下水処理施設における耐硫酸コンクリートの 2 年間の実環境曝露試験

大成建設(株)土木設計部	正会員	○上野恭宏	宇部興産(株)		藤野由隆
大成建設(株)土木技術研究所	フェロー会員	新藤竹文	東京都下水道局		武元貴裕
大成建設(株)土木技術研究所	正会員	荻野正貴	東京都下水道サービス(株)		林悦朗
大成建設(株)土木技術研究所	正会員	宮原茂禎			

１．はじめに

著者らは耐硫酸性が通常のコンクリートの 10 倍であるコンクリート（耐硫酸コンクリート）を開発し[1)]，複数の下水処理施設で曝露して耐硫酸性の検証を重ねている[2)]。下水におけるコンクリートの腐食環境は処理施設や処理槽ごとに異なるため，コンクリートの防食性能を評価する際には腐食環境を明らかにしておく必要がある。硫化水素濃度を通年で測定し，腐食環境を明らかにして行った耐硫酸コンクリートの曝露試験の経過を報告する。

２．曝露試験の概要

曝露試験は現在稼働中の下水処理施設（標準活性汚泥法）にて行った。施設の下水処理過程は「流入→沈砂池→第一沈殿池→反応槽→第二沈殿池→塩素接触槽→放流」であり，2013 年度の下水処理量は約 60 万 m^3/日，流入水の平均 COD は約 110mg/l，pH は約 7.1～7.8，平均水温は約 23.5℃であった。この第一沈殿池の気相部にコンクリート供試体を懸架し，その至近に拡散式 H_2S 濃度計（定電位電解式検知）を設置して曝露環境の硫化水素濃度を調査した（**図１，図２**）。第一沈殿池は階層式であり，有効水深は下段側で 4.0m，上段側で 3.7m である。

曝露したコンクリート供試体の種類と配合を**表１**に示す。場所打ちコンクリートを想定した配合は 3 ケースである。耐硫酸コンクリートの標準配合（以下「耐-標準」と称する）では，耐硫酸性付与剤，石灰石微粉末および石灰石骨材を使用した。3R 推進のため「耐-標準」に粒度調整した下水汚泥焼却灰を全セメント量に対して外割で 10%添加した配合を，「耐-焼却灰」とした。呼び強度 40 の通常コンクリートを，「比較用」とした。加えて，現地での養生期間の短縮を目的とし，プレキャスト（PCa）部材として使用した配合を「耐-パネル」とした。

「耐-標準」，「耐-焼却灰」，「比較用」の供試体寸法は 10cm 立方とし，材齢 28 日まで標準養生した後，曝露試験に供した。「耐-パネル」の寸法は 10×10×5cm とし，コンクリート打込み後 20℃室内に 3 時間前置きし，60℃で 3 時間蒸気養生を行なった。以降，材齢 28 日まで 20℃60%RH の恒温恒湿室に静置した後，曝露試験に供した。

図１　曝露試験の様子

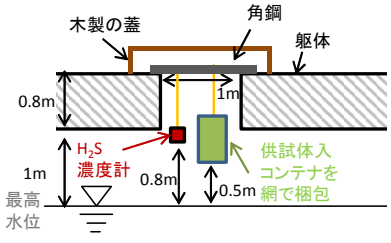


図２　曝露試験の位置

表１　コンクリート供試体の種類と配合

配合ケース	工法	単位量（kg/m^3） W	C	SA	LSP	S1/S2	G1/G2	A	PP（vol.%）	28 日圧縮強度（N/mm^2）
耐-標準	場所打ち	175	320*1	—	352	873	581	13	0.15	41.5
耐-焼却灰				32	262	961				48.8
比較用		174	420	—	—	645	1085	—	—	55.9
耐-パネル	プレキャスト	276	464	—	386	1063	—	20	1.5	32.6*2

W：水道水
C：普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm^3，比表面積 3290cm^2/g）
SA　：下水汚泥焼却灰（63μm ふるい 90%通過）
LSP：石灰石微粉末（密度 2.70g/cm^3，比表面積 4190cm^2/g）
S1：石灰石砕砂（表乾密度 2.62g/cm^3，耐-標準，耐-焼却灰，耐-パネル）
S2：山砂（表乾密度 2.64g/cm^3，比較用）
G1：石灰石砕石（Gmax：10mm，表乾密度 2.70g/cm^3，耐-標準，耐-焼却灰）
G2：硬質砂岩砕石（Gmax：20mm，表乾密度 2.69g/cm^3，比較用）
A：特殊化学混和剤（耐硫酸性付与剤ほか）
PP：ポリプロピレン繊維
＊1：石灰系膨張材を 30kg/m^3 内割で置換，＊2：材齢 14 日に測定

キーワード　下水，耐硫酸コンクリート，曝露試験，硫化水素，腐食環境
連絡先　〒163-0606　東京都新宿区西新宿 1-25-1　新宿センタービル　ＴＥＬ03-5381-5420

いずれの供試体も所定の養生後に，曝露面（10×10cm）の1面を除きエポキシ系の樹脂で被覆した。また「耐-標準」,「比較用」,「耐-パネル」では，施工目地を想定した供試体を曝露した（図３）。

