

2025年1月30日(木)
来たるべき北海道での複合災害
を考えるシンポジウム

札幌市からの成果報告

平成30年北海道胆振東部地震で被災した札幌市 清田区里塚地区の市街地復旧に関する研究

札幌市危機管理局
危機管理部危機管理課
防災計画担当係長

Sasaki Masato
佐々木 将仁

1. はじめに

取組の概要

- 平成30年北海道胆振東部地震により、札幌市清田区里塚地区では、盛土末端部における大量の土砂流出や2mを超える地盤沈下が発生するなど、甚大な被害に見舞われた
- 発災後は街区内約140の宅地居住者のうち約半数が避難生活を強いられ、地域コミュニティの維持・存続が危ぶまれた

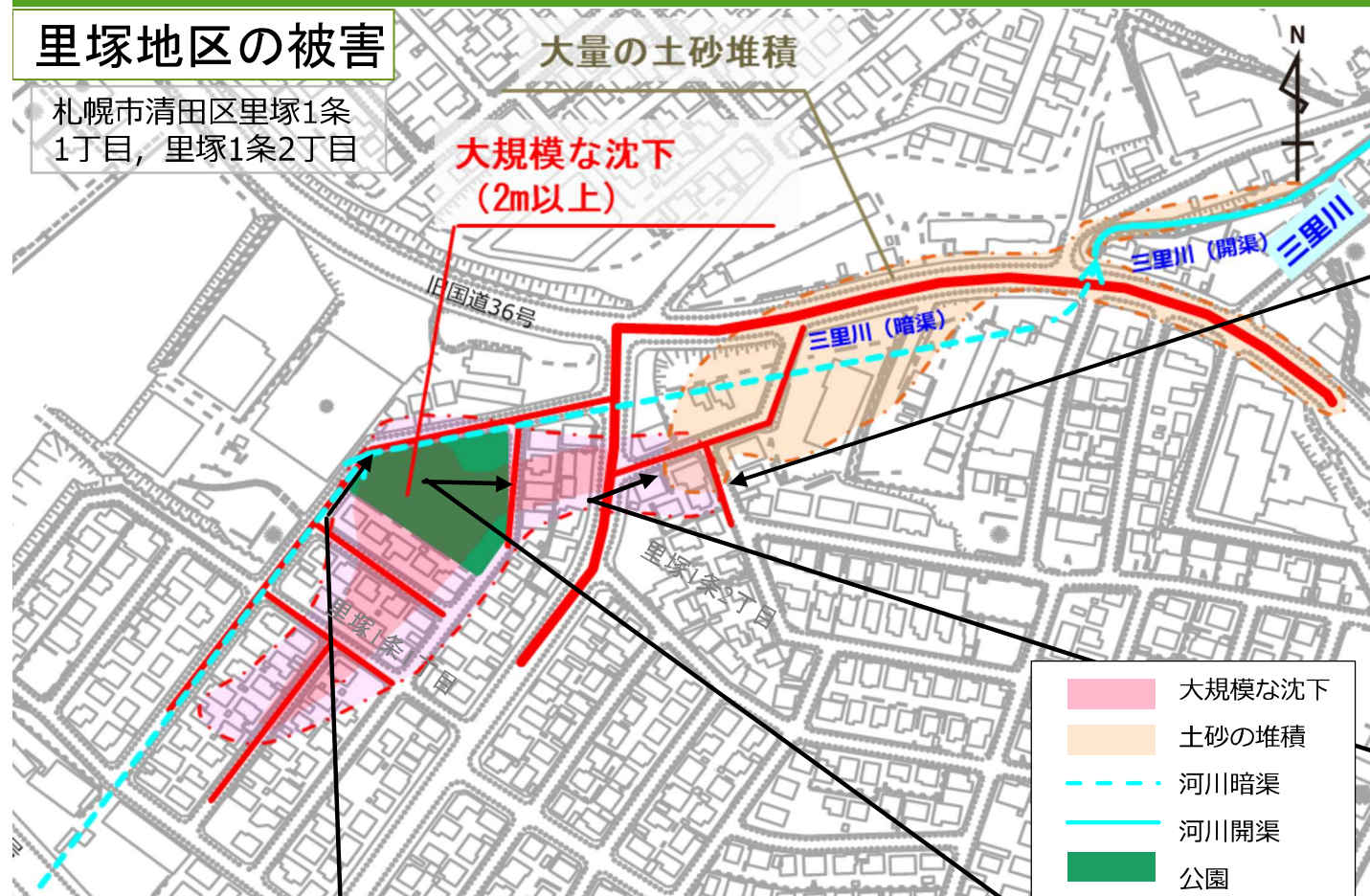


- 復旧は徹底的に「速さ」にこだわり、技術的検討では産官学が連携、地域と話し合いを重ねながら被災者に寄り添った対応を実施
- 発災3か月で対策工を合意形成、半年で工事着手し被災者に見通しを示し、2年で対策復旧工事を完了
- その結果、被災住民のうち8割を超える方が現地再建を果たし、早期の市街地復旧・復興に繋がる
- 一連の復旧・復興事業の進め方、検討内容を知見として整理

1. はじめに

里塚地区の被害

札幌市清田区里塚1条
1丁目, 里塚1条2丁目



施設名	被災状況
道路	8路線で沈下 $L=750\text{m}$, 土砂流出・堆積 $L=250\text{m}$
水道	水道管破損 3箇所 ($\phi 500 \times 1, \phi 200 \times 2$)
下水道	下水道管機能障害 $L=3.7\text{km}$
公園	里塚中央ぽふら公園にて沈下(約2.5m), 遊具施設等破損
住宅	全壊43戸, 大規模半壊20戸, 半壊22戸

1. はじめに

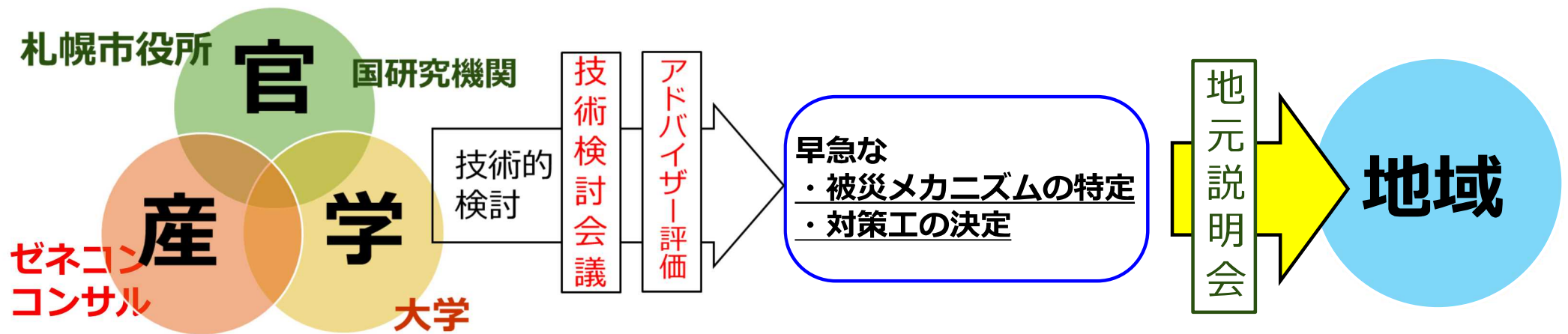
本研究で明らかにした学術的課題

1. 谷埋め盛土部の顕著な地盤沈下や下流側への大量の土砂流出など
きわめて珍しい様相の被災形態に関する被災メカニズムの推定
2. 可視化されていない地盤内部の潜在的リスクの可視化を旨とした調査手法（探査手法）の適用と結果の早期把握
3. 特殊な盛土地盤条件（細粒分が多く、緩く堆積した火山灰質土）
と復旧工事の施工条件（居住を継続する宅地への施工や住宅再建
で宅地利用状況が逐次変化する中での施工）の下での対策工の選
定及び施工
4. 確実な地域コミュニティの維持・再生のため、行政の取組における地
域からの信頼確保方法と早期復旧に向けた工夫方法

2. 調査と被災メカニズム

産官学が連携して調査・検討を実施

- ・札幌市と受注コンサルタントに加え、大学に協力いただき調査・技術検討を実施
- ・検討した内容は、技術検討会議にて有識者(国研究機関)より助言をいただき学識経験者(技術的アドバイザー)による評価を経て、地元説明会で示した



技術検討会議の様子



○ 技術検討会議：有識者（国研究機関）

- ・国土交通省 国土技術政策総合研究所
- ・土木研究所 つくば中央研究所
- ・土木研究所 寒地土木研究所

○ 技術的アドバイザー：学識経験者（大学）

- ・北海道大学 石川 達也 教授
渡部 要一 教授
- ・北見工業大学 山下 聡 教授

○ 調査研究協力（大学）

- ・北見工業大学 地域と歩む防災研究センター

地元説明会の様子



2. 調査と被災メカニズム

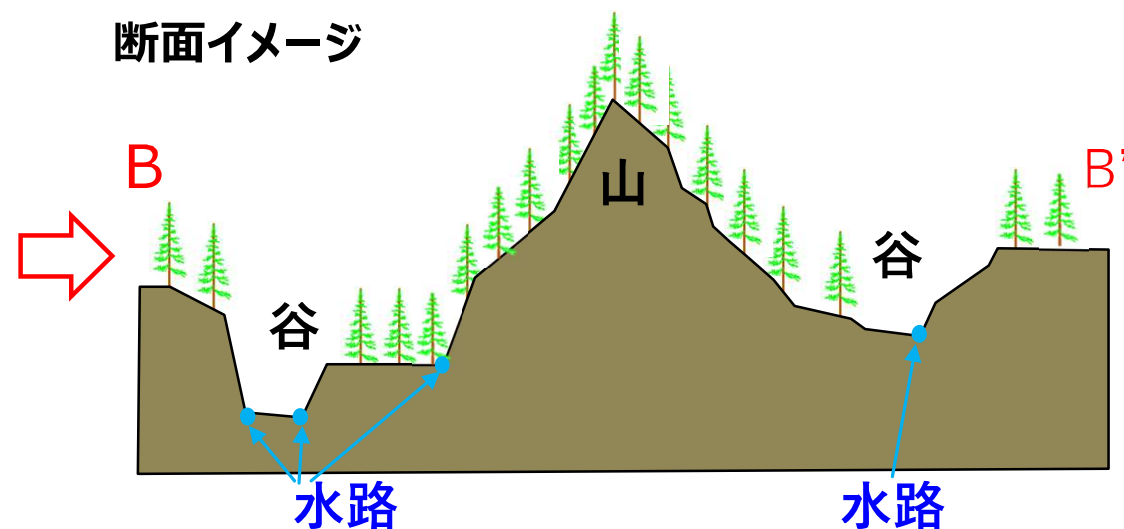
被災区域の地形

昔の土地形態は??

