

委員会資料	<div data-bbox="311 347 1337 398">指摘事項と対応方針①: 地すべり機構の解析及び対策計画について</div> <div data-bbox="311 403 1337 1008"><p>①-1. 明瞭ではない地すべりが多いため、地形判読結果やボーリング調査結果、特に粘土化した部分について、地すべり面を判定するうえで、今後も精査しながら調査を進めていく必要があると考える。(地すべり検討委) →地すべり防止工事の設計に向けて、ボーリング調査や地すべり機構解析を行う。(p.19)</p><p>①-2. 地すべりブロックに応じた対策の優先度や対策規模を検討する際には、地すべり地形の明瞭、不明瞭さを考慮することで、早期効果発現のために対策工事量の最適化、効率化を図れる可能性があるため検討すると良い。(地すべり検討委) →明瞭、不明瞭な地すべり地形等を考慮し、すべり面及び弱層の深度、移動方向等を詳細に把握することで、対策工事量の最適化、効率化を図っていく。(p.19)</p><p>①-3. 手稲山地区は大規模であり事業実施に長期間を要することが想定される。また、すべり面、地下水が複雑なため、予測に基づいて計画しても結果がずれてくると思うので、そこを評価しながら、計画の修正、予測方法の改善を随時行っていく必要がある。効果を早期に発揮させるため、PDCAサイクルにより、順応的に対応していく必要がある。(地すべり検討委) →PDCAサイクルにより、施工時に得られたすべり面や地下帯水層の情報や地すべり対策工の効果評価の結果を踏まえながら、順応的に計画を見直す。(p.32)</p><p>①-4. 地すべり対策事業効果が早期に発現するよう、対策を実施して欲しい。(住民説明会) →個別に安定性を向上させた後、対象とする地すべり地全体の安定性を向上させるよう計画することにより、早期の事業効果発現を図る。(p.33)</p><p>①-5. 集水域の面積を考えると、軽川の上流側も重要な影響を与えるであろうと思われるため、上流域から流入する地下水も考慮しながら、地下水流動を調査し、その結果を踏まえた対策を行う事が重要。(計画段階評価委) →上流域から流入する地下水を考慮した地下水流動調査を検討する。(p.20)</p><p>①-6. 手稲山地区には既存の砂防堰堤等が存在することから、それらの機能を評価した上で地すべり対策を進められたい。(地すべり検討委) →既存の砂防堰堤などのストックを有効活用した検討を行う。(p.34)</p></div> <div data-bbox="311 1019 1337 1052">※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。</div> <div data-bbox="1268 1008 1337 1052">13</div>
委員会終了後修正資料	<div data-bbox="311 1198 1337 1249">指摘事項と対応方針①: 地すべり機構の解析及び対策計画について</div> <div data-bbox="311 1254 1337 1870"><p>①-1. 明瞭ではない地すべりが多いため、地形判読結果やボーリング調査結果、特に粘土化した部分について、地すべり面を判定するうえで、今後も精査しながら調査を進めていく必要があると考える。(地すべり検討委) →地すべり防止工事の設計に向けて、ボーリング調査や地すべり機構解析を行う。(p.19)</p><p>①-2. 地すべりブロックに応じた対策の優先度や対策規模を検討する際には、地すべり地形の明瞭、不明瞭さを考慮することで、早期効果発現のために対策工事量の最適化、効率化を図れる可能性があるため検討すると良い。(地すべり検討委) →明瞭、不明瞭な地すべり地形等を考慮し、地形調査を実施するとともに、すべり面及び弱層の深度、移動方向等を詳細に把握することで、対策工事量の最適化、効率化を図っていく。(p.17、p.19)</p><p>①-3. 手稲山地区は大規模であり事業実施に長期間を要することが想定される。また、すべり面、地下水が複雑なため、予測に基づいて計画しても結果がずれてくると思うので、そこを評価しながら、計画の修正、予測方法の改善を随時行っていく必要がある。効果を早期に発揮させるため、PDCAサイクルにより、順応的に対応していく必要がある。(地すべり検討委) →PDCAサイクルにより、施工時に得られたすべり面や地下帯水層の情報や地すべり対策工の効果評価の結果を踏まえながら、順応的に計画を見直す。(p.32)</p><p>①-4. 地すべり対策事業効果が早期に発現するよう、対策を実施して欲しい。(住民説明会) →個別に安定性を向上させた後、対象とする地すべり地全体の安定性を向上させるよう計画することにより、早期の事業効果発現を図る。(p.33)</p><p>①-5. 集水域の面積を考えると、軽川の上流側も重要な影響を与えるであろうと思われるため、上流域から流入する地下水も考慮しながら、地下水流動を調査し、その結果を踏まえた対策を行う事が重要。(計画段階評価委) →上流域から流入する地下水を考慮した地下水流動調査を検討する。(p.20)</p><p>①-6. 手稲山地区には既存の砂防堰堤等が存在することから、それらの機能を評価した上で地すべり対策を進められたい。(地すべり検討委) →既存の砂防堰堤などのストックを有効活用した検討を行う。(p.34)</p></div> <div data-bbox="311 1881 1337 1915">※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。</div> <div data-bbox="1268 1870 1337 1915">13</div>

地すべり運動に関する調査・検討

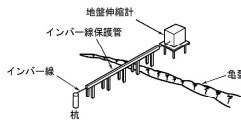
- 地すべり対策の効果的な実施のためには、地すべりの発生・運動機構を把握する必要がある。
- 地すべりの範囲や移動量を調査するため、地盤伸縮計、地盤傾斜計、地上測量、GNSS観測等を実施する。調査にあたっては、干渉SAR等のリモートセンシングも活用する。
- 観測結果は、初期安全率の推定や地下水位との関係性の解析等に活用する。
- 手稲山地区には多数の地すべりが存在し、隣接する地すべりブロックは相互に関連していると考えられる。このため、地すべりの発生・運動機構の解析では、隣接する地すべりブロックの運動も考慮する必要がある。

