

論文 焼却残渣(主としてガラス)の有効利用に関する基礎研究

伊藤正憲*¹・瀬野康弘*¹・屋井裕幸*²・肉丸英夫*³

要旨：現在、そのほとんどが最終処分場に埋め立て処分されている焼却残渣の有効利用方法のひとつとして、透水性コンクリート用骨材への適用について検討を行なった。その結果、適当な処理を施した焼却残渣をコンクリートの骨材として用いる場合、目標空隙率を15～20%程度に設定することにより、透水係数0.6～1.2(cm/sec)、曲げ強度2.0(N/mm²)程度が得られ、焼却残渣から得られる骨材は透水性コンクリートに十分適用可能であることが分かった。

キーワード：焼却残渣、透水性コンクリート、透水係数、空隙率、強度性状

1. はじめに

平成3年10月に「再生資源の利用の促進に関する法律(リサイクル法)」が施行され、廃棄物の減量化や資源化を目的とした研究が盛んに行われるようになってきている。その中でも、ガラスびんは特定業種に指定されリサイクルが最も進んだものである。

主なりサイクルの方法としては、ビールや日本酒のびんはそのまま洗浄しリターナブルびんとして再利用され、回収率は85%～95%程度と高い数値を示している。また、その他のガラス製品については、分別回収したものを色別にカレット化し、結合材としてエポキシ樹脂等を用いて硬化させ歩道や公園の遊歩道等の表面舗装に利用されている。しかし、廃ガラスが全てこの様な方法で再利用されているとは言えず、一般可燃ゴミの中にもガラスが混在しているのが現状である。

このような焼却炉から排出される廃ガラスを含んだ焼却残渣は、大部分が埋め立て処分されているが、生活様式の近代化、文明の高度化による排出量の増大、質の多様化、また、土地価格の高騰等により適正な処分地を確保することは非常に困難になってきている。

本論文は、分級・粉碎された焼却残渣(主としてガラス、以下、ガラス骨材と称す)を用いた透水性コンクリートの開発とその利用方法について検討するため、透水係数、圧縮・曲げ強度等の基本物性の把握を目的として行った実験結果について述べるものである。

2. ガラス骨材の概要

2. 1 ガラス骨材の製造

今回使用したガラス骨材は、千葉県船橋市の北部清掃工場に併設された焼却残渣リサイクルプラントで製造されたものである。このリサイクルプラントは、焼却残渣の中から微粉体や金属等を取り除き、ガラスや瀬戸物を粉碎・分級できる設備であり、その製造量は平成7年度実績で年間2300t程度(約15t/日)である。図-1にガラス骨材の製造フロー図を示す。

*1 東急建設(株)技術研究所 土木材料研究室(正会員)

*2 東急建設(株)土木技術部 技術第五課

*3 船橋市 環境部 北部清掃工場

2. 2 ガラス骨材の特徴

本実験で使用したガラス骨材の内容物は、ガラス 70%、瀬戸物 20%、レンガ他 10%である。また、プラントで製造されるガラス骨材の粒径およびその割合(重量比)を以下に示す。

12mm～5mm：70% (以下(G)と略記)

5mm～2mm：20% (以下(S粗)と略記)

2mm～0.3mm：10%

これらの物理的性質を表-1 に、アルカリシリカ反応性試験(化学法)の結果を表-2 に示す。

表-1 の“(G):(S粗)=7:2”は実際のプラントで製造されている割合に準じて混合したものである。なお、(G)の中には非鉄金属を重量の約 0.6%程度含有していたが実験においてはこれらを除去せずそのまま使用した。

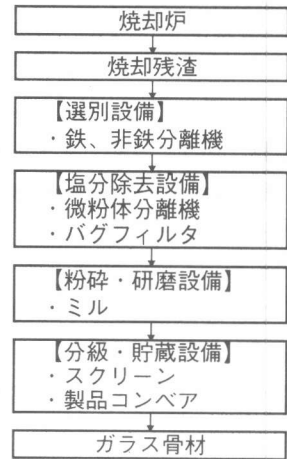


図-1 ガラス骨材製造フロー

表-1 ガラス骨材の物理的性質

材料名	比重	粗粒率	実績率(%)	吸水率(%)
G(12mm～5mm)	2.49	5.99	56.7	0.34
S粗(5mm～2mm)	2.48	4.72	58.9	0.67
G:S粗=7:2	2.49	5.71	61.1	0.41