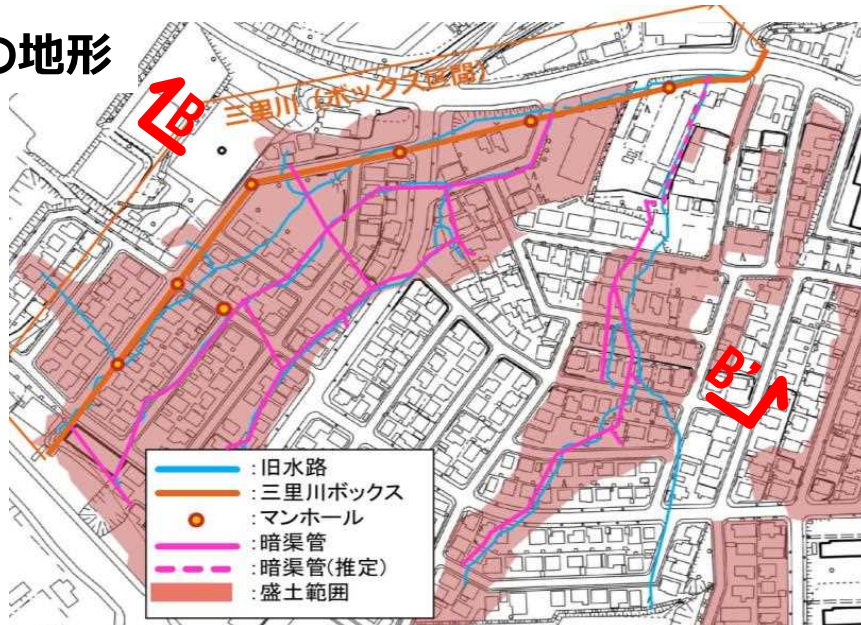
昔の地形



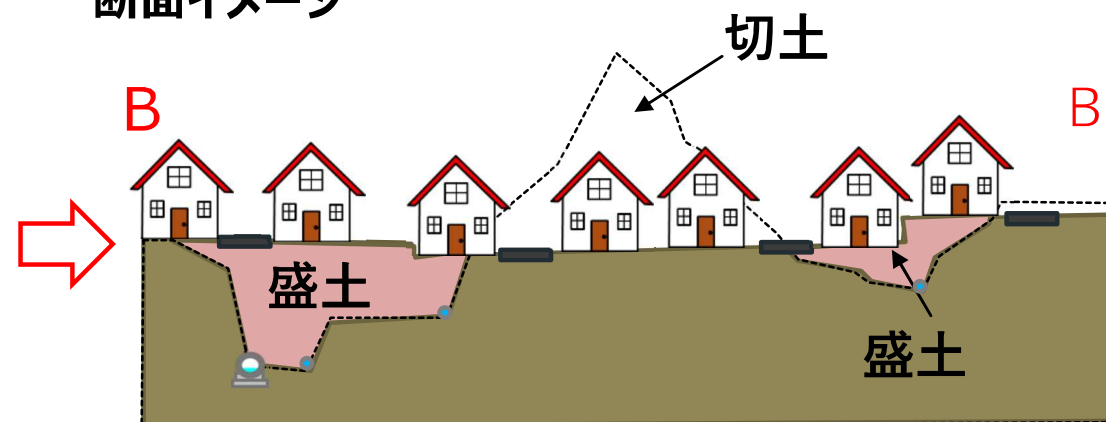
断面イメージ



今の地形



断面イメージ



➤ 被災集中箇所は沢（谷）を埋めた谷埋め盛土の造成地

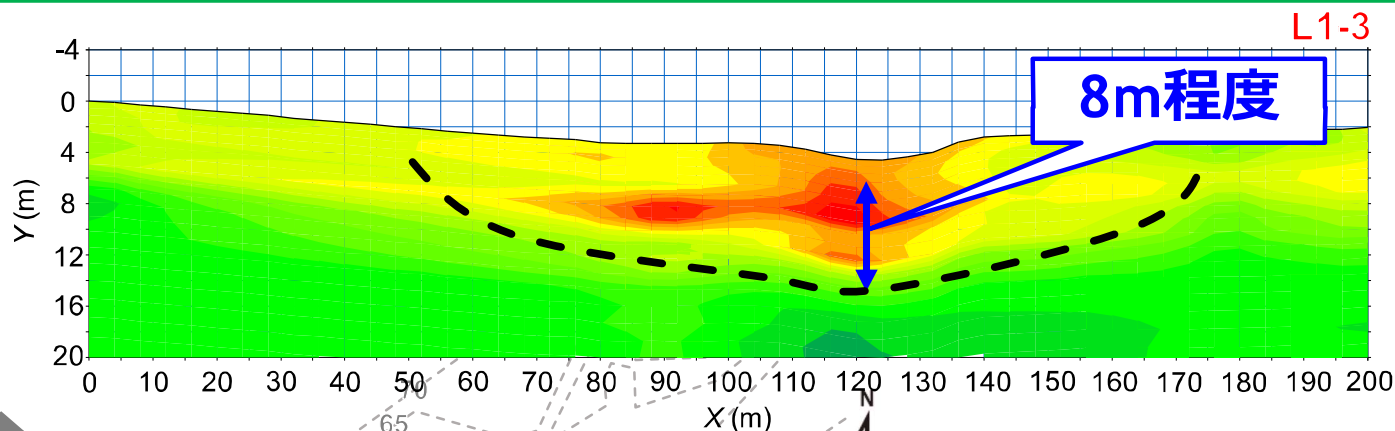
2. 調査と被災メカニズム

表面波探査による地盤性状の面的な把握

暖色 → 軟 寒色 → 硬

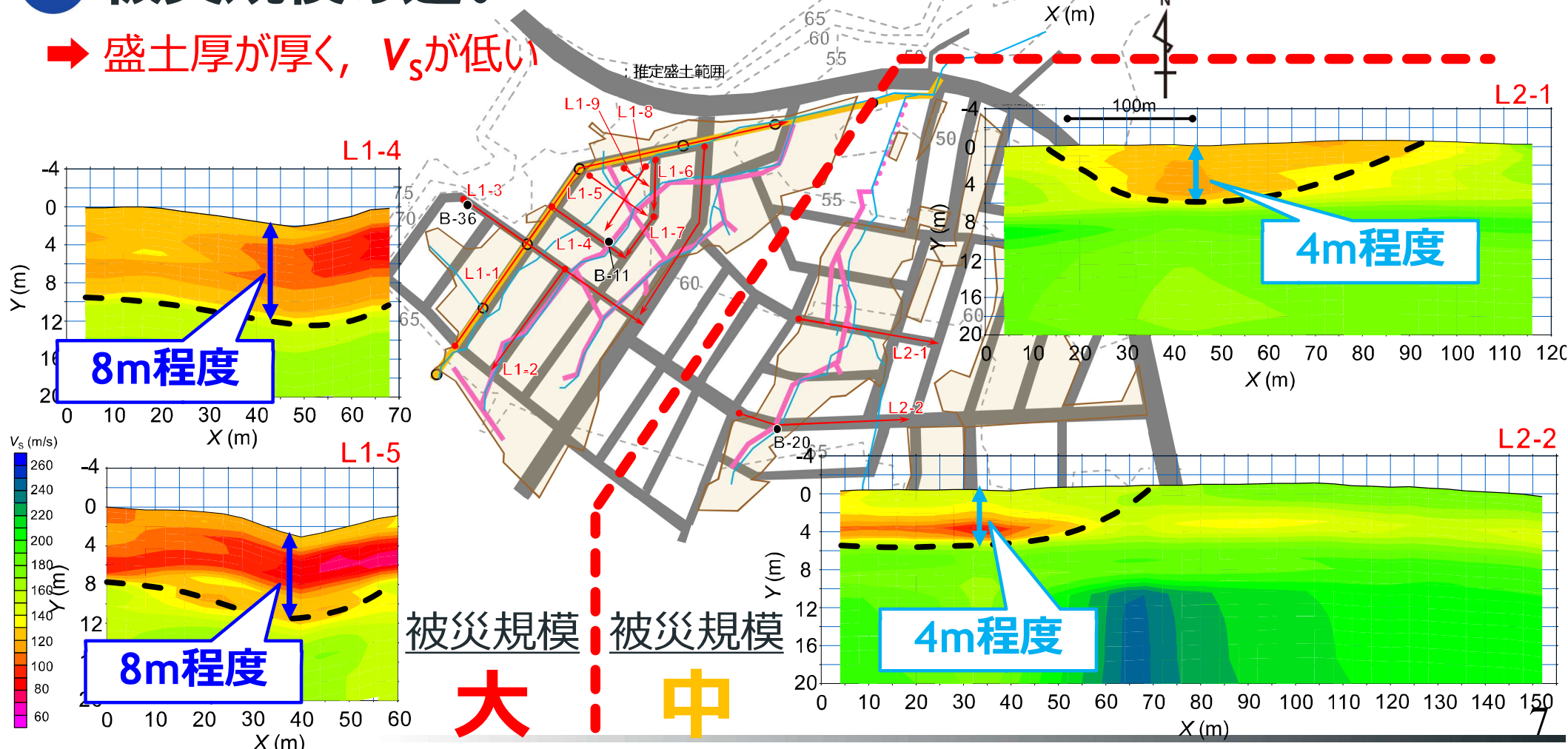
1 切盛り境界

- 明瞭に判断できる
- 旧河川で V_s が低下



2 被災規模の違い

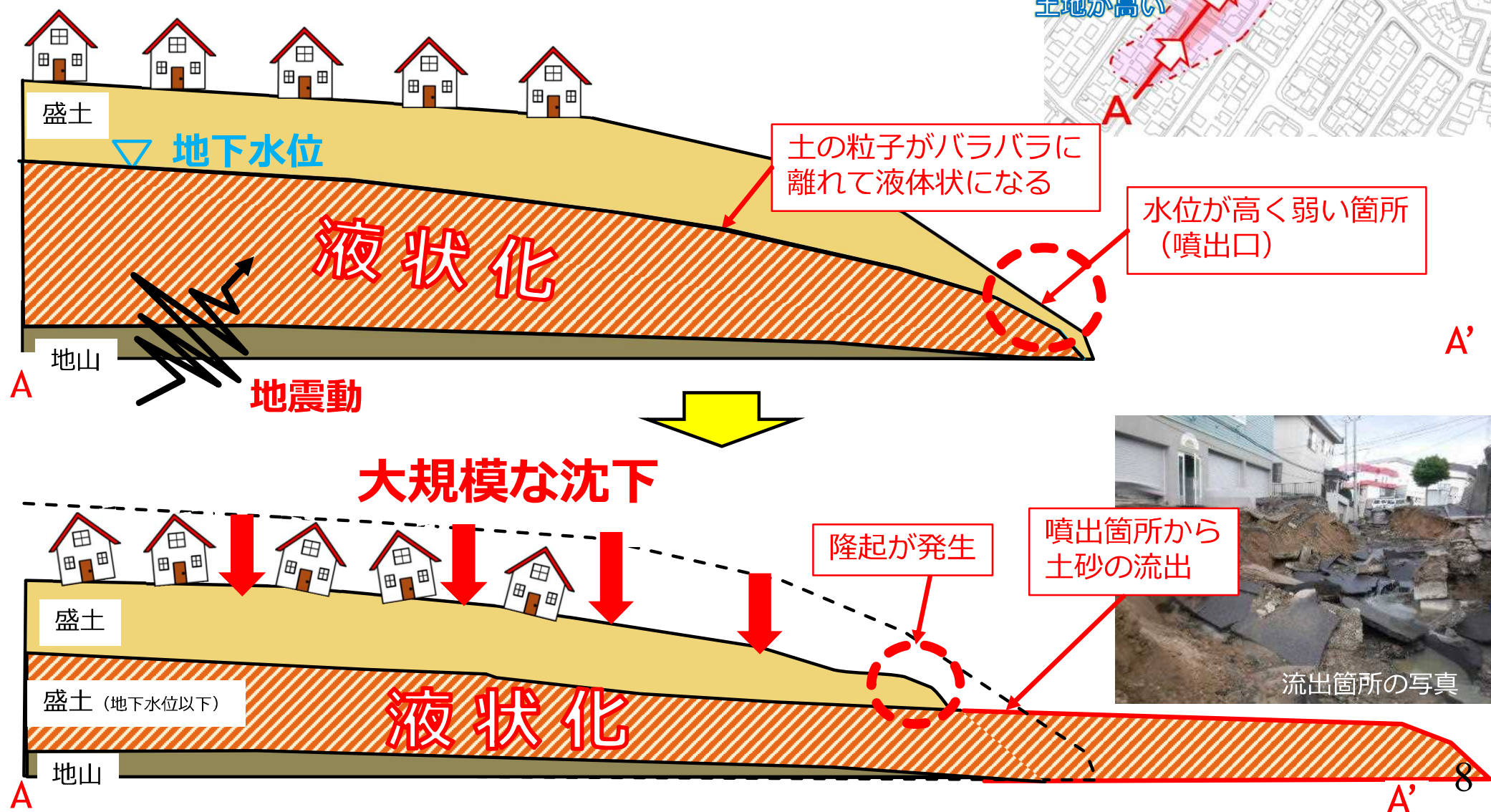
- 盛土厚が厚く, V_s が低い



2. 調査と被災メカニズム

被災メカニズム

液状化に伴う土砂の流出が発生



3. 対策工の選定および施工

復旧方針と工法選定のポイント

- ◆東日本大震災や熊本地震の関係者から繋がれたもの
 - 時間が掛かるとコミュニティ再生は困難に
 - 個人負担が過度になると合意形成に時間が掛かる



【対策工選定のポイント】

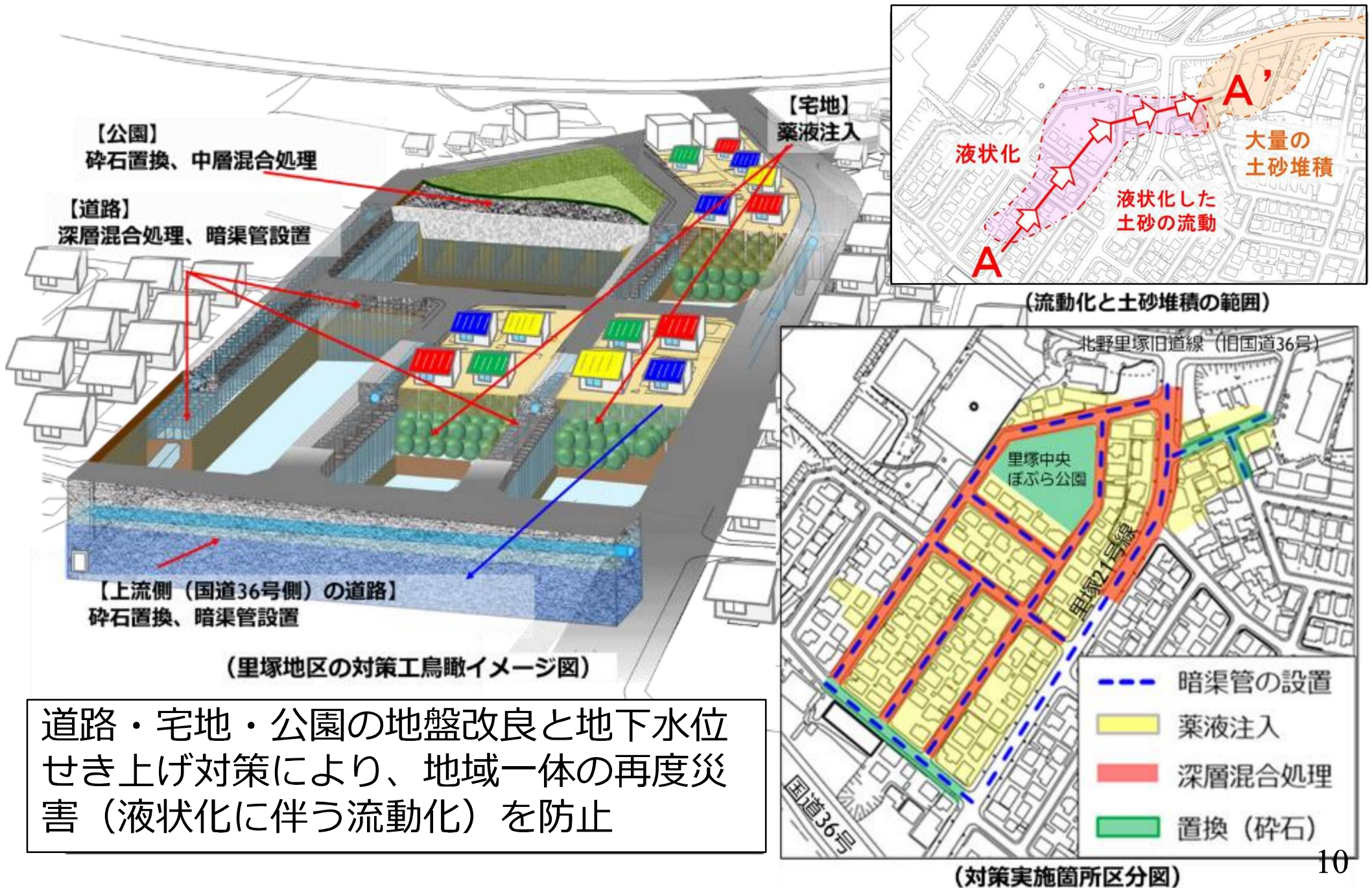
- ①発生要因を踏まえ、**再度災害の抑制効果**があること
- ②**個人負担に配慮しつつ、住宅再建への時間的影響を極力小さく**できること
