

都市整備局・住宅政策本部業務体験発表会
(令和4年度)
概要書

所 属	
発表テーマ	アンダーパス歩道部の沈下事例に学ぶ (国領地区 調布3・4・7号線)
発表者氏名	
発表の概要	<p>当事務所が所管する調布都市計画道路3・4・7号線(国領地区)について、令和4年8月に全線交通開放を行った。</p> <p>当該道路の交通開放に向け、令和3年度春に現場確認を行ったところ、アンダーパス歩道部斜路付階段の沈下が確認され、早期の交通開放に向け、沈下の原因究明及び沈下原因を踏まえた補修が急務となった。</p> <p>このため、当事務所では、土質調査や学識経験者へのヒアリング等により、沈下原因を究明するとともに、沈下箇所の補修方法を検討の上、施工した。</p> <p>本発表は、当該事例の原因究明及び補修工事の設計施工を行う中で得られた知見や教訓を共有し、今後の設計・工事業務の適正な実施に資することを目的とする。</p>

アンダーパス歩道部の沈下事例に学ぶ（国領地区 調布3・4・7号線）

1 はじめに

第二市街地整備事務所では、令和4年8月4日（木曜日）に、調布都市計画道路3・4・7号線（国領地区）の全線交通開放を行った。

当該道路の交通開放に向け、令和3年度春に現場確認を行ったところ、アンダーパス歩道部斜路付階段の沈下が確認され、早期の交通開放に向け、沈下の原因究明及び沈下原因を踏まえた補修が急務となった。

このため当事務所では、土質調査や学識経験者へのヒアリング等により、沈下原因を究明するとともに、沈下箇所の補修方法を検討することとした。

本発表は、上記対応を通して得られた知見や教訓を共有し、今後の設計・工事業務の適切な実施に資することを目的とする。

2 本発表の対象工事について

（1）調布都市計画道路3・4・7号線（国領地区）

調布都市計画道路3・4・7号線（国領地区）は、甲州街道（国道20号線）と品川通りを結ぶ約580mの路線である。本路線は、老朽化した都営住宅を建て替え、土地の高度利用を図る住宅市街地総合整備事業によって生み出される用地を活用し、京王線の連続立体交差事業とも併せて地域の交通渋滞を解消することを目的とした事業である。（図1参照）