■地盤伸縮計による観測

地盤伸縮計は、地すべりによる亀裂や段差をはさむ区間の伸縮量を測定する計器である。全国各地で採用されている手法であり、地すべり活動度の評価や警戒避難体制構築の判断基準にも活用できる。

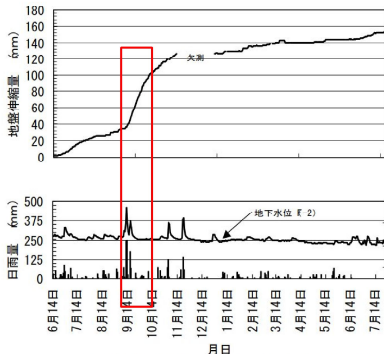


地盤伸縮計の設置事例※1



地盤伸縮計設置概略図※2

※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。



地盤伸縮計測定結果の整理例(赤線加筆)※2

※1 近畿地方整備局 亀の瀬地区地すべり対策事業 事業再評価説明資料 に一部加工して作成
※2 地すべり防止技術指針及び同解説(国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所、平成20年4月) より引用
※3 中部地方整備局 富士砂防事務所HP より引用

■GNSS測量(旧:GPS測量)

GNSS測量は、複数の人工衛星を用いて観測点の三次元座標を自動的に測量するシステムであり、主として地すべりの運動方向が不明瞭な場合や、広範な地すべり地で移動量測量を行う場合に有効な手法である。



GNSS観測機の設置事例※3

17

地すべり運動に関する調査・検討

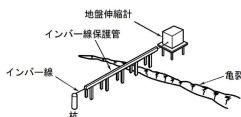
- 地すべり対策の効果的な実施のためには、地すべりの発生・運動機構を把握する必要がある。
- 地すべりの範囲や移動量を調査するため、地形調査、地盤伸縮計、地盤傾斜計、地上測量、GNSS観測等を実施する。調査にあたっては、干渉SAR等のリモートセンシングも活用する。
- 観測結果は、初期安全率の推定や地下水位との関係性の解析等に活用する。
- 手稲山地区には多数の地すべりが存在し、隣接する地すべりブロックは相互に関連していると考えられる。このため、地すべりの発生・運動機構の解析では、隣接する地すべりブロックの運動も考慮する必要がある。

■地盤伸縮計による観測

地盤伸縮計は、地すべりによる亀裂や段差をはさむ区間の伸縮量を測定する計器である。全国各地で採用されている手法であり、地すべり活動度の評価や警戒避難体制構築の判断基準にも活用できる。

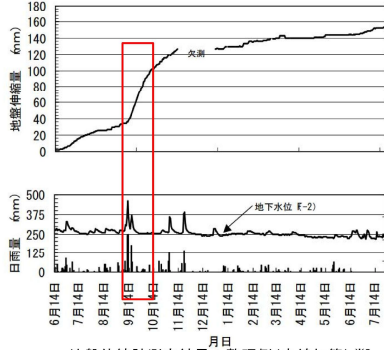


地盤伸縮計の設置事例※1



地盤伸縮計設置概略図※2

※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。



地盤伸縮計測定結果の整理例(赤線加筆)※2

※1 近畿地方整備局 亀の瀬地区地すべり対策事業 事業再評価説明資料 に一部加工して作成
※2 地すべり防止技術指針及び同解説(国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所、平成20年4月) より引用
※3 中部地方整備局 富士砂防事務所HP より引用

■GNSS測量(旧:GPS測量)

GNSS測量は、複数の人工衛星を用いて観測点の三次元座標を自動的に測量するシステムであり、主として地すべりの運動方向が不明瞭な場合や、広範な地すべり地で移動量測量を行う場合に有効な手法である。

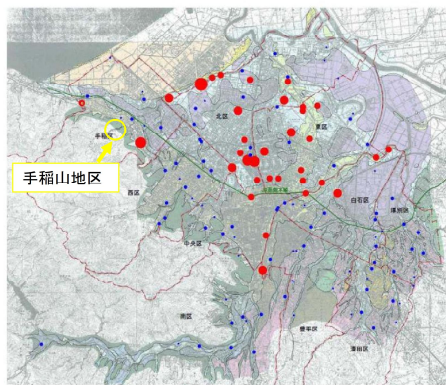


GNSS観測機の設置事例※3

17

自然由来の重金属の分布等に関する調査・検討

- 手稲山周辺には鉱化変質帯が分布し、土壌や地下水からは自然由来の重金属が検出されることが知られている。地すべり対策工事では、自然由来の重金属が周辺環境等へ及ぼす影響に配慮する必要がある。
- 集水井などの抑制工は効果的な地すべり対策工法であるが、施設配置計画に当たっては、土壌や地下水に高濃度の自然由来の重金属が含まれているかをあらかじめ考慮する必要がある。
- 今後、調査ボーリングや地下水流動及び地下帯水層に関する調査・検討結果を踏まえて、地質・地下水・自然由来の重金属の相関を整理したうえで、地すべり対策工選定に向けて、ブロックごとに評価を実施していく。



