

② 事故原因の究明（本編 第3章参照）

■ 事故発生時の状況

- 事故発生時、No.2落差マンホールの築造に先立ち、土砂崩壊防止のための土留め用の鋼製ケーシング立坑内の排水作業を完了し、交通誘導員が交通規制範囲の監視を行っていた。
- 3月9日より鋼製ケーシング内部の排水を実施し、3月11日午前2時30分に排水作業を完了。
- 同日午前6時7分に鋼製ケーシング及び覆工板の浮上を発見、午前7時16分に地表面から約13mの高さまで浮上。
- 鋼製ケーシング内への注水により、午後4時には浮上前の高さから約1.6mの地点まで沈下し停止。



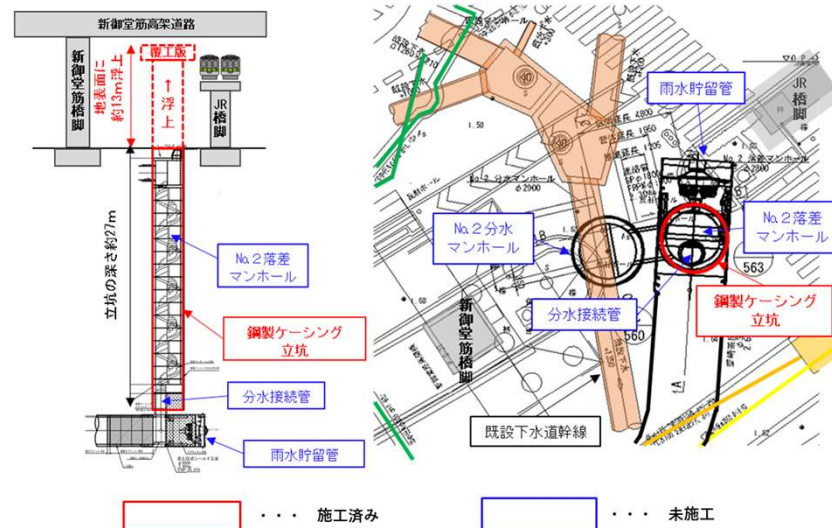
事故発生前



事故発生直後



注水後



浮上事故概略図

■ 鋼製ケーシング立坑の浮上に対する検討方法

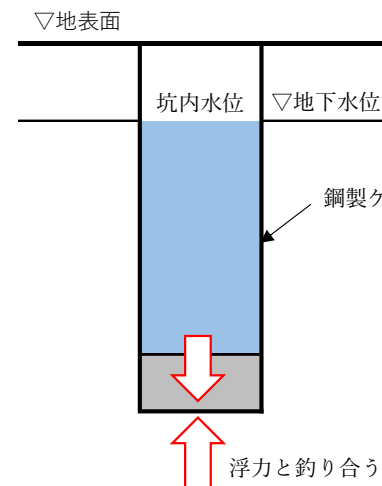
- 鋼製ケーシング立坑の設計では、立坑の自重（鋼製ケーシングと底盤コンクリートの重量）および鋼製ケーシングと地盤の間に作用する摩擦力の和が浮力を上回るように検討。
- 浮上に対する安全率 F_s は次式により定義。安全率は公的基準に準拠し、1.2を採用。

$$F_s = \frac{W + R}{U} \geq 1.2$$

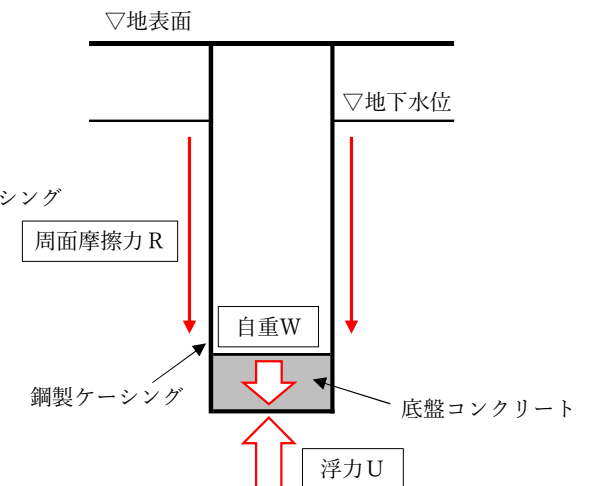
W：立坑の自重（鋼製ケーシング重量＋底盤コンクリート重量）
 R：鋼製ケーシングと地盤の間に作用する摩擦力（周面摩擦力）
 U：地下水位による浮力

