

## 高炉スラグを高置換率で用いる環境負荷低減型コンクリートの 熱帯・亜熱帯地域への海外展開

研究代表者 九州大学大学院工学研究院 准教授 佐川康貴

### 1. はじめに

わが国では、戦後、社会資本を形成する土木構造物の整備・拡充のため、多くのコンクリート構造物が建設されてきた。コンクリート構造物は、かつては限りなくメンテナンスフリーと考えられてきたが、高度経済成長期に建設されたコンクリート構造物の多くは建設後 50 年を迎え、各種劣化現象に関する問題が顕在化している。特に、わが国は周囲を海に取り囲まれており、また、海岸部に人口が集中する傾向にあることから、構造物の塩害に関する問題は重要である。加えて、飛来塩分を多く受ける日本海側の地域や、わが国の中で最も高温・多湿な環境である沖縄地方では、本土よりも劣化が速く進行する事例が散見される[1]。

一方、東南アジア諸国ではインフラ整備が急速に進んでいる。これらの地域の多くは、熱帯・亜熱帯環境下であり、コンクリートの劣化環境としては非常に厳しい条件にあると考えられる。また、今後の経済・社会活動においては環境負荷低減・廃棄物削減の観点が重要視される。以上のことから、建設当初から耐久性に富み長寿命なコンクリート構造物の建設が望まれる。

新設のコンクリート構造物が塩害を生じないようにするための方法としては、(1)かぶり厚さを増す。(2)コンクリート自身の塩分浸透抵抗性を増す。(3)腐食しにくい(しない)補強材を用いる。(4)コンクリートに表面被覆を施す。(5)電気防食工法の適用等が考えられる。これらのうち、(2)についてはコンクリートの塩化物イオン拡散係数を小さくするものであり、本研究では高炉スラグを用いる方法に着目している。高炉セメントを用いたコンクリートが水密性、耐海水性などの性能を有することは古くから知られている。これらの性能は高炉スラグの潜在水硬性により発揮されるものである。また、高炉スラグは副産物であり、コンクリート用材料として使用することにより環境負荷低減につながる。

コンクリートを環境負荷低減型のインフラ用材料として位置づけるためには、まずは、副産物の利用率を高めていく必要がある。高炉スラグは、急冷することにより、結合材として(高炉スラグ微粉末)、また、砂の代替材料として(高炉スラグ細骨材)、さらには、徐冷したものは砂利の代替材料として(高炉スラグ粗骨材)利用可能であり、コンクリート中の副産物利用率を向上させる上で、重要な材料であると考えられる。

わが国では、発生スラグ量の約半分がセメント用原料として輸出されているのが現状である[2]が、世界的に見ると今後、鉄鋼生産量はさらに増加することが予測され、製鉄プロセスにおける副産物も増加が予測される。また、副産物は一般的に品質変動が大きい傾向にあるが、高炉スラグは、他の副産物に対して相対的に品質変動が小さく、実用性が高いと考えられる。

このように、高炉スラグを多量に使用したコンクリートは、環境負荷低減型のインフラ用材料として期待されるが、亜熱帯・熱帯のような高温・多湿な環境がコンクリートの性能に与える影響については、十分検討されていない。本研究では、コンクリート中の鋼材の腐食状況調査結果を基に、環境条件が腐食速度に及ぼす影響について明らかにするとともに、高炉スラグを多量に使用したモルタルおよびコンクリートの力学的性質、副産物使用率と強度との関係について検討した。

## 2. コンクリート中鋼材の腐食生成物の観察に基づく腐食環境評価

### 2.1 目的

鉄筋コンクリート（RC）中の鋼材の腐食に対し、環境条件の影響を定量化する際、(a) かぶりコンクリートにおける物質透過性状に対する環境条件の影響と、(b) 鋼材自体の不動態の破壊や不動態の破壊後の腐食の進行に対する影響の両者を考慮する必要がある。これらのうち、(a) については、比較的多くの検討がなされているものの、(b) のような鋼材自体の腐食に対する環境条件の影響に関して検討を行った事例は少ない。

そこで、本研究では、腐食を生じた鋼材の観察より、鋼材腐食の進行に対する環境条件の影響を定量的に評価することを試みた。具体的には、腐食を生じた鋼材は層状の構造を呈していることに着目し、腐食生成物の構造的な特徴と腐食環境との関係について考察した。

### 2.2 実験概要

写真-1 に示すように、関東地方太平洋側に位置する港湾構造物 RC 部材より試料 A を、インドネシアの南スラウェシの港湾構造物の RC 岸壁の鉄筋より試料 B をそれぞれ採取した。試料 A、試料 B のどちらも、採取時にはかぶりコンクリートの剥離が生じており、鉄筋が露出した状態であった。



