

野村靖二 (関西電力(株) 姫路LNG施設建設所)

正会員 沼田晉一 (新日本製鐵(株) スラグ事業開発部)

正会員 ○前田 昭 (新日本製鐵(株) 広畑製鐵所)

1. ま え が き

姫路LNG(液化天然ガス)施設の建設工事は、播磨臨海工業地帯へのLNG導入を目的として、昭和51年10月に着工されたもので、その海上土木工事には、コンクリート総量79,000m<sup>3</sup>に及ぶ大規模なケーソン工事が含まれている。このケーソン用コンクリートの粗骨材として高炉スラグ碎石が使用された。

製鉄所の副産物である高炉スラグのコンクリート用碎石としての利用は別段新しいものではなく、ことに製鉄所では豊富な使用経験と実績が蓄積されており、また各種機関による技術研究も進んでいる。しかしながら、製鉄所以外の港湾構造物等の重要かつ公益的な構造物に使用された例はない。当ケーソン工事の企業者である関西電力(株)にあっては、種々調査、検討した結果、高炉スラグ碎石コンクリートを用いても、充分工事の目的が達せられる見通しが得られたので、初めての試みではあるが、本格的に使用することとなった。

ここにその概要を報告し、今後高炉スラグ碎石コンクリートの使用に際し、役立つことを願望する次第である

2. 姫路LNG施設ケーソン工事の概要

基地諸施設のうち、関西電力(株)が施工にあたる海上土木工事は、揚液さん橋工事、海上配管橋基礎工事(オープンウェル)、沈埋函工事(締切ケーソン)、導流堤工事(消波型ケーソン)、護岸工事(護岸ケーソン)、放水口工事(カルバート)等から構成されている。

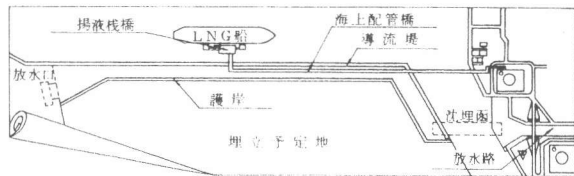


図2-1 海上土木工事位置図

この工事に使用された各種ケーソンは、広畑製鐵所で製作、クレーン船で吊出し、姫路LNG基地まで約8Kmを曳航、据付けられた。

海上土木工事位置を図2-1に、ケーソンの一例として消波型ケーソン(重量1,100t)の概要図を図2-2に示す。

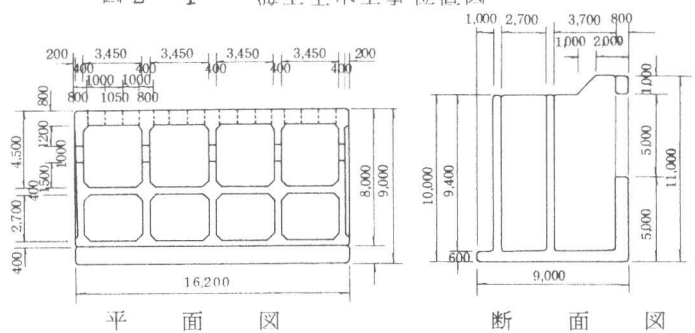


図2-2 消波型ケーソン概要図

ケーソン製作工事の概要

ケーソン製作数	213 函
コンクリート量	79,000 m <sup>3</sup>
工事期間	S52年1月～53年9月

3. 高炉スラグ碎石コンクリート

(1) ケーソン用コンクリートの配合試験

配合条件 設計基準強度  $\sigma_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$  配合強度  $\sigma_r = 280 \text{ kg/cm}^2$  W/C = 55%

空気量  $4.5 \pm 1\%$ , スランプ 10~15 cm, 粗骨材の最大寸法 25mm, 40mm

配合選定のための試験を行なった結果は表3-1のとおりである。これらのコンクリートについて、想定されるコンクリートポンプ車、配管条件を適用して現場で打設試験を行なった結果、粗骨材の最大寸法40mmでは閉塞状態になる場合があり、25mmではスランプ10cmで充分打設可能なことがわかった。

