

法政大学 正員 小林 正 几
 東京大学 正員 樋口 芳 朗

最近のわが国では、製鉄所から鉄鋼生産のさいに副生される高炉スラグおよび火力発電所の排煙から回収される脱硫石こうが相当量に達するものであるため、これらの派生材料を有効に活用する方法を見出すことに多くの関心が寄せられている。本文はこれらを主成分として調整してつくったセメントを用いたコンクリートのワーカビリティ、強度、凍結融解に対する抵抗性、鉄筋の付着強度および発錆等についての試験結果を示し、セメントとして活用する場合の問題点を述べようとするものである。

この実験に用いた高炉スラグは代表的な6ヶ所の製鉄所から生産された急冷水砕を小型ボールミルによって微粉碎し、比表面積を3000 cm^2/g としたものであり、比較のため混和材として一般に市販されているものも用いた。石こうは重油専焼火力発電所からえられた湿潤状態のものを室内で乾燥して粉末状としたものである(比重2.35, 比表面積1490 cm^2/g)。アルカリ刺戟材には市販の普通ポルトランドセメントを用いた。これら急冷水砕粉末・石こう粉末・普通ポルトランドセメントの混合比率は、モルタル試験の結果より強度発現のもっとも大きく表われるものとし、82.5%・15%・25%に選定した。実験に用いた骨材は堅硬な河川産のもので、コンクリートは粗骨材の最大寸法を25mm, 水セメント比を40~55%, スランプを5~7cmとした。練り混ぜは強制練りミキサーを用い、通常の寸法によって行った。

1. コンクリートのワーカビリティ

各種水砕粉末と排煙石こうを用いてつくったコンクリートを普通ポルトランドセメントのみを用いた場合と比較した試験の結果は

表1 コンクリートのワーカビリティ及び圧縮強度の試験結果

これによれば、所要のワーカビリティを得るに要する単位水量は水砕の品質によってかなり異なるが、普通ポルトランドセメントを用いた場合とくらべて、著しい差はない。またブリージングも大差はなく、こわばりも認められなかった。

2. コンクリートの圧縮強度

各種の水砕粉末を用いた場合のコンクリートの圧縮強度試験の結果は表1に示

すようであった。これによれば、この種のセメントを用いたコンクリートを20℃の水中で養生した場合の圧縮強度は水砕の品質によって相当に異なるが、A及びBのものをを用いた場合には普通ポルトランドセメントの場合と同等以上の強度発現を示した。これらにくらべC、D及びEを用いた場合には、圧縮強度はかなり小さいが、材令の経過とともに徐々に増大していることが認められた。屋外に放置した場合においても同様な傾向にあるが、圧縮強度を水中養生の場合と比較すれば20%程度小さいことが示された。

気中で養生した場合の強度性状について検討するため、打込み後における水中養生の期間を3種に相違さ

セメント の 区 分	単位水量 (Kg/m^3)	圧 縮 強 度 (Kg/cm^2)					
		20℃ 水中			屋 外 放 置 ⁴⁾		
		28日	3月	1年	28日	3月	1年
普 通 ²⁾	162 ₍₁₀₀₎	434 ₍₁₀₀₎	525 ₍₁₀₀₎	539 ₍₁₀₀₎	378 ₍₁₀₀₎	436 ₍₁₀₀₎	482 ₍₁₀₀₎
水 砕 粉 末 ³⁾	A	170 ₍₁₀₅₎	484 ₍₁₁₂₎	548 ₍₁₀₄₎	- (-)	384 ₍₁₀₂₎	460 ₍₁₀₆₎
	B	170 ₍₁₀₅₎	444 ₍₁₀₂₎	540 ₍₁₀₃₎	555 ₍₁₀₃₎	389 ₍₁₀₃₎	434 ₍₁₀₀₎
	C	160 ₍₉₉₎	299 ₍₆₉₎	444 ₍₈₅₎	507 ₍₉₄₎	199 ₍₅₃₎	322 ₍₇₄₎
	D	145 ₍₉₀₎	300 ₍₆₉₎	382 ₍₇₃₎	362 ₍₆₇₎	235 ₍₆₂₎	325 ₍₇₅₎
	E	160 ₍₉₉₎	243 ₍₅₆₎	273 ₍₅₂₎	290 ₍₅₄₎	207 ₍₅₅₎	246 ₍₅₆₎
エスメント ³⁾	170 ₍₁₀₅₎	419 ₍₉₇₎	527 ₍₁₀₀₎	544 ₍₁₀₁₎	338 ₍₈₉₎	449 ₍₁₀₃₎	449 ₍₉₃₎

- 注 1) 水セメント比40%, 細骨材率39%, 練り上り温度20~25℃
 2) 普通ポルトランドセメントのみを用いた場合
 3) 石こう粉末及び普通ポルトランドセメントを混和して用いた場合
 4) 打込み後2日間20~25℃の室内養生, 以後屋外放置