- 立坑内の水抜きを行う際の鋼製ケーシングの浮上を防止するためには、所要の周面摩擦力が鋼製ケーシングに作用している必要がある。
- 事故発生立坑は、浮力に対して必要な作用のうち、7割を超える作用を周面摩擦力に頼る構造。

【水抜き前】



【水抜き後】

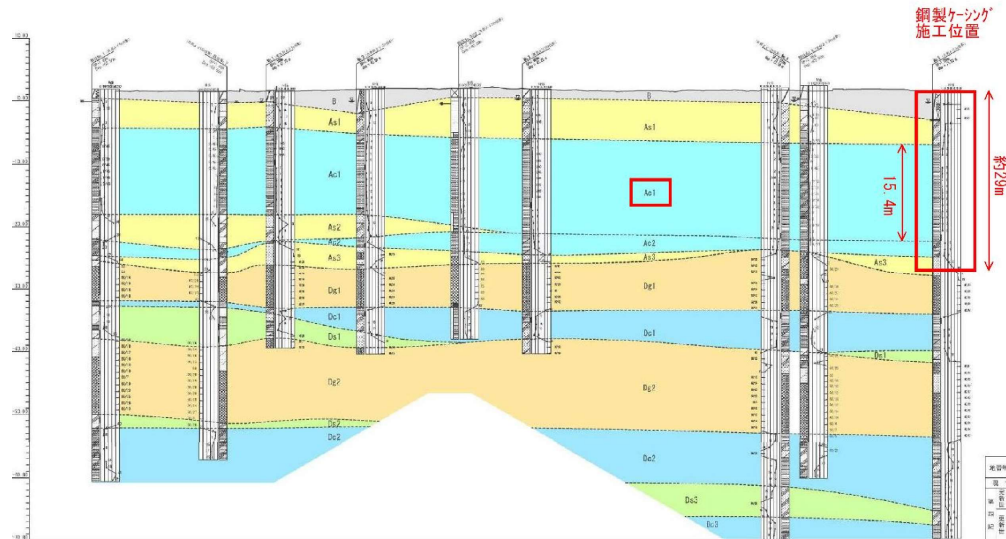


鋼製ケーシングに作用する荷重

② 事故原因の究明（本編 第3章参照）

■ 地盤・土質

- ・施工箇所は、軟弱な沖積粘性土層（Ac1層）が大部分を占める土層。
- ・Ac1層は、地山が崩れず自立する等の特徴を有する。



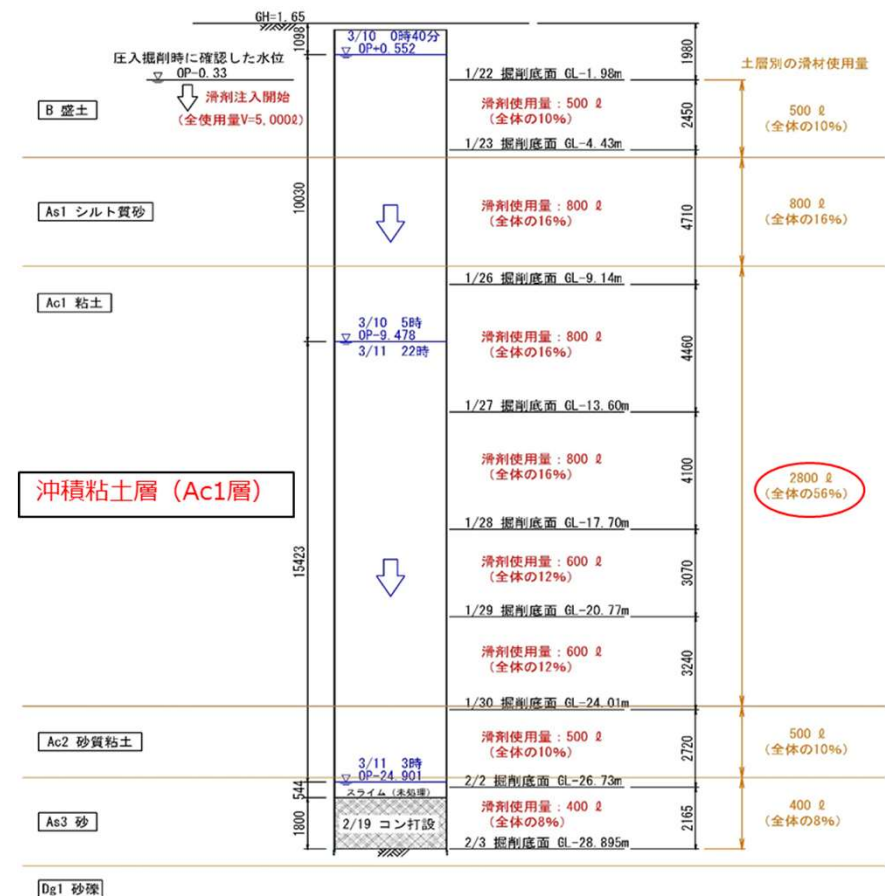
土質想定断面図

■ 工法選定

- ・本工事の鋼製ケーシング立坑は工事目的物（落差マンホール）を完成させるための仮設物。
- ・設計図書では、鋼製ケーシング立坑の施工方法を具体的に指定しておらず、工法の選定及び成立性の検討は受注者の責任で行う契約となっている。
- ・受注者が選定した工法は、連続する沖積粘性土層（Ac1層）での施工実績はなかった。
- ・受注者が選定した工法は、鋼製ケーシングと地盤が密着して周面摩擦力が自然回復することを前提としており、鋼製ケーシングと地盤の間に充填材を注入しない仕様であったが、摩擦力が回復する根拠について工法協会に照会したものの明確な根拠は示されなかった。