３．曝露試験の結果

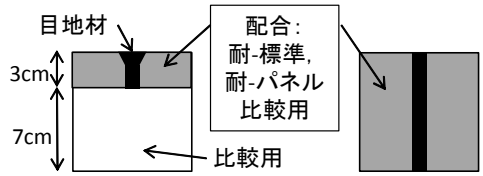
H_2S 濃度計により，15 分間ごとの平均 H_2S 濃度と平均温度を 1 年間連続して計測した結果を図４に示す。H_2S 濃度は 0～442 mg/l であり，年間の平均 H_2S 濃度は 40mg/l であった。温度は 6.4～30.8℃であり，年間の平均温度は 22.0℃であった。この結果は，日本下水道事業団のマニュアルの腐食環境分類においてⅡ類に相当する，比較的激しい腐食環境といえる[3]。3 ヶ月毎の H_2S 濃度と温度の平均を表２に示す。平均 H_2S 濃度は夏季に顕著に増加し，冬季の 7 倍であった。

曝露期間 2 年経過時点で，コンクリートの外観を調査した。「比較用」の端部はナイロンブラシで容易に除去できるまで脆弱化が進んでおり，脆弱部除去後には粗骨材が露出した（図５a)）。「耐-標準」「耐-焼却灰」「耐-パネル」では，いずれの供試体においても脆弱化は認められず，表層に堅固な層が形成した（図５b）～d)）。耐硫酸コンクリートは，硫酸との接触により緻密なセッコウ層を生成し，これが腐食を抑制すると考えられており[4]，今回の曝露試験においても，コンクリートの表層に形成した堅固な層により保護効果が得られたものと判断した。

目地を設けた供試体のうち，「比較用」では目地材の近傍で若干の欠損が確認されたが（図６a)），「耐-パネル」では欠損は確認されなかった（図６b)）。このことから，曝露 2 年においては，耐硫酸コンクリートは目地においても優れた防食性能を有する表面保護工法となると判断した。

４．おわりに

耐硫酸コンクリートの曝露試験を実施している第一沈殿池は，1 年を通じて測定した平均の H_2S 濃度が 40mg/l 程度であり，曝露 2 年間で比較用のコンクリートの粗骨材が露出するまでに表層の脆弱化が進むような比較的激しい腐食環境であることが確認された。このような腐食環境においても，耐硫酸コンクリートは優れた防食性能を有し，目地を含め優れた表面保護工法になり得ることが検証された。



a) 側面　　b) 曝露面

図３　目地を設けた供試体

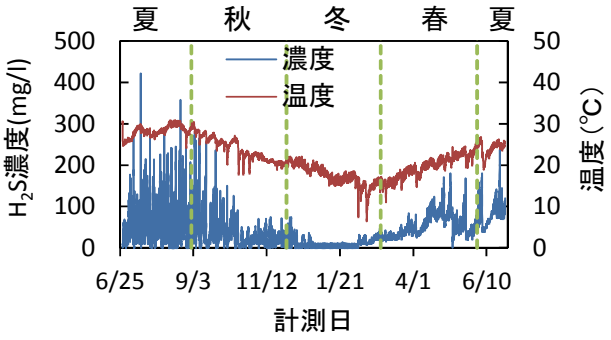
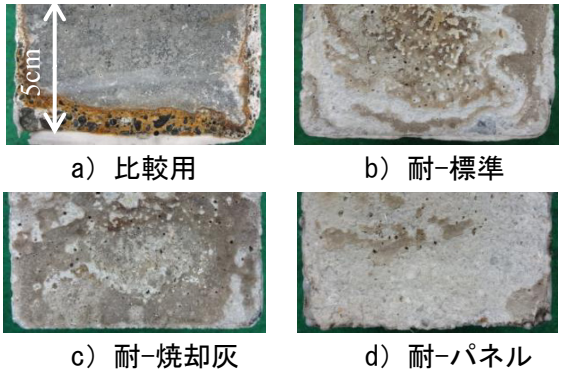


図４　H_2S 濃度と温度の計測結果

表２　各季節の H_2S 濃度と温度の平均

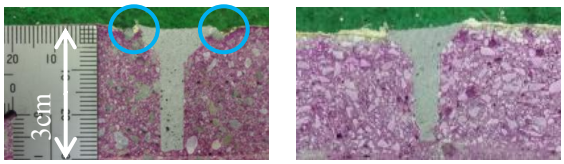
	H_2S 濃度 (mg/l)	温度（℃）
6～8 月（夏季）	64.5	26.9
9～11 月（秋季）	33.6	23.9
12～2 月（冬季）	9.3	17.4
3～5 月（春季）	50.7	19.6



a）比較用　　b）耐−標準

c）耐−焼却灰　　d）耐−パネル

図５　曝露 2 年の供試体の表面



a）比較用　　b）耐−パネル

図６　曝露 2 年の目地を設けた供試体の断面

参考文献

1)大脇英司，宮原茂禎，荻野正貴，上野恭宏，新藤竹文：大成建設技術センター報，第 48 号，pp.10-1～10-9，2015.
2)佐々木彰，高橋俊之，新藤竹文，遠山晃二：コンクリート工学年次論文集，vol.30，No.8，pp.633-638，2008.
3)日本下水道事業団：下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル，2012.
4)小西和夫，黒澤功，五十嵐秀明，須賀雄一：セメントコンクリート論文集，No.57，pp.315-320，2003.