

都市整備局・住宅政策本部業務体験発表会 (令和元年度) 概 要 書	
発表テーマ	都営住宅で発生した宅地 ^{のり} 法面崩壊と復旧への取組について
発表の概要	<p> 昨今、気象変動が取り沙汰されており、大型の台風などによる気象災害が各所で発生しているところである。平成 29 年 10 月、都営住宅の造成宅地の盛土^{のり}法面においても、台風 21 号による降雨の影響により、崩壊が発生した。 </p> <p> 本発表は、崩落発生から復旧完了までの一連の取組について、以下の項目を主軸として紹介するものである。 </p> <ul style="list-style-type: none"> ●崩落時の初動対応 崩落発生直後の状況と応急対応の報告 ●崩落原因の解析 ^{のり}法面崩壊における調査手法の紹介 多摩ニュータウン地域の特徴や地盤調査結果等を踏まえた検討 ●対策工法の選定 再発防止を踏まえた復旧方法の検討 ●安全確保への取組 IoT システム活用事例の紹介 工事店との連携による緊急体制の設立 近隣住民や関係機関との協議事例の紹介 ●本復旧工事 ^{のり}法面復旧のための主要工法紹介

都営住宅で発生した宅地^{のり}法面崩壊と復旧への取組について

1 はじめに

昨今、造成宅地において、谷埋め盛土や腹付盛土の滑動崩落が生じ、土砂流出等による被害が問題となっている。平成 29 年 10 月 23 日未明、都営住宅の造成宅地の盛土^{のり}法面においても、台風 21 号による降雨の影響により、崩壊が発生した。

本発表は、崩落発生から復旧完了までの一連の取組について、初動対応、崩落原因の解析、対策工法の選定、安全確保への取組、本復旧工事の紹介と、東京都住宅供給公社（以下「公社」という。）が携わった業務を総合的に紹介するものである。

2 崩落時の初動対応

平成 29 年 10 月 23 日午前 6 時頃、八王子市役所から公社へ通報が入る。法面崩壊により、市道由木 526 号線に多量の土砂が堆積しているとのことであった。直後に到着した府中窓口センターの職員により、延長 30m 以上、高さ 2.5m 以上に及ぶ土砂の堆積が確認された（写真 1）。土砂は道路のみならず、隣接する分譲マンションの敷地境界を越え、建物に達する寸前まで押し寄せていた。現地では、南大沢警察署（警視庁）や八王子消防署由木分署（東京消防庁）から、巻き込まれなどの被害の有無を確認するため、早急な土砂の撤去を求められた。

当日は、公社登録工事店の迅速な協力により、午前 10 時までには 3 台のバックホウと 6 台の大型ダンプ、作業員 20 余名という体制を整えた。

また、崩落土砂は多くの雨水を含み、土砂というよりも汚泥のような状態であり、搬出土の受入れを何社からも断られていたが、粘り強く受入れ先を探していたところ、1 社の社長が現地の土砂を見たいと訪れたため、嘆願したところ、受入れの承諾を得ることができた。土砂は、急ピッチで搬出され、崩壊法面からの再崩壊を防ぐため、土のうとしてフレキシブルコンテナバッグを並べた（写真 2）。汚泥状の土砂は、^{ます}枳内への流入も確認されたため、八王子市と協議の上、公共下水道の排水管清掃も実施した。



写真 1 初動対応の状況



写真 2 並べられた土のう



写真 3 崩壊^{のり}法面上部の状況

また、初動対応では、応急復旧工事のみならず、関係者への対応にも追われた。都営住宅自治会、隣接する分譲マンションの管理組合、地元町会をはじめ、通学路として生徒が利用する幼稚園や小中学校などにも訪問し、説明と謝罪を行った。加えて、法面崩壊は、都営住宅敷地内の有料駐車場に及ぶものであったため、二次災害防止のため、約 20 区画を緊急閉鎖し、車両移動の手配を行った（写真 3）。

