

- 正会員 早川宏一 (新日本製鉄(株)名古屋製鉄所設備部)
- 正会員 沼田晋一 (新日本製鉄(株)スラグ事業開発部)
- 正会員 霜出昭男 (小野田セメント(株)名古屋支店)

1 目的

水砕砂をコンクリート用細骨材として利用することを目的として、昭和49年度からモルタル、コンクリートの基礎的性質について研究を重ねてきたが、未加工水砕砂(吹製後破砕加工しないもの)は粒形、粒度が悪いため、コンクリート用細骨材としては好ましくなく改善する必要があった。吉田らは未加工水砕を破砕機(ロッドミル)で破砕加工することによって粒形、粒度を改善すればコンクリートの性状に有効であることを確認した。本報告は水砕砂コンクリートの実用化と高炉スラグのコンクリートへの全面的活用を目的として、セメントは高炉セメントB種を用い、骨材は「天然砂利-天然砂」「高炉スラグ碎石-天然砂」「高炉スラグ碎石-水砕砂」を組合せたコンクリートの基礎的性質並びに「高炉スラグ碎石-水砕砂」コンクリートを用いた施工管理について述べたものである。尚上記コンクリート試験の内容については概括的なものとどめ、詳細は別途報告することとする。

2 コンクリート試験概要

(1)配合試験およびまだ固まらないコンクリートの試験

各骨材の組合せとも、水セメント比は55%、65%、75%スランパは12±1.5cmと18±1.5cm、空気量は4±1%、練上り温度は20±3℃とした。又ワーカビリティはポンプ車による施工が可能な状態とした。又ブリージング試験は各骨材の組合せのうちスランパ18cmで行った。

(2)硬化コンクリートの試験

圧縮強度は全配合について材令3日、7日、28日、91日で試験を行い、曲げ強度および引張強度についてはスランパ12cmの配合で、材令7日と28日で試験を行った。また圧縮強度試験にはφ10×20cm円柱供試体を、曲げ強度試験には10×10×40cmはり供試体を用い、引張強度試験にはφ15×30cm円柱供試体を製作し、長さを20cmにカットして用いた。供試体数は各材令ごとに3個とし、養生は標準養生とした。静弾性係数試験は各骨材の組合せにおいてスランパ18cmの場合に行い、材令28日の圧縮強度試験と平行して応力-ひずみ特性を測定し、最大応力の発生における割線ヤング率を求めた。長さ変化試験は各骨材の組合せのうち水セメント比65%、スランパ18cmで行った。

3 コンクリート試験の結果と考察

(1)配合試験およびまだ固まらないコンクリートの性状

配合試験の結果得られた各骨材の組合せの配合を表-1に示す。

各骨材の組合せのまだ固まらないコンクリートの性状を比較するとつぎのようになる。

ワーカビリティについてはむしろ高炉スラグ碎石を用いたものがプラスチックでワーカブルであった。高炉スラグ微粉が有効に働くものと思われる。

単位水量については図-1に示す通り高炉スラグ水砕砂コンクリートは普通コンクリートに比べ6%増となった。これは粒形が悪く普通骨材より実積率が小さいためと考えられる。