そこで、スランプは10cmとすることとし、ケーソン用コンクリートの配合は表3-1の配合番号3に決定した。

表 3-1 高炉スラグ砕石コンクリート試験配合表

項目 配合番号	粗骨材 の最大 寸法 (mm)	設計基 準強度 σck (kg/cm <sup>2</sup> )	目 標 スラン プ (cm)	目 標 空 気量 (%)	水セメ ント比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/cm <sup>3</sup> )							練 り ま じ り 月 日	試 験 結 果			備 考			
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗 骨 材			ポゾリス 灰 100N		まだ固まらない コンクリート						
										3-5	5-13	40-25			スランブ (cm)	空気量 (%)	コンク リート 温 (℃)		圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		
																			3日	7日	28日
1	25	240	14	4.5±1	55	45	188	342	750	372	559	—	(CC) 855	S51年 10/21	14.5	4.0	20	129	200	299	ケーソン用 に新日鉄で 試験配合し たもの
2	25	240	15	4.5±1	55	45	191	345	747	370	556	—	863	10/20	15.5	4.2	21	136	212	306	
3	25	240	10	4.5±1	55	45	179	325	767	381	572	—	812	12/7	9.5	3.5	10	65	155	348	ケーソン用 に熊谷・佐 藤・大成共 同企業体で 試験配合し たもの
4	25	240	13	4.5±1	55	45	186	338	754	374	561	—	845	12/3	14.0	3.9	11	97	145	300	
5	40	240	10	4.0±1	55	41	174	316	707	310	310	414	790	12/7	9.5	3.7	9	93	196	365	

使用材料

- (a) セメント 住友B種高炉セメント 比重3.03 (e) 粗骨材 新日本製鉄(株)広畑製鉄所産高炉スラグ砕石 比重2.57  
 (b) 細骨材 香川県広島産海砂 比重2.53 (d) 混和剤 ポゾリス灰100N(セメント100kgに対し250cc使用)

この配合で下記事項の確認試験を行なった。

a) 高炉スラグ砕石の微粉分及び養生条件と圧縮強度

① 微粉分の多くついていると思われる砕石(洗い試験で失われるもの0.8%)と、微粉分の少ないと思われる砕石(0.2%)を用いたコンクリートの圧縮強度の性状には有意差はない。(図3-1)

② 冬期空中養生(約8℃)を行なった場合の圧縮強度は標準養生に比べて、3日で約30%、7日で約50%であるが、28日では80%と差が縮まる傾向にある。(図3-1)

b) 付着強度

使用鉄筋はφ22mm, φ48mm, φ90mm (SR-24)の3種類とし、試験方法はASTM C-234を参考に引抜試験を行なった。

供試体は成形後ビニールシートで覆い、屋外で養生を行ない材令14日で試験した。

この試験の結果、鉄筋のすべり量0.25mmの時の付着強度は約30kg/cm<sup>2</sup>で、ケーソン吊り出し時の吊筋の設計付着強度7.5kg/cm<sup>2</sup>(材令14日)に対し十分な付着強度が得られることを確認した。

