

[17] 高炉スラグを主体にしたクリンカーレス粗粒子セメント コンクリート

武田 稷 (新日本製鐵・大分製鐵所)

星野 彰 (新日本製鐵・大分製鐵所)

○正会員 今野 美千雄 (新日本製鐵・大分製鐵所)

1. まえがき

鉄鋼業において鉄鉄を製造する際同時に生成される溶融状態のスラグを水で急冷することにより粒状の水砕スラグが得られる。水砕スラグの特徴は潜在水硬性を有していることで、この潜在水硬性エネルギーを最大限に発揮させることにより、一般セメントコンクリートに匹敵するコンクリートの製造が可能である。当硬化体の組合せは、水砕スラグを比表面積 $1000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 程度に粗粉碎したものに、二水セッコウ・消石灰を適量混合した、クリンカーレス粗粒子セメント(以下、C・L・セメントと略称)に粗骨材として高炉徐冷スラグを混合したものである。この硬化体の鉱物組成は水砕スラグから溶出した、 CaO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 とセッコウとの水和反応で生じたC-S-H系、C-A-S-H系水和物が主体であり、これらの空隙に、 SiO_2 、 Al_2O_3 が主体となった超極微細なゲルが生成され超緻密な硬化体となる。前報告⁽¹⁾以降に行なってきた室内試験結果及び施工例について紹介する。

2. C・L・Cement

C・L・Cementは、高炉水砕スラグをロッドミルで粗粉碎した $0.3 \mu\text{m}$ 以下の粒子と二水セッコウ及び消石灰を適量混合したものである。以下にC・L・Cementの使用材料、圧縮強度試験結果を示す。

使用材料

高炉水砕スラグ・・・大分製鐵所産、化学成分表-1に示す。

二水セッコウ・・・排脱セッコウ(二水セッコウ純度97.3%)

消石灰・・・JIS R 9001

圧縮強度結果 (JIS R 5201に準じて行なった。)

C・L・Cement、各配合比率による圧縮強度変化を図-1の三成分図で示す。この試験で明らかのように、C・L・Cementの最適配合比率は表-2に示す通りであり、C・L・Cementにて材令28日強度 $300 \sim 400 \text{ kg/cm}^2$ の確保が可能である。又、これらの硬化体のX線回析及び、走査電顕写真での調査結果では、C-S-H、C-A-S-H系の結晶硬化体でありエトリンガイト生成に必要な Al_2O_3 がスラグ中に均一に入っており、セッコウ及び、石灰の配合が適量であればエトリンガイトによる膨脹を起すことなく超緻密な硬化体となっている。以下にC・L・Cement Concreteの特性について述べる。

3. C・L・Cement Concrete

(1) C・L・Cement Concreteは、C・L・Cementに粗骨材(高炉スラグ砕石)を組み合せ、一般セメントコンクリートと同様な施工性を有する。目標圧縮強度 $\sigma_7 = 100 \text{ kg/cm}^2$ 以上、 $\sigma_{28} = 200 \text{ kg/cm}^2$ 以上とし各配合試験を行なった。これに使用した材料は、次の通りである。

表-1 水砕スラグ化学成分(%)

SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	FeO	MnO	S
84.0	13.8	41.8	7.1	0.48	0.40	1.0

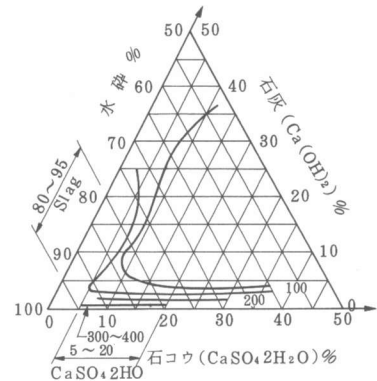


図-1 材令28日に於ける圧縮強度

表-2 最適配合比率重量配合(%)