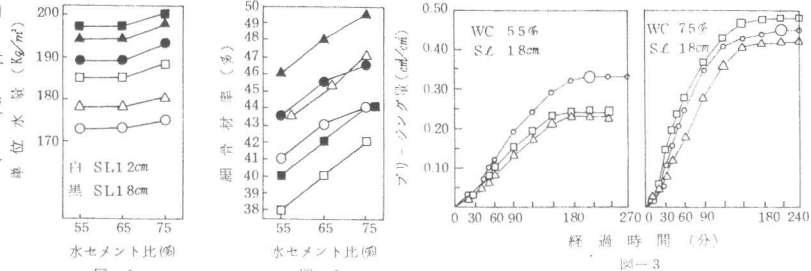
細骨材率については図-2に示す通りである。

表-1

コンクリート種類	粗骨材大寸の法	スランパ(cm)	空気量(%)	w/c	s/a	単位量(kg/m³)				
						W	C	S	G	混和剤(p)
普通コンクリート	25	12	4	55	410	173	315	717	1068	315
				65	430	173	267	771	1055	267
				75	440	175	234	798	1049	234
				55	435	189	344	732	986	344
				65	455	189	291	786	975	291
				75	465	193	258	812	967	258
高炉スラグ碎石	25	12	4	55	435	178	324	753	988	486
				65	455	178	274	806	975	411
				75	470	180	240	842	960	360
				55	460	194	353	766	906	5295
				65	480	194	299	822	895	4485
				75	495	198	264	842	864	396
高炉スラグ微粉	25	12	4	55	380	185	337	680	1086	5055
				65	400	185	285	734	1055	4275
				75	420	188	251	780	1032	3765
				55	400	197	359	697	998	5385
				65	420	197	303	751	993	4545
				75	440	200	267	799	970	4005

注) 高炉スラグ碎石の骨材修正係数は、1.5手である。

アリージングについては図-3に示す通り各骨材の組合せよりむしろ水セメント比によりその差が明確に出ている。単位容積重量は骨材の組合せごとに比較するとほとんど差はない。



(2)硬化コンクリートの性状

セメント水比と圧縮強度の関係を図-4に示す。各骨材の組合せ共セメント水比と圧縮強度には直線関係がみられ、表-2に示す $\sigma - \omega$ 式が成立する。特に高炉スラグ水砕砂コンクリートは長期における強度発現が大きい。

セメント水比と曲げ強度の関係を図-5に示す通り直線関係がみられ、表-2に示す式が成立する。引張強度についてもほぼ全様の結果を得たが省略する。圧縮強度と曲げ強度、引張強度の関係もほぼ相関関係にあり高炉スラグ水砕砂コンクリートが普通

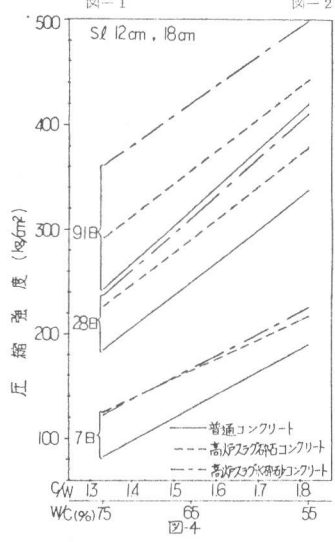


表-2

コンクリート種別	圧縮	曲げ*	引張
普通コンクリート	$\sigma_c = -211 + 220\omega$ $\sigma_{28} = -234 + 314\omega$ $\sigma_{91} = -241 + 363\omega$	$\sigma_f = -10.4 + 25.1\omega$ $\sigma_{28} = 7.7 + 23.4\omega$	$\sigma_t = -15.8 + 19.4\omega$ $\sigma_{28} = -18.1 + 28.2\omega$
高炉スラグ砕石コンクリート	$\sigma_c = -127 + 189\omega$ $\sigma_{28} = -187 + 310\omega$ $\sigma_{91} = -120 + 309\omega$	$\sigma_f = -8.1 + 24.6\omega$ $\sigma_{28} = 3.8 + 27.6\omega$	$\sigma_t = -10.6 + 17.4\omega$ $\sigma_{28} = 6.2 + 25.5\omega$
高炉スラグ水砕砂コンクリート	$\sigma_c = -161 + 212\omega$ $\sigma_{28} = -238 + 356\omega$ $\sigma_{91} = -16 + 283\omega$	$\sigma_f = 1.3 + 20.0\omega$ $\sigma_{28} = 16.2 + 21.7\omega$	$\sigma_t = -10.3 + 16.5\omega$ $\sigma_{28} = 5.2 + 13.6\omega$

コンクリートとほとんど変わらないという結論を得た。静弾性係数、長さ変化、凍結融解、水密性、クリープ等の試験も実施したがその結果については今後報告する。

普通コンクリート、高炉スラグ砕石コンクリート、高炉スラグ水砕砂コンクリートの3種についてそれぞれその性状に若干の差はみられるが、コンクリートの性状として問題になるような大きな差はみられない。従って以下に述べる実構造物に実際に使用することにした。