試料 A



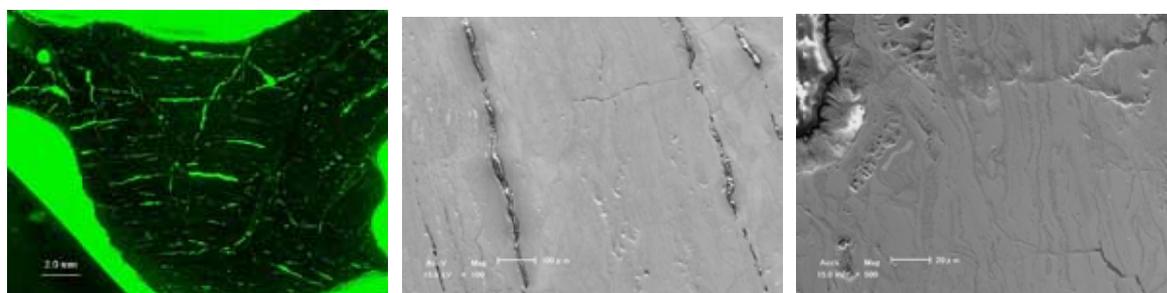
試料 B

写真-1 採取試料の外観

### 2.3 実験結果および考察

本研究では、観察手法として、蛍光顕微鏡観察および SEM 観察の 2 つの手法を用いた。蛍光顕微鏡観察は、主にマクロな層間隔を把握することを目的としており、SEM 観察によってミクロな構造を把握することを目的としている。蛍光顕微鏡観察での観察倍率は 15

倍とし、SEM 観察は、100 倍～1000 倍の倍率の範囲で観察を行った。なお、試料調整方法の詳細については、文献[3]に示す通りである。

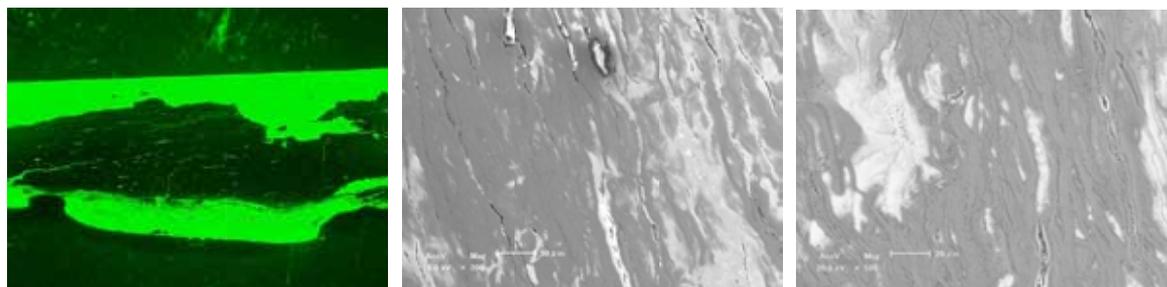


蛍光像

SEM 二次電子像(100 倍)

SEM 二次電子像(500 倍)

写真-2 試料 A 観察結果



蛍光像

SEM 二次電子像(200 倍)

SEM 二次電子像(500 倍)

写真-3 試料 A 観察結果

写真-2 および写真-3 に、各試料の蛍光顕微鏡および SEM 観察結果を示す。左側に示す蛍光顕微鏡観察では、試料 A には層構造が確認されたものの、試料 B では、明確な層構造は観察されず、試料 A に比べて緻密な構造となっていることが推察された。また、SEM 二次電子像より、試料 A では微視的領域において層状の構造を呈し、 $500\mu\text{m}$  程度の層が形成されており（中央）、その層の内部もまた、 $\text{数}\mu\text{m}$ ～ $\text{数十}\mu\text{m}$  の層より形成されていることが明らかとなった（右側）。試料 B については、蛍光顕微鏡観察においては顕著な層構造は確認されなかったが、微視的な領域においては、 $\text{数}\mu\text{m}$ ～ $\text{数十}\mu\text{m}$  の厚さの層が確認された。以上より、腐食の進行について考察すると、比較的短期間の腐食速度の変動が $\text{数}\mu\text{m}$ ～ $\text{数百}\mu\text{m}$ の微視的領域で観察される層を形成しており、一方で、 $\text{数}\text{mm}$  程度のマクロな領域で観察される層間隔は、長期的な腐食速度の変動を表しているものと考えられる。

図-1 は、試料の採取地近傍の月平均気温を示したものである[4][5]。日本の気温は、夏期と冬期では  $20^{\circ}\text{C}$  程度の差があるのに対し、インドネシアでは、年間を通じて  $25^{\circ}\text{C}$  程度で一定の気温である。

腐食速度に対する気温の影響として、次の式(1)が提案されている[6]。ここで、 $C(T)$ は、気温の影響関数であり、気温  $25^{\circ}\text{C}$  のときの腐食速度を 1.0 とした場合の、任意の温度にお

