

論文 Original Paper

コンクリート廃材の再利用に関する基礎的研究

柴田 英明*・斉藤 顕次**

Study on the Re-Use of Concrete Wastes

Hideaki Shibata and Kenji Saito***

Synopsis: The disposal of construction waste material that is designated as industrial wastes, is causing major social problems such as noise and dust, in urban areas. Also, supplies of fine aggregates for use in highway construction, particularly river sand, are becoming exhausted, and the procurement of good quality aggregates has become difficult. This research was carried out to identify the various problems involved in using concrete waste as recycled aggregate as well as to determine to what extent such concrete waste could be re-used. The research was also aimed to investigate the constituent proportions and strength property of mixed construction waste material imported to an intermediate disposal plant to determine its durability when used as aggregate in mortar. The research results revealed the strength and permeability properties of mixed construction waste that contained impurities.

要旨: 産業廃棄物と指定されている建設残土等の処理問題は、都市部においては騒音、粉塵公害などの新たな社会問題を引き起こしている。また、道路用骨材特に川砂は枯渇が顕著であり、良質骨材の入手が困難となっている。本研究では、建設残土の一つであるコンクリート廃材を再生骨材として使用する場合の問題点や再生骨材の利用可能範囲を明確にすることを目的とし、中間処理場に持ち込まれる建設廃棄物の材料構成およびその物性や強度特性を調べ、また、セメントモルタルの骨材としてコンクリート廃材を使用した場合の耐久性について検討した。その結果、コンクリート廃材が種々の不純物を含む場合の強度特性や透水性に関する特徴を見出すことができた。

Key Words: Wastes, permeability, particle breakage, road base, CBR, cement mortar, compressive strength, compaction

1. ま え が き

近年、道路改修、コンクリート建築物の解体および建設工事に伴って発生する建設残土等の量は、年々増加の一途を辿っている。これはすべて産業廃棄物として処分されるため、処分できる箇所は港湾埋め立て地や指定された廃棄物処理場に限られている。そのため、これらの処分できる量は極めて少なくなっているのが現状である。また、処分に伴う自然環境の破壊や運搬に伴う車公害等、新たな社会問題を生み出してきている。一方、建

設工事においては、良質の骨材としての川砂等の資源の確保が難しいという問題が発生している。これらの諸問題は、大都市部では深刻な社会問題にまで発展しつつあるのが現状である。道路やコンクリート系の研究機関では、昭和50年代中頃から、コンクリート廃材の再利用についての研究が数多く行われている^{1)~11)}。一方、土質系の研究機関では、建設省を中心とした研究会¹²⁾¹³⁾や地盤工学会での専門委員会等が発足し、官民一体による建設副産物に関する研究¹⁴⁾¹⁵⁾が行われるようになった。その結果「再生資源の利用の促進に関する法律」が平成3年10月に、「産業廃棄物の処理に関する特定施設の整備の促進に関する法律」が平成4年10月に施行されるとともに、平成4年7月に「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」の大幅改正を行い、再利用、適正処理、施設整備促進等についての法体系が整備されるに至った¹²⁾。しか

*工学部土木工学科 助教授

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Associate Professor.

**西松建設(株)技術研究所 研究部 部長

Nishimatsu Construction Co. Technical Center Chief.

