

# 高速道路盛土における空洞発生要因の検証に対する X 線回折分析の適用事例

株式会社ダイヤコンサルタント ○中西 智哉、太田 雅之、田中 由美子  
 中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京株式会社 笹本 直之、石橋 円正

## 1. はじめに

X 線回折分析 (XRD 分析) は、一般に堆積物や岩石の構成鉱物の同定に用いられる。XRD 分析で得られる構成鉱物の同定結果は、岩石の種類の判定や含有粘土鉱物の種類を把握して地すべりのすべり面や弱面を抽出すること等に利用される。本稿では、XRD 分析を高速道路盛土の空洞発生要因検証へ適用した事例を紹介する。

## 2. XRD 分析の実施経緯と目的

対象地は、空洞が確認された火山麓扇状地堆積物上の高速道路盛土で、空洞発生要因の一つに降雨等の浸透水による盛土から原地盤への細粒分移動が想定された (図-1)。この仮説検証のため、これまでにボーリング調査、開削調査や土質試験等を実施した。しかし、ボーリングコア試料の観察や物理試験では細粒分移動の痕跡は確認できず、仮説検証はできていなかった。

そこで、盛土から原地盤へ細粒分移動の痕跡を鉱物の移動として確認するため、空洞発生箇所近傍で実施したボーリングで採取したコア試料の XRD 分析を深度1m 毎に実施した。併せて、降雨等の浸透水により細粒分が移動するかを検証するため、現地の地層構成 (盛土-原地盤) を再現した供試体で室内透水試験を行い、試験前後の供試体試料の XRD 分析で鉱物の移動の有無を確認した。

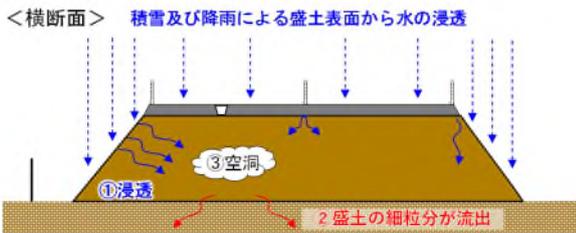


図-1 浸透水による空洞発生イメージ

## 3. 調査・分析・試験の流れ

今回実施した調査・分析・試験の流れを図-2に示す。

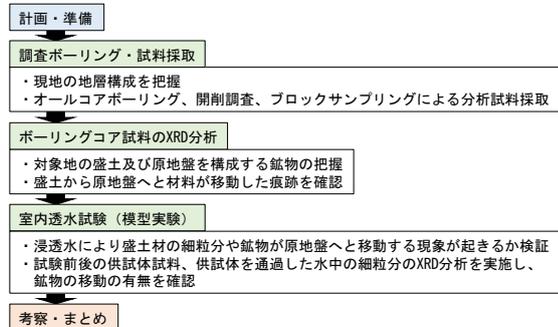


図-2 調査・分析・試験の流れ

## 4. XRD 分析方法と測定項目

XRD 分析は JIS K 0131 および JGS0251-2009 に一部準拠して実施し、測定には (株) 島津製作所製 XRD-6100 を使用した。今回実施した XRD 分析の測定条件を表-1に示す。

表-1 X 線回折分析の測定条件

X線	ターゲット: Cu 管電圧: 30.0kV 管電流: 20.0mA
スリット系	1.00° -1.00° -0.30mm
走査	駆動軸: $\theta-2\theta$ 走査範囲: (不定方位) 2-65° (定方位) 2-45°
	モード: 連続スキャン 走査速度: 2° /分
	ステップ: 0.02° 計数時間: 0.6秒

鉱物の同定に用いる既知鉱物の d 値は、PDF-4+ (ICDD データベース) を参照し、各鉱物の含有率は石英指数 QI (石英標準試料の回折ピークに対する各鉱物の回折ピークの比率) を基にした相対含有率で示した<sup>1)</sup>。

今回、礫 ( $\phi 2\text{mm}$ ) を除いた全粒子の鉱物組成を把握するために不定方位分析 (無処理) を行い、細粒分の鉱物組成、粘土鉱物組成の詳細を把握するために、礫・砂粒子に付着した細粒分 ( $\leq \phi 2\mu\text{m}$ ) を対象に定方位分析 (無処理) を行った。各種粘土鉱物判定のため、定方位分析 (エチレンジリコール処理・塩酸処理) を行った<sup>2)</sup>。

