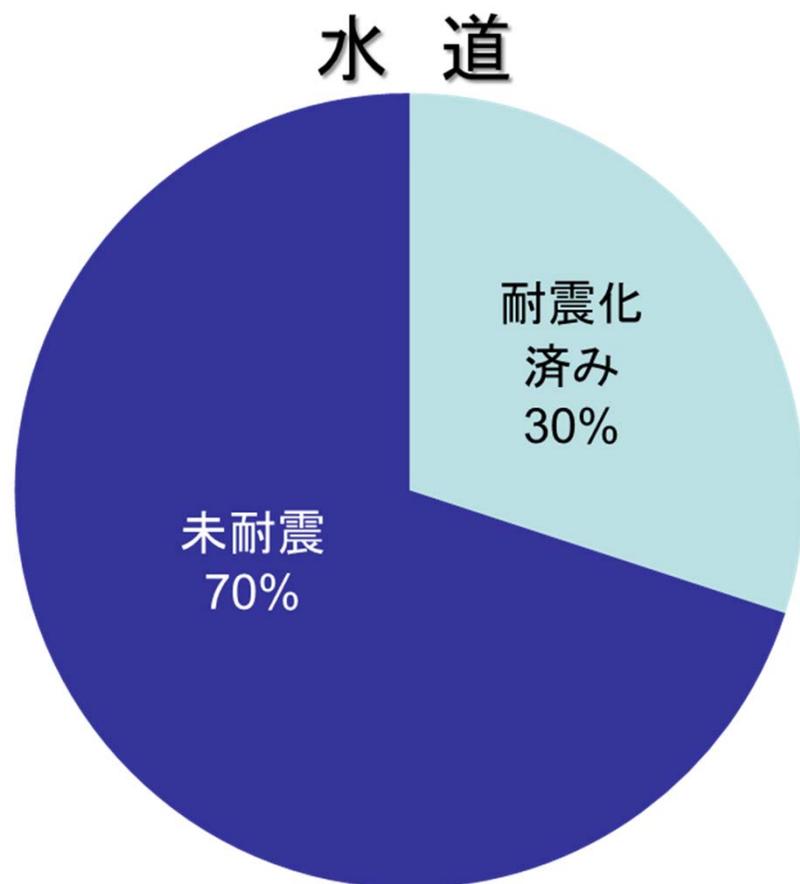


# 下水道管路施設における 耐震化技術の有効性

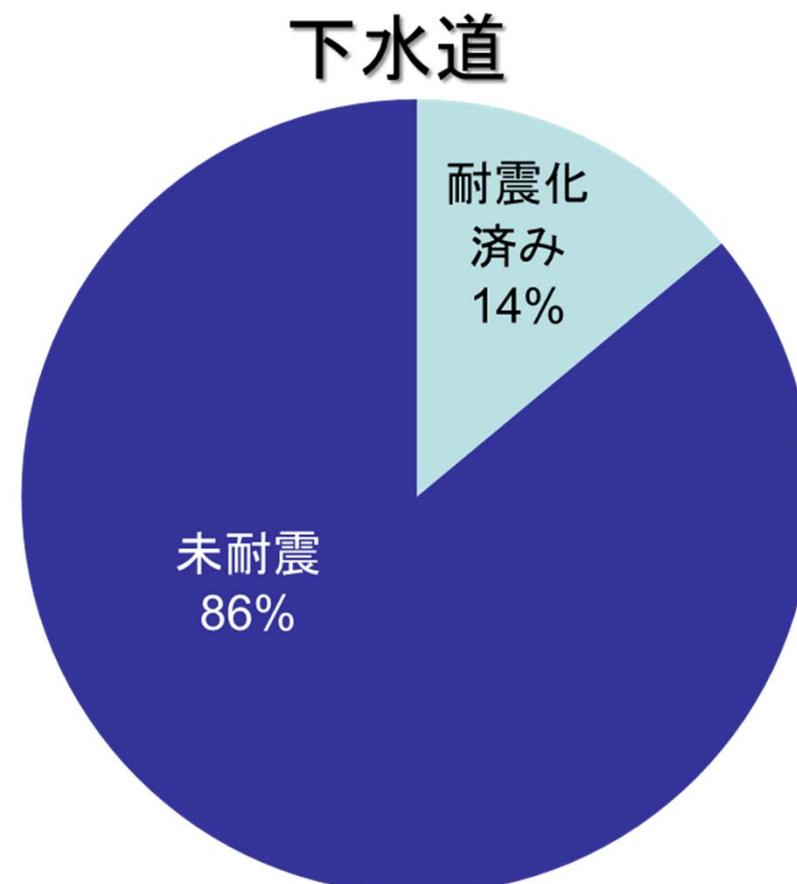
国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室

主任研究官 深谷 渉

# 下水道管路施設の耐震化率 (H22年度末)



※基幹的な管路



※平成9年指針策定以前に  
工事発注された重要な幹線

# 下水道管路施設における耐震化の変遷

## 1981 耐震指針に管路施設被害事例初掲載

1995年1月17日 阪神・淡路大震災

## 1997 耐震指針に液状化対策(地盤改良)初掲載

2004年10月23日 新潟県中越地震

## 2004 埋め戻し3工法の緊急提言

## 2006 下水道地震対策緊急整備事業創設 耐震指針の内容充実化

2007年3月25日 能登半島地震

2007年7月16日 新潟中越沖地震

## 2008 施工管理に関する提言

2008年6月14日 岩手宮城内陸地震

## 下水道管路施設耐震化の課題

- 財政的負担が大きい。⇒国の財政支援
- 耐震対策は途についたばかり。
  - ⇒技術開発が進むも、実績・効果は不明。
  - ⇒各種工法の適切な選定方法が未確立。
- 効果が正しく発揮されない事例がある。
  - ⇒設計者の工法に対する理解不足。
  - ⇒不適切な施工管理。