ける腐食速度の比を表す関数である。

$$C(T) = \exp\{-2.593 \times (1000 \times 1 / K) + 8.695\} \quad (1)$$

ここに、C(T)：腐食速度に及ぼす気温の影響関数（25°Cのときに 1.0）

K：絶対温度（K）

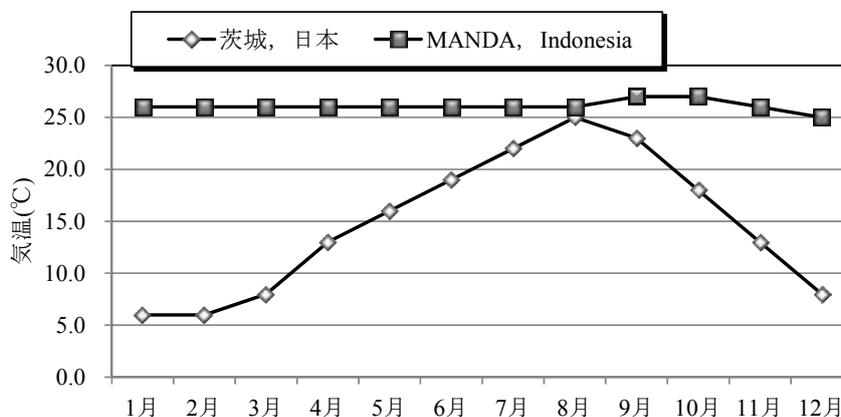


図-1 試料採取箇所近傍の月平均気温の推移

式(1)より各気温における影響関数 C(T)を算出すると、気温が 5, 10, 15, 20°Cで、C(T)の値が概ね 0.5, 0.6, 0.7, 0.9 となる。すなわち、コンクリート中鋼材の腐食速度に対して、気温の影響のみを考慮すれば、インドネシアでは、年間を通じて腐食速度の変動は殆ど無いのに対し、日本では、夏期に対し冬期では腐食速度は約 2分の1 となる。このように季節変動が生じるのは、上述した腐食の観察結果において、数 mm のマクロな層も数 μm ～数百 μm の薄い層が重なって形成されている現象と一致する。よって、亜熱帯・熱帯地域では、RC 構造物の腐食環境は極めて厳しいと推察され、かぶりコンクリートの塩分浸透抵抗性の高いコンクリートが必要となる。

### 3. 高炉スラグを結合材として高置換率使用したモルタルの強度発現性状

#### 3.1 目的

高炉セメントはわが国では普通ポルトランドセメントに次ぐ汎用セメントであり、2010年度の販売シェアは約 24%である[7]。最も多く使用される高炉セメント B 種における高炉スラグ置換率が 40～45%のものが一般的に使用されている[8]。このスラグ置換率をさらに高めることにより、セメント製造時の CO<sub>2</sub> 排出量をさらに削減できるだけでなく、コンクリートの断熱温度上昇量の低減、アルカリシリカ反応の抑制、塩化物イオン浸透抵抗性や化学抵抗性の向上が期待される。

高炉スラグ置換率を高めることで、モルタルやコンクリートの初期強度は低下するが、その一方で、亜熱帯・熱帯地域で想定されるような高い温度で使用した場合には、反応速度が大きくなり、初期強度の低下を抑制できる可能性がある。そこで、本研究では高炉スラグを結合材として高置換率使用したモルタルにより、養生条件（温度、乾湿条件）が強度発現性状に及ぼす影響について調べた。

### 3.2 実験概要

表-1 に、本実験で使用した材料の種類および物理的特性を示す。ベースセメントは普通ポルトランドセメントとし、その 50%または 70%を JIS A 6206「コンクリート用高炉スラグ微粉末」に規定される高炉スラグ微粉末 4000 で置換して結合材として使用した。細骨材には除塩海砂を使用した。

モルタルの配合について、水結合材比は 55%とし、モルタルフローが  $190 \pm 10\text{mm}$  となるよう、砂結合材比を決定した。また、高炉スラグ微粉末の質量に対し、一定割合で石膏を添加した。表-2 にモルタルの配合を示す。

モルタルは JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に規定される方法で練り混ぜ、 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$  の供試体を作製した。表-3 に示すように養生方法を変化させたモルタル供試体について、材齢 1, 3, 7, 28, 91 における曲げ強度、圧縮強度を測定した。

養生方法は、水中養生（記号：W）、気中養生（記号：A）、3, 7, 28 日間水中養生後に気中養生としたもの（記号：3W, 7W, 28W）、気中養生後に水中養生としたもの（記号：3A, 7A, 28A）である。

表-1 使用材料の種類および物理的性質（モルタル供試体）

材料	種類・物理的性質
セメント	普通ポルトランドセメント 密度： $3.16\text{g/cm}^3$ ，比表面積： $3360\text{cm}^2/\text{g}$
高炉スラグ微粉末	高炉スラグ微粉末4000 密度： $2.91\text{g/cm}^3$ ，比表面積： $5990\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	除塩海砂 表乾密度： $2.58\text{g/cm}^3$