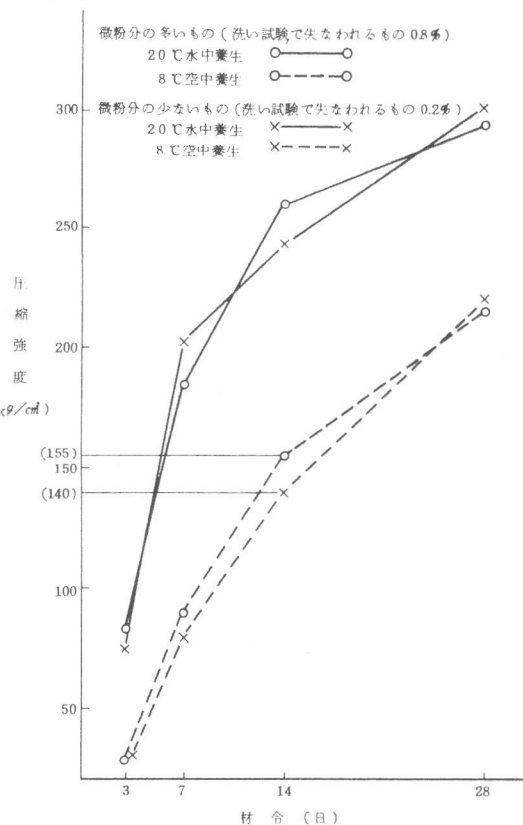


図 3-1 高炉スラグ砕石の微粉分及び養生条件と圧縮強度

(2) ケーソン用コンクリートの品質

a) 使用材料とその品質

① 粗骨材

粗骨材として用いた高炉スラグ砕石(広畑製鉄所産)は、表3-2, 図3-2に示すとおり、JIS A5011「コンクリート用高炉スラグ粗骨材」の品質規格値を全て満足しており、また品質のバラつきも少ない。たゞ、天然砕石と比較した場合、比重はやゝ低めであり、吸水率はやゝ高い。

② 細骨材

細骨材として香川県広島産の海砂を使用した、その品質は表3-3, 図3-3に示す。

③ セメント、混和剤及び水

セメントは高炉セメントのB種、混和剤はポゾリスのNo.100N、水は水道水を使用した。

表 3-2 高炉スラグ碎石の物理的性質と化学成分

項目	測定値 $\bar{x} \pm \sigma$	JIS A 5011 分類 B	
物理的性質	飽 乾 比 重	2.46±0.022	2.4 以上
	吸 水 率 (%)	3.19±0.24	4 以下
	単位容積質量 (kg/L)	1.411±0.019	1.35 以上
化学成分	酸化カルシウム [CaOとして] (%)	4.076±0.42	45.0 以下
	全硫黄 [Sとして] (%)	1.03±0.02	2.0 以下
	三酸化硫黄 [SO <sub>3</sub> として] (%)	0.15±0.05	0.5 以下
	全 鉄 [FeOとして] (%)	0.38±0.11	3.0 以下

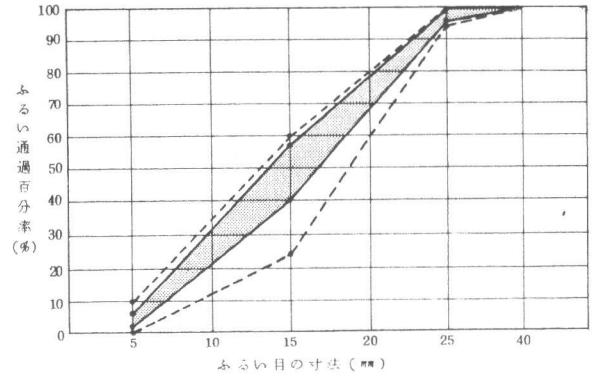


図 3-2 高炉スラグ碎石の粒度

表 3-3 海砂の物理的性質

項目	測定値 $\bar{x} \pm \sigma$	備 考
比 重	2.54±0.04	
吸 水 率 (%)	1.46±0.22	
単位容積質量 (kg/L)	1.566±0.014	
塩 化 物 (%)	0.037±0.027	土木学会「コンクリート標準示方書」解説 0.10% 以下

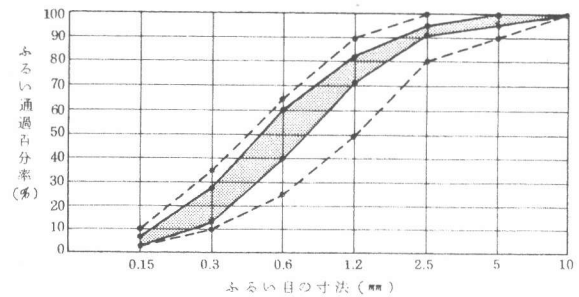


図 3-3 海砂の粒度

d) まだ固まらないコンクリートの性質

コンクリートの配合は表 3-1 の配合番号 3 である。比較試験のための天然碎石を用いたコンクリートも同様である。(G max 25 mm, S L 10±2.5 cm, Air 4.5±1%, W/C 5.5%, Pozz No100N)

