

正会員 笠井 芳夫 (日本大学教授)

〇天 沼 邦 一 (同大学院生)

堀 有 一 (")

1. はじめ

現在、わが国の高炉スラグ排出量は年間約3000万トンといわれている。その内、除冷スラグは細骨材、粗骨材などに、急冷水砕スラグはその潜在水硬性に着目し、微粉砕されて高炉セメントなどの混合材として使用されている。

本報告は産業副産物の大量利用という観点から、活性の高い急冷水砕スラグを主成分とし、セッコウおよび石灰を重量を変化させて混合し、3成分系セメントを調整し、モルタルにより硬化物の圧縮強度、曲げ強度および長さ変化について実験を行なったものである。

表1. スラグの物理的性質および化学組成 (化学分析は住友金属分析センターによる)

項目	物理的性質			化学成分 (%) 74μ以下								
	比表面積 (cm ² /g)	比重	結晶率 (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Ig.Loss	Total
エスメント	3,760	3.06	2.5	31.5	11.8	0.8	44.4	6.7	0.3	0.4	tr	95.9

表2. α型半水セッコウの物理的性質

比重	比表面積 (cm ² /g)	pH	凝結時間 (分)		
			混水量 (%)	始発	凝結
2.74	2,560	5.6	39.3	4	8

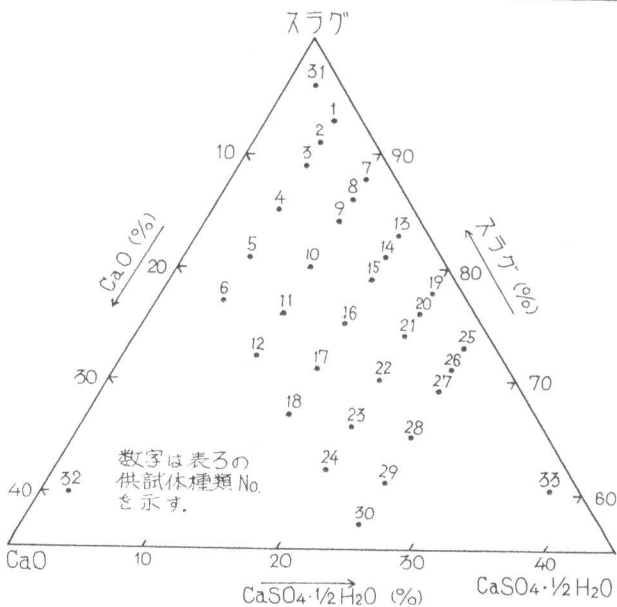


図1. 三成分調合図表

2. 実験計画

2.1 使用材料

(1)スラグ 高炉水砕スラグ粉末品 (市販名エスメント) を使用した。物理的性質および化学組成を表1に示す。

(2)セッコウ セッコウはα型半水セッコウ (CaSO₄ · 1/2H₂O) を使用した。物理的性質を表2に示す。

(3)石灰 石灰は生石灰 (CaO) を用い市販の化学試験用一級試薬を使用した。

(4)細骨材 細骨材は豊浦産の標準砂を使用した。

2.2 実験方法

実施調合を表3に示す。調合表の供試体種類別No.

表3. 調合表

供試体種類 No*	スラゲーセッコウ-石灰系セメント (重量%)			水量 (%)	結合材/砂比	備考
	スラグ	セッコウ	生石灰 (CaO)			
1	93	5	2	55	1:2 (重量比)	セッコウ混入率5%とした場合
2	91	"	4			
3	89	"	6			
4	85	"	10			
5	81	"	14			
6	77	5	18			
7	88	10	2			セッコウ混入率10%とした場合
8	86	"	4			
9	84	"	6			
10	80	"	10			
11	76	"	14			
12	72	10	18			
13	83	15	2			セッコウ混入率15%とした場合
14	81	"	4			
15	79	"	6			
16	75	"	10			
17	71	"	14			
18	67	15	18			
19	78	20	2			セッコウ混入率20%とした場合
20	76	"	4			
21	74	"	6			
22	70	"	10			
23	66	"	14			
24	62	20	18			
25	73	25	2			セッコウ混入率25%とした場合
26	71	"	4			
27	69	"	6			
28	65	"	10			
29	61	"	14			
30	57	25	18			
31	90	2	2			—
32	60	2	38			
33	60	38	2			

