

# 論文 解体コンクリート塊を全量使用した再生コンクリートの諸特性

廣中哲也\*1・東 邦和\*1・松田敦夫\*1

**要旨：**解体コンクリート塊の品質が破碎粒度および解体コンクリート塊の破碎物を全量そのまま骨材として用いる再生コンクリートの諸特性に与える影響について検討した。その結果、解体コンクリート塊の強度、最大骨材寸法、不純物の混入および含水率等の各種要因と再生コンクリートの諸特性（スランプ、圧縮強度、乾燥収縮）の関係を明らかにした。また、実規模製造実験を実施し、実機製造による再生コンクリートの基本物性と良好な施工性を確認した。

**キーワード：**再生コンクリート, コンクリート塊, 粉体高性能減水剤, 粒度分布, 乾燥収縮

## 1. はじめに

コンクリート塊のリサイクルについては、長年様々な機関で精力的に研究開発が行われてきているが、破碎したコンクリートのほとんどが道路の路盤材や埋め戻し材に再利用されているのが現状である。今後のコンクリート塊の発生増加および処分地不足の観点からその有効利用が望まれている。

コンクリートのリサイクルの普及を考える場合、なるべく低処理で行うこと、新たな廃棄物を出さないように生じた全ての材料を使用することが重要である。そこで、筆者らは解体コンクリート塊を簡易な破碎機で破碎した破碎物を特殊な処理を施すことなく、全量をそのままコンクリートの骨材に用いることを試みた。その結果、同一の破碎機で破碎した解体コンクリート塊破碎物の粒度はほぼ一定の分布を示し、この破碎物を全量使用した再生コンクリートは、水セメント比とコンクリート塊破碎物の単位容積を変化させることでワーカブルで良好な強度発現性が得られることを述べている。<sup>1)</sup>

本研究では、室内試験により解体コンクリート塊の各種品質変動がその破碎物の粒度分布および再生コンクリートの諸特性に与える影響について検討を行った。また、実規模製造実験に

より実機製造による再生コンクリートの基本物性を確認すると共に、均しコンクリートおよび二次製品用鋼製型枠への打込みを実施した。

## 2. 室内試験

### 2. 1 コンクリート塊の品質と破碎方法

表-1にコンクリート塊の品質と種類を示す。破碎方法は、あらかじめ100mm程度に小割したコンクリート塊をジョークラッシャー（処理能力1ton/h、最大刃幅間隔20~25mm）によって破碎した。なお、最大刃幅間隔は、特に明記しない限り20mm一定とした。

表-1 コンクリート塊の品質と種類

製造区分	記号	配合データ	破碎時の強度 <sup>1)</sup>	
			材齢	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
デ・イミスト コンクリート	R35	W/C=55%, G <sub>max</sub> =20mm	2.5年	34.5
	R120	W/B=22%, G <sub>max</sub> =20mm B=低熱性マト+シリカフューム	91日	120
	R14	W/C=60%, G <sub>max</sub> =20mm	28日	13.8
	R19		91日	18.5
	R22	W/C=58.5%, G <sub>max</sub> =20mm	89日	22.4
	R25	W/C=56.5%, G <sub>max</sub> =20mm	91日	25.3
	R30	W/C=54.5%, G <sub>max</sub> =20mm	86日	30.2
R16	W/C=60%, G <sub>max</sub> =40mm	56日	15.9	
試験室	G15	W/C=55%, G <sub>max</sub> =15mm	28日	36.4
	G25	W/C=55%, G <sub>max</sub> =25mm	28日	36.2
コンクリート 二次製品	N45	W/C=41%, G <sub>max</sub> =20mm	1年	45

### 2. 2 配合の選定方法

解体コンクリート塊の破碎物を全量使用した再生コンクリートを現場で簡易な装置により製

\*1 (株)奥村組 技術研究所構造研究室 (正会員)