# 東日本大震災における下水道管路施設の被害



管きよの被害 : 600km以上 (二次調査ベース)

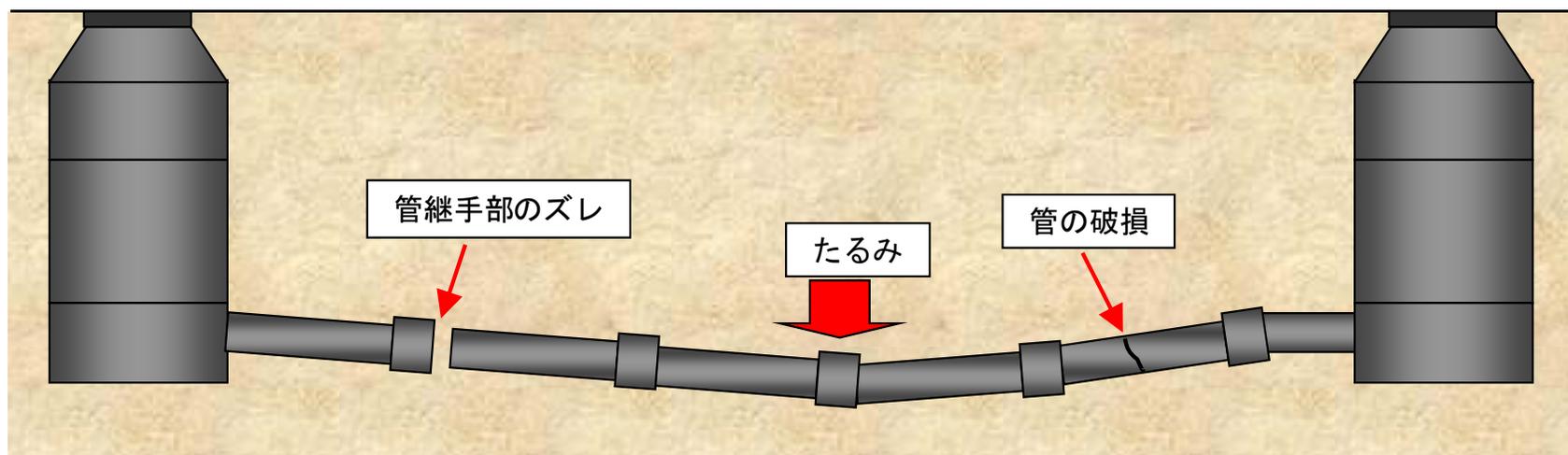
※国土交通省下水道部調べ(平成24年2月6日現在)

マンホールの被害 : 15,000基以上 (アンケートベース)

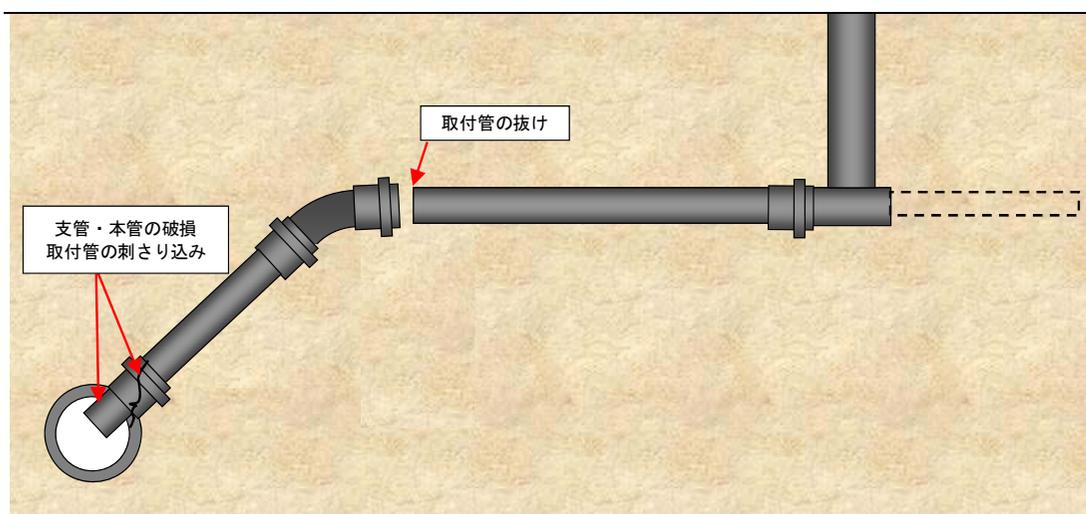
※国土技術政策総合研究所アンケート調査結果

# 管きよの特徴的な被害

- 本管の被害

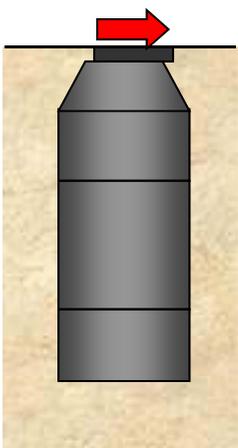
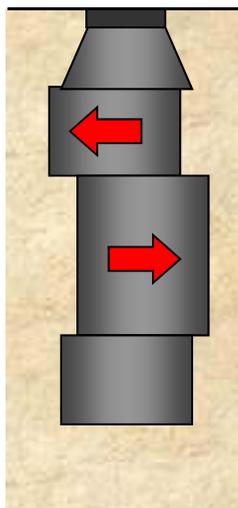