- ③**スピード感を重視し、**対策工の信頼性や耐久性が 認められている工法であること



全てはコミュニティの再生を
確実なものとするために！

3. 対策工の選定および施工

対策工の全体イメージ（適材適所の対策工）

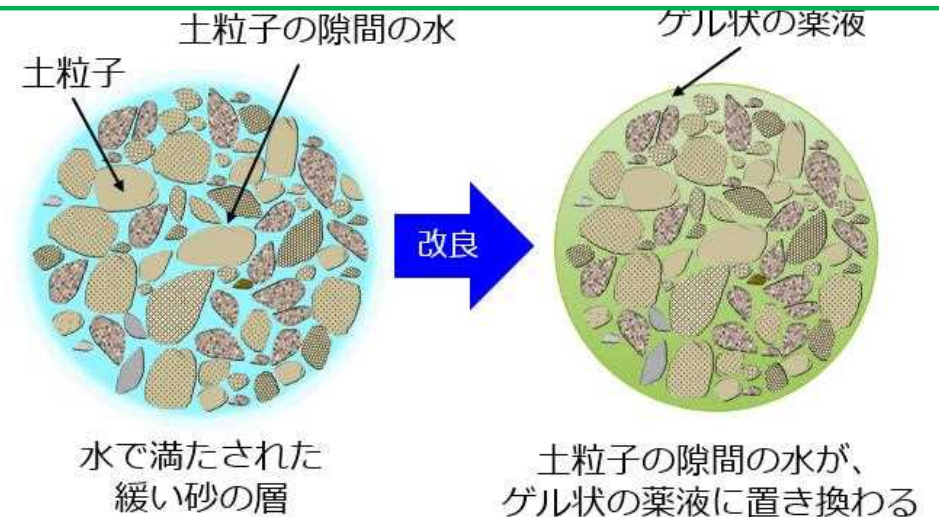


3. 対策工の選定および施工

薬液注入工（宅地での対策工）



【宅地】薬液注入 【道路】深層混合処理



【宅地部の地盤改良：薬液注入工法】

- ・ 宅地下の地下水位以下の液状化層（緩い層）を地盤改良
- ・ 土粒子の隙間の水を薬液に置換え、地中に改良体を生成し、流動化と液状化の発生を抑制
- ・ 宅地下への適用は“**全国初**”



住民が居住しながらも施工が可能であるとともに、
地盤改良の「前」でも「後」でも住宅再建が可能
公共工事と並行して、住民が住宅再建に取り組める！！

3. 対策工の選定および施工

工事発注の工夫（事業期間短縮と施工品質の確保）

- ・ 詳細設計付き工事

着手後、家屋解体など逐次変化する施工条件に対応
(事前に詳細設計を行っても、施工中に変更が必要となる)

➡ 速やかな着手 及び 詳細設計と施工計画の適宜修正が可能

⇒ 詳細設計に要する期間（半年～1年）を短縮

- ・ 技術提案型総合評価落札方式

当該工事固有の評価項目を設定、次の技術提案を求めた

- 1) 宅地等の地盤改良における施工の留意点、生活環境対策
- 2) 他工種との調整、工程順守の重要管理事項

(これらを、家庭内で話し合えるよう大型連休前に住民に提示することも設定した)