造可能な配合とするために、袋セメントと袋入り粉体混和剤の使用を前提とし、単位セメント量と混和剤量は投入する袋の数で決定する。

そこで、本研究では、図-1に示すようにクラッシャーと

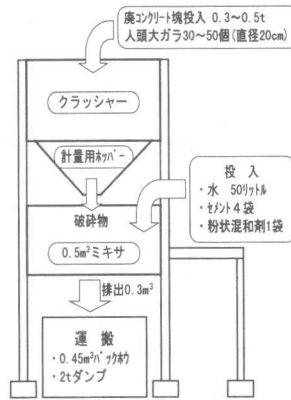


図-1 製造装置の一例

油圧ショベル、運搬用の小型ダンプを用いて、解体コンクリート塊の破砕物、水、袋セメント、袋入り粉体混和剤の一定量をミキサに投入し、1バッチ当たり 0.3m³ 程度（油圧ショベル1杯分を想定）の製造を想定する。その場合、1バッチ当たりのセメント量は 25kg の整数倍、今回使用した粉体混和剤量は 485g の整数倍となり、コンクリート中のコンクリート塊破砕物の単位容積（以下、がら容積と称す）と水セメント比を変化させて配合を選定した。

### 2.3 使用材料および配合

表-2に使用材料および配合を示す。配合は、前述した袋セメントの整数倍を基本に実機1バッチ当たりの数量で示し、その後、単位量 1m³ 当たりの数量に換算した。また、比較用普通コンクリートの配合は、単位セメント量、単位水量および単位骨材容積を再生コンクリートと同一とし、細骨材率 45% で川砂と碎石を使用した。

表-2 使用材料および配合

種類	W/C (%)	がら容積 (m³/m³)	s/a (%)	実機 1 バッチ当たりの数量 (kg)					単位量 (kg/m³)						
				水 W	セメント C	コンクリート塊破砕物	粘土	高性能減水剤 Sp	収縮低減剤 TG	W	C	コンクリート塊破砕物	粘土	Sp	TG
再生コン	55	0.65	-	55	100 (4袋)	370	-	0.485 (1袋)	なし C×1% C×2%	222	404	1495	-	1.96	なし 1% 2%
	55	0.65	-	55	100 (4袋)	352 333	5%:18 10%:37	0.485 (1袋)	-	222	404	1420 1346	75 149	1.96	-
普通コン	55	単位骨材容積 0.65	45	-	-	-	-	-	-	222	404	細骨材 673 粗骨材 822	-	-	-

【使用材料】  
 セメント：普通ホトランドセメント袋入り (25kg/袋)、比重 3.16 (T社製)  
 コンクリート塊破砕物：表-1のコンクリート塊をジョークラッシャーにより破砕したもの、比重は全て 2.3 で換算  
 細骨材：鬼怒川産川砂、比重 2.59、吸水率 2.64%、粗粒率 2.01  
 粗骨材：新治産碎石、比重 2.70、粗粒率 6.55  
 混和剤：高性能減水剤(粉体)、ポリスチレン系硫酸化合物、7リリ解砕紙プレバケツ型 485g/袋 (L社製)  
 収縮低減剤、アルキレンオキシド付加物、比重 1.02 (T社製)  
 粘土：木節粘土、比重 2.50

室内試験の練混ぜには、容量 50 リットルの強制練りパン型ミキサを使用し、セメント、コンクリート塊破砕物、粉体高性能減水剤を 30 秒間空練りした後、水を投入して 90 秒間練混ぜた。なお、コンクリート塊破砕物は 1 バッチ毎に破砕し、練混ぜに用いた。

