

■ 論 文 ■

下水道管路工事における施工環境が セメント系改良土の発現強度に与える影響

深 谷 渉* 榊 原 隆**

要 旨：2004年新潟県中越地震の発生後、下水道地震対策技術検討委員会より、地震時の液状化対策として有効な3つの埋め戻し方法が提言された。このうちセメント系改良土に関して、新潟県中越地震の約3年後に発生した新潟県中越沖地震では、セメント系改良土を採用した自治体における被災はほとんどなかったものの、一部の管きよでは路面沈下及び管きよのたるみが発生（再被災）した。被災原因を究明するために、被災箇所の埋め戻し土に関して土質調査を行ったところ、セメント成分は確認されたものの、簡易貫入試験や一軸圧縮試験結果より固化はしていなかったと考えられた。また、復旧後の埋め戻し土についても調査を行った結果、地下水位を境にNd値が大きく低下するとともに、換算強度が約30kPaと非常に低く、固化していない可能性があった。土質調査結果及び施工業者へのヒアリングや施工状況の観察から、地下水、改良土の仮置き、締固め不足がセメントの固化に影響を及ぼしたと考えられたため、これらのパラメータによる一軸圧縮強度への影響を室内試験により把握した。この結果、仮置きの実施や締固め不足により、一軸圧縮強度が大幅に低下することが分かった。

キーワード：液状化対策、セメント系改良土、セメント固化、一軸圧縮強度、地下水、仮置き、締め固め

1. はじめに

下水道管路施設における液状化対策の1つに、セメント系改良土による埋め戻しがある。2004年10月に発生した新潟県中越地震（以下、「中越地震」という。）後の下水道復旧工事では、複数の自治体において、被災した管きよの再被害を防止するため本工法が用いられ、約3年後の2007年7月に発生した新潟県中越沖地震（以下、「中越沖地震」という。）では、中越地震時の復旧箇所における再被災はほとんど生じなかった。しかし

ながら一部の管きよは、下水の流下機能は確保したものの、管きよのたるみや路面沈下が発生した。

ここでは、再被災した管きよの被災原因を明らかにするために実施した、被災後の埋め戻し土の土質調査及びセメント系改良土の強度発現に関する試験の結果について報告する。

2. 地震による下水道管きよの被災状況

最大震度6強を観測した中越沖地震において、中越地震でセメント系改良土による埋め戻し部固化を実施し、かつ中越沖地震で震度6弱以上（余

震を含む)を記録したのは4自治体であった。

4自治体における、セメント系改良土の採用総延長は55.9km、人孔は1,288箇所であった。

このうち、中越沖地震で再被災したのは、管きょが約0.4% (230m)、人孔が0%であり、再被災した管きょは1自治体のみであった。

再被災した管きょは、山の裾野の道路に埋設された塩化ビニル管(φ150~250,土被り1.6m~3.3m)であり、道路脇には河川や田圃が隣接するという共通の特徴を有する。被害としては、路面沈下が10cm程度、下水の流下に支障がない程度の縦断的な管きょのたるみが発生した(写真-1)。



写真-1 被災箇所の路面沈下

使用した改良土は、改良土プラントで製造されており、現場における一軸圧縮強度が50kPa~100kPaになるよう配合計算されている。埋め戻しに用いた改良土の仕様を表-1に示す。

表-1 埋め戻しに用いた改良土の仕様

項目	規格
セメント添加量	対重量比2.0%
セメント種類	高炉セメントB種
使用土砂	建設発生土
改良方法	プラント混合

3. 下水道管きょ被災箇所の土質調査

ここでは、被災した管きょの埋め戻し土(3地区)について、被災原因を明らかにすることを目的とし、土質特性及び締め固め状況、セメントの

固化状況、セメント添加量を把握するための土質調査を行ったのでその結果を述べる。

また、中越沖地震後の復旧工事における埋め戻し土(1地区)についても、固化状況を把握するための各種試験を行ったのでその結果を述べる。

(1) 被災した管きょ埋め戻し土の調査結果

中越沖地震発生後、被災状況及び原因を把握するため、被災した2箇所(A地点、B地点とする)において、管きょ埋め戻し部の簡易貫入試験(地表~管底)、室内土質試験(採取位置:土被り/2、管理設部の2箇所)、酸化カルシウム分析、一軸圧縮試験(採取位置と同じ)を実施した。この結果、下記のことが分かった。