表-2 モルタルの配合

スラグ置換率	水結合材比 W/B	単位量( $\text{kg/m}^3$ )				
		水 W	結合材 B		細骨材 S	石膏 GYP
			セメント C	高炉スラグ微粉末 GGBFS		
50%	55%	255	232	232	1504	7.43
70%	55%	254	139	323	1498	10.6

表-3 モルタル試験の要因および水準

要因	水準
スラグ置換率	50%，70%
養生方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・継続して水中養生</li> <li>・N日間水中養生後，気中養生</li> <li>・N日間気中養生後，水中養生</li> </ul> (N = 3, 7, 28日)
養生温度	20℃，30℃，35℃

### 3.3 実験結果および考察

#### (1) モルタルの強度発現性状に及ぼす水中養生温度および置換率の影響

図-2 に、スラグ置換モルタルを 20℃、30℃および 35℃の水中にて継続して養生（記号：W）したときの圧縮強度の材齢にともなう変化を示す。まず、養生温度の影響に着目すると材齢 3 日においては養生水の温度が高いほどモルタルの圧縮強度が大きいことが分かる。これは、養生水の温度が高いほどポルトランドセメントの水和反応が促進され、それに伴い生成される  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  により高炉スラグ微粉末へのアルカリ刺激が強まるためと考えられる。同様の傾向が材齢 7 日についても当てはまるが、養生温度 30℃と 20℃で圧縮強度の差が小さくなっている。なお、養生温度 35℃については、この時点で十分な強度発現が見込めることが分かる。その後はいずれの置換率・養生温度についても材齢が進むにつれて圧縮強度は増加していくが、その程度は条件によって異なる結果となった。

3日強度を1としたときの強度比を求めた結果を図-3に示す。材齢3日を基準とした時、材齢28日および56日での強度比は、スラグ置換率ごとに20℃、30℃、35℃の順に大きいことが分かる。とりわけ20℃で養生した場合の強度増進が著しい。このことから、養生温度が30℃、35℃のように高い場合には、初期強度の発現は見込める一方で長期的な強度増進は20℃養生の場合ほどは期待できないと言える。

次に、スラグ置換率の影響に着目する。図-2 について同一の材齢・養生温度で比較した場合、スラグ置換率 50%の方がスラグ置換率 70%よりも圧縮強度が高くなっている。ただし、スラグ置換率が高く（70%）高温養生（30℃、35℃）の場合であっても、一般的な管理材齢である 28 日の時点で少なくとも 35N/mm<sup>2</sup> 以上程度は確保できていることから、極端に強度が低下するといった悪影響はないと言える。

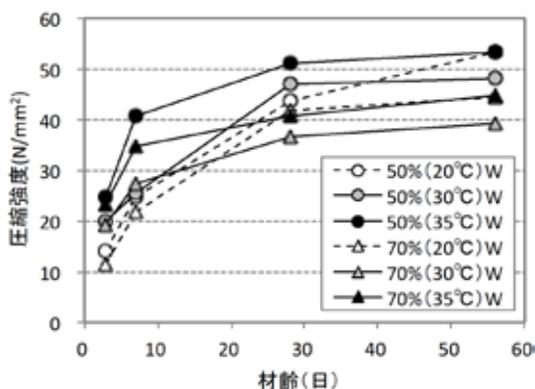


図-2 モルタルの圧縮強度に及ぼす水中養生温度およびスラグ置換率の影響

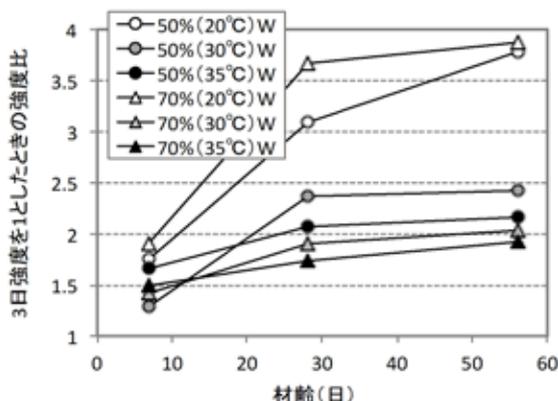


図-3 材齢 3 日強度に対する圧縮強度比

#### (2) モルタルの強度発現性状に及ぼす乾湿および置換率の影響

図-4 にスラグ置換モルタルを気中養生した場合（記号：A）の材齢に伴う圧縮強度の変化を示す。同図中には比較のため水中養生した場合（記号：W）のデータも示す。養生温

度 20°C の場合では、スラグ置換率にかかわらず気中養生の場合には全ての材齢において水中養生の場合よりも圧縮強度は低いことが分かる。また、材齢 28 日以降で圧縮強度は頭打ちとなった。