*No. は三成分図表 (図1) を参照

は図1中の3成分調合図表に記入してあるNO. を示すものである。スラグ、セッコウおよび生石灰はV型混合機で30分間混ぜ合わせ、均一な状態にして用いた。水/結合材比を55%と定め、予備実験を行ないフロー値が160±20になるように結合材：砂比を定めた。練り混ぜはJIS R 5201（セメントの物理試験方法）に準じ、4×4×16cmの3連型枠を用いて成形した。供試体製作後、恒温室内の養生箱に静置し、3日後に脱型した。

養生方法は20℃空气中養生と20℃水中養生の2種類として、両者共に材令28日で圧縮試験、曲げ試験を行った。

長さ変化試験は表3のNO.8、12、33のみについて行った。供試体製作および測定方法は JIS A 1129（モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法コンパレータ方法）に準じ、材令1日から始め、3日、7日、14日、28日および56日に測定を行なった。

3 結果および考察

3.1 3成分図表における圧縮強度分布について

3成分図表における圧縮強度分布の水中養生の場合を図2に示し、空气中養生の場合を図3に示す。

図2、図3とも同様の傾向のため図2について述べる。

圧縮強度はセッコウ20%以下では、スラガーセッコウ



図2. 三成分図表における圧縮強度分布 (水中養生)

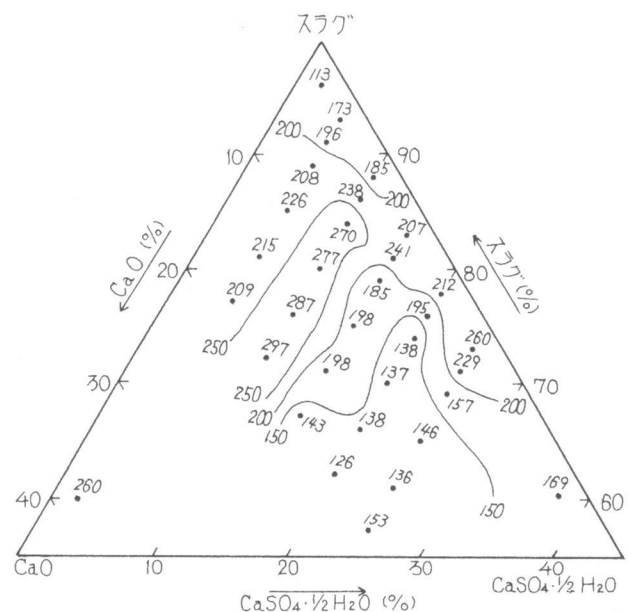


図3. 三成分図表における圧縮強度分布 (空气中養生)

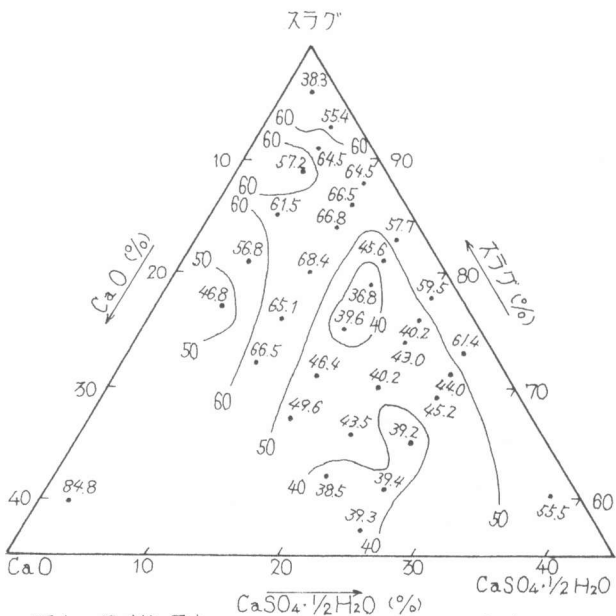


図4. 三成分図表における曲げ強度分布 (水中養生)