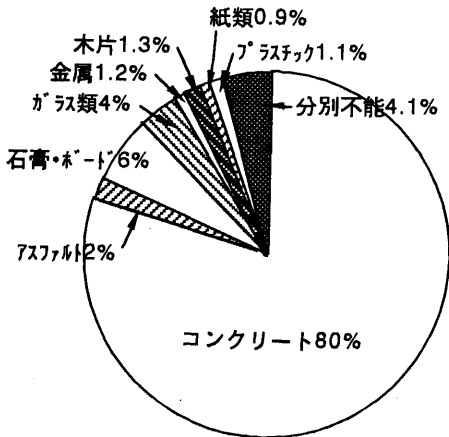


図1 建設廃棄物の材料構成 (重量比) 機械分別後破砕

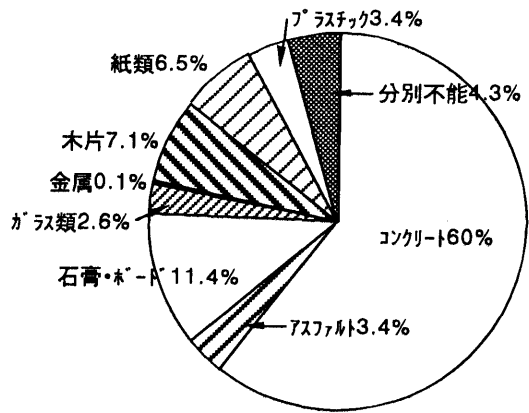


図2 建設廃棄物の材料構成 (体積比) 機械分別後破砕

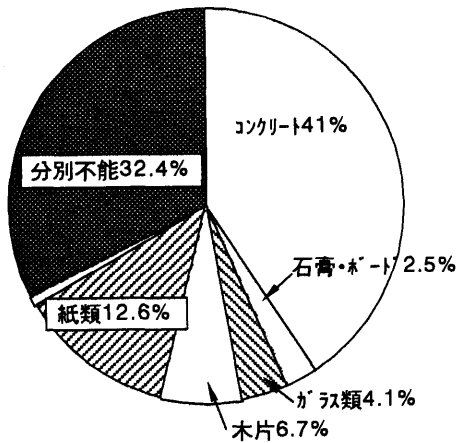


図3 建設廃棄物の材料構成 (重量比) ブルドーザにより破砕

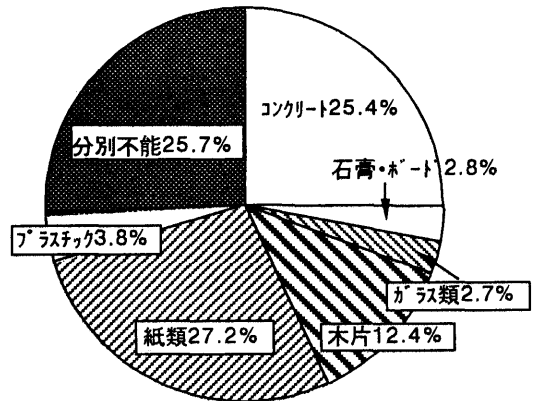


図4 建設廃棄物の材料構成 (体積比) ブルドーザにより破砕

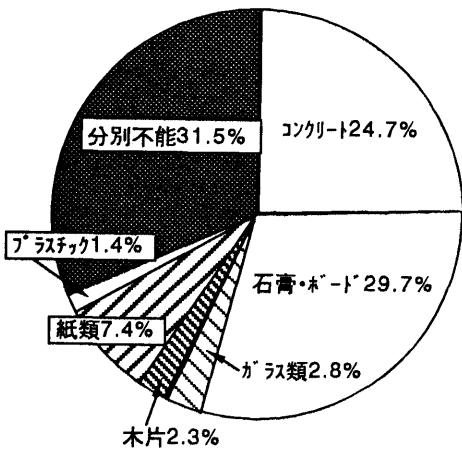


図5 建設廃棄物の材料構成 (重量比) 分別なし

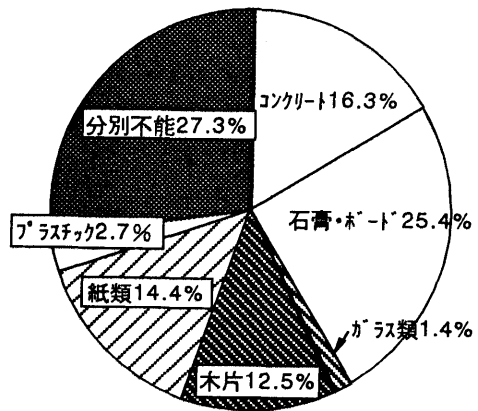


図6 建設廃棄物の材料構成 (体積比) 分別なし

し、実際のコンクリート片等の再利用率は48%程度であり、建設廃棄物全体の再利用率は30%以下と低い状態である。この原因として、建設廃棄物の供給と需要の時期的なズレが生じること、供給量と需要量のアンバランスがあることから、施設としての広いストックヤードが必要となることや、再生資源には、多くの付加価値の低いものが混在したまま、処理場へ搬入されることが多く、そのまま再生骨材にすると、質の悪いものができてしまうこと等が指摘されている。また、再生骨材の利用用途の新たな開発が必要となってきている。現在、これらの事項が今後の重要な課題となっている¹²⁾。本研究では、建設残土の再利用の一つとして、コンクリート廃材を再生骨材として利用する場合、例えば、セメントモルタルやソイルセメントの骨材、および路盤材料の骨材の代替えとしてコンクリート廃材を使用した場合の利用可能範囲を見出すことを研究目的とした。なお、処理場に搬入される建設廃棄物の中のコンクリート片をコンクリート廃材とし、付加価値の低いもの、例えば、ガラス、木片、紙類、プラスチック等を不純物と呼ぶことにする。はじめに、現在の中間処理場に持ち込まれる建設廃棄物の材料構成、コンクリート廃材の物性や強度特性を調査し、次に、再利用の一つとして、セメントモルタルの骨材としてコンクリート廃材を使用した場合の耐久性について検討を試みた。

2. 建設廃棄物の材料構成割合の一例

A 中間処理場より採取した建設廃棄物について、その内容物について分類した結果の一部を図1~6に示している。分類は機械により選別した後破碎したもの、ブルドーザにて破碎したもの、無分別のまま採取したものの3種類について行った。なお、図1, 3, 5は重量比、図2, 4, 6は体積比で表示したものである。図1, 2より、機械により分別したものでは、最大粒径を10mmとした場合、コンクリート廃材が最も多く重量比で約80%を示しており、その他石膏ボードやタイル等が4~6%含まれているのが判る。一方、図3, 4よりブルドーザで無差別に破碎した場合、木片や紙類が7~13%と増加しており、また、0.85mm以下の分別不能の細粒分が33%と多くなっている。これは、建設廃棄物を破碎する前に試料を分別しないとコンクリート片以外のものが急激に増加することが如実に表れた結果である。この細粒分について黙視による観察から、大部分は土粒子であるが、木片やプラスチック等の細かいものが確認され、これらはほとんど分別できない状態である。以上の観察結果より、中間処理場に集められる建設廃棄物を分別する

表1 コンクリート廃材の諸性質
コンクリート廃材

	A	B	C	D	E
比重	2.52	2.22	2.61	2.42	2.34
吸水率%	11.70	13.38	5.62	7.94	16.50

アスファルトコンクリート廃材

	F	G	H	I	J
比重	2.48	2.49	2.45	2.43	2.36
吸水率%	1.37	1.55	3.24	5.69	6.23

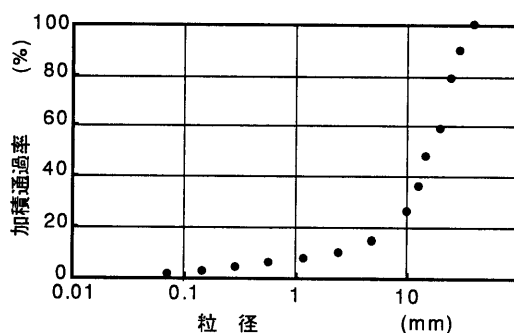


図7 コンクリート廃材の粒度分布

場合、試料の細粒化が進むにつれて、コンクリート廃材以外のものの分別がしにくくなることが判った。なお、中間処理場に集められる建設廃棄物は運び込まれる時期によって、その内容物が異なり、また、その量も一定ではないのが現状である。

