

V-155

温泉地帯における鉄筋発錆に関する研究

九州大学工学部 学生員 上原康之 正会員 松下博通
 ショーボンド建設 正会員 武重雅彦 正会員 岳尾弘洋
 シーティアイ新技術 正会員 佐藤俊幸

1.はじめに

コンクリート構造物は、温泉等による酸性地盤・硫酸性土壌という立地地盤環境下において浸食を受けるため、その耐久性が問題になっている。これまで、硫酸イオンがコンクリートに及ぼす影響については多数報告されているが、内部鉄筋に対する影響については検討がなされていない。

そこで本研究では、土壌中の酸および硫酸イオンがコンクリートおよび鉄筋に及ぼす影響の程度を調べるため、3年間に渡って、鉄筋コンクリート供試体の硫酸性温泉土壌暴露試験を行った。

2.試験方法

2-1 供試体

本試験では、内部鉄筋の発錆速度に及ぼす因子としてW/C（45,55,65%）、かぶり厚さ、およびひび割れの有無を取り上げ、10cm×10cm×40cmの鉄筋コンクリート供試体を作成した。鉄筋は、SD30A・D10（①～⑦）を図-1のように配置した。ひび割れ入りの供試体は、型枠底面（C面）側に、曲げ載荷により、載荷時0.2mm・除荷時0.03mm程度のひび割れを発生させた。供試体のひび割れの有無は、有りをC・無しをNと記号表示する。

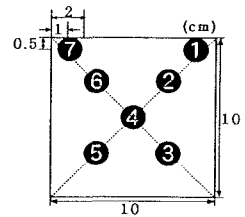


図-1 鉄筋の配置

2-2 暴露環境および暴露試験方法

今回、暴露試験場所として選定した別府明礬温泉土壌は、酸（硫酸）による腐食環境が厳しい所である。

1.5年経過後の暴露場所の土壌成分分析結果を表-1に示す。これを見ると、表土では、 H^+ 濃度がGL-30cの濃度に対し約7倍、 SO_4^{2-} が同じく約20倍

存在している。この原因としては、土表面の水分蒸発による塩の濃縮や、好気性バクテリアによる酸化の影響が挙げられる。すなわち、表土付近がコンクリートにとって最も厳しい腐食環境になることが予測できる。供試体は、図-2に示すように、角柱供試体の下半分を土中に埋設し、気中・境界部（土壌表層部）および土壌中の環境の影響を一度に調べられるように暴露した。そして、0.5年、1.5年、3年暴露後、供試体を回収して、コンクリート内部および内部鉄筋の劣化状況を測定した。

表-1 土壌成分分析結果

項目	PH	含水比 (%)	SO_4^{2-} (mg/kg)	Na^+ (mg/kg)
試料名				
表土	1.7	53.7	78400	187
明礬温泉 土壌				
-10cm	2.3	70.6	7870	19
-20cm	2.6	72.7	3310	7
-30cm	2.5	80.6	3730	6

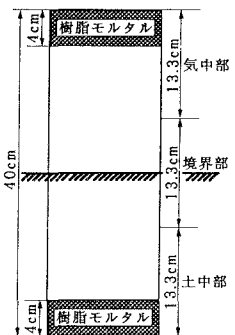


図-2 供試体埋設状況

3.試験結果および考察

3-1 コンクリートの浸食深さについて

回収供試体を長手方向に切断し、図-3に示すように、1cmピッチで温泉成分によるコンクリートの溶出深さと、フェノールフタレイン1%エタノール溶液噴霧により判定した中性化深さを求め、両者の合計を各測点における浸食深さとした。各部における浸食深さの測定結果（3年暴露後）を図-4に示す。これは、土壌表層部において、最もコンクリートの劣化が進んでいることを示しており、先に土壌の成分分析から述べた腐食環境の厳しさと符合していると言える。

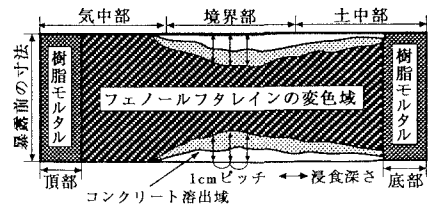


図-3 浸食深さ測定方法

次に、暴露期間とコンクリートの浸食深さの関係を図-5に示す。W/Cと劣化速度の関係をみると、土中（ SO_4^{2-} 濃度：約0.33%）では、W/Cが上昇するにつれて浸食深さが上昇する傾向を示している。しかし、境界部（ SO_4^{2-} 濃度：約7.8%）では、W/C55%と65%について、1.5年の結果以外に大きな差が出ず、ほとんど同一の結果となった。このことは、 SO_4^{2-} 濃度が極端に高くなると、高W/Cコンクリートは使用できないことを暗示している。また、この実験だけでは明らかにできないが、 SO_4^{2-} 濃度が極端に高い場合、あるW/Cを超えると、W/Cと劣化速度の関係において直線性が失われるものと考えられる。

