

# 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 (7) — 圧縮強度に及ぼす練り混ぜ及び締め固め方法の影響 — Studies on Slag-Gypsum Cement Concrete (7)

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・セッコウ系結合材でいわゆる“高硫酸塩スラグセメント”の領域に属する結合材は、普通ポルトランドセメントとは異なった圧縮強度特性を示すことを前報<sup>1)~3)</sup>で示したが、練り混ぜおよび締め固め方法によってもかなり影響を受けることが明らかとなった。そこで本報告では、コンクリートの練り混ぜ方法および締め固め方法が圧縮強度に及ぼす影響について検討を行った。なお、本実験では高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材の配合比を重量比でスラグ：セッコウ：セメント＝85：13：2とした。

## 2 実 験 の 概 要

練り混ぜおよび締め固め方法が高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響を調べるため、ミキサーの種類および締め固め方法を変化させてコンクリートの練り混ぜを行い供試体を成形した。使用したミキサーはアイリッヒ型および強制攪拌式で、その仕様を表-1に示す。また締め固め方法としてはJIS A 1132に示されている突き棒を用いる方法と内部振動機を用いる方法について検討を行った。コンクリートの配合はスランプが7±1cmとなるように定め、使用した結合材料の品質は表-2に示す通り

である。骨材は細骨材として富士川産の川砂(比重2.62, 吸水量1.99%, 粗粒率2.76)を、また粗骨材として最大寸法20mmの秩父両神産砕石(比重2.69, 吸水量0.63%, 粗粒率6.85)を使用した。

コンクリートの供試体寸法はφ10×20cm、コンクリート打設後の養生は水中養生(20℃)とし、所定材令で圧縮強度試験を実施した。

## 3. 実験結果と考察

### 3・1 圧縮強度に及ぼす練り混ぜ方法の影響

練り混ぜ方法を変化させた場合の圧縮強度と水結合材比との関係を図-1に示す。ただし、この実験では供試体作成時の締め固め方法は突き棒による方法である。

この図から明らかのように、水結合材比の大きい65%以上の領域ではいずれの方法でもほぼ同程度の強度が得られているが、水結合材比の小さい領域では練り混ぜ方法によって大幅に強度が変化していることがわかる。す

表-1 ミキサー仕様

| ミキサー型式 | 攪拌羽根枚数             | 回転速度<br>(羽根回転速度) |
|--------|--------------------|------------------|
| アイリッヒ型 | 固定羽根：1枚<br>移動羽根：2枚 | 20 rpm           |
| 強制攪拌式  | 移動羽根：3枚            | 54 rpm           |

表-2 結合材料の品質

| 結合材料         | 比重   | 粉末度<br>(cm <sup>2</sup> /g) | ガラス量<br>(%) | 塩基度  | 化 学 成 分 ( % ) |        |                  |                                |                                |                                |      |     |      |      | Total Sulfur | 合計 |
|--------------|------|-----------------------------|-------------|------|---------------|--------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|------|------|--------------|----|
|              |      |                             |             |      | ig-loss       | insol. | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO |      |      |              |    |
| 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                            | -                              | 64.5 | 1.4 | 2.2  | 99.1 |              |    |
| 高炉水砕スラグ      | 2.80 | 4 320                       | 99          | 1.80 | 2.6           | -      | 32.9             | 12.3                           | 0.9                            | 0.5                            | 41.0 | 6.0 | 1.0  | 97.2 |              |    |
| 排煙脱硫石        | 2.33 | 1 580                       | -           | -    | 20.2          | 0.5    | 0.3              | 0.1                            | 0.2                            | 0.0                            | 32.6 | 0.1 | 45.4 | 99.4 |              |    |

