

エコセメントとコンクリートとしての利用技術について

太平洋セメント株式会社 技術営業部 佐野雅二

1. はじめに

都市部などで発生する廃棄物のうち、主たる廃棄物である都市ごみは、生活様式の変化、人口の都市部への集中に伴い、その発生量は平成10年度(1998年度)で5,160万 t / 年に達し、年々増え続ける傾向にある。このような都市ごみ発生量の増加に伴い、焼却場で減容が進められ、焼却灰としてごみの1/10程度にまで減容されているが、焼却場の処理能力の不足、埋め立て処分場の残余容量の減少、環境汚染の発生などが大きな社会問題になっており、安全な処分方法の確立や処分場の確保が急務とされている。

近年、これら都市ごみ焼却灰、下水汚泥等の生活廃棄物を大量に原料として使用したエコセメントの製造技術が開発され、廃棄物の処理、資源の有効利用技術として期待されている。エコセメントは当初、廃棄物に由来する塩化物イオンを1.0%前後含む速硬化形のセメントとして開発されたため利用用途が限定されていたが、その後、塩化物イオン量を0.1%以下に低減し、普通ポルトランドセメントに近い性状を有する「普通エコセメント」の製造技術が開発され、鉄筋コンクリートへの適用も視野に入ってきた。

平成13年5月には市原市に世界初のエコセメント専用工場が完成し、普通エコセメントの生産が開始された。また、東京都においても、現在多摩地区で専用プラント建設の計画が具体化しつつある。

ここでは、普通エコセメントとそれを用いたコンクリートの基本的な特性を普通ポルトランドセメントと比較して示すとともに、利用する場合の留意点についてその要点を紹介する。

2. エコセメントとは

1) エコセメントの定義

平成14年7月にJIS R 5214「エコセメント」が制定された。エコセメントはクリンカー製造時に都市ごみを焼却した際に発生する灰を主とし、必要に応じて下水汚泥等などの廃棄物を従として製造され、製品 1 t につきこれらの廃棄物を乾燥ベースで500kg以上使用してつくられるセメントと定義される。

エコセメントクリンカーの原料に用いられる都市ごみの焼却灰には有機化合物であるダイオキシン類等の有害物を含むことがあるが、これらの有害物はセメントの製造工程における1,300℃以上の高温で分解され、鉛等の有害重金属の一部は主に塩化物として揮散、回収される。この他に、都市ごみ焼却灰には塩化物イオンが多量に含まれる。塩化物イオンは、コンクリートが最も嫌う成分の一つである。これは、コンクリートが持つ高いpHにより錆びないように保護されている鉄筋が、一定量以上の塩化物イオンの存在により錆び出すためである。この塩化物イオンを、製造過程において除去するか、クリンカー鉱物として利用するかにより、エコセメントは以下の2種類に分類される。

普通エコセメント：エコセメントの製造過程で脱塩素化させ、塩化物イオン量がセメント質量の0.1%以下のもの。普通ポルトランドセメントに類似する性質を持つセメントである。

速硬エコセメント：塩化物イオン量が0.5%以上1.5%以下のもの。塩素成分をクリンカー鉱物として固定した速硬性を持つセメントである。

2) 普通エコセメントの品質

普通エコセメント（以下、Eと記す）の品質規格および実績値の例を表-1に、化学成分および鉱物組成の例を表-2に、普通ポルトランドセメント（以下、Nと記す）と比較して示す。Eは、塩化物イオンがNより多く、NのJIS規格値(0.02%以下)は満足しない。また、都市ごみ焼却灰を多量に使用しているため、Nより Al_2O_3 および Fe_2O_3 が多く、鉱物組成においてはカルシウムシリケート系鉱物(C_3S および C_2S)が少なく、カルシウムアルミネート系鉱物(C_3A および C_4AF)が多いという特徴を持つ。そのため、凝結調節のための SO_3 量がNにくらべ多くなっている。また、粉末度を高めることにより、Nに近い強度発現性が付与されている。

3. 普通エコセメントの適用用途範囲

表-3にEを用いたコンクリートの適用用途例を示す。Eの品質はNに類似しており、次章以降で述べるようにコンクリートとしての物性もNを用いたコンクリートとほぼ同等であることが確認されていることから、一般のコンクリートと同様の用途に適用可能であると考えられる。しかし、高強度もしくは高耐久性が求められるコンクリートについてはさらにデー