水砕スラグ	80~95%
石コウ	5~20%
消石灰	0.5~0.2%

各材料

- C.L.Cement …… 2で示した材料
- 骨材 …… 粒度調整した徐冷スラグ (MS-25)
- 各材料の粒度 …… 図-2に示す。

C.L.Cement Concreteの配合方法はロッドミルで粗粉粒した水砕スラグに徐冷スラグ (MS-25) を加え、混合物中の0.3mm以下の水砕スラグに対して、セッコウ、消石灰、水を適量加え混合するものである。(重量配合で30%がC.L.Cement, 残り70%をロッドミル粗粉砕の、0.3mm以上と高炉徐冷スラグ) 又、粗骨材に天然碎石を使用する事も可能である。

C.L.Cement Concreteの配合試験結果の一例を図-3に示す。(試験方法JIS A 1108)

C.L.Cementの配合条件を表-3に示す。(消石灰をスランブ8cmの時0.5%スランブ16cmの時0.3%と一定にした。)

表-3. C.L.Cementの配合例(%)
スランブ8cm スランブ16cm

	スランブ8cm			スランブ16cm		
	水砕	セッコウ	消石灰	水砕	セッコウ	消石灰
1	84	15.5	0.5	84	15.7	0.3
2	88	11.5	0.5	88	11.7	0.3
3	92	7.5	0.5	92	7.7	0.3

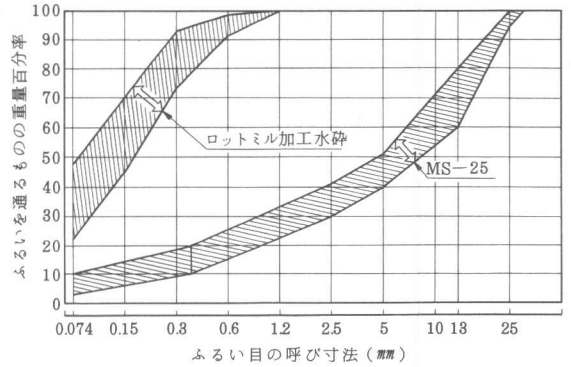


図-2. 各材料の粒度構成

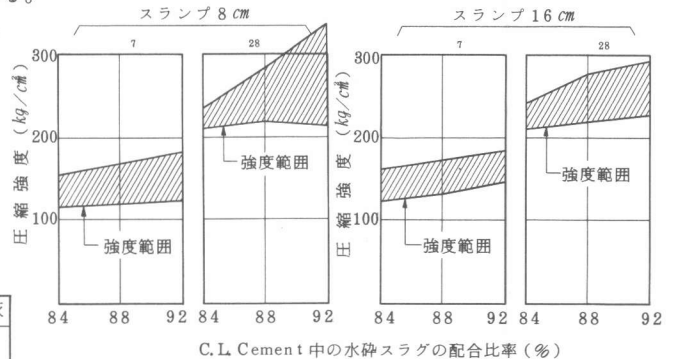


図-3. C.L.Cement Concreteの圧縮強度変化

C.L.Cement Concreteの強度は、消石灰の量により、大きく変化し、消石灰量0.5~0.1%間で最大強度を示す特徴がある。これらの試験結果で明らかのように目標強度を十分満足する硬化体の製造が可能である。

4. C.L.Cement Concreteの諸性質

(1) 水和熱及び水和温度

普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種及びC.L.Cementでの水和熱の測定結果を表-4に示す。水和熱の測定方法は、JIS R 5203セメントの測定方法(溶解方法)に準じC.L.Cementは、水砕スラグ0.3mm以下を重量比で92%、二水セッコウ7.5%、消石灰を0.5%混合したものを使用した。又一辺600mmの立方体に於けるコンクリートの中心部の水和温度上昇測定結果の一例を図-4に示す。

表-4. 水和熱測定結果

セメントの種類	各材冷までの水和熱(α/g)		備考
	7日	28日	
普通ポルトランドセメント	64.2	73.1	-
高炉セメントB種	40.2	60.9	-
C.L.Cement	18.6	29.4	$\sigma_7 = 194 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma_{28} = 321 \text{ kg/cm}^2$

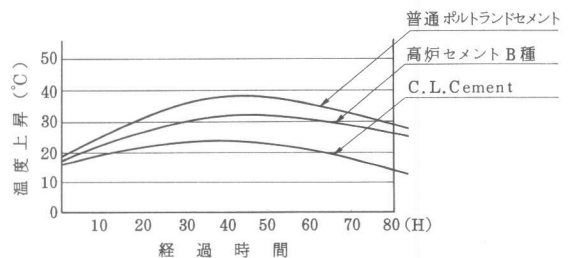


図-4. 水和温度測定結果

(2) 鉄筋との付着性について

表-5に示す配合によるC.L.Cement Concrete (A)及び普通ポルトランドセメント Concrete (B)