\* 東京大学生産技術研究所 第5部

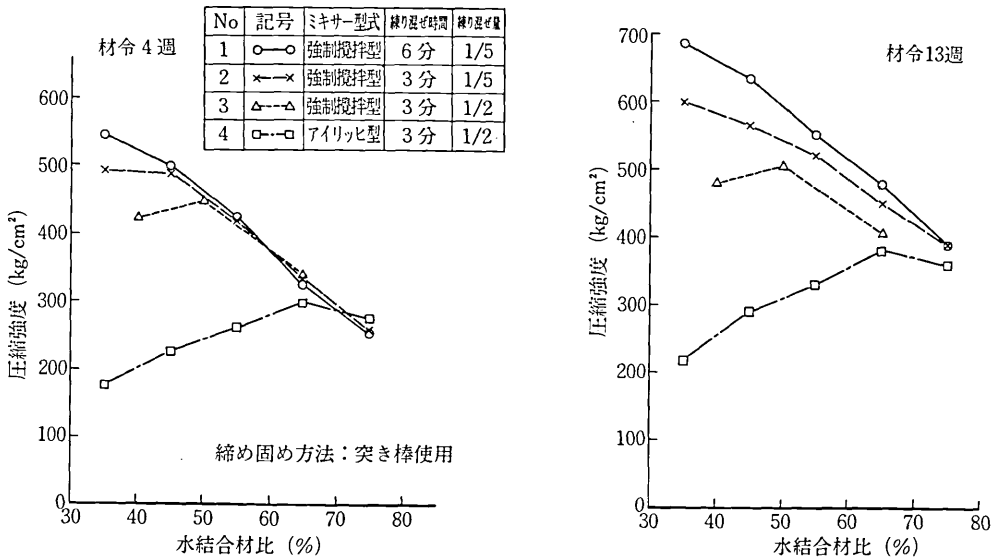


図-1 練り混ぜ方法を変化させた場合の高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材  
コンクリートの圧縮強度と水結合材比

なわち、この図で最も強度が高いのは強制攪拌式ミキサーを使用し、練り混ぜ量をミキサー公称容量の1/5とし、6分間練り混ぜた場合であり、逆に最も強度の低いのはアイリッヒ型ミキサーを使用し、公称容量の1/2で3分間練り混ぜた場合である。この両方法による強度差は、水結合材比35%の場合で比較すると材令4週で約370kg/cm<sup>2</sup>、材令13週で実に約450kg/cm<sup>2</sup>の差となっている。

図-1の各条件毎に実験データを検討すると、次の傾向が認められる。

i) ミキサーの相違が強度に及ぼす影響は著しく、練り混ぜ時間および練り混ぜ量の同じNo3とNo4を比較すると、アイリッヒ型より強制攪拌式ミキサーを用いた場合に高い強度が得られている。

ii) 同じ強制攪拌式ミキサーを用いた場合でも練り混ぜ時間を一定とした場合には、練り混ぜ量により強度は異なる。すなわち、No2とNo3を比較すると明らかに、練り混ぜ量を公称容量の1/5とした方が公称容量の1/2の場合より強度は高くなる。

iii) 同じ強制攪拌式ミキサーを用いた場合でも練り混ぜ量を一定とした場合には、練り混ぜ時間によって強度が相違する。すなわち、No1とNo2を比較すると明らかに、水結合材比の小さい配合では練り混ぜ時間を6分間とした方が3分間の場合よりわずかではあるが、高い強度が得られている。

iv) 上記i)～iii)の傾向は材令4週よりも材令13週の場合に顕著に表れている。

このように、練り混ぜ方法によってコンクリートの圧縮強度

が大きな影響を受ける理由は、前報<sup>4)</sup>で明らかにしたようにこの種の結合材は刺激剤である普通ポルトランドセメント含有量のわずかな変動が強度発現特性を大きく左右するためであると考えられる。すなわち、練り混ぜが不十分であると刺激剤である普通ポルトランドセメントの分散が一樣でなく局部的にその含有量に偏りが生じその部分のスラグおよびセッコウの水和反応が阻害されることによるものと思われる。本実験ではNo4が正にそのような状態になったと考えられよう。なお、上記の傾向は普通ポルトランドセメントコンクリートではほとんど認められないものである。