土壌中のヒ素全含有量分布※1

※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。

手稲山地区周辺での地下水調査結果(令和元年度～令和5年度)(抜粋)※2

区	所在地	調査年度	調査年月日	水温	pH	電気伝導率	ヒ素	
手稲	手稲本町農地	手稲中央	R4	R4.7.26	24.7	7.1	17	<0.001
手稲	手稲本町2号2丁目	手稲中央	R2	R2.7.27	24.8	7.3	23	0.0010
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R1	R1.8.28	16.8	7.9	35	0.039
手稲	富丘2条4丁目	富丘西側の沢	R2	R2.9.7	16.1	7.8	46	0.031
手稲	富丘2条4丁目	富丘西側の沢	R3	R3.8.11	17.5	7.4	22	0.008
手稲	富丘2条4丁目	富丘西側の沢	R4	R4.8.31	14.7	7.4	21	0.005
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R5	R5.9.14	13.1	6.9	31	0.02
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R1	R1.8.13	14.0	6.6	9.5	0.13
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R2	R2.8.27	21.3	6.4	11	0.19
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R3	R3.7.16	14.4	6.4	10	0.13
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R5	R5.7.16	15.2	6.8	25	0.046
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R4	R4.8.31	17.0	6.5	9.9	0.21
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R5	R5.9.14	13.8	6.4	10	0.16
手稲	富丘4条1丁目	富丘西側の沢	R3	R3.11.28	13.0	7.2	20	<0.001
手稲	富丘4条1丁目	富丘西側の沢	R5	R5.11.29	11.0	7.2	20	0.001
手稲	富丘6条4丁目	富丘西側の沢	R1	R1.8.19	13.5	6.8	15	<0.001

※赤字:環境基準値(0.01 mg/L)以上、青文字:0.001mg/L以上環境基準値未満

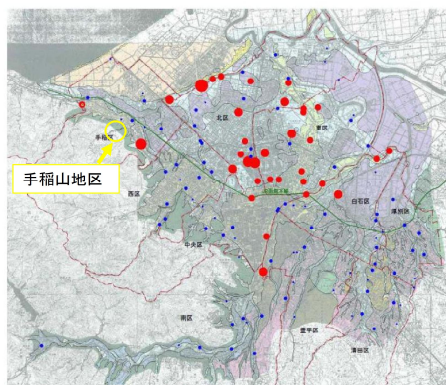


手稲山で採取したコアの観察による鉱化変質帯の調査(10月24日)

※1 札幌市における自然由来ヒ素の判定方法について(答申)(自然由来重金属検討委員会・平成21年3月)を一部加工して作成
※2 地下水質調査結果のまとめ(札幌市HP)を一部加工して作成

自然由来の重金属の分布等に関する調査・検討

- 手稲山周辺には鉱化変質帯が分布し、土壌や地下水からは自然由来の重金属が検出されることが知られている。地すべり対策工事では、自然由来の重金属が周辺環境等へ及ぼす影響に配慮する必要がある。
- 集水井などの抑制工は効果的な地すべり対策工法であるが、施設配置計画に当たっては、土壌や地下水に高濃度の自然由来の重金属が含まれているかをあらかじめ考慮する必要がある。
- 今後、調査ボーリングや地下水流動及び地下帯水層に関する調査・検討結果を踏まえて、地質・地下水・自然由来の重金属の相関を整理したうえで、地すべり対策工選定に向けて、ブロックごとに評価を実施していく。



土壌中のヒ素全含有量分布※1

※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。

手稲山地区周辺での地下水調査結果(令和元年度～令和5年度)(抜粋)※2

区	所在地	通称の場所	調査年度	調査年月日	水温 ℃	pH	電気伝導率 μS/cm	ヒ素 mg/L
手稲	手稲本町農地	手稲中央	R4	R4.7.26	24.7	7.1	17	<0.001
手稲	手稲本町2号2丁目	手稲中央	R2	R2.7.27	24.8	7.3	23	0.0010
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R1	R1.8.28	16.8	7.9	35	0.039
手稲	富丘2条4丁目	富丘西側の沢	R2	R2.9.7	16.1	7.8	46	0.031
手稲	富丘2条4丁目	富丘西側の沢	R3	R3.8.11	17.5	7.4	22	0.008
手稲	富丘2条4丁目	富丘西側の沢	R4	R4.8.31	14.7	7.4	21	0.005
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R5	R5.9.14	13.1	6.9	31	0.02
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R1	R1.8.13	14.0	6.6	9.5	0.13
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R2	R2.8.27	21.3	6.4	11	0.19
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R3	R3.7.16	14.4	6.4	10	0.13
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R5	R5.7.16	15.2	6.8	25	0.046
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R4	R4.8.31	17.0	6.5	9.9	0.21
手稲	富丘3条2丁目	富丘西側の沢	R5	R5.9.14	13.8	6.4	10	0.16
手稲	富丘4条1丁目	富丘西側の沢	R3	R3.11.28	13.0	7.2	20	<0.001
手稲	富丘4条1丁目	富丘西側の沢	R5	R5.11.29	11.0	7.2	20	0.001
手稲	富丘6条4丁目	富丘西側の沢	R1	R1.8.19	13.5	6.8	15	<0.001

※赤字:環境基準値(0.01 mg/L)超過、青文字:0.001mg/L以上環境基準値以下



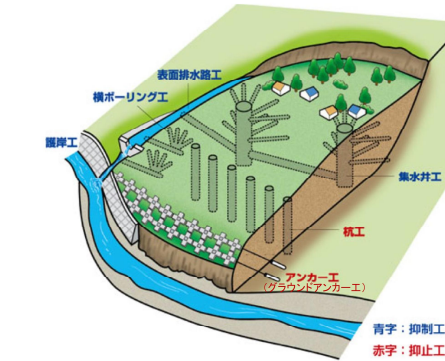
手稲山で採取したコアの観察による鉱化変質帯の調査(10月24日)

※1 札幌市における自然由来ヒ素の判定方法について(答申)(自然由来重金属検討委員会・平成21年3月)を一部加工して作成
※2 地下水質調査結果のまとめ(札幌市HP)を一部加工して作成