タの蓄積が必要であること等を考慮して適用しない。JIS R 5214においても、高強度・高流動コンクリートは適用外とされている。

Eの生産地は現在のところ千葉県市原市のみであることから、セメントの供給可能地域も首都圏に限られる。また、エコセメントコンクリートの製造には、エコセメント用のサイロが別途必要になるため、購入に当たってはメーカーや販売店との十分な調整が必要である。なお、本年12月にはJIS A 5308「レディーミクストコンクリート」の改訂が予定されており、使用できるセメントとしてエコセメントが取り入れられる予定となっている。

表 - 1 普通エコセメントの品質規格(JIS R 5214)および実績値の例

品質	普通エコセメント		普通ポルトランドセメント(参考)		
	規格値	実績値例	規格値	実績値例	
密度	g/cm ³	—	3.18	—	3.16
比表面積	cm ² /g	2500以上	4100	2500以上	3240
凝結	始発 h-m	1-00以上	2-21	1-00以上	2-15
	終結 h-m	10-00以下	3-29	10-00以下	3-20
安定性	バット法	良	良	良	良
	ルシャテリエ法 mm	10以下	—	10以下	—
圧縮強さ N/mm ²	1d	—	—	—	—
	3d	12.5以上	24.9	12.5以上	27.2
	7d	22.5以上	35.2	22.5以上	43.9
	28d	42.5以上	52.4	42.5以上	60.5
酸化マグネシウム	%	5.0以下	1.84	5.0以下	1.14
三酸化硫黄	%	4.5以下	3.86	3.0以下	2.01
強熱減量	%	3.0以下	1.05	3.0以下	2.18
全アルカリ	%	0.75以下	0.29	0.75以下	0.61
塩化物イオン	%	0.1以下	0.053	0.02以下	0.011

表 - 2 セメントの化学成分および鉱物組成の例

セメントの種類	化学成分 (%)									鉱物組成 (%)			
	lg. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	Cl ⁻	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
普通エコセメント(E)	1.1	17.8	7.2	4.1	61.1	1.8	3.9	0.3	0.054	49	12	14	13
普通ポルトランドセメント(N)	2.4	21.5	4.9	2.8	64.6	1.2	2.0	0.6	0.008	57	19	8	8

*R₂Oは全アルカリ量 (Na₂Oeq=Na₂O+0.658K₂O) を示す。

表 - 3 普通エコセメントコンクリートの適用用途例

コンクリート種類	構造物および製品の種類	
鉄筋 コンクリート	現場打ち	擁壁、橋梁下部工等
	プレキャスト 製品	道路用鉄筋コンクリートL形側溝、道路用上ぶた式U形側溝、組立土留め、下水道用マンホール側塊、フリーフォーム、ケーブルトラフ、道路排水用組合わせ暗渠ブロック、鉄筋コンクリートL形擁壁、ボックスカルバート等
無筋 コンクリート	現場打ち	園路等の舗装、重力式擁壁、重力式橋台、法枠、消波ブロック、消波根固めブロック、中埋めコンクリート、道路付属物基礎、集水樹基礎等
	プレキャスト 製品	道路用境界ブロック、積みブロック、インターロッキングブロック、張りブロック、舗装用平板、道路用コンクリートL形側溝、連節ブロック、法枠ブロック、大形積みブロック等
捨てコンクリート等	捨てコンクリート、均しコンクリート、裏込めコンクリート	

4. コンクリートの配合およびフレッシュコンクリートの特性

1) 配合

Eを用いたコンクリートの配合設計は一般のコンクリートと同様に行う。ただし、Eの塩化物イオン量はNより多いため、特に単位セメント量が多くなる場合は、事前にコンクリート材料に含まれる総量を確認する必要がある。表-4にスランプ8cm、空気量4.5%としたコンクリートの配合例を示す。Eは粉末度が高いこと等の理由で、Nよりコンクリートの粘性が若干高く、配合上s/aが下がることが多い。リグニンスルホン酸系のAE減水剤を使ったこの配合例では、Eの単位水量をNより若干増加させることにより、Nとほぼ同等の減水剤添加量で同等のスランプが得られた。また、ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤等を用いた別の配合でも、単位水量を一定とした場合、Eの減水剤添加量はNに比べ若干増加する傾向を示す場合もある。