平成22年3月に京王線との交差点付近の工事に着手し、アンダーパスの排水用ポンプ室や電線共同溝の整備、交差点改良等の工事を経て、本年8月に交通開放した。

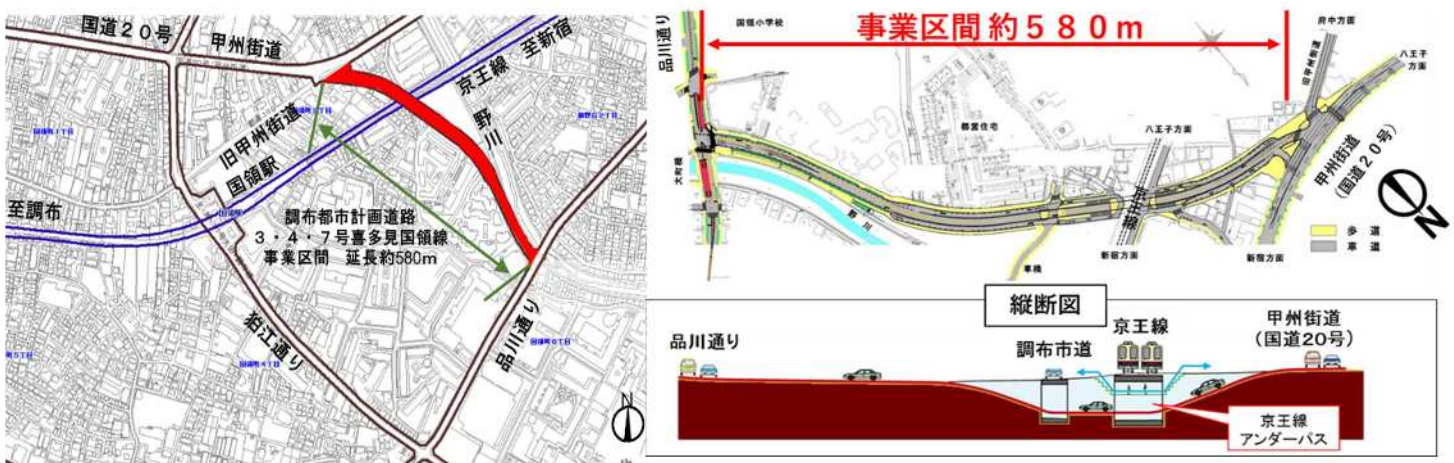


図1 調布3・4・7号線案内図・平面図・縦断図

表 1 事業の概要

事業名称	調布都市計画道路事業 3・4・7号喜多見国領線
道路幅員 / 延長	18m～24m / 約 580m (甲州街道～品川通り)
事業の経緯 (抜粋)	
昭和 37 年 12 月	調布都市計画道路 3・4・7号線都市計画決定
平成18年 3月	国領駅東地区 住宅市街地整備総合整備事業大臣承認
平成19年 7月	調布都市計画道路事業 3・4・7号線事業認可
平成28年 7月	京王線立体交差部躯体工事完了
平成 29 年 12 月	京王線立体交差部斜路付階段部埋戻し工事完了 (階段スラブ下部の埋戻し)
令和 4 年 7 月	地元小学生・地域住民対象の見学会 (写真 1 参照)
令和 4 年 8 月	全線交通開放 (写真 2 参照)



写真 1 開放前の見学会の様子



写真 2 交通開放の様子

(2) アンダーパス斜路付階段部について

本発表の対象とした沈下は、京王線アンダーパス歩道部の斜路付階段である。

図 2 のとおりアンダーパス擁壁本体内部に土砂による埋戻しを行い、その上にスラブ及び階段を施工している。斜路付階段部の主な工事経緯は下記のとおりであり、受注者はそれぞれ異なる。

- ① 階段スラブ下部の埋戻し (工期：平成 28 年 8 月 2 日～平成 29 年 12 月 13 日)
- ② 斜路付階段工 (スラブ、階段) (工期：平成 30 年 1 月 12 日～令和元年 10 月 28 日)

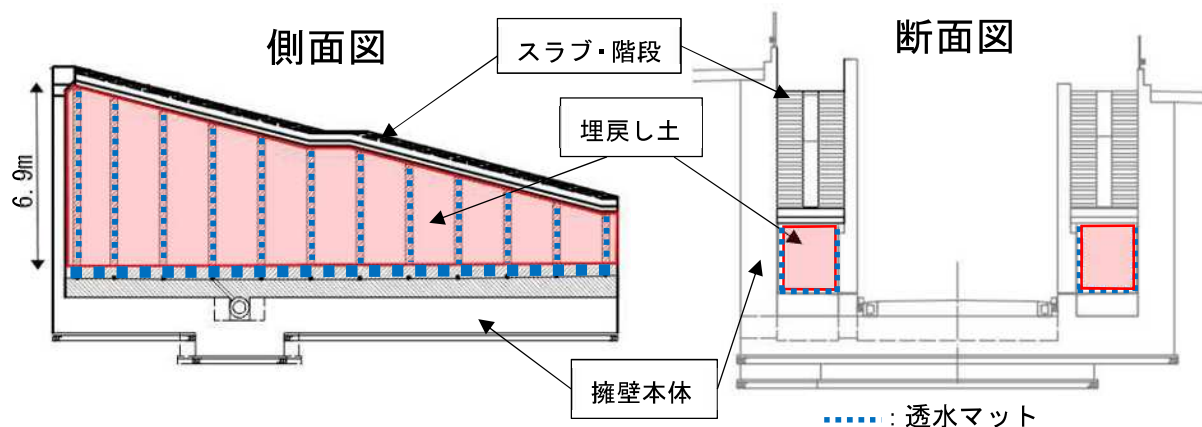


図 2 斜路付階段部 側面図及び断面図

3 アンダーパス斜路付階段部における沈下発生

(1) 沈下の状況

前項で記載したとおり、斜路付階段は令和元年10月に竣工し、その後閉鎖管理が行われていた。交通開放に向けて令和3年4月に改めて現場確認を行ったところ、階段の一部に沈下及び多数のクラックが発生しており、階段として供用し得る状況ではないことが判明した。

これを受け、被害状況を明確にするため、次項に示す調査を実施した。



写真3 階段部の沈下・クラック発生状況写真

(2) 沈下状況の調査

目視にて確認された沈下の発生箇所は、品川通りから甲州街道に向かって左側 (L側) の斜路付階段 (No. 120~No. 121 擁壁 U5・U6) (以下、L側 U5・U6 階段部) のみであった。