- 埋め戻し土のセメント含有量は、改良土プラントにおける設計配合量(30kg/m³,添加率2%)とほぼ一致した。
- 固化状況の把握のためブロックサンプリングを行ったが、一軸圧縮試験を実施不可能なほど強度はなかった(脱型とともに崩壊した)。
- 締め固め度は90%以下(67~87%)であった(図-1参照)。
- Nd値は地下水以深において平均5程度(軟弱地盤に相当)と低かった(図-1参照)。

以上のことから、調査を実施した埋め戻し土は、固化していないと推察された。

(2) 復旧後の管きょ埋め戻し土の調査結果

中越沖地震により被災した管きょの復旧工事については、中越地震時と同様に、セメント系改良土を用いた埋め戻しが行われた。そこで、固化しなかった原因を探るため、復旧後の埋め戻し土について、強度発現の傾向を把握するための簡易貫入試験を実施するとともに、改良土プラントにおける配合設計及び配合試験結果の資料を入手し調査した。この結果、下記のことが分かった。

- Nd値は地下水位以下では平均5程度、地表に近づくにつれ上昇した(図-2参照)。
- 地下水位を境にして試験結果に差が生じた(図-2参照)。
- プラント配合時の改良土強度(材齢28日)は340kPaであったが、埋め戻し後の地下水位以下の強度(簡易貫入試験からの推定)は約30kPaと推定された。

