

各種埋設型枠を用いたコンクリート部材の温泉暴露試験

九州工業大学 正会員 山崎 竹博 正会員 出光 隆
同 上 学生員 江崎 純 正会員 渡辺 明

1. まえがき

環太平洋火山帯に属する日本には多くの温泉地があり、観光やレジャー施設も多い。これらの地域では地下水に各種のイオンが含まれ、コンクリート構造物の劣化を生じることが多い。特に硫酸イオンを含む温泉ではコンクリート中にカルシウムサルホアルミネートが生成し、その膨張による腐食は著しい。本研究では省力施工の観点からポリマーコンクリートパネルを埋設型枠に使用し、コンクリートの防食を試みた。ポリマーコンクリートパネルにはポリエステルレジンコンクリート(REC)およびメチルメタクリレート含浸コンクリート(PIC)を用い、エポキシ樹脂で接着して型枠を作製した。型枠にコンクリートを打設した後RECモルタルで密閉し、別府明礬温泉に4年間暴露して劣化状況を調べた。

なお、本研究は先に報告した1年間暴露試験を更に継続実施したものである。

2. 実験概要

供試体：噴気のある温泉土壤中に表-1に示す6種類の角柱供試体と円柱供試体を横方向に半分まで埋め、6カ月、1、2、4年後の腐食状況を測定した。埋設型枠パネルを図-1に示す。パネル供試体にはコンクリートの長さ変化を吸収できるように中央部にシリコンゴム目地を設けた。放置条件：暴露場の土壌成分を表-2に示す。地表温度は1年までは50℃以上であったが、その後2年まで噴経路が変わったため20℃程度に低下した。そこで、2年目の試料採取後暴露場に噴気管を引き、再び1年目と同様の温度条件とした。

表-1 供試体の種類

M	4×4×16cm
REC-M	(角柱モルタル
PIC-M	供試体)
C	10×10×40cm
PIC	(角柱コンクリ
REC	ート供試体)
PIC-P	15×15×50cm
REC-P	(パネル供試体)

3. コンクリートの腐食機構

暴露後のコンクリートの腐食進行状況を図-2に示した。

(a)：腐食初期には、温泉水が蒸発濃縮される地表面付近の供試体表面が褐色に変色し、他の部分は健全である。(b)：変色部分が白色化し腐食が進行して行くと、白色層と健全部との境界に鉄分の酸化層と考えられる褐色層が形成される。^{2) 3)}
(c)：褐色層から深部では外気との接触条件によって別のタイプの腐食が進行する。すなわち、地中にある場合や接着面が剥離したパネルで覆われた場合など、温泉水は供給されるが外気とは直接接しない部分では褐色層の内側に黒色層の増大が見られる。(d)：外気に接する部分では白色層が膨張し、粉末化して行く。黒色層は緻密で膨張を起こさず、褐色層より外側の白色化に伴い徐々に侵食される。

供試体の断面の元素をEPM Aによって分析した結果、図-3のように黒色部分には硫黄が濃縮され、黒色層より深部にもわずかに硫黄の浸透が見られる。また、骨材中の鉄元素は黒色部分で浸出し減少していた。白色部はX線回折の結果石膏が大部分であった。そこで、石膏化した白色部と黒色部、供試体付着土、放置場所土壌の水素イオン濃度および含有SO₃量をJIS-A-5011 付属書に従って求めた。その結果を表-3に示す。暴露前の供試体のSO₃量はモルタルで0.68%、コンクリートでは0.39%であっ

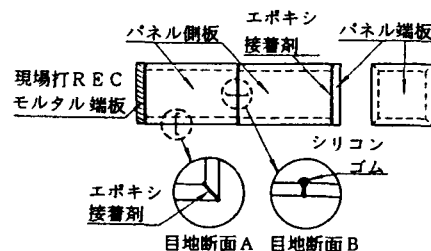


図-1 埋設型枠パネル

表-2 表土成分

成分	含有率%
SiO ₂	71.8
Fe ₂ O ₃	0.46
Al ₂ O ₃	4.51
CaO	1.26
MgO	0.09
SO ₃	3.67

表-3 SO₃含有量とPH

試料	SO ₃ 量	PH
放置土	0.59%	2.75
付着土	1.11	2.50
石膏部	8.23	4.00
黒色部	1.46	8.65
健全部	0.54	12.37

たので、同表の値は黒色部では3.8倍、石膏化部分では21倍もの濃縮量に達する。健全部にもわずかに増加が見られる。

4. 腐食による重量減少率

防食用埋設型枠に使用したP I C、R E Cおよびセメントの4×4×16cm角柱モルタルおよび円柱コンクリートの腐食による重量減少率を測定した。その結果を図-4に示す。角柱モルタル供試体は寸法が小さいため4年後に健全部がほぼ消失し、P I C供試体でも40%の重量減少率を生じた。これに対し不飽和ポリエステルを用いたR E Cの重量減少率は見られなかった。