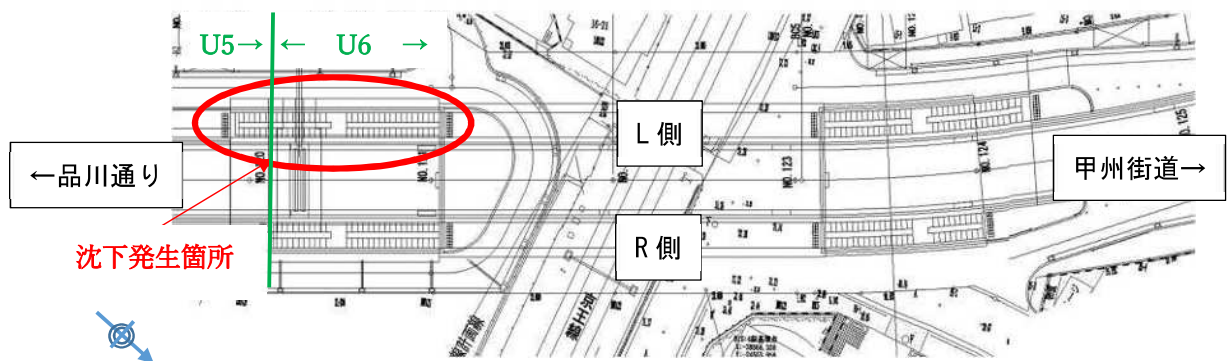


図3 沈下発生箇所

調査を行うに当たり、まずは沈下範囲を明確にするために現地測量を行い、沈下の有無を確認した。測量の結果、L側U5・U6階段部において、最大7.3cm（階段上部から6段目）、平均3.0cmの沈下を確認した。

なお、L側U5・U6以外の階段部においては、沈下は確認されなかった。

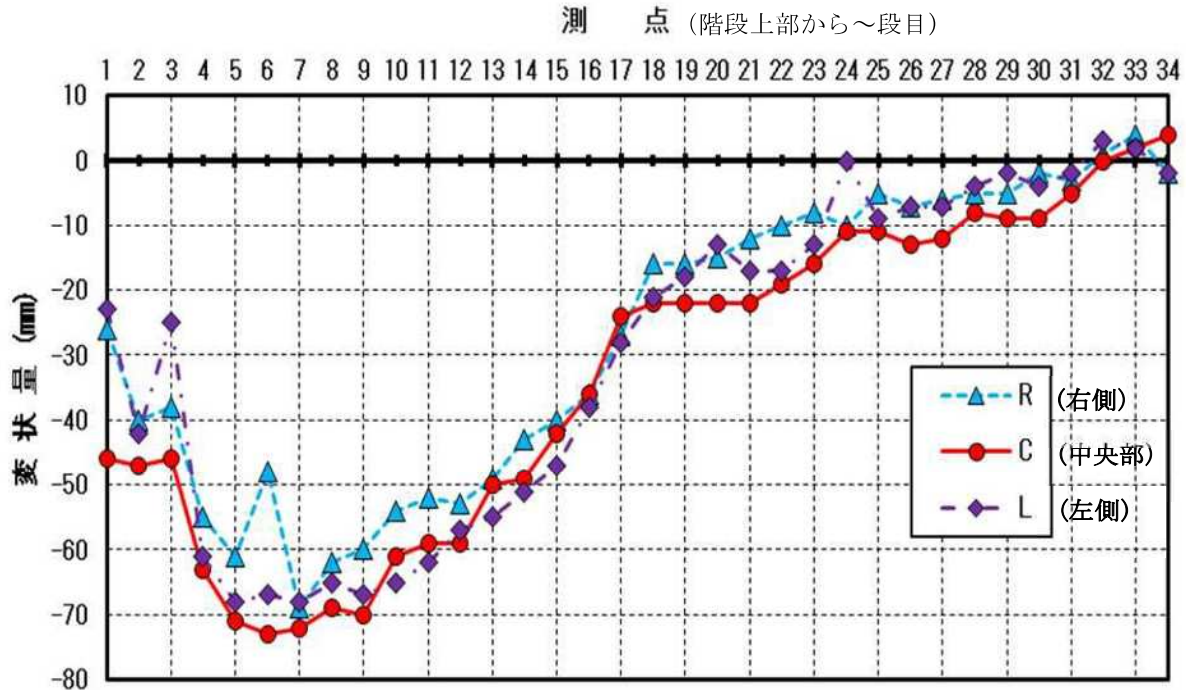


図4 階段沈下部の測量による変状量 (L側U5・U6階段部)