➡ 住民が住宅再建に向けた、具体的なイメージ作りに繋がる

⇒ 事前に工程検討ができ事業の円滑化や精度確保に

3. 対策工の選定および施工

住民の住宅再建を支援する「先手」の情報発信と、きめ細やかなフォローアップ

工事着手時に、街区ごとの地盤改良完了時期を情報提供
⇒住民が**より具体的に住宅再建をイメージ**できるように！！



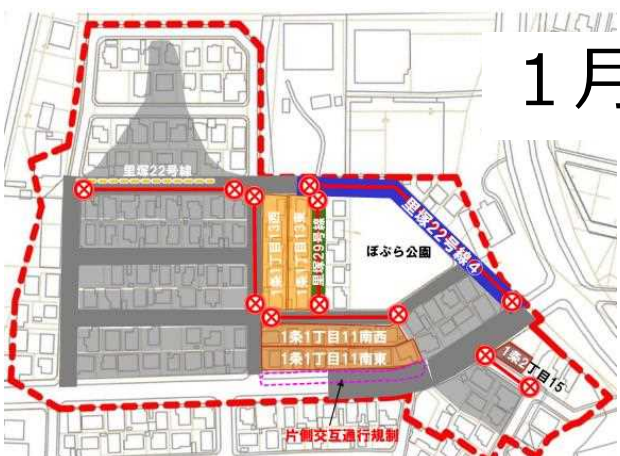
工事着手



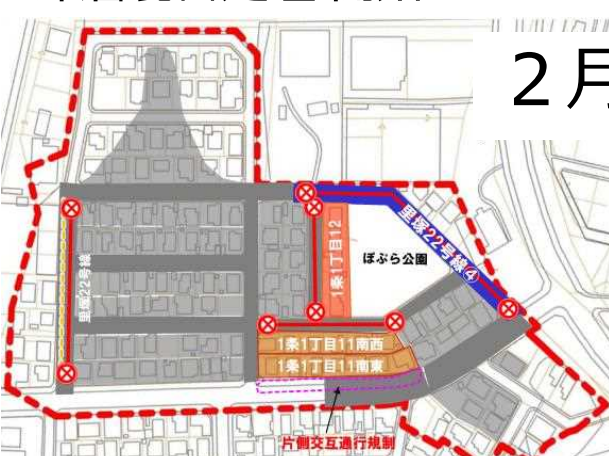
<道路部>
深層混合処理 開始



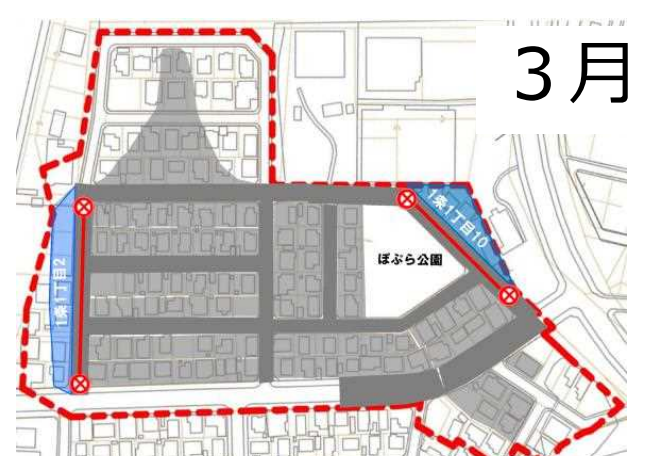
<宅地部>
薬液注入開始



<宅地部>
東側街区で薬液注入 完了



<道路部>
深層混合処理 完了



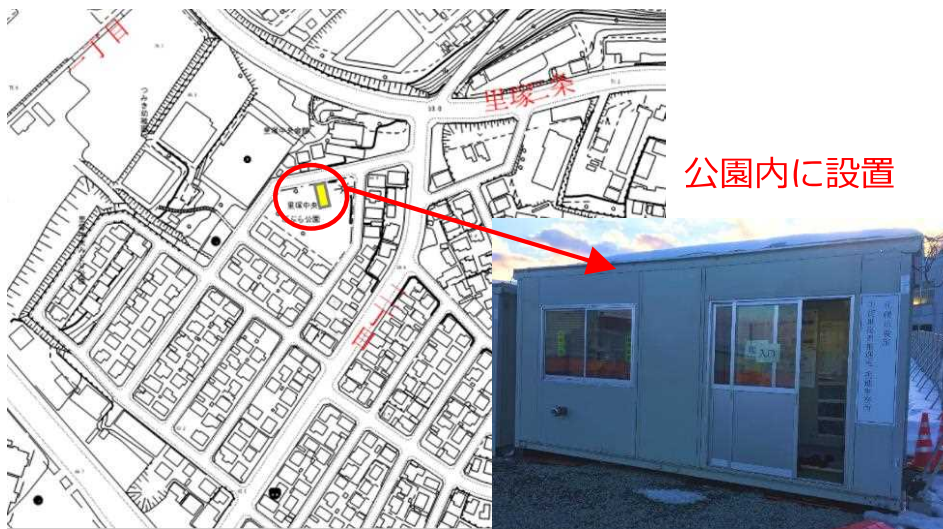
<宅地部>
薬液注入完了

4. 被災者への寄り添い・三位一体の取組

現地事務所による対応の実施

目的

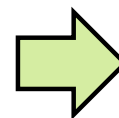
各種情報の発信や生活再建に関する相談を受け、円滑に市街地復旧を進める



図：現地事務所内の住民対応状況

○相談受付内容

1. 各支援制度の相談、申請
2. 再建方法（工法）の相談
3. 復旧工事の問い合わせ対応
4. 住宅再建と復旧工事の調整



被災者と**親密な関係**を構築し、
きめ細やかな対応

➤ 延べ1,000件を超える相談対応

4. 被災者への寄り添い・三位一体の取組

地元住民の取り組み ⇒ 地域向けHPの運営

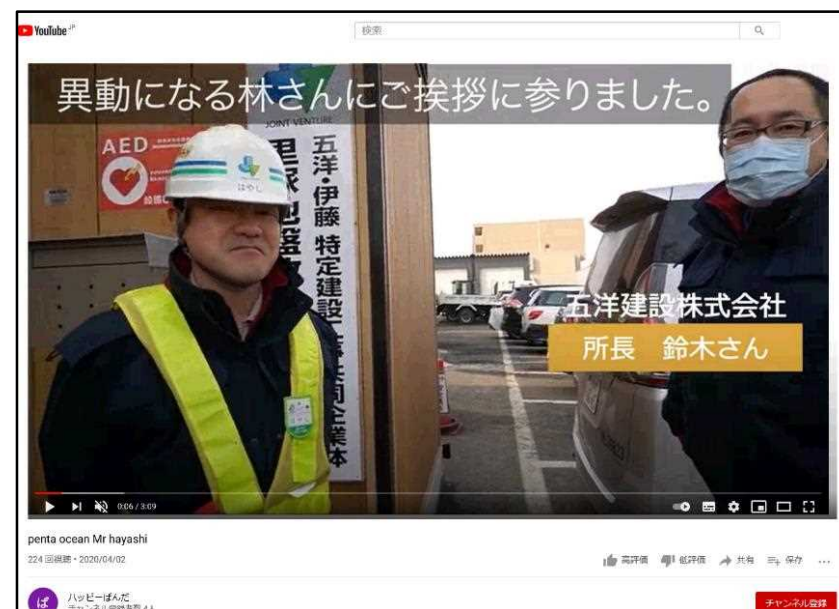
避難先の方にも届くよう
写真、動画、広報誌を掲載

里塚に戻りたくなるような
地域イベントの写真を掲載

YouTubeへの動画投稿



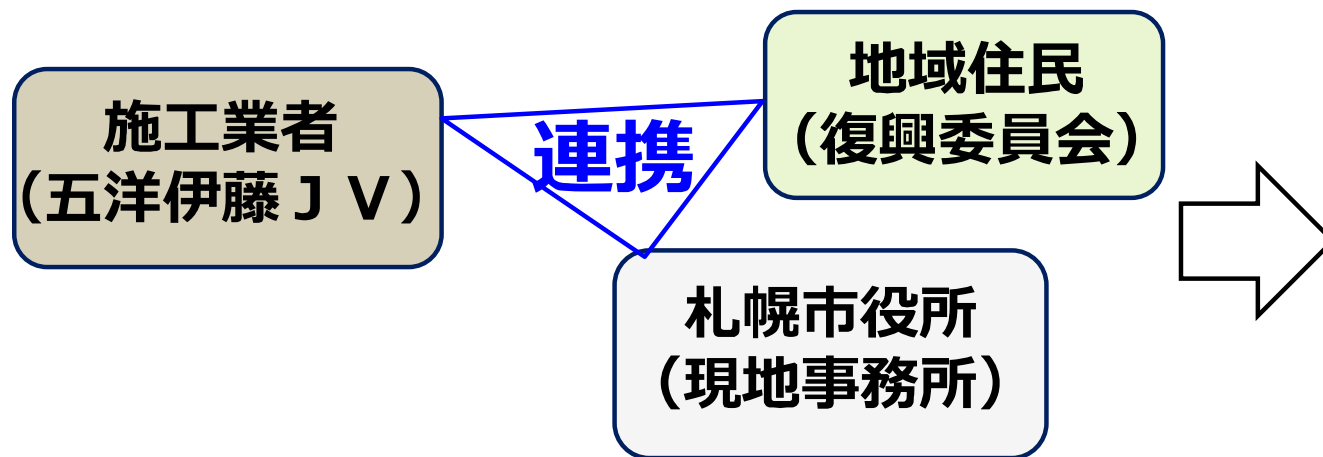
地盤改良について
住民からの質問に施工業者が回答



現場を離れる現場職員にインタビュー

4. 被災者への寄り添い・三位一体の取組

三位一体となった被災者のための取組



第一に被災者優先！！
里塚の早期コミュニティ再生
を目的とした共通認識

⇒信頼関係の構築

早期復旧へ



里塚早期復旧を願う集い (2019.9.8)



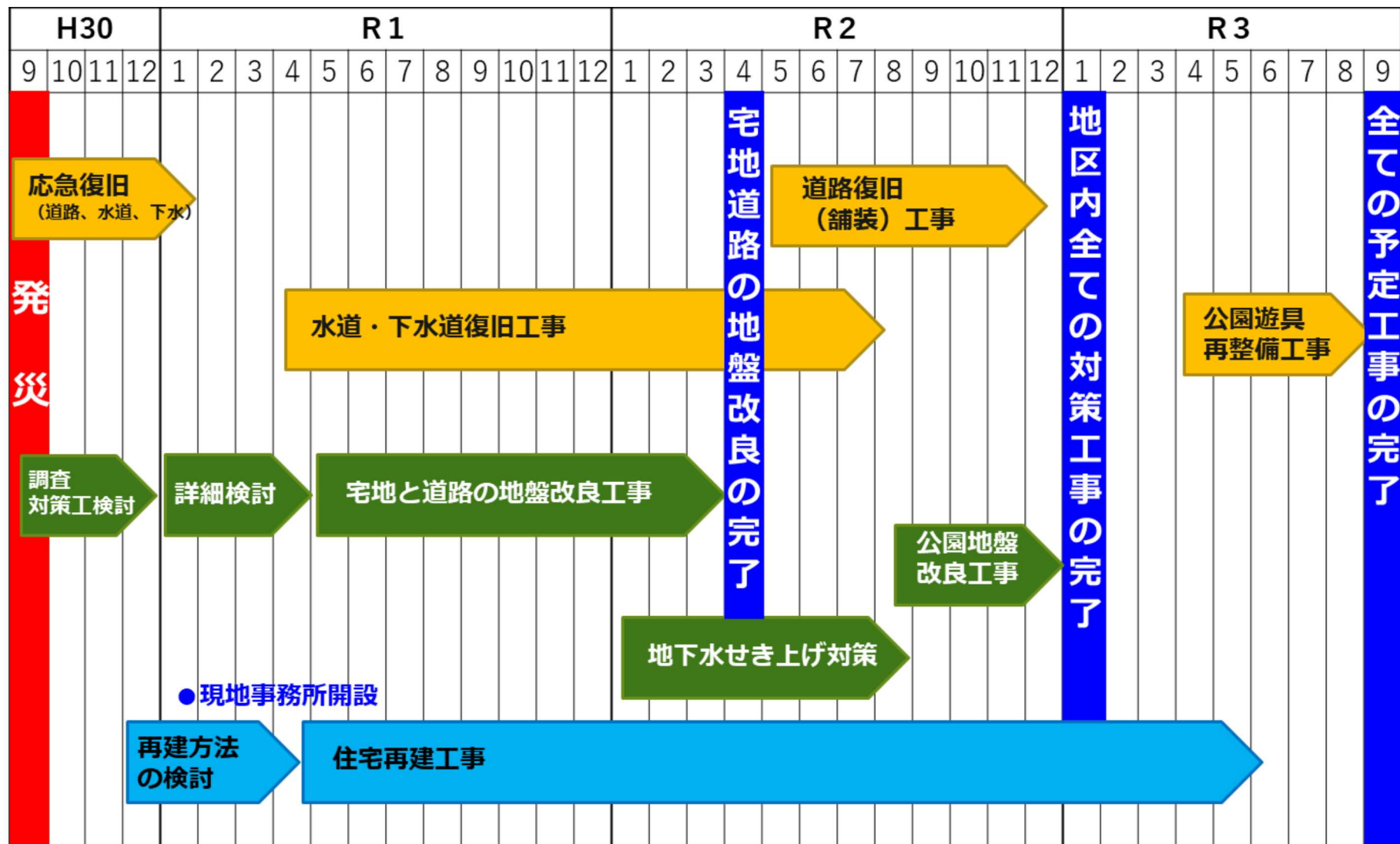
※地域住民提供写真



餅つき大会 (2019.12.9)

5. 早期復旧・コミュニティの再生

里塚復興までのスケジュール



- R2.12に復旧工事を完了(地震から2年)
- 家屋・宅地に被害があった戸建住宅: **106件のうち87件(82%)が現地再建を完了**
- 家主が離れた土地は、地価は発災前に戻り、市場で取引され新しい方が住み始める

5. 早期復旧・コミュニティの再生

発災直後 (H30.9)



復旧完了後 (R3.9)



R3.10 里塚中央ぽぷら公園の様子



発災直後 (H30.9)



復旧完了後 (R3.9)



R3.9 復旧工事完了の集い



発災直後 (H30.9)



復旧完了後 (R3.9)



5. 早期復旧・コミュニティの再生

他の被災地との比較

被災地震 (発生日)	東日本大震災 (H23.3.11)			熊本地震 (H28.4.14)	北海道胆振東部地震 (H30.9.6)
被災市	仙台市 (滑動崩落160地区)	千葉市 (磯部3・4丁目地区)	浦安市 (東野三丁目地区)	熊本市 (近見地区)	札幌市 (里塚地区)
被災1か月					技術検討会議開始
3か月					対策工示す、地域全体合意
4か月					現地事務所対応開始
5か月					対策工事発注
半年					対策工事着手 (H31.4)
1年	先行地域合意形成開始	液状化対策推進委員会開始	技術検討調査委員会開始	技術検討委員会開始	
1年半	対策工事先行地区着手 (H24.9)		実証実験開始		道路と宅地の地盤改良完了工事完了(R2.3)
2年			実証実験終了	実証実験開始	暗渠、公園地盤改良
2年半				対策工示す 順次地域合意取得	対策工事完了 (R2.12)
3年			事業予定地域で説明会開始	一部先行地区の工事着手 (R1.8)	公園遊具整備工事完了 復旧の集い (R3.9)
4年		地域合意形成	対策検討委員会開始、 地域合意形成	本格工事開始	
5年		対策工事着手 (H28.12)	対策工事着手 (H28.3)	工事実施	
6年	対策工事完了 (H29.3)		技術検討調査委員会開始		
7年					
8年		対策工事完了 (R1.5)	対策工事完了 (R1.8)		
9年		目標水位達成	上記地区以外は全て中止		
10年		委員会で事業完了を確認	※住民から反対		

熊本市の担当者語録
「札幌市はスピード違反」

結論：得られた知見や教訓

1. 災害復旧では、被災者が避難先の生活に慣れる前に、いち早く復旧に向けたロードマップを提示し、自らが住宅再建に取り組む状況を具体的にイメージできるように情報発信や環境整備に努めることが重要
2. 地域住民が早期に住宅再建に取り組めるよう、対策工の選定や工事内容の決定に当たっては準備期間や施工期間を含めた速さを最優先とし決定した
3. 施工品質の確保と事業期間の短縮を両立する工事発注の工夫や地域住民からの信頼確保に繋がる現地事務所の取組みが、地域住民が早期の住宅再建の見通しを立てる上で重要な役割を果たした

結論：得られた知見や教訓

4. 町内会を母体として被災者を中心に組織された里塚中央災害復興委員会は、行政と地域住民の意思疎通，相互理解を図るうえで大きな役割を担った。地域防災力において地域住民間のつながり，すなわち「共助」の重要性は広く認識されているが，復旧・復興の過程においても，その重要性が改めて示された

- (経験を) 繋ぐ
- (見通しを示すことを) 急ぐ
- (被災者に) 寄り添う

研究成果発表

札幌市の大規模盛土造成地における 再度災害防止に係る 地下水位低下及び段差抑制対策に関する研究

北見工業大学 大学院 工学研究科

寒冷地・環境・エネルギー工学専攻

札幌市建設局土木部

(国土交通省北陸地方整備局出向)

曽我部 幸平 (Sogabe Kohei)