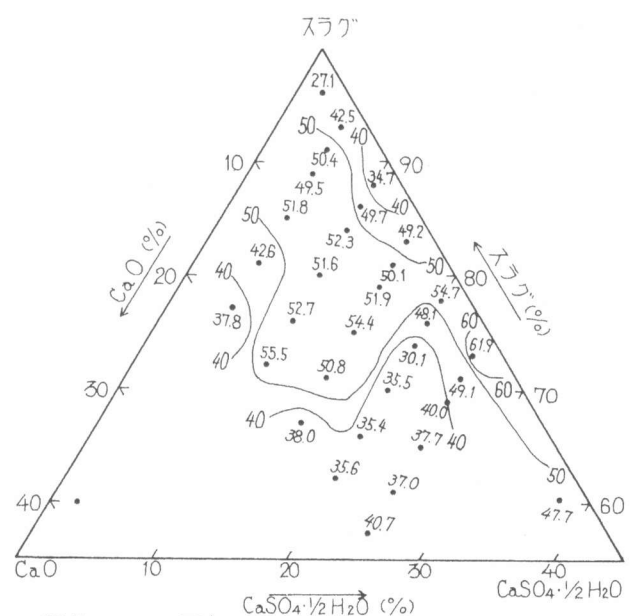


図5. 三成分図表における曲げ強度分布 (空气中養生)

ウ系に加える石灰量は4から14%の範囲で増加すれば、
圧縮強度が大きくなっている。

最も大きい圧縮強度が得られた調合は、スラグ76%、セッコウ10%、石灰14%付近 (No.10) で、その強度は300kg/cm²を上まわっている。

なお1点のみであるが、石灰を極端に増した調合 (No.32) スラグ60%、セッコウ2%、石灰38%では260kg/cm²以上の強度が得られた。これはNo.1からNo.30までの調合とは違ったものとして考える必要があるだろう。

以上より調合No.32を除くと、圧縮強度200kg/cm²以上を示したのはスラグ76%以上、セッコウ5から10%、石灰4から14%の範囲の調合であった。

3.2 3成分図表における曲げ強度分布について

3成分図表における曲げ強度分布の水中養生の場合を図4に示し、空气中養生の場合を図5に示す。

図4より曲げ強度は、セッコウ10%では石灰量が4から14%まで変化しても強度はほとんど変わらない。セッコウ量が15%を越えると石灰量が増加するにつれて強度は減少する。

最も大きい強度はスラグ80%、セッコウ10%、石灰10%の調合 (No.10) で得られ、圧縮強度が最大値を示した調合とほぼ同様のものである。

曲げ強度60kg/cm²以上を示す範囲をとると、スラグ80%以上、セッコウ5から10%、石灰4から14%となった。また石灰2%としたスラグセッコウ系では、セッコウ約30%まで曲げ強度60kg/cm²程度を示した。

なお1点のみであるが、調合No.32は曲げ強度85kg/cm²

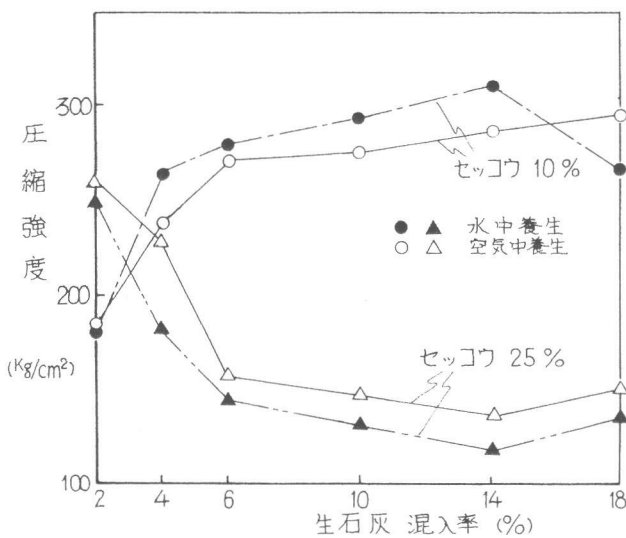


図6. 生石灰混入率と圧縮強度との関係 (セッコウ混入率10%と25%の場合)