の鉄筋付着試験結果を表-6及び図-5に示す。供試体の作製方法は、 $\phi 10\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ のモールドに普通丸鋼($\phi 16\text{ mm} \times 18\text{ mm}$)を使用し、コンクリートの打込みは、鉄筋の軸方向にそって行ない20℃の室内気中養生とし、押し抜き法で試験した。このときのコンクリートの圧縮強度結果を表-7に示す。

表-5 配合表

品種	高炉スラグ砕石の最大寸法 mm	スランブ cm	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					W	C	S ₁	S ₂	G
A	25	16	30	43.1	215	716.5	49.6	541.2	778.8
B	25	16	55	40.7	177	322		709	1079

C. L. Cement Concrete の単位セメント量は磨砕水砕スラグの内の0.3mm以下の量と消石灰・石コウの合計であり、S₁は磨砕水砕の0.3mm以上の量、S₂はMS-25の内の5mm以下の量を示す。

表-6 付着強度試験結果 (kg/cm²)

材令(日) / 品種	7日	14日	28日	91日
(A)	15.4	29.4	38.8	43.5
(B)	15.4	22.2	29.9	31.5

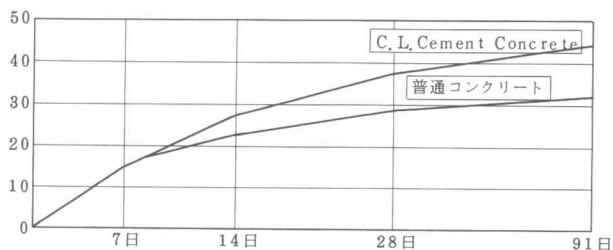


図-5 各種コンクリートの付着強度

表-7 圧縮強度試験結果 (kg/cm²)

材令(日) / 品種	7日	14日	28日	91日
(A)	153	181	247	253
(B)	150	197	256	260

(3) 圧縮強度と引張強度及び曲げ強度の試験結果

C. L. Cement Concrete の引張試験を JIS A 1113、曲げ試験を JIS A 1116 に準じて行なった。これらの試験体の配合を表-8、及び試験結果を、表-9・10に、関係図表を、図-6・7に示す。これらの試験結果から C. L. Cement Concrete の引張強度は圧縮強度の $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{15}$ 、曲げ強度は圧縮強度の $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{7}$ の値を示した。

表-8. C. L. Cement Concrete 配合表

配合 No.	単 位 量 (kg/m ³)							磨砕水砕・MS-25 配合比率 (重量%)
	スランブ (cm)	磨砕水砕	石コウ	消石灰	MS-25	水	計	
1	8	722.4 (61.4)	51.5	1.98	1320	203	2298.9	磨砕水砕 35.4%, MS-25 64.6% 配合
2	16	708.7 (65.9.1)	55.8	2.13	1320	215	2301.1	磨砕水砕 34.9%, MS-25 65.1% 混合

表-9. 配合No.1の試験結果

試験名 / 材令(日)	7	28	91
圧縮強度 (kg/cm ²)	158	268	302
引張強度 (kg/cm ²)	14.6	18.4	20.3
曲げ強度 (kg/cm ²)	34.6	43.1	56.4

表-10. 配合No.2の試験結果

試験名 / 材令(日)	7	28	91
圧縮強度 (kg/cm ²)	218	279	297
引張強度 (kg/cm ²)	21.7	23.8	28.8
曲げ強度 (kg/cm ²)	38.9	48.9	50.5

