強度、比抵抗と現場改良体の ρ_{28} を計測することで、改良体の材齢28日の圧縮強度を推定出来る事が分かった。

表7 土の物理諸元

標準貫入試験N値				
0	10	20	30	
1				
2	2.2	盛土		
3	2.8	黒ボク		
4				
5		ローム		
6				
7	7.5			

深度 (m)	0.5	1.5	2.5	3.5	
土粒子の密度 (g/cm ³)	2.6	2.8	2.7	2.7	
自然含水比 W _n (%)	64.9	58.6	87.7	130	
液性限界 WL (%)	102	111	125	159	
塑性限界 WP (%)	76.6	74.5	84.0	111	
粒度分布 (%)	粘土	14.8	26.7	14.1	42.6
	シルト	65.7	40.6	41.4	43.6
	砂	23.2	32.7	44.5	13.9

図13 地盤と改良体の概要

図14 施工概要図

図 15 室内配合土の圧縮強度試験結果

図 16 室内配合土の各深度における ρ_{28}/ρ_3

図 17 現場改良体の各深度における ρ_{28}/ρ_3

図 18 推定圧縮強度 q_{u28p1} と深度の関係

図 19 推定圧縮強度 q_{u28p1} と実測値 q_{u28} の関係

8. まとめ

現場改良体の ρ_{28}/ρ_3 と室内配合土の ρ_{28}/ρ_3 との比較から品質を評価する方法と改良体の材齢 28 日における圧縮強度を推定する方法を提案し、その適用性を現場改良体にて検証した。以下に、本論文で得た結論を示す。

- 1) 現場改良体にて、室内配合土の比抵抗と圧縮強度、現場改良体の ρ_{28} から材齢 28 日の圧縮強度を推定する事が出来る。
- 2) 室内配合土で正常に固化した際の ρ_{28}/ρ_3 と現場改良体の ρ_{28}/ρ_3 を比較する事により、現場改良体が固化しているかどうかを評価する事が出来る。

本手法と既往の論文^{1)~3)}で示した打設直後の調査を組み合わせ、比抵抗による品質検査は、品質検査のポイント¹²⁾である改良体の連続性と圧縮強度を把握する事が出来、従来のコア採取による品質管理に加える事により、非常に効率よく、かつ適切な品質検査になり得る。今後は、様々な土質及び固化材に対応できるように室内

実験、現場実験による測定データを蓄積し、弱材齢の比抵抗から材齢 28 日の圧縮強度を推定する式など、時間費用を考慮した推定式を検討していく予定である。

謝辞

本研究は、平成 22~24 年度 住宅・関連先導技術開発助成事業の補助金により実施したものである。ここに深く感謝致します。

【参考文献】

- 1) 田村昌仁、藤井衛、青木功、小川能克、武内義夫、日比野信一、神保俊次、都築充雄、加藤千博、津田佳昭:電気比抵抗による改良体の品質評価に関する現場実験、日本建築学会構造系論文集、第 531 号、pp.95~99、2000.5
- 2) 藤井衛、川村政史、田村昌仁、渡辺一弘、溝口栄二郎:深層混合処理工法による改良体を対象とした品質確認・推定手法、材料、Vol.53、No.1、pp.9~12、2004.1
- 3) 藤井衛、新井マウリシオ淳、久保豊、伊集院博、千葉原敦:電気比抵抗測定による深層混合処理工法の品質管理、日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2010、pp.475~476、2010.7
- 4) 小野博宣、加藤聡、大岸佐吉:セメントモルタルの電気比抵抗に及ぼす測定条件の影響、セメントコンクリート論文集、No.46、pp.344~399、1992
- 5) 藤原浩巳、丸岡正知、岡村洋一、林志翔:比抵抗法を用いた非破壊的コンクリート圧縮強度推定方法に関する研究、セメントコンクリート論文集、No.55、251~256、2002
- 6) 財団法人土木研究センター: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、pp.20~143、2004.3
- 7) 藤井衛:比抵抗計測による土の毛細管性状の調査、土質工学会論文報告集、Vol.21、No.1、pp.131~138、1981.1
- 8) 社団法人土質工学会:地盤改良のトラブルの要因とその対策、pp.184~185、1995.9
- 9) 川村満紀、柳場重正、杉浦精治、中野寿:ソイルセメントにおける粘土鉱物とセメントの相互作用の役割、土木学会論文報告集、vol.169、pp.31~43、1969.9
- 10) 高橋宣之、河内邦夫、矢部和夫、中村隆俊、後藤典俊:携帯型電導度測定機器の開発と湿原環境調査への適用、室蘭工業大学紀要、vol.54、pp.137~145、2004.11
- 11) 芳沢秀明、奥村良介、細谷芳巳、須見光二、山田哲司:改良土の品質に影響を与える施工要因について、地盤工学会 セメント系安定処理土に関するシンポジウム発表論文集、pp.76~95、1996
- 12) 一般財団法人日本建築センター:改訂版建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針、pp.238~255、2002.11

[2013 年 6 月 19 日原稿受理 2013 年 8 月 12 日採用決定]