

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 (2)

— 圧縮強度推定式について —

Studies on Slag-Gypsum Cement Concrete (2)

魚本 健人*・小林 一輔*・星野 富夫*

Taketo UOMOTO, Kazusuke KOBAYASHI and Tomio HOSHINO

1. はじめに

本研究は高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートの圧縮強度が普通ポルトランドセメントコンクリートと異なった強度則に従っていることを報告した前報¹⁾を基に、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の圧縮強度推定式について報告する

2. 使用材料

2・1 結合材料

前報同様に、結合材料としては高炉水砕スラグ粉末、回収セッコウ、および普通ポルトランドセメントを、重量比で スラグ：セッコウ：セメント＝85：13：2 となる配合比で混合して使用した。なお各材料の品質は前報と同一である。

2・2 骨材

骨材は、富士川産の川砂および最大寸法 20mm の秩父両神産の砕石を使用した。川砂は比重 2.65、吸水量 2.41%、粗粒率 2.85 で、砕石は比重 2.65、吸水量 0.78%、粗粒率 6.80 である。

3. 実験概要

実験は表-1 に示すように 4 種類の場合について行った。圧縮強度試験は $\phi 10 \times 20$ cm の供試体を、20℃ で所定材令まで水中養生した後行った。また、コンクリートのスランブが異なった場合でも供試体の作製は、すべて同じ条件となるようにして行った。

材令 4 週の供試体についてはカルロ・エルバ社のポロシメーターを用い水銀圧入法による細孔径分布の測定を行った。なお、この試料はなるべく骨材を含まぬようペースト部分を主体としたが、完全に骨材と分離することはできなかった。

4. 実験結果と考察

4・1 普通ポルトランドセメントとの比較

図-1 は普通ポルトランドセメントとスラグ・セッコウ系結合材を比較したものである。この図から明らかのように、スランブを一定にした場合スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートの強度は、普通コンクリートと異なった傾向にあると言える。

しかし、普通ポルトランドセメントコンクリートに対するスラグ・セッコウ系結合材コンクリートの圧縮強度比を調べると、図-2 に示すように単位結合材量とはほぼ直線関係にある。この図より、スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートは、単位結合材量が少なくなるほど ① 普通ポルトランドセメントコンクリートに近い強度となり、② 材令の経過と共に強度の伸びが著しいことがわかる。またこの図からもわかるように、単位結合材量 230 kg/m^3 (水結合材比：75%) の場合には、材令 4 週で普通ポルトランドセメントコンクリートと同程度の強度が得られている。

一方、一般的に普通ポルトランドセメントコンクリートの強度は水セメント比と相関性があることを考慮す

表-1 実験条件一覧表

No	条 件	実 験 範 囲
1	スランブ一定 ($S_l = 7 \pm 1 \text{ cm}$)	$W/B = 35 \sim 75\%$, $B = 570 \sim 230 \text{ kg/m}^3$
2	水結合材比一定 ($W/B = 55\%$)	$B = 260 \sim 500 \text{ kg/m}^3$
3	単位結合材量一定 ($B = 400 \text{ kg/m}^3$)	$W/B = 35 \sim 65\%$
4	単位水量一定 ($W = 180 \text{ kg/m}^3$)	$W/B = 35 \sim 75\%$