応急復旧作業は 3 日間と迅速に行われ、搬出土量は延べ 1,000 m³にも及び、都内では稀にみる大規模なものであった。この台風により、八王子市内では 50 か所以上の土砂崩れが発生し、当該案件は 3 番目の規模であった。幸いにも崩落土砂内に歩行者や車両などの巻き込みはなかったが、土砂中から発見された街路灯などの残骸より、崩壊の壮絶さが伺える（写真 4）。南大沢警察署をはじめとした各所へ、人的被害がないことを報告した際には、それぞれで安堵の様子が見られ、これをもって初動対応を完了した。

初動対応後には、本復旧工事に着手する前に、写真 5 の仮設防護柵を設置した。仮設防護柵は、H鋼と鋼矢板を組み合わせたもので、崩壊法面より土砂が流出した際、堆積土砂に耐えられるよう設計し、交通開放に先立ち施工した。



写真 4 破損した街路灯やガードパイプ



写真 5 仮設防護柵（交通開放時）



図 1 現地踏査平面図



図2 業務フロー

3 崩落原因の解析

3-1 調査方法

法の崩落原因の解析と復旧方法の検討を行うため、以下の調査試験を行った。

(1) 調査ボーリング

調査ボーリングは、ロータリー式オイルフィード型で掘削した。掘削は自然水位が確認されるまで極力無水掘削で実施するが、固結度が高く無水掘削が不可能な場合、送水掘削とした。掘削中は、湧水・逸水や地質・土質の境界・性状などの変化に十分留意して実施した。

(2) 標準貫入試験

本試験は「JIS A 1219」に準拠し、N値を測定して地盤の硬軟の調査、土質の判定、地盤の堆積状況の把握、柱状図及び地層想定断面図の作成のための基礎データとすることを目的に実施した。

(3) 簡易動的コーン貫入試験

本試験は、地盤工学会基準「簡易動的コーン貫入試験方法 (JGS1433-2003)」に準拠し、地盤の貫入抵抗から地層の分布、強度及び不安定領域(緩み層)の分布を把握するため実施した。

(4) ベーンコーンせん断試験

本試験は、先端に羽根つきコーン(ベーンコーン)を取り付けたロッドを試験深度まで挿入し、ロッドの押し込み力と、土層のせん断に必要なベーンコーンの回転トルクを、複数の荷重条件で測定することにより原位置での粘着力と内部摩擦角を測定するものであり、地盤の安定性検討に用いる土質定数を設定することを目的として実施した。

3-2 調査結果

前述の試験結果を取りまとめたものを表1に示す。これらの決定値を用いて、後述の対策工法の選定において安定解析を行い、計画安全率を確認した。

表1 土質定数の設定表

地層			N値 (1)調査ボーリング (2)標準貫入試験	せん断抵抗力				単位体積重量 rt		決定値		
				N値推定式より 粘性土の $c_c=6N$ 砂質土の $\phi:\sqrt{20N+20}$ 泥岩の $c:0.165N^{0.606} \times 98.1$ 泥岩の $\phi:0.888\log N$		(4)ベーンコーンせん断試験		土砂:NEXCO設計要領、一般値 泥岩:N値推定式より $1.173+0.4\log N$				
地質名	地質・土質	記号		内部摩擦角 (°)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kN/m ²)	推定値 一般値	現場 (参考)	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kN/m ²)	単位体積重量 rt(kN/m ³)
盛土	礫混じり粘土	b	6	0	36	-	-	18	-	0	36	18
小山田層	礫混じり砂	Oms	3	(29)	0	35.3	16.1	21	21.3 (現場測定)	35.3	16.1	21
平山層	砂質シルト	Hrs3	4	0	24	7.7	22.7	17	-	7.7	22.7	17
	シルト質砂	Hrs2	7	32	0	24.4	3.6	19	19.2 (現場測定)	24.4	3.6	19
	シルト混り砂	Hrs1	19	38	0	34.0	26.4	19	-	34.0	26.4	19
	強風化 シルト岩	w2-Hnm	7	0	52	-	-	16 (粘性土相当)	-	0	52	16
風化 シルト岩	w1-Hnm	94	21	250	-	-	19 (推定式)	-	21	250	19	