### 2.4 実験要因

表-3に実験要因と水準を示す。

なお、各実験要因毎に、同一のコンクリート塊を用いることを原則とした。

### 2.5 実験結果および考察

#### (1) コンクリート塊の破砕粒度

図-2にジョークラッシャーを用いた場合のコンクリート塊の圧縮強度と粒度分布の関係を示す。圧縮強度 13.8~45N/mm² のコンクリート塊を用いた場合の破砕物の粒度は、ほぼ同様の分布を示した。圧縮強度 120N/mm² のコンクリート塊を用いた場合の粒度分布は、圧縮強度 13.8~45N/mm² の範囲に比べて 10mm 以下の粒径が少ないことが分かる。

表-3 実験要因と水準

実験要因	水準	コンクリート塊の種類
コンクリート塊の圧縮強度 (N/mm²)	13.8, 15.9, 18.5, 22.4, 25.3, 36.2, 45, 120	R14, R16, R19 R22, R25, G25 N45, R120
ジョークラッシャーの刃留間隔	10~20mm, 15~25mm	R14, R18, R22 R35, R25, R30
コンクリート塊の最大骨材寸法	15mm, 25mm, 40mm	G15, G25, R16
コンクリート塊への粘土混入	破砕物の内割 5%, 10%	N45
コンクリート塊の含水率	コンクリート塊の水中静置時間 1.5 時間、24 時間	R22
収縮低減剤量	セメント量の外割 1%, 2%	R120, R35, N45

図-3にジョークラッシャーを用いた場合のコンクリート塊の最大骨材寸法と粒度分布の関係を示す。今回のコンクリート塊の最大骨材寸法の範囲(15mm, 25mm, 40mm)では、破砕物の粒度分布に明らかな傾向は見られなかった。

(2) 各種要因が再生コンクリートに及ぼす影響

図-4にコンクリート塊の圧縮強度の影響を示す。レディーミクストコンクリート、コンクリート二次製品および試験室製造による材齢28日~1年、圧縮強度13.8~120N/mm<sup>2</sup>の様々なコンクリート塊の破砕物を用いて全て同一配合の再生コンクリートを製造した。コンクリート塊の圧縮強度の増加により再生コンクリートの圧縮強度も増加傾向にあり、今回使用したコンクリート塊の範囲と再生コンクリートの配合において、26N/mm<sup>2</sup>以上の材齢28日強度が得られた。また、圧縮強度20N/mm<sup>2</sup>以上のコンクリート塊を用いた再生コンクリートの中には、単位セメント量、単位水量および単位骨材容積を同一にした普通コンクリートと同等以上の圧縮強度が得られるケースも見られた。

再生コンクリートのスランプとコンクリート塊の圧縮強度との間に顕著な関係は認められなかったが、同一の再生コンクリート配合で同一のコンクリート塊を用いたスランプが6~17cmの範囲に分布している。これは、コンクリート塊の破砕条件や含水状態に起因しているものと考えられる。

図-5にコンクリート塊の最大骨材寸法の影響を示す。表-1に示すようにコンクリート塊は同一配合ではないが、コンクリート塊の最大骨材寸法が15mmから40mmへと大きくなるにしたがって、スランプは3cm小さくなり、圧縮強度は1割程度増加している。

図-6にコンクリート塊に粘土が混入した場合の影響を示す。材齢1年、圧縮強度45N/mm<sup>2</sup>のコンクリート塊の破砕物を用い、同一配合で粉末粘土を破砕物の内割りで10%まで混入した。粘土10%の混入により圧縮強度は10%減少して31.4N/mm<sup>2</sup>となっている。しかし、スランプ