* 東京大学生産技術研究所 第 5 部

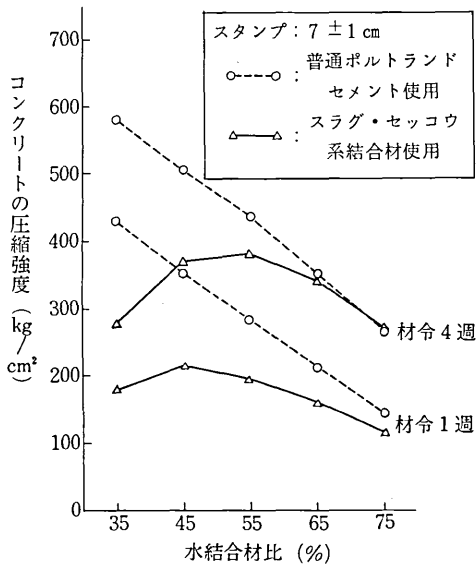


図-1 スランプ値一定にした場合の圧縮強度と水結合材比との関係

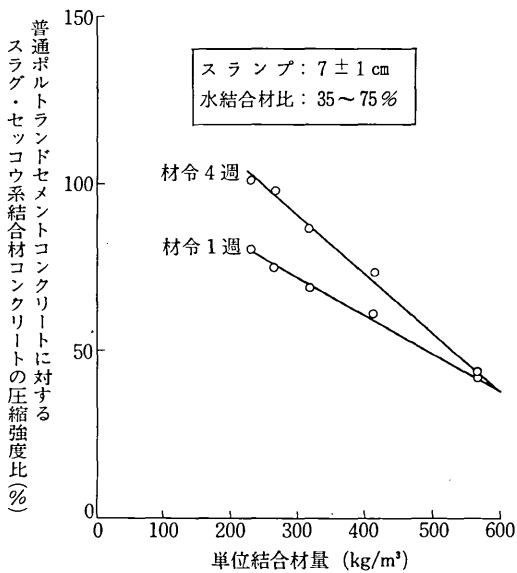


図-2 普通ポルトランドセメントコンクリートに対するスラグ・セッコウ系結合材コンクリートの圧縮強度比と単位結合材量との関係

ると、スラグ・セッコウ系結合材コンクリートの強度は、水結合材比と単位結合材量の関数になっているものと推定される。そこで、圧縮強度則を調べるため、次のような検討を行った。

4・2 水結合材比および単位結合材量を一定にした場合の圧縮強度

4・1で述べた点を考慮して水結合材比を一定にし、

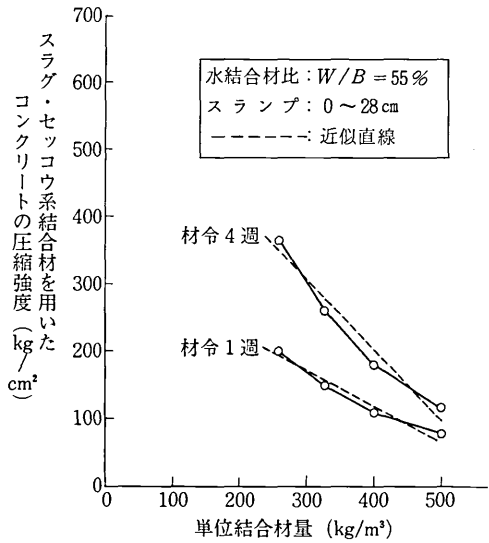


図-3 水結合材比を一定にした場合の圧縮強度と単位結合材量との関係

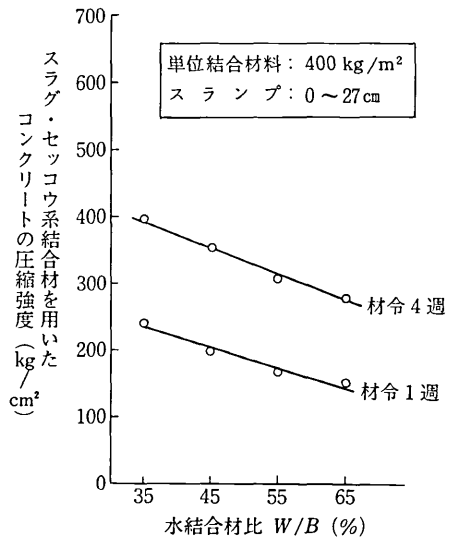


図-4 単位結合材量を一定にした場合の圧縮強度と水結合材比との関係

単位結合材量を変化させた場合の圧縮強度を示したものが図-3である。この図より、水結合材比を55%にした場合、単位結合材量の小さいものほど ①圧縮強度は高く、また、②材令1週から4週の強度の伸びおよび伸び率は大きいことが認められる。