### 3・2 圧縮強度に及ぼす締め固め方法の影響

締め固め方法が圧縮強度と水結合材比に及ぼす影響を図-2に示す。なお、ミキサーは全実験を通じて強制攪拌式のものを用いた。

この図から明らかなように、材令1週では締め固め方法による相違はほとんど認められないが、材令4週、13週と材令の経過に従って水結合材比の小さい領域において締め固め方法による差が認められる。特に材令13週になると、水結合材比35%および45%では内部振動機を用いて締め固めた場合のコンクリート強度が、突き棒によって締め固めた場合よりも約5%程度高い強度となっている。しかし、水結合材比55%以上ではほとんど強度差は認められない。

このような傾向は普通ポルトランドセメントの場合でも認められており、高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材特有の性質とは考えられない。

研究速報

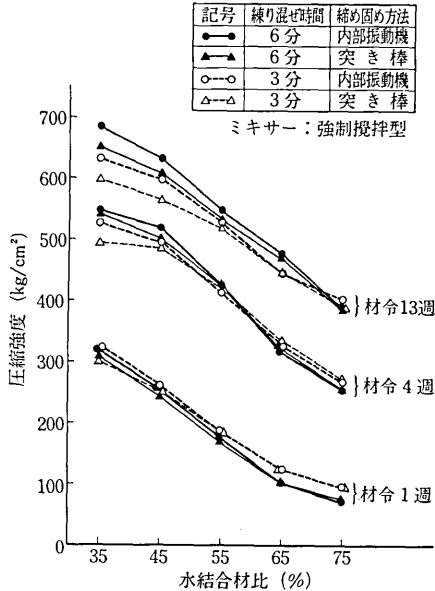


図-2 締め固め方法を変化させた場合の高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材コンクリートの圧縮強度と水結合材比

3・3 圧縮強度推定式と練り混ぜおよび締め固め方法

3・1 および 3・2 で明らかとなった高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材の強度特性と、前報<sup>2)</sup>で示した圧縮強度推定式との関係を探るため、次式において、 $W=180$

$$\sigma_0 = (1 - \alpha B) \cdot (1 - \beta W/B)$$

$\text{kg/m}^3$ ,  $\beta = 0.8$  とし、 $\alpha$  を変化させた場合の  $\sigma_0$  と  $W/B$  との関係を図-3に示す。

この図-3と図-1および図-2を比較すると明らかのように上式の係数 $\alpha$ は、練り混ぜ方法や締め固め方法と密接な関係がある。すなわち、コンクリートの練り混ぜや締め固めを十分に行うことは係数 $\alpha$ を小さくすることを意味している。このことは逆に考えると、高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材コンクリートでも練り混ぜや締め固めを十分に行えば、普通ポルトランドセメントコンクリートと同様な強度則に適合させることが可能であることを示唆していると言えよう。

従来、いわゆる“高硫酸塩スラグセメント”に属する高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を用いたコンクリートの圧縮強度は「水セメント比法則に従わない<sup>1)3)</sup>」とか、「水セメント比を変化させても強度はほとんど変化しない<sup>4)</sup>」という実験結果と、「水セメント比法則に従う<sup>5)</sup>」という相反する実験結果が得られていたが、前述の結果から明らかのようにいずれの結果も起こりうる事が示されたわけである。また、このように練り混ぜ条件によって強度に差を生じないようにする方法としては、刺激剤である普通ポルトランドセメントをあらかじめ水に溶か

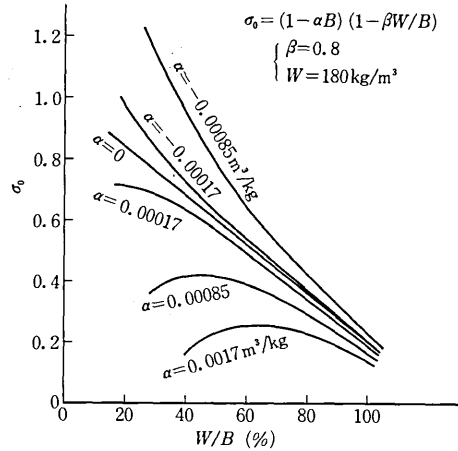


図-3  $\alpha$  を変化させた場合の圧縮強度推定式

して使用するという方法も考えられよう。

3・4 普通ポルトランドセメントコンクリートの圧縮強度との比較

今まで検討したことから、本実験では、高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材を使用する場合、強度面から見て最も有利なのは、強制攪拌型ミキサーを使用し、練り混ぜ量を公称容量の1/5、練り混ぜ時間を6分間とし、内部振動機を使用する方法である。そこで、この方法で製造した高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材コンクリートとアイリッヒ型ミキサーを使用し、練り混ぜ量を公称容量の1/2、練り混ぜ時間を3分間とし、突き棒で締め固めた普通ポルトランドセメントコンクリートの強度を比較した。その結果を図-4, 5に示す。

