

高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いた コンクリートに関する基礎的研究(9)

—中性化深さとコンクリート強度—

Studies on Slag-Gypsum Cement Concrete (9)

魚本健人*・小林一輔*・星野富夫*

Taketo UOMOTO, Kazusuke KOBAYASHI and Tomio HOSHINO

1. はし が き

高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートでは、空中養生時の圧縮強度と中性化深さとの間に相関があることを前報¹⁾で明らかにした。本文ではコンクリート強度と中性化深さの関係についてさらに詳しく検討するため、コンクリートの配合による違いの有無、圧縮強度以外の強度との相関性の有無、ならびに結合材配合比を変化させた場合の相違、さらに実構造物に適用した場合の影響等に関して実験的に検討を加えた。

2. 実験概要

2.1 使用材料

結合材料として用いた高炉水砕スラグ、排煙脱硫石こう、普通ポルトランドセメントの品質は表-1に示すとおりである。

コンクリート用骨材としては、富士川産川砂(比重: 2.63, 吸水率: 2.10, F. M.: 3.00)および秩父両神産の砕石(最大寸法 20mm, 比重: 2.70, 吸水率: 0.69%, F. M.: 6.85)を用いた。

2.2 実験方法

スラグ、石こう、普通ポルトランドセメントを重量比で 85:13:2 の割合で混合し結合材とした。コンクリートの配合は $W/C = 40, 55, 70$ % とし、スランプが 7 ± 1 cm となるよう定めた。コンクリート供試体は水中

養生(20℃)ならびに空中養生(初期水中養生7日後、20℃, 50% R. H. の空中(CO₂濃度 0.1%))とした。供試体寸法は $\phi 10 \times 20$ cm (圧縮強度用), $\phi 15 \times 15$ cm (引張強度用)ならびに $10 \times 10 \times 40$ cm (曲げ強度用)とした。所定材令で載荷後、フェノールフタレイン溶液を破断面に塗布し、1/20 mm 精度のノギスを用いて中性化深さ(フェノールフタレインで呈色しなかった部分)を測定した。

結合材配合比の違いによる影響を調べる実験は、前報²⁾で既に報告したとおりである。なお、図-5および図-6ではスラグをS、石こうをG、普通ポルトランドセメントをPで表した。

3. 実験結果と考察

3.1 中性化深さと強度

高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートの圧縮強度が養生条件によりどのように変化するかを示したものが図-1である。この図より、次のことが認められる。

- i) 水中養生を行った場合、圧縮強度は材令とともに増大し、横軸を対数で取るとほぼ直線的に増大している。
- ii) 空中養生を行った場合、圧縮強度は材令8週程度で最大となり、それ以降の強度はわずかではあるが減少する傾向が見られる。

一方、これらの供試体の中性化深さを調べると、水中

表-1 結合材料の品質

	比重	粉末度 (cm ² /g)	化 学 成 分 (%)								合計
			ig. loss	insol.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	T-S	
高炉水砕スラグ	2.89	4,320	1.0	2.4	32.9	12.3	0.9	6.0	41.0	1.0	97.5
排煙脱硫石こう	2.33	1,580	20.2	0.5	0.3	0.1	0.2	0.1	32.6	45.4	99.4
普通ポルトランドセメント	3.16	3,330	0.4	0.1	22.0	5.4	3.1	1.4	64.5	2.2	99.1

*東京大学生産技術研究所 第5部

研究速報

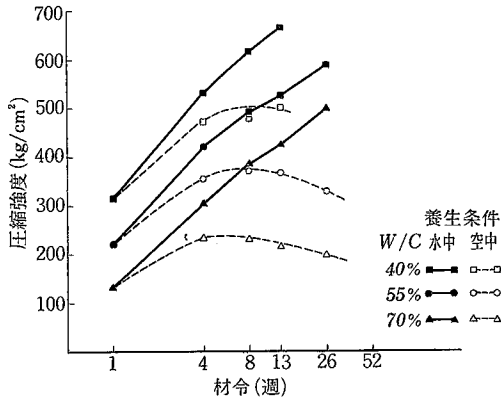


図-1 水中養生時と空中養生時のコンクリート圧縮強度と材令

養生の場合には中性化が認められないものの、空中養生の場合には図-2に示すような結果となった。この図から、高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材は普通ポルトランドセメントに比べ中性化速度が著しく早く、またW/Cの大きなものほどその傾向が強いと言えよう。

