下水汚泥焼却灰を混入したコンクリートの諸特性

四国ヒューム管㈱　正会員○柳瀬幸子
高知高専　正会員　横井克則
阿南高専　正会員　天羽和夫

1. はじめに

下水道の普及に伴い，廃棄物として排出される下水汚泥焼却灰は年々増加し，最終処分地の確保の問題などから，その処理法についてはよりいっそうの減量化と有効利用の推進が最優先課題となっている[1)]。本研究では，下水汚泥焼却灰の有効利用の一環として，下水汚泥焼却灰を細骨材の代替材料としてコンクリートに用い，その代替率を変化させたときのフレッシュ性状および強度特性について調査した。また，画像処理ソフトを用いた色彩の調査や，凍結融解試験により耐凍害性についても検討した。

2. 実験概要

2.1　配合および使用材料　使用材料の特性を**表－１**に，コンクリートの配合を**表－２**に示す。下水汚泥焼却灰の代替率は細骨材の容積置換で 0,5,10,15,20%とし，下水汚泥焼却灰に含まれる水量は単位水量に合算した。また，水セメント比は 50%，細骨材率は 45%の一定とした。

表－１　使用材料の特性

使用材料		種類	密度 (g/cm^3)	その他物性
セメント		普通ポルトランドセメント	3.16	比表面積 3,300cm^2/g
細骨材	No.1～5	石灰砕砂　南国市白木谷産	2.56	吸水率 0.91%
	No.6～11	川砂＋海砂(50%ずつ)	2.63	吸水率 1.07%
粗骨材	No.1～5	石灰砕石　南国市白木谷産	2.70	吸水率 0.59%
	No.6～11	石灰砕石	2.68	吸水率 0.59%
下水汚泥焼却灰	No.1～5	高須浄化センター	2.66	含水率 29.0%
	No.6～11			含水率 17.4%

表－２　配合表

コンクリートの種類	代替率	単位量 (kg/m^3) セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	焼却灰	混和剤	AE助剤
No.1	0%	300	150	812	1047	0	0.75	1.2
No.2	5%		141	772		51		
No.3	10%		132	731		102		
No.4	15%		123	690		153		
No.5	20%		114	650		204		
No.6	0%		150	834	1039	0		0.0
No.7	5%		133	792		59		
No.8	10%		116	760		119		
No.9	0%		150	823	1025	0		1.2
No.10	5%		133	781		59		7.2
No.11	10%		116	740		117		12.0

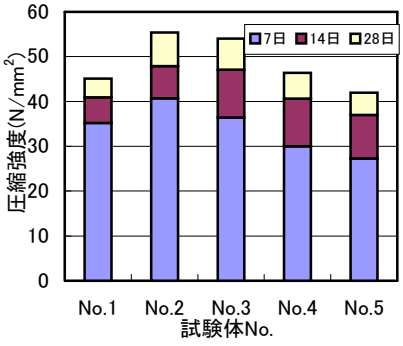
2.2　実験方法　コンクリートの練り混ぜは，下水汚泥焼却灰をセメント，細骨材，粗骨材とともに加えて混ぜ，その後水と混和剤を投入し練り混ぜた。試験体 No.1～5 は φ10×20cm の試験体を作成し，JIS A 1108 に基づき圧縮強度試験を行った。動弾性係数は動ヤング率測定器を用いて求め，塩化物含有量試験はフレッシュコンクリートからサンプルを採取し，塩分濃度計を用いて行った。No.6～11 については，□10×10×40cm の試験体を作成し，JIS A 1148 に従い凍結融解試験[2)]を実施した。

3. 実験結果および考察

3.1　フレッシュ性状　コンクリートのフレッシュ性状を**表－３**に示す。No.1～5 の試験体については代替率が高くなるほどスランプも空気量も小さくなる傾向を示し，下水汚泥焼却灰の混入はコンクリートのワーカビリティを低下させるということがわかった。No.6～11 においては，耐凍害性に対する空気量の影響を明らかにするため，AE 助剤を用いて空気量を調整した。No.6～8 は目標 2%，No.9～11 は目標 5%であり，ほぼ目標値になっている。また，フレッシュコンクリート中の塩化物含有量は，全塩素イオン重量が 0.30～0.60kg/m^3 以下を基準としている[3)]が，本研究においては，代替率が高くなるほど若干含有量は高くなったが，どの試験体においても 0.03 kg/m^3 以下で一般的な塩化物含有量の限度を大幅に下回っており，ＰＣやＲＣに利用しても問題がないと言える。これは，今回使用した下水汚泥焼却灰の塩化物含有量が元から少量

表－３　フレッシュ性状

試験体	スランプ (cm)	空気量 (%)	塩化物含有量 (kg/m^3)
No.1	4.2	4.0	0.023
No.2	2	2.7	0.024
No.3	1.0	2.3	0.025
No.4	3.5	2.3	0.025
No.5	2.5	2.0	0.028
No.6	5.8	1.8	－
No.7	5.4	1.9	
No.8	5.5	1.8	
No.9	5.4	5.2	
No.10	5.5	5.2	
No.11	5.5	6.0	



図－１　圧縮強度

キーワード：下水汚泥焼却灰，代替骨材，塩化物含有量，圧縮強度，耐凍害性，動弾性係数
連絡先　〒783-8508　高知県南国市物部 200-1　高知工業高等専門学校　Tel&Fax 088-864-5582

であったためであると考えられるが，下水汚泥焼却灰の化学組成は季節や地域によって異なるので，地域や季節の違う下水汚泥焼却灰を用いる場合には，フレッシュコンクリートの塩化物含有量を確認する必要があると思われる。