表-2 ガラス骨材(S粗)のアルカリシリカ反応性試験結果(化学法)

材料名	アルカリ濃度減少量 (Rc) (mmol/l)	溶解シリカ量 (Sc) (mmol/l)	判定
S粗(5mm～2mm)	105	17	無害

3. 実験概要

3. 1 実験の要因と水準

本実験では、ガラス骨材を透水性コンクリート用骨材として使用した場合の基本物性(空隙率、透水係数、圧縮・曲げ強度)に及ぼす影響について検討を行なった。

ガラス骨材の(G)および(S粗)の混合割合は、(7:2)および(0:1)の2種類とし、目標とする理論空隙率は1、5、10、15および20%、水セメント比は30%とした。

3. 2 配合設計方法

透水性コンクリートの基本となる性質には、透水係数および圧縮・曲げ強度がある。透水性においては空隙量(連続空隙量)を増加させることが、一方、強度面では全空隙量を低下させることが望ましく、透水性コンクリートにおいては空隙量の把握が最も重要である。よって、配合設計において設定した空隙率(理論全空隙率)と実際の空隙率(実測全空隙率)の間に良い相関関係が得られる適切な配合設計方法で透水性コンクリートを作製する必要がある。

本実験においては、単位骨材容積をガラス骨材の実績率より求め、それ以外の部分に空隙およびペーストが存在しているものと考えて配合設計を行なった。実験に用いたコンクリートの配合を表-3 に示す。なお、セメントには、早強ポルトランドセメント(比重3.14)を使用した。

表-3 配合表

番号	W/C (%)	単位重量 (kg/m ³)				理論空隙率 (%)	供試体本数
		C	W	G	S粗		
1	30	612	184	1183	338	1	3
2		548	164			5	3, 3*
3		467	140			10	3, 3*
4		385	116			15	3, 3*
5		305	92			20	3
6		503	151	0	1461	10	3
7		422	127			15	3

*)バッチを変えて作製

3. 3 供試体作製方法

材料の練混ぜは、容量 50 リットルの強制パン型ミキサーを用いて図-2 に示す方法により行った。供試体の作製は、材料を型枠に詰め、テーブルバイブレーター上で 5 秒間振動させた後、材料を補充しさらに 5 秒間振動させる方法とした。供試体は材齢 3 日で脱型し各試験材齢まで 20℃ 水中養生とした。

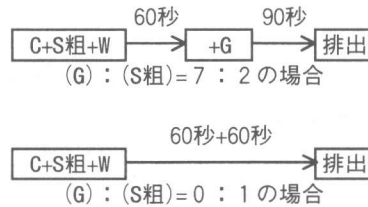


図-2 練混ぜ方法

3. 4 試験方法

本実験で指標として用いた透水性コンクリートの基本物性としては、空隙率、透水係数および圧縮・曲げ強度である。試験のフローを図-3 に示す。また、各試験方法を以下に示す。

(1) 空隙率試験

硬化後の全空隙率および連続空隙率は以下の手順により求めた。十分に飽和させた供試体の水中重量 W_1 を測定し(材齢 10 日)、その後、供試体を取り出し水切りを行い、一定となった気中重量 W_2 を測定した。

さらに、24 時間自然放置後の気中重量 W_3 および供試体体積 V を測定し、以下の式より算出した^[1]。

・全空隙率 (%) = $(1 - (W_3 - W_1) / V) \times 100$ ①

・連続空隙率 (%) = $(1 - (W_2 - W_1) / V) \times 100$ ②

(2) 透水試験

供試体は $\phi 10 \times 20\text{cm}$ とし JIS A 1218 「土の定水位透水試験」に基本的に準拠し、材齢 13 日で試験を行った。但し、透水試験装置の透水部は、カラーの内径が $\phi 20\text{cm}$ のものを用いたため、供試体側面にはゴム製のメンブレン ($t=0.3\text{mm}$) により水の出入りを遮断した。なお、水頭差は 10cm

