

セメント系改良土の固化遅延に関する研究

東京都市大学 ○学生会員 富嶋ひとみ
 東京都市大学大学院 学生会員 石川喜章
 東京都市大学 正会員 末政直晃

1. はじめに

近年、日本では地震による液状化の被害が多数報告されている。写真1に液状化被害の様子を示す。液状化が発生すると、単に水や砂が噴き上がる噴砂現象だけではなく、地盤そのものが液体状になるため、構造物を支える力が失われ、比重の大きいものは沈下や傾斜し、比重の小さい地中埋設管などは浮力で浮き上がってしまう。東日本大震災では、震源から遠く離れた千葉県浦安市や茨城県潮来市などでも液状化による被害が発生した。こうした背景の中、我が国で行なわれている地盤改良工法の一つであるソイルセメント地中連続壁工法は、液状化対策に有効であることが確認されている。図1にソイルセメント地中連続壁の概略図を示す。ソイルセメント地中連続壁で構造物の基礎外周を囲むことにより、内部地盤のひずみを抑制し、液状化の発生を抑えることができる。ソイルセメント地中連続壁は地中に差し込んだカッターを横方向に移動させて掘削し、固化液と原位置土を混合・攪拌し、壁状の固化体を地中に造成する工法で、ソイルセメントの固化が早期であると芯材の挿入が困難になる。また、遮水性能が保持できないという問題点が生じる。そのため、ソイルセメントの固化を遅延させるために遅延剤を添加するが、遅延剤添加に伴い、強度の回復量が低下してしまうというデメリットが生じる。

本研究では、多種の遅延剤を混合しソイルセメントに添加し、ソイルセメントの固化を遅延させること、添加に伴う最終強度低下を抑制させることを目的としている。本報告では、上白糖、リグニンスルホン酸ナトリウム、グルコン酸ソーダをソイルセメントに混合添加し、針貫入試験と一軸圧縮試験を行った結果を報告する。また、仮想地盤の配合を変え、三種類の遅延剤を混合添加し、針貫入試験と一軸圧縮試験を行った結果を報告する。

2. セメント固化メカニズム

図2にセメント固化メカニズムについて示す。セメントを水で練り混ぜると直ちに水和反応を起こし、粒子表面に薄い水和物の層ができ、水和の進行が妨げられる。液相は急激に石こうや水酸化カルシウムの過飽和状態に達し、数分後にはセメント粒子の内部や外部に水和物が生成する。その後反応はゆるやかに進行し、数時間するとセメント粒子表周囲のコロイド状物質（セメントゲル）が相互に



写真1 液状化被害

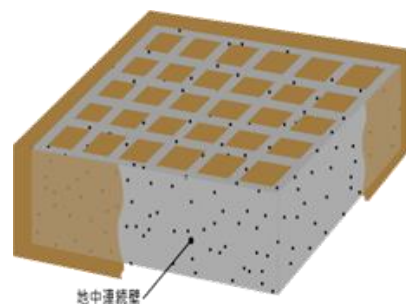


図1 ソイルセメント地中連続壁

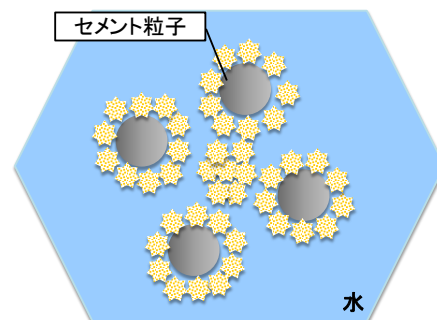


図2 セメント固化メカニズム

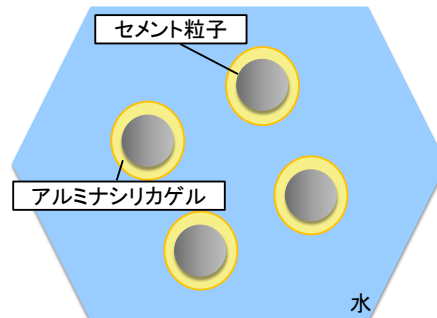


図3 糖のセメント固化メカニズム

キーワード 地中連続壁工法 固化遅延 最終強度低下の抑制

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL. 03-5707-0104 E-mail : g1218059@tcu.ac.jp

