

コンクリートの炭酸化に関する研究 (V)

Studies on Carbonation of Concrete

小 林 一 輔*・宇 野 祐 一*

Kazusuke KOBAYASHI and Yuichi UNO

1. は し が き

筆者らは、前報でモルタル供試体による促進炭酸化試験を通じて、セメント中のアルカリが炭酸化に著しい影響を与えることを指摘するとともに¹⁾、コンクリート供試体においてこれを確認している²⁾。本文は、高炉水砕スラグ微粉末を混入したコンクリートについて前報と同様な条件のもとに実験を行い、この種のコンクリートにおいてもセメント中のアルカリが炭酸化を促進することを明らかにしたものである。

2. 実 験 概 要

2-1 使用材料およびコンクリートの配合

セメントは $R_2O=0.57\%$ の普通ポルトランドセメント(表-1)を使用し、さらにこのセメントをベースとして試薬のNaOHを添加して $R_2O=1.5\%$ に調整した。また、高炉水砕スラグ微粉末(以下、高炉スラグと呼ぶ)は表-2に示すような品質のものを使用し、骨材および練り混ぜ水は前報と同様のものを用いた。コンクリートの配合は、水セメント比を40, 50および60%の3種とし、全配合を通じて単位水量を一定($196\text{kg}/\text{m}^3$)とした。高炉水砕スラグ微粉末はセメント重量の30, 50および70%を内割で置き換えて混入した。以上のすべての配合においてコンクリートのスランプは7~9 cmの範囲にあった。

2-2 供試体の作製、養生および炭酸化深さの測定

供試体は $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱体を用いた。打設一日後に脱型して、1) 温度 20°C 、相対湿度100%の霧室内に4週間(以下、湿潤と呼ぶ)、2) 同霧室内に1週間、温度 20°C の室内に3週間(以下、湿潤+気中と呼ぶ)の2条件でそれぞれ通算4週間養生を行った。

養生を終了した供試体は、温度 20°C 、湿度60%、 CO_2 濃度10%促進炭酸化槽(朝日科学:ルネイヤー)に所定の期間保存した後、炭酸化深さ測定に供した。一部の供試体については、孔隙水の移動をシミュレートするために供試体の中央部に $\phi 16\text{mm}$ 、長さ19cmの穴を設け、炭酸化期間を通じてpH13の水を供給した。

炭酸化深さは、供試体を $\phi 10\text{cm}$ の破断面が得られるように割裂し、フェノールフタレイン1%エタノール溶液を吹き付けて呈色させた後、非発色部を炭酸化域として画像解析装置を用いて炭酸化面積を測定し、算出した。

3. 実験結果と考察

図-1および図-2は、それぞれ普通供試体、孔隙水供試体について、水セメント比50%の場合を例にとり、高炉スラグ置換率と炭酸化深さとの関係がセメント中のアルカリ($R_2O=0.57\%$ および 1.5%)によってどのように異なるかを示したものである。これらの図より明らかにように、セメント中のアルカリは、高炉スラグ混入コンクリートにおいても炭酸化を促進する要因となることがわかる。また、いずれの供試体においても高炉スラグの置換率が増すに従って炭酸化速度が増大しており、既往の研究結果³⁾を裏付けている。

このように高炉スラグを混入したコンクリートの炭酸化が、普通ポルトランドセメントを用いたコンクリート

表-1 セメントの化学組成 単位: wt%

ig-loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O
0.7	21.2	5.7	3.4	64.3	1.8	1.9	0.16	0.23	0.31

表-2 高炉スラグの品質

比 重	粉末度 (cm^2/g)	ガラス化率 (%)	塩基度	化 学 分 析 (wt%)						
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
2.92	3820	99.0	1.86	34.0	15.1	0.6	42.1	6.0	0.20	0.25