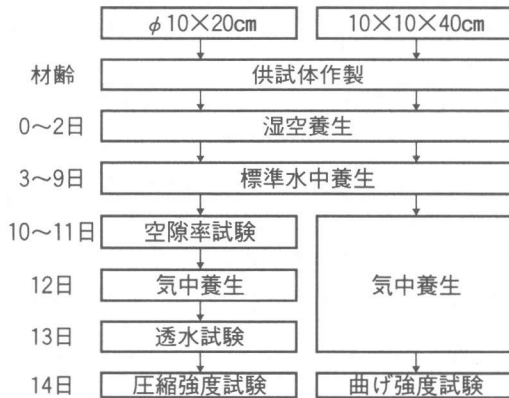


図-3 試験フロー

とした。試験により得られた透水係数は温度による水の粘性の変化の影響を除くために全て15℃の透水係数に換算した。図-4に透水試験装置の概略図を示す。

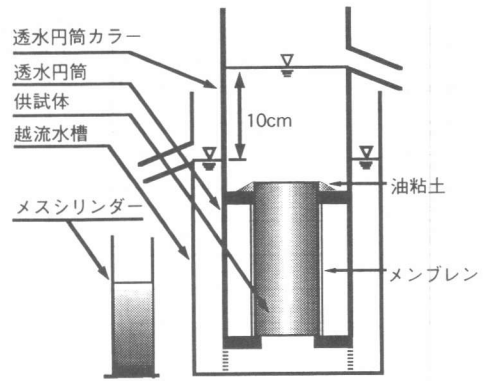


図-4 透水試験装置

(3) 曲げ強度試験

供試体は10×10×40cmとしJIS A 1106に基本的に準拠し、材齢14日において試験を行った。但し、供試体の荷重は、打設面を載荷面とし石膏で平滑にした後に行った。

(4) 圧縮強度試験

試験は透水試験に使用した供試体を材齢14日にJIS A 1108に準拠し、両端面を硫黄キャッピングした後行った。

4. 結果および考察

図-5は、ガラス骨材を用いたコンクリートの理論全空隙率と実測全空隙率の関係を、図-6は、理論全空隙率と(実測全空隙率-理論全空隙率)の関係を全供試体について示したものである。理論全空隙率と実測全空隙率は比較的良好な相関関係が得られているが、実際に測定される実測全空隙率は目標としている理論全空隙率よりも若干大きくなる傾向にあり、今回の試験結果においては最大で8%程度であった。これは、ガラス骨材の実績率を求めるときの容器の大きさと空隙率を測定した供試体(φ10×20cm)の大きさの違いによる影響を受けることや^[2]、充填方法の違いによりガラス骨材の配列が変化したことにより生じたものと考えられる。また、図-6より理論全空隙率が5%以上の場合、実測全空隙率と理論全空隙率の差は、理論全空隙率が大きくなるほど小さくなる傾向にあることが分かる。

図-7は、全供試体の実測全空隙率と連続空隙率の関係を示したものである。両者の間には良い相関関係が得られている。なお、ガラス骨材の混合割合の違いによる影響は見られない。