4 施工した構造物の概要

高炉スラグ水砕砂コンクリートを用いた構造物は新日本製鉄(株)名古屋製鉄所の溶鉱炉の基礎でその型状は図-6に示す。又工事の概要は表-3に示す。

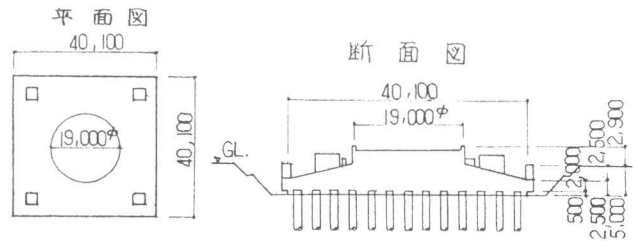
5 コンクリートの配合計画

表-3

土砂埋積量	約17,000m³
型枠面積	約1,600m²
鉄筋量	約560t
コンクリート量	約7,900m³
コンクリート	昭和53年3月
打設時期	昭和52年5月

(1)配合設計の基本方針

マスコンクリートの施工にあたって、コンクリートの配合は打込みに適したワーカビリティを有し、所要の強度、耐久性をそなえるこ



とは一般の場合と変りないが、そのほか温度上昇をできるだけ少なくするよう選定することが重要である。この条件を出来るだけ満足するような対策を検討して配合を決定した。単位セメント量は施工性から250%は必要であり又耐久性から水セメント比を70%にしたため262%とした。コンクリートの打設方法は大部分がシュートによる流し込みであるが、一部ポンプ車によることと鉄筋間隔がD38@18cm7段であることから充填性を考慮してスランブ12cmとし、粗骨材の最大寸法も25mmとした。又比較的水和熱発生の少ない高炉セメントB種を用いた。

(2)コンクリートの配合

コンクリートの配合上の仕様はつぎの通りである。設計基準強度180%_{cm}、スランブ12±2.5cm、空気量4±1%、粗骨材の最大寸法25mm。コンクリートの試し練りは前記による試験結果を基にしてバッチャープラントで

実施したが、ワーカビリティについてはコンクリートの練り上り温度を考慮した場合ほとんど修正を必要としなかった。コンクリートの圧縮強度については若干の差が見られ、 $\sigma_{28} = -171 + 309\%W$ が得られたので配合設計にはこの式を用いた。試練りによって決

定したコンクリートの配合を表-4に示す。
本工事に用いるコンクリートの設計基準強度180%と満足するための水セメント比は77%でよいが、耐久性から70%に定めため配合強度が非常に大きい配合となった。

表-4

指定事項				配合			単位量 (kg/m³)				
粗骨材の最大寸法 (mm)	設計基準強度 (kg/cm²)	スランプの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	強度 (kg/cm²)	水セメント比 (%)	細骨材 (kg)	水 (W)	セメント (C)	細骨材 (S)	粗骨材 (G)	混和剤 (F)
25	(230)	12±2.5	4±1	(270)	70	40.5	183	262	756	1060	393

(注1. ()内は耐久性から水セメント比を70%に定めため推定されるそれそれの強度。
注2. 高炉スラグ砕石の骨材修正係数は1.5%である)

6 コンクリートの品質管理

(1) 管理項目と内容

本工事のコンクリートの打設回数は少ないが大量打設になること、また高炉スラグ水砕砂コンクリートを初めて重要構造物に使用するため、骨材とコンクリートについてそれぞれ管理規定値を設定し骨材を生コン工場で、コンクリート管理は現場の荷卸し時に実施した。試験の内容は表-5、表-6の通りである。