*東京大学生産技術研究所 第5部

研 究 速 報

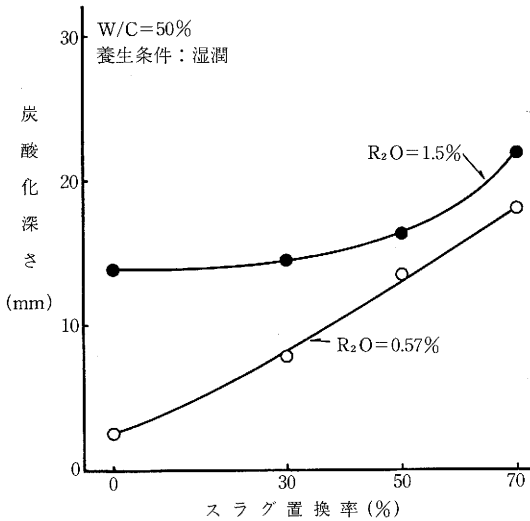


図-1 スラグ置換率と炭酸化深さの係に及ぼすセメント中のアルカリの影響

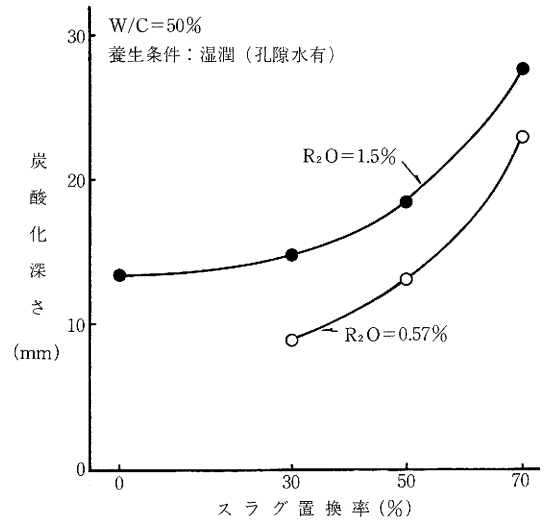


図-2 スラグ置換率と炭酸化深さの係に及ぼすセメント中のアルカリの影響

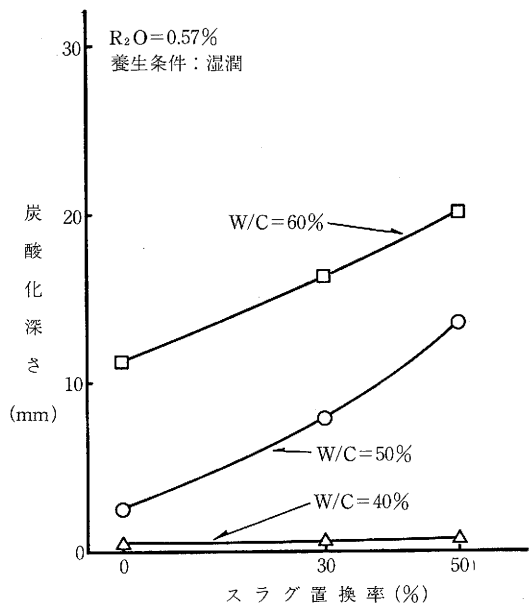


図-3 スラグ置換率と炭酸化深さの係に及ぼす水セメント比の影響

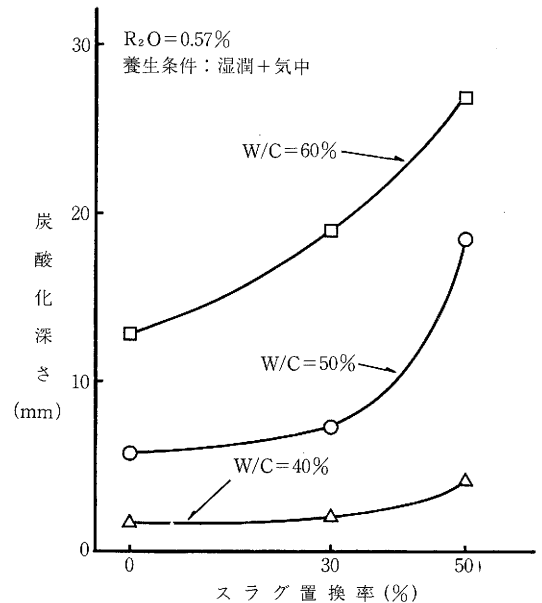
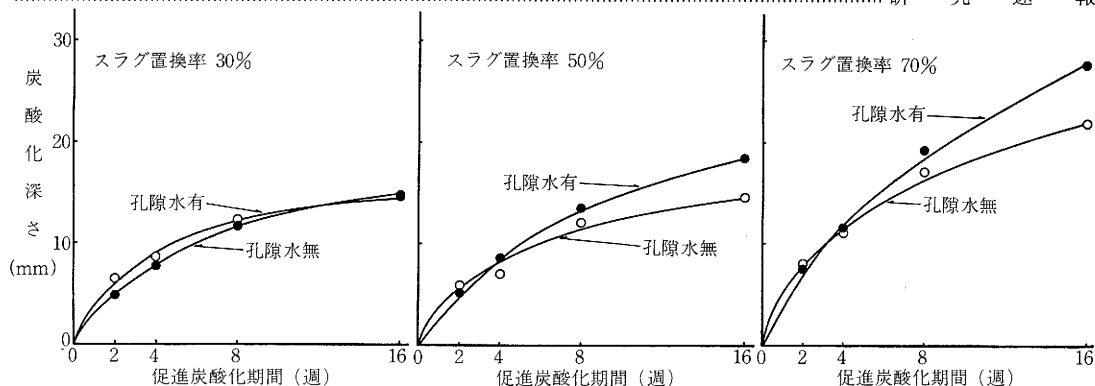