ここで、中性化深さと圧縮強度との関係を探るため、水中養生した場合の圧縮強度に対する空中養生時の圧縮強度比(σ_A/σ_W)と、空中養生した場合の供試体の全断面積に対する非中性化部分の断面積比(A/A_0)との関係を探った。その結果を図-3に示す。

この図から明らかなように、圧縮強度比と非中性化面積率との間には非常に良い相関性がある。すなわち、中性化深さが増大し、非中性化面積率が小さくなるほど水中養生時に対する空中養生時の強度比は減少し、非中性化面積率は圧縮強度比とほぼ正比例の関係になっている。これと同様な関係は、曲げ強度および引張強度の場合についても認められ、その結果を図-4に示す。

以上の結果から、高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートは、空中養生した場合水中養生時に比べ強度が低く、非中性化部分の断面積と強度との間に密接な関係があると言えよう。なお、この傾向はコンクリートの配合をW/C=40~70%に変化させても、また曲げ強度、引張強度の場合についても認められる。

3.2 結合材配合比を変えた場合の中性化深さと圧縮強度

高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材の結合材配合比を変化させた場合についても3.1と同様に中性化深さと圧縮強度を調べると、図-5、図-6に示すような結果となった。

これらの図より次のことが明らかである。

i) 普通ポルトランドセメントの割合が2%の場合には、図-3と同様な傾向を示す。

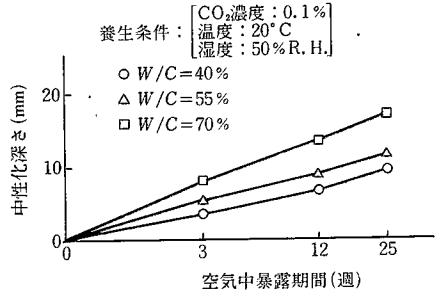


図-2 空中養生した場合の高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材コンクリートの中性化深さ(初期養生:水中20℃,7日)

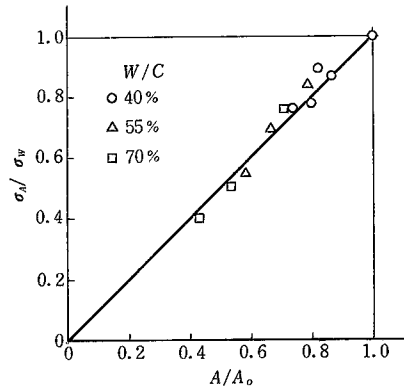


図-3 水中養生時圧縮強度に対する空中養生時圧縮強度比と非中性化面積比の関係(材令26週まで)

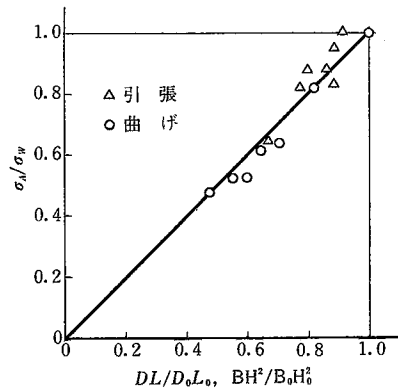


図-4 引張および曲げ強度比と非中性化面積比および非中性化曲げ剛性比の関係(材令13週まで)

ii) 普通ポルトランドセメントの割合が10%以上で石こうを添加した場合には、強度比と非中性化面積率は相関性がない。

iii) 普通ポルトランドセメントの割合が10%以上で、石こうを添加しない場合には図-3と同様な傾向を示す。

以上の結果から、中性化深さと圧縮強度比がほぼ比例するのは、普通ポルトランドセメントの割合が非常に少

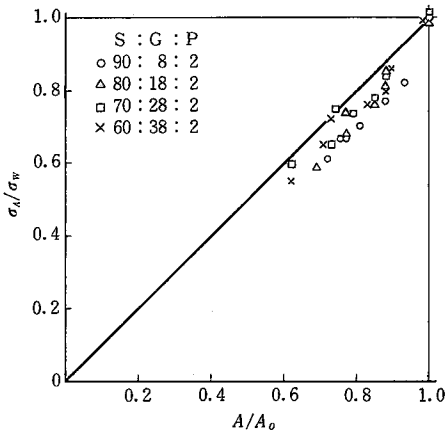


図-5 普通ポルトランドセメントの割合が2%の高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材コンクリートの圧縮強度比と非中性化面積比の関係 (材令13週まで)

