
 討議

 三浦一郎・杉木六郎：フライアッシュを混和したモルタル
中の鉄筋のさび

(シンポジウムの席上におけるもの)

討議者：国分正胤*

フライアッシュがコンクリート中に埋込まれた鉄筋の腐蝕におよぼす影響は、重要な研究題目であります。土木方面ではあまり研究されておりません。三浦・杉木両氏の研究が最初の発表ではないかと思います。先鞭をつけられた両氏に敬意を表します。

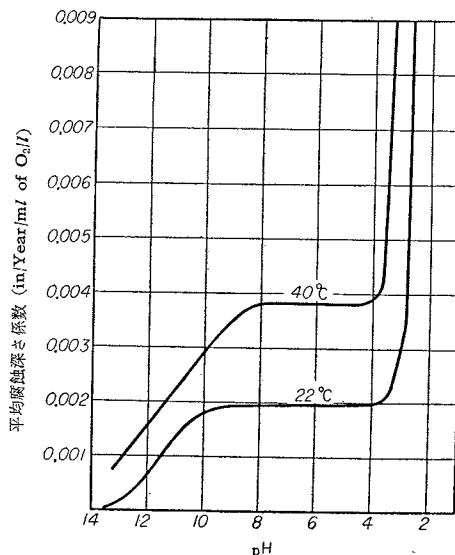
この研究に土木方面が無関心であった理由は、所要の品質をもつウォーカブルなコンクリートを入念に打込み締固め十分に養生する場合には、フライアッシュの有無にかかわらず、コンクリート中の鉄筋が錆びるおそれはほとんどないと信じていることによるものであります。しかし、御承知のようにフライアッシュのJIS**には、その末尾に“鉄筋コンクリートの建築物は、一般にかぶりが少なく、コンクリートの養生条件も十分でない場合があるから、その地上部分にフライアッシュを用いるときは、かぶりの厚さの増加、調合の改善などに注意すること”的付記があります。この付記に関しては工業技術院のフライアッシュ専門委員会で長期にわたり論議が交されたのであります。委員長の吉田徳次郎先生も最初は、“使用上の注意を規格に付記することは、砂糖の規格に‘食べ過ぎると胃病になるから注意すること’と付記するようなもので不合理である”と反対されておられました。しかし、最後にこれを認められたいきさつは次のとおりであります。

付記は東大教授の浜田 稔委員の提案によるものですが、同委員の主張は、“コンクリートが外気に曝されると、空気中の炭酸ガスが除々にコンクリート中の水酸化石灰に吸収され、従ってアルカリ性であったコンクリートは表面から内部に向って次第に中性化してゆく。フライアッシュを添加すると炭酸ガスによる中性化が促進される。中性化すればコンクリートに埋込まれた鉄筋は錆び始める。鉄筋が錆び始めても、直ちに建築物が崩壊するのではなく、発錆が進行してかぶりコンクリートが剥落し、居住に堪えなくなるまでには、なお幾年かを要することは当然である。しかし、この間に大きな地震でもあれば非常に危険となる。建築部材の構造計算における鉄筋の短期許容応力度は 2400 kg/cm^2 であるが、建築物に最も多く用いられる丸鋼 SS 39 の降伏点はこの値と大差ない。従って鉄筋が発錆して断面が減少すれば、設計計算で考慮した地震力には堪えないことになる。”というものであります。

この論旨に対して九大名誉教授の張 玄彦委員は、“(i) フライアッシュを加えてコンクリートを造ると、セメントの水和によって遊離した水酸化石灰と、フライアッシュ中の可溶性珪酸および蒙土とが化合するから、コンクリートの中性化が促進されることは当然である。しかし、コンクリートが中性化したらただちに鉄筋が錆び始めると断ずるのは軽卒である。コンクリートが中性化しても鉄筋が錆びるとは限らないのであって、

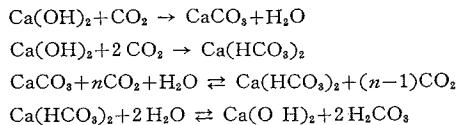
水と空気の接触が遮断に近い場合には鉄筋は錆びない。鉄筋の発錆はコンクリートの中性化よりもきわめて遅いと思われる。Ryan の論文¹⁾によても、pH 4 以下の酸性の場合には錆びは急激に起こるが、コンクリートが中性化したすなわち pH 7~8 の場合は、アルカリ性であった場合とほとんど同程度である(図-1 参照)。(ii) 鉄筋に対する影響としては、フライアッシュの影響よりも、コンクリートの中性化によって生ずる炭酸石灰の影響の方を重視すべきであると信ずる。コンクリート内に水と炭酸ガスとをふくむ空気が浸透すると次のような反応が起こる。