接着し、連続した状態となり、こわばりを生ずる。この状態を凝結という。さらに時間が経過すると、ゲル生成が増大し、セメント粒子間は一密になり、固化が進み強度が発現する。

3. 遅延剤を添加した際のセメント固化メカニズム

3-1. 多糖類系遅延剤

図 3 に多糖類系遅延剤を添加した際のセメント固化メカニズムを示す。糖質であるサッカライドがセメントに含まれているアルミナの溶解度を高め、液中で吸着性のあるアルミナシリカゲルを生成する。その後、そのアルミナシリカゲルがセメント粒子に吸着し、セメント粒子のフロックの形成を阻害することでセメントの硬化を遅延させる。また、セメント粒子に吸着したアルミナシリカゲルは、極初期に接触し僅かに起こった水和反応の生成物によって長時間を要して破壊され、セメントと水との接触が容易になると、徐々に水和反応が加速され、無添加時と同様の水和速度で凝結硬化に至ると推測されている。

3-2. オキシカルボン酸塩系遅延剤

図 4 にオキシカルボン酸塩系遅延剤を添加した際のセメント固化メカニズムを示す。オキシカルボン酸はセメント表面の Ca_2++ と結合し表面に保護膜を形成する。セメントの凝結に強く影響を与える C_3S の水和の際に、この保護膜が水との接触を抑制して水和反応を抑制するといわれている。この保護膜は時間の経過とともに水の浸透圧や内部でわずかに進行している水和反応によって生じた水和生成物結晶の膨張圧により破壊され、水和反応が徐々に加速され凝結にいたるものと考えられている。

3-3. リグニンスルホン酸塩系遅延剤

図 5 にリグニンスルホン酸塩系遅延剤を添加した際のセメント固化メカニズムを示す。リグニンスルホン酸塩は、疎水基がセメント粒子、水和物粒子の表面に吸着し、親水基は水側に配列する。したがって、吸着層表面は同種の電荷を有することになり、混和剤を吸着した粒子同士は互いに反発してよく分散し、流動性を増し、固化遅延効果をもたらす。リグニンスルホン酸塩は、添加量を増すことによって凝結は遅延するが、その反面過剰に空気が連行され、その結果圧縮強度を低下させることになることもある。

4. 試験条件

本報告では、上白糖とリグニンスルホン酸塩とオキシカルボン酸塩との混合添加によるセメントスラリーの固化遅延効果および最終強度の回復の程度を調査するため、実験 1 では表 1、実験 2 では表 3 に示す配合条件の供試体について針貫入実験および一軸圧縮試験を行った。遅延剤には、多糖類系遅延剤として上白糖（以下 糖）を、リグニンスルホン酸塩系遅延剤とし

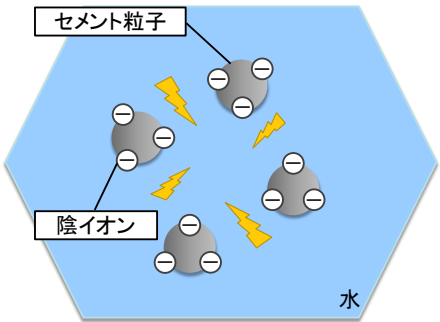


図 4 オキシカルボン酸の遅延機構

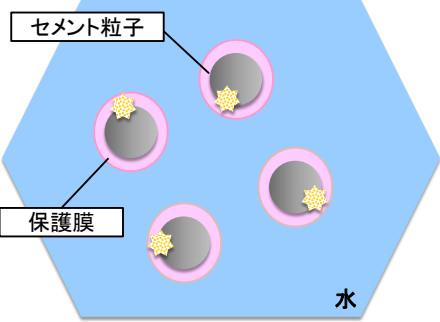


図 5 リグニンスルホン酸の遅延機構

表 1 配合表(実験 1)

実験ケース	セメント量 (Kg/m)	遅延材添加量(%)			W/C(%)	養生温度 (℃)
		L-Na	グルコン酸	糖		
A-1	250	-	-	-	100	27
A-2		0.3	0.3	0.5		
A-3		0.5	0.3	0.3		
A-4		0.3	0.5	0.3		
A-5		0.3	0.3	0.3		
A-6		0.4	0.4	0.4		
A-7		0.5	0.5	0.5		
B-1		-	0.5	-		10
B-2		-	-	0.5		
B-3		-	0.5	-		
B-4		-	-	0.5		

表 2 仮想地盤(実験 1)