委員会資料	<div data-bbox="295 342 1356 398">地すべり調査・観測の進め方に関するまとめ</div> <div data-bbox="295 414 1356 1041"><div data-bbox="295 414 1356 454">地すべり機構解析に必要な調査・検討</div><div data-bbox="295 454 1356 840"><p>【地すべり運動に関する調査・検討】P17</p><ul style="list-style-type: none">●地すべりの範囲や移動量を調査するため、地盤伸縮計、地盤傾斜計、地上測量、GNSS観測等を実施する。観測結果は、初期安全率の推定や地下水位との関係性の解析等に活用する。●手稲山地区には多数の地すべりが存在し、隣接する地すべりブロックは相互に関連していると考えられる。このため、地すべりの発生・運動機構の解析では、隣接する地すべりブロックの運動も考慮する必要がある。<p>【地すべりブロックのすべり面に関する調査・検討】P19</p><ul style="list-style-type: none">●地すべり防止施設の設計に向け、すべり面及び弱層の深度を詳細に把握するためのボーリング調査を実施する。不明瞭な地すべり地形を呈する地すべりブロックでは、すべり面深度や移動方向等を慎重に精査する。●また、ボーリング調査孔では、計測機器（孔内傾斜計、地中伸縮計、パイプ歪計など）によるすべり面調査、地下水位観測や水質調査を実施する。<p>【地下水流動や地下帯水層に関する調査・検討】P20</p><ul style="list-style-type: none">●地すべり防止施設の施設配置計画における安定解析や高濃度の自然由来重金属を含む地下水の分布を解析するため、地下水流動や地下帯水層を詳細に把握する必要がある。地下水観測孔を新たに設置し、地下水位観測や水質分析を実施する。必要に応じて、浸透流解析等の数値シミュレーションによる検討も実施する。</div><div data-bbox="295 840 1356 1041"><div data-bbox="295 840 1356 880">地すべり観測機器のソフト対策への活用（P18）</div><ul style="list-style-type: none">●手稲山地区は人口集中地区や重要な交通網に隣接しており、地すべり災害の危険が高まった際には、現地踏査、計測データの解析、亀裂や変状等の調査、関係機関との情報共有、応急対策の検討が必要となる。また、災害の危険が差し迫った場合、関係機関と連携した住民避難や交通規制が必要となる。●手稲山地区では、今後地すべり機構の解析や地すべり防止施設の効果判定のために、地盤伸縮計などの地すべり観測機器を整備する必要がある。これらの地すべり観測機器を警戒避難体制の構築に活用することにより、地すべり対策の事業期間中における地域の安全度の向上を図る。</div><div data-bbox="295 1041 1356 1086">※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。</div></div>
委員会終了後修正資料	<div data-bbox="295 1187 1356 1243">地すべり調査・観測の進め方に関するまとめ</div> <div data-bbox="295 1258 1356 1886"><div data-bbox="295 1258 1356 1299">地すべり機構解析に必要な調査・検討</div><div data-bbox="295 1299 1356 1684"><p>【地すべり運動に関する調査・検討】P17</p><ul style="list-style-type: none">●地すべりの範囲や移動量を調査するため、地形調査、地盤伸縮計、地盤傾斜計、地上測量、GNSS観測等を実施する。観測結果は、初期安全率の推定や地下水位との関係性の解析等に活用する。●手稲山地区には多数の地すべりが存在し、隣接する地すべりブロックは相互に関連していると考えられる。このため、地すべりの発生・運動機構の解析では、隣接する地すべりブロックの運動も考慮する必要がある。<p>【地すべりブロックのすべり面に関する調査・検討】P19</p><ul style="list-style-type: none">●地すべり防止施設の設計に向け、すべり面及び弱層の深度を詳細に把握するためのボーリング調査を実施する。不明瞭な地すべり地形を呈する地すべりブロックでは、すべり面深度や移動方向等を慎重に精査する。●また、ボーリング調査孔では、計測機器（孔内傾斜計、地中伸縮計、パイプ歪計など）によるすべり面調査、地下水位観測や水質調査を実施する。<p>【地下水流動や地下帯水層に関する調査・検討】P20</p><ul style="list-style-type: none">●地すべり防止施設の施設配置計画における安定解析や高濃度の自然由来重金属を含む地下水の分布を解析するため、地下水流動や地下帯水層を詳細に把握する必要がある。地下水観測孔を新たに設置し、地下水位観測や水質分析を実施する。必要に応じて、浸透流解析等の数値シミュレーションによる検討も実施する。</div><div data-bbox="295 1684 1356 1886"><div data-bbox="295 1684 1356 1724">地すべり観測機器のソフト対策への活用（P18）</div><ul style="list-style-type: none">●手稲山地区は人口集中地区や重要な交通網に隣接しており、地すべり災害の危険が高まった際には、現地踏査、計測データの解析、亀裂や変状等の調査、関係機関との情報共有、応急対策の検討が必要となる。また、災害の危険が差し迫った場合、関係機関と連携した住民避難や交通規制が必要となる。●手稲山地区では、今後地すべり機構の解析や地すべり防止施設の効果判定のために、地盤伸縮計などの地すべり観測機器を整備する必要がある。これらの地すべり観測機器を警戒避難体制の構築に活用することにより、地すべり対策の事業期間中における地域の安全度の向上を図る。</div><div data-bbox="295 1886 1356 1930">※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。</div></div>

地すべり防止施設の配置方針

- 手稲山地区における地すべり防止施設の配置計画では、抑制工と抑止工を組み合わせ対応することを基本とする。ただし、抑制工のみで目標を満足する場合は、抑制工のみで対応することも検討する。
- 自然由来の重金属による周辺環境等への影響が懸念される場合は、抑止工のみでの対応を検討する。



- 抑制工の例**
- ・集水井工 ～ 井戸と集水ボーリングによって深い位置の地下水を排除する
 - ・表面排水路工 ～ 水路によって地域内の表流水や雨水を速やかに集水して地域外に排除する
 - ・横ボーリング工 ～ 地中に設置したパイプによって比較的浅い位置の地下水を排除する
- 抑止工の例**
- ・アンカー工 (グラウンドアンカー工) ～ 鋼線等を地すべり面より下部に届くように定着緊張し、地すべり面の抵抗を強める
 - ・杭工 ～ 杭を地すべり面より下部に届くように打ち込み、地すべり面の抵抗を強める