5. P HおよびS O₃の経年変化

硫酸塩を含む温泉地でのコンクリート劣化がS O₃の濃縮によって生じることが確認できたので、コンクリート内部のS O₃量および水素イオン濃度の経年変化と劣化との関係を調べた。その一例として10×10×40cm供試体の石膏化部分、表面から2cm毎の試料におけるS O₃量、P Hの経年変化を図-5に示した。両図からコンクリート中のS O₃量が1%を越えるとP Hは12以下に低下し、劣化の危険性を生じる。また、1.5%以上では外気に触れない部分に黒色変色部を生じP Hは8程度となる。このことから、フェノールフタレンによる中性化試験で赤色反応を呈しても硫酸イオンによる劣化に対して安全であるとは言いきれず、P H12.2程度以上を確認することなどが必要である。

石膏化した腐食部分のS O₃は若材令である程その含有量が高く、放置後6カ月での含有量20%は徐々に低下し、4年後には5%程度となったことが分かる。

6. パネルによる防食効果について

埋設型枠を使用した供試体は原則的に型枠が腐食してしまうか接着部が剥離しない限り内部のコンクリートの劣化は生じない。本実験ではパネル接合部に使用したエポキシ樹脂が1年程度で灰白色から褐色に変色し脆性化した。このため、接着表面の滑らかなR E Cパネルでは一部が剥離し、内部に黒変部が生じた。

以上、R E Cパネルの埋設型枠への応用は省力施工を兼ねた有効な防食法と考えられるが、その接着方法に改善が必要である。参考文献

- 1) 山崎博・出光隆・丸山廣, マリマ-コンクリートパネルを用いた温泉地区コンクリートの防食に関する研究, 土木学会第43回年次学術大会第5部, pp. 262~263.
- 2) 日崎和江・森志洋・野中賢博・野田修司, 微生物腐食を受けたコンクリートの電化学的研究(1)ジャロサイトの存在とその生成機構, 樹林科学, 第30巻, 第2号, pp. 91~100, 1990.
- 3) 日崎和江・野中賢博・森志洋・野田修司, 微生物腐食を受けたコンクリートの電化学的研究(2)モルタルの微生物腐食実験, 樹林科学, 第30巻, 第3号, pp. 178~186, 1990.

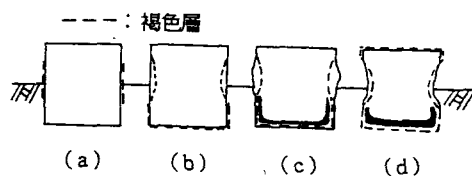


図-2 腐食の進行状況

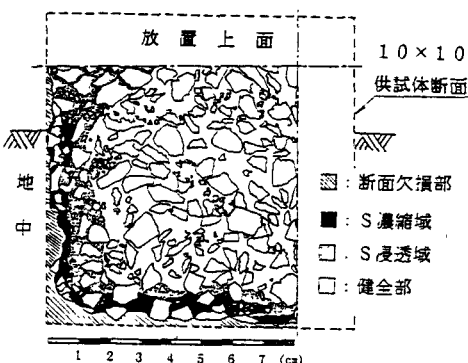


図-3 硫黄元素分布図

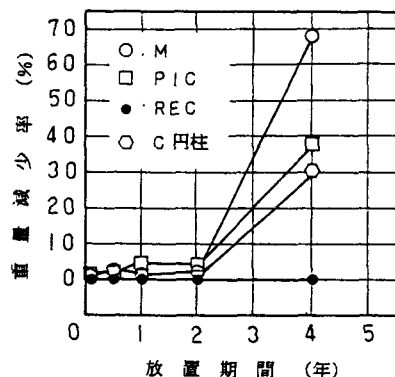


図-4 重量減少率の経年変化

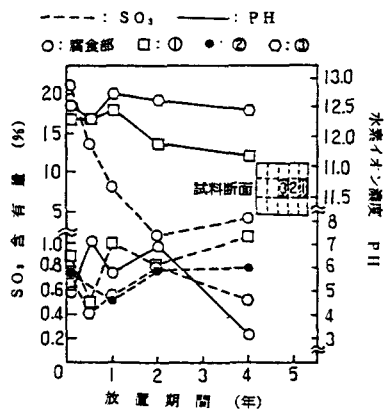


図-5 P HおよびS O₃の経年変化