決定値を示す。

3-3 崩壊機構の検討

(1) 地形概要

崩落箇所周辺は、京王堀之内駅から南に500mの地点にあり、地形区分上では多摩丘陵にあたる。多摩丘陵は、多摩ニュータウンに代表される大規模団地、商業地、大学、ゴルフ場などの造成によって、1960年代から全面的に人工改変されている。造成の経年変化をたどるため、図3に1979年、1984年、1989年、3か年の空中写真（国土地理院撮影）を示す。1979年にはまだ造成が始まっておらず、自然斜面のままである。1984年には、主に画像中央部において、平坦面が造成されており、敷地の西側には切土法面が形成されている。1989年には、大規模な盛土が造成され、現在の形状が完成している。

これらのことから、崩壊箇所は切土法面と盛土との擦り付け部にあたり、凹状に湾曲した腹付け盛土部であることがわかる。また、崩壊箇所北側付近からは、既設切土のり面がそのまま残っていると考えられる。



図3 空中写真による地形改変の変遷

(国土地理院)

(2) 誘因

○降雨状況

今回の崩壊は、平成29年台風21号による豪雨が引き金となったものである。この時の降雨状況について以下に整理した。最寄りの気象観測所であるアメダス観測所八王子の記録によれば、平成29年10月19日0時から降り始めた。一旦、10月20日11時～17時の間は降り止むものの、18時から再び降り始め、10月23日5時まで降り続いた。最大時間雨量は10月23日1時～2時と2時～3時の38.5mm/hである。最大24時間雨量は、310.5mm/24h、連続雨量は396mmである。

ここで、今回の崩壊の引き金となった降雨について、任意の継続時間における確率雨量を検討した。斜面崩壊では、時間雨量や日雨量などの特定の時間の降雨指標も大切であるが、降雨継続時間による検討が重要とされている。継続時間の確率雨量の検討には、(国研)土木研究所の「アメダス確率降雨計算プログラム」を用いた。本プログラムによって算出した再現期間において、継続時間12時間までは30年に1回の降雨であるが、継続時間20時間～34時間が100年に1回の降雨に相当することがわかった。したがって、今回の崩壊は、長時間の降雨が影響している可能性が高い。