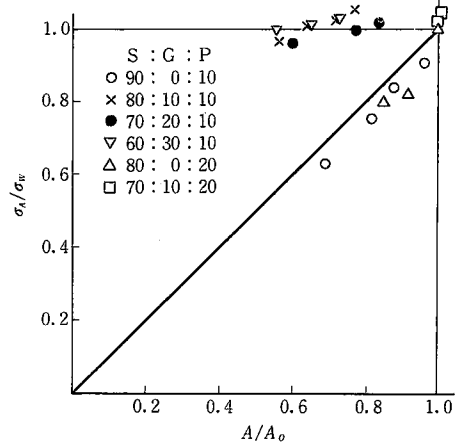


図-6 普通ポルトランドセメントの割合が10%以上の高炉スラグ・セッコウ系結合材コンクリートの圧縮強度比と非中性化面積比の関係 (材令13週まで)

ない”スラグ石こうセメント”の領域か、スラグと普通ポルトランドセメントだけから成る場合であると言えよう。また、普通ポルトランドセメントの割合が10%以上で石こうを添加した場合には、いわゆる Absanden 現象³⁾が見られなかったことから、このような組成とすることは高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材の Absanden 現象防止の一方法とも考えられる。しかし、前報²⁾で述べたように普通ポルトランドセメントの割合が10%程度では圧縮強度が著しく低いため、もし結合材中の普通ポルトランドセメントの割合を増大させる方法で Absanden 現象を防止する場合には その割合を20%以上とする必要がある。

3.3 空中養生時の圧縮強度と断面寸法

3.1 から明らかなように、実験的に図-3より

$$\sigma_A / \sigma_w \approx A / A_0 \\ = (D_0 - 2\delta)^2 / D_0^2$$

ただし

- σ_A : 空中養生時圧縮強度
- σ_w : 水中養生時圧縮強度
- D_0 : 供試体平均直径
- δ : 平均中性化深さ

が成立するのであれば、 σ_w , δ がわかれば σ_A を推定することが可能となる。

たとえば、図-1.2より、 $W/C = 70\%$ の場合を

$$\sigma_w \approx 280 \log T + 130 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \\ \delta \approx 1.35 \log T \text{ (cm)} \quad T: \text{材令(週)}$$

とすれば $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ 供試体では

$$\sigma_A = (1 - 0.27 \log T)^2 (280 \log T + 130)$$

となる。この計算値を図-7に示す。

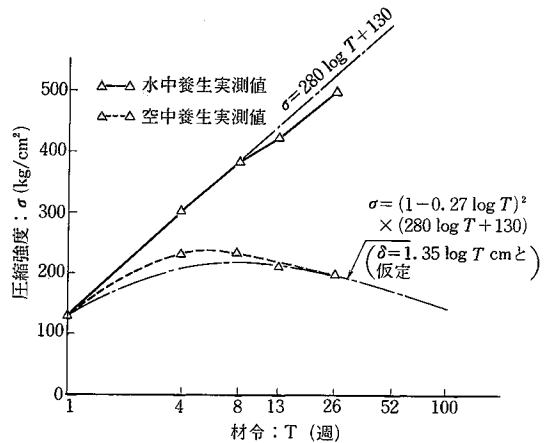


図-7 高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材コンクリートの空中養生時圧縮強度の計算値と実測値 ($W/C = 70\%$)

実測値と計算値がやや異なることは図-7より明らかであるが、この計算式は空中養生した場合のコンクリートの圧縮強度が材令8週程度で最大となること、またそれ以降は徐々に強度が低下することなどを示しており、中性化深さの測定誤差等を考慮すればかなり良い一致をしているものと考えられる。