一方、沈下した斜路付階段部の打音検査において、空隙の存在が確認されたことから、埋戻し土の状態を調べることにした。迅速かつ安価に行う必要があるとともに、作業スペースが限られていることもあり、まずは簡易的に地盤の状態を確認するために、スウェーデン式サウンディング試験（以下「SS試験」という。）を実施することとした。

SS試験とは、対象箇所の地表から、先端に突起物（スクリーポイント）を取り付けたロッドを挿入、荷重を増加しながら貫入を行い、一定深さごとの土の締め具合や強度を計測する試験であり、比較的簡易な仮設により、安価かつスピーディに地盤の状態を確認することができるものである。状態評価は、換算N値による。

※N値とは

: 土の締め具合や強度を示す数値のことで、測定用の鉄棒器具の先端に取り付けた63.5kgのおもりを、76cmの高さから自由落下させる試験（標準貫入試験）により、土中のサンプラーを30cm貫入させるまでに要する回数のことである。

※換算N値とは

: SS試験によって計測された数値を、土質によって異なる換算式により算出し、N値に相当する測定値基準として用いられているものである。

SS 試験は、沈下が発生していない他階段部も含め、各階段の上部・中部・下部で実施した。実施箇所及び実施状況については図 5、図 6 及び写真 4 に示すとおりである。

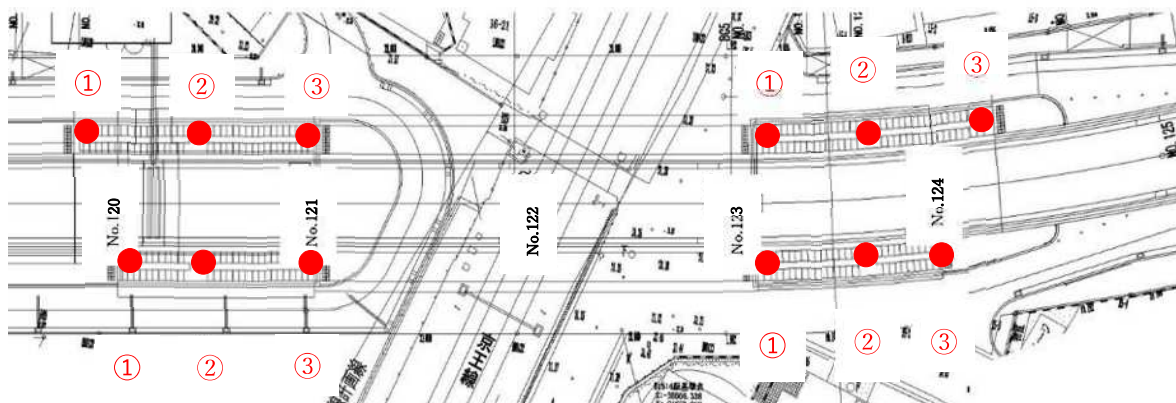


図 5 SS 試験実施位置 (平面図)

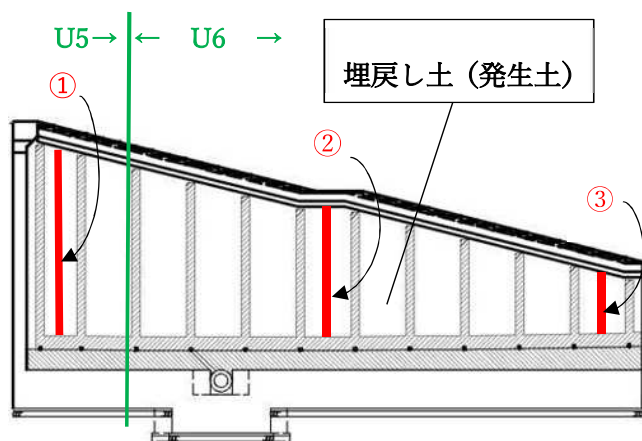


図 6 SS 試験実施位置 (側面イメージ)



写真 4 SS 試験実施状況写真

SS 試験の結果、沈下した L 側 U5・U6 階段部箇所以外には、異常値は認められなかった。

一方、L 側 U5・U6 階段部においては、試験実施の際、ロッドが荷重をかけずとも自沈するなど、局所的に非常に軟弱な層（以下「自沈層」という。）の存在が確認された。L 側 U5・U6 階段部の試験結果は、下表 2 に示すとおりである。