図-1 軟鋼の腐蝕におよぼす pH の影響
(Uhlig, Corrosion Handbook, John Wiley & Sons, 1938 の 129 ページに所載のもの)

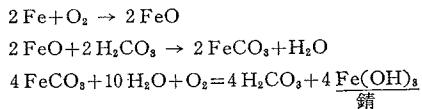


* 正員 工学博士 東京大学教授 工学部土木工学教室

** JIS A 6201-1958



これによって鉄筋に錆びを生ずる²⁾。すなわち、



フライアッシュを用いると、(i)で述べたように珪酸石灰および礫土酸石灰ができる、それだけ空気中の炭酸ガスによって造られる炭酸石灰は減少する。従って問題は、炭酸石灰と、珪酸石灰および礫土酸石灰と、どちらが鉄を多く錆びさせるか、という問題になる。私の実験によても、炭酸石灰はいちじるしく鉄を錆びさせるが珪酸石灰はそれほどいちじるしくないことが確かめられている。”と反論された。

浜田委員は、(i)に対して実験結果^{3), 4), 5)}を挙げ、かぶりのコンクリートが中性化すれば、時間的に幾分のずれがあったとしても鉄筋は錆び始めると反論した。また、(ii)に対して、コンクリート中において炭酸石灰ができる $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Ca(HCO}_3)_2$ の反応速度はきわめて遅く、フライアッシュを用いても用いなくても生成される $\text{Ca(HCO}_3)_2$ の量には大差ないと思われる旨を述べた。両委員の討議はさらに続けられ、他の数名の委員からも各種の意見が開陳された。

“鉄筋の発錆は、フライアッシュの有無・鉄筋のかぶり・部材の露出状態などによって影響されるばかりでなく、これらの影響よりもむしろ、コンクリートの配合・コンクリートの運搬打込み締固めの方法・養生などの影響の方がいちじるしいのであって入念に設計施工されたコンクリートにおいては発錆について特別の考慮を必要としない”との論議もあり、私もこれを強調した一人であった。応力を受けつつある鉄筋の発錆はさらに複雑な問題であり、これらについての正しい結論を導くためには長期にわたる試験が必要であるが、そのような試験の例が少なく、大部分が促進中性化試験である現状では論議が紛糾するのも当然であった。フライアッシュの使用が鉄筋の発錆におよぼす影響については、最後まで意見の一一致がみられなかつたのである。

最後に、この影響についての結論を保留したまま、浜田委員から“建築物のコンクリートのかぶりは 2~3 cm というよううに薄いので鉄筋が錆びる虞も大きい。もし鉄筋が錆びると地震が起きた場合などに危険な事態が考えられる。このコンクリートにフライアッシュを不用意に用いるとさらに心配が増加することになるから、これに関する使用上の注意を付記して欲しい”との要望が再三行なわれた。

それで吉田委員長は、“現状から推すと、建築物のコンクリートは脱枠後はほとんど養生を行なわないし、厳密にいえば脱枠前にも完全な養生状態にあるとは認めがたい。従ってこれにフライアッシュを用いた場合、ポゾラン反応が起るかどうかはなはだ疑問である。またコンクリートの強度そのものも、建築の場合は平均 160 kg/cm² 程度であるし、現在の施工状態では建築のコンクリートにフライアッシュを入れたものは入れないものより劣る事は十分考えられる。浜田・張両委員の意見は今後の実験研究によって解決することと思うので、規格は 3 年ごとの見直しもあることであり、その時にはまた改めて考慮することにし、当面の問題として規格に付記をつけて使用者の注意を促すことが国家的にみてプラスならば付記をつけることにしてはどうか?”と提案され、これに全委員が賛同したのでありました。

JIS の付記は以上のような次第で設けられたものでありまして、フライアッシュの使用と鉄筋の発錆との関係は未解決のまま残されております。この関係について正しい結論を得るためにには、促進試験だけでなく自然風化による試験を行なうことがぜひ必要であります。三浦・杉木両氏の御研究は鉄道トンネル内にモルタルを放置した珍らしい実験ですが、御説のようにコンクリート中における鉄筋の発錆におよぼすフライアッシュの影響を暗示するものと思い、興味深く拝聴しました。なお引き続き御研究願います。また本日御参集の方々、特に若い研究者の方々には、この問題に強い関心をもっていただいて研究を推進して下さいますよう切望致します。*