3. コンクリート廃材の材料特性

(1) コンクリート廃材の物性

東京都、埼玉県、千葉県の中間処理現場から採取した10種類のコンクリート廃材およびアスファルトコンクリート廃材の諸性質について調べ、表1に比重と吸水率を示している。なお、値はそれぞれの処理場から採取した5試料の平均値で表示している。また、コンクリート廃材の粒度分布の一例を図7に示す。表1より、コンクリート廃材の比重は、採取した場所によって異なっており、2.22から2.61と幅広い値を示している。一方、道路改修に伴うアスファルトコンクリート廃材の比重は2.36から2.49とほぼ値にバラツキは少ないという結果が得られた。また、吸水率についてみると、コンクリート廃材では、5.62から16.50とかなり大きい値を示しており、ア

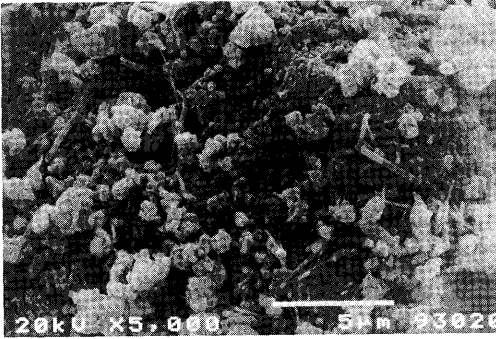


写真1

スファルトコンクリート廃材の吸水率の範囲は1.37から6.23と小さい値である。ここで、行政機関の再生骨材に関する基準に照らし合わせてみると、例えば、埼玉県土木材料規格¹²⁾では、再生砂の比重と吸水率については、2.35以上および8.0%以下となっており、上記廃材をそのまま再生骨材として使用できないのが現状である。次に走査型電子顕微鏡を用いて、A 中間処理場より採取したコンクリート廃材をそのまま観察した結果を写真1に示している。この顕微鏡写真の分析結果より、コンクリート廃材には通常の骨材に含まれる石英、長石等の他にカルシウム系の結晶が観られる。また、水酸化カルシウム、炭酸カルシウム、石膏、エトリンカイトなど通常のコンクリートにみられる結晶が検出されている。

(2) コンクリート廃材の粒子破碎

コンクリート廃材の打撃に対する粒子破碎率の大きいことが、再生骨材として利用できない原因のひとつとして指摘されていた。本研究では、コンクリート廃材の粒子破碎の実状を調べるため、JIS A 1211に準じた突き固めによる実験とロスアンゼルスすりへり試験との2種類の実験を行った。突き固めはランマー4.5 kg、直径15 cmのCBR用モールドを使用し、1層当たりそれぞれ、17, 42, 67回の3層突き固めを行い、突き固め後のふるい分けを行った。なお、突き固め前の試料の粒度はフーラーの最大密度曲線に合わせて調整したものである。一方、すりへり試験は、JIS A 1121に準じたロスアンゼルス試験機による粗骨材のすりへり試験方法で行った。すりへり試験に用いたコンクリート廃材の粒径の範囲は10~20 mmであるので、JIS A 1121の基準に合わせて、試料の質量を2500 gすりへりに用いる鋼球の数を8個とし、回転数を500回で実験を行った。それぞれの実験結果を図8, 9に示す。図8より、突き固めによる粒子破碎状況を見ると、粒径10 mmのところと比較すると、

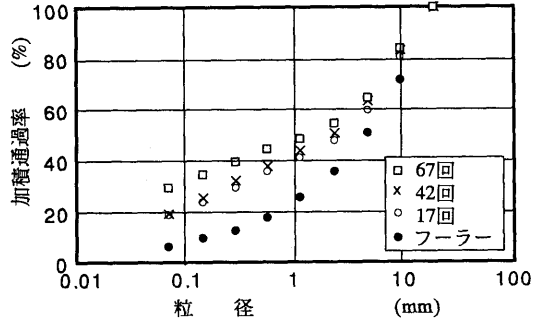


図8 粒子破碎 (突き固め)

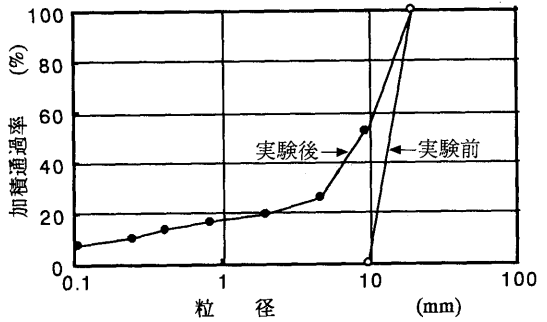


図9 粒子破碎 (すりへり)

回数17回で11.5%, 42回で12%, 67回で13.4%となっており、突き固め回数の増加に伴い、粒子破碎率も僅かではあるが増加することが明らかである。また、通常使用している骨材の粒子破碎率が数%であることから、コンクリート廃材の粒子破碎が大きいことは明らかである。次に、図9よりコンクリート廃材のすりへり状況を見ると、粒径9.52 mmで52%のものが通過している。即ち、52%の試料が試験により破碎してしまったことになる。ここで、現在のコンクリート標準示方書¹⁰⁾では、粗骨材のすりへり減量の限度をダムコンクリートで40%、舗装用コンクリートで35%としているので、コンクリート廃材をそのまま粗骨材として使用することはできないことになる。

4. コンクリート廃材の強度特性

2項で指摘されるように、ほとんどの中間処理場で採取されるコンクリート廃材のなかには、木片、紙類、プラスチック、ガラス等の不純物が混じっており、10 mm以下に細粒化された状態では、それらを取り除くことはほとんど不可能である。そこで、本研究では、コンクリート廃材に不純物が含まれる場合の幾つかの力学特性について調査した。実験に使用した試料は、コンクリ

ート廃材として粒径0.42 mm~10 mm に粒度調整したものの、不純物として木片、ガラス、プラスチックの3種類をクラッシャーにて2 mm 以下に破碎したものである。行った実験は一面せん断試験、CBR 試験、透水試験である。試料の配合については、木片やプラスチックはコンクリートやガラスに比べて極端に比重が小さいので、体積比で混合し、ガラスは重量比で行った。なお、比較のため、コンクリート廃材のみの場合についても同様の試験を行った。