図-4 スラグ置換率と炭酸化深さの係に及ぼす水セメント比の影響

よりも大きくなる理由としては、前者の水和生成物中における水酸化カルシウムの量が後者に比べて著しく少ないことをあげることができる。すなわち、高炉スラグによってポルトランドセメントの相当量が置換されるために、結合材中のCaO量がもともと少ない⁴⁾うえに、高炉スラグがポルトランドセメントの水和によって生成した水酸化カルシウムと結合して不溶性の石灰珪酸塩を形成す

るために、高炉スラグを混入したコンクリートにおいては水酸化カルシウムの量が少ないのである。

図-3および図-4は、 $R_2O=0.57\%$ のセメントを用いた場合の各水セメント比におけるスラグ置換率と炭酸化深さの係を養生条件別に示したものである。当然の結果として、水セメント比が増えるに従って炭酸化は促進されているが、高炉スラグ混入の影響は、特に水セメン

図-5 炭酸化期間と炭酸化深さの関係 ($W/C=50\%$, $R_2O=1.5\%$, 養生条件: 湿潤)

ト比50%以上で初期養生期間が短い場合に顕著に現れていることがわかる。このことから、高炉スラグ置換率の高いセメントを用いる場合には、十分な初期養生を行うことが必要であることがわかる。

図-5 および図-6 は促進炭酸化期間と炭酸化深さの関係を普通供試体および孔隙水供給供試体について示したものである。図-5 より、孔隙水供給の効果はスラグ置換率の上昇に伴って顕著に現れている。また、図-6 より、低アルカリセメントを用いた場合にもその効果は変わらないことがわかる。前報で孔隙水の移動が炭酸化を促進させることをモルタル供試体 ($\phi 5 \times 10$) の試験を通じて明らかにしており、またその効果がプレーンコンクリートでは供試体の大きさ ($\phi 10 \times 20$) が大きいために顕著に現れないことを示した²⁾。本結果で高炉スラグ置換率の高い場合には明らかにこの効果が現れており、供試体の大きさを考慮に入れても高炉スラグ置換率の高いコンクリートで、pHの高い孔隙水の移動が起きると炭酸化が促進されると考えられる。

4. お わ り に

本報告は、セメント中のアルカリが高炉スラグを混入したコンクリートにおいても炭酸化を促進する要因となることを示したものである。さらに、本実験の結果で高炉水砕スラグ微粉末の混入がコンクリートの炭酸化速度を増すことを明らかにしたが、このことが必ずしも、高炉水砕スラグ微粉末を混入したコンクリート中の鉄筋が普通ポルトランドセメントを用いたコンクリート中の鉄筋よりも腐食しやすいことを意味するものではないと考えられる。その理由は、高炉セメントの水和の機構が普通ポルトランドセメントとは異なるために、水和生成物も当然のことながら異なり、そのためにセメント硬化体の組織も相違するからである。すでに述べたように、高炉水砕スラグはセメントの水和によって生成した水酸化カルシウムを安定な珪酸石灰塩として固定するために、

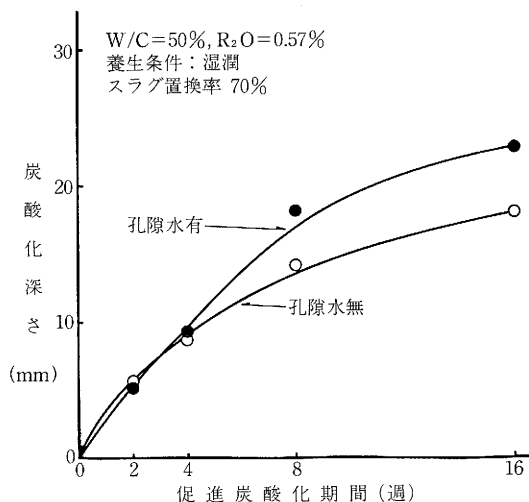


図-6 炭酸化期間と炭酸化深さの关系到及ぼす孔隙水移動の影響

普通ポルトランドセメント単味の場合に比べて緻密な組織を形成すると言われている。したがって、高炉水砕スラグ微粉末を混入したコンクリートの場合には、炭酸化速度のみをもって鉄筋の腐食傾向の目安とすることは意味がなく、酸素の拡散性状とあわせて検討する必要がある。(1989年6月19日受理)

参 考 文 献

- 1) 小林・宇野: コンクリートの炭酸化に関する研究 (I) 生産研究, Vol.40, No. 6, 1988
- 2) 小林・宇野: コンクリートの炭酸化に関する研究 (IV) 生産研究, Vol.41, No. 3, 1989
- 3) 浜田: コンクリートの中性化と鉄筋の腐食, セメント・コンクリート, No.272, 1969.
- 4) Schmidt, C.H.: Über die Kalk-Bindung durch Hochofenschlacke bei der Hydraulischen Erhärtung von Schlackenzementen, Zement-Kalk-Gips, 8, 1963