

汚泥の処理処分に関する研究 (第13報)

—伏木富山港新湊地区・超軟弱地盤の表層固化工事—

喜田大三 久保博
漆原知則

Studies on Treatment and Disposal of Mud (Part 13)

—Solidifying Work of the Very Weak Muddy Ground
at Shinko area in Fushigi-Toyama Harbor by Cement—

Daizo Kita Hiroshi Kubo
Kazunori Urushibara

Abstract

In stabilizing very weak muddy ground (90,000m²), solidifying work (in lattice shape) was done on the shallow surface portion (GL 0 to -1 m) by cement prior to spreading sheets or nets on the ground and covering with soil. The cement for solidification was added at a rate of 100kg/m³ for lattice frame parts. (1) The mud had a high content of fine grains, the water content was 136%, and ignition loss was 9%. (2) The quf/qul was 0.2 to 0.35, and 0.28 on the average (quf: solidified strength at site, qul: solidified strength in laboratory). (3) The quf/qul ratio was much influenced by differences in conditions for mixing cement with mud and in curing temperatures.

概要

超軟弱な地盤(約9万m²)の改良において、表層を予め固化することによって、以後のシート・ネット敷設の足掛りができ、さらに土砂まき出しも円滑に施工できた。その固化処理では、格子状(36m×60mピッチ)の固化帯(幅4m、厚1m)を造成するため、ヘドロ混合処理船によってセメントを100kg/m³(7.5%)添加混合した。この工事で、現地強度quf(処理船で混合した現地固化強度)と室内強度qul(室内試験の固化強度)の関係などを調査し、有益な知見を得た。

- (1) 泥土は微細粒子に富み、平均で含水比136%、強熱減量9%であった。(2) quf/qul比は0.20~0.35で、平均0.28であった。
- (3) 固化泥土試料の作製時の混合条件、養生条件をいろいろ組合せて調べた結果、上記のquf/qul比には、現地の室内に対する強度の低下比率として、その混合条件の違いが平均0.7、その養生条件の違いが平均0.45で寄与しており、後者の影響の方が大きかった。
- (4) その際の養生条件の影響としては温度の影響が主体であった。

1. まえがき

わが国では、臨海埋立地や沖積平野の河口付近、沼沢地にまで、産業立地のスペースを求めることが多く、必然的に軟弱地盤の改良工事が非常に盛んである。

伏木富山港新湊地区の土砂処分場(70万m²)はポンプ船による浚渫土で埋立てられ、超軟弱な地盤で形成される。そこで、跡地利用などのため、すでに埋立てられた超軟弱層で表層地盤改良工事が施工された。この工事は表層を固化処理し、さらにシートやネットを敷設して良質土で被覆する工事であり、その中で特に表層固化は

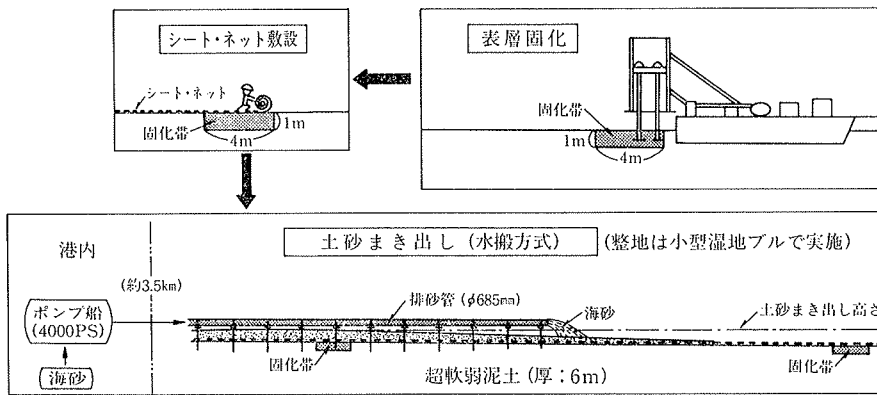
設計・施工上重要な位置を占めた。

本報告では、上記表層固化工事に際し調査試験を行ない有益な知見を得たので、その一部を報告する。

2. 工事概要

軟弱な表層地盤の改良には、シートを敷設し土砂をまき出していく工法がある。しかし、人も歩けない超軟弱な地盤では、この方法も難しく、シート敷設に先だち竹井桁を敷設したり、表層を固化する必要がある。