## 5. ボーリングコア試料の XRD 分析

### (1) 目的

ボーリングコア試料での XRD 分析は、盛土及び原地盤を構成する鉱物の確認、盛土から原地盤への材料移動の痕跡を確認することを目的として実施した。

### (2) 試験方法・手順

- ①試料採取: 分析に使用する試料は、オールコアボーリング (無水掘削) にて採取した。ボーリングは、空洞発生箇所近傍で実施した。コア試料からの試料分取は、コアチューブに接する箇所から他の試料が混じることを防ぐため、コア試料の周りを取り除きコア中心部から行った。
- ②XRD 分析 (試料測定): 測定は、不定方位分析を各孔1m ピッチで実施し、定方位分析を各孔盛土層の代表箇所で2試料ずつ、原地盤層の代表箇所でも3試料ずつ実施した。

### (3) 分析結果

XRD 分析で得られた代表的なコア試料の含有鉱物一覧表を表-2に示す。

表-2 代表的なコア試料の含有鉱物一覧

試料名	鉱物名 ※一部鉱物省略										
	スメクタイト	※一部カオリナイト	雲母類	沸石類	石英	斜長石	普通輝石	苦土かんらん石	普通角閃石	磁赤鉄鉱	磁鉄鉱
測定対象の土質	Sme	Chl	Mca	Zeo	Qz	Pl	Aug	Fo	Hbl	Mag	
0.65 砕石	△	△			◎	◎					
1.25 シルト混じり砂礫	△	△		△	◎	◎					
1.55 砕石	△	△Chl	(*)	△	◎	◎			△		
2.25 シルト質砂礫	△	△		△	◎	◎					
3.25 シルト混じり礫質砂	△	△		△	◎	◎					△
4.5 シルト混じり砂礫	△	△		△	◎	◎			△		
5.25 シルト混じり砂礫	△	△		△	◎	◎			△		
6.15 シルト質砂礫	△	△Chl	(*)	△	◎	◎			△		
6.75 シルト質礫質砂	(*)				◎	◎					△
7.25 シルト質礫質砂	(*)				◎	◎					△
8.25 シルト混じり礫質砂	(*)				◎	◎					△
9.25 シルト質礫質砂					◎	◎					△
10.25 シルト混じり礫質砂					◎	◎					△
11.25 シルト混じり礫質砂					◎	◎					△

※灰色着色欄は定方位測定対象のため不確定。  
 ※相対含有率: ◎少量 (石英指数 QI  $\geq 10.0$ )、○中量 (10.0 > QI  $\geq 5.0$ )、△少量 (5.0 > QI  $\geq 1.0$ )、●微量 (1.0 > QI)、(\*) 極微量

各層の含有鉱物には以下の特徴が確認された。

- ・原地盤層の試料は、火山麓扇状地堆積物起源の斜長石、普通輝石、苦土かんらん石、磁鉄鉱を主体とする。
- ・盛土層の試料には、原地盤に含まれる鉱物に加え、スメクタイト、緑泥石、カオリナイト、雲母類、沸石類、石英、普通角閃石と様々な鉱物が含まれる。ただし、原地盤に含まれる苦土かんらん石は含まない。
- ・含有鉱物の違いからも盛土層と原地盤層の境界が明確に確認できた。また、盛土層内でも材料の違いにより含有鉱物の違いが確認できた。
- ・盛土層中の鉱物が原地盤層に含まれる等、盛土から原地盤へ材料が移動した痕跡は確認されなかった。

## 6. 室内透水試験(模型実験)

### (1) 目的

室内透水試験は、地盤内への降雨等の浸透水により盛土材の細粒分や鉱物が原地盤へ移動するかを検証するために実施した。

### (2) 試験方法・手順

- ①試料採取：盛土試料は盛土法尻部での開削調査実施時にスコップ等で採取し、原地盤試料はブロックサンプリングにて室内透水試験に使用するモールドに採取した。
- ②供試体の作成(現地状況の再現)：試料を採取したモールドの上半分を取り出し、下半分のみ乱さないようにモールド内に残した。その後、盛土試料をモールド上半分に所定の湿潤密度  $\rho_t$  及び含水比  $w_n$  (盛土層の土質試験結果を参考に  $\rho_t=1.8\text{g/cm}^3$ ,  $w_n=16\%$ ) で詰めた。
- ③器具のセッティング