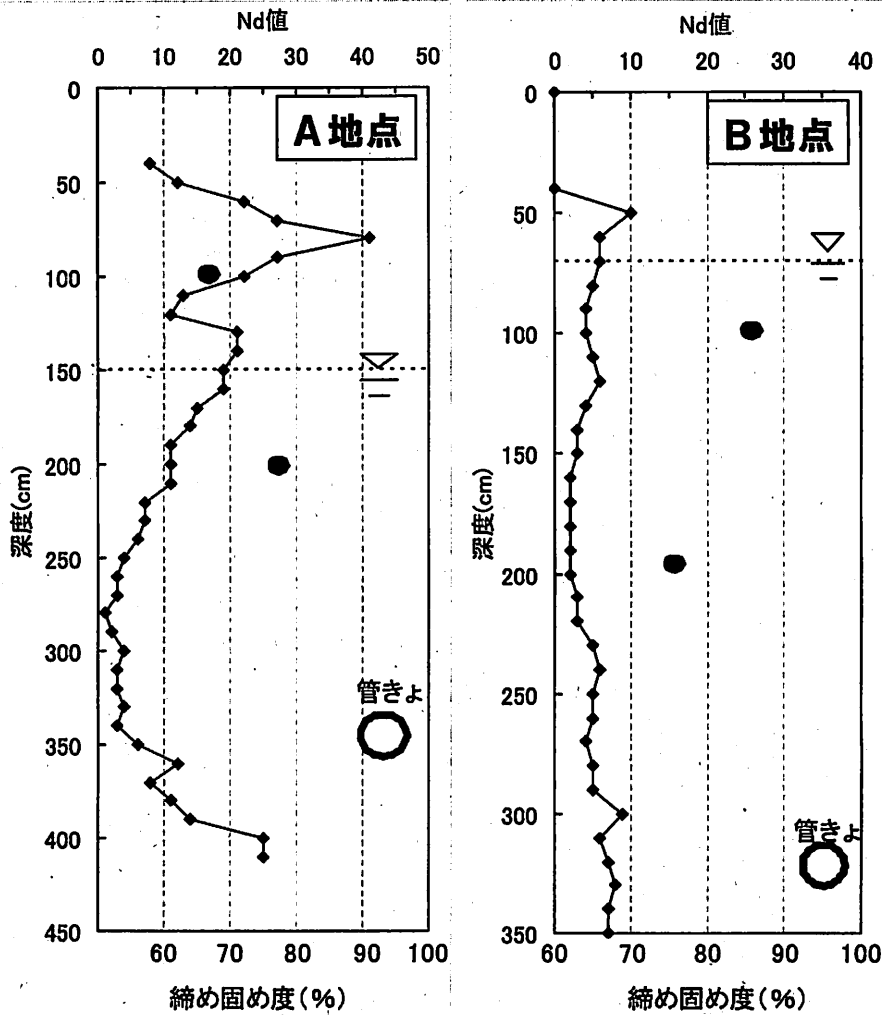


図-1 簡易貫入試験によるNd, 締め固め度の深度分布

以上のことから、総合的に判断してセメントは固化していないことが疑われた。

また、試験時の掘削状況並びに復旧工事の施工状況を観察するとともに、請負業者及び改良土プラント等へヒアリングを行った結果、次のことが新たに分かった。

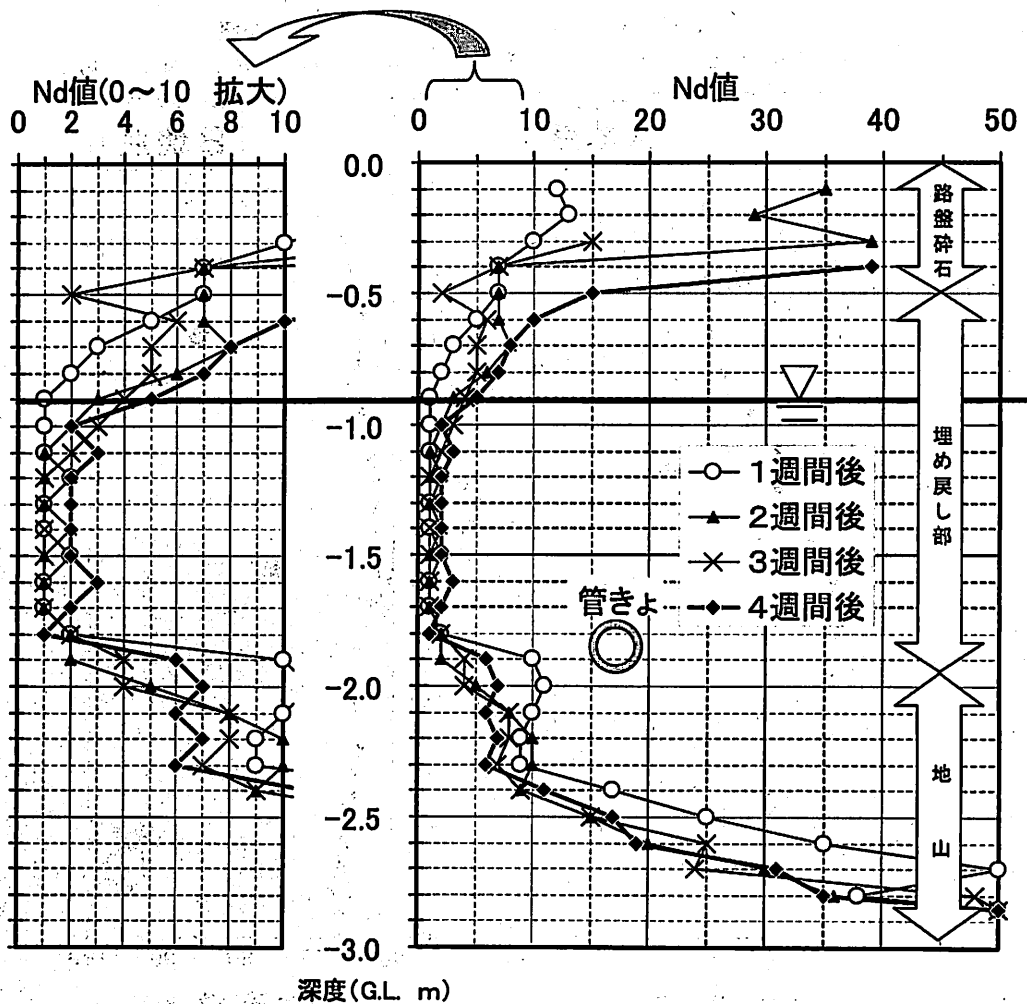
- 掘削時の地下水流出が激しかったことから、埋め戻しの後、地下水がセメント固化に何らかの影響を与えた可能性がある。
- プラント配合から出荷まで2～4日のヤード内の野積み、埋め戻し時に1日程度のトラック上での野積みによる仮置き期間があった。
- 仮置き後の改良土は固化が進んでいることから、埋め戻し時には解きほぐし（バックホーによる混合攪拌後、埋め戻し部に投入）を行っている場合があった。