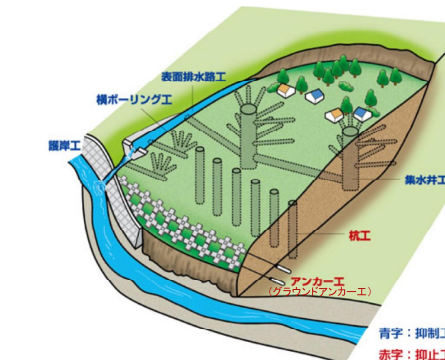
地すべり防止施設のイメージ※1

※1 中部地方整備局 天竜川中流地区直轄地すべり対策事業 事業再評価説明資料を一部加工して作成

※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。

地すべり防止施設の配置方針

- 手稲山地区における地すべり防止施設の配置計画では、抑制工と抑止工を組み合わせ対応することを基本とする。ただし、抑制工のみで目標を満足する場合は、抑制工のみで対応することも検討する。
- 自然由来の重金属による周辺環境等への影響が懸念される場合は、**抑止工を主体とした対策も検討**する。



- 抑制工の例**
- ・集水井工 ～ 井戸と集水ボーリングによって深い位置の地下水を排除する
 - ・表面排水路工 ～ 水路によって地域内の表流水や雨水を速やかに集水して地域外に排除する
 - ・横ボーリング工 ～ 地中に設置したパイプによって比較的浅い位置の地下水を排除する
- 抑止工の例**
- ・アンカー工 (グラウンドアンカー工) ～ 鋼線等を地すべり面より下部に届くように定着緊張し、地すべり面の抵抗を強める
 - ・杭工 ～ 杭を地すべり面より下部に届くように打ち込み、地すべり面の抵抗を強める

地すべり防止施設のイメージ※1

※1 中部地方整備局 天竜川中流地区直轄地すべり対策事業 事業再評価説明資料を一部加工して作成

※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。

地すべりブロックの安定解析

- 安定解析では、一連の地すべりブロックを対象に実施することを基本とする。
- 安定解析では、応力の極限平衡により安定性を論ずる極限平衡法の一つである簡便法(Fellenius法) (以下、「簡便法」という。)を採用することとし、すべり面の深度、単位体積重量、間隙水圧から、(1)初期安全率の設定、(2)粘着力(c')の推定、(3)内部摩擦角(ϕ')の逆算、の手順で内部摩擦角(ϕ')を推定する(逆算法)。
- (1)初期安全率の設定では、ブロックの運動状況を踏まえ、累積変動が認められるブロックでは $F_s=0.98$ 、累積変動が認められないが地すべり性微地形の認められるブロックでは $F_s=1.00$ と仮定することとする。
- (2)粘着力(c')の推定では、地すべり防止技術指針に示される、最大鉛直層厚と粘着力の関係から地すべり土塊の最大鉛直層厚から粘着力(c')を推定することとする。
- (3)内部摩擦角(ϕ')の逆算では、上記の手順で求めた値を用いて、内部摩擦角(ϕ')を逆算することとする。なお、間隙水圧は調査ボーリング孔内の既往観測地下水位の最高値から求めることとする。

$$F_s = \frac{\sum(N-U) \cdot \tan \phi' + c' \sum l}{\sum T}$$

← すべりに抵抗する力
← すべろうとする力

F_s : 安全率

N : 分割片の重力による法線力 (kN/m) $= W \cdot \cos \theta$

T : 分割片の重力による切線力 (kN/m) $= W \cdot \sin \theta$

U : 分割片に働く間隙水圧 (kN/m) ← 地下水位より

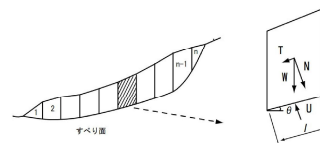
l : 分割片のすべり面長 (m)

c' : すべり面の粘着力 (kN/m²)

ϕ' : すべり面の内部摩擦角 (°) ← 逆算で求める

W : 分割片の重量 (kN/m)

θ : すべり面の分割片部における傾斜角 (°)



地すべり土塊の最大鉛直層厚 (m)	粘着力 c' (kN/m ²)
5	5
10	10
15	15
20	20
25	25

簡便法(Fellenius法)の式及び模式図※1

※1 地すべり防止技術指針及び同解説(国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所、平成20年4月)を一部加工して作成

※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。

31

地すべりブロックの安定解析

- 安定解析では、地すべりブロック及び相互に関連すると推定される一連の地すべりブロックを対象とする。
- 安定解析では、応力の極限平衡により安定性を論ずる極限平衡法の一つである簡便法(Fellenius法) (以下、「簡便法」という。)を採用することとし、すべり面の深度、単位体積重量、間隙水圧から、(1)初期安全率の設定、(2)粘着力(c')の推定、(3)内部摩擦角(ϕ')の逆算、の手順で内部摩擦角(ϕ')を推定する(逆算法)。
- (1)初期安全率の設定では、ブロックの運動状況を踏まえ、累積変動が認められるブロックでは $F_s=0.98$ 、累積変動が認められないが地すべり性微地形の認められるブロックでは $F_s=1.00$ と仮定することとする。
- (2)粘着力(c')の推定では、地すべり防止技術指針に示される、最大鉛直層厚と粘着力の関係から地すべり土塊の最大鉛直層厚から粘着力(c')を推定することとする。
- (3)内部摩擦角(ϕ')の逆算では、上記の手順で求めた値を用いて、内部摩擦角(ϕ')を逆算することとする。なお、間隙水圧は調査ボーリング孔内の既往観測地下水位の最高値から求めることとする。

$$F_s = \frac{\sum(N-U) \cdot \tan \phi' + c' \sum l}{\sum T}$$

← すべりに抵抗する力
← すべろうとする力

F_s : 安全率

N : 分割片の重力による法線力 (kN/m) $= W \cdot \cos \theta$

T : 分割片の重力による切線力 (kN/m) $= W \cdot \sin \theta$

U : 分割片に働く間隙水圧 (kN/m) ← 地下水位より

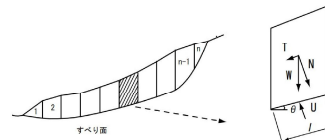
l : 分割片のすべり面長 (m)

c' : すべり面の粘着力 (kN/m²)