- ・受注者は、選定した工法の協会に技術的検討を依頼し、その検討結果を採用しており、施工実績や地盤の特性等を考慮せずに工法選定を行っていた。

■ 滑剤の使用

- ・鋼製ケーシング立坑において滑剤は、地盤との摩擦抵抗を低減し、圧入を円滑に行うことを目的に使用。
- ・滑剤の使用量は5,000Lであり、Ac1層への注入が使用量全体の56%を占めている。
- ・Ac1層は粒子が細かく粘性が強いいため、水を通しにくい特徴を有することから、滑剤が残存し、所定の周面摩擦力が発現しなかった可能性がある。



滑剤注入の施工実績

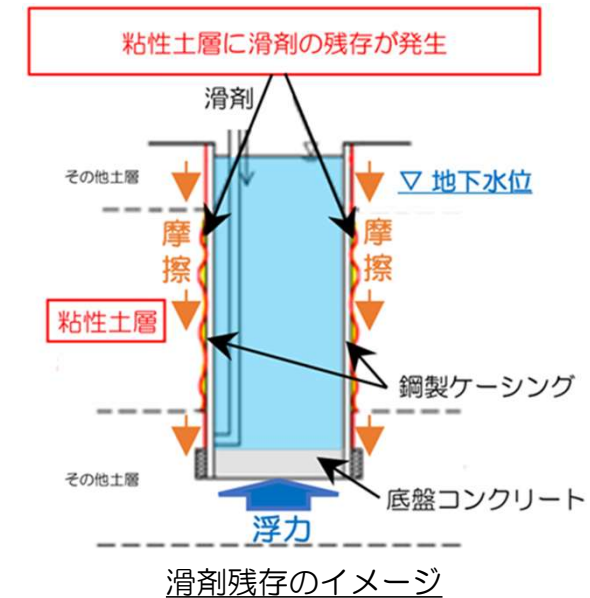
② 事故原因の究明 （本編 第3章参照）

■ 要因分析

- ・本事故は、鋼製ケーシング内部の水を抜いた（空洞化した）ことにより、鋼製ケーシング底部に作用する上向きの力（浮力）が下向きの力（立坑の自重及び鋼製ケーシングと地盤の摩擦力）を上回った結果、生じたもの。
- ・浮上の発生要因として考えられるのは、①立坑の自重、②周面摩擦力、③地下水位の3項目。
- ・①立坑の自重（鋼製ケーシングと底版コンクリートの重量）は施工記録より設計値以上が確保されていること、③地下水位については設計値と事故後の実測値に変動はないことから、設計条件と異なる可能性があるのは、②周面摩擦力。