(1) コンクリート廃材のせん断強度

はじめに、コンクリート廃材のみの強度を調べるため、一面せん断試験を行った。実験に用いた試料は、A 中間処理場より採取してきたものを、クラッシャーにて最大粒径2 mm 以下に潰したものである。なお、比較のため豊浦標準砂の結果も示す。

一面せん断試験は垂直圧力を39.2, 78.4, 156.8, 313.6 kN/m² とした定圧せん断試験であり、せん断速度を1 mm/min とした。試料の乾燥質量を75 g と一定にしたので、試験前の供試体の密度は1.334 g/cm³ であった。豊浦標準砂と不純物を含まないコンクリート廃材の一面せん断試験時の水平変位に対する垂直変位やせん断応力の一例を図10に示す。図10より、豊浦標準砂とコンクリート廃材の一面せん断時の応力~変形挙動を比較検討す

ると、同一垂直圧力に対して、コンクリート廃材の方が豊浦標準砂よりも垂直変位の変動が大きく、また、せん断強度も大きくなっているのがわかる。この原因として、コンクリート廃材の粒子の表面が非常に粗く、また、粒子形状が大変角張っているため、せん断時におけるダイレイタンスの発生が大きいから、このように大きい値を示すと考えられる。なお、粘着力はいずれの場合も0に近い値である。一方、不純物を含む場合については、中間処理場での不純物の混在する量が20%以下であることから、コンクリート廃材と不純物の混合割合を30%までとして一面せん断試験を行った。その結果を図11に示している。図11より、豊浦標準砂の内部摩擦角が38°であるのに、コンクリート廃材のみの値が46°と大きい値を示している。また、ガラスと木片が混在している場合は、ほとんど同じ傾向を示している。即ち、不純物の混入率が10%越えると内部摩擦角の値が少しずつ減少し始めるが、その減少率は小さく、混入率30%で内部摩擦角43°である。一方、プラスチックが混在している場合、混入率が20%以上になると内部摩擦角は小さくなり、混入率30%で内部摩擦角38°を示している。ここで、各不純物のみで一面せん断試験をしたときの内部摩擦角の値は、ガラスで42°、木片で39°、プラスチックで32°となっている。このことから、不純物が15%前後混在して