- 取付け管の被害

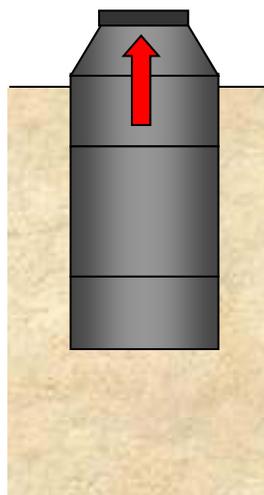


# マンホールの特徴的な被害

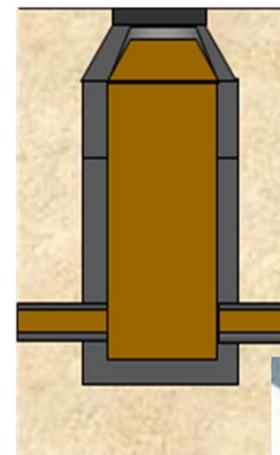
## ● 躯体ズレ



## ● 突出



## ● 土砂の堆積



下水道使用制限



公衆衛生上の問題



早急な耐震化が必要

交通障害



復旧活動の遅延



## 耐震化推進に向けて

- 東日本大震災による被害有無や対策効果の情報を蓄積するとともに、適用範囲等の整理を行い、今後の適切な工法選定に供する。
- 効果を最大限発揮させるために、施工上の問題点等を明らかにし、品質確保を図る。