ϕ' : すべり面の内部摩擦角 (°) ← 逆算で求める

W : 分割片の重量 (kN/m)

θ : すべり面の分割片部における傾斜角 (°)



地すべり土塊の最大鉛直層厚 (m)	粘着力 c' (kN/m ²)
5	5
10	10
15	15
20	20
25	25

簡便法(Fellenius法)の式及び模式図※1

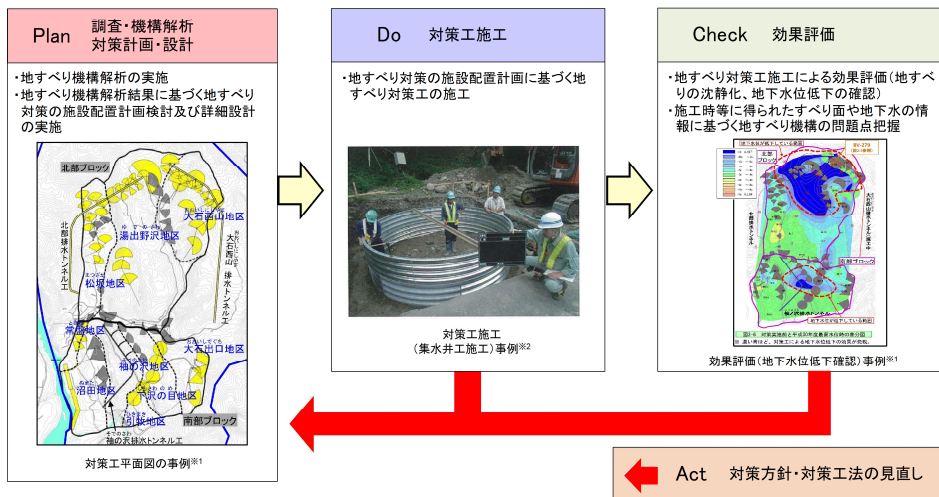
※1 地すべり防止技術指針及び同解説(国土交通省砂防部・独立行政法人土木研究所、平成20年4月)を一部加工して作成

※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。

31

PDCAサイクルによる順応的管理

- 手稲山地区には、岩屑なだれ堆積物の中で粘土化した脆弱な層や、地下帯水層等が不規則に分布している可能性があり、十分な調査に基づいて計画しても、施工時に想定と異なる条件であることが判明する可能性がある。
- そこで、施工時に得られたすべり面や地下帯水層の情報や地すべり対策工の効果評価の結果を踏まえて、地すべり機構や地すべり対策の施設配置計画を柔軟に見直しながら対策工を施工していく必要があると考えられる。

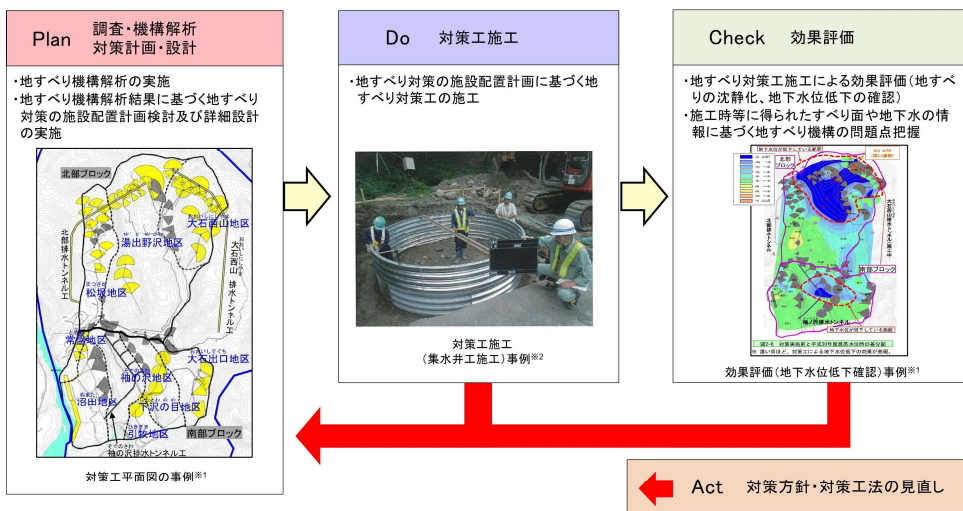


※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。 ※1 北陸地方整備局 滝坂地区直轄地すべり対策事業 事業再評価説明資料 より引用 ※2 土木施工の実態と解説: (一財)建設物価調査会 より引用

32

PDCAサイクルによる地すべり対策の方針・工法の順応的な見直し

- 手稲山地区には、岩屑なだれ堆積物の中で粘土化した脆弱な層や、地下帯水層等が不規則に分布している可能性があり、十分な調査に基づいて計画しても、施工時に想定と異なる条件であることが判明する可能性がある。
- そこで、施工時に得られたすべり面や地下帯水層の情報や地すべり対策工の効果評価の結果を踏まえて、地すべり機構や地すべり対策の施設配置計画を柔軟に見直しながら対策工を施工していく必要があると考えられる。



※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。 ※1 北陸地方整備局 滝坂地区直轄地すべり対策事業 事業再評価説明資料 より引用 ※2 土木施工の実態と解説: (一財)建設物価調査会 より引用