- 掘削地山からの大量の地下水流出により施工性が悪く、埋め戻し土の締め固めが困難であった。
- 配合試験時の養生は、締め固めを十分に行った供試体を封緘養生するなど、理想的な環境下で養生しており、必ずしも現場条件と一致するとは限らない。

(3) 土質調査のまとめ

(1)及び(2)の結果から、被災原因としてはセメント系改良土が固化しなかったことが挙げられ、また中越沖地震による復旧箇所についても固化していない可能性があることが分かった。

また、固化しなかった原因としては、地下水の影響及び施工性の低下による締め固め不足、仮置きの実施などが考えられ、これらが複合的に重なって強度低下を招いたものと考えられる。



図一 2 簡易貫入試験結果

4. セメント系改良土の発現強度に関する試験

中越沖地震による被災事例より、地下水の存在や、改良土の仮置きや解きほぐし等がセメントの固化に大きく影響していることが推察された。

配合設計における設計強度を決定する際には、これらの影響を考慮する必要があることから、ここでは下水道管路施設の埋め戻しへセメント系改良土を利用した場合を想定し、これらが強度発現にどう影響しているかを検討した。

(1) 試験方法

ここでは、強度低下をもたらした要因として考えられた地下水の影響、解きほぐし・仮置きの影響、締め固めの影響、によるセメント系改良土の強

度発現への影響について明らかにすることを目的とした一軸圧縮試験を実施した。

試験に使用した改良土は、被災箇所と同様の粒度構成になるよう調整し作製した。また、固化剤には高炉セメントB種を用い、添加量を2% (添加量約 30kg/m³) とし、現場における実際の配合と整合を図った。図一3に、配合試験用土砂の粒度加積曲線を示す。なお、粒径9.5mm以上の砂礫は、供試体の寸法(φ5, 10cm モールド)に対する比率が大きく、強度結果に悪影響を及ぼす恐れがあることから、地盤工学会の基準に拠り使用しなかった。

供試体は、仮置き条件、締め固め条件をそれぞれ変化させたものを作製し、2種類の養生条件により養生させ、セメント配合日から配合後28日目までの間、適時、一軸圧縮強度試験を実施し、