表-5

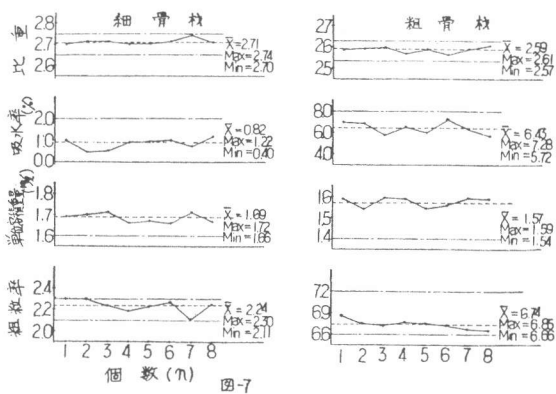
種類	試験項目	管理規定値	試験方法	試験頻度
粗骨材	表乾比重	2.58±0.05	JIS A 1110	入荷毎1個
	吸水率	8%以下	JIS A 1110	〃
	単位容積重量	1,400%以上	JIS A 1104	〃
	粗粒率	6.9±0.3	JIS A 1102	〃
細骨材	表乾比重	2.70±0.05	JIS A 1109	入荷毎1個
	吸水率	2.0%以下	JIS A 1109	〃
	単位容積重量	1,600%以上	JIS A 1104	〃
	粗粒率	2.2±0.1	JIS A 1102	〃

表-6

種類	試験項目	管理規定値	試験方法	試験頻度
まだ固まらないコンクリート	スランプ	12±2.5cm	JIS A 1101	1回/50m³
	空気量	4±1%	JIS A 1128	1回/50m³
硬化コンクリート	圧縮強度	1. 設計基準強度に対する不良率5%以下 2. 設計基準強度の80%以上 3. $K - \frac{\bar{X}}{SL} \geq \beta = \frac{1 - 1.282 \frac{V}{\sqrt{n}}}{1 - 1.645 \frac{V}{100}}$	JIS A 1108	1回/150m³
		注: 設計基準強度(SL)は水セメント比から推定した値		

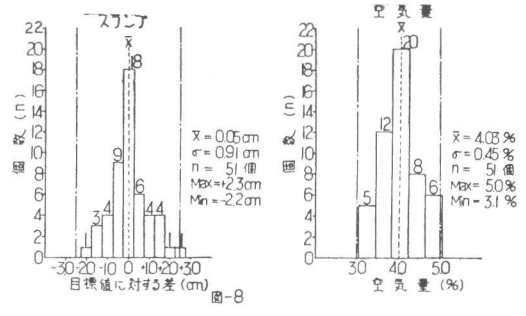
(2) 骨材の管理試験結果

図-7に示す通り、粗骨材、細骨材のいずれの試験項目においても、管理規定値の範囲内にあり品質は比較的安定している。また水砕砂の品質は加工前の物性によって大方定まるが破砕加工の程度も大きく影響するため、粗粒率については特に厳しい管理規定値(2.2±0.1)を設定し、水砕砂加工工場の協力を得た。



(3) コンクリートの管理試験結果

まだ固まらないコンクリートについては、図-8に示す通りスランプおよび空気量試験結果はすべて管理規定値の範囲内にあり非常に良好な結果が得られた。その要因としてはスランプの場合、高炉スラグ砕石がほぼ表乾状態で入荷し僅かなプレウエッティングで使用出来たこと、水砕砂の表面水は川砂などの普通細骨材より変動が小さいこと、および大量打設で本配合主体で出荷したため品質管理上有利であったことなどによると考えられる。また空気量についても骨材の品質変動が小さかったこと、混和剤管理に充分留意したことなどによるものと考えられる。コンクリート温度は打設時期が冬季から春季であったことから最高24℃、最低11℃、平均15℃ですべて管理規定値の範囲内であった。



硬化コンクリートの圧縮強度は標準養生の材令28日強度の試験結果を図-9に示す。これによると配合強度より平均強度が若干大きくなっているが、バラツキは少なく非常に安定した品質を示している。また管理規定値に対する不良コンクリートは全くなき、満足な結果がえられた。

7 施工方法

施工に先立ってコンクリートのコールドジョイントの防止，マスコンクリートであることによるひびわれ防止に留意し，打設方法，打設ブロック割りおよび養生方法などについて検討した結果，工程上の制約のある中で以下の方法で実施した。

作業能率，経済性，コンクリート管理の面とその他の材料の搬入も兼ねて，図-10に示すような仮設栈橋を設置レシュートによる流し込みを主に，流し込みの不可能な箇所についてはポンプ車にて圧送した。またコンクリートのリフト高さはコンクリートの温度上昇に大きな影響があるためできるだけ小さくするよう検討したが，諸般の事情により図-11に示すよう大きくせざるを得なかった。