【連携の範囲】

- ・ 災害調査で取得した調査データの相互利用
- ・ 防災力・災害対応力向上に資する技術開発
- ・ 防災力向上に資する人材育成



【目的】

- ・ 自然災害に強い札幌市を目指す研究・開発や人材育成等
- ・ 北海道における防災・減災への取り組みに反映



本協定に基づき、北海道胆振東部地震における復旧・復興をテーマに研究を進め博士論文として取りまとめ

令和3年4月：北見工業大学 大学院（博士課程後期）入学

令和5年3月：同上 修了

- ・ 北見工業大学の奨学金制度等を活用

本研究の概要

【背景】

- ・ 平成30年北海道胆振東部地震により、札幌市の南東部において、道路等の公共施設と宅地の被害が多く発生
- ・ 被害の大きい地区の一つである札幌市豊平区月寒東地区において、液状化被害や滑動崩落への対策が必要

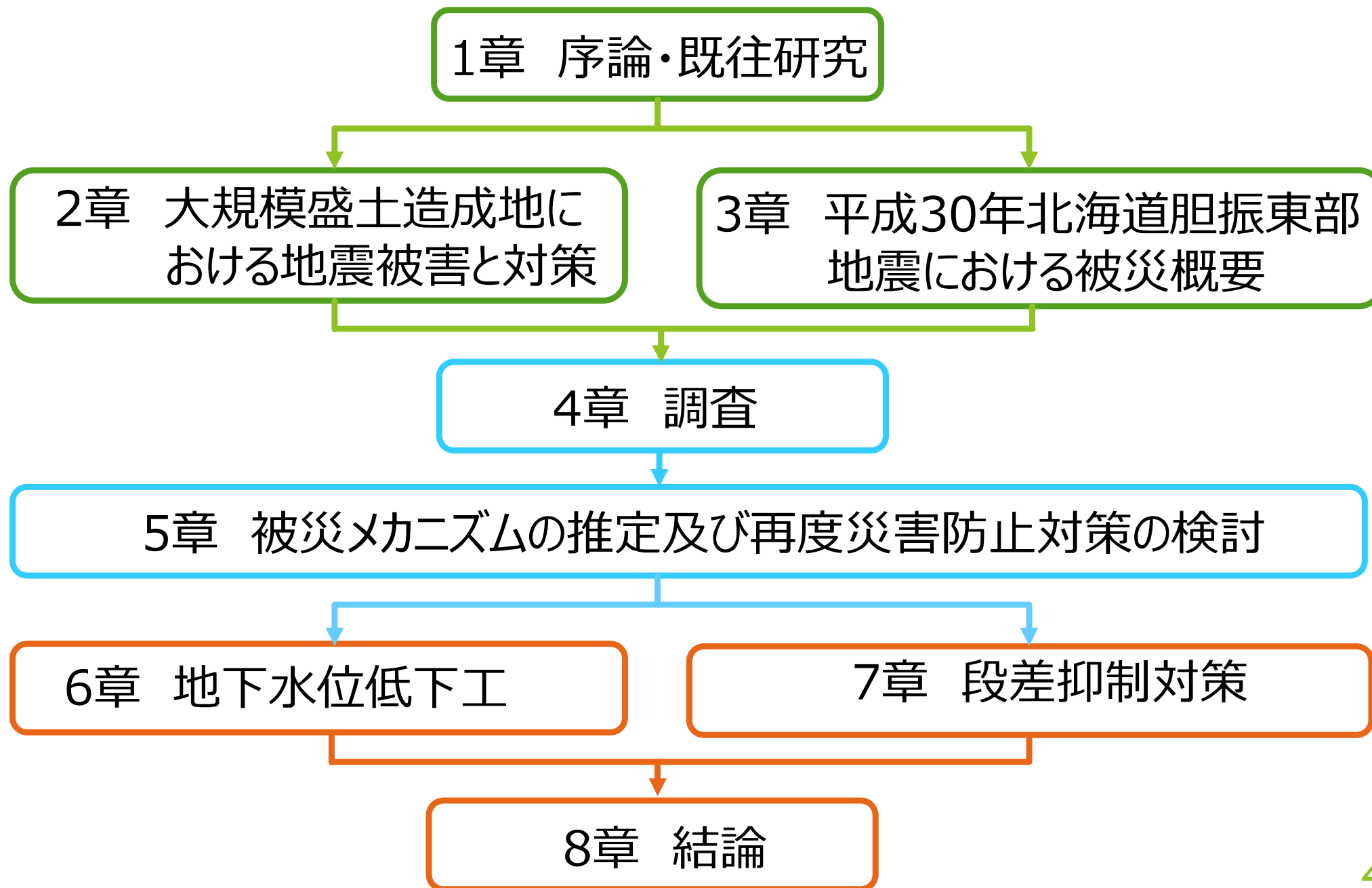


本研究では、以下の内容を取りまとめている

- 対策工を検討するための調査や被災メカニズムの推定
- 対策工①：地下水位低下対策の有効性、水位の低下手法
- 対策工②：実験を通じたジオセルを用いた段差抑制対策の検討

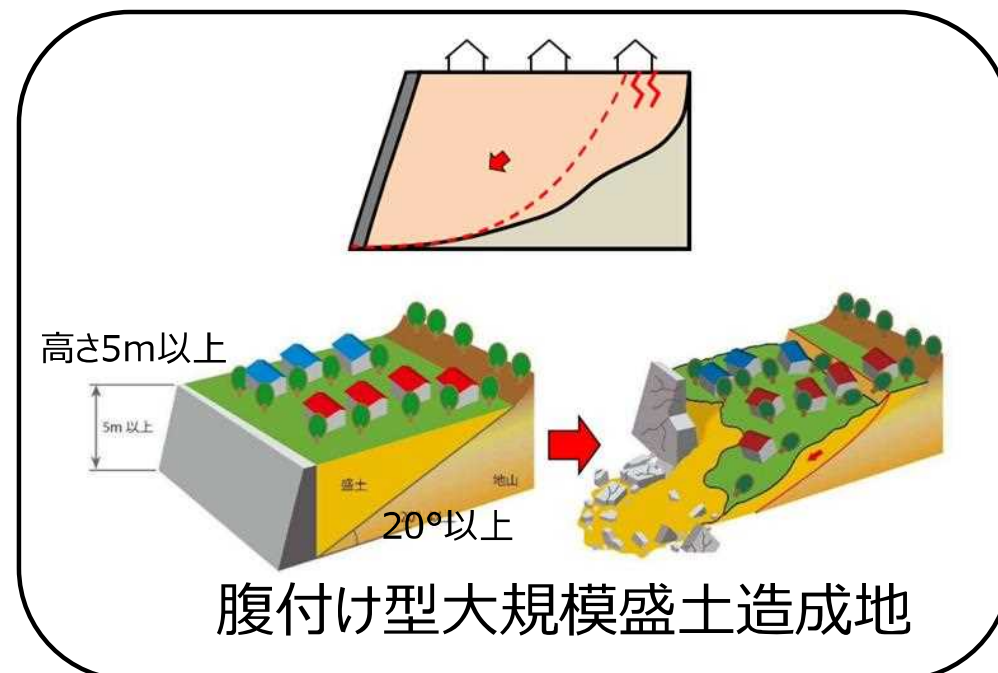
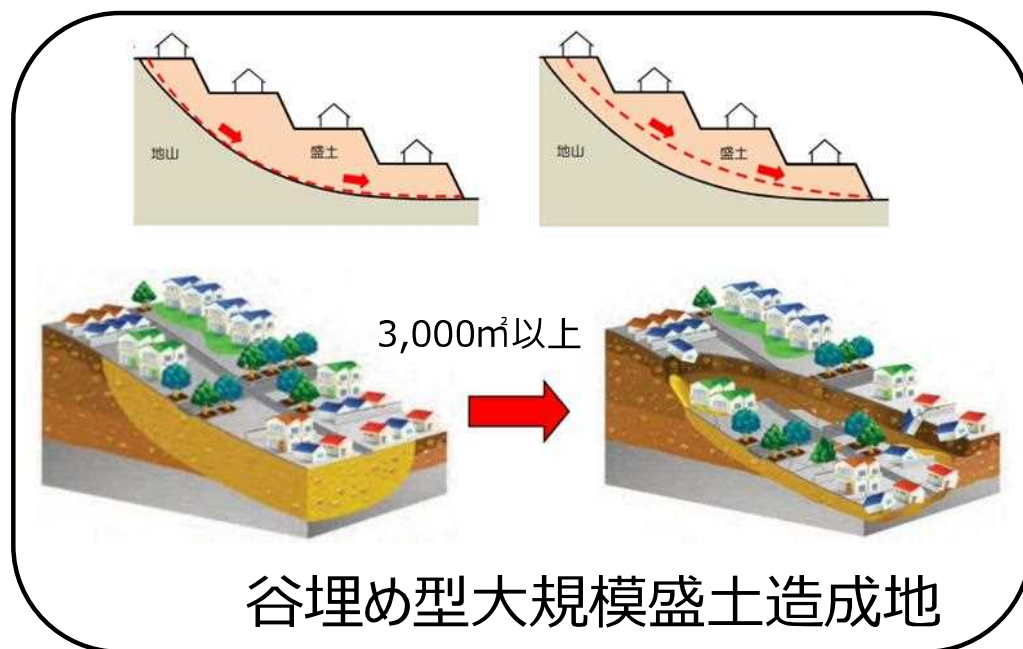
➤ 大規模盛土造成地における再度災害防止対策について、
検討内容を知見として整理

論文全体の構成



2. 大規模盛土造成地における地震被害と対策

大規模盛土造成地の地震被害



古くから地震被害が確認されている



1978年宮城沖



2004年新潟県中越



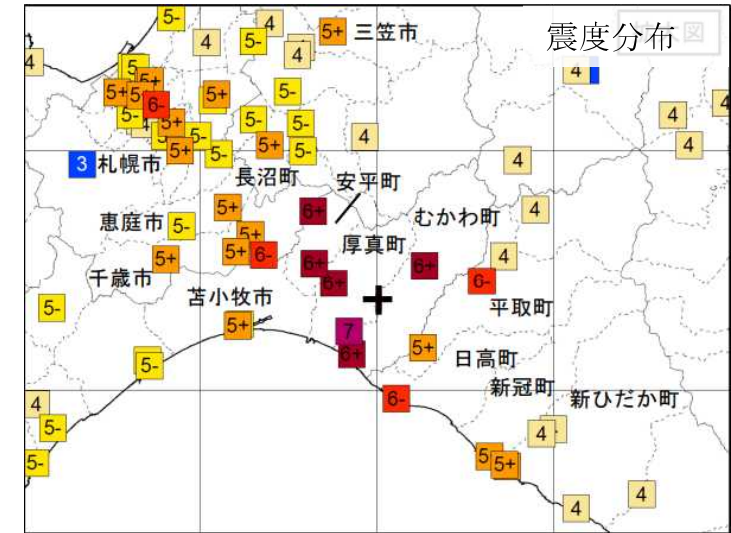
2011年東日本大震災

3. 被災概要

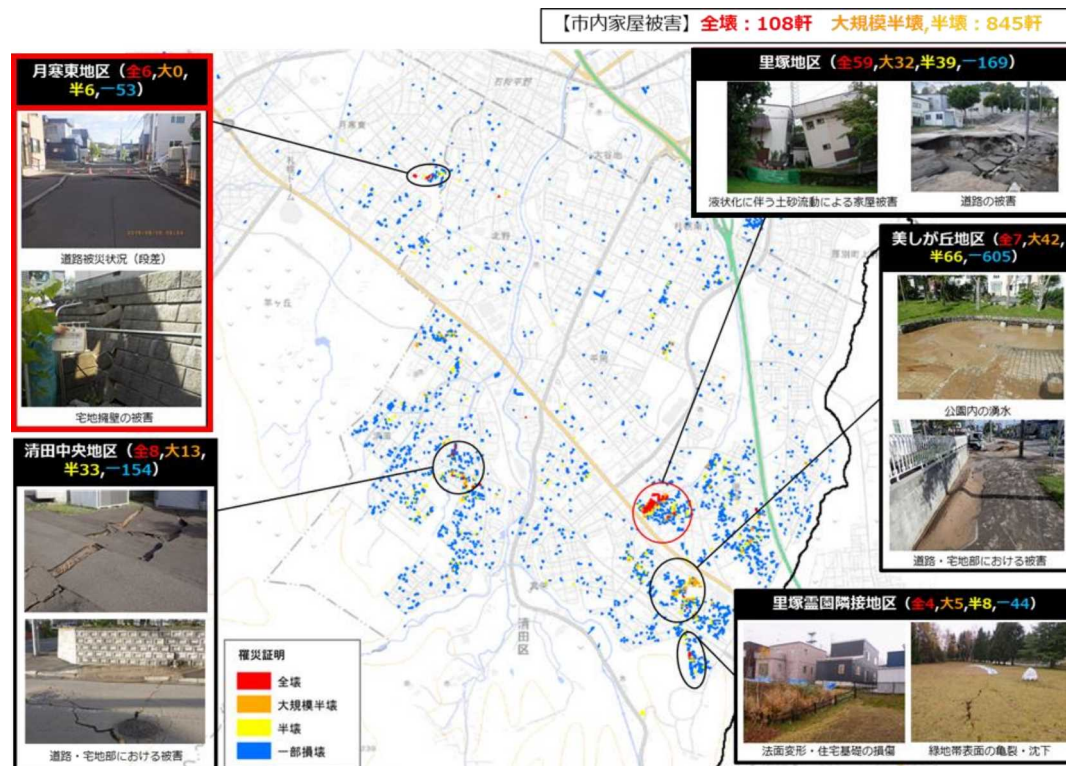
○平成30年北海道胆振東部地震の概要

■ 地震概要

- ・発災日時 平成30年9月6日3時7分
- ・震源地 胆振地方中東部、深さ37km
- ・最大震度,加速度 震度7(6.5),967Gal(厚真町)
- ・マグニチュード 6.7(暫定)