粘土	シルト	砂	水(g)
藤ノ森粘土(g)	珪砂8号(g)	珪砂7号(g)	
839	290.8	101.13	551.29

表 3 配合表(実験 2)

実験ケース	仮想地盤	遅延材添加量(%)			セメント量 (Kg/m)	水
		糖	L-Na	グルコン酸		
c-1	fc20地盤	-	-	-	250	100
c-2	fc50地盤	-	-	-		
c-3	fc80地盤	-	-	-		
c-4	fc20地盤	0.4	0.4	0.4		
c-5	fc50地盤	0.4	0.4	0.4		
c-6	fc80地盤	0.4	0.4	0.4		

表 4 仮想地盤(実験 2)

仮想地盤	砂	粘土	水(g)
	珪砂7号(g)	藤ノ森粘土(g)	
fc20地盤	1084.626	237.533	459.339
fc50地盤	677.891	593.833	509.774
fc80地盤	271.156	950.132	560.21

てリグニンスルホン酸ナトリウム（以下 L-Na）を、オキシカルボン酸塩系遅延剤としてグルコン酸ソーダ（以下 グルコン酸）を使用した。仮想地盤は、実験 1 では表 2、実験 2 では表 4 の割合で配合し、セメントには長期強度が大きく水密性に優れた高炉 B 種セメントを使用した。

針貫入実験は直径 8mm の針を貫入速度 2cm/min で、ソイルセメントの表層から 50mm 貫入し、その際の貫入抵抗値を測定した。測定は、供試体作製後 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 24 時間とした。

一軸圧縮試験は JISA1216 に準じて、ひずみ速度を供試体の高さの 2%/min となるように調整し、最大圧縮応力に達した後、応力が最大圧縮応力の 2/3 になるまで载荷してから除荷を行った。測定は供試体作製後 3, 7, 14, 28 日間養生したものに対して実施した。

5. 実験結果および考察

5-1. 実験 1

図 6, 7 に針貫入試験により得られた貫入力-経過時間関係を示す。施工機が移動可能な限界強度に対応した基準貫入力 600mN とし、この値を固化基準値とする。なお、目標性能は供試体作成後 4 時間以降 8 時間以内の固化とする。

今回 A-6, A-7 で目標性能を達成することが出来た。case2, A-3, A-4 で糖と L-Na とグルコン酸を混合添加すると、L-Na が糖やグルコン酸に比べて固化始発に影響をおよぼすのではないかと考察した。A-3 の経過時間 0-1 時間部分で L-Na を添加した際の遅延メカニズムである、同種の電荷を有する粒子同士が互いに反発して分散し固化遅延していると考えられる。また、A-2, A-3 では、二次曲線的に徐々に固化していることからグルコン酸や糖で出来た膜が徐々に破壊され固化していると考えられる。このことから、糖と L-Na とグルコン酸を混合添加すると三種類の中の一つ多く添加した遅延剤の効果が一番大きくあらわれるのではないかと考察した。

A-5, A-6, A-7 を比較すると固化基準値到達時間が少しずつ伸延した。遅延剤を三種類混合添加させると、遅延時間は比例的にのびると考えられる。

また養生温度を変化させた B-1, B-2, B-3, B-4 を比較すると、同じ遅延剤を同量添加しているのにも関わらず、温度が低い方が大きく遅延した。セメントは水和反応により固化するが、セメント自体が低温であったため、水和反応に必要な水和熱が不足したと考えられる。