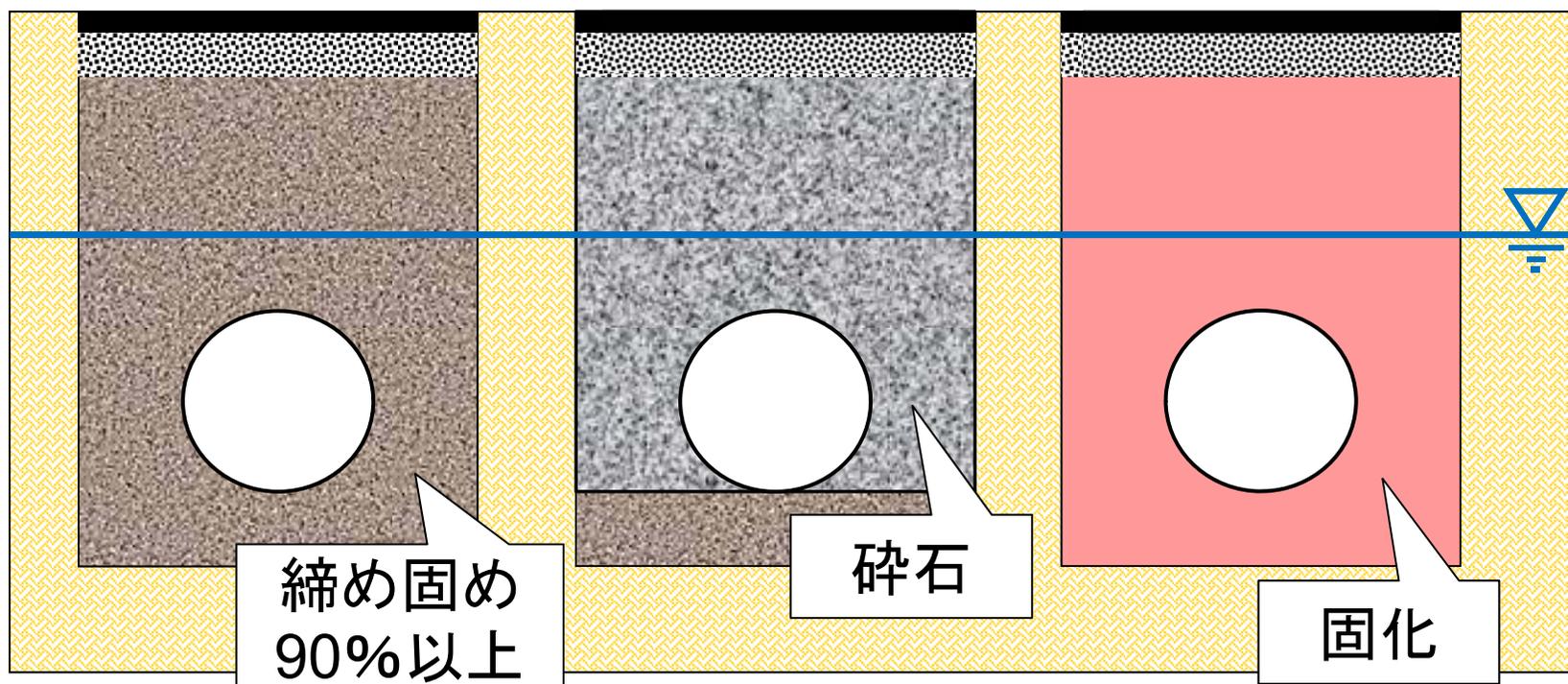
## 耐震化技術の有効性調査

- 耐震化工法の実績及び効果を確認。
- 各種工法の問題点を抽出。

# 耐震化に配慮した埋め戻し3工法

実績有り

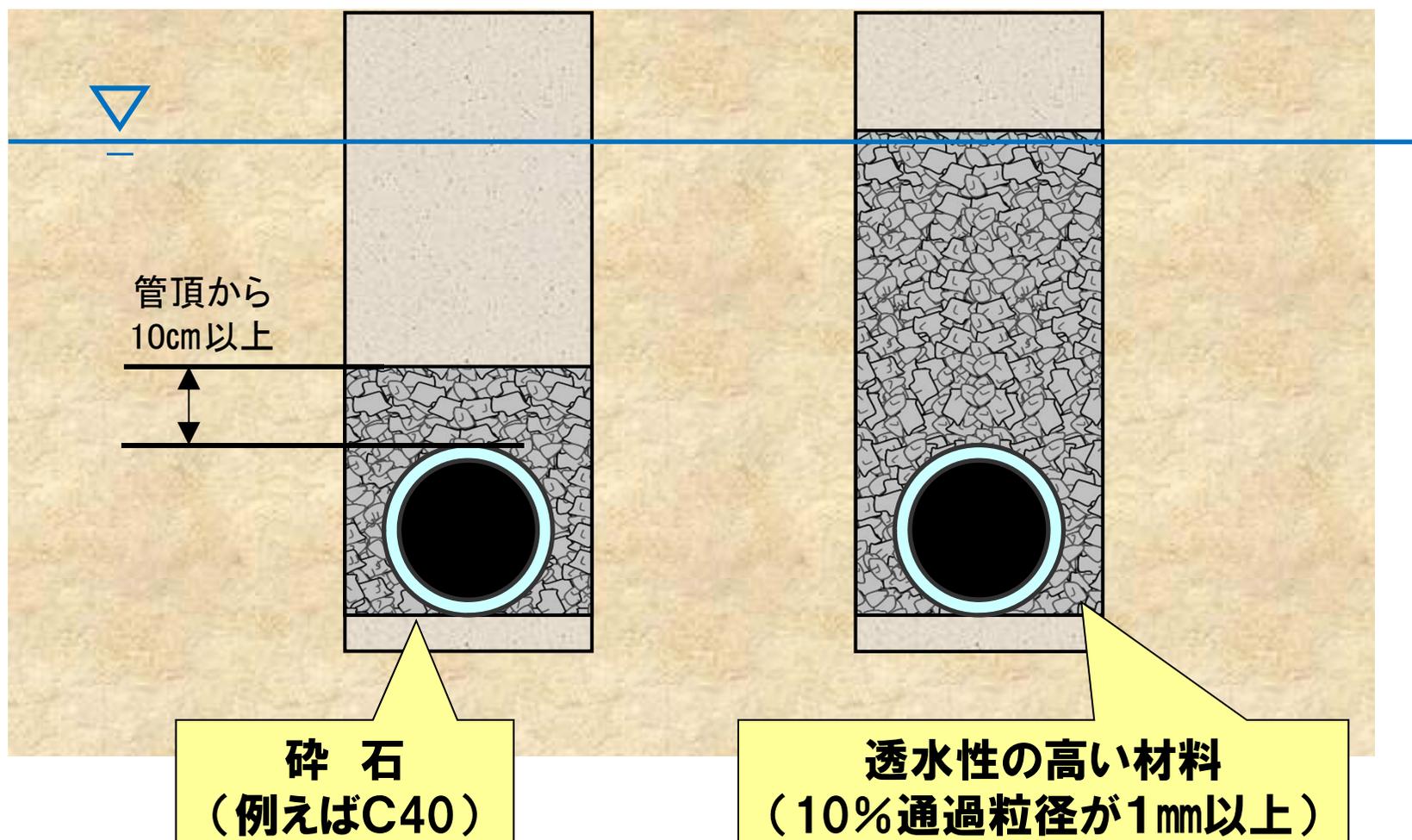
実績有り



# 砕石による埋め戻し

日本下水道協会規格  
JSWAS K-13

液状化対策工法



# 砕石工法の効果



標準施工(未対策)  
⇒被害大



液状化対策施工  
⇒被害なし



液状化対策施工  
⇒被害小

流下阻害、車両通行に影響なし  
(許容範囲内)

# 砕石工法の被害原因

- ✓ 砕石粒度が推奨 $D_{10} \geq 1\text{mm}$ に対し、 $D_{10} \geq 0.6\text{mm}$ であり、過剰間隙水圧の消散効果が低下したと推察。
- ✓ 軟弱地盤地帯にあるため砕石の沈下が生じた可能性。
- ✓ 矢板引き抜きに伴い地山と埋戻し部に空隙が生じ、埋め戻し部の締め固めが緩んだ可能性。

# セメント固化の効果



標準施工(未対策)  
⇒被害大



液状化対策施工  
⇒被害なし



液状化対策施工  
⇒被害小

流下阻害、車両通行に影響なし  
(許容範囲内)

# 埋め戻し部のセメント固化 (被災延長)

自治体	総延長 (km)	被災延長 (km)	被災率 ①	固化対策 延長 (km)	被災延長 (km)	被災率 ②
	①	②	②/①	③	④	④/③
A市	315	12	3.9%	2.5	0.05	2.2%
B市	142	13	9.4%	19.7	0.3	1.7%

被災率① > 被災率②

(市全体対象) (対策エリア対象)