一般的には、N 値が 2 以下であれば軟弱な地盤であると言える（※国土交通省「宅地防災マニュアル」より）。自沈した層は換算 N 値 2 となり、最も厚い所で深さ 3.25m～4.00m（厚さ 75cm）及び 4.5m～5.5m（厚さ 80cm）に及んでいる事が判明した。

また、深さ 1.75m 及び 7.25m（厚さ各 25cm）地点においても、換算 N 値 2 以下の軟弱な層が点在している。

発生土を用いた埋戻しを行った L 側 U5・U6 階段部でのみ自沈層の存在が確認されたことから、当時

使用した発生土又は埋戻し作業自体に問題があった可能性が考えられた。

表 2 L 側 U5・U6 階段部の SS 試験結果

深度 (m)	Wsw (kN)	Nsw (回)	換算 した N値	長期許容応力度 qa (kN/m ²)	
				国土交通省	地盤工学会
0.80					
1.00	1.00	75	7	75.0	90.0
1.25	1.00	148	12	118.8	148.4
1.50	1.00	68	7	70.8	84.4
1.75	1.00	0	2		30.0
2.00	1.00	8	3	34.8	36.4
2.25	1.00	88	8	82.8	100.4
2.50	1.00	16	3	39.6	42.8
2.75	1.00	56	6	63.6	74.8
3.00	1.00	20	3	42.0	46.0
3.25	0.75	0	2		16.9
3.50	0.75	0	2		16.9
3.75	0.75	0	2		16.9
4.00	0.75	0	2		16.9
4.25	1.00	12	3	37.2	39.6
4.50	0.75	0	2		16.9
4.75	0.75	0	2		16.9
5.00	0.75	0	2		16.9
5.25	1.00	0	2		30.0
5.50	1.00	4	2	32.4	33.2
5.75	1.00	20	3	42.0	46.0
6.00	1.00	12	3	37.2	39.6
6.25	1.00	44	5	56.4	65.2
6.50	1.00	128	11	106.8	132.4
6.75	1.00	12	3	37.2	39.6
7.00	1.00	8	3	34.8	36.4
7.25	1.00	4	2	32.4	33.2
7.50	1.00	28	4	46.8	52.4
7.75	1.00	20	3	42.0	46.0
7.86	1.00	150	12	120.0	150.0

自沈層

自沈層

自沈層

N値 = 2

N値 = 2

4 沈下原因の検証

(1) 当時の階段部埋戻しに関する事実確認

①階段埋戻し受注者への事実確認

前項の調査結果により、原因が埋戻しにある可能性が考えられたことから、まずは埋戻しを行った受注者に対して、沈下発生についての見解を聴取した。受注者の返答は、以下のとおりである。

《施工業者の返答（要約）》

- ・ 締固め度 90%で埋戻しを行っているため、埋戻し後、10%程度の圧密は発生する。最大乾燥密度状態に近づくまで圧密が進み、沈下が発生すると考えられる。設計で圧密沈下を想定して余盛を計画するべきである。
- ・ 一方、使用した発生土については、事前に材料試験を行い、良質な状態であること（礫質砂であること、最適含水比と近い自然含水比であること等）を確認の上で埋戻しを行っている。
（含水比試験はH29.10.2に実施、埋戻しはH29.10.11から開始している。）
- ・ 埋戻しを実施した際も、施工管理基準どおりに密度試験を実施し、90%以上の締固め度であることを確認した。（※1）
- ・ 当社の埋戻しが完了した後、他社による階段工事等が行われ、その間に雨水が浸食して埋戻し土が軟弱化したことも沈下発生の原因と考えられる。

(※1) 受注者の見解聴取後に過年度資料を確認したところ、階段埋戻し工全体では、施工管理基準どおりの試験回数を確保していたのは事実であった。ただし、沈下したL側U5・U6階段部に着目すると、仕上がり面で1回行っているのみであった。

②工事関係書類、工事写真及び都監督員への確認

受注者への事実確認と並行し、当時の工事関係書類についても、再確認を行った。その結果、下記の事実が確認された。

a 埋戻土の仮置き状況

L側U5・U6階段部の埋戻しは、現場発生土を埋戻材として利用した。当時の写真や施工計画書及びヒアリングにより、当初は場外搬出予定であったことや京王線が近接していることもあり、ブルーシート等での養生をせず、埋戻しまで約9か月の間、仮置きしていたことが確認された。(写真5参照)

b 施工時の埋戻しの状況

L側U5・U6階段部の埋戻しの施工状況を写真で改めて確認したところ、転圧時に轍ができていることが確認された。(写真6参照)