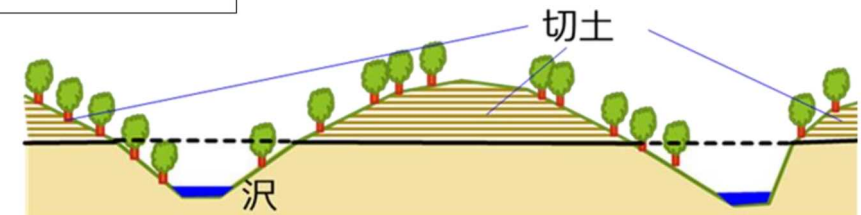


宅地被害が集中した5地区の分布



- ・全壊家屋の約8割が市域の南東部に集中
- ・支笏火砕流堆積物の分布範囲に位置
- ・大規模盛土（谷埋め盛土）で被害が集中

昔からの自然地形



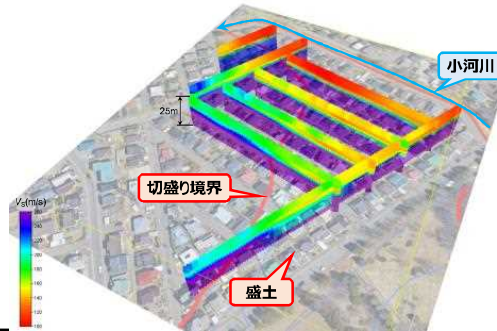
宅地造成後の地形



4. 調査, 被災メカニズムの推定, 対策工の検討

調査

- 造成経緯の把握, 盛土範囲, 旧水路
- ボーリング調査, 地質調査
- 地下水調査
- 表面波探査



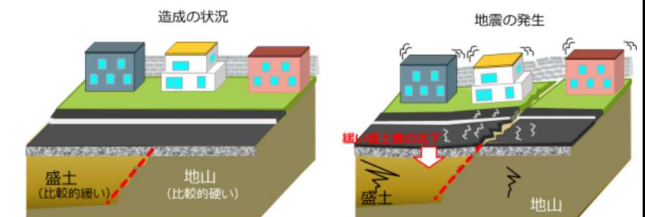
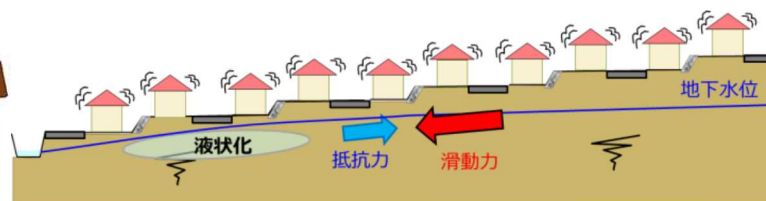
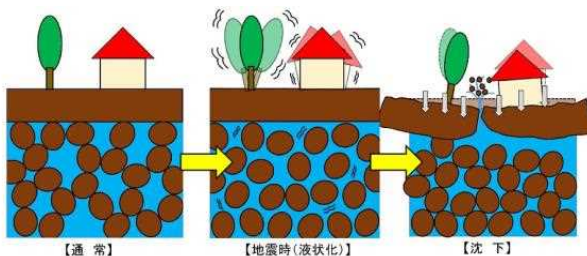
被災メカニズムの推定

- 設計条件の設定
(設計水平震度, 土質定数等)
- 液状化判定
- 安定計算

判定結果	液状化被害の可能性	凡例
C	顕著な被害の可能性が高い	
B3	顕著な被害の可能性が比較的低い	
B2		
B1		
A	顕著な被害の可能性が低い	

被災メカニズム

- 低地部の液状化
- 液状化に伴う側方流動
- 切盛境界の不同沈下

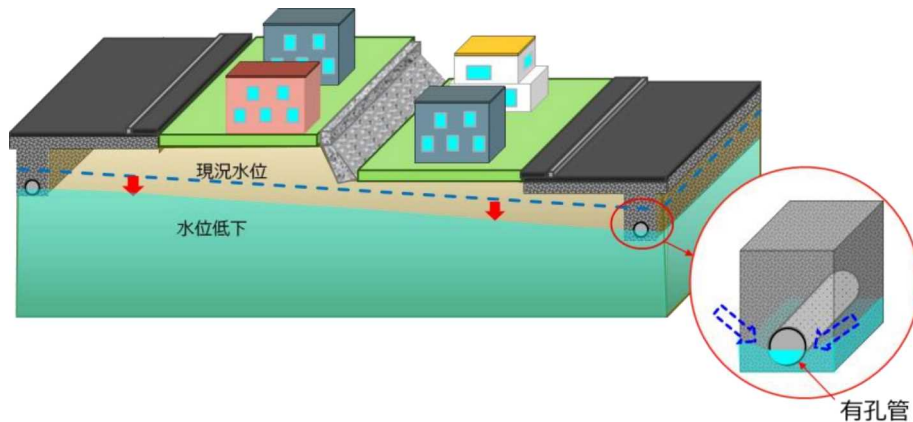


対策工

- 地下水位低下工法の適用性, 有用性の確認
- 路面形状を保持することが出来る段差抑制工の検討

5. 地下水位低下工

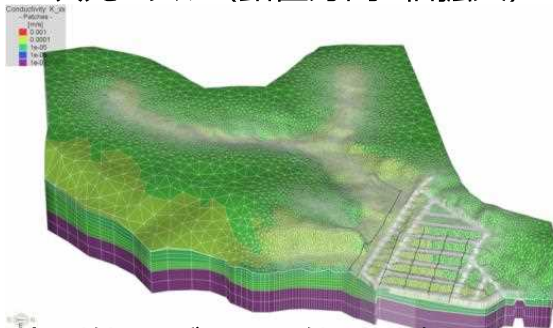
地下水位低下工の概要



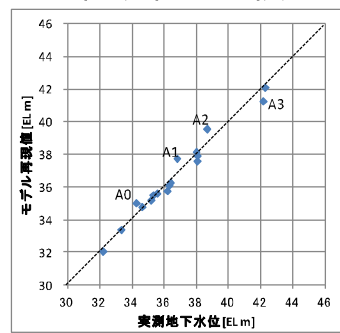
- 道路下に暗渠管（有孔管）を設置し、地域全体の地下水位を低下させる
- 流末となる河川が地域内に存在するため、維持管理上有利となる自然流下方式を採用

水位低下量の確認：3次元浸透流解析

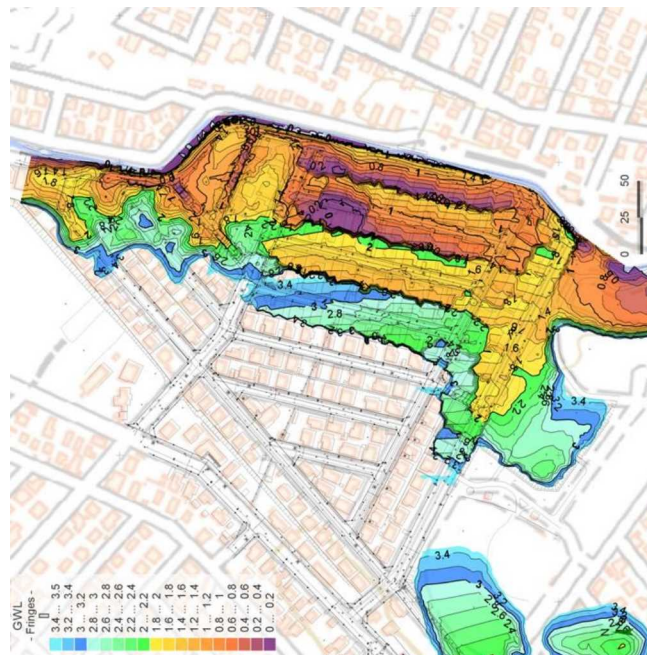
3次元モデル（鉛直方向5倍拡大）



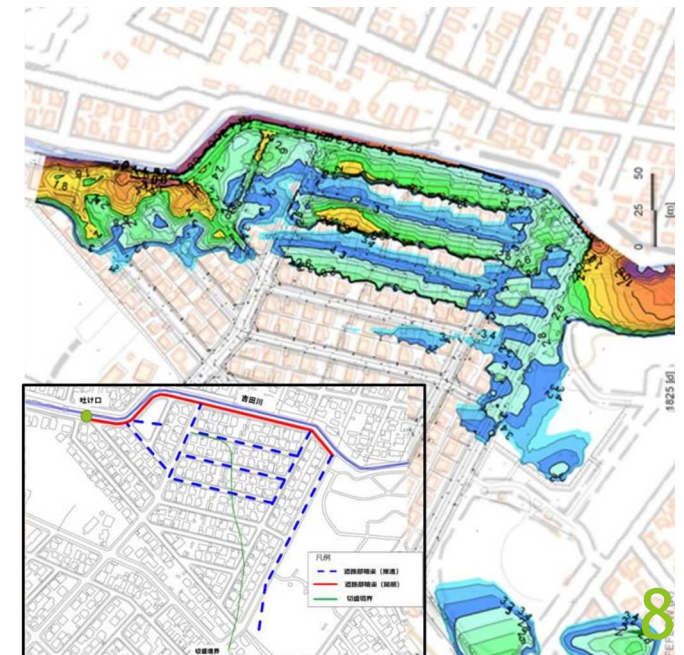
実測値とモデル再現値の比較



再現した地下水位分布（GL-表示）



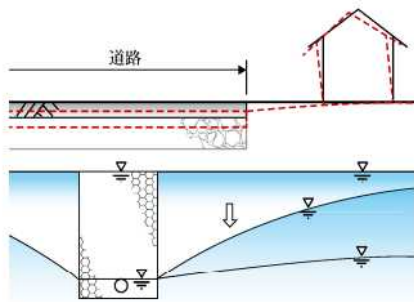
対策後の推定地下水位分布（GL-表示）



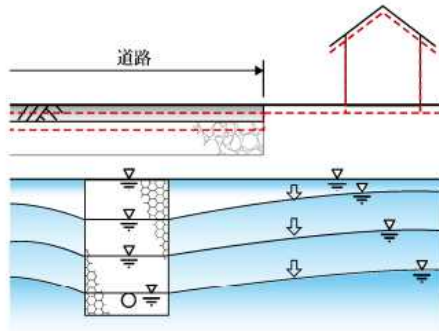
5. 地下水位低下工

段階的な水位低下

【水位低下（対策無し）】



【**段階的な**水位低下】

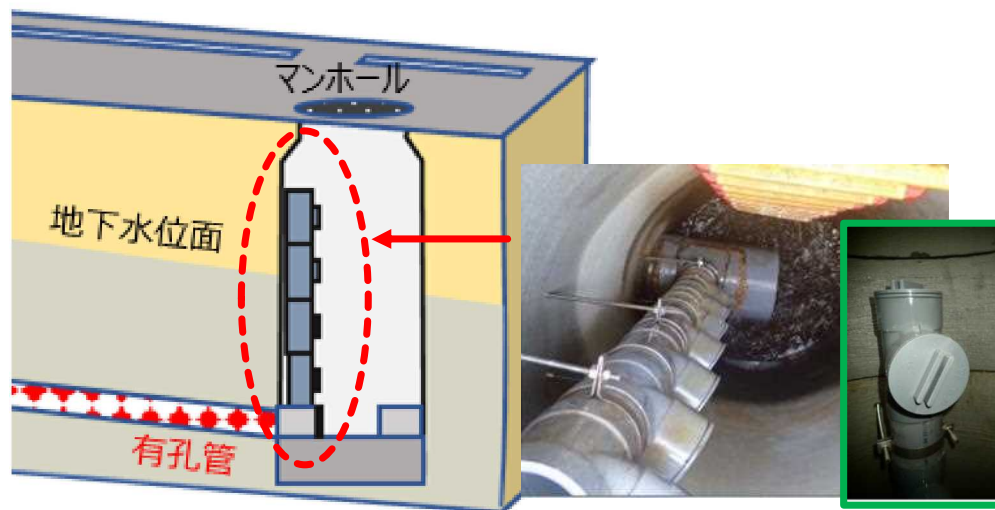


管と周囲の水位差を抑制

⇒不同沈下による
家屋への影響を**軽減**

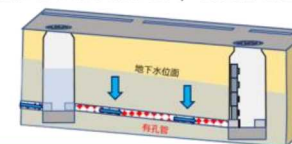
- ・ 千葉市や熊本市では、ポンプアップ排水方式による地下水位低下を実施
 - ・ ポンプ稼働の調整により、水位低下量の調整が可能
- ⇒**自然流下方式では機械による調整不可，段階的な水位低下手法の検討**