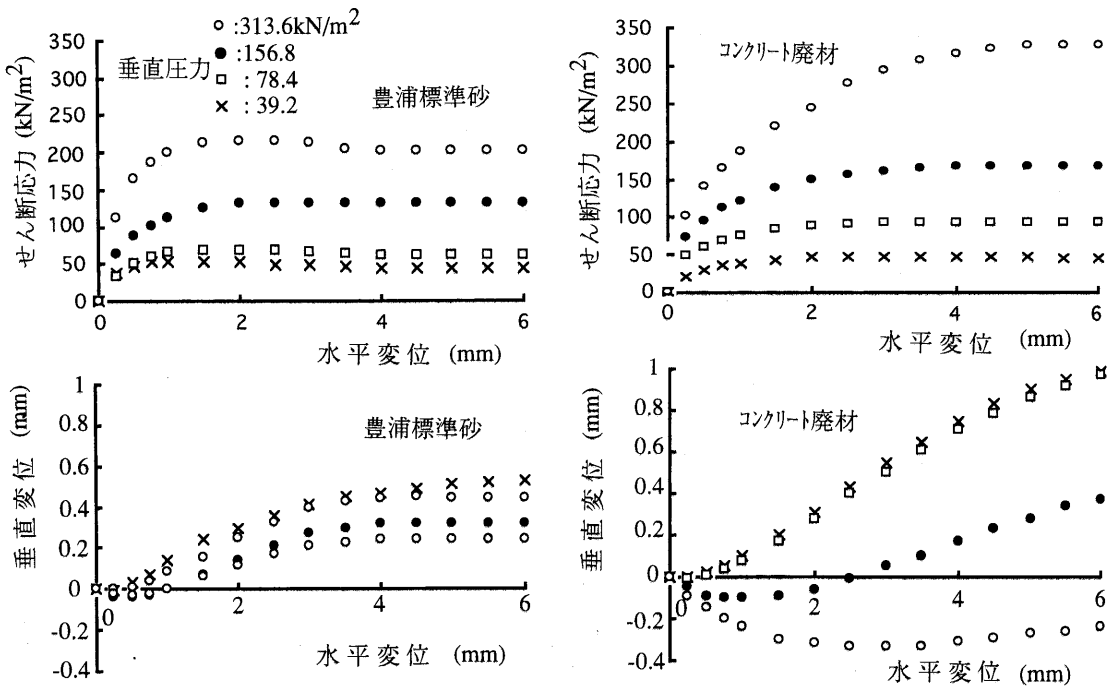


図10 豊浦標準砂とコンクリート廃材のみの一面せん断試験結果の一例

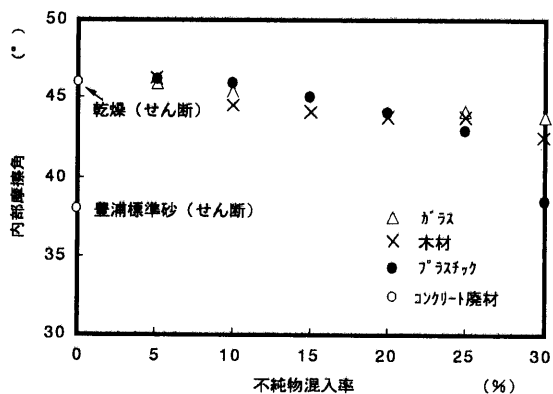


図11 内部摩擦角

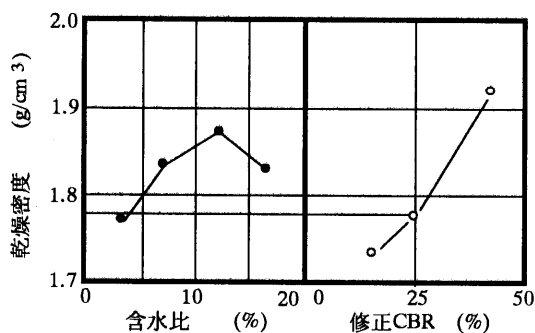


図12 修正CBR

いてもせん断強度のほとんどをコンクリート廃材の粒子が受け持っており、この程度の不純物の存在は、せん断強度に関しては影響がないと判断できる。

(2) コンクリート廃材の CBR

コンクリート廃材は裏込め土や埋め戻し土には比較的多く使用されているので、コンクリート廃材の CBR を求めた。実験は JIS A 1211 に準じて行った。試料は最大粒径 10 mm とし 2.5 mm 以上 100% のものと 2.5 mm 以下の細粒分が 10% 含まれるものの 2 種類とした。実験結果の例として細粒分を含むコンクリート廃材の修正 CBR を図 12 に、また、各試料に対する修正 CBR を表 2 にそれぞれ示している。表 2 より、細粒分を含む場合、修正 CBR が 25 を示しており、下層路盤の基準値 20 以上を満たしているため、十分、路盤材料として利用できる可能性がある。しかし、細粒分を含まない場合は、14.5 と基準値以下であり、何らかの安定処理が必要となる。一方、一面せん断試験と同様に、不純物が混在する場合についての CBR に関する検討を行った。コンクリート廃材は粒径が 10 mm ~ 2.5 mm の大きさのものに、不純物としてガラス、プラスチックをそれぞれ 5, 10,

表 2 各試料の修正 CBR

材	料	修正 CBR
コンクリート廃材		14.5
コンクリート廃材 (2.5 mm 以下 10% 含む)		25.0
ガラス	10% 混入	測定不能
ガラス	5% 混入	23.5
プラスチック	10% 混入	21.0

15% 含むものとして実験を行った。その結果の一例を表 2 に示している。表 2 より、ガラスが 5% およびプラスチックが 10% 混在していても修正 CBR は 20 以上を示している。一方、ガラスが 10% 含まれると上に凸な締め固め曲線が得られず、修正 CBR が測定不能となった。この原因として、ガラスの打撃による粒子破砕の影響が大きいと考えられる。以上のことから、突き固めによる締め固めを必要とする施工においては、不純物の存在による影響を十分考慮する必要があると判断できる。

(3) コンクリート廃材の透水性

コンクリート廃材はポーラスな状態であるので、吸水性があり、透水性も高いと考えられるので、簡易透水試験より、コンクリート廃材の透水量の経年変化を調べた。簡易透水試験は、内径 10 cm 内容積 1000 cm³ で底板に透水用穴があいたモールド内に試料を詰めたものを水槽に入れておき、モールド上部より水を注いだとき、水槽から溢れる水量を一定時間測定していく方法である。試料は密な状態にするため、モールドの側面を木槌でたたいて締め固めて作成した。不純物の混在する試料は、コンクリート廃材にガラス、木片、プラスチックをそれぞれ 10% 混ぜて作成した。その結果を図 13 に示している。図 13 より、コンクリート廃材の 1 日目の透水係数は 4.8×10^{-3} cm/sec と大きい値を示しているが、1 カ月過ぎると 2×10^{-3} cm/sec と半分以下に減少してしまい、1 年後は透さなくなってしまう。一方、不純物の混在する場合の透水状況は、図 13 より、ガラスを含んだ場合、1 日目では、 8×10^{-3} cm/sec とコンクリート廃材のみよりも透水性がいいという結果が得られた。しかし、木片やプラスチックを含む場合は、透水性が悪くなる。日数が 30 日目となると、ガラスや木片を含む場合で 2×10^{-3} cm/sec、プラスチックを含む場合で 0.2×10^{-3} cm/sec と 1 日目の半分以下となっている。さらに、日数が増すにつれ、透水量は減少し、1 年経つと、ほとんど透水性がなくなるという結果が得られた。この原因

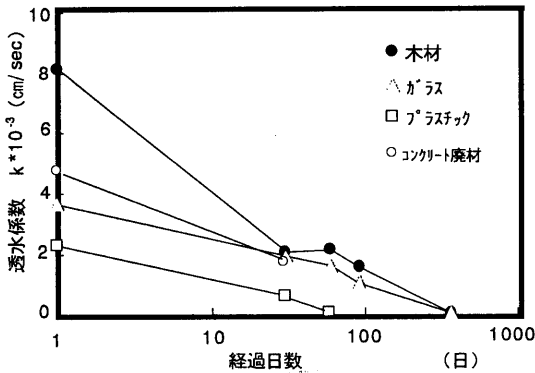


図13 透水試験結果

は、現段階では不明であるが、通水を始めて1ヶ月過ぎると白濁色の沈殿物が目視で確認され、1年後は粒子間にも存在しているのが確認できた。このことから、地下水位の高い地盤にコンクリート廃材を利用する場合には、この透水性の悪くなる現象を十分考慮する必要があると思われる。

5. セメントモルタルの骨材として使用した場合

コンクリート廃材は埋め戻し土や裏込め土には比較的早くから使用されていたが、地盤安定処理材としてはほとんど使用されていない。本研究では、セメントが安定処理に一般に利用されていることから、将来、地盤安定処理を考える上での初期段階として、セメントとコンクリート廃材との関係を調べる手段として、セメントモルタルへコンクリート廃材を適用した場合について検討を試みた。B中間処理場より採取した無筋コンクリートを、クラッシャーにて破碎した後、0.42~0.075 mmの大きさに粒度調整したものを再生砂とし、JIS R 5201に準じたセメントの物理試験方法による強度試験を行った。本研究では、再生砂としてコンクリート廃材を用いたときの影響の有無を調査するため、曲げ強度と圧縮強度のみによる比較検討を行った。

(1) フロー試験

セメントモルタルの流動性を調べるため、再生砂を用いた場合のフロー試験を行った。なお、通常のセメントモルタルを比較するため、豊浦標準砂を使用した場合の実験を同時に行った。その結果を図14に示している。図14より、通常のセメントモルタルでは、水セメント比が50%でフロー値が13 cm、65%で19.5 cmと水セメント比が増加するにつれて、フロー値が増加し、その増加率は