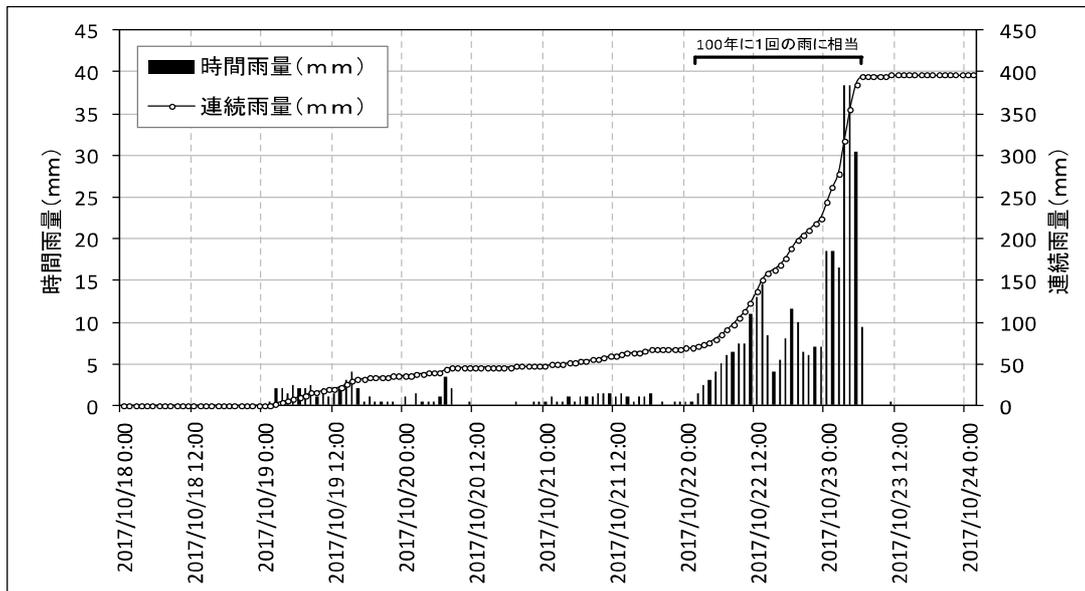


図4 平成29年台風21号による降水量

(3) 素因

○地形

崩壊前の盛土は法高12m、勾配1:2であり、宅地造成法における標準勾配を満足するものである。ただし、既設切土法面との擦り付け部の腹付盛土である点は不安定要因の1つである。前出の造成前の空中写真からも、崩壊箇所の元地形は凹状で浅い沢地を呈する。したがって、崩壊箇所周辺は地下水が集中しやすい条件にあったと考えられる。

○地質

崩壊のすべり面は、主に平山層砂質土層で形成されており、崩落箇所の地層を確認したところ、ハンドスコップで容易に削ることができる程度の状態であった。平山層は、固結度が高いのが一般的であるが、崩壊地は、地下水位が高く、含水率が非常に高いため、風化が進行していたことも崩壊原因の1つであると考えられる。

○地下水

崩壊地内では、平山層砂質土層から多量の湧水が確認され、帯水層(水ミチ)となっていた。一方、砂質土層の下位には平山層シルト岩層が分布しているが、固結度が高く塊状であり、不透水層の役割を果たしている。このため、背後斜面からの地下水は、平山層砂質土層に集中し水ミチとして斜面下方へと流下する。

平山層砂質土層はシルト分を比較的多く含むことから、崩壊箇所周辺に分布するその他の地質よりも相対的には透水係数が高いものの、粒径分布が良い砂層に比べ透水係数は低い。このため、地下水が集中した場合に、容易に間隙水圧が上昇することが予想される。

今回の崩壊の誘因となった降雨は、上述したように100年に1回の雨に相当することから、背後斜面から本層に透水性を上回る多量の地下水が集中したことにより、これまでに経験したことがないレベルまで間隙水圧が上昇し、斜面の不安定化を招いたものと考えられる。

4 対策工法の選定

4-1 盛土部

盛土部における復旧方法については、「宅地防災マニュアル（国土交通省）」に基づき、以下の2点に留意しながら検討した。

- ・原型復旧を基本とし、宅地造成法に準拠した規格で再盛土により復旧する。盛土が難しい場合には、盛土勾配の変更や擁壁等の設置を検討する。
- ・再度災害防止のために、崩壊の原因となった背後斜面からの地下水の流入に対して、豪雨時にも地下水圧を上昇させない対策を検討する。

盛土復旧形状による安定解析を行ったところ、最小安全率を示す円弧すべりについて、常時及び地震時の安全率は、計画安全率を満足しなかった。これを満たす条件を模索したところ、地下水位を2.3m低下させたとき、計画安全率を下回るすべり面は検出されないことが確認された。

以上の結果、盛土を安定させるためには、崩壊の誘因となった背後斜面からの地下水を排除し、地下水位を低下させる必要がある。盛土法面の地下水位低下工法は、大きく分けると、「自然地盤から盛土内に流入する地下水を排除する工法」と、「自然地盤内の地下水位を低下させる工法」の2種類があり、これらを適切に組み合わせることで効果的な排水を計画する。