水位調整装置 ・塩ビ三方チーズを組合せ立上げ
・横方向には蓋を設置



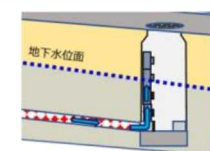
段階的な水位低下の流れ

①有孔管に地下水が集水され、有孔管を通じて下流へ

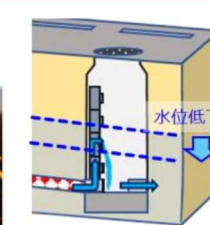


②水位調整装置（塩ビ管）で地下水は堰き止めれる

⇒周辺の地下水面の高さまで塩ビ管内を地下水が上昇

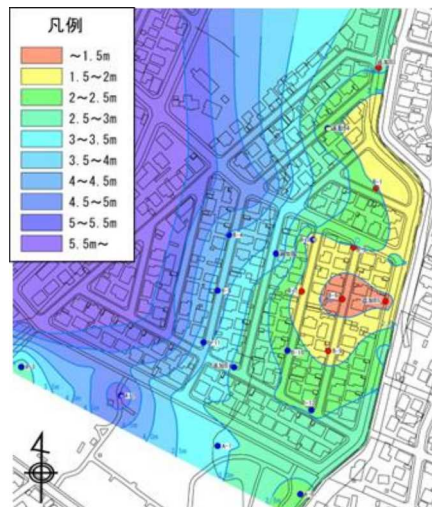


③上部から順に蓋を解放することで水頭差により、地下水が排出

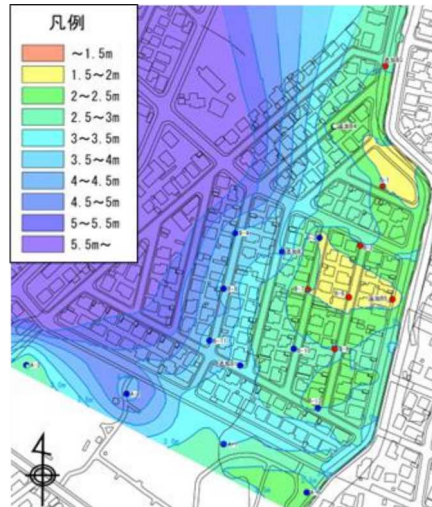


5. 地下水位低下工

水位低下状況



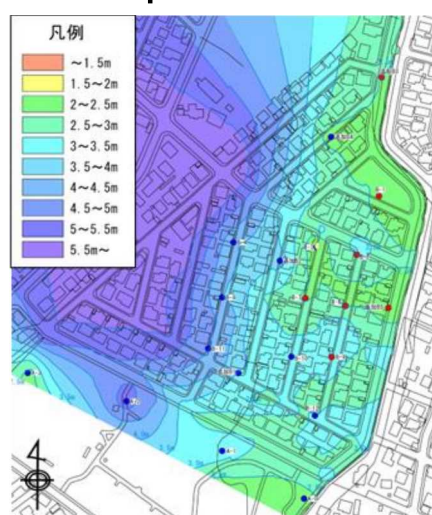
①作業開始前



②step3後



③step5後



④作業完了後



step1 解放前



step1 解放後



step3 解放前



step3 解放後



最下段 止水パッカー除去前



最下段 止水パッカー除去

目標水位を達成，低下後の水位にて

➤液状化判定➤安定計算 安全性の確認完了

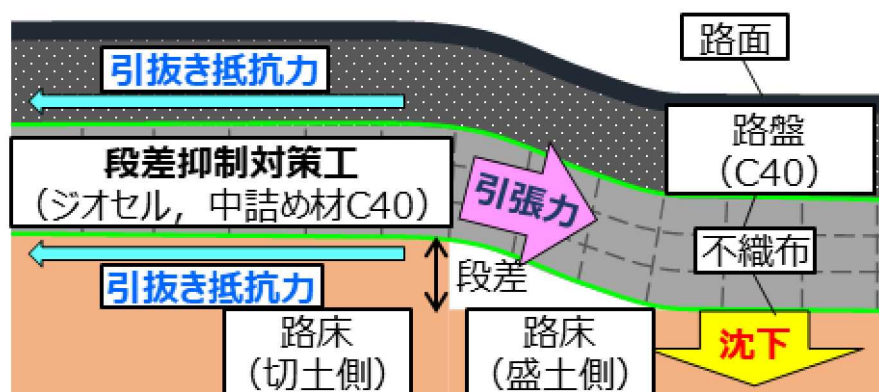
6. 段差抑制対策

段差抑制対策の検討



地震時に発生した段差に対して以下の目的を満たす工法を検討

- ・ 緊急車両が通行できる程度の路面形状を保持
- ・ 各種埋設管の掘削時に，撤去・再構築が可能



ジオセルを用いた段差抑制対策

- ・ 砕石を充填したジオセルに不織布を巻付
- ・ 段差発生時の引張力に抵抗
- ・ 対策工の曲げ剛性によって，段差発生時の変形を抑制することを期待

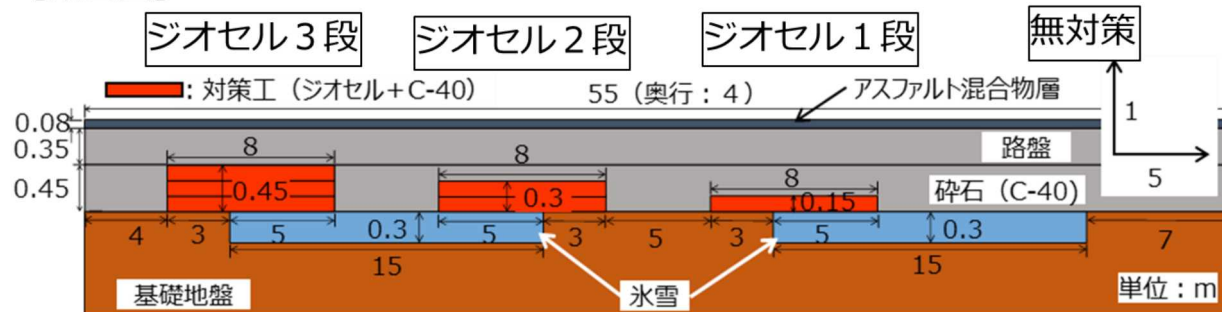
- ① 冬期路面を活用した実大舗装路実験
- ② 大型クレーンを用いた実大模型実験

6. 段差抑制対策

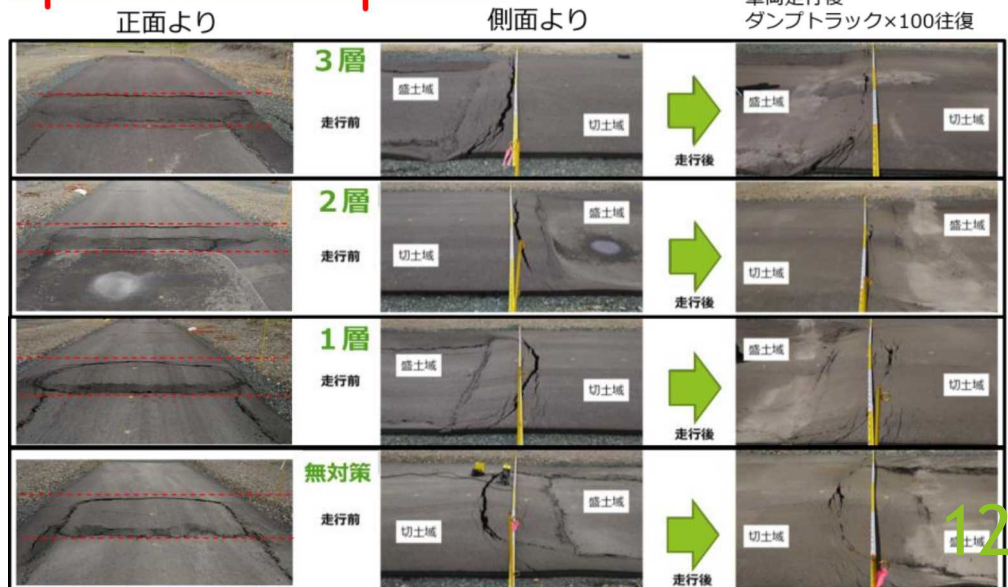
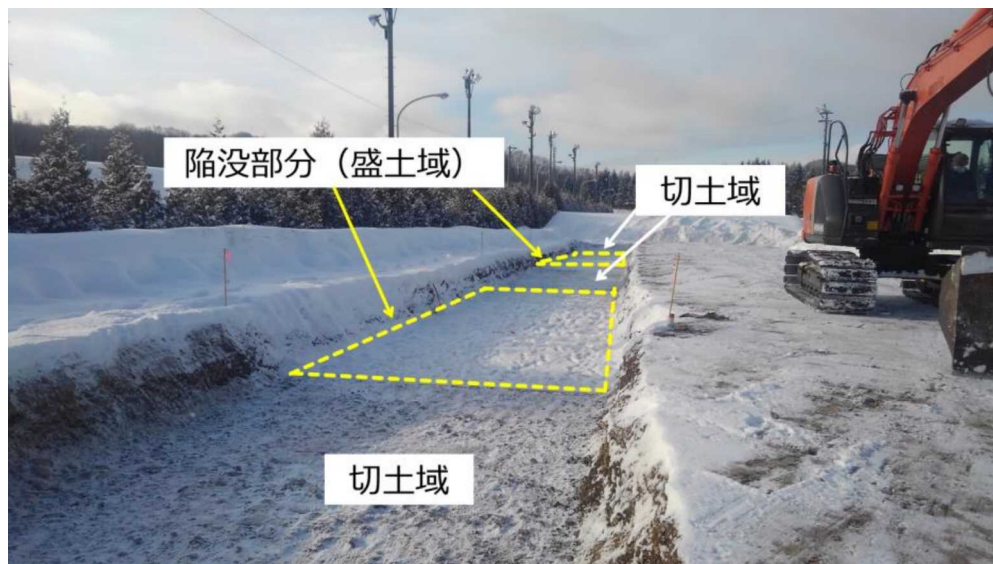
冬期路面を活用した実大舗装路実験