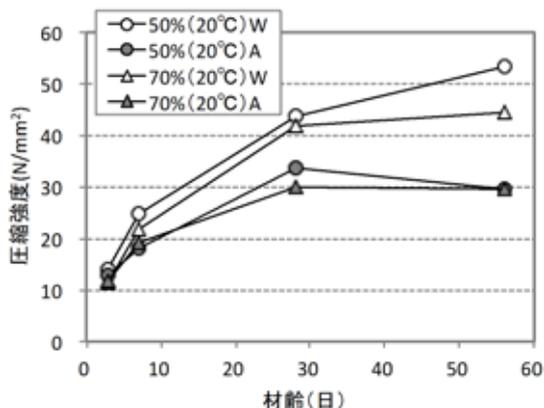


図-4 モルタルの圧縮強度に及ぼす養生条件の影響（温度 20°C）

### (3) 湿潤養生による強度回復効果に関する検討

コンクリートの打設直後に、初期の湿潤養生ができなかった場合に、その後の水中養生で強度回復および増進が見込めるかどうかについて、検討を行った。その結果を図-5～図-8 に示す。養生温度 20°C の場合（図-5、図-6）、置換率 50%、70% の場合ともに、気中養生後の水中養生によりその後強度が増進する傾向が認められる。このとき、気中養生の期間が短く早期に水中養生に移行した場合ほど強度増進が期待できると言える。また、養生温度 30°C の場合（図-7、図-8）についても、20°C の場合と同様に初期の気中養生の後水中養生を施すことで強度は増進する傾向は認められる。