○自然地盤から盛土内に流入する地下水を排除する工法

盛土と地山との境界に排水層を設置して地下水を法尻に導き、速やかに排除する工法である。盛土内には極力、地下水を流入させないことが肝要であるため、暗渠排水の設置は有効である。排水層には、暗渠工やパネル式の金網に栗石を詰めたカゴ枠工等を用いた。

○自然地盤内の地下水位を低下させる工法

自然地盤内の地下水位を低下させる工法としては、地下排水工（横ボーリング工）がある。この工法は、 $\phi 66\text{mm}$ 以上でボーリング孔を削孔し、保孔管を挿入して地下水位を低下させる工法である。

安定解析の結果では、地下水位を2.3m低下させる必要があったが、「国土交通省地すべり防止技術指針」や「道路土工切土工斜面安定工指針（（公社）日本道路協会）」等には、横ボーリング工による水位低下効果について、3m程度見込むことができると記述されており、これにより必要な地下水位の低下量を確保した。

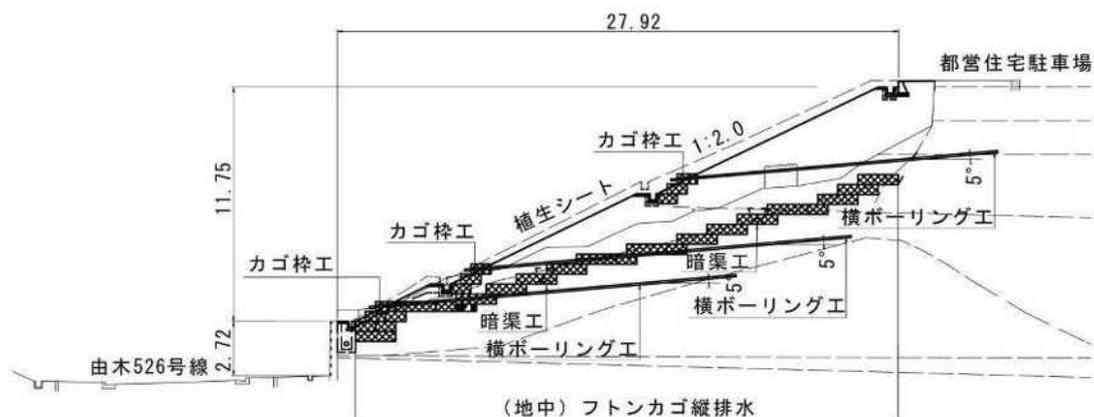


図5 盛土部対策工

4-2 切土部

今回の崩落は、盛土部において発生したものであるが、崩落箇所に隣接する切土部においても、小段排水溝の目地開きやシールコンクリートの傾き、馬蹄形の段差地形などが確認されたため、対策を講じることとした。施工箇所は、市街地に位置しており、周辺環境への配慮や、可及的速やかな安全性の確保などが求められる。これらの条件を満たす工法として、ノンフレーム工法®を採用することとした。当該工法は、地山に設置したロックボルトを二次製品の支圧板とワイヤーロープで連結するため、従来の吹付け法^{のり}を要せず、景観性や工期短縮に優れた、住宅法面^{のり}の復旧に適した工法である。

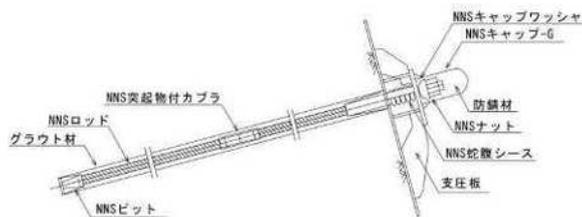


図6 ロックボルト構造図
(ノンフレーム工法研究会)



図7 施工イメージ図
(ノンフレーム工法研究会)

5 安全確保への取組

工事着手に先立ち、二次災害の防止に努め、都営住宅居住者や近隣住民の安全確保のために以下のような取組を行った。

5-1 IoTシステムの活用

(1) 地盤傾斜センサー

法面の復旧工事に着手するまでの間に、法面内の変動と崩壊地背後への崩壊拡大を監視するために地盤傾斜センサーを3基設置した。センサーはリアルタイムで観測され、観測データは24時間WEB上で確認できる。