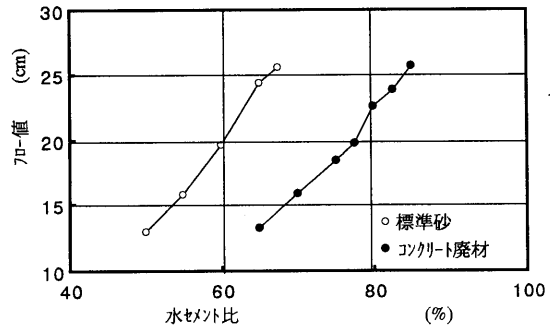


図14 フロー値

ほぼ一定である。同様に、再生砂を使用した場合も、水セメント比が増加するにつれて、フロー値が増加し、その増加率も通常のセメントモルタルの場合と一致することがわかる。しかし、同一フロー値でそれぞれを比較すると、再生砂を使用したセメントモルタルのほうが、通常のものよりも18%ほど水セメント比が大きくなる。即ち、再生砂を使用した方が多く水を必要とすることになった。この原因として、表1に示すように、コンクリート廃材の再生砂そのものが通常の骨材に比べて、吸水率の大きいことが影響していると考えられる。

(2) 強度試験

フロー試験結果をもとに、再生砂を使用した場合の曲げ試験用供試体を同一条件で3本ずつ作成した。水セメント比は15 cm、20 cmおよび25 cmのフロー値に対応する70、77、84%の3種類とし、水中養生日数を成形後1日、3日、7日、14日、28日、60日、90日、180日、360日とした。一般に、品質管理上、材令28日強度を基準とされているが、これらのコンクリート廃材を用いたときの耐久性を考慮した場合、必要と思われるので、材令1年までの強度を調べた。圧縮試験は、曲げ試験終了後の供試体の折片計6つについて実験を行った。なお、比較のため標準砂を使用した通常の曲げ試験用供試体も作成し、同様の実験を行った。そのときの水セメント比は15 cmと25 cmのフロー値に対応する55、65%とした。図15~19に曲げ試験結果を示し、図20~24に圧縮試験結果をそれぞれ示している。図15より、標準砂を骨材とした場合の曲げ強度は、水セメント比が55%のときで、養生日数の増加に伴い、曲げ強度は大きくなり、180日で最大値 8.1×10^3 kN/m²となるが、養生日数1年でやや減少し、 7×10^3 kN/m²となっている。水分量が多くなっても、この傾向は変わらず、図16より、水セメント比が65%のときでも、同様の曲げ強度の大きさを示してい

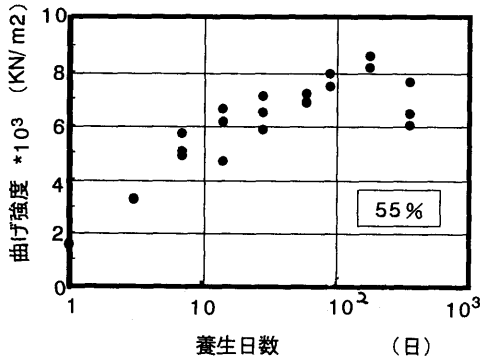


図15 曲げ強度 (標準砂)

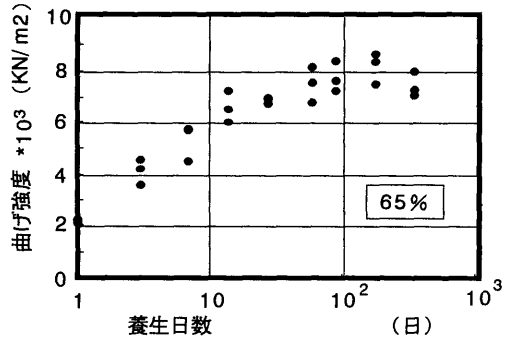


図16 曲げ強度 (標準砂)

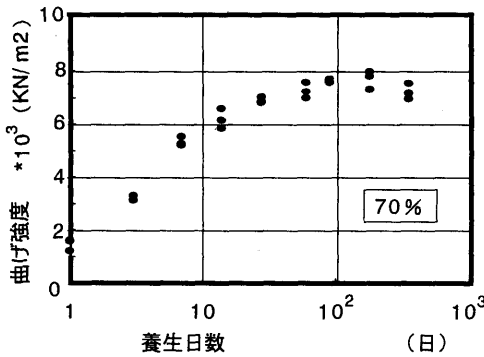


図17 曲げ強度 (コンクリート廃材)

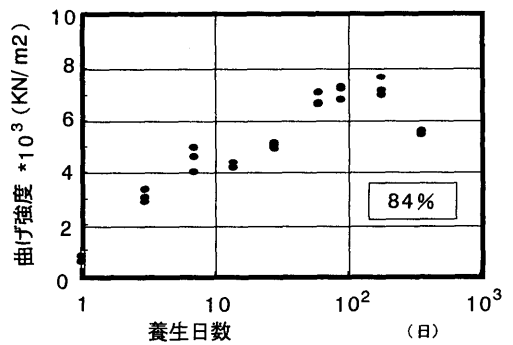


図18 曲げ強度 (コンクリート廃材)

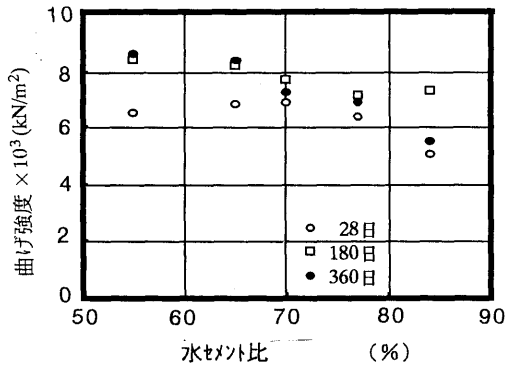


図19 水セメント比と曲げ強度との関係

る。一方、再生砂を用いた場合の曲げ強度は、水セメント比が70%のとき、図17より、養生日数が180日まで増加し、最大値 $7.7 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ となっているが、1年経つと、僅かではあるが減少し、 $7.5 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ を示している。さらに、水分量が増加すると、図18より、水セメント比が84%のときは、28日強度までは水セメント比