■ 事故の原因

- ・本事故は、鋼製ケーシングの周囲に想定どおりの摩擦力が発現せず、自重（鋼製ケーシングと底版コンクリートの重量）では浮力に抵抗しきれずに浮上したもの。
- ・想定どおりの摩擦力が発現しなかった要因
 - 連続する粘性土層の自立性が高く鋼製ケーシングと地盤が密着しなかったこと
 - 施工時に使用した滑剤が地盤との密着を阻害した可能性があること
 - 施工時に生じる地盤と鋼製ケーシングの隙間を充填しなかったこと
- ・浮上量が増大した（被害が拡大した）要因
 - 浮力に対する抵抗力のうち摩擦力の占める割合が大きいこと
 - 鋼製ケーシング坑内の排水が短期間で行われたこと
- ・本事故は、受注者による地盤特性等の事前検討・リスク評価が不十分であったことが要因であることから、その責任は受注者にあると判断。



粘性土層（Ac1層）の土質標本

③ 再発防止策の検討（本編 第4章参照）

■ 再発防止策の方針

- 土質や滑剤・充填材使用等の施工条件を踏まえた周面摩擦力の評価が難しいことを踏まえ、安全側に立った浮上防止対策を講じる。

■ 事故発生要因を踏まえた安全対策

1）事故が発生した立坑（No.2落差マンホール）

- 本立坑は、充填材を注入せずに施工しており、浮上及び沈設後、鋼製ケーシング周囲の地盤の緩みを対象に地盤改良（薬液注入）による充填を実施したが、周面摩擦力がどの程度回復しているかは不明であり、確認する方法がない。
- 浮き上がり防止対策については、周面摩擦力を0と想定し、立坑の自重に加えて追加対策（グラウンドアンカーによる鋼製ケーシングの固定）を講じる。

2）本工事で今後施工予定の立坑（No.1 落差マンホール）

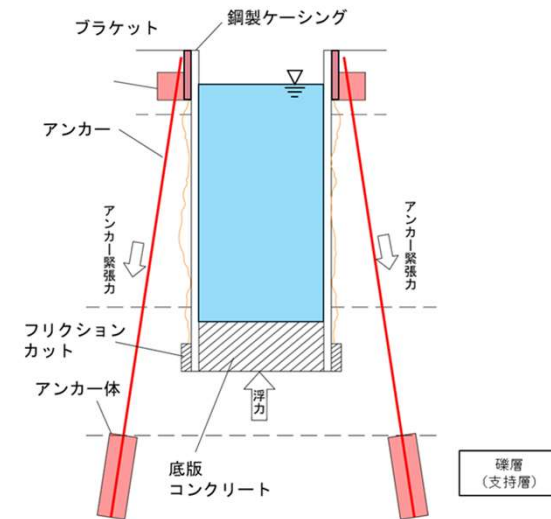
- 本立坑は、充填材を注入することを必須とし、立坑の自重及び周面摩擦力により浮力に対する安全性を確保する。
- さらに、受注者の判断による追加の安全対策として、グラウンドアンカーにより鋼製ケーシングを固定する。

③ 施工中の安全対策

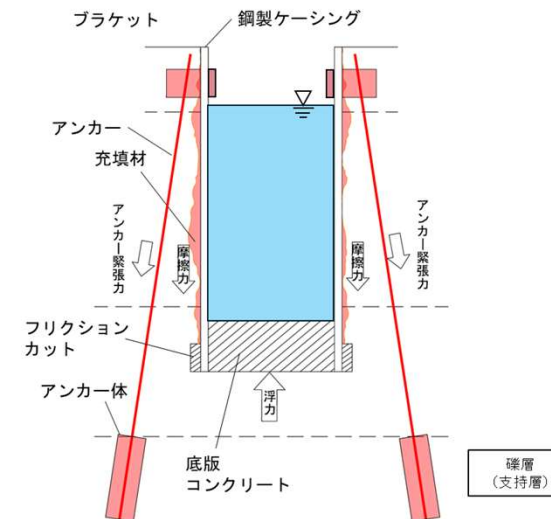
- 計画的かつ段階的な排水の実施
- 鋼製ケーシングの計測管理強化（浮上兆候の早期把握）
- 浮上時の抑制策（注水）

■ 今回の事故を踏まえた大阪市の取り組み

- 事故原因の分析により得られた新たな知見を基に、工法に係る条件（充填材の使用等）を設定するとともに、設計指針及び仕様書の改訂を行っていく。
- 事故発生工事において採用されていた工法は、下水道工事において広く採用されているため、本市の事故発生原因と安全対策について、関係機関等と情報共有し、広く周知していく。



No.2 落差マンホールの安全対策



No.1 落差マンホールの安全対策