# A市における被災状況分析

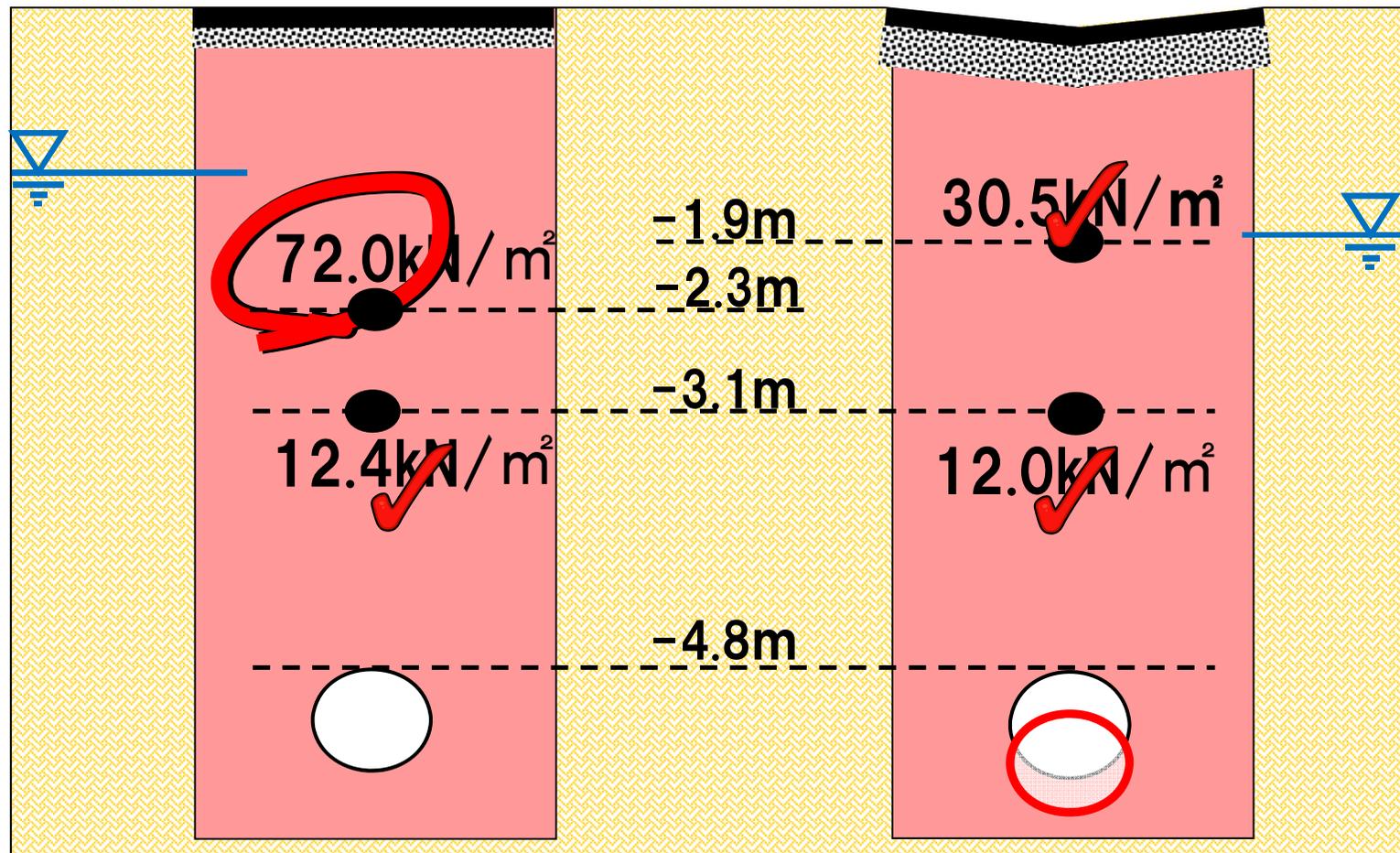
試験項目	試験方法	備考
土粒子の密度試験	JIS A 1202	被害有りと無しの2箇所について、2深度(地下水位レベル、管直上)の各種試験を実施。
土の含水比試験	JIS A 1203	
土の粒度試験	JIS A 1204	
<b>土の一軸圧縮試験</b>	JIS A 1216	
土の液性・塑性限界試験	JIS A 1205	
土の湿潤密度試験	JIS A 1225	
酸化カルシウム分析	—	
蛍光Xオーダー分析	JIS R 5202	

# A市における被災状況分析

(一軸圧縮強度試験結果)

被害なし

被害小



目標固化強度 (50~100kN/m<sup>2</sup>)

# A市における被災状況分析

## 【現地土質試験等】

- 目標固化強度 ( $50 \sim 100 \text{ kN/m}^2$ ) を一部満足していない。
  - 深い位置ほど、強度が発現していない(締め固め不足)。
  - 酸化カルシウム分析による推定セメント量は、配合試験時の添加量 ( $50 \text{ kg/m}^3$ ) の70%以上を確認。
- ⇒セメント量は適正であったが、強度が発現しなかった。

## 【施工方法の確認】

- セメント混合は現地攪拌(バックホウによる3回攪拌)であった。
  - セメント混合後の仮置きが1日程度あった。
- ⇒攪拌不足、解きほぐしの可能性。
- ⇒強度低下傾向は国総研過年度成果とほぼ一致。