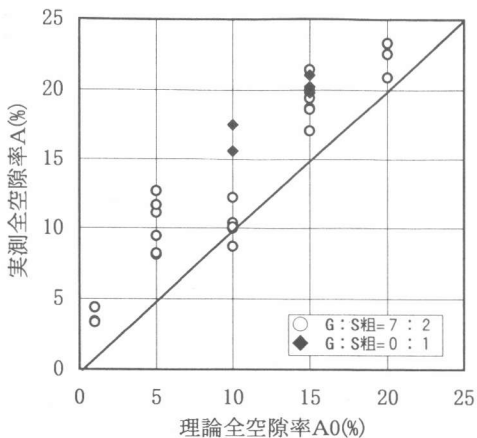


図-5 理論全空隙率と実測全空隙率の関係

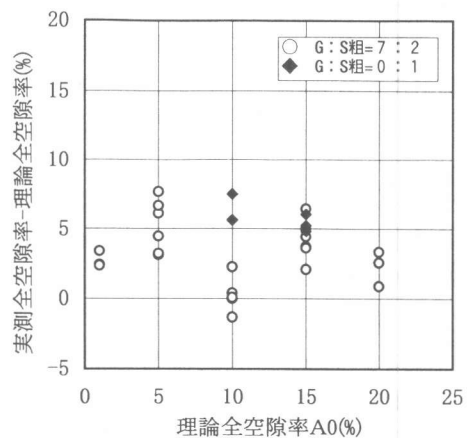


図-6 理論全空隙率と実測と理論全空隙率の差の関係

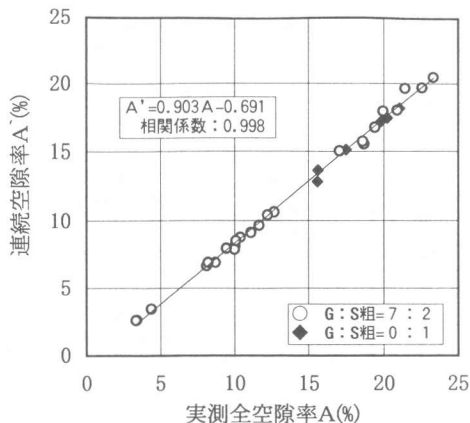


図-7 実測全空隙率と連続空隙率の関係

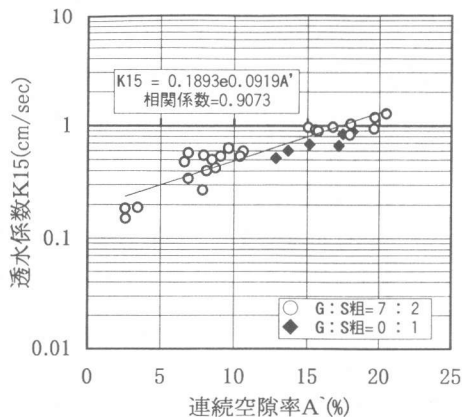


図-8 連続空隙率と透水係数の関係

図-8 は、連続空隙率と透水係数の関係を全供試体について示したものである。透水係数は連続空隙率が増加するに従い大きくなり、連続空隙率 10%で透水係数は 0.60(cm/sec)程度、20%では 1.2(cm/sec)程度である。透水性舗装用コンクリートの透水係数は通常 1×10^{-2} (cm/sec)以上といわれており^[3]、ガラス骨材を用いた透水性コンクリートも十分な透水性能を持っているといえる。

図-9 は、実測全空隙率と曲げ強度の関係、図-10 は、実測全空隙率と圧縮強度の関係をそれぞれ示したものである。なお、これらの図には 3 本の供試体の平均値を用いた。両図より実測全空隙率が増加するに従い強度は低下していることが分かる。この様にガラス骨材を用いた透水性コンクリートの強度も通常の透水性コンクリートと同様、全空隙率に大きく依存していると考えられる。透水性をある程度確保することを考慮して全空隙率を 10%~20%とすると、曲げ強度で 2.0~3.0(N/mm²)程度、圧縮強度で 10.0~20.0(N/mm²)が得られることになる。この様に曲げ強度が 2.0(N/mm²)程度以上が得られれば、ガラス骨材を用いた透水性コンクリートは駐車場、広場、公園または遊戯場の舗装等に適用することが可能である^[3]。なお、ガラス骨材の混合割合の違いによる強度に及ぼす影響は、ほとんど見られない。