表-4 コンクリートの配合例（スランプ8±2.5cm、空気量4.5±1.5%）

セメントの種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					AE 剤 (C×%)
			W	C	S	G	AE 減水剤	
普通エコセメント E	45.0	42.0	158	351	747	1084	0.88	0.0055
	55.0	44.0	158	287	806	1077	0.72	0.0050
	65.0	46.0	158	243	859	1059	0.61	0.0050
普通ポルトランドセメント N	45.0	44.0	156	347	786	1050	0.87	0.0050
	55.0	46.0	156	284	845	1042	0.71	0.0030
	65.0	48.0	156	240	899	1023	0.60	0.0030

2) スランプおよび空気量

スランプおよび空気量の経時変化は、使用材料、コンクリート配合、温度等の影響を受ける。特に夏場の気温が高い場合には、Eのスランプおよび空気量の低下はNより大きくなる傾向が認められており、使用に際しては事前に確認するとともに、練り混ぜてから打込み終了までの時間をできるだけ短くする必要がある。また、AE剤の種類によっては空気量の低下量が大きくなる場合もあり、特に凍結融解抵抗性を考慮する場合には注意する必要がある。

3) 塩化物イオン量について

Eを用いたコンクリートにおいても、鋼材を保護する性能を確保するため、練混ぜ時のコンクリート中の塩化物イオンの総量は原則として0.3kg/m³以下とする。特に単位セメント量が多くなる場合には、セメント中の塩化物イオン量を試験成績表等により事前に確認し、その他の材料と合わせて、コンクリート中の塩化物イオン量が規制値を超えないよう確認する必要がある。ただし、Eに含まれる塩化物イオンのうちフレッシュコンクリート中の水に溶け出すのはその一部であることが確認されており、品質管理および検査に当たってはその特性を考慮する必要がある。

5. 硬化コンクリートの特性

Eを用いた硬化コンクリートの力学特性、耐久性状は基本的にNを用いたコンクリートとほぼ同等である。ここでは、代表的な物性の測定例をいくつか紹介する。

1) 強度特性

セメント水比と圧縮強度の関係は一次式で近似でき、配合設計に利用できる。同一セメント水比で比較すると、標準養生ではEの圧縮強度はNより若干低いが（図-1）、蒸気養生後の弱材齢ではほぼ同等である（図-2）。また、圧縮強度と静弾性係数の関係（図-3）、圧縮強度と曲げ強度および引張強度の関係（図-4）はNや高炉セメントB種（以下B）を用いたコンクリートと同等である。