写真5 仮置場の状況写真



写真6 埋戻し施工状況

c 施工機械及び埋戻し方法

- ・施工計画書の記載では、ハンドガイド式振動ローラー (0.8~1.1t) 及びタンパ (60~80kg) を使用することとしていた。
- ・工事写真 (写真7) より埋戻土の締固めは、ハンドガイド式振動ローラーを使用していた。
- ・1層当たりの仕上がり厚は30cmで実施



写真7 転圧状況 (振動ローラー)

(2) 有識者へのヒアリング

埋戻し受注者の見解に対し、技術的な裏付けを取り、沈下原因を正確に究明するため、以下の事項について有識者等へのヒアリングを実施した。

《有識者への確認事項（要約）》

①締固め度 90%で埋戻しを行った場合、埋戻し後に圧密沈下は発生するのか。

②圧密沈下対策で余盛土は必要であったか？

※埋戻し後の圧密沈下については、高盛土(15m 以上) でないこと、埋戻し下部の地層が軟弱層でない(擁壁底盤に支持されている) こと、車両交通がないことなどから、設計時に検討を行っていない。

③適切に締固めを行った場合、仮に降雨があったとしても、埋戻しに雨水が浸入するのか。

外部からの雨水侵入があったとしても、鉛直方向に全体が軟弱化するのではなく、埋戻しの中間部のみ軟弱(SS 試験結果の自沈層) となる可能性はあるのか。

④自沈層ができた理由をどのように整理すれば良いのか。

⑤沈下原因

ヒアリングは、大学教授(地盤工学会所属)、東京都土木技術研究所の2者に対して実施した。ヒアリングの結果、それぞれの見解は、以下のとおりであった。

表3-1 有識者ヒアリングの結果まとめ①

確認事項	大学教授	土木技術研究所
①	締固め度 90%が確保されていれば、転圧は十分されているということであり、沈下はほとんど起こらない。	品質管理基準として、室内試験で得られた最大乾燥密度の90%以上で締め固められていれば、盛土としては安定していると言え、圧密沈下の発生は考え難い。
②	意見なし。	設計時の考えのとおり、埋戻し下部が擁壁に支持されており、軟弱地盤でないことから、余盛土を検討する必要はない。
③	適切に締め固められていれば、浸透する雨水も少なく、軟弱化する可能性は低い。	埋戻し表面の養生の有無で地表面の性能が劣化することは考えられるが、適切に締め固められていれば深部で劣化することはない。 仮に降雨があったとしても、階段部には勾配が付いていることから、表面排水が行われ、深部まで雨水が浸入して軟弱化することは考えられない。

表 3-2 有識者ヒアリングの結果まとめ②

確認事項	大学教授	土木技術研究所
④	転圧ができておらず、経年により水が抜けた際、土の細粒分もともに流出し、空洞化した箇所が自沈層となった可能性がある。	埋戻時の土が高含水であったため転圧ができておらず、経年により水が抜け、自沈層になったと考えられる。
⑤	高含水状態での転圧作業を行い、適切に締固めが行われなかった結果、元々含まれていた水分とともに土の細粒分が排水施設（透水マット）を通して流出し、空洞化した箇所が後に沈下した可能性がある。 現場写真を確認すると、見た目は粘性分が多いように見える。仮置場や施工状況の写真を見る限り、施工当時は降雨の影響を受け、高含水化していたことは想定される。	施工においては、ローラー等で転圧作業は行ったと考えられるが、高含水な土であったため、結果として転圧の際にこね返しが起こり、結果として十分に締め固められておらず、沈下が発生したと考えられる。

有識者の見解をまとめると、下記のとおりとなる。

《有識者見解（まとめ）》

- ・当該階段部は埋戻し下部が擁壁で支持されているため、埋戻し時の締固めが適切であれば、圧密沈下は発生しない。
- ・埋戻し後、表面被覆がない状態で降雨があったとしても、適切に締固めが行われていれば、表面で排水が行われ、深部まで雨水が浸入することはない。
- ・現場写真を見る限り、埋戻しで使用された土について、粘性分を多く含んだ土が含まれている。土質調査時（礫質砂）と異なる土質である可能性あり。
- ・埋戻し時の土が高含水であったため転圧ができておらず、経年により水が抜け、自沈層となり沈下が発生した可能性がある。