雪氷が融雪期に溶けることで、地震時に発生した段差を再現
ジオセル段数による段差抑制効果を確認
実大舗装路を用いて、段差抑制効果を評価

【断面図】

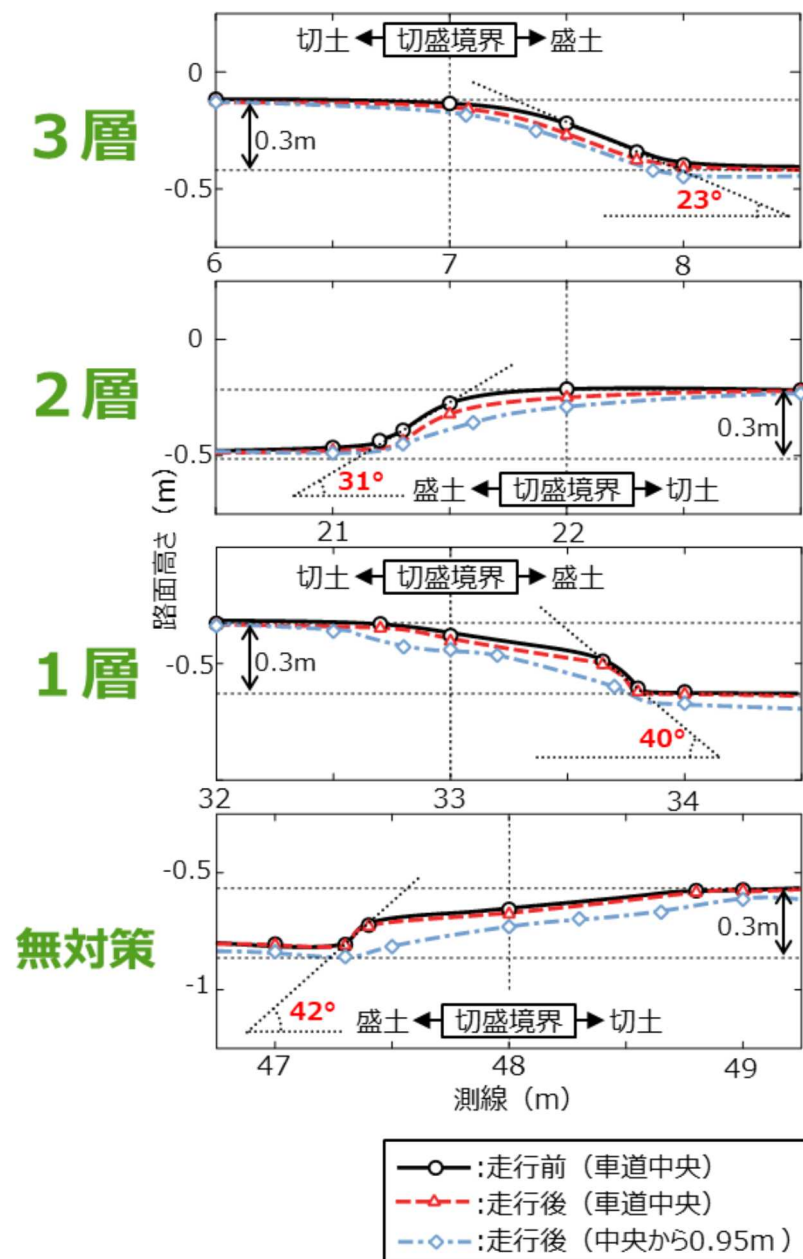


【平面図】



6. 段差抑制対策

走行試験前後の水準測量結果



【走行試験前】の結果】

- 無対策に近づくほど
- ⇒最急勾配が大きくなっている
- ⇒切土側の沈下領域が拡大している

【走行試験後】の結果】

- ジオセル層数が増えるほど
- ⇒道路中央と輪荷重作用位置の高低差が小さくなっている



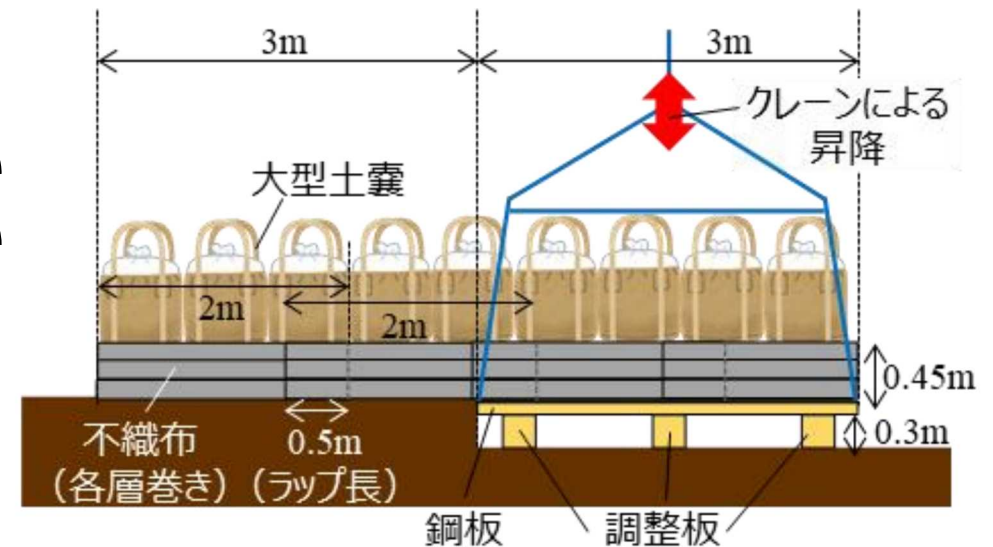
- ジオセル層数が増えるほど、剛性が増加し、局所的な輪荷重に対しても、一体的に変形
- 3層では、走行試験前後とも路面形状がなだらかで、緊急自動車の走行が可能

6. 段差抑制対策

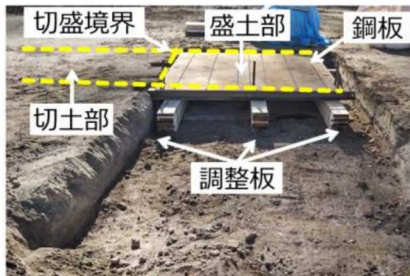
大型クレーンを用いた実大模型実験の概要

【更なる検討】

- ・ ジオセルサイズの違いによる効果の違い
- ・ 不織布の巻き方の違いによる効果の違い
- ・ 必要な密度を確保する転圧方法の確認
- ・ 地震時の急速な変形に対する効果



1 試験地盤



2 不織布
ジオセルの設置



3 中詰め材の転圧



4 上載荷重の載荷



5 段差発生



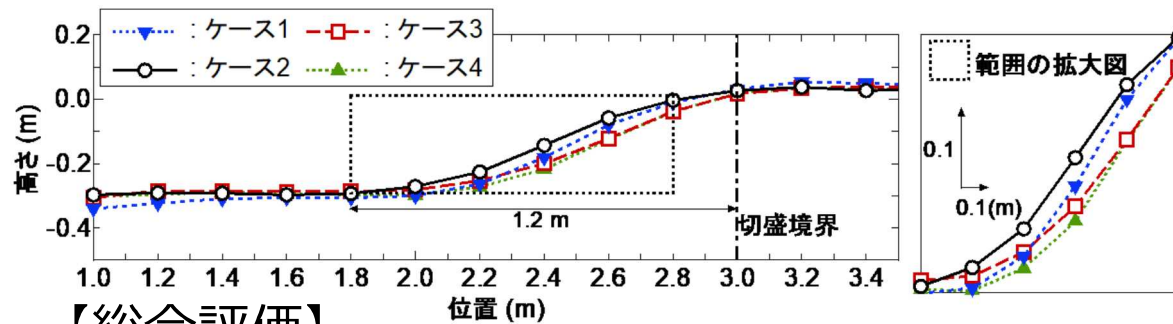
5 形状計測



	ジオセル サイズ	ジオセル 層数	不織布の 巻き方
ケース1	M	3	全層
ケース2	M	3	各層
ケース3	S	3	各層
ケース4	S	2	各層

6. 段差抑制対策

対策工仕様の決定



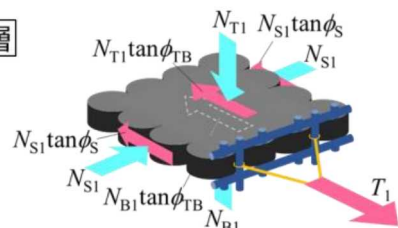
【総合評価】

- ・ ケース2 (Mサイズ・3層・各層巻き) ・ ケース3 (Sサイズ・3層・各層巻き) が同等に高い段差抑制効果
- ・ サイズによる違いは少ない, 不織布は各層巻きが効果的
- ・ 単価を考慮⇒ケース2 (Mサイズ・3層・各層巻き) が最適

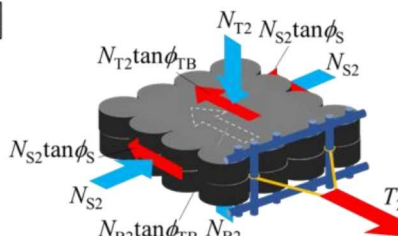
敷設長の決定



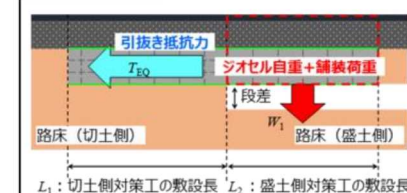
ジオセル1層



ジオセル2層



段差発生時



【考え方】

盛土側が急速に沈下 (対策工が浮いた状態)
 $\text{引抜き抵抗力 } (T_{EQ}) > \text{自重+舗装荷重 } (W_2)$
 の条件であれば、引き抜けない

段差発生後



【考え方】

着底するまでの範囲に自重と交通荷重が作用
 $\text{引抜き抵抗力 } (T_{EQ}) > \text{自重+舗装荷重 } (W_2) + \text{交通荷重 } (K)$
 の条件であれば、引き抜けない

(幅員4.0m、舗装厚8cm、路盤厚35cm、ジオセル厚45cmのケース)

$$\begin{aligned} \text{計算結果} \Rightarrow T_{EQ} &= 51.2L_1 \quad W_1 = 66.9L_2 \\ T_{EQ} &= 51.2L_1 > W_1 = 66.9L_2 \\ L_1 &> 1.31L_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{計算結果} \Rightarrow T_{EQ} &= 51.2L_1 \quad W_2 + K = 100.2L_3 \\ T_{EQ} &= 51.2L_1 > W_2 + K = 100.2L_3 \\ L_1 &> 1.96L_3 \\ \text{実大模型実験結果より、} \\ L_3 &= 1.2\text{m以下} \Rightarrow L_1 > 2.35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_1 &= (N_{T1} + N_{B1}) \tan \phi_{TB} + 2 N_{S1} \tan \phi_S \\ T_2 &= (N_{T2} + N_{B2}) \tan \phi_{TB} + 2 N_{S2} \tan \phi_S \end{aligned}$$

上下端部の摩擦角 $\phi_{TB} = 22.2^\circ$
 側面の摩擦角 $\phi_S = 47.8^\circ$

本研究で得られた知見

- 1 大規模盛土造成地における被災が多く発生している。
札幌市においても数多くの大規模盛土造成地が存在し、
北海道胆振東部地震時にも被害が集中して発生した。
- 2 表面波探査では、地下水位が高く緩い盛土部もVsとして
表れており、切盛境界やN値が低い箇所を
面的に捉える有効の調査であることが示された。
- 3 月寒東地区の被災メカニズムは、大きく3つに分類され、
高い地下水位による液状化被害、液状化を伴う滑動崩落被害、
切盛境界部の不同沈下被害と推定された。
- 4 地下水位低下工による水位低下が有効に機能し、液状化や
滑動崩落に対する地震時の安全性を確保することが出来た。

本研究で得られた知見

- 5 自然流下方式でも水位調整装置を活用することで、地下水位を一定程度コントロールしながら低下することが出来ることが判明した.
- 6 水位低下に伴う地盤沈下に関して、沢埋め盛土では盛土は過圧密状態のため、計算上算出される沈下量よりも実測沈下量は低くなる傾向にある。ただし、水位低下による地盤沈下の影響を把握する必要がある.
- 7 ジオセルによる段差抑制対策の実施した実大模型実験の結果、サイズの影響は小さく、各層ごとに不織布で巻く方が段差抑制にとって効果的であることが判った.
- 8 ジオセルの中詰め材の締固めに対し、プレートコンパクター、ハンドガイドローラーに加え、タンピングランマーを用いることで、規格値を満足する締固め度を得るための転圧回数を決定できた.

8. 最後に

令和6年能登半島地震 液状化災害の発生状況



令和6年能登半島地震 復旧・復興支援本部（第3回）より抜粋

終
ご清聴ありがとうございました。