32

委員会資料	<div data-bbox="304 315 1353 367">地すべり防止施設の配置計画立案、施工の方針に関するまとめ</div> <div data-bbox="325 374 1332 936"><div data-bbox="325 374 1332 414">手稲山地区における地すべり防止施設の配置計画検討の進め方①</div><div data-bbox="325 421 1332 936"><p>【地すべり防止施設の配置方針】P29</p><ul style="list-style-type: none">●手稲山地区における地すべり防止施設の配置計画では、抑制工と抑止工を組み合わせ対応することを基本とする。ただし、抑制工のみで目標を満足する場合は、抑制工のみで対応することも検討する。●自然由来の重金属による周辺環境等への影響が懸念される場合は、抑止工のみでの対応を検討する。<p>【地すべり対策の施設配置計画のための一連の地すべりブロックの設定】P30</p><ul style="list-style-type: none">●手稲山地区の地すべりは、多数の地すべりブロックで構成されており、河川沿いの地すべりブロックが滑動することにより、斜面上方の地すべりブロックも不安定化し、地すべりが拡大化するおそれがある。●このため、手稲山地区の地すべり施設配置計画の検討においては、小ブロックの運動方向等を考慮したうえで、相互に関連すると推定される小ブロックについては、一連の地すべりブロックとしてみなすこととする。<p>【地すべりブロックの安定解析】P31</p><ul style="list-style-type: none">●安定解析では、一連の地すべりブロックを対象に実施することを基本とする。●安定解析の方法は、応力の極限平衡により安定性を論ずる極限平衡法の一つである簡便法(Fellenius法)(以下、「簡便法」という。)を採用することとする。●初期安全率の設定では、ブロックの運動状況を踏まえ、累積変動が認められるブロックでは$F_s=0.98$、累積変動が認められないが地すべり性微地形の認められるブロックでは$F_s=1.00$と仮定することとする。●粘着力(c')の推定では、地すべり防止技術指針に示される、最大鉛直層厚と粘着力の関係から地すべり土塊の最大鉛直層厚から粘着力(c')を推定することとする。●内部摩擦角(ϕ')の逆算では、上記の手順で求めた値を用いて、内部摩擦角(ϕ')を逆算することとする。なお、間隙水圧は調査ボーリング孔内の既往観測地下水位の最高値から求めることとする。</div></div> <div data-bbox="304 1003 1332 1030"><div>※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。</div><div>35</div></div>
委員会終了後修正資料	<div data-bbox="304 1205 1353 1256">地すべり防止施設の配置計画立案、施工の方針に関するまとめ</div> <div data-bbox="325 1263 1332 1825"><div data-bbox="325 1263 1332 1303">手稲山地区における地すべり防止施設の配置計画検討の進め方①</div><div data-bbox="325 1310 1332 1825"><p>【地すべり防止施設の配置方針】P29</p><ul style="list-style-type: none">●手稲山地区における地すべり防止施設の配置計画では、抑制工と抑止工を組み合わせ対応することを基本とする。ただし、抑制工のみで目標を満足する場合は、抑制工のみで対応することも検討する。●自然由来の重金属による周辺環境等への影響が懸念される場合は、<u>抑止工を主体とした対策も検討</u>する。<p>【地すべり対策の施設配置計画のための一連の地すべりブロックの設定】P30</p><ul style="list-style-type: none">●手稲山地区の地すべりは、多数の地すべりブロックで構成されており、河川沿いの地すべりブロックが滑動することにより、斜面上方の地すべりブロックも不安定化し、地すべりが拡大化するおそれがある。●このため、手稲山地区の地すべり施設配置計画の検討においては、小ブロックの運動方向等を考慮したうえで、相互に関連すると推定される小ブロックについては、一連の地すべりブロックとしてみなすこととする。<p>【地すべりブロックの安定解析】P31</p><ul style="list-style-type: none">●安定解析では、<u>地すべりブロック及び相互に関連すると推定される一連の地すべりブロックを対象</u>とする。●安定解析の方法は、応力の極限平衡により安定性を論ずる極限平衡法の一つである簡便法(Fellenius法)(以下、「簡便法」という。)を採用することとする。●初期安全率の設定では、ブロックの運動状況を踏まえ、累積変動が認められるブロックでは$F_s=0.98$、累積変動が認められないが地すべり性微地形の認められるブロックでは$F_s=1.00$と仮定することとする。●粘着力(c')の推定では、地すべり防止技術指針に示される、最大鉛直層厚と粘着力の関係から地すべり土塊の最大鉛直層厚から粘着力(c')を推定することとする。●内部摩擦角(ϕ')の逆算では、上記の手順で求めた値を用いて、内部摩擦角(ϕ')を逆算することとする。なお、間隙水圧は調査ボーリング孔内の既往観測地下水位の最高値から求めることとする。</div></div> <div data-bbox="304 1892 1332 1919"><div>※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。</div><div>35</div></div>