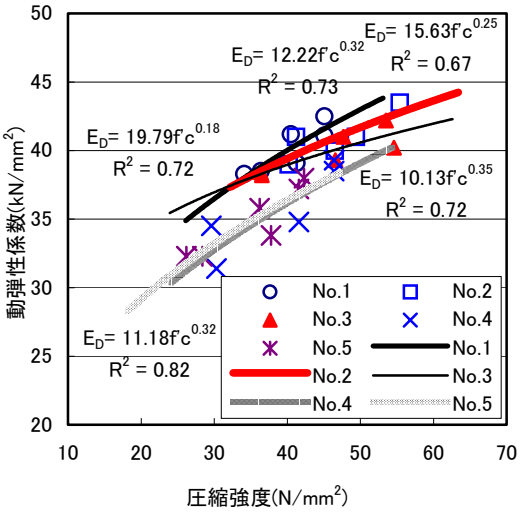
3.2　圧縮強度　代替率による圧縮強度の変化を**図－1**に示す。代替率別に検討すると代替率5%のNo.2試験体と代替率10%のNo.3試験体が普通コンクリートの強度を上回り，下水汚泥焼却灰を混入することで強度が増加することがわかった。しかし，図からもわかるように代替率が高いほど強度が増加するのではなく，強度増加に適する代替率は細骨材の容積置換で5～10%程度である。強度が増加する理由としては，焼却灰微粒分のマイクロフィラー効果によるコンクリートの緻密化およびポゾラン反応による品質改善の影響などが考えられる。

3.3　動弾性係数　動弾性係数と圧縮強度の関係を**図－2**に示し，代替率別に累乗式で近似を行った。圧縮強度と動弾性係数の関係は比較的相関の高い累乗式で示すことができ，同じ圧縮強度で比較すると代替率が高いほど動弾性係数は低下していた。

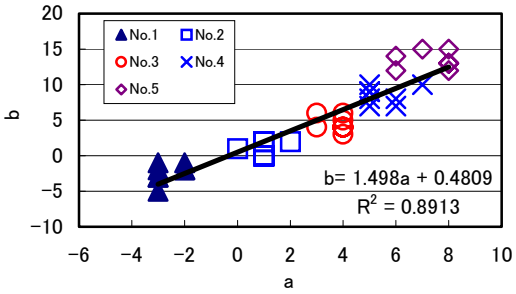
3.4　コンクリートの色彩　画像処理ソフトを用いてコンクリートの色彩を測定し，その結果を**図－3**に示す。色彩の測定方法はL*a*b*表色系[4]に従う。代替率が高くなるほどa，b値ともに増加する傾向にあり最小二乗法により近似すると高い相関性が見られた。また，L*a*b*表色系ではa，b値の両者がプラスの範囲にあると赤～黄色系の暖色系，両者がマイナスの範囲にあると青緑～紫系の寒色系と規定されており，下水汚泥焼却灰混入コンクリートはa，b値ともにプラスの範囲にあり肉眼での判断だけでなく，数値的にも暖色系の茶色であるということを確認することができた。

3.5　質量減少率　質量減少率とサイクル数の関係を**図－4**に示す。空気量の多い試験体については，質量減少率の増加が小さくなっている。空気量の少ない試験体については、代替率5%の試験体が代替率0,10%の試験体に比べ質量減少率が小さい値を示した。

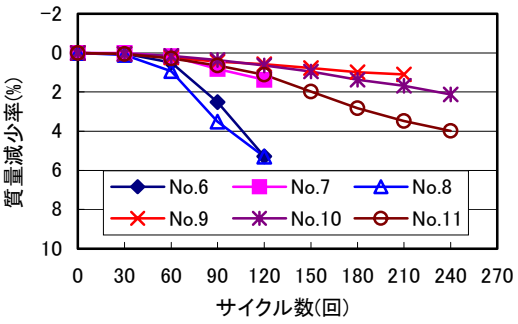
3.6　相対動弾性係数　相対動弾性係数とサイクル数の関係を**図－5**に示す。空気量が確保できている試験体については，サイクル数が200回を超えても相対動弾性係数がほぼ100%を維持しており，このことから一定の空気量を確保すれば下水汚泥焼却灰混入コンクリートにおいても凍害に十分対応できる。



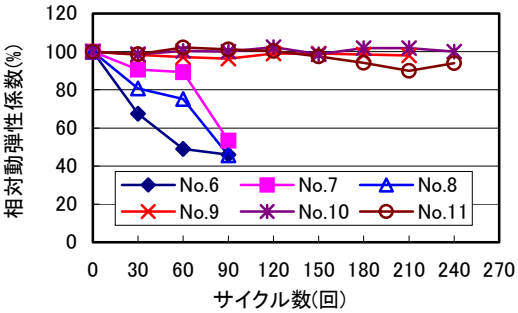
図－2　圧縮強度と動弾性係数の関係



図－3　コンクリートの色彩測定



図－4　質量減少率とサイクル数の関係



図－5　相対動弾性係数とサイクル数の関係

4. まとめ

下水汚泥焼却灰を混入したコンクリートは，フレッシュ性状や強度特性，耐凍害性などに関して普通コンクリートとほぼ同等の性能を備えており，有効利用の一環として建設分野での利用が可能であると考えられる。今後は，中性化や乾燥収縮などその他の耐久性項目に関して検討していく予定がある。

参考文献　1)森田弘昭:下水汚泥の有効利用の現状と今後の展望，環境技術，vol.29 No.5，pp.334-336，2000　2)(社)土木学会:コンクリート標準示方書［基準編］JIS 等関連基準，pp.323-327，2002　3)河野清・田澤栄一・門司唱:新しいコンクリート工学，朝倉書店，pp.57，1987　4)名阪カラーワーク研究会ホームページ：http://www005.upp.so-net.ne.jp/fumoto/linkp11c2.htm