- 1) Ryan, J.P.: "Relationship of Fly Ash and Corrosion", J.A.C.I. Feb. 1951, p 481
- 2) 山本洋一: 金属の腐蝕と防蝕, 共立社, 昭和 13 年
- 3) 松下清夫・山田水域: 鉄筋コンクリート構造建物の損傷について (雨仕舞に関する研究, その 10) 日本建築学会研究報告第 27 号, 昭和 29 年 5 月
- 4) 内田祥三・浜田 稔: 鋼およびコンクリートの耐久性試験, 建築雑誌, 昭和 3 年 12 月
- 5) 岸谷孝一: コンクリートの風化に関する研究
第 1 報…日本建築学会論文集 46 号, 昭和 28 年 3 月
第 2 報… " " 47 号, 昭和 28 年 9 月

* 土木学会フライアッシュ小委員会では、今後の研究課題としてこの問題を探り上げ、実験に着手している(昭和 35 年 11 月)

討議者: 左右田孝男*

日本セメントKK研究所においては、以前から高炉セメントその他を用いたコンクリートの中性化および鉄筋の錆びについて研究を行なっており、先般材令20年における状態を試験し報告致しました¹⁾。フライアッシュを用いたコンクリート中の鉄筋の腐蝕についても、本年3月～4月に50年分の供試体の製造を終って外気に曝し、研究を開始しております。三浦・杉木両氏に、コンクリートでこの種の試験を行なうとモルタル試験の場合とどのように相違するか御意見を承りたいと存じます。

- 1) 左右田孝男・山崎寛司: コンクリートの中性化と鉄筋のさびに関する20年試験、セメントコンクリート、昭和33年(1958年)8月

答弁: 杉木六郎**

今回は促進試験を目的として、モルタル供試体でトンネル内放置といった特殊条件で行なったのであります。しかし、モルタルとコンクリートとでは状態が異なるので、フライアッシュを混和したコンクリートの中性化と鉄筋のさびの問題については、コンクリート供試体により長期試験をしなければならないと考えています。この問題について外国の2～3の研究者に発した質問の答信にも、つぎのようにコンクリート供試体を用いるべきことを示唆しています。

1. イギリス国鉄技師長 Terris 氏よりは、「中性化の進行深さはコンクリートの空げきの多少に関係することは間違いないことで、小さなモルタル供試体で促進試験をすれば、中性化が進んでさびるということもあるであろう。しかし、小さな供試体における中性化の状態は必ずしも大きなコンクリート部材の実際の状態を示すものとは考えられない。コンクリート部材では、表面からせいぜい $\frac{1}{2}$ -in 中性化しても、それ以上は容易に進行するものではない」と。また、アメリカ道路局 Woolf 氏よりは、「フライアッシュを混和したコンクリートについて実験したが、そのため中性化が余計に進行したという結果はでなかった。このコンクリートは、容積でセメントの33%をフライアッシュでおきかえたものである。コンクリート中の鉄筋のさびの防止にはコンクリートが密実であることが一番大切で、フライアッシュの混和は単位水量を減じができるから、その点でもむろ有利と信じている」と。

2. アメリカ内務省開拓局 Price 氏よりは、「われわれの経験からは、フライアッシュコンクリートが鉄筋のさびに対しなら心配すべきものとは思われない。モルタル供試体による促進中性化試験では、フライアッシュセメントペーストのアルカリ性の消失は、ポルトランドセメントペーストにおける場合より速いということも考えられる。というのは、フライアッシュがポゾラン作用で石灰の一部または全部と結合するからである。ペーストを粉碎し、これを短時間水に浸した状態で試験すると、ポゾランを混和したものが、アルカリ度は低くなるであろう。しかし、粉碎したペーストを長時間水に浸しておいて試験れば、水和物の加水分解によって、アルカリ度はフライアッシュ混和の有無に関係なくほぼ同じはずである。それゆえ、たとえ過じよう水のある状態での促進試験でアルカリ度が低い値を示したとしても、現場のコンクリートでは、フライアッシュコンクリートのアルカリ度はポルトランドセメントコンクリートのアルカリ度とほとんど同等であるとわれわれは考えているとの答信がありました。

** 正員 日本セメント KK

* 正員 小野田セメント KK 研究所