

V-143

微生物が関与した地下コンクリート構造物の劣化事例

広島大学 学生員 ○寺西 修治  
 広島大学 正会員 河合 研至  
 広島大学 森永 力  
 広島大学 正会員 田澤 榮一

1. まえがき

広島市内のある地下コンクリート構造物が劣化しているという報告を受け、調査を行なった。広島市内の太田川デルタ地帯において、地下掘削工事中にしばしば硫化水素が発生することは以前から報告されている。ある調査では、硫化水素が GL. -4.8m 付近より発生しており、最大発生量は 2,400ppm が検知されている。硫化水素は、細菌類の作用等で硫酸に変化するし、また、セメント硬化体中の水酸化カルシウムと反応して水溶性の塩を作ること等などが考えられる。

そこで本調査では、劣化したコンクリートおよび構造物内に溜まっている水を採取すると共に、この構造物付近でボーリング掘削を行ない土壌および地下水を採取し、各種分析を行なった。また、微生物を採取し、その影響を検討した。

2. 調査方法

本調査では、まず地下埋設コンクリート構造物で劣化の認められる部分を外観目視観察を行ない、劣化状況を把握した。試験料の採取は、劣化

表-1 コンクリートの分析方法

示差熱・熱重量分析 粉末X線回折 可溶性塩分の定量 三酸化硫黄の定量	JCI SC 4 JIS R5202
---	-----------------------

表-2 水の分析方法

pH 陽イオン 陰イオン	フルム光度法 イソプロパノール
--------------------	--------------------

表-3 土壌の分析方法

pH 有機物含有量 塩化物含有量 硫酸塩含有量 酸化還元電位	JSF T 7 JSF T 9 JSF T 12 JSF T 13
--	--

表-4 nutrient ager の組成

肉エキス pepton glucose 寒天 蒸留水	10g 10g 10g 20g 1,000ml
--	-------------------------------------

部およびその周りのコンクリートをハンマーで砕くなどして採取し、また、構造物内に溜まっている水も採取した。それぞれ表-1 および表-2 に示すような分析を行なった。また、地下構造物付近の2箇所

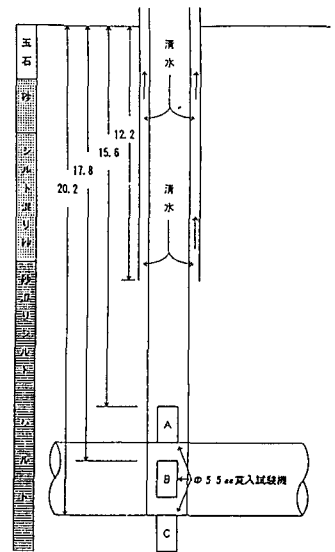


図-1 ボーリング孔の概要

3. 調査結果および考察

実態調査の結果、コンクリートの劣化状態を次のように分類できる。

- ① セグメント接合部でのコンクリートの軟化
- ② 歩床部のひびわれおよび骨材の露出
- ③ 結晶物質の析出および導水溝への堆積

これらのなかでまず、接合部でのコンクリートの軟化は、構造物外部から浸透してくる地下水の影響が考えられる。表-5 および表-6 に土壌および地下水の各種試験結果を示す。これらより、pH および各イオン濃度がかなり高い値を示していることがわかる。これは海水の侵入が考えられ、ここで求めた塩素

表-5 土壌の各試験結果

	pH	有機物含有量 (%)	Cl <sup>-</sup> (%)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (%)	酸化還元電位 (mV)
孔番1	8.12	7.21	0.298	0.0610	-108
孔番2	8.35	5.72	0.158	0.0924	-84

※ これらの値はそれぞれの孔番のB地点の値である

表-6 地下水の分析結果

	pH	陽イオン (mg/l)			陰イオン (mg/l)	
		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
孔番1	7.70	4,060	70	86	7,200	47
孔番2	7.65	1,860	102	45	3,700	43

※ これらの値はそれぞれの孔番のB地点の値である

イオンをすべて塩化ナトリウムが溶解したものと仮定すると、これらの土壌に含まれる水には約10~45%の海水が侵入していることになる。また、土壌から細菌類を分離培養した結果、これらの土壌中には59株中15株が硫化水素を生成する細菌であることがわかった。このような劣化を生じているコンクリートのモルタル部分のDTA・TGおよびXRD分析結果によると、表-7に示すように、軟化部でCa(OH)<sub>2</sub>は消費され、多量のCaCO<sub>3</sub>が生じている。これよ

り、軟化部ではCa(OH)<sub>2</sub>以外の鉱物も分解し、炭酸化されているものと推察される。

歩床部の劣化は、地下構造物内に溜まった、水の影響が考えられる。地下構造物内の水の試験結果を表-8に示す。ここに示すように各イオン濃度も高濃度であるが、特に硫酸イオンが高濃度になっているのがわかる。このような劣化を生じているコンクリートのモルタル部分のDTA・TGおよびXRD分析結果では、エトリンサイトおよび石膏は検出できなかったが、表-7に示すように、Ca(OH)<sub>2</sub>は消費され多量のCaCO<sub>3</sub>が生じていることから、この部分でもセメントの水和鉱物あるいは反応生成物が分解され、CaCO<sub>3</sub>が生じているものと推察される。

結晶の析出物のDTA・TGおよびXRD分析結果は、表-7に示すように、約90%がCaCO<sub>3</sub>(壁からの析出物およびつらはカルサイトであったが、溝の堆積物はアラゴナイトであった)であることがわかった。また、表-8より、この付近の水にはカルシウムイオンがかなり高濃度含まれており、コンクリート中からのかなりの溶出が考えられる。これは、周りの土壌が貝殻を含み有機質に富むものであるため、微生物による有機物の分解により二酸化炭素が発生し、これが地下水中に溶解して炭酸となり、これがコンクリート中のCa(OH)<sub>2</sub>と反応してCaCO<sub>3</sub>が析出したのではないかと推察される。

#### 4. まとめ

今回、調査を行なった地下埋設コンクリート構造物の劣化原因として、周りの土壌中に硫化水素を生成する細菌がかなりいること、また、この土壌は貝殻を含み有機質に富むので、この有機質の分解による二酸化炭素発生等の微生物の影響が考えられる。その他にも海水の影響が考えられるが、まだ不明な点も多く、現在採取した土壌および地下水、さらに細菌類によりシュミレート実験を行っており、今後さらに原因の究明に努めたい。

なお、ボーリング掘削は、(株)川崎地質に行なっていただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

表-7 モルタルのDTA・TG分析結果

試料番号		Ca(OH) <sub>2</sub> (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)
NO.1	硬化部	0.45	13.5
	軟化部	0	51.5
NO.2	硬化部	3.39	12.8
	軟化部	0	41.4
NO.3	健全部	0	31.9
	劣化部	0	30.9
NO.4	結晶部	0	88.5

※ 試料1, 2は、軟化部  
試料3は、骨材露出部  
試料4は、結晶析出部

表-8 構造物内の水の分析結果

試料番号	陽イオン (mg/l)			陰イオン (mg/l)	
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
NO.1	5,050	500	3.49	5,000	2,300
NO.2	4,660	1,200	4.57	2,900	530
NO.3	3,970	310	3.49	4,600	1,700
NO.4	4,900	290	460	9,100	1,100

※ 試料1, 2は、軟化部  
試料3は、骨材露出部  
試料4は、結晶析出部