図 8 に一軸圧縮試験により得られた最大圧縮強度-養生日数の関係を示す。地中連続壁の 28 日強度における室内試験

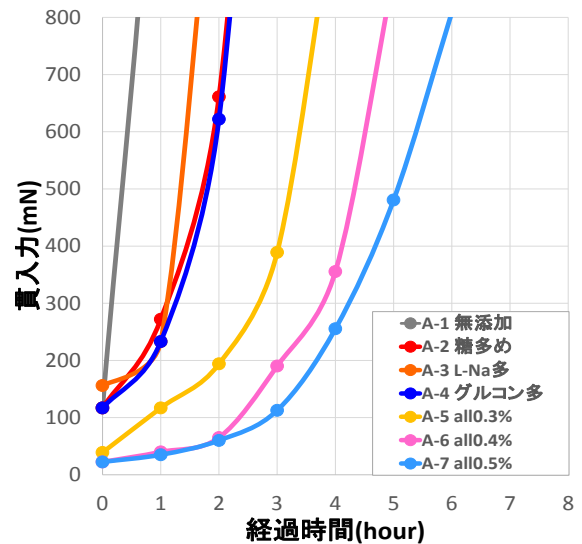


図 6 針貫入試験結果

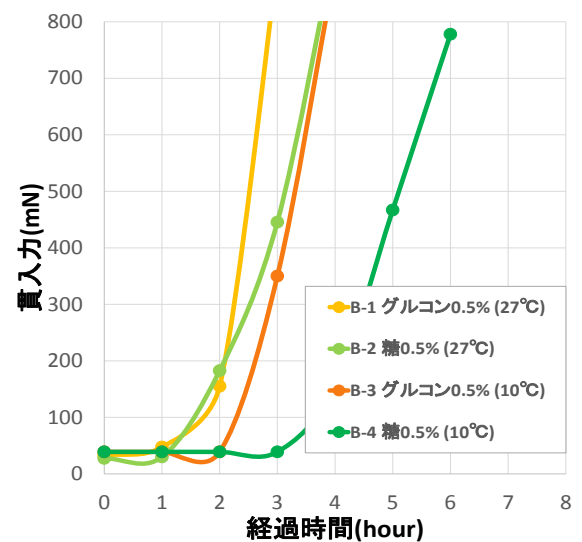


図 7 針貫入試験結果

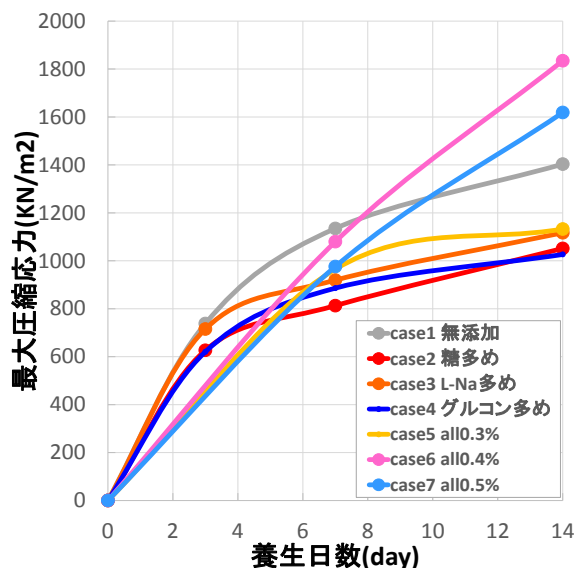


図 8 一軸圧縮試験結果

の要求性能は 1000kN/m^2 である。14 日の時点で全てのケースで要求性能を達成することが出来た。

5-2. 実験 2

図 9, 10 に針貫入試験により得られた貫入力-経過時間関係を示す。fc20 地盤の c-1, c-4 では、c-4 が経過時間 24 時間の時点でも固化基準値をこえなかったため、無添加との差は 21 時間以上であった。Fc50 地盤の c-2, c-5 では無添加との差は約 6 時間であった。fc80 地盤の c-3, c-6 では無添加との差は約 5 時間であった。このことから、糖と L-Na とグルコン酸を同量ずつ混合添加すると、砂が多い地盤に遅延効果が良くあらわれるのではないかと考察した。

また、c-4 は経過時間 0-8 時間の部分で、c-5, c-6 は 0-4 時間の部分で L-Na の遅延効果がよくあらわれていて、c-4 の 8-24 時間の部分で、c-5, c-6 の 4-8 時間の部分でグルコン酸と糖の遅延効果がよくあらわれているのではないかと考えられる。

図 11 に一軸圧縮試験により得られた最大圧縮強度-養生日数の関係を示す。地中連続壁の 28 日強度における室内試験の要求性能は 1000kN/m^2 である。

14 日養生の時点で fc20 地盤の c-1, c-4, fc50 地盤の c-2, c-5 では最大圧縮応力の無添加との差が約 400kN/m^2 だった。また、fc80 地盤の c-3, c-6 では最大圧縮応力の無添加との差は約 200kN/m^2 だった。これから養生を続けて結果をみていく。

6. まとめ

実験 1 の A-6, A-7 で目標性能と要求性能を満たすことが出来た。実験 2 では仮想地盤によって遅延剤のきき方に大きな差があらわれた。

<謝辞>本研究を行うにあたり、TRD 工法協会木下氏には多大なご指導、ご鞭撻を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