程度を示した。

図5では図4とほぼ同様の傾向を示しているが、スラグ71から81%、セッコウ10%、石灰4から14%で図4に示されている同調合の曲げ強度より10%程度大きい強度が得られた。

3.3 生石灰混入率と圧縮強度との関係について

セッコウ混入率10%と25%の場合について生石灰混入率と圧縮強度との関係を図6に示す。

図6より石灰が2%から14%に増すと、セッコウ10%の場合は圧縮強度が増加し、セッコウ25%では減少している。特に石灰2から6%の間で、それぞれの傾向が顕著に現われている。

また石灰2%ではセッコウ10%の方が25%より小さな圧縮強度を示している。このようにセッコウ量が10%程度のもので、25%程度のものでは石灰量を増した場合、逆の傾向を示すことがわかる。

3.4 セッコウ混入率と圧縮強度との関係について

石灰混入率4%と8%の場合についてセッコウ混入率と圧縮強度との関係を図7に示す。

図7より両者ともセッコウ10%で圧縮強度が最大になっている。最大値は石灰18%の方が大きい。セッコウ10から15%の場合では石灰4%の方が強度低下は少ない。これより石灰4%の方がセッコウ量の変化による影響を受け難い。

3.5 水中養生と空气中養生が強度に及ぼす影響

(1) 曲げ強度と圧縮強度との関係 曲げ強度/圧縮強度の値は、水中養生では平均26.2%、空气中養生では

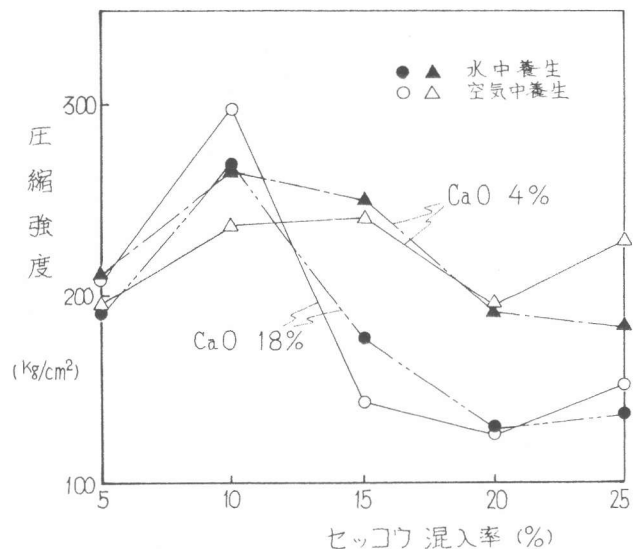


図7. セッコウ混入率と圧縮強度との関係 (生石灰混入率4%と18%の場合)

平均23.7%であった。これは空气中養生に較べ曲げ強度が大きいためである。

(2)水中養生と空气中養生との関係 図2、図4と図3、図5を比較すると、曲げおよび圧縮強度は水中養生の方が空气中養生より10%程度大きい値を示している。水中養生の供試体は水中から取り出した直後に試験に供しているため、水中養生供試体と空气中養生供試体とは、試験時供試体の含水状態に差がある。

前者は湿潤状態にあり後者は乾燥状態にある。したがって同じ含水状態で試験をすればさらに、水中養生強度が空气中養生強度より大きな値を示すものと考えられる。以上よりスラグ-セッコウ-石灰系混合セメントは、水硬性が支配的であるため、十分な水中養生を行なうことが必要であろう。

3.6 材令と容積変化率および重量変化率について

(1)材令と容積変化率との関係 材令と容積変化率との関係を図8に示す。

図8より容積変化率は水中養生、空气中養生ともにスラグ混入率60、72、86%と変化すると順に大きくなっている。セッコウ量38%の場合、10%に比し水中、空气中養生ともに膨張量が大きい。空气中養生の場合、材令28日以後収縮に転じた。水中養生の場合、材令28日以後収縮の傾向を示したが、この原因は明らかでない。