本工事における施工フローを図-1に示す。超軟弱な泥土(以下、泥土)の表層1mを格子状に固化すること



図一 表層地盤改良工事全体フロー

によって、シート等敷設の足掛りをつくり、また土砂まき出し時の塑性流動を軽減した。その結果、以後のシート等敷設工さらに海砂による覆土工（土砂まき出し厚0.5~3.5 m）が円滑を施工された。

固化帯の造成（固化処理）は、図一2のように、

幅：4 m、厚：1 m

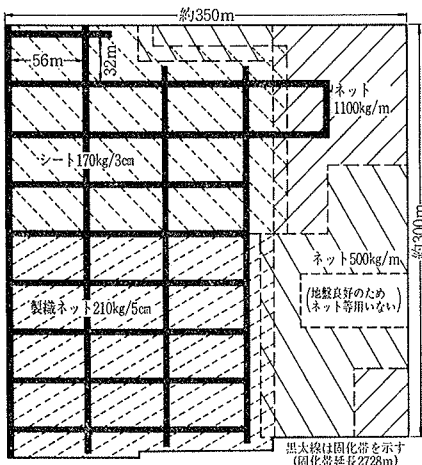
形状：格子状（ピッチ 36 m×60 m）

で、固化土量は 10,912 m³ であった。固化処理は陸上に設置のプラントからセメントスラリー（W/C=1.5、普通ポルトランド）をヘドロ混合処理船（写真一1）に圧送し、セメント 100 kg/m³（重量比 7.5%）混合で行なわれた。また、シート・ネット敷設では、浚渫土埋立時の排砂管吐出口の影響で場所ごとに土質・地盤強度が異なるため、図一2のように地盤強度に応じた材質が使用された。写真一2にネット敷設状況を示す。

3. 調査概要

実施した各種調査のうち、本報告に述べる主な調査は以下のとおりである。

(1) 泥土の性状に関する調査……固化処理の適用性、効果などを検討する際の



図二 表層地盤改良平面図

資料となるもので、工事区域の20余地点から採泥し、その物理性、化学性を調べた。(4.1.に後述)

(2) 室内固化強度と現地固化強度の差に関する調査……従来、固化工事で室内試験の強度と実際の現地の強度との差が問題にされることが多い。この点について、新しい考え方を適用して調べた。(4.2.に後述)

(3) 固化後の養生温度とその影響に関する調査……(2)に関連して、大きな影響を及ぼす養生温度について、現地で測定を行なって固化強度への影響を調べた。(4.4.に後述)

4. 調査結果と考察

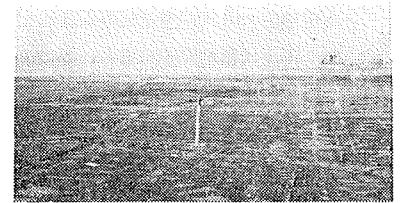
4.1. 泥土の性状

(1) 物理的・化学的性状 工事区域の23地点で調査した表層泥土の性状を表一に示す。

含水比は平均136%で、図一3のように液性限界の約1.6倍もあり、泥土が極めて軟弱なことを反映している。粘土の硬さの指標であるコンシステンシー指数 I_c は、 $I_c = (W_L - W_n) \div I_p = -1.1$ （平均）で非常に小さい。74 μ 以下の通過分は平均92%で、一部試料で調べた粘土分 (<5 μ) は67%で、微細粒子に富んでいる。また図一4のように、塑性図では大部分がA線より上側のCH（粘土）に属し、シードの区分線付近に位置している。筆者ら¹⁾の調査では、ヘドロは一般にA線付近あるいはA線



写真一1 ヘドロ混合処理船



写真一2 ネット敷設状況

	w_n (%)	γ (g/cm ³)	<74 μ (%)	w_L (%)	w_p (%)	I_p	I_{gloss} (%)
n	23	23	23	21	21	21	23
\bar{x}	135.8	1.380	91.8	79.6	28.4	51.2	9.2
σ_n	41.7	0.102	11.1	18.4	5.0	15.4	2.4
x_{max}	217.8	1.672	99.8	112.0	42.2	83.8	14.3
x_{min}	54.4	1.248	57.5	41.8	16.6	21.2	4.9

(n : 個数, \bar{x} : 平均値, σ_n : 標準偏差)