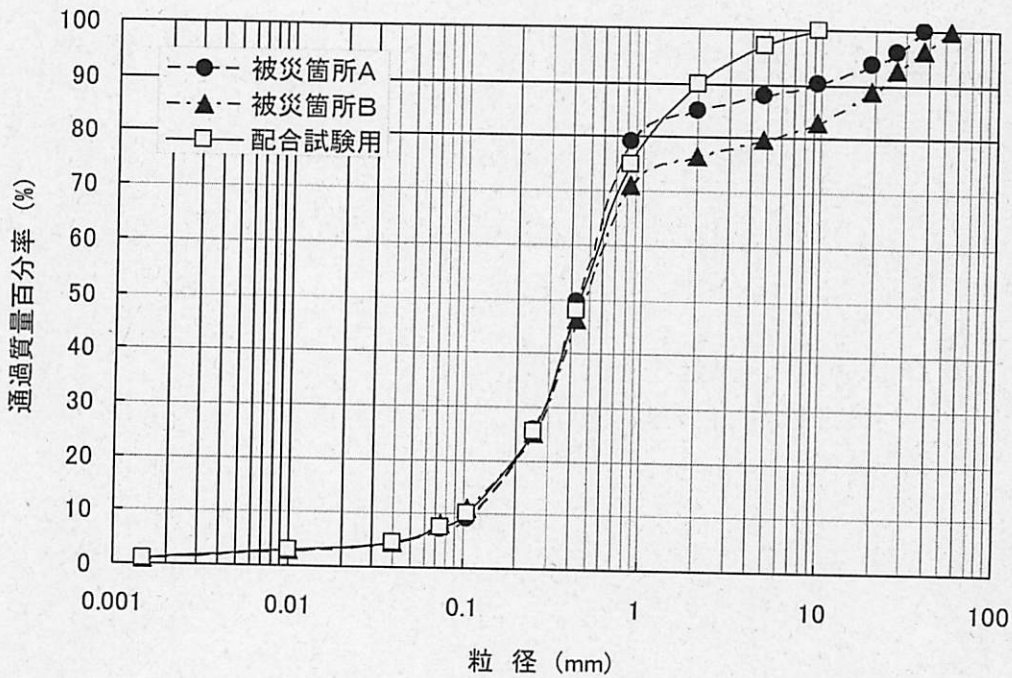


図-3 配合試験用土砂の粒径加積曲線

強度の発現傾向（経時変化）を把握した。

(2) 試験ケース

一軸圧縮試験は、養生方法、仮置き日数、締め固め度の条件をパラメータとして、各条件による組み合わせで計9ケースを実施した。表-2に試験条件を示す。

(3) 試験結果

試験結果を図-4、表-3に示す。最も強度が発現したのは、「締め固め度90%、仮置き無し、空中3日水浸4日養生」の条件（case2）であった。

一方、最も強度発現が低かったのは、「締め固め度80%、仮置き1日、空中3日水浸4日養生」

表-2 試験設定条件

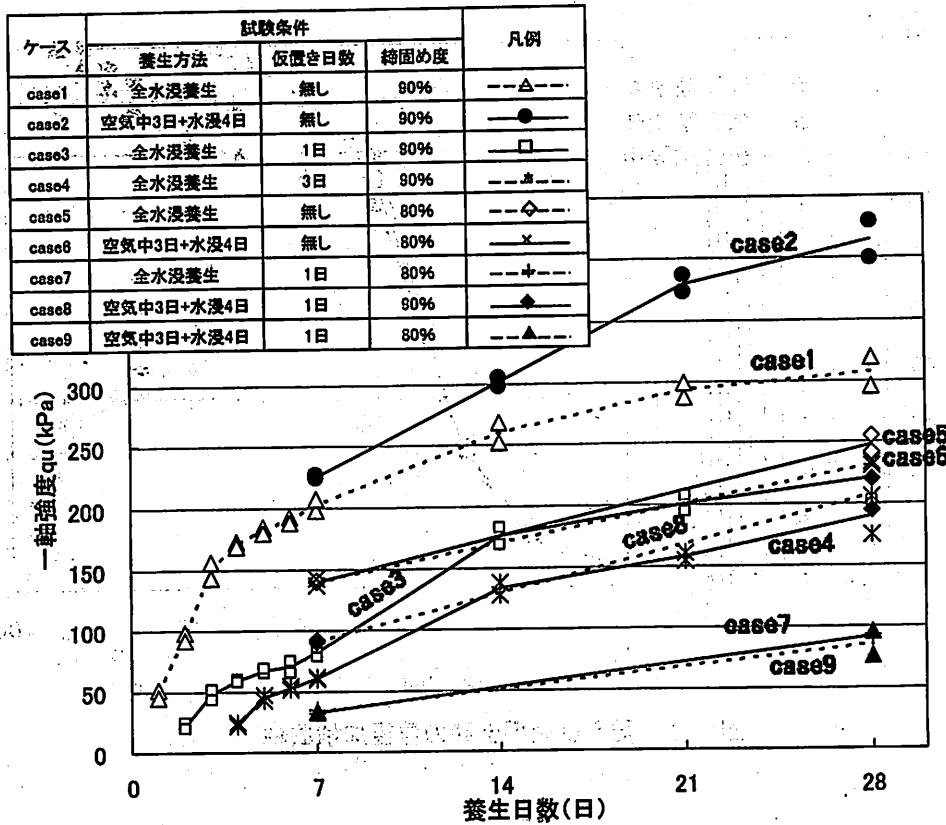
設定条件	設定内容
養生条件	① 空气中養生3日後、水浸養生4日（以後、「空中3日水浸4日」とする） ② 全水浸養生
仮置き条件	① 仮置き無し ② 仮置き1日※ ③ 仮置き3日※
締め固め条件	① 締め固め度90%以上 ② 締め固め度80%