70%の場合とほとんど同じ増加傾向を示しているが、180日で最大値 $7 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ を示し、360日経つと $5.5 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ と減少することがわかる。ここで、それぞれの水セメント比に対する曲げ強度との関係を図示すると、図19の如くなる。なお、この図に示す曲げ強度は平均値で表示している。この図より、豊浦標準砂を用いた場合、どの水セメント比でも養生日数180日と360日とでは、曲げ強度はほとんど変わらず、 $8.2 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ を示しているが、コンクリート廃材を使用した場合、どの水セメント比でも養生日数180日の曲げ強度がそれぞれ最大値を示しており、特に、水の多くなった場合、養生日数が360日経つと、2割近く減少することがわかる。ここで、コンクリート舗装板の基準曲げ強度は、 4410 kN/m^2 以上となっているので、これらのコンクリート廃材を再生骨材としても用いても、基準曲げ強度以上の強度を持つと判断できる。次に圧縮強度について検討すると、標準砂を骨材とした場合、図20より、水セメント比が55%のときで、養生日数が90日までは圧縮強度は増加しており、最大値 $4.8 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ となっており、こ

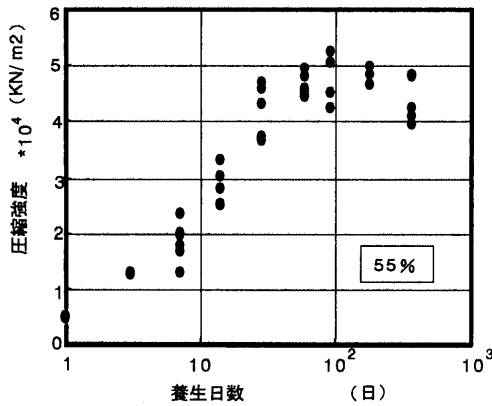


図20 圧縮強度 (標準砂)

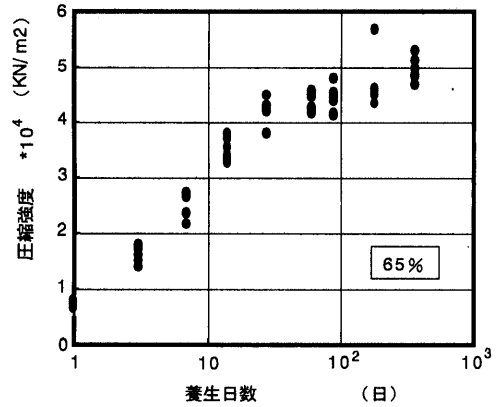


図21 圧縮強度 (標準砂)

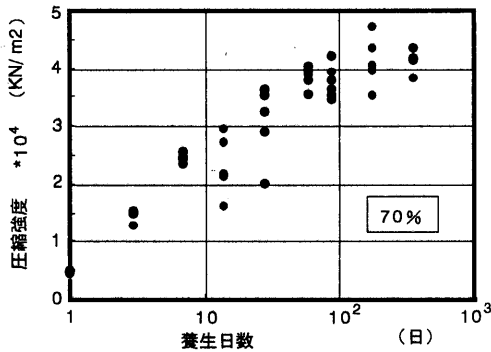


図22 圧縮強度 (コンクリート廃材)

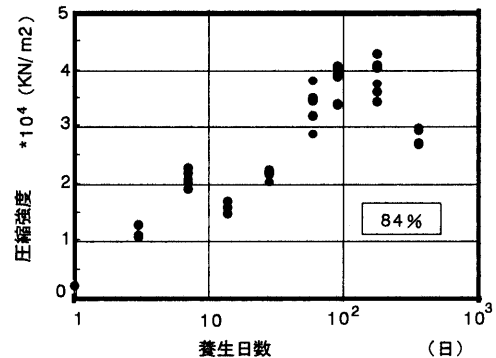


図23 圧縮強度 (コンクリート廃材)

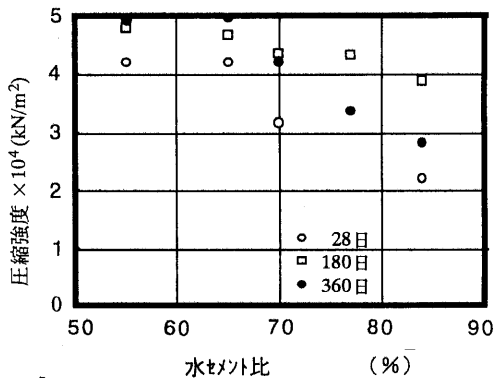


図24 水セメント比と圧縮強度との関係

の強度がその後も持続されているが、養生日数360日では、やや小さく $4.5 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ を示している。水分量が増加すると、図21より、水セメント比が65%では、養生日数180日までは55%のときとほとんど変わらない傾向を示している。また、養生日数が360日になっても、

圧縮強度は減少せず、 $5 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ を維持しているのが確認できる。さらに、再生砂を用いた場合の圧縮強度は、含まれる水分量によって、増加傾向が少しづつ異なる。図22より、水セメント比が70%の場合、養生日数の増加に伴い、圧縮強度は増加し、180日で $4.2 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ となり、その後360日まではほぼ同一強度を保っている。ここで、ほぼ同一フロー値である標準砂を用いた場合のセメントモルタルの圧縮強度 (図20参照) と比較すると、圧縮強度の養生日数に対する増加傾向は変わらないが、再生砂を用いた方の最大圧縮強度が、標準砂を用いた方の値の約8割程度になっている。図23より、さらに水分量が増加し、水セメント比が84%となると、最大圧縮強度は養生日数180日で $4.0 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ 近い値を示すが、360日経つと圧縮強度が $3.0 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ 以下まで低下する傾向を示している。ここで、各水セメント比に対する圧縮強度との関係を図24に示している。なお、このときの圧縮強度は平均値を表示している。この図より、豊浦標準砂を使用した場合は、どの水セメント比で