表一 泥土の性状

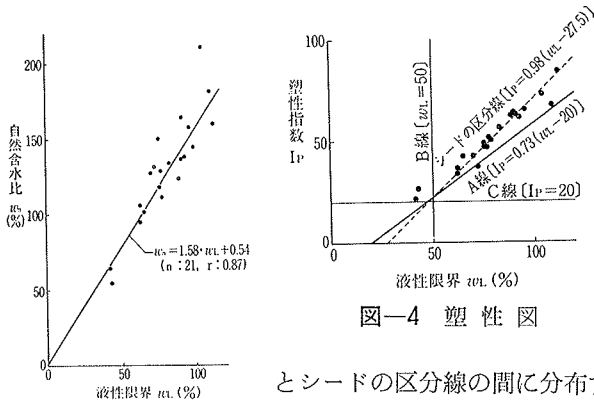


図-3 液性限界と自然含水比の関係

とシードの区分線の間分布することから、当泥土は一般のヘドロよりもCH的性質が強い。

強熱減量は平均9.2%、最大14.3%であり、当泥土は有機ヘドロ（一般に強熱減量15%以上をいう）には属さない。

(2) セメント固化への影響 セメント固化の強度には、特に土中の水分量と有機物量が重要である。当泥土は水分の面からは含水比が液性限界よりかなり高く（自由水的水が多い）、強度を低下させると考えられる。しかし、有機物は少ないので、その面からは、強度への影響は少ないと考えられる。

4.2. 室内強度と現地強度の差

室内強度 q_{ul} (室内試験で得られる固化強度) と現地強度 q_{uf} (現地での施工によって得られる固化強度) との差は、固化工事の設計および施工管理などにおいて特に重要である。 q_{uf}/q_{ul} 比として、ヘドロの表層セメント固化で、三根ら²⁾は0.27~0.54、吉田ら³⁾は0.7を報告している。また、セメントによる深層混合で、高木ら⁴⁾は0.14、斎藤ら⁵⁾は0.35~0.6を報告している。さらに、生石灰を用いた深層混合で、奥村ら⁶⁾は0.07~0.33を報告し、それに影響する因子として、攪拌混合条件、生石灰の特質、攪拌翼形状、養生条件などをあげて解析している。しかし、 q_{uf}/q_{ul} 比の調査例は少なく、その統一的把握は困難なため、データの蓄積および系統的解析が待たれている。

そこで、筆者らは新たな手法を用いて、図-5のような試験を行なった。従来、室内強度は予め採取した試料にセメントを混合し、室内養生して調べていたが、これでは現地強

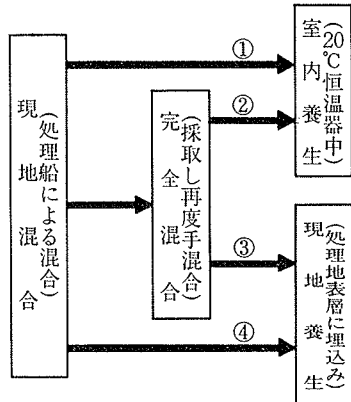


図-5 室内強度と現地強度の差に関する試験のフロー

度の供試体との間で土の性状、セメント混入量が異なる可能性がある。そのため、本調査では試料はすべて処理船によって混合した直後のものを用いた。そして、①採泥して室内養生 (20°C)、採泥し再度の手混合で完全に混合したのち②室内養生と③現地(埋込み(約-15 cm))養生、④塩ビパイプを突きさして現地養生 (約-15 cm) の4ケースを作製した。

本調査では、②と④の比較から q_{ul} と q_{uf} の関係がわかるだけでなく、①と②および③と④の比較から混合条件の影響、また①と④および②と③の比較から養生条件の影響を調べることができる。

試験法として、1試験区の面積3m×4mで、セメント添加量5%、7.5%、10%の各試験区を設け、また混合条件を一定にするため処理船の混合時間はいずれも面積当たり1.2分間とした。そして、各試験区において図-5の①~④でφ5cm×h10cmの供試体を作製し、7日、28日後の一軸圧縮強度(q_u)を測定した。

泥土性状およびセメント混入率のばらつきなどの影響を考慮し、再検討してまとめた結果(一例として28日強度)を図-6に示す。セメント添加量に伴う強度は、①の一部で傾向からずれる場合もあったが、その他の場合ではいずれも増大しており、全体としては明瞭な増大傾向が認められた。また、①~④の強度を比較すると、いずれの添加量でも強度順位は②>①>③>④であった。

