



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Corrosion Resistance of Steel Reinforcement in Fly Ash Concrete under Chloride Penetration [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Zafar, Idrees
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12023号
Issue Date	2015-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/59932
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Idrees_Zafar_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 Idrees Zafar

審査担当者 主 査 教 授 杉山 隆文
 副 査 教 授 横田 弘
 副 査 教 授 石川 達也

学位論文題名

Corrosion Resistance of Steel Reinforcement in Fly Ash Concrete under Chloride Penetration
(塩分浸透を受けるフライアッシュコンクリートの鉄筋腐食抵抗)

石炭火力発電所から副産される石炭灰は、わが国でも年間 1000 万トンを超えるまでになっている。石炭灰の中でもフライアッシュは、比較的品質もよくコンクリート用の混和材としてこれまで用いられているが、積極利用までには至っていない。フライアッシュの積極利用は、環境負荷低減の観点からも非常に重要な課題となっている。そこで、橋梁等の一般的な鉄筋コンクリート構造物へのさらなる普及拡大が必要であり、フライアッシュコンクリートの耐久性を的確に把握することが重要である。特に、鉄筋腐食を伴う塩害は、海岸・海洋地域や凍結防止剤を散布する寒冷地では深刻な問題である。フライアッシュコンクリートの塩害については多くの研究がなされているが、合理的な耐久設計を確立するまでには至っておらず、フライアッシュコンクリートの鉄筋腐食に対する抵抗性を詳細に調査することが求められている。そこで、本研究では、コンクリート中の鉄筋腐食の開始時期を的確に測定できる新しい測定方法を採用するとともに、腐食診断器として分極抵抗法を併用することで、フライアッシュコンクリート中の鉄筋腐食を詳細に調べた。

コンクリート構造物の耐久設計では、潜伏期および進展期に分けて考えることから、先ずコンクリート外部から塩化物イオンを浸透させる実験を通じて、鉄筋表面の塩化物イオン濃度と鉄筋腐食との関係を調べた。供試体の寸法と形状は、100×100×400 mm の直方体であり、公称直径が 19 mm の異型鉄筋を 2 本配置して、JIS A6201 に規定された 種フライアッシュを用いた鉄筋コンクリート梁を作製した。また、一部の供試体には丸鋼を用いた。そして、普通ポルトランドセメントの 15% または 30% をフライアッシュで置換したフライアッシュコンクリートを研究対象とした。養生日数の影響を調べるために、養生日数は 28 日および 91 日とした。本研究では各配合で 1 つの供試体種類につき、5 体の同一供試体を作製することで、測定結果の平均値の精度を向上させた。その結果、置換率を 30% としたフライアッシュコンクリートでは、鉄筋腐食開始の閾値となる塩化物イオン濃度 (限界塩化物イオン濃度) は、結合材質量比で 0.41% となり、普通コンクリートの 0.71% よりも小さくなり、既往の研究のようにフライアッシュを置換することで、限界塩化物イオン濃度は小さくなることを確認した。しかし、養生日数を 91 日間とすることで、0.66% まで増加しており、養生効果が大きいことを明らかにした。さらに、91 日間養生したフライアッシュコンクリート中の丸鋼鉄筋は、塩化物イオン浸透期間が 7 年を経過しても腐食しておらず、優れた抵抗性を有することを明らかにした。これは、塩化物イオンの拡散係数が小さいことや電気抵抗が大きいこと、さらにコンクリートと鉄筋表面の界面に気泡や空隙などが存在しないことが原因と考察した。さらに、かぶりを大きくするよりも養生期間を増加させることの効果が大きいことも明らかに

した。

腐食が生じている進展期における腐食抵抗性は、フライアッシュコンクリートでは、腐食面積率と腐食による鉄筋の孔食の関係が普通コンクリートと同様であったが、養生期間が増加するとフライアッシュコンクリート中の鉄筋で孔食の深さが増加する傾向があることを示した。しかし、逆に、曲げひび割れを導入したフライアッシュコンクリートでは、腐食開始までの期間は普通コンクリートとほぼ同じであったが、塩水供給と乾燥を繰り返して 106 日後に測定した腐食速度は小さく、鉄筋の孔食の深さは普通コンクリートと比較して減少した。ひび割れを閉塞するように生成物が観察されたことと電気抵抗が大きいことが原因と推察された。

実験を検証するために、供用後 40 年が経過した実構造物を調査結果から、スケーリングや断面欠損は認められたものの、自然電位や分極抵抗の測定値からは、腐食発生は認められず、コア採取の際に内部鉄筋を観察した際にも腐食は生じていなかった。フライアッシュを用いることで塩化物イオンは表面から 50 mm までしか浸透しておらず、鉄筋位置には到達していないことが原因であると考察した。

以上を要するに、本研究はフライアッシュを用いてセメントの一部を代替したコンクリート中の鉄筋腐食に対する抵抗性を実験的に調べたものであり、養生期間を増加することで、限界塩化物イオン濃度が増加することを明らかにし、かぶりよりも養生期間の増加の方が効果を発揮すること、フライアッシュコンクリートと鉄筋表面の界面を改善することで、優れた腐食抵抗性を有することを明らかにした。また、供用後 40 年が経過した実構造物でも塩害に対する抵抗性が大きいことを検証しており、フライアッシュコンクリートの鉄筋腐食抵抗性に関する貴重な知見を提示し、建設材料学およびコンクリート工学の発展に対して貢献すること大なるものがある。よって、著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。