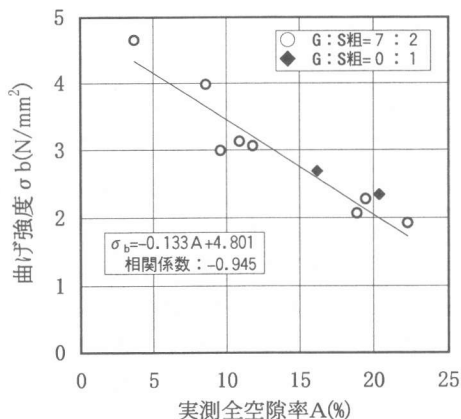


図-9 実測全空隙率と曲げ強度の関係

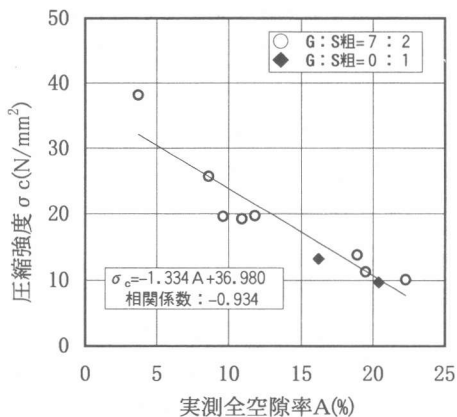


図-10 実測全空隙率と圧縮強度の関係

図-11は、圧縮強度と曲げ強度の関係を、図-12は、圧縮強度と圧縮強度に対する曲げ強度の比率の関係を示したものである。圧縮強度と曲げ強度の関係は通常のコンクリートと同様の傾向を示し^[4]、圧縮強度に対する曲げ強度の比(σ_b/σ_c)は1/4~1/8程度となり、圧縮強度が大きくなるに従いその比は小さくなっている。また、曲げ強度は圧縮強度の約0.6乗に比例していることが分かる。

5. おわりに

本実験においてガラス骨材を用いた透水性コンクリートについて検討した結果をまとめると以下のようになる。

①配合設計の考え方について、目標空隙率(理論空隙率)を得るためには、ガラス骨材の混合実績率を基にして骨材量を決定し、それ以外の部分にペーストと目標空隙を確保すると考えても問題ない。

②上記の配合に基づき設計したガラス骨材を用いたコンクリートは、目標空隙率を15%~20%程度に設定することにより、透水係数0.6~1.2(cm/sec)程度、曲げ強度2.0(N/mm²)以上の透水性舗装としての十分な性質を得ることが可能である。

よって、ガラス骨材を用いた透水性コンクリートは、歩道等の道路、駐車場、広場、公園および遊戯場の舗装等に利用可能であると考えられる。また、ガラス骨材自体が焼却炉から最終処分場に処分されていた廃棄物であるということを考えると、これを積極的に再利用することにより環境負荷を低減する効果も有していると考えられる。しかし、室内試験により得られる透水係数と現場透水試験により得られる透水係数には違いがあると思われることから、施工実験を通して透水性コンクリートの製造・施工方法による強度・透水性状の違いや、現場透水試験結果と室内透水試験結果との関係の把握、また、ガラス骨材を含めた材料の品質管理方法、並びに施工管理方法について検討する必要があると思われる。

参考文献

- [1](社)日本コンクリート工学協会：エココンクリート研究委員会報告書、1995.11
- [2]福手 勤、濱田秀則、田中 順、真下昌章：海洋環境下における植栽を目的としたポーラスコンクリートの材料特性、港湾技研資料、No.819、1995.12
- [3]佐藤道路(株)：高い透水性を有するセメントコンクリート舗装を構築する方法、特許公報、平5-34299、1993
- [4]近藤泰夫、坂 静夫編：コンクリート工学ハンドブック、朝倉書店、pp.307-312、1965

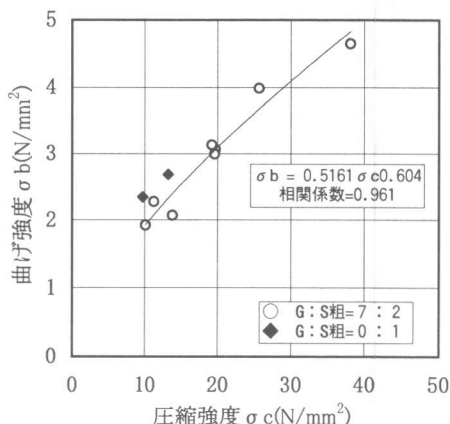


図-11 圧縮強度と曲げ強度の関係

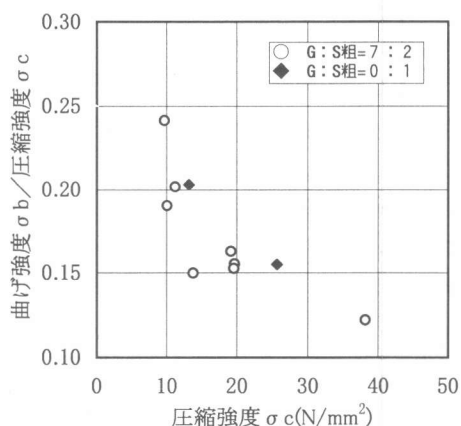


図-12 圧縮強度と(σ_b/σ_c)の関係