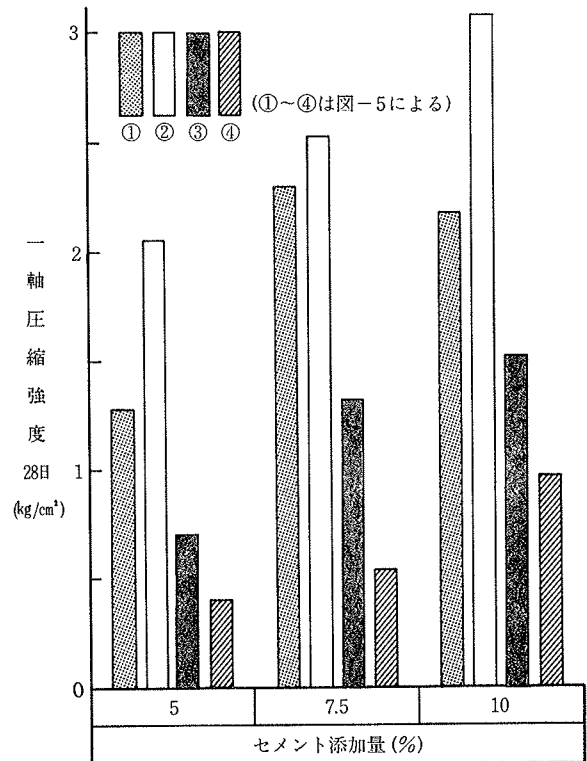


図-6 混合条件および養生条件の相違が固化強度に及ぼす影響

すなわち、強度は現地養生よりも室内養生の方が、また現地混合よりも完全混合の方が高かった。

つぎに、①～④の各ケース間の一軸圧縮強度(qu)の関係を図-7～9に示す。まず、図-7から、

$$\frac{qu(\text{現地混合} \rightarrow \text{現地養生})\text{④}}{qu(\text{完全混合} \rightarrow \text{室内養生})\text{②}} = 0.20 \sim 0.35 \approx 0.28$$