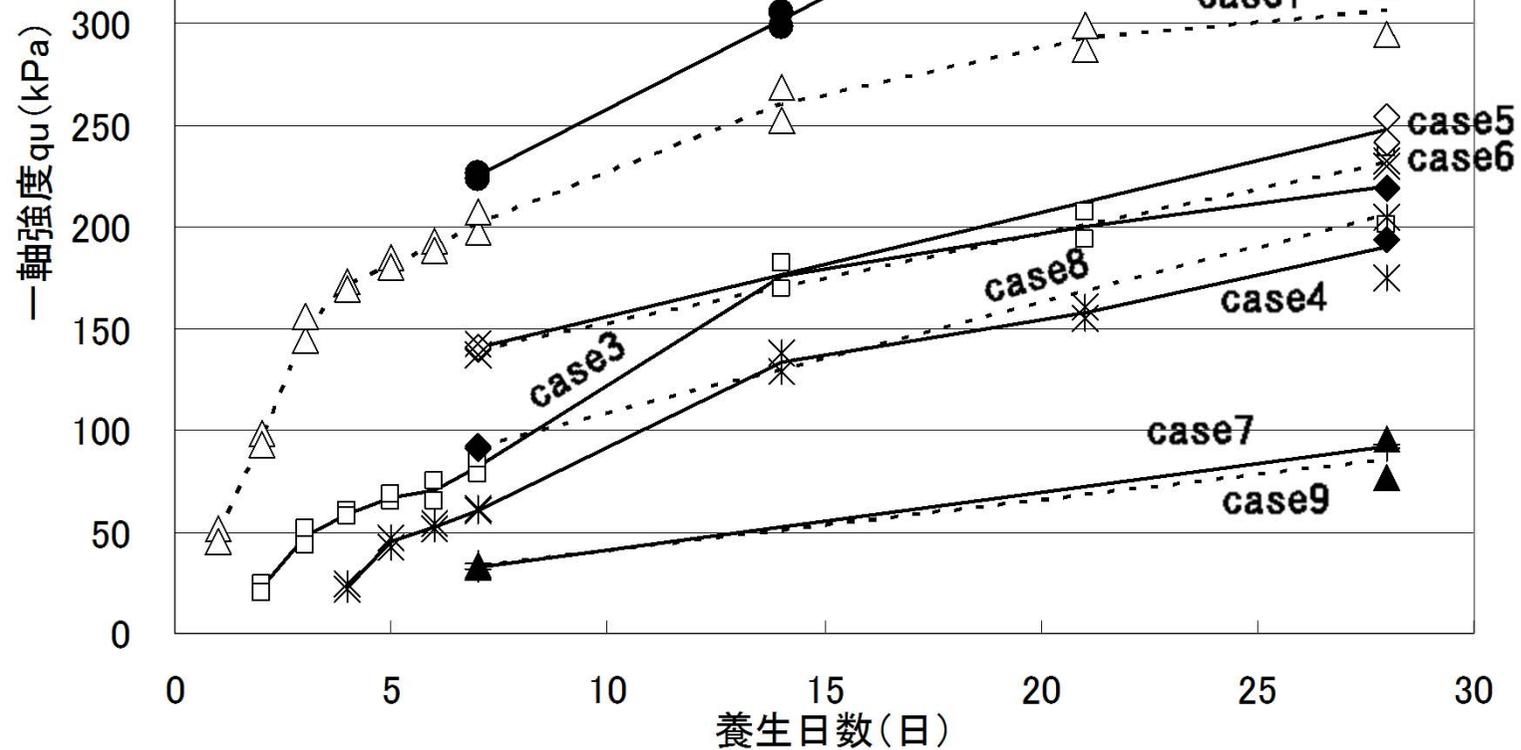
## 【国総研過年度研究】

- ✓ セメント系改良土の発現強度は、「仮置き期間」、「締固め度」、「養生方法」に大きくの左右される。
- ✓ 同じセメント配合量であっても、埋め戻し環境の違いにより発現強度の違いは最大5倍程度ある。
- ✓ 配合強度は、仮置き期間が長いほど小さく、締固め度が低いほど小さい。
- ✓ 配合強度は、配合から3日目までに急激に強度が増加する。

※国土技術政策総合研究所資料№531

『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性に関する報告書』

ケース	試験条件			凡例
	養生方法	仮置き日数	締固め度	
case1	全水浸養生	無し	90%	---△---
case2	空气中3日+水浸4日	無し	90%	—●—
case3	全水浸養生	1日	90%	—□—
case4	全水浸養生	3日	90%	---*---
case5	全水浸養生	無し	80%	---◇---
case6	空气中3日+水浸4日	無し	80%	—×—
case7	全水浸養生	1日	80%	---≡---
case8	空气中3日+水浸4日	1日	90%	—◆—
case9	空气中3日+水浸4日	1日	80%	---▲---



※国土技術政策総合研究所資料№531

- ✓ 「空中3日＋水中4日養生」&「仮置き無し」&「締固め90%以上」の条件における強度(標準条件強度)を1.0とすると、発現強度は(式1)となる。

$$\text{発現推定強度 (kPa)} = \text{標準条件強度 (kPa)} \times \text{強度発現率 (\%)} \cdots (\text{式1})$$

- ✓ 強度発現率は、「仮置き期間」、「締固め度」、「養生方法」の条件毎に設定した係数(下表)を乗じて算出する(式2)。

$$\text{強度発現率 (\%)} = \text{仮置き係数} \times \text{締め固め係数} \times \text{養生係数} \times 100 \cdots (\text{式2})$$

項目	条件	係数
①仮置き	仮置き無し	1.0
	仮置き1日	0.7
	仮置き3日	0.6
②締固め	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養生方法	空中3日水中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

# B市における被災状況分析

処理区	A処理分区			B処理分区			計		
施工年度	整備延長 (m)	被災延長 (m)	被災率 (%)	整備延長 (m)	被災延長 (m)	被災率 (%)	整備延長 (m)	被災延長 (m)	被災率 (%)
H17	3,238	243	7.5	2,453	52	2.1	5,690	294	5.2
H18	3,104	0	0	2,096	0	0	5,201	0	0
H19	3,769	41	1.1	2,114	0	0	5,883	41	0.7
H20	2,256	0	0	0	0	0	2,256	0	0
H21	632	0	0	0	0	0	632	0	0
計	12,999	284	2.2	6,663	52	0.8	19,662	336	1.7