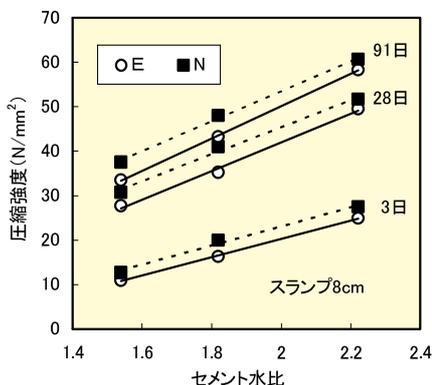


図-1 セメント水比と圧縮強度の関係（標準養生）

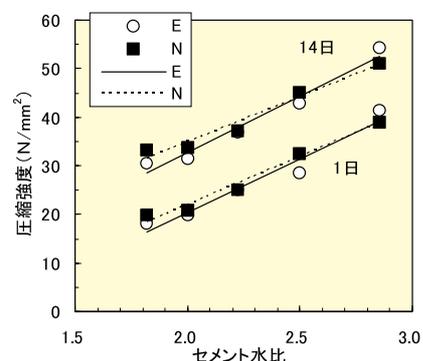


図-2 セメント水比と圧縮強度の関係（蒸気養生）

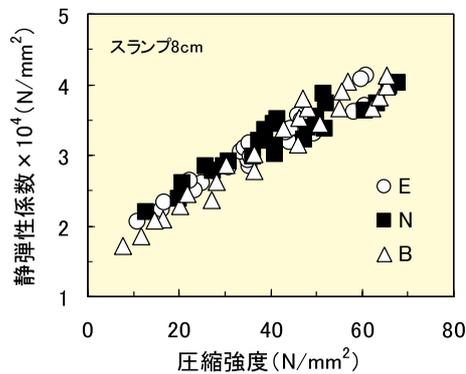


図-3 圧縮強度と静弾性係数の関係

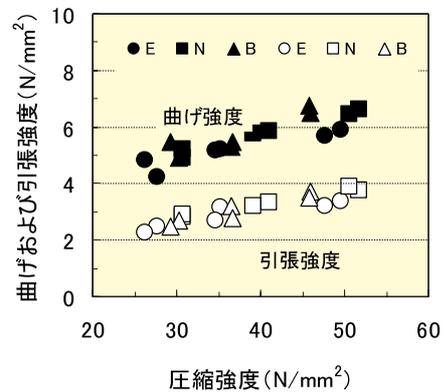


図-4 圧縮強度と曲げ強度および引張強度の関係

2) 耐久性

①中性化

炭酸ガス濃度5%、温度20℃、相対湿度60%の条件で中性化促進試験を行った結果の例を図-5に示す。同一水セメント比で比較するとEの中性化速度はNよりも速いが、Bと比較すると遅く、一般のコンクリートと同様の取り扱いが可能である。

②乾燥収縮

Eを用いたコンクリートの乾燥収縮量は、同一水セメント比ではNより若干小さい傾向が認められるがほぼ同等と考えてよい。

③凍結融解

一般のコンクリート同様、所定の空気量を導入することにより凍結融解抵抗性が得られることが確認されている。フレッシュコンクリートの特徴で述べたように、使用材料等の条件によっては、空気量の経時低下量が大きくなる場合もあるため事前の確認が必要である。

④鉄筋腐食性状

鉄筋を埋設した試験体を作製し、促進試験（オートクレーブ法、乾湿繰返し法）および屋外暴露試験を行った結果より、Eを使用したことにより鉄筋が錆びるということは無かった。

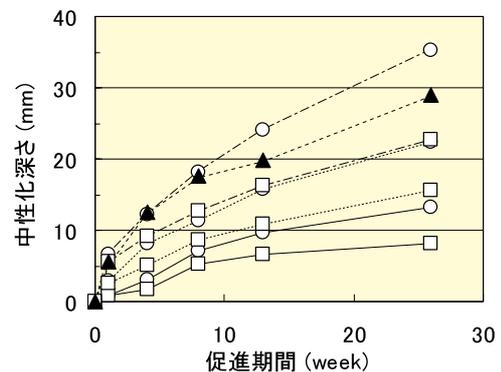
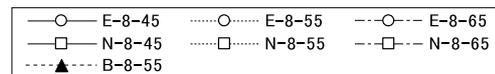


図-5 中性化促進試験結果の例（スラブ；8cm）

6. 施工例

レディーミクストコンクリートおよび工場製品としてこれまでに使用された主な施工例を写真1～写真3に示す。従来のコンクリート工事で行われている施工方法、すなわち、ポンプ圧送もしくはバケットによりコンクリートを運搬し、内部振動器を用いて締固めを行う方法が適用可能であり、施工後に実施した追跡調査によっても問題は認められていない。

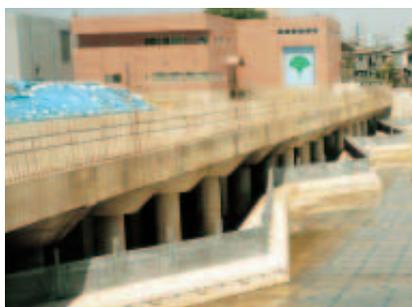


写真-1

白子川比丘尼橋下流調整池



写真-2

井の頭公園園路舗装



写真-3

市原エコセメント(株) キルン架台ほか

7. おわりに

普通エコセメントは、普通ポルトランドセメントとほぼ同等の性能を有しており、その特徴を理解して使用すれば鉄筋コンクリート構造物への適用が十分可能である。普通エコセメントの活用によりごみ問題解決の一助となることが期待される。