である。すなわち、当工事での qu_f/qu_l 比は平均0.28で、前述の三根らの調査結果に近似した値となった。

さて、上記のように現地強度は室内強度に比べかなり低下するが、このことへの影響が特に大きいと考えられる混合条件および養生条件の影響程度はそれぞれの程

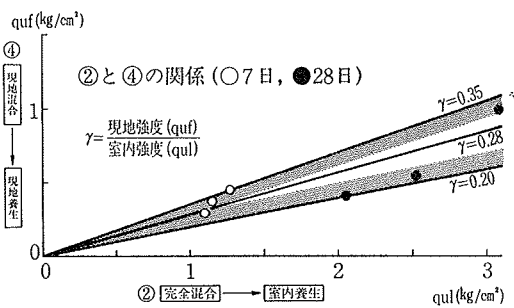


図-7 室内強度と現地強度の関係

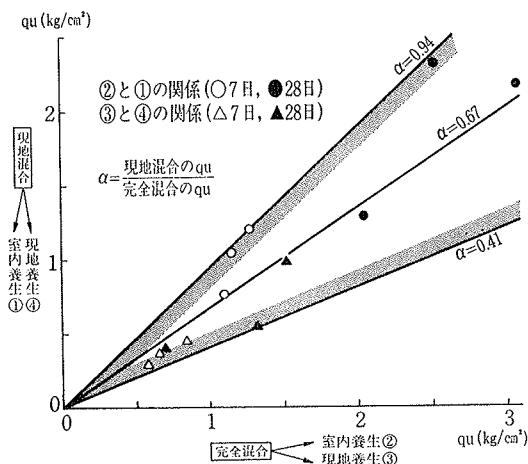


図-8 養生条件一定における混合条件の相違が強度に及ぼす影響

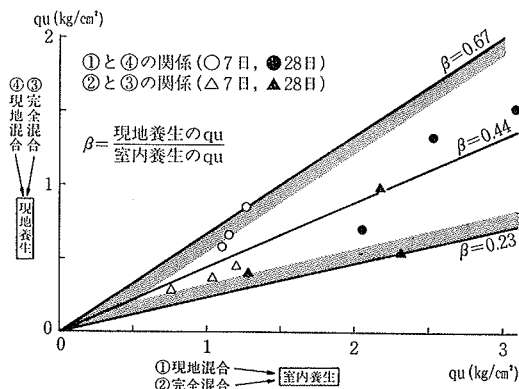


図-9 混合条件一定における養生条件の相違が強度に及ぼす影響

度であろうか。前者に関して図-8より、(現地混合の qu)/(完全混合の qu) = 0.41～0.94(平均0.67), また後者に関して図-9より、(現地養生の qu)/(室内養生の qu) = 0.23～0.67(平均0.44) が得られた。このように、平均値として、 qu_f/qu_l = 0.28 は、混合条件による低下率0.67と養生条件による低下率0.44の積で構成されており、後者の方が大きく影響したことが判明した。

そこで、混合条件、養生条件の影響をそれぞれさらに調べ、前者は4.3.に、後者は4.4.に述べる。

4.3. 混合条件とその強度への影響

混合条件の影響は主に土粒子とセメント粒子の混り具合に起因する。処理船の混合時間を変えた試験区を作製して、試験区を採取し固化強度を調べた結果を図-10に示す。強度は混合時間0.6分～1.2分では著しく増大し、1.2分～1.8分では変化が少ない。前述の図-5～9の「現地混合」は1.2分混合で行なわれたので、

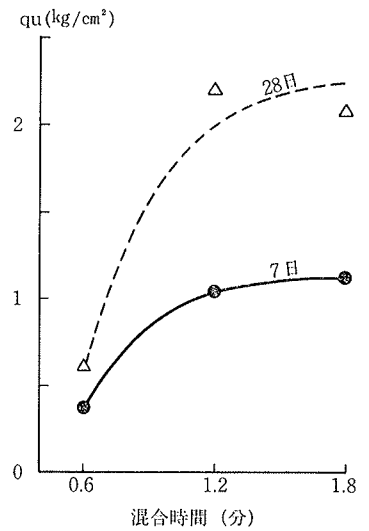


図-10 処理船による混合時間と一軸圧縮強度の関係

この図からその混合状態はかなり良好であったと推察される。したがって、当工事では、混合条件の影響すなわち現地混合と完全混合の強度差は比較的小さくなったと考えられる。なお、試験区以外での施工は1.2分混合で行なわれた。

4.4. 養生条件(温度)とその強度への影響

養生条件の強度への影響には、温度、日数などがあるが、日数一定下では、温度の影響は極めて大きい。そこで、「現地養生」の温度、すなわち現地の固化地盤の温度を自記温度計で調べ、図-11～12に例示する。

当工事は昭和54年12月～昭和55年1月に行なわれ、地表が雪で被われることもしばしばあった。このため、固化処理後4日間で、図-11のように気温は2～11℃、また固化地盤表面の温度もそれと同様であった。一方、固化地盤の内部(-40～-60 cm)は無処理地盤(-40 cm)に比べて約10℃も上昇し、1～3日後には最高21℃に達し、その後漸減した。また、図-12に固化4.5日後における固化地盤と無処理地盤の深さ方向の温度を示すように、気温の影響が少ない固化地盤内部では、セメント水和熱による温度上昇が認められる。