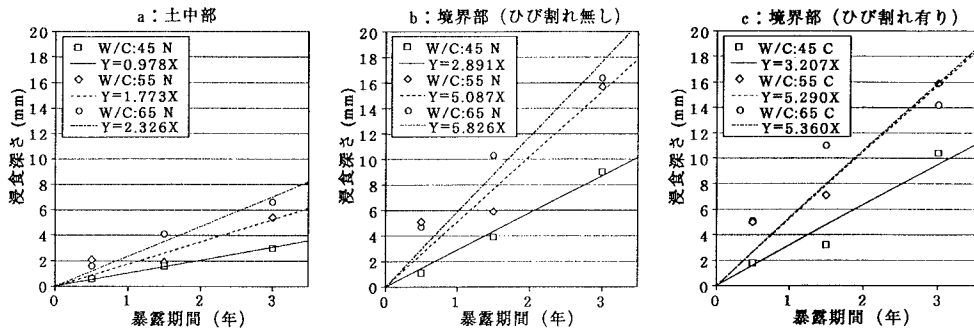


図-4 3年暴露後の浸食深さ

図-5 暴露期間とコンクリートの浸食深さの関係

3-2 コンクリートの劣化と内部鉄筋の腐食の関係

フェノールフタレイン法で判定したコンクリートの侵食深さが、鉄筋位置に届けば内部鉄筋に錆が認められる。しかし、本方法で侵食していないと判定した暴露1.5年のW/C:65 Nの場合でも、鉄筋の錆が生じている。EPMAにより硫黄化合物の存在を判定すると、表-2に示したように、鉄筋位置以上に侵入していた。このことにより、コンクリートが中性になる以前に、硫黄成分により鉄筋の発錆が始まるということが明らかになった。そこで、硫黄侵入深さ測定法の簡便化を図るために、フェノールフタレイン法で求めた結果との係数を求めた。その結果、硫黄侵入深さの表-2に示したデータの総和から求めた浸食深さに対する係数は、1.4倍であった。また、ひび割れ部の暴露位置が土壌表面にあるため、温泉土壌に含まれる成分により、ひび割れ部は部分的に深く劣化することが予測される。実際、内部鉄筋の腐食がひび割れ供試体に早く発生していることはひび割れの影響を暗示しているが、暴露0.5年のEPMA以外は、明確なひび割れ線が確認できなかった。このことは、EPMA試験片のサンプリング方法に問題があり全ての試験片がひび割れ部から採取できなかったことによる。

4.まとめ

- ① 硫酸性温泉地盤では、硫酸イオンが表土に濃縮し、劣化環境がより厳しくなる。
- ② フェノールフタレイン法によるコンクリートの浸食が鉄筋位置に到達する前に、内部鉄筋の腐食が始まる。
- ③ 硫黄化合物の侵入深さの簡便な求め方は、フェノールフタレイン法で求めた浸食深さの1.4倍である。

【参考文献】

松下博通、松藤泰典、菅伊三男：自然環境下でのコンクリートの性能研究委員会報告、自然環境とコンクリートの性能に関するシンポジウム論文集（日本コンクリート工学協会）、pp.371-376,1993

表-2 浸食深さ、硫黄侵入深さ、鉄筋発錆面積

	測定項目	0.5年	1.5年	3年
W/C:45 C	C面最大浸食深さ mm	2.2	4.2	12.1
	硫黄最大侵入深さ mm	4.1	6.5	18.0
	鉄筋③発錆面積 cm ²	0	0	0.2
W/C:45 N	C面最大浸食深さ mm	1.6	4.2	12.0
	鉄筋③発錆面積 cm ²	0	0	0
W/C:55 C	C面最大浸食深さ mm	5.4	7.8	17.6
	硫黄最大侵入深さ mm	10.2	12.5	19.7
	鉄筋③発錆面積 cm ²	0	0	6.5
W/C:55 N	C面最大浸食深さ mm	5.4	6.2	17.8
	鉄筋③発錆面積 cm ²	0	0	5.0
W/C:65 C	C面最大浸食深さ mm	5.4	12.5	17.6
	硫黄最大侵入深さ mm	7.5	15.5	24.6
	鉄筋③発錆面積 cm ²	0	4.1	7.1
W/C:65 N	C面最大浸食深さ mm	6.8	10.7	17.4
	鉄筋③発錆面積 cm ²	0	0	2.6