そこで、この考え方を利用してより大きな断面の供試体についてその強度を推定したものが図-8である。これは上記仮定条件と全く同じ条件を用い、供試体の断面寸法 (D_0) のみを変化させたものである。

この図から明らかなように、高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートは、たとえ同じ空中養生を施した場合でも供試体寸法によってその圧縮強度は大幅に変化すると考えられる。このことは、もし高炉水

研究速報

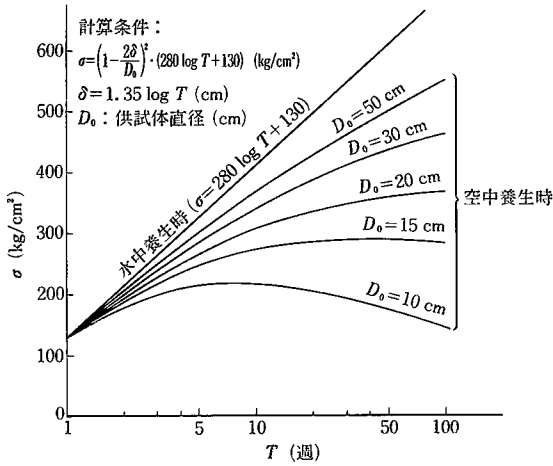


図-8 空中養生時圧縮強度に及ぼす供試体寸法の影響 (計算値, W/C = 70%, 初期水中養生7日)

(1980年3月27日受理)

砕スラグ・セッコウ系結合材を実構造物に適用する場合、部材断面の大きなものであれば中性化による影響をあまり受けませんが、部材断面の小さなものは強度の減少という影響を受けることを意味する。

本報告で明らかのように、高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材のうち特に普通ポルトランドセメントの割合の小さなものは、中性化深さが大きくなるに従って強度が低下する傾向がある。しかし、中性化深さが増加する速度は普通ポルトランドセメントに比べ大きいものの、空中暴露期間を対数で表した場合にほぼ比例するため、部材断面の大きなものではあまり大きな影響を受けないと推定される。このため、実用的には強度上の問題は少ないが、鉄筋の発錆等に関する影響は大きいものと考えられる。この場合の対策としてはかぶりを大きく取ることや、コンクリート表面に処理を施し中性化速度を低減することなどが有効であると考えられる。

今後さらに、コンクリート表層部分の劣化の原因等について検討する予定である。

参考文献

- 1) 魚本, 小林, 星野: 生産研究 Vol.32, No.2, 1980. 2
- 2) 魚本, 小林, 星野: 生産研究 Vol.31, No.6, 1979. 6
- 3) 小林, 魚本: 生産研究 Vol. 32, No.3, 1980. 3

4. あとがき

次号予告(8月号)

退官記念講演

二工・生研と共に歩んだ38年間 大島 康次郎

研究速報

新離散化モデルによる地盤基礎の極限解析(その2) { 竹川 内 則 雄
 -支持力問題- { 井 井 忠 彦

新離散化モデルによる地盤基礎の極限解析(その3) { 竹川 内 則 雄
 -斜面安定問題- { 井 井 忠 彦

複数列または無限列浮体の2次元動揺問題 木下 健

液体急冷されたAl-Ag合金の時効挙動 { 山口 浩 一
 { 西 川 精 一

コンクリートからの後方散乱ガンマ線を低減させる表面材の研究(1) { 齊藤 秀 雄
 { 佐 藤 乙 丸

高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートに関する基礎的研究(10) { 魚小 健 人
 -中性化による水和物組織の変化- { 高星 本 輔
 { 星 木 良 二
 { 野 木 富 夫

スターリング機関の機関性能の簡易予測法 { 吉高 識 夫
 (第1報, 熱交換器容積の影響) { 上 村 晴 信
 { 村 光 宏

アンカーに繋留された浮体の挙動(第2報) { 浦戸 環
 { 高 島 敏 雄
 { 橋 幸 伯

予引張りあるいは予圧縮ばねを利用した免震床の研究 { 藤原 隆 史
 (第1報, 振動特性と免震性能-その1-) { 石 田 二 郎