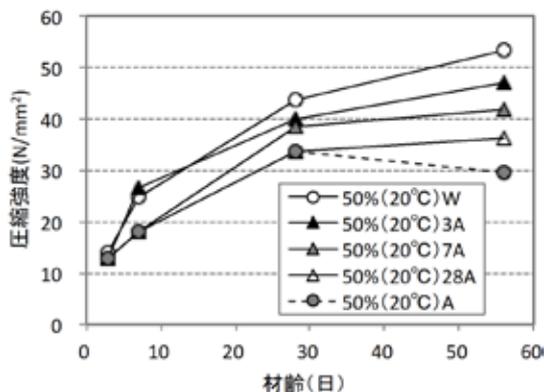


図-5 乾燥後の水中養生が強度回復に及ぼす影響（置換率 50%、温度 20°C）

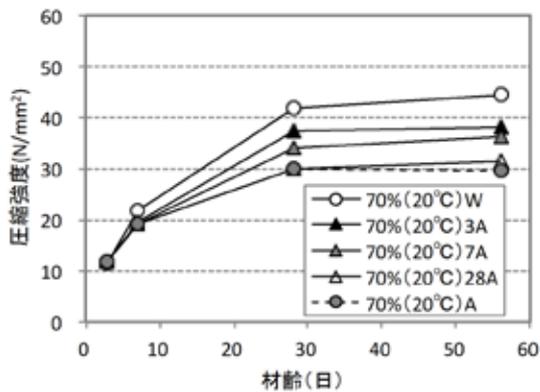


図-6 乾燥後の水中養生が強度回復に及ぼす影響（置換率 70%、温度 20°C）

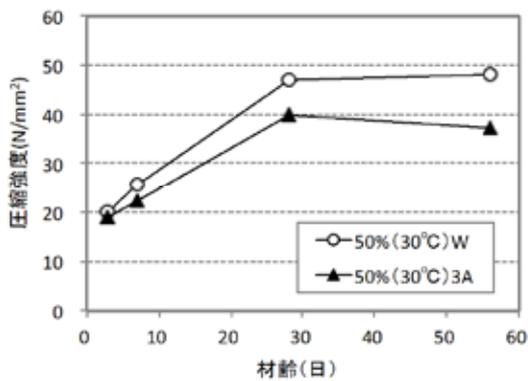


図-7 乾燥後の水中養生が強度回復に及ぼす影響（置換率 50%, 温度 30°C）

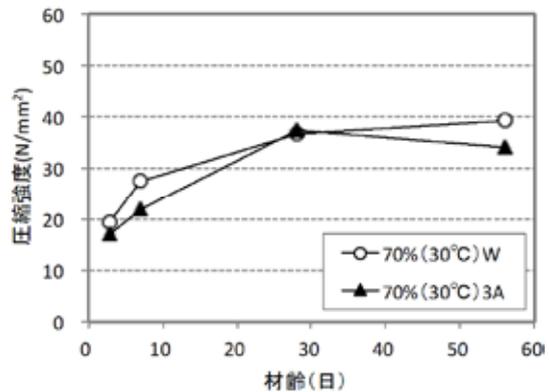


図-8 乾燥後の水中養生が強度回復に及ぼす影響（置換率 70%, 温度 30°C）

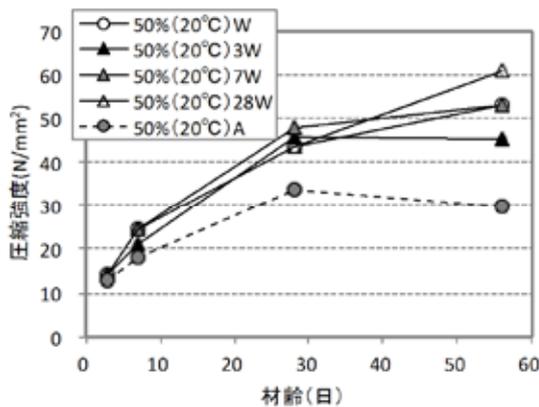


図-9 初期水中養生期間の異なるモルタルの圧縮強度（置換率 50%, 温度 20°C）

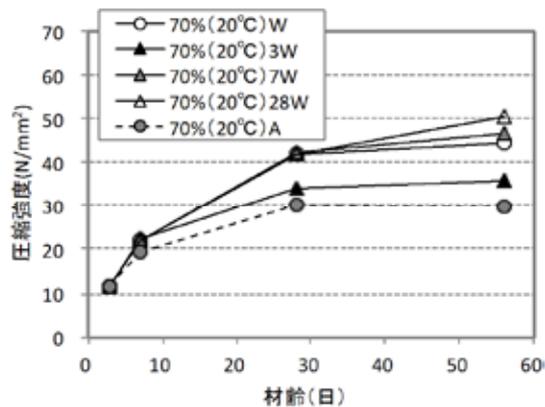


図-10 初期水中養生期間の異なるモルタルの圧縮強度（置換率 70%, 温度 20°C）

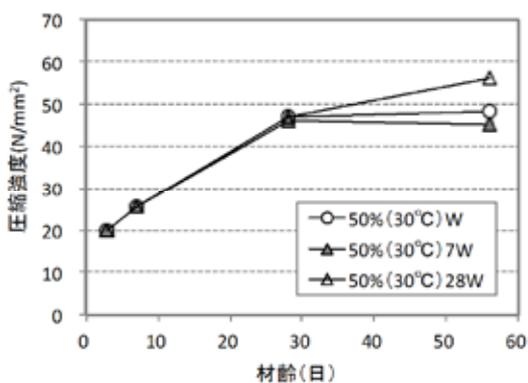


図-11 初期水中養生期間の異なるモルタルの圧縮強度（置換率 50%, 温度 30°C）

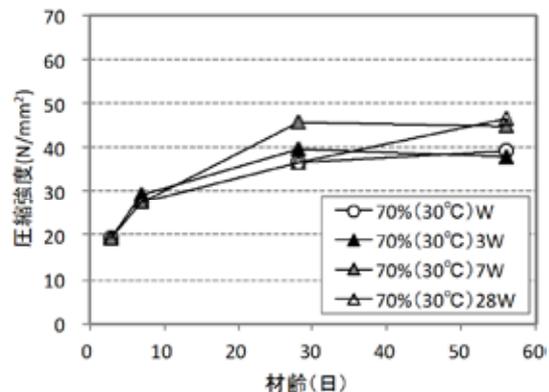


図-12 初期水中養生期間の異なるモルタルの圧縮強度（置換率 70%, 温度 30°C）

#### (4) 所定の強度を確保するために必要な湿潤養生期間に関する検討

高炉スラグ微粉末あるいは高炉セメントを用いたコンクリートのみならず、コンクリートにとって材齢初期の湿潤養生が重要であることは、既往の研究および本研究の結果から

明らかである。本研究のようにスラグ置換率が高くさらに養生温度も高い場合に、どの程度の期間初期水中養生を施すのが良いか把握することは実務的な意義がある。そこで、図-9～図-11に材齢初期における水中養生期間の異なるスラグ置換モルタル(記号:3W, 7W, 28W)の圧縮強度の材齢による変化を示す。比較のため、継続水中養生(記号:W)と継続気中養生(記号:A)のデータもあわせて示す。

土木学会コンクリート標準示方書[施工編]によれば、混合セメントB種の初期湿潤養生期間の標準として日平均気温15℃以上では7日、10℃以上では9日、5℃以上では12日が示されている[9]。本研究で得られた実験データを見ると、材齢56日の時点における圧縮強度は初期水中養生期間が長いほど概ね高くなっており、改めて初期湿潤養生の重要性が確認される。以上の結果より、土木学会コンクリート標準示方書の記載にある通り、最低でも7日間の初期湿潤養生を施す必要があると言える。なお、スラグ置換率70%で養生温度30℃の場合(図-12)、3WとWの強度発現性がほぼ同等となっており、スラグ置換率および温度野条件によっては、初期の湿潤養生期間を短縮できる場合もあると考えられる可能性があると言えるが、これについては今後の課題である。

#### 4. 高炉スラグを結合材および骨材として高置換率使用したコンクリートの強度発現性状

##### 4.1 目的

コンクリートの環境負荷低減を低減する一つの手法として、副産物使用率を向上させる方法が考えられる。高炉スラグから製造される結合材および骨材の使用量をできるだけ高めたコンクリートの基礎的性質について明らかにするため、高炉スラグ微粉末、高炉スラグ細骨材および高炉スラグ粗骨材を組み合わせたコンクリートの圧縮強度を求め、副産物使用率との関係について明らかにした。