も、養生日数360日のときの強度が最大強度を示し、その大きさは、ほぼ $4.9 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ である。一方、コンクリート廃材を使用した場合は、どの水セメント比でも、養生日数180のときの圧縮強度が最大値を示し、360日経つと強度減少を示し、その減少率は水が多くなるほど、大きくなることわかる。通常セメントの圧縮強度は $2.94 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$ 以上と定められているので、これに照らし合わせてみると、ここで試験した再生砂を含んだセメントモルタルは、一応基準値を満たしていると判断できるが、水分量の多いものについては、材令360日では、最大圧縮強度の約75%まで強度低下が生じることから、1年以上の長期耐久性についてさらに調べる必要があると思われる。

6. 結 論

上記の観察および実験より、中間処理場におけるコンクリート廃材の現状および基本的性質や不純物が混在した場合の材料特性を知ることができた。主な結果をまとめると次のようになる。

(1) コンクリート廃材を中間処理場にて採取する場合、コンクリート廃材のみを無垢のまま採取することは大変難しく、分別方法によっては、多数の木材、プラスチック、紙類、ボード等の不純物が混在したままである。

(2) コンクリート廃材の比重は2.3~2.6、吸水率は5.5~16.0であり、また、粒子破碎し易く、現在の基準では、そのまま再生骨材として使用できないものもある。

(3) コンクリート廃材の内部摩擦角は、 46° 以上あり、また、修正CBRも25程度の強さを持つものもあり、下層路盤への適用も考えられる。

(4) コンクリート廃材の透水性は、初期の段階では十分あるが、1カ月以上経つと悪くなる傾向がある。また、不純物を含むと透水性はさらに悪化する。

(5) コンクリート廃材の中に不純物を15%ほど含んでも、せん断強度には影響が少ないと判断できる。一方、突き固めによる締め固めを必要とする施工においては、ガラスのような不純物の存在による影響を十分考慮する必要がある。

(6) セメントモルタルの骨材としてコンクリート廃材を使用した場合、同一フロー値で比較すると、再生骨材を用いた方が豊浦標準砂を用いる場合よりも、18%ほど水分が多くなる。また、長期耐久性を考えた場合、コンクリート廃材を使用しても圧縮強度の基準値を越えるものが多いが、材令180日以上経つと、明らかに最大圧縮

強度の10~20%の強度低下が生じるものもでてきており、水分が多くなると、その傾向が顕著に表れることがわかった。

謝辞 本論文をとりまとめるにあたり、早稲田大学理工学部 赤木寛一教授より有益なご助言をいただいた。試料の採取、調査、実験に際して、大空グループの方々、本大学の卒業生諸君にご協力を得た。また、この研究の一部は、平成5年度文部省科学研究費補助金一般研究C課題番号05805042の交付を受けた。ここに付記して、感謝の意を表します。

(原稿受付 平成8年9月30日)

参 考 文 献

- 1) 西堀忠信, 野田口耕一, 畑実: コンクリート廃材から再生産された骨材を使用したコンクリートの性状, 土木学会第37回年次学術講演会, V部門, pp. 155~156, 1982.
- 2) 川村満紀, 竹本邦夫, 加場重正: 道路舗装コンクリート破碎骨材を使用したコンクリートの諸性質, 土木学会第37回年次学術講演会, V部門, pp. 157~158, 1982.
- 3) 柳田力, 小林茂敏, 河田博之, 野田口耕一: 再生骨材の品質改良が再生骨材コンクリートに及ぼす効果, 土木学会第38回年次学術講演会, V部門, pp. 167~168, 1983.
- 4) 西林新蔵, 矢村潔, 林昭富: コンクリート破碎物の再利用に関する研究, 土木学会第38回年次学術講演会, V部門, pp. 169~170, 1983.
- 5) 河野清, 栗阪原史朗, 阿部真仁, 楠原茂美: 産業廃棄物の混合使用に関する検討, 土木学会第41回年次学術講演会, V部門, pp. 461~462, 1986.
- 6) 森田典司, 加藤清志, 丸山保: 再生骨材コンクリート諸物性に関する実験研究, 土木学会第44回年次学術講演会, V部門, pp. 168~169, 1989.
- 7) 神山行男, 山本雄一: 再生骨材コンクリートの実用化に関する基礎的研究, 土木学会第46回年次学術講演会, V部門, pp. 560~561, 1991.
- 8) 江本幸雄, 大和竹史, 添田政司: 再生骨材の品質および再生骨材コンクリートの性状に関する研究, 土木学会第46回年次学術講演会, V部門, pp. 562~563, 1991.
- 9) 神山行男, 後藤太一, 樋口克己: 再生骨材を用いたコンクリートの耐久性に関する1, 2の実験, 土木学会第47回年次学術講演会, V部門, pp. 860~861, 1992.
- 10) 西村一博, 満木泰郎, 平田統一郎, 松原秀明: 再生骨材を用いたコンクリートに関する一実験, 土木学会第48回年次学術講演会, V部門, pp. 468~469, 1993.
- 11) 増子隆行, 高田泰昇, 熊谷実, 平井渉: 再生骨材

- を使用したコンクリートの強度と耐久性に関する一実験, 土木学会第49回年次学術講演会, V部門, pp. 470~471, 1994.
- 12) 建設省建設経済局, 建設副産物対策研究会: 建設副産物対策の実務と事例, pp. 422~423, 1992.
- 13) 先端建設技術センター: 建設副産物適正処理推進要綱, 1993.
- 14) NTS: 建設副産物・廃棄物の処理と再利用—講演録一, 1994.
- 15) 本多淳裕, 山田優: 建設副産物・廃棄物のリサイクル, 省エネルギーセンター, 1994.
- 16) 土木学会: コンクリート標準示方書解説, 1986.