委員 会 資 料	<div data-bbox="300 315 1345 365">地すべり防止施設の配置計画立案、施工の方針に関するまとめ</div> <div data-bbox="323 376 1337 824"><div data-bbox="323 376 1337 414">手稲山地区における地すべり防止施設の配置計画検討の進め方②</div><div data-bbox="323 414 1337 824"><p>【PDCAサイクルによる順応的管理】P32</p><ul style="list-style-type: none">●手稲山地区には、岩層なだれ堆積物の中で粘土化した脆弱な層や、地下帯水層等が不規則に分布している可能性があり、十分な調査に基づいて計画しても、施工時に想定と異なる条件であることが判明する可能性がある。●そこで、施工時に得られたすべり面や地下帯水層の情報や地すべり対策工の効果評価の結果を踏まえて、地すべり機構や地すべり対策の施設配置計画を柔軟に見直しながら対策工を施工していく必要があると考えられる。<p>【早期の事業効果発現のための取り組み】P33</p><ul style="list-style-type: none">●手稲山地区では、保全対象の位置や重要性、ブロックの安定度や相互関係に応じて各ブロックの対策の優先度を設定して個別に安定性を向上させた後、対象とする地すべり地全体の安定性を向上させるよう計画することにより、早期の事業効果発現を図ることとする。<p>【既存ストックの有効活用】P34</p><ul style="list-style-type: none">●手稲山地区では、河岸侵食による地すべり末端部の不安定化によって地すべりが発生するおそれがあり、軽川、三樽別川、稲積川では、護岸工を整備する必要があると考えられる。●このうち、軽川の一部は砂防指定地に指定されており、北海道により砂防堰堤や三面張り流路工が整備されている。●これらの既存の砂防堰堤などのストックを有効活用した効率的な地すべり防止施設の配置計画を立案することにより、地すべり対策の早期完了を目指す。</div></div> <div data-bbox="312 1008 943 1028">※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。</div> <div data-bbox="1286 994 1326 1034">36</div>
委員 会 終 了 後 修 正 資 料	<div data-bbox="300 1205 1345 1254">地すべり防止施設の配置計画立案、施工の方針に関するまとめ</div> <div data-bbox="323 1265 1337 1713"><div data-bbox="323 1265 1337 1303">手稲山地区における地すべり防止施設の配置計画検討の進め方②</div><div data-bbox="323 1303 1337 1713"><p>【PDCAサイクルによる地すべり対策の方針・工法の順応的な見直し】P32</p><ul style="list-style-type: none">●手稲山地区には、岩層なだれ堆積物の中で粘土化した脆弱な層や、地下帯水層等が不規則に分布している可能性があり、十分な調査に基づいて計画しても、施工時に想定と異なる条件であることが判明する可能性がある。●そこで、施工時に得られたすべり面や地下帯水層の情報や地すべり対策工の効果評価の結果を踏まえて、地すべり機構や地すべり対策の施設配置計画を柔軟に見直しながら対策工を施工していく必要があると考えられる。<p>【早期の事業効果発現のための取り組み】P33</p><ul style="list-style-type: none">●手稲山地区では、保全対象の位置や重要性、ブロックの安定度や相互関係に応じて各ブロックの対策の優先度を設定して個別に安定性を向上させた後、対象とする地すべり地全体の安定性を向上させるよう計画することにより、早期の事業効果発現を図ることとする。<p>【既存ストックの有効活用】P34</p><ul style="list-style-type: none">●手稲山地区では、河岸侵食による地すべり末端部の不安定化によって地すべりが発生するおそれがあり、軽川、三樽別川、稲積川では、護岸工を整備する必要があると考えられる。●このうち、軽川の一部は砂防指定地に指定されており、北海道により砂防堰堤や三面張り流路工が整備されている。●これらの既存の砂防堰堤などのストックを有効活用した効率的な地すべり防止施設の配置計画を立案することにより、地すべり対策の早期完了を目指す。</div></div> <div data-bbox="312 1901 943 1921">※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。</div> <div data-bbox="1286 1888 1326 1928">36</div>

委員 会 資 料	<div data-bbox="300 331 1353 387">今後の予定</div> <div data-bbox="316 398 1337 750"><p>● 今後は次の調査・観測を実施する。</p><ul style="list-style-type: none">① 地表変動調査 : 移動杭測量、路線測量の継続実施、地盤伸縮計の設置・観測② 地質調査 : ボーリング調査の実施③ すべり面調査 : ボーリング調査の実施、孔内傾斜計、パイプ歪計の設置・観測④ 地中変動調査 : 孔内傾斜計、パイプ歪計、地中伸縮計の設置・観測⑤ 地下水調査 : 地下水位観測、水質調査の実施、新規ボーリング調査箇所での試錐日報解析、地下水検層の実施(汲上げを含む)⑥ 地すべり機構解析 : 地すべりの範囲・すべり面の検討及び見直し、地下水分布・地下水流動の検討 地すべりの原因・地すべりの移動特性の考察、安定解析⑦ 重金属調査 : 水質調査の実施、土壌溶出量・土壌含有量試験等の実施⑧ 環境調査 : 自然環境調査の実施(動植物調査、生態系調査)<p>● 次回の地すべり検討委員会では、調査・観測や地すべり防止施設の配置計画検討の進捗状況を報告する。</p></div> <div data-bbox="308 1037 951 1061">※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。</div> <div data-bbox="1299 1025 1342 1066">38</div>
委員 会 終 了 後 修 正 資 料	<div data-bbox="300 1187 1329 1243">今後の予定</div> <div data-bbox="316 1254 1313 1646"><p>● 今後は次の調査・観測を実施する。</p><ul style="list-style-type: none">① 地形調査 : 地形図作成、地形測量、微地形判読、地形変状の現地調査等② 地表変動調査 : 移動杭測量、地盤伸縮計の設置・観測③ 地質調査 : ボーリング調査の実施④ すべり面調査 : ボーリング調査の実施、孔内傾斜計、パイプ歪計の設置・観測⑤ 地中変動調査 : 孔内傾斜計、パイプ歪計、地中伸縮計の設置・観測⑥ 地下水調査 : 地下水位観測、水質調査の実施、新規ボーリング調査箇所での試錐日報解析、地下水検層の実施(汲上げを含む)⑦ 地すべり機構解析 : 地すべりの範囲・すべり面の検討及び見直し、地下水分布・地下水流動の検討 地すべりの原因・地すべりの移動特性の考察、安定解析⑧ 重金属調査 : 水質調査の実施、土壌溶出量・土壌含有量試験等の実施、 (重金属を含む)地下水の分布・地下水流動の検討⑨ 環境調査 : 自然環境調査の実施(動植物調査、生態系調査)<p>● 次回の地すべり検討委員会では、調査・観測や地すべり防止施設の配置計画検討の進捗状況を報告する。</p></div> <div data-bbox="308 1874 932 1897">※現時点での概略的な調査結果であり、今後の詳細な調査・検討を踏まえて変更となる可能性がある。</div> <div data-bbox="1270 1863 1313 1904">38</div>