① スランプ及空気量

スランプについては規格内(10±2.5 cm)であるが、やゝ大きめで 10.2 ~ 11.5 cm の範囲にとどまっている。

空気量も規格内(4.5±1%)で 4.2 ~ 4.9 % の範囲で変動している。

いずれも変動係数は約 4% でバラツキは少ない。(図 3-4)

② ブリージング

高炉スラグ碎石コンクリートは、天然碎石コンクリートよりもやゝ少なめではあるが、いずれも大差は認められない。春期、夏期ともに同様の傾向を示している。

(図 3-5)

③ ポンプ施工性

当工事のコンクリートは全てポンプ打ち施工を行なった。ポンプ車や配管径の選定には既往の実績等を考慮し、ピストンポンプ型の配管径 5B とした。(図 3-6)

高炉スラグ碎石コンクリートをポンプ打

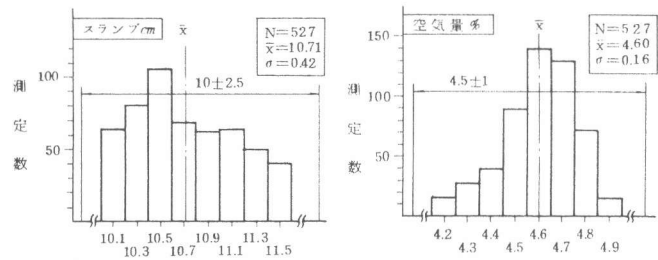


図 3-4 スランプ及び空気量

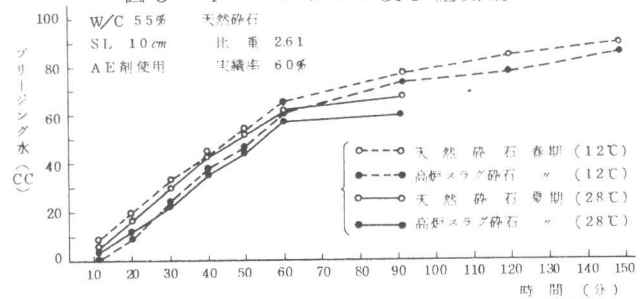


図 3-5 時間とブリージング水の関係

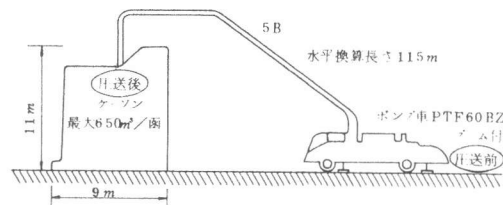


図 3-6 ポンプ施工性試験概要図

ちする場合、圧力吸水によるスランプ低下、配管の閉塞が懸念されるが、スランプ10 cm程度、粗骨材の最大寸法25 mmでは配管の閉塞はなく、圧送後の品質変化は殆んどないことを確認した。(表3-4) また吐出量と主油圧の関係については、天然碎石を用いたコンクリートと同様な関係が得られ、通常のポンプ圧送計画と同様に取扱ってよいと思われる。実施工において打設揚程約11 mのケーソンを213函製作したが、配管の閉塞等の障害は全くなかった。