（3）基準類の確認・建設機械メーカー等へのヒアリング

有識者へのヒアリングに加え、当時の施工が基準に適合していたか、また使用した施工機械が適正なものであったかを確認するために、基準類の確認及び建設機械メーカーへのヒアリングを行った。

a 埋戻し時の1層当たりの仕上がり厚について

施工計画書及び工事写真より、1層当たり30cmで施工されていたことを確認した。

現在の東京都土木工事標準仕様書においては、狭あい箇所等の埋戻しを行う場合、仕上がり厚を20

cm以下とするよう記載されているが、当時の標準仕様書を確認したところ、狭あい部を20cm以下とする記載はなく、通常の埋戻し時と同じく30cm以下で施工すれば問題ないと読み取ることができた。

b 締固め時に使用した施工機械について

当時使用された施工機械が、施工計画書に記載のとおり、仕上がり厚30cmでの施工が可能なものであったかを確認するため、工事写真に写っているハンドガイド式振動ローラーの規格や能力等について、写真に写っている機械メーカーにヒアリングを行った。

その結果、下記の回答を得た。

《メーカーへのヒアリング結果（抜粋）》

- ・工事写真に写っているのは、ハンドガイド式(重量：565kg)の振動ローラーである。
これは「0.5～0.6 t」の規格に該当し、30cmや20cmの厚さを締め固める能力はない。転圧能力と言える「起振力」は、9.8kNである（搭乗式の製品だと20.6kNや24.5kNのものがある。）。
- ・この製品を使用する場合、10cm程度まで層を薄くして締固めるべきである。
- ・当社では「0.8～1.1 t」に該当する振動ローラーは取り扱っていない。

上記ヒアリング結果に補足して、規格による転圧能力の違いを確認すべく、「0.5～0.6 t」及び「0.8～1.1 t」の両方の製品を扱っているメーカーに対してヒアリングを行ったところ、「0.5～0.6 t」に該当する製品は起振力が11.8kNや13.7kN程度であり、「0.8～1.1 t」に該当する製品は、起振力が40kNとのことであった。

くわえて、積算基準では、「埋戻工（最大埋戻し幅1m以上4m未満）」の代表機材規格として「振動ローラ（舗装用）（ハンドガイド式）0.8～1.1 t」が示されている。「0.5～0.6 t」が代表規格とされている工種は、「上層路盤（車道・路肩部）平均幅員1.4m未満 ※一層あたりの平均仕上り厚15cm」「基層（車道・路肩部）平均幅員1.4m未満 ※一層あたりの平均仕上り厚10cm」「表層（車道・路肩部）平均幅員1.4m未満 ※一層あたりの平均仕上り厚7cm」等であり、一層あたりの締固め厚が埋戻工と比較して薄い舗装工において適用されている。

以上より、施工業者が現場で埋戻土の締固めに使用したハンドガイド式振動ローラー（0.5～0.6 t）は、施工計画書や積算基準に示された規格（0.8～1.1 t）のものよりも転圧能力が低く、締固めの施工に適さないものであったことが明らかとなった。

（4）結論

（2）、（3）をまとめると沈下の要因として考えられるものは、以下のとおりである。

- ・埋戻土が高含水状態で施工された可能性があること（写真5、写真6）。
- ・埋戻しに使用した土の中には、材料試験結果とは土質が異なる土（粘性分を多く含んだ土）があり、埋戻しに使用された際に、こね返し等により強度が低下した可能性があること（写真5、写真6）。
- ・転圧能力が低く、締固めに適さない施工機械を使用したこと。