##### 4.2 実験概要

表-4に、本実験で使用した材料の種類および物理的特性を示す。ベースセメントは普通ポルトランドセメントとし、その50%または70%をJIS A 6206「コンクリート用高炉スラグ微粉末」に規定される高炉スラグ微粉末4000で置換して結合材として使用した。

骨材については、天然骨材として細骨材に除塩海砂を、粗骨材に碎石2005を使用した。高炉スラグに由来する骨材として、細骨材にはJIS A 5011-1「コンクリート用スラグ骨材—第1部:高炉スラグ」に規定される5mm高炉スラグ細骨材(BFS5)および高炉スラグ粗骨材2005(BFG20-5)を使用した。

コンクリートの水結合材比は55%とし、単位水量 $175\text{kg/m}^3$ 、細骨材率47.5%は一定とした。表-5にコンクリートの配合を示す。配合名は、「結合材種類」—「細骨材置換率」—「粗骨材置換率」の組合せで表す。結合材種類は、普通ポルトランドセメントのみ(記号:N)、高炉スラグ微粉末50%置換(記号BB)、高炉スラグ微粉末70%置換(記号:BC)の3種類である。細骨材置換率は30%とし、粗骨材置換率は50%と100%を設定した。

圧縮強度試験用の供試体は、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 円柱とし、コンクリート打設後24時間で脱型し、その後は20℃水中養生を行った。材齢7日および28日にJIS A 1108「コンクリート

の圧縮強度試験方法」に従い、耐圧試験機を使用して圧縮強度の測定を行った。また、同時にコンプレッソメータにより縦ひずみを測定し、JIS A 1149「コンクリートの静弾性係数試験方法」に従って静弾性係数を求めた。

表-4 使用材料の種類および物理的性質（コンクリート供試体）

材料	種類・物理的性質
セメント	普通ポルトランドセメント 密度：3.16g/cm <sup>3</sup> ，比表面積：3360cm <sup>2</sup> /g
高炉スラグ微粉末	高炉スラグ微粉末4000 密度：2.91g/cm <sup>3</sup> ，比表面積：5990cm <sup>2</sup> /g
細骨材	除塩海砂 表乾密度：2.58g/cm <sup>3</sup>
	碎石2005 表乾密度：2.91g/cm <sup>3</sup>
粗骨材	高炉スラグ細骨材 BFS5 表乾密度：2.82g/cm <sup>3</sup>
	高炉スラグ粗骨材 表乾密度：2.57g/cm <sup>3</sup>

表-5 コンクリートの配合

配合名	水結合材比 W/B(%)	細骨材率 s/a(%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								
			水 W	結合材 B		細骨材 S		粗骨材 G		AE減水剤 (×B%)	AE剤 (×B%)
				セメント C	高炉スラグ微粉末 GGBFS	海砂	高炉スラグ細骨材	碎石	高炉スラグ粗骨材		
N-0-0	55	47.5	175	318	0	832	0	1038	0		
N-0-50			175	318	0	832	0	519	458	0.25	0.002
N-0-100			175	318	0	832	0	0	917	0.25	0.002
N-30-0			175	318	0	582	273	1038	0	0.25	0.002
N-30-100			175	318	0	582	273	0	917	0.25	0.002
BB-30-100			175	159	159	582	273	0	917	0.02	0.002
BC-30-100			175	95.4	223	582	273	0	917	0.015	0.002

#### 4.3 実験結果および考察

材齢 7 日および材齢 28 日における圧縮強度をそれぞれ、図-13、図-14 に示す。基準コンクリート N-0-0 と粗骨材を 50%置換した N-0-50 とを比較すると、ほぼ等しい強度が得られた。高炉スラグ粗骨材を用いたコンクリートの強度は、普通骨材コンクリートと比べて強度は大きく低下しないとされているが、本研究においては、N-0-100 は N-0-0 よりも約 16%強度が低下した。全体的な傾向としては、副産物使用率が高くなると強度が低下していることが分かる。例えば、材齢 7 日で比較すると、N シリーズで最も副産物使用率の高い N-30-100 は、N-0-0 の約 81%の強度となった。なお、本実験の範囲内では、スラグ置換率 50%と 70%の 7 日強度にほとんど差は認められなかった。

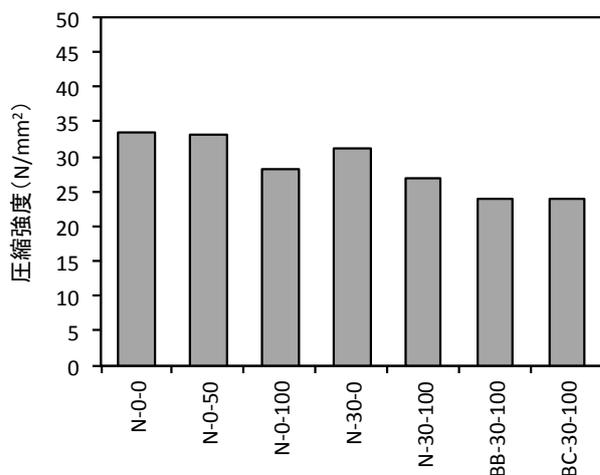


図-13 コンクリートの圧縮強度  
(材齢 7 日)