また、設定値以上の変動があった場合には、登録先へ警報メール送信、現地の回転灯の点灯及びメッセージボードへの表示が行われる。発報後は、独自に作成した初動体制マニュアルに基づき、後述の工事店との連携対応を行うこととした。



写真6 メッセージボード及び回転灯



写真7 地盤傾斜センサー

(2) クラウド型監視カメラ

工事に着手してからは、重機の稼働により振動が発生することや、盛土により地形が変わっていくため、地盤傾斜センサーを使えないことから、クラウド型監視カメラを1基設置した。カメラは、パソコン上で操作することができ、360°の首振り機能や最大36倍の高倍率ズーム機能を有するものである。

また、最大2週間まで録画データをクラウド上に保存することができる。強風や大雨など、^{のり}法面への立入りが困難なときの点検に活用することで管理を徹底した。



図8 監視カメラ「MAMORY®」

5-2 工事店との連携による緊急体制の設立

会社では、日常発生する小口修繕、緊急修繕、あき家補修、^{もく}樹木剪定等業務などにおいて、迅速かつ的確に工事を行い、居住者サービスの向上を図るため、「小口・緊急修繕工事店制度」を設けている。本件においても、この制度を活用するとともに、24時間365日対応可能な「J K K東京お客さまセンター」と連携し、^{のり}法面崩落から復旧までの間、夜間・休日に異常が生じた場合、エリアの指定工事店7社により、緊急対応できるよう人員配備を行った(図9)。また、現地には、カラーコーンや土のう袋などを備蓄した資材倉庫を設置し、緊急時には道路を封鎖し、被害拡大を防ぐこととした。

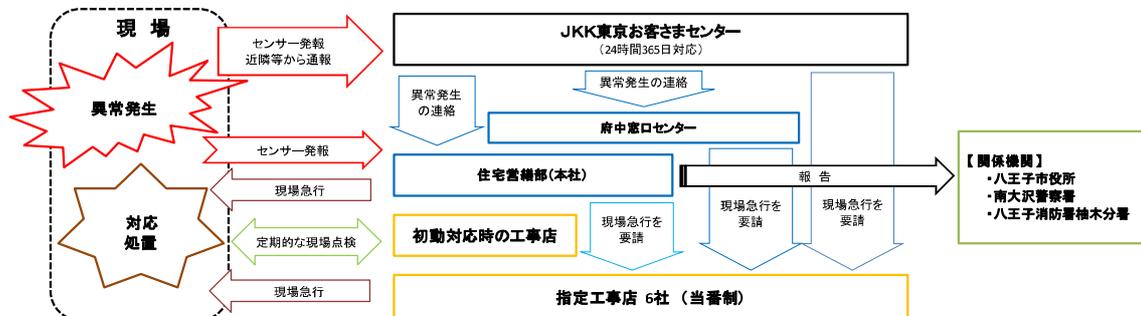


図9 緊急時の対応フロー

5-3 近隣住民や関係機関との協議

(1) 近隣住民対応

都営住宅自治会や隣接するマンションの管理組合、地元町会への説明を念入りに行った。工事着手前に加えて、施工の各段階で説明会を開くなど、不安を取り除くための取組を欠かさず行い、信頼関係の構築につとめた。

また、崩落^{のり}法面に面した市道は、通学路となっていたため、学校や幼稚園などを訪問し、工事車両の搬入出に伴う生徒や保護者への注意喚起の周知をお願いするとともに、復旧工事の安全性についての説明を入念に行うことで理解と協力を得た。

(2) 関係機関協議

土砂が流出した由木 526 号線の道路管理者である八王子市役所へは、今後の復旧計画や本復旧工事に伴う車線規制などの説明を行うとともに、復旧工法についての関係法令の確認なども行った。仮設防護柵を設置した^{のり}法面側の歩道部については、通行止めが続いており、工事着手時には、車線規制や道路占用も伴うため、南大沢警察署や由木分署との協議を継続して行った。