次に単位結合材量を一定にし、水結合材比を変化させた場合を示したものが図-4である。この図より、①圧縮強度は水結合材比または単位水量とほぼ直線関係にあり、普通ポルトランドセメントコンクリートの場合と同様な関係となっていること、②材令1週から4週の強度

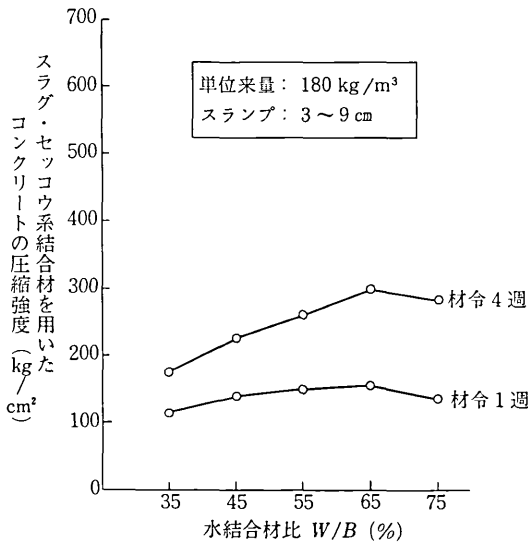


図-5 単位水量を一定にした場合の圧縮強度と水結合材比との関係

の伸びはほぼ一定で、水結合材比の小さなものの方が、強度の伸びがわずかに大きいことが認められる。

4・3 単位水量を一定にした場合の圧縮強度

単位水量を一定にし、水結合材比を変化させた場合の圧縮強度を示したものが図-5である。この図より、各材令とも最大強度となる水結合材比が存在することがわかる。

また、材令 28 日では最大強度が水結合材比 65% 付近にあるため、もし水結合材比 35~65% の範囲で実験すると強度が水結合材比に正比例するかのような状態となる。

4・4 空隙量と圧縮強度

コンクリートは内部に種々の空隙を含んでいるため、その強度は内部の空隙による影響を強く受ける。一般的に、もし母材強度が同じであれば空隙の多いものほど強度は小さく、また大きな空隙の多いものほど強度は小さいと言える。

スラグ・セッコウ系結合材と普通ポルトランドセメントのペースト部分の空隙量(T.P.V.)を比較したものが図-6である。この図はコンクリートのペースト部分を取り出し、なるべく骨材を除いて実験したものであるが、細かい骨材が試料中に含まれているため多少ばらついているがほぼ上記の傾向と合っている。また、スラグ・セッコウ系結合材と普通ポルトランドセメントのいずれもほぼ同じ曲線上にあることから、母体のペーストの強度は大きく変化してはいないものと考えられよう。なお、図-6に示した空隙量は、細孔半径 75 Å ~ 75000 Å の範囲のものである。

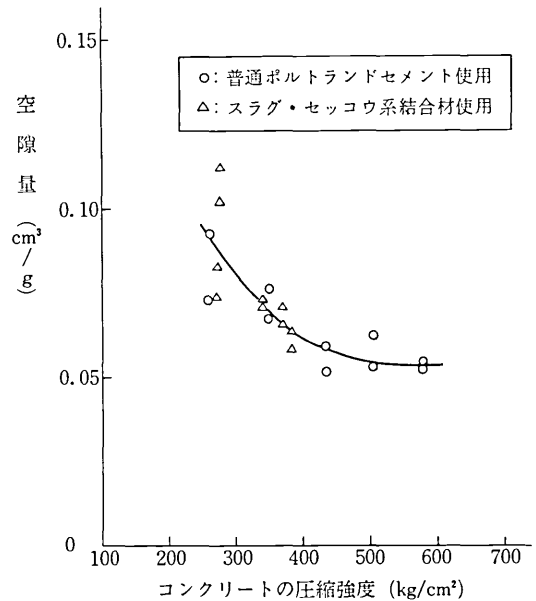


図-6 材令 4 週でのコンクリート圧縮強度と空隙量 (75 Å ~ 75000 Å) との関係

5. スラグ・セッコウ系結合材の圧縮強度推定式

上記の結果からも明らかなように、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 σ は、一般的に次式の形に近似できると考えられる。