コンクリートの配合強度は水セメント比から270 kg/m³，またコンクリートのリフト高さは250cmと大きいため，コンクリート温度が相当大きく上昇し，場合によってはかなりのひびわれ発生が心配された。従ってひびわれ防止上，コンクリートの内外部の温度差から適切な養生方法をとるために，温度の測定を行った。

測定の位置は図-12に示し測定結果は図-13に示す。

これによるとコンクリートの各部の温度上昇は打設後大体5日でピークに達し，最高の温度上昇は中心部で63℃，中心部と外気温の差は約50℃であった。コンクリートの適切な養生を行うため，上昇温度の推移をチェックしたが約1.5日で中心部と外気温の差が25℃を越えた。温度差の増大を出来るだけ防止するためコンクリートの表面にぬれをしろをかぶせて養生を実施した。また表面の急激な放熱冷却を避けるため型枠は工程の許す限り長く存置させた。脱型後きめ細かな検査を側面，上面共に行ったがひびわれは見られなかった。

8 おわりに

以上高炉スラグ水砕砂コンクリートの性質とそ水を使用した状況を述べてきましたが，所期の品質は充分確保できたものと考えている。また材料，配合，強度，施工など適切な管理を行えば高炉スラグ水砕砂コンクリートも普通コンクリートと同程度の安定した品質が得られ構造用コンクリートとして充分使用出来る見通しがついた。

なお水砕砂のコンクリート用細骨材としての研究，使用基準の作成などが関係機関で進められているが本文がその方面の研究の一助となれば幸いである。

〔引用文献〕

吉田弥智・露出昭男 「水砕砂を用いたコンクリートの性質に関する基礎研究」，昭和52年度セメント技術年報

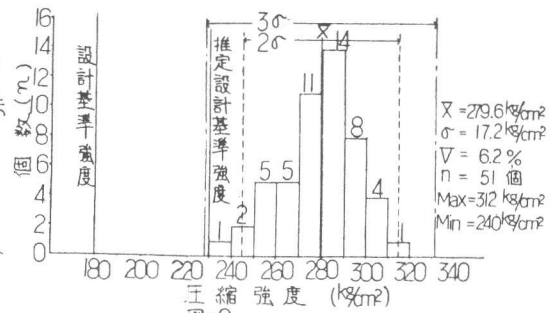


図-9

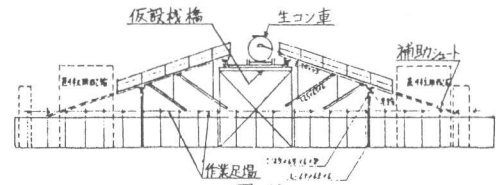


図-10

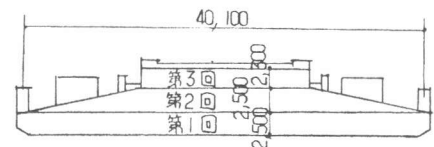


図-11

平面図

断面図

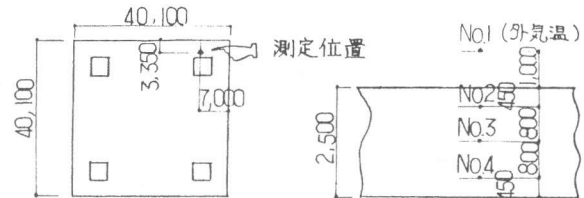


図-12

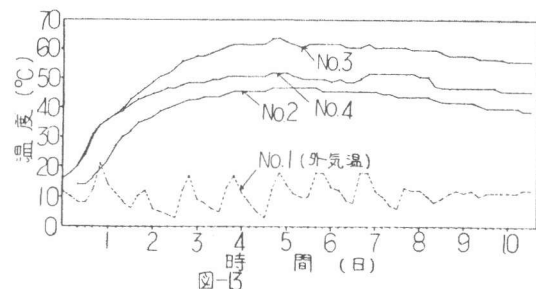


図-13