せ、以後1年の試験材令まで温度20℃、湿度55%の恒温室で乾燥状態においた場合について圧縮強度試験を行った。実験には市販の水砕粉末を用いた。試験の結果によれば、水中養生の期間を3日、7日及び28日とした場合の圧縮強度は、材令2日で脱枠した以後水中で養生した場合に較べて、それぞれ23%、50%及び96%であり、打込み後の養生方法が強度発現に著しい影響を及ぼすことが示された。

養生温度の相違がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響について試験した結果によれば、表2に示すように3日～7日程度の初期の材令では養生温度が低い場合においては強度発現が著しく小さいことが認められた。すなわち、普通ポルトランドセメントを用いた場合とくらべれば、28日では養生温度が低い場合でも同等の強度がられるが、3日では20℃の場合には25%、また10℃では18%に過ぎない。

3. 鉄筋の付着強度及び発錆

品質の著しく異なる4種の水砕粉末を用いたコンクリートに埋設した鉄筋の引抜き試験を行った結果によれば鉄筋の付着強度は水砕の品質によって異なるが、コンクリートの圧縮強度が同等であれば普通ポルトランドセメントを用いた場合と大差ないことが示された。

各種の水砕粉末を用いてつくったコンクリートに鉄筋を埋設し、鉄筋の発錆について検討した。試験の結果によれば、いずれの水砕を用いた場合も相当の発錆が認められたが、とくに水セメント比を大きくして屋外に放置した場合顕著に表われた。防錆剤の使用が鉄筋の発錆に及ぼす影響について試験した結果は表3に示すようであり、発錆を著減する効果が得られている。

4. コンクリートの凍結融解に対する抵抗性

水セメント比を40%とし、20℃の水中で6月養生したコンクリートについて促進凍結融解試験を行った。これによれば、コンクリートは30サイクル程度の凍結融解により急速に劣化した。AE剤を用いて空気量を5%程度に高めれば、抵抗性はいくぶん増大するが、増大の程度はきわめて小さく、空気連行の効果はほとんどないことも認められた。しかし、予備試験の結果によれば、硫黄を含浸させれば抵抗性は相当に向上される傾向にあることが示された。

本研究は継続して実施中であり、現在までの段階では実験の範囲も相当に限られているので未解明の点も多い。したがって断定的な結論を得るまでにはいたっていないが、おゝむね次のことがいえると思われる。すなわち、比較的早期の材令では強度の発現が小さいので養生を入念に行うことが重要であるが、良質な水砕粉末を用い、二水石膏の多い不純物の少ない均質な排煙脱硫石こうを混用するのであれば、湿潤状態の保ち易い基礎、水理構造物等のコンクリートにおいてはこの種のセメントを利用できる場合が少なくないと考えられる。外気にさらされる鉄筋コンクリートにおいても、防錆剤の使用、硫黄含浸等の方法をとれば、使用できる場合も少なくないと思われる。

この研究は文部省より昭和51年度科学研究費補助金の交付を受けて行ったものであり、謝意を表します。また、実験を行なうにあたり川崎製鉄KK、KK神戸製鋼所、新日本製鉄KK、住友金属工業KKおよび東京電力KKより水砕スラグ及び排煙脱硫石こうの供給を受けたことを記し、深く感謝致します。実験に精励された東京大学及び法政大学の土木教室コンクリート実験室の方々に深謝致します。

表2 養生温度が圧縮強度に及ぼす影響

養生温度	セメント	圧 縮 強 度 (Kg/cm ²)		
		3 日	7 日	28 日
10℃	普通ポルト	204 (100)	290 (100)	411 (100)
	スラグ・石こう	37 (18)	140 (48)	417 (101)
20℃	普通ポルト	216 (100)	326 (100)	435 (100)
	スラグ・石こう	55 (25)	221 (68)	479 (110)
40℃	普通ポルト	292 (100)	374 (100)	461 (100)
	スラグ・石こう	196 (67)	373 (100)	450 (98)

注 水セメント比：40%
水砕粉末：エスメント

表3 防錆剤を用いた場合の鉄筋の発錆

養生方法	材令	圧縮強度 (Kg/cm ²)	鉄 筋 の 発 錆 (%)		
			かぶり 2 cm	3 cm	5 cm
20℃水中	28日	512 (100)	0.03	なし	0.01
	1年	663 (100)	0.04	0.03	なし
20℃水中 14日・以後屋外	28日	484 (94)	0.05	なし	0.02
	1年	540 (81)	0.01	0.03	0.04

注 水セメント比：40%
防錆剤：NL-1900・3ℓ/m³
水砕粉末：エスメント