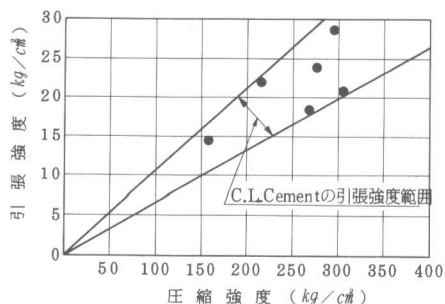


図-6 圧縮強度と引張強度

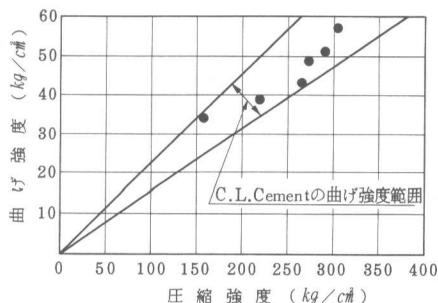


図-7 圧縮強度と曲げ強度

5. 施工例

大分製鐵所において現在までの技術を活かし、床舗装用コンクリート、(約4000 m^2)、簡易コンクリート(500 m^2)、その他 魚礁、消波ブロック、コンクリート二次製品等に既に使用しており、これらの施工例の一部を紹介する。現場施工での示方配合は表-10に示す通りであり、大別すると床舗装用、構造物用に分けられる。これら C. L. Cement Concreteの設計基準強度 $\sigma_{ck} = 210 \text{ kg/cm}^2$ とし一般セメントコンクリートと同様に使用している。図-8にC. L. Cement Concreteの各配合と圧縮強度の経時変化を示す。

表-10 示方配合表

No.	適用	設計基準強度 (kg/cm^2)	スランブ (cm)	単 位 量 (kg/m^3)					
				磨砕水砕	二水セッコウ	消石灰	MS-25	水	計
1	床舗装用	210	10	704.4	50	1.92	1285.6	258.1	2300
2	構造物用	210	15	694.1	54	2.1	1292.9	256.8	2300

No.1の磨砕水砕は0.3 mm 以下を85%含む

No.2の磨砕水砕は0.3 mm 以下を93%含む

以下施工例を写真にて示す。

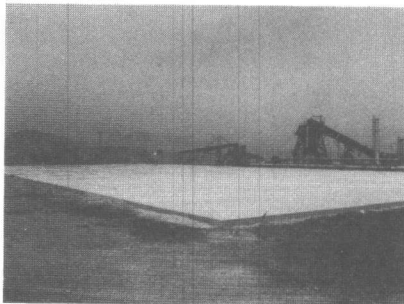


写真-1 床舗装施工例 (面積4,000 M^2)

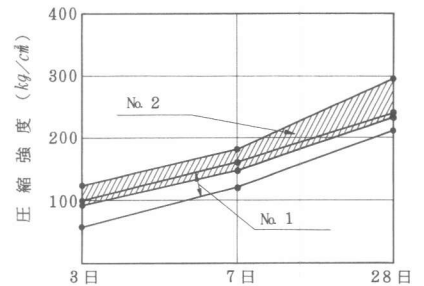


図-8 各配合と圧縮強度の経時変化

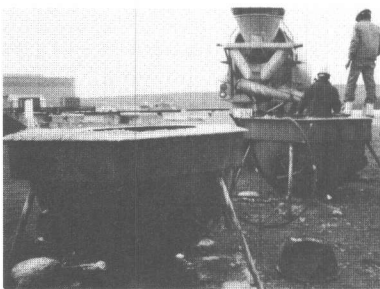


写真-2 整形魚礁製作

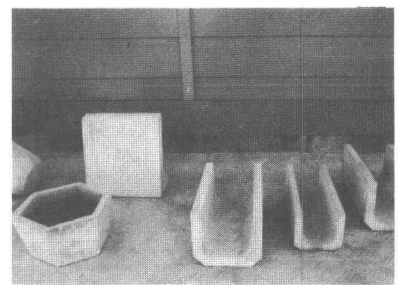


写真-3 コンクリート二次製品

(U字溝、L型ブロック等)

6. あとがき

C. L. Cement Concrete は水砕スラグの潜在水硬エネルギーを最大限に発揮させ、一般セメントコンクリートに匹敵するクリンカーレス粗粒子セメントコンクリートの製造方法で現在既に大分製鐵所に於いて実用化されており硬化体の微細構造、力学特性、水密性、熱的性質、耐久性等について試験中で、今後これらの結果が確認され次第紹介する予定である。

文献 (1) 武田、山崎、今野：第1回コンクリート工学年次講演会、論文集