表3-4 圧送前後のコンクリートの諸性質

	測定時期	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位容積重量 (kg/m <sup>3</sup> )	備考
第1回	圧送前	10.0	3.7	2270	配合は配合番号3。 コンクリート温度 28℃ 圧送前後でスランプリースが約1 cmあるがこれは高炉スラグ碎石の圧力吸水の影響によるものと思われる。
	圧送後	8.5	4.3	2250	
第2回	圧送前	9.5	3.5	2280	
	圧送後	9.0	5.0	2250	
第3回	圧送前	10.0	5.0	2240	
	圧送後	9.0	5.1	2240	

c) 硬化したコンクリートの性質

① 圧縮強度

ケーソン用コンクリート79,000 m<sup>3</sup>の圧縮強度の実績値を図3-7に示す。この高炉スラグ碎石を用いたコンクリートの圧縮強度とセメント水比の関係を図3-8に示す。この直線式は一般の天然碎石を用いたA Eコンクリートの式と殆んど一致する。

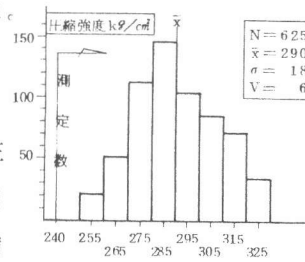


図3-7 圧縮強度

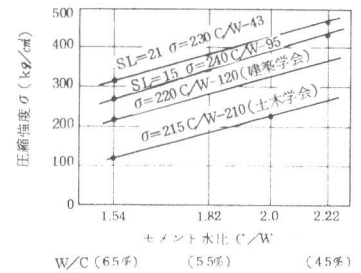


図3-8 セメント水比と圧縮強度

② 静弾性係数

圧縮応力とひずみの関係を図3-9に示すが、骨材による差は極めて小さく、ほぼ同等と考えてよいようである。

材令 7日 約  $2.6 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

材令 28日 約  $3.3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

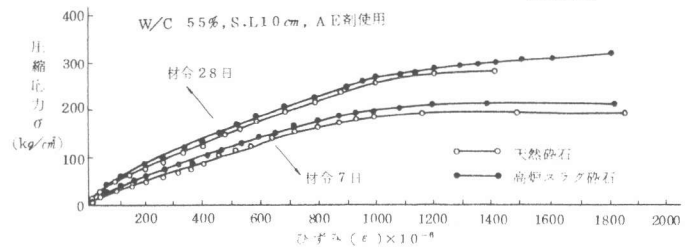


図3-9 圧縮応力とひずみの関係

③ 乾燥収縮

乾燥収縮率は乾燥材令7日から6ヶ月まで、天然碎石コンクリートよりも高炉スラグコンクリートの方が一貫してかなり小さいことが認められた。(図3-10)

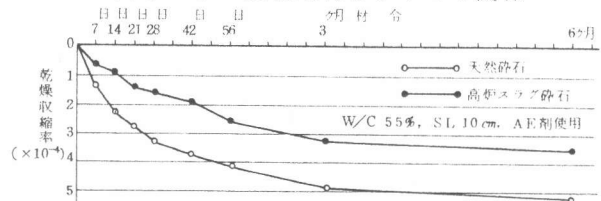


図3-10 材令と乾燥収縮率の関係

④ 耐海水性

海中敷設後約1年を経過したケーソンのコアボーリング試験の結果、ケーソンコンクリートの強度は極めて大きく(約400 kg/cm<sup>2</sup>), 海水の悪影響はあらわれていないものと推察される。

4. あとがき

以上高炉スラグ碎石を用いたコンクリートの施工とその諸性質について述べたが、高度スラグ碎石の適性について確証が得られたと思う。特に調査期間は短かったが耐久性の面からも問題がないことが明らかになった。高炉スラグ碎石は一般の天然碎石と殆んど同様の扱いができると考えられる。今後、骨材資源が不足する方向にあることから、高炉スラグ碎石がより広範に利用されることを願うものである。

最後に今回の共同研究を行なうにあたり貴重な御助言を賜った武蔵工業大学国分正胤教授、ならびに終始御指導を賜った法政大学小林正几教授に深甚の謝意を表するとともに、種々の御協力を惜しまれなかった熊谷・佐藤・大成共同企業体、太平工業㈱、近畿コンクリート㈱に対し心よりお礼申し上げる。