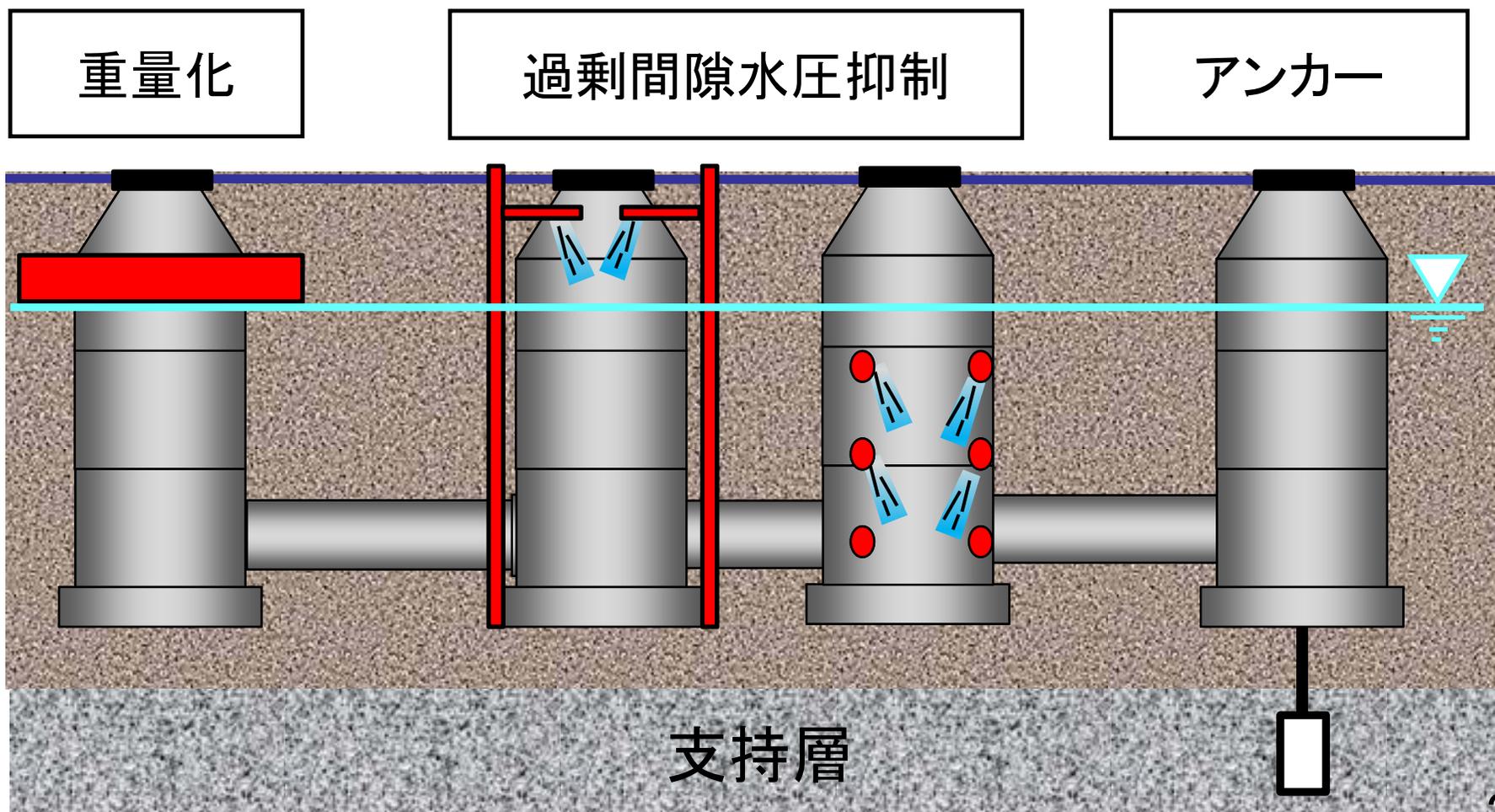
## B市における被災状況分析

### 【施工方法の確認】

- 平成17年度は、耐震化事業に着手した初年度であり、施工管理において十分な指導ができていなかった。
- 平成18年度より、事前配合の立ち会いや指示等の適正化を図った。施工管理の適正化において留意した事項は下記の通り。
  - ・現地でのセメント混合時の立会い(全数量に対して実施)
  - ・現場発生土毎(1工事あたり3箇所)に事前配合試験実施。

⇒この結果、平成18年度以降の施工箇所については、ほとんど被害がない。

# 既設マンホールにおける耐震化工法



# 既設マンホール耐震化工法の実績

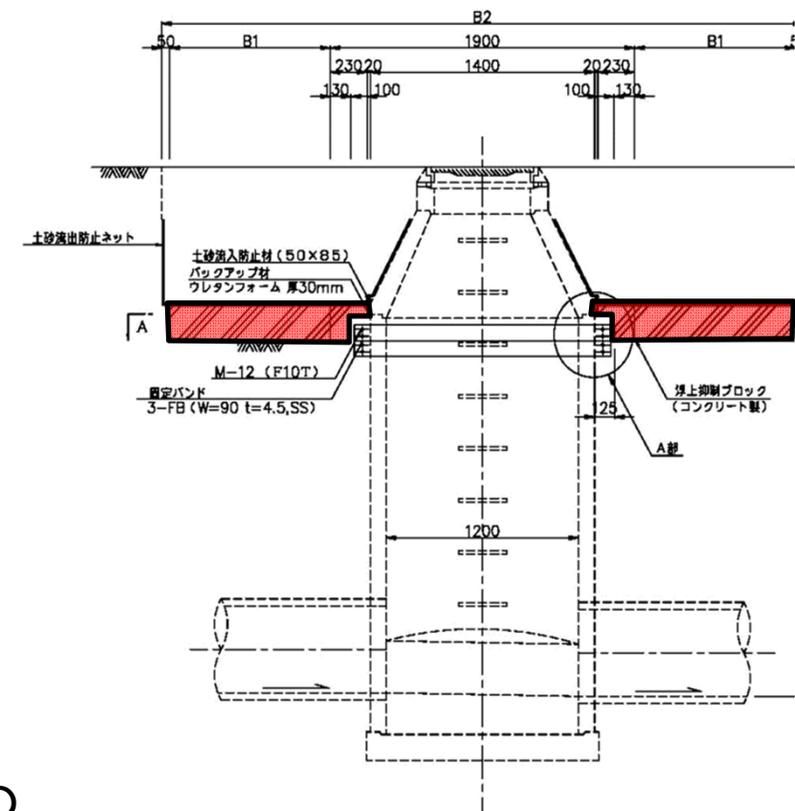
工法区分		過剰間隙 水圧消散	重量化	杭・アンカー
主たる工法数		4工法	3工法	2工法
施工実績		約9,000基	約1,000基	2基
	うち東北3県	約40基	約200基	0基
	うち関東3都県	約8700基	約500基	0基
採用自治体数		約20	約30	2

# 東日本大震災での被害状況

工法区分	調査者	調査対象	被害有無	備考
過剰間隙 水圧消散	関係団体①	詳細調査:72基	なし	東京湾沿岸,石巻市,東松島市
	関係団体②	一次調査:24基	なし	栗原市,登米市,石巻市,女川町
重量化	関係団体③ 国総研	一次調査:309基	なし	宮城県,浦安市
		詳細調査:21基	なし	浦安市,栗原市,東松島市