図-3に示すように器具をセッティングした。

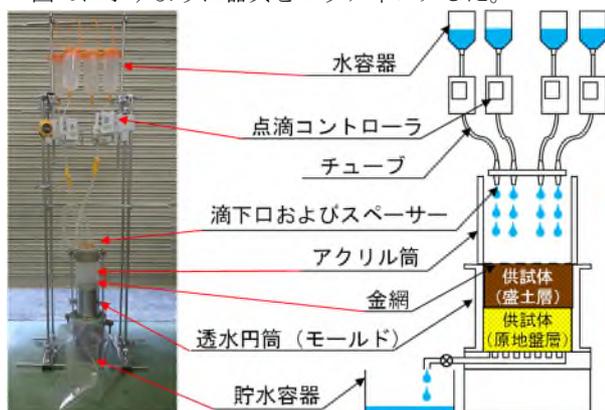


図-3 室内透水試験(模型実験)の模式図

- ④水の滴下：点滴コントローラにより所定の流量(調査箇所観測された最大時間雨量の65mm/hを想定)で水を滴下することで、降雨による水の浸透を再現した。供試体を通過した水は貯水容器にて採取した。
- ⑤透水試験後試料の観察及び採取：供試体半割後、断面を観察し、盛土層の試料が原地盤層に移動した痕跡があるか確認した。併せてXRD分析に用いる試料を分取した。
- ⑥XRD分析(試料測定)：透水試験前後の盛土層および原地盤層の試料を用いてXRD分析を行い、透水試験前後での含有鉱物の変化を確認した。供試体を通過した水中の

細粒分についてもXRD分析(定方位分析)を実施し、盛土材特有の鉱物が水中に流れていないか確認した。

### (3) 試験結果

室内透水試験では以下の結果が得られた。

- ・目視の観察では細粒分の移動は確認されなかった。
- ・試験前後の供試体試料において含有鉱物の変化は確認されなかったが、盛土層試料でスメクタイト、沸石類、斜長石の相対含有率の減少が確認された。(表-3)。
- ・供試体を通過した水中には盛土層にのみ含まれるスメクタイト、緑泥石、雲母類、石英の回折X線のピークが確認された(図-4)。

表-3 透水試験前後の供試体試料の含有鉱物一覧

試料名	鉱物名 ※一部鉱物省略									
	※一部 スメク タイト	※一部 緑泥石 カオリ ナイト	※一部 雲母類 ハロイ サイト	沸石類	石 英	斜 長 石	苦 土 かん らん 石	普 通 角 閃 石	磁 鉄 鉱 、 磁 赤 鉄 鉱	
試料名	Sme	Chl	Mca	Zeo	Qz	Pl	Fe	Hbl	Mag	
試験前 盛土試料	△	・	・	△	◎	○	・	・	・	
試験後 盛土試料	・	・	・	・	◎	△	・	・	・	
試験前 原地盤試料						△	・		△	
試験後 原地盤試料						△	・		△	

※相対含有率：◎多量(石英指数 $QI \geq 10.0$ )、○中量( $10.0 > QI \geq 5.0$ )、  
△少量( $5.0 > QI \geq 1.0$ )、・微量( $1.0 > QI$ )、(・)極微量

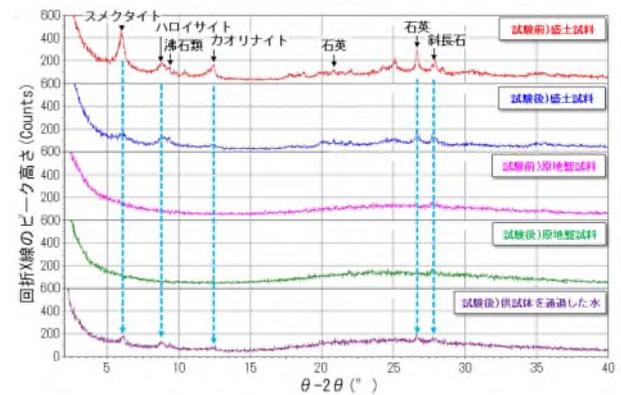


図-4 透水試験前後の供試体試料及び供試体を通過した水中の細粒分のXRD分析結果(定方位分析)

## 7. 考察・まとめ

高速道路盛土の空洞発生要因(細粒分の移動)の検証を目的として、ボーリングコア試料、室内透水試験(模型実験)前後の供試体及び供試体を通過した水中の細粒分のXRD分析を実施し、以下の結果が確認された。

- ・地層による含有鉱物の違いが明瞭に確認された。
- ・室内透水試験では、盛土層に含まれる鉱物が供試体を通過した水中に流れ出たことが確認された。

確認された細粒分が浸透水中に流出する現象が空洞発生原因として断定できなかったが、XRD分析によって目視や通常の土質試験では確認できない細粒分の移動を鉱物の移動現象として確認することができた。

### 《引用・参考文献》

- 1) 林正雄・山崎達雄：全岩X線粉末データの1表示法、日本地質学会西日本支部会報、69号、p.16、1979
- 2) 吉村直久編著：粘土鉱物と変質作用、pp.85-105、2001.3