7. 参考文献

- 1) 写真館液状化現象被害一覧

http://www.shinsaihatu.com/photo/ekijoka_index.html

- 2) 遅延剤と水和熱抑制剤

<http://beton.co.jp/webmagazine/13.pdf>

- 3) 混和剤- コンクリートについて

<http://concrete-lab.civil.nagoya-u.ac.jp/webpage/Admixture-a.htm>

- 4) 地盤.jp <http://www.ziban.jp/ekijoka.html>

- 5) ソイルセメント地中連続壁工法

<http://www.motec-co.jp/business/construction/pdf/shuttle.pdf>

- 6) 糖添加がソイルセメントの遅延効果に及ぼす影響 2010.3

第 37 回土木学会関東支部技術研究発表会

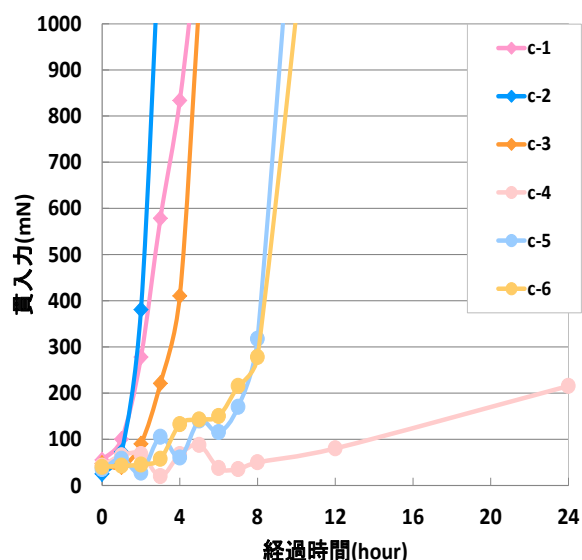


図 9 針貫入試験結果

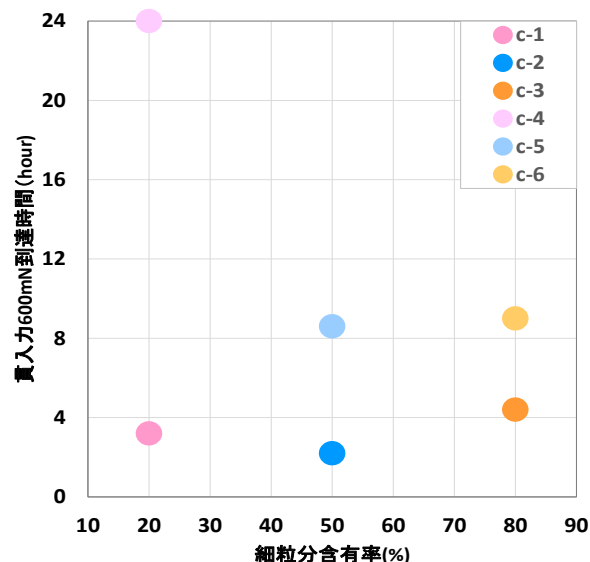


図 10 針貫入試験結果

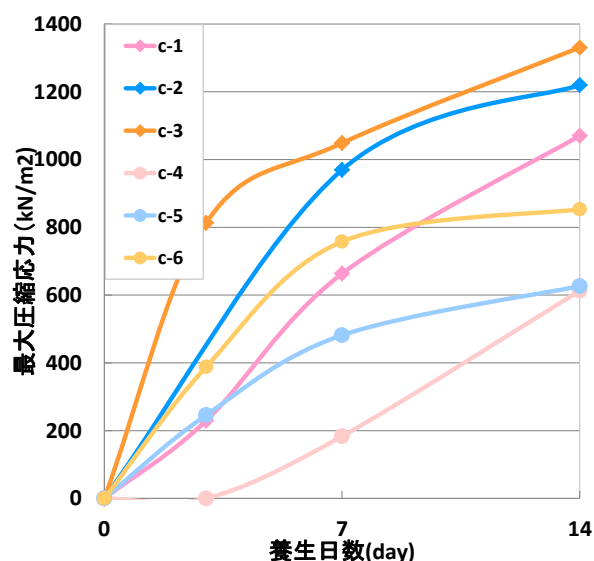


図 11 一軸圧縮試験結果