5 沈下箇所の補修について

（1）沈下箇所の補修方法の検討

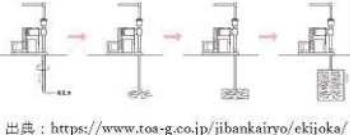

前項に記載したとおり、沈下要因と考えられる事項は、埋戻土（高含水比及び粘性の土）及び埋戻し方

法（不適切な締固め）であると想定した。早期の交通開放が求められる中で、沈下が再発しないよう、確実な補修工事の方法について検討を行った。

①補修工事の工法選定

代表的な地盤改良工法としては、下表3に示すとおり、薬液注入工法、柱状改良工法、置換工法等が挙げられる。

表4 代表的な地盤改良工法

工法	薬液注入工法	柱状改良工法	置換工法
施工イメージ	 出典： https://www.toa-g.co.jp/jibankairyo/ekijoka/		
施工概要	注入機械を使用し、薬液を注入することによって、地盤強度の向上を図る。	セメント系固化剤を噴射し、地盤を切削しながら混合・攪拌することによって、地盤強度の向上を図る。	状態不良な土を撤去し、良質土に置換える。
施工性	粘性土に対しては、割裂注入となり、強度増加が認められない場合がある。	本施工箇所は幅約2.5mと狭く、機械据付が不可能である。	最も一般的な工法であり、周辺構造物への影響も少ない。
	薬液が表面から溢れ出ないように、少なくとも1.5m程度の土被りが必要であり、天端部の施工ができない。天端までの施工を行う場合、他工法との併用が必要となる。	セメントスラリーを噴射するため、1.0m程度の土被りが必要であり、天端部の施工ができない。天端までの施工を行う場合、他工法との併用が必要となる。	天端部までの施工が可能である。
	施工する際は、水平に機械を設置できるだけのスペースが必要である。		
施工期間	2か月程度	2か月程度	1か月程度
施工費用	50～150万円程度	100万円程度	150万円程度
評価	△（施工困難）	×（施工不可）	○（施工可能）

※施工業者ヒアリング結果

今回施工する現場は、幅約2.5mと狭小な箇所であり、かつ、階段部のために勾配がついており、薬液注入工法等の機械据付に必要なスペースが確保できない。くわえて、表4のうち、埋戻し天端までの改良が可能である唯一の工法であることから、置換工法を選定した。

②確実な施工を行うための設計・施工条件

上記の置換工法により、確実な施工を行うために、下記条件で設計・施工を行うこととした。

- ・現状の埋戻し土については、バックホウ等を用いて軟弱層を含む全ての土を排土した上で、新たに改良土で埋戻しを行う。
- ・1層あたりの締固め厚は20cmとし、ハンドガイド式振動ローラー（0.8～1.1t）の転圧能力に相当する機械（起振力40kN程度）を使用する。
- ・3層（20×3=60cm）ごとに密度試験を実施する。品質管理基準においては、試験回数が下記のとおり規定されているが、確実に締固めが行われたことを確認するために実施頻度を多く設定する。

※前回の埋戻し工事では、基準上の試験回数は確保されていたものの、沈下した箇所における試験回数が少なく、実態を正確に把握するためには不十分であったことを踏まえて設定した。

《土木工事施工管理基準及び規格値（案）（平成30年3月 国土交通省）》

路体の場合は、1,000 m³につき1回の割合で行う（ただし、5,000 m³未満の工事は1工事当たり3回以上）。路床及び構造物取付け部の場合は、500 m³につき1回の割合で行う（ただし、1,500 m³未満の工事は1工事当たり3回以上）。1回の試験につき3孔で測定。

（2）補修工事の施工

前述の検討を踏まえ、補修工事を行った（工期：令和3年12月13日～令和4年8月9日）。

- ・ 締固め機械については、起振力40kN程度の「前後進プレート」と「タンピングランマー」を使用。
- ・ 3層ごと（20×3=60cmごと）に密度試験（砂置換法）を実施（埋戻し天端含めて計13回）。全ての試験において締固め度96%以上を確認した。



写真8 埋戻し施工状況写真



写真9 補修完了後開放写真

6 おわりに（今後の教訓）

前項までで記載したとおり、アンダーパス歩道部斜路付階段の沈下要因を調査し、沈下が再度起こらないように設計を行った上で、補修工事を実施した。

本事案で得られた知見や教訓を踏まえると、設計・工事の際に留意すべき点は下記のとおりである。

- ・ 施工前の試験によって適切な材料であることを確認したとしても、その後、施工完了するまでの管理状況により、材料の状態変化が起き得ることに留意の上で、材料を適切に保管管理すること。
- ・ 発生土を使用する場合、土質試験時の採取箇所によって土質が異なる可能性（材料ムラ）があることを認識し、土質試験結果のみに頼らず、目視や施工性等も含めて問題がないか、適宜確認すること。
- ・ 基準に適合した施工機械の選定、特に規格の違い等について留意するとともに、現場で十分な確認を行うこと。
- ・ 品質管理基準で規定されている試験の実施に当たっては、基準に記載されている内容を満足させるだけでなく、実施回数や位置については、各現場の状況や条件に合わせて適切に設定すること。

上記事項は、今回のような階段部での施工に限らず、工事全般において留意すべきことである。

今後の工事に当たっては、基準に適合した設計を確実に行うことはもちろんのこと、現場状況等を踏まえ、受発注者間で十分にコミュニケーションを取りながら施工を行うこととしたい。

本案件で得られた教訓が、今後の工事の設計・施工をより一層適正に実施する一助となれば幸いである。