これらの図より、次の傾向が認められる。

- i) いずれの結合材も水結合材比と圧縮強度の関係を直線で近似することが可能である。
- ii) 普通ポルトランドセメントコンクリートに比べ、高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材コンクリートは初期強度は低い、材令4週以降は同等またはそれ以上の強度となる。
- iii) 材令と強度の関係を調べると、高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材コンクリートの方が強度の伸び率は大きい。

また、今回の実験でも明らかのように、いわゆる“高硫酸塩スラグセメント”に属する高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材コンクリートでも、水結合材比が35%、材令13週で約700 kg/cm<sup>2</sup>の圧縮強度を得ることが可能であることが示された。このことは、セメントとしての高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材の適用範囲を広げることになる。

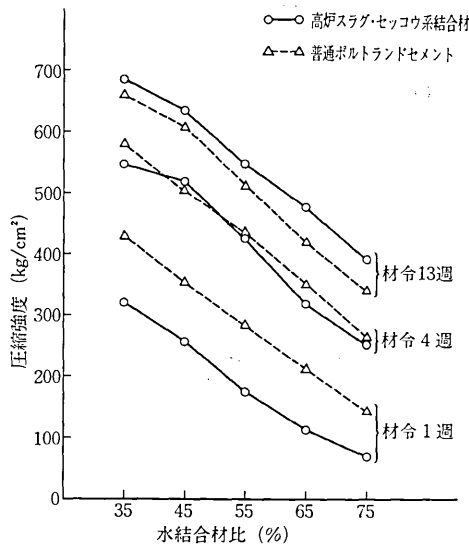


図-4 普通ポルトランドセメントコンクリートと高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材コンクリートの圧縮強度と水結合材比

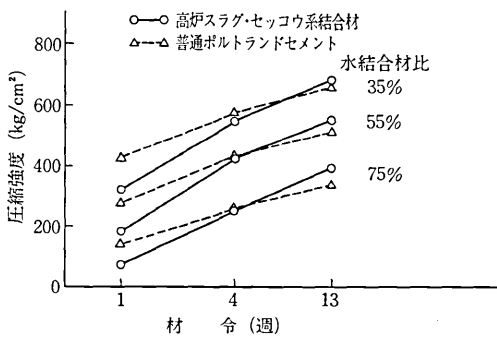


図-5 高炉水砕スラグ・セッコウ系結合材コンクリートと普通ポルトランドセメントコンクリートの圧縮強度と材令

#### 4. あとがき

本報告は、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に及ぼす練り混ぜおよび締め固め方法の影響を調べたものであるが、検討の結果、特に練り混ぜを十分に行うことが必要不可欠であることが明らかとなった。この種の結合材を実際の構造物に使用することはバラツキが大きく我が国では難しいとされていたが、今までの検討結果から、少なくとも圧縮強度に関しては普通ポルトランドセメントと同程度の品質を得るための方法が明らかになったわけで、今後はさらに物理的耐久性等に関する検討を行えば良いものと思われる。

(1979年7月3日受理)

#### 参考文献

- 1) 小林, 魚本, 榎本, 森: 生産研究 Vol.130, No.6 1978. 6.
- 2) 魚本, 小林, 星野: 生産研究 Vol. 30, No. 10 1978. 10.
- 3) 魚本, 小林, 星野: 生産研究 Vol. 31, No. 6 1979. 6.
- 4) 魚本, 小林, 星野: 生産研究, Vol. 31, No. 9. pp. 40-42. 1979. 9.
- 5) 田中, 酒井, 山根, 高木: セメント技術年報 XI 1957.
- 6) 出光, 高山, 高倉, 古賀: セメント技術年報 32 1978