※仮置き期間は、過度の乾燥を防ぐため、セメント混合材料をビニール袋に入れ密閉後、20 ± 3°Cで養生した。

の条件（case9）であり、最も強度が発現したケース（case2）の20%程度の強度であった。以下、試験設定条件毎の強度発現傾向について述べる。

表-3 28日強度による順位

順位	ケース	試験条件			28日強度	強度比 (対 case2)
		養生方法	仮置き日数	締め固め度		
1	case2	空气中3日 + 水浸4日	無し	90%	414.6 kN/m ²	100%
2	case1	全水浸養生	無し	90%	375.7 kN/m ²	91%
3	case5	全水浸養生	無し	80%	248.0 kN/m ²	60%
4	case6	空气中3日 + 水浸4日	無し	80%	231.5 kN/m ²	56%
5	case3	全水浸養生	1日	90%	220.2 kN/m ²	53%
6	case8	空气中3日 + 水浸4日	1日	90%	206.9 kN/m ²	50%
7	case4	全水浸養生	3日	90%	189.9 kN/m ²	46%
8	case7	全水浸養生	1日	80%	91.6 kN/m ²	22%
9	case9	空气中3日 + 水浸4日	1日	80%	85.9 kN/m ²	21%



※仮置きのあるケース及び空中3日水没4日養生を行っているケースについては、仮置き後もしくは養生完了後に試験を開始している。

図-4 全試験結果

5. 影響因子による強度発現率

今回の試験結果に基づいて、「仮置き日数」「締固め度」「養生方法」による強度発現率を算出した。

強度発現率は、「空中3日水没4日養生」かつ「仮置き無し」かつ「締固め90%以上」の条件における強度を1.0と仮定し、これら条件による強度発現率を下記の通り設定した。

①仮置き条件係数

仮置き無し = 1.0

仮置き1日 = 0.7

仮置き3日 = 0.6

②仮置き・締固め条件係数

締固め度90%以上 = 1.0

締固め度90%以下かつ仮置き無し = 0.75

締固め度90%以下かつ仮置き1日 = 0.4

③仮置き・締固め・養生方法条件係数

空中3日水没4日養生かつ仮置き無しかつ

締固め90%以上 = 1.0

その他条件 = 0.75

上記の①～③の条件係数を用いた強度発現率の計算式は(式1)に示す通りである。

強度発現率(%) = 仮置き条件係数

× 仮置き・締固め条件係数

× 仮置き・締固め・養生方法条件係数

× 100

(式1)

ここで、①～③の係数を用いて、case 1～case9のcase2に対する強度比(28日強度)を計算すると、表-4に示す通り、実際の試験値と計算値がほぼ一致する結果となった。

また、①～③の条件係数をまとめると表-5の通り表すことができる。

なお、ここに示す発現率は、本試験に用いた試料より想定したものであり、土質が大きく変わる場合は、別途、確認が必要である。

さらに、強度発現率を、中越沖地震の被災箇所にて当てはめてみた。

被災箇所では、プラント配合時の改良土強度(材齢28日、封緘養生)が340 kPaであったが、

表-4 強度発現率の試験値と計算値の比較

条 件	case1	case2	case3	case4	case5	case6	case7	case8	case9	備考
仮置き	無し	無し	1日	3日	無し	無し	1日	1日	1日	
締固め	90%	90%	90%	90%	80%	80%	80%	90%	80%	
養生	全水浸	空3水4	全水浸	全水浸	全水浸	空3水4	全水浸	空3水4	空3水4	
28日強度	307.1	414.6	220.2	189.9	248.0	231.5	91.9	206.9	85.9	kPa
試験による強度比	0.74	1.00	0.53	0.46	0.60	0.56	0.22	0.50	0.21	case2を1
仮置き	1	1	0.7	0.6	1	1	0.7	0.7	0.7	
締固め	1	1	1	1	0.75	0.75	0.4	1	0.4	
養生	0.75	1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	
計算上の強度比	0.75	1.00	0.53	0.45	0.56	0.56	0.21	0.53	0.21	case2を1