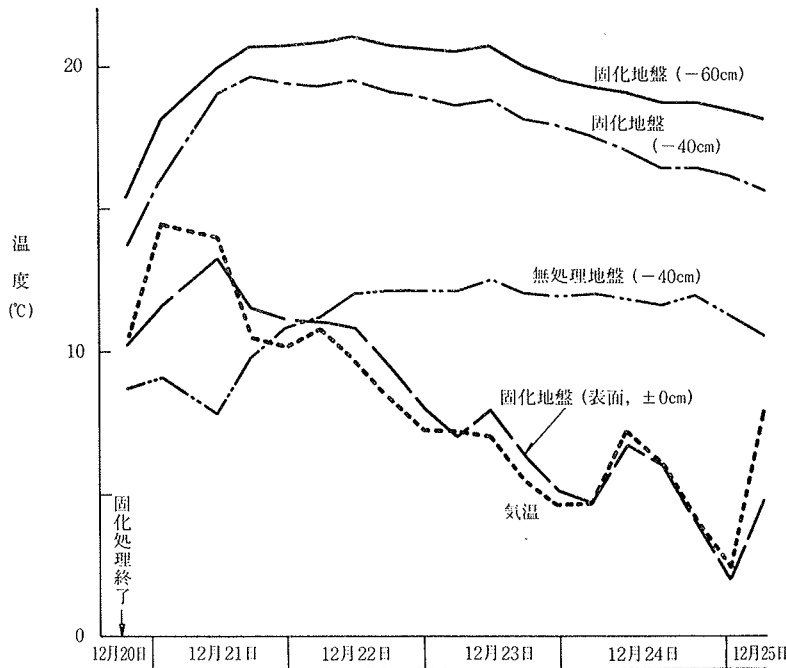


図-11 各地盤中の温度の経時的変化

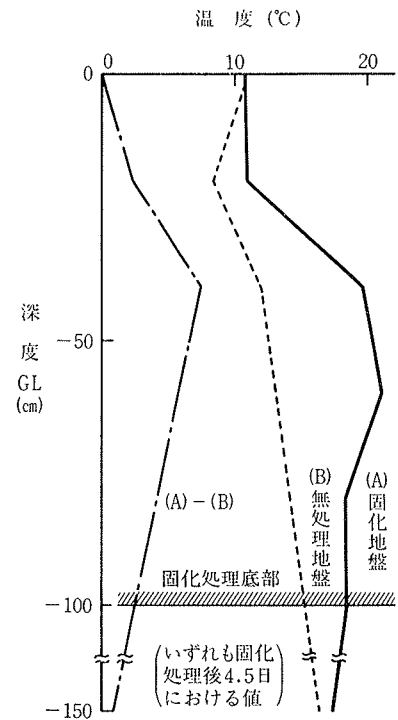


図-12 各地盤中の深さ方向温度

	qu7日 (kg/cm ²)	qu28日 (kg/cm ²)	qu28日/qu7日比
10°C	0.33	0.50	1.52
20°C	0.61	1.06	1.74
qu10°C/qu20°C比	0.50	0.47	*

(室内試験, セメント加量: 7.5%)

表-2 一軸圧縮強度に及ぼす養生温度の影響

つぎに、室内試験で、養生温度の固化強度への影響を調べた結果、表-2のように20°Cから10°Cへの変化で強度は約1/2に低下した。ところで、4.2.で現地養生の強度は室内養生の強度の0.45倍であった。その際の現地養生の場所は固化地盤の-15cmであったので、温度は約10°Cとみなされ、一方室内養生は20°Cであった。したがって、現地養生強度と室内養生強度の比、0.45は表-2とも対応しており、養生条件の影響として温度の影響が極めて大きいことが判明した。

5. まとめ

超軟弱な表層地盤の改良において、シート・ネットの敷設や土砂まき出しを円滑に施工するため、予め表層1mを格子状に固化した。この固化工事で、現地強度 q_{uf} と室内強度 q_{ul} の関係を調査して、 q_{uf}/q_{ul} 比は平均0.3であり、それには混合条件および養生条件などが影響しているが、後者(特に温度)の影響が大きかったことなど、有益な知見を得た。これらに関して、今後さらに調査研究を行なう予定である。

謝辞

本報告は、運輸省第一港湾建設局伏木富山港工事事務所から受託した「表層固化調査」の際に、許可を得て行なった研究を主として発表しています。この研究の御指導をいただいた同工事事務所の方々に深く感謝致します。また、調査に際し御協力をいただいた当社の大脇賢一郎所長、喜多利明職員、富康貞章職員に感謝致します。

参考文献

- 1) 喜田, 他: ヘドロの性状と処理処分について, 粘土科学, Vol. 19, No. 4, (1979), p. 107
- 2) 三根, 他: 超軟弱地盤の表層安定処理工法, 第11回土質工学研究発表会講演集, (昭和51.6), p. 1118
- 3) 吉田, 他: 超軟弱(ヘドロ)地盤の版状載荷試験・解析, 土と基礎, Vol. 26, No. 2, (1978), p. 15
- 4) 高木, 他: セメント系硬化剤による軟弱地盤の深層部改良工法現場施工実験, 第11回土質工学研究発表会講演集, (昭和51.6), p. 1104
- 5) 斎藤, 他: セメント系硬化剤による深層混合工法に関する研究(その3), 第12回土質工学研究発表会講演集, (昭和52.5), p. 1334
- 6) 奥村, 他: 石灰による深層混合工法(第2報), 港湾技術研究所報告, Vol. 11, No. 4, (1972), p. 120