6 本復旧工事

崩壊発生から約 6 か月をかけて、原因の特定や対策の検討、安全確保のための準備や関係機関との調整を行い、平成 30 年 5 月より本復旧工事に着手した。

6-1 盛土工

機械は、主にバックホウ、ローラを使用し、施工状況に応じた規格に変更しながら施工した。最初は、^{のり}法面崩落箇所に残った不安定土塊を除去し、盛土を行った。締固めは、公社の工事標準仕様書では、30cm から 50cm を標準とするが、より一層の品質確保を目的として 1 層あたり 25cm とし、全 40 層を施工した。

また、使用材料の土質試験や砂置換法による現場密度試験など、適宜、品質管理を行った。盛土面は、^{のり}法面整形後、表面保護を目的とし、4 種類の種子を混合した植生シートを施工した。

6-2 かご枠設置工

バックホウと人力作業にて規定の高さになるよう床^{ごしら}えを行った。カゴ枠は、現地でパネルを組み立てたものに、割栗石（150mm～200mm）を人力にて敷きならべ、不織布で覆った。

6-3 横ボーリング工

単管足場を組み、削孔機、送水ポンプ、発電機の機械編成により施工する。削孔機は、ロータリーパーカッション方式のものを用いて、外径 90mm のケーシングとインナーロッドを組み合わせた二重管削孔方式により掘削した。

保孔管には、管理番号を記載し、順次ケーシング内に挿入した。挿入長の測定には、検尺棒を使用し、設計数量を満たしているか確認を行った。



写真8 削孔状況



写真9 横ボーリング工完了

6-4 地山補強工（ノンフレーム工法[®]）

ノンフレーム工法[®]は、ロックボルトに設置した支圧板同士を三角形に連結させることで地山補強を行う工法である。足場上で施工し、機械編成は、削孔機（小型ボーリングマシン）、送水ポンプ、ミキサ、グラウトポンプ、発電機である。

工事着手前に削孔位置にマーキングし、ビニールテープで各々を結ぶ位置決め工を行う。その際、既存樹木などの障害物をかわしながら行い、一辺の長さが3 m以内、三辺の延長が7 m以内となるよう留意する。

足場を組み、削孔機は、25 t ラフタークレーンを用いて設置した。削孔径は50mmとし、削孔後は、スライムの除去など孔内の清掃を行う。ロックボルトに用いる鋼材は、延長4.0m (SD490、亜鉛めっき) であり、これを挿入後、セメントミルクを注入する。設計強度を満たすか確認試験を行った後、支圧板を設置する。支圧板は、ワイヤーロープで連結し、50kNの荷重をかけた際、たわみ量が2 cm以下となることを確認した。



写真10 削孔状況



写真11 地山補強工完了

6-5 しゅん工

本復旧工事は、上記の主な工程を約6か月かけて施工した。しゅん工後、約一年経った現在でも、横ボーリングにより設置した排水管からは、各所において湧水の排出が確認され、本工法の有効性を確認できた。

また、地山補強を施工した切土部においても地形の変動はみられず、今後も追跡調査を行っていききたい。



写真12 全景（しゅん工後）



写真13 湧水排出状況（1年後）

7 おわりに

会社が管理する住宅は都営住宅を含め、約1,900団地（平成31年度）であり、大規模な法面や擁壁を有する住宅も多数あるところである。近年、気候変動が取り沙汰されるなか、今回以上の大規模な豪雨が発生する可能性は十分にある。公社では、今回の取組を糧とし、概略点検や地盤調査、法面補修など規模や状態に応じて、様々な対策に取り組んでいるところである。今後も東京都と連携し、住宅事業を通じて、都民へ「安全で安心な住環境の提供」を進めていく。