表-5 強度発現率

	締固度 ≥ 90%	締固度 < 90%
仮置無し	75%	60%
仮置1日	50%	20%
仮置3日	45%	-

※「空中3日水中4日養生」&「仮置き無し」&「締固め90%以上」の条件を100%とする。

埋め戻し後の強度を測定した結果（簡易貫入試験からの推定）約30 kPaにまで低下しており、強度発現率としては約10%であった。

現場での土質調査や業者ヒアリング等により、締固め度が90%以下、仮置き期間が3日以上あったと推察されることから、先の条件係数による強度発現率では0.2以下となることが想定され、概ね現地の強度と一致する結果が得られた。

6. ま と め

調査試験結果を取りまとめると次の通りである。

- ①被災した管きょの埋め戻し土を調査したところ、セメント系改良土が固化していなかった。
- ②施工業者や改良土プラントへのヒアリングにより、地下水、改良土の仮置き、締め固め不足が影響因子として挙げられた。
- ③室内試験により、上記の影響因子による強度発現率を調べた結果、仮置き日数や締め固め度が強度発現に大きく影響することが分かった。
- ④締め固め度 < 90%及び仮置き3日以上や施工現場状況、施工業者の証言等を考慮すると、大

量の地下水流出に伴う締め固めの困難性（低い締め固め度）及び作業進捗遅れ（改良土仮置きが発生）が大きく影響していたと推察される。

以上のことより、液状化対策としてセメント系改良土を用いる場合には、強度発現に影響する因子を極力排除すること、もしくは影響因子の排除が困難な場合にはその影響を見込んだ配合設計を行う必要があると考えられる。具体には、掘削部のドライ化を行うことも必要だが、十分な転圧及び改良土の仮置き期間が発生しないような施工管理を行うことがむしろ重要と考えられる。

やむなくプラント配合から埋め戻しまでの時間に関わりが出る場合（プラントと施工箇所が離れている場合など）には、現場条件にあった適切な事前配合試験及び配合設計を行う必要があるほか、施工後においても現地における一軸圧縮試験等を行うなど、目指す品質が確保されていることを十分に確認する必要があると考える。

また、改良土製造時の適正な製造管理（適正な製造方法や品質管理基準の設定など）及び監視強化も重要であると考えられる。

<参 考 文 献>

- 1) セメント系固化剤による地盤改良マニュアル（第3版）、（社）セメント協会、2003.9
- 2) 土質試験の方法と解説、（社）地盤工学会、2000.3
- 3) 下水道地震対策技術検討委員会報告書、下水道地震対策技術検討委員会、2008.10

- 4) 平成19年新潟県中越沖地震による下水道管路施設の被害, 植松龍二・南山瑞彦・深谷渉・田本典秀, 下水道協会誌, VOL44. No. 539, 2007.9
- 5) 下水道施設耐震対策指針と解説-2006年版一, (社)日本下水道協会, 2006

- 6) 深谷渉・榊原隆, 下水道管路施設埋め戻し部へのセメント系改良土の適用に関する検討報告書, 国土技術政策総合研究所資料 第531号, 2009.4

(21.1.19 受付)



* (ふかたに わたる)
 国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室
 平成3年4月建設省土木研究所入所, 日本下水道事業団東京支社, 近畿地方整備局建政部都市整備課等を経て, 平成19年4月より現職



** (さかきばら たかし)
 国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究官
 昭和60年4月建設省入省, 近畿地方整備局建政部都市調整官, 国土交通省下水道部下水道技術開発官, さいたま市建設局総括監等を経て, 平成21年7月より現職

Abstract

The Effect of Sewer Installation Conditions Including Time and Groundwater Level on Strength of Mortar Mixed Backfill Soil

Wataru FUKATANI, Takashi SAKAKIBARA

National Committee for Mitigation and Prevention of Earthquake Damage to Sewerage System proposed three effective methods for backfilling sewer trench in order to prevent liquefaction after Niigata Chuetsu Earthquake in 2004. One of the methods is the use of soil cement. It has been used for replacement and new installation of sewers in the earthquake hit area. In 2007, another big earthquake hit the same area. Some sewers got damaged again. Road cave-ins and sewer sags were seen. In order to investigate the reason, the facile penetration test and unconfined compression test were conducted for the backfill soil. The results showed poor cementation. Then, interview to contractors and observation of installation work were carried out. Based on the interview and observation, experiments were conducted. It was shown that high groundwater level and improper storage and compaction of the soil caused poor solidification.