以上より容積変化率に影響を及ぼすのは、スラグ量とセッコウ量が主体であると思われる。

供試体を観察すると空气中養生のものは、打込時とほとんど変わらない色(スラグの色)を示すが、水中養生のものは青緑色に変化している。また空气中養生のものは、表面がややもろくなっている。

(2)材令と重量変化率との関係 材令と重量変化率との関係を図9に示す。

図9より空气中養生は3種の調合とも、ほぼ同程度の重量変化率を示している。水中養生では3種の調合とも、重量変化率は材令7日から、ほぼ一定の値をとっているがスラグ72%、セッコウ10%、石灰18%の調合(N0.12)が他の2種より大きい値を示した。これは図8の容積変化率との相関性はなく原因は不明である。

4. まとめ

スラグ-セッコウ-石灰系セメントを用いたモルタルにおいて圧縮および曲げ強度、容積変化率について実験を行なった結果、以下のことが言える。

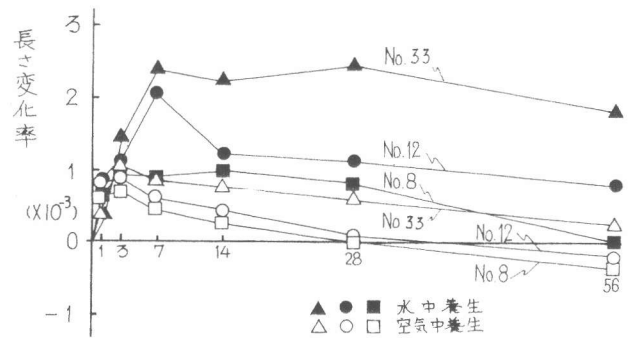


図8. 材令と容積変化率との関係

調合 (%)			
No.	スラグ	セッコウ	石灰
8	86	10	4
12	72	10	18
3	60	38	2

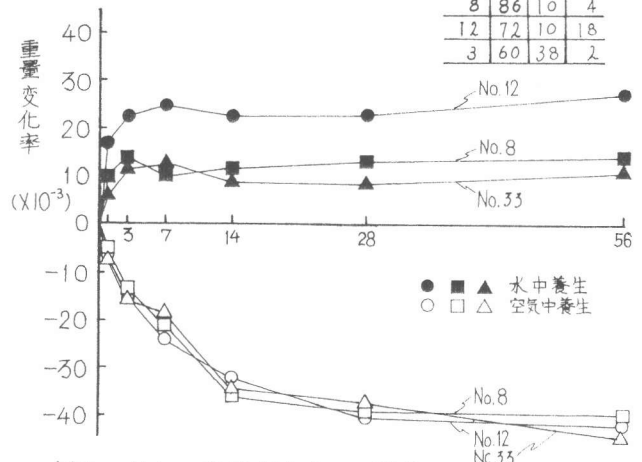


図9. 材令と重量変化率との関係

1) 圧縮強度200 kg/cm²以上、曲げ強度50 kg/cm²以上が得られた調合の範囲は、水中養生、空气中養生ともにスラグ76%以上、セッコウ5から10%、石灰4から14%程度であった。

2) 水中養生と空气中養生では、前者が曲げ、圧縮強度とも後者を10%程度上まわっている。これよりスラグ-セッコウ-石灰系セメントは水硬性が支配的であり、十分な水中養生が必要であろう。

3) 調合No.1から33において供試体の膨張および収縮による異状、水中養生中の溶損は見られなかった。

文献によると高炉水砕スラグ、2水セッコウ、消石灰の3成分系を用いたペーストでは、スラグ50%以上、セッコウ50%以下、石灰0.5%の調合で圧縮強度300 kg/cm²に達している。またスラグ60%以下、セッコウ10%以上、石灰10%以上の調合では強度発現が悪いと報告されている。今回の実験は半水セッコウ、生石灰を用いているので、これらの結果とはかなり相異しているが、更に実験・研究を進めたい。

参考文献 1) 田代、宇留島、石膏と石灰、NO.147、1977
2) 田代、宇留島、英田良、石膏と石灰、NO.155、1978
3) 石膏石灰ハンドブック、石膏石灰学会編