$$\sigma = K(1 + \alpha B) \cdot (1 + \beta W/B) \tag{1}$$

ただし、 K, α, β : 定数

B : 単位結合材量

W : 単位水量

しかし、 K, α, β は材令等により決まるものと考えられ、常に一定値を取るものとは言えない。

ここで上記実験と同じように $B, W, W/B$ が一定の場合の式を求めると、

(i) W/B が一定の場合 ($W/B = A$ とする)

$$\sigma = K(1 + \beta A) \cdot (1 + \alpha B) \tag{2}$$

この式は圧縮強度が単位結合材量に比例することを示している。

(ii) B が一定の場合 ($B = B_0$ とする)

$$\sigma = K(1 + \alpha B_0) \cdot (1 + \beta W/B_0) \tag{3}$$

この式は圧縮強度が単位水量に比例することを示しており、 B が一定のため W/B に比例しているとも言えることができる。

(iii) W が一定の場合 ($W = W_0$ とする)

$$\sigma = K(1 + \alpha W_0 + \alpha B + \beta W_0/B) \tag{4}$$

この式は圧縮強度が B および $1/B$ の関数であることを示しており、 $K > 0, \alpha, \beta < 0$ であるから $B > 0$ では

研究速報

$$B = \sqrt{\beta W_0 / \alpha} = B_0 \quad (5)$$

で最大となる。すなわち、圧縮強度には最大値が存在するというを示している。

以上に示した(2)、(3)、(4)式は実験結果の傾向とも良く合っていると云えよう。

ここで今回行った実験の図-3と図-4より定数 α と β を求めると、次のようになる。

$$\alpha = -0.0016 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (材令 7 日)},$$

$$-0.0017 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (材令 28 日)}$$

$$\beta = -0.91 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (材令 7 日)},$$

$$-0.73 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ (材令 28 日)}$$

そこで、この α 、 β を用い単位水量を 180 kg/m^3 とした場合のピークとなる水結合材比を求めると、

$$\text{材令 7 日: } B_0 \doteq 320 \text{ kg/m}^3, (W/B)_0 = 56\%$$

$$\text{材令 28 日: } B_0 \doteq 278 \text{ kg/m}^3, (W/B)_0 = 65\%$$

となり、図-5と比較しても良く一致している。

6. ま と め

スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートの強度は普通ポルトランドセメントコンクリートとは異なった傾向を示したが、その強度はほぼ(1)式の形になっているものと思われる。

この式から直ちにわかるように同じ水結合材比では

単位結合材量の大きいものほど強度は小さく、同じ単位結合材量では水結合材比の小さいものほど強度は大きい。また、単位水量が一定の場合、水結合材比を変化させても最大値を示す水結合材比が存在する。このような性質があるため、配合を普通ポルトランドセメントの場合のようにスランプを一定にすると、水結合材比の小さなものほど単位結合材量が多くなり、かえって強度低下をおこす。また単位水量を多くするほどピーク値は水結合材比の大きな方に移動するため、場合によっては水結合材比を大きくするほど強度が高くなるという現象が起こる。

本文に示された傾向は、スラグ・セッコウ系結合材の配合比(スラグ、セッコウ、セメントの割合)を変化させても同様に認められ、スラグ、セッコウの割合を増大させるほど顕著となることは実験的に確認している。他の配合比の場合については、推定式の適用限界も含め検討中である。

最後に、本実験の材料を提供していただいた第一セメント(株)に深謝するしだいである。

(1978年7月28日受理)

参 考 文 献

- 1) 小林, 魚本, 榎本, 森「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本的研究(1)」
生産研究 vol. 30, No 6, 1978