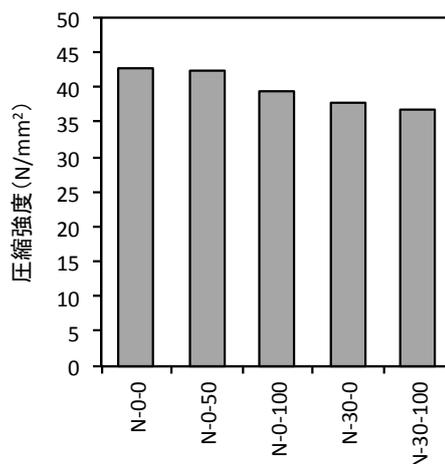


図-14 コンクリートの圧縮強度  
(材齢 28 日)

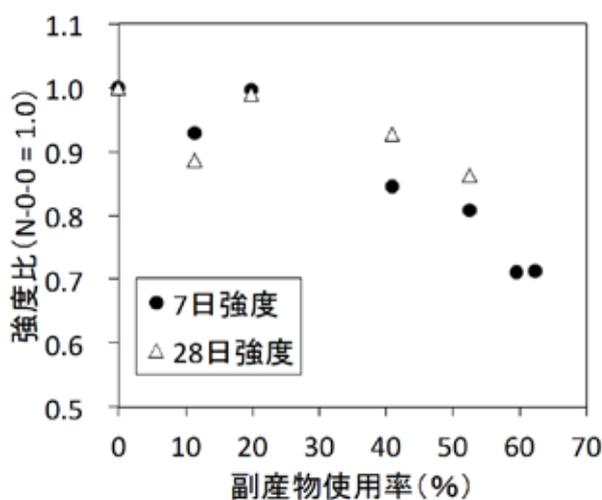


図-15 副産物使用率と圧縮強度比の関係

図-15 に、副産物使用率（コンクリート 1m<sup>3</sup> 中の高炉スラグ（微粉末、細骨材、粗骨材）量の総和をコンクリート単位容積質量で除した値）と圧縮比（N-0-0 を 1.0 とする）との関係を示す。副産物利用率が大きいほどスラグ使用量が大きく環境負荷低減型のインフラ材料と位置づけることができる。図で示されるように、本研究では、粉体・粒体といったスラグの形状に関わらず、副産物使用率と強度との関係は概ね統一的に評価できることが明らかとなった。なお、長期性状については、今後の課題である。

## 5. まとめ

本研究では、コンクリート中の鋼材の腐食状況調査結果を基に、環境条件が腐食速度に及ぼす影響について明らかにするとともに、高炉スラグを多量に使用したモルタルおよび

コンクリートの力学的性質について検討した。その結果、まず、腐食生成物の分析結果より、温湿度の高い環境が継続するような条件下においては、コンクリート中の鋼材の腐食も継続的に進行する可能性があることを明らかにした。また、モルタルを用いた実験では、30℃養生において材齢3日および材齢7日の強度が向上し、高炉スラグを用いた際に問題となる初期強度の低下の問題を改善できることを明らかにした。さらに、高炉スラグを粉体・粒体として利用したコンクリートについて、高炉スラグ利用率と圧縮強度との関係について明らかにした。

## 謝辞

本研究は、(財)JFE21世紀財団 2010年度技術研究助成により行ったものである。関係者各位に謝意を表す。

## 参考文献

- [1] 例えば、下里哲弘，村越潤，玉城喜章，高橋実：腐食により崩落に至った鋼橋の変状モニタリングの概要と崩落課程-崩落から見える地方の橋梁維持管理の実態-，橋梁と基礎，Vol.43，No.11，pp.55-60，2009.11
- [2] 鉄鋼スラグ統計年報(平成22年度実績)：鉄鋼スラグ協会，<http://www.slg.jp/pdf/fs-123.pdf>，2011.7
- [3] 濱田秀則，池田隆徳，佐川康貴：鋼材表面に生成される層状腐食生成物の微細観察，防錆管理，Vol.55，No.8，pp.292-296，2011.8
- [4] 気象庁ホームページ：気象統計情報，<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- [5] Weather base：<http://www.weatherbase.com/weather/weather.php3?s=971820>
- [6] 土木学会：鉄筋腐食・防食および補修に関する研究の現状と今後の動向（その2）—コンクリート委員会腐食防食小委員会（2期目）報告—，pp.1-41，2000
- [7] セメント協会ホームページ：<http://www.jcassoc.or.jp/>
- [8] 長尾之彦：高炉スラグ微粉末によるコンクリートのCO<sub>2</sub>削減効果について，コンクリート工学，Vol.48，No.9，pp.62-65，2010.9
- [9] 土木学会：2007年制定 コンクリート標準示方書【施工編】，p.127，2008.3