# 重量化工法の効果

- ・耐震化済みマンホールのうち、
  - ①本震の震度が6強以上
  - ②調査対象マンホール周辺で液状化被害有り
  - ③調査対象マンホールに近接または同一路線上に未対策マンホール有り
 の条件を満たす場所を4地区選定して現地調査。
  
- ・調査内容は以下の通り。
  - ①マンホールの周辺地盤変位を含めた隆起測定
  - ②同一路線におけるマンホール高さの測定
  - ③マンホール内および管口の破損状況
  - ④流下観察
  - ⑤周辺道路および構造物(家屋、擁壁、水路等)の被災状況

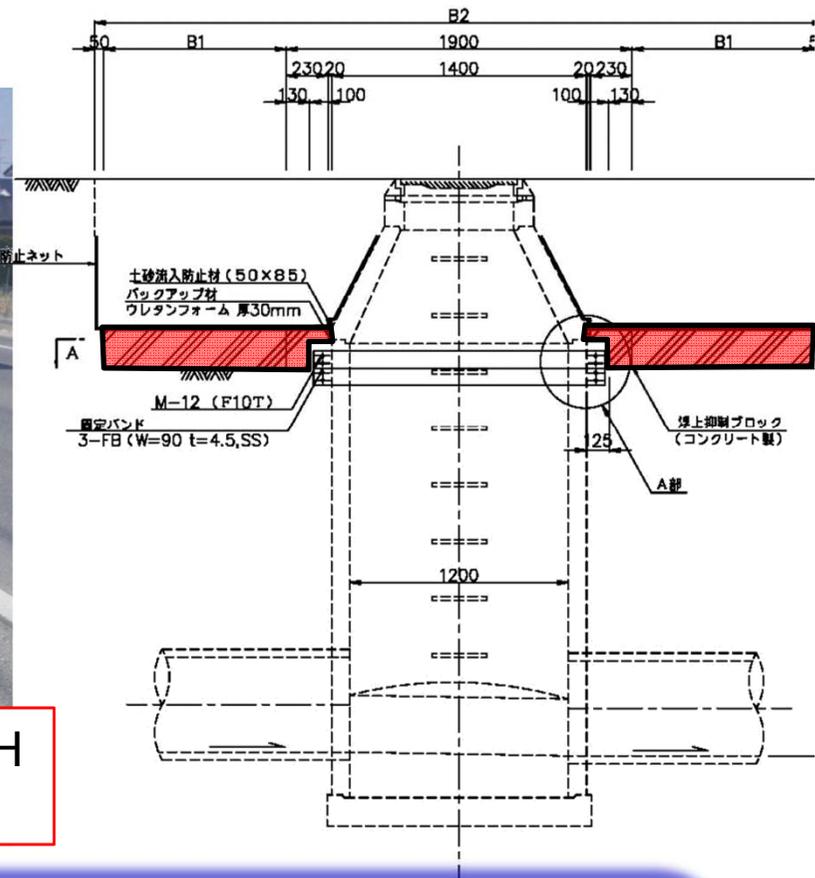


## 重量化工法の効果(抜粋)

MH番号	液状化対策	突出量	MH内調査	流下観察	周辺道路 構造物状況
1	有	+6mm	異常なし	異常なし	舗装亀裂
2	有	+14mm	コンクリート 一部剥離	異常なし	舗装亀裂、陥没
3	有	±0mm	異常なし	異常なし	舗装亀裂
4	無	<b>+159mm</b>	コンクリート 一部剥離	流量小 (上流で閉塞)	舗装亀裂、陥没



# 重量化工法の効果



- 過去3年で約千基の実績。
- 道路全体が大きく変状するも、対策済みマンホールは元の地盤高を維持するなど、被害はなし。 ※国総研・メーカー合同調査

## (参考) 過剰間隙水圧消散工法の効果



- 過去3年で約9千基の実績。
- 東京都や宮城県で施工実績があり、被害はなし。

※メーカー自主調査結果

## まとめ

- 管きよの耐震化工法に関して、砕石及び固化による耐震化の効果が確認された。
  - 一部の耐震化済み管きよにおいて、被害があるも軽微であり許容範囲内であった。
  - 一部被害の原因は、施工管理上の問題（適正材料、現場の施工環境等）によるもの。
  - マンホールの耐震化工法に関して、被災状況を確認した結果、被害はなかった。
- 現場の施工環境等に基づく適正な配合など、施工管理方法及び基準等の重要性が指摘された。
  - 適正な施工方法の周知、各工法に対する理解の向上が必要。

# 今後の展望

## ①液状化対策工法の事例再整理

管きよ及びマンホールの液状化対策工法について、施工実績や施工性、適用条件等を整理し、現場条件に適した工法選択が可能となるようにする。

## ②液状化対策工法の施工管理手法

液状化対策を要する場所は、交通量の多い重要路線、高い地下水位、軟弱な地盤等の施工上の問題を抱える場合が多い。

液状化対策の効果を確実に発揮するために施工管理方法及び品質管理方法について検討を行う。

## その他活動

- 東日本大震災で得られた教訓・調査結果
  - ⇒下水道地震・津波対策技術検討委員会への資料提供
  - ⇒構造・性能基準を具体的に明示し、今後の下水道耐震設計指針等の改訂に反映
- 今回地震を考慮した下水道BCPマニュアルの改訂支援
- 効率よい応急復旧に役立つアセットマネジメント導入支援
- 広域的な災害発生時の支援のあり方の検討



ご清聴ありがとうございました。

**N I L I M**

一日も早い復興を望み 支援します。

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室

<http://www.nilim.go.jp/lab/ebg/>