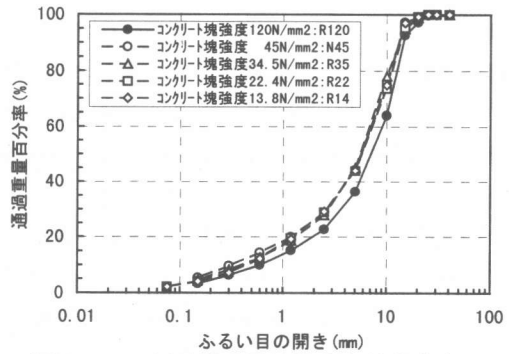


図-2 コンクリート塊の圧縮強度と粒度分布

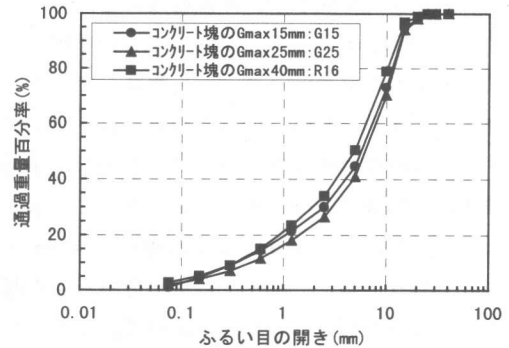


図-3 コンクリート塊の最大骨材寸法と粒度分布

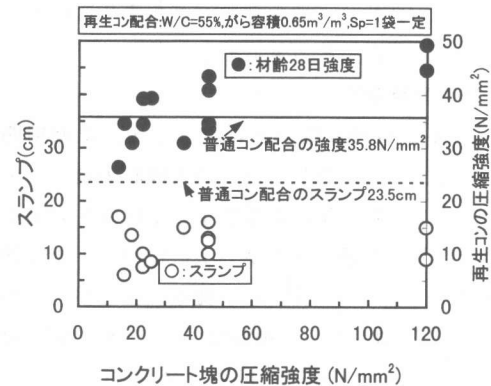


図-4 コンクリート塊の圧縮強度の影響

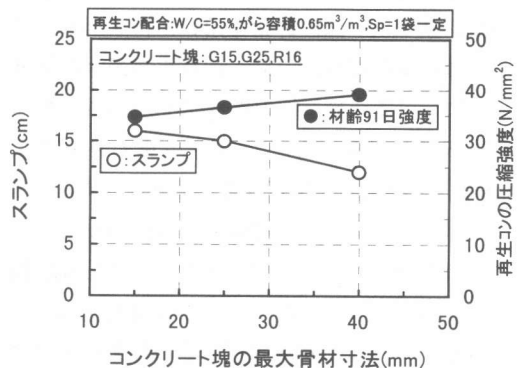


図-5 コンクリート塊の最大骨材寸法の影響

は10cm以上低下し2cmとなった。したがって、再生コンクリートの品質、特にスランブを確保するためには、コンクリート塊に5%以上の粘土等の不純物が混入しないように注意する必要がある。

図-7にコンクリート塊の含水率の影響を示す。コンクリート塊の破砕物にレディーミクストコンクリートの材齢89日、圧縮強度 $22.4\text{N/mm}^2$ のコンクリート塊をそのまま破砕したもの、1.5時間水中に静置後破砕したものおよび24時間水中に静置後破砕したものをを用い、同一配合の再生コンクリートを製造した。コンクリート塊の24時間の水中静置によりコンクリート塊破砕物の含水率は1.5%増加し、圧縮強度は10%減少して $30.8\text{N/mm}^2$ となっている。しかし、スランブは9cm以上増加して19cmとなっており、場合によっては材料分離を引き起こすことが予想される。したがって、安定した再生コンクリートのスランブを確保するためには、コンクリート塊の含水率があまり変動しないように注意する必要がある。

### (3) 乾燥収縮

図-8に乾燥収縮試験結果を示す。乾燥期間6ヶ月で再生コンクリートの乾燥収縮量は、単位セメント量、単位水量および単位骨材容積を同一にした普通コンクリートに比べて、圧縮強度 $45\text{N/mm}^2$ のコンクリート塊破砕物を用いた場合で20%増加し、圧縮強度 $120\text{N/mm}^2$ の破砕物を用いた場合で9%増加している。

また、乾燥期間3ヶ月で圧縮強度 $34.5\text{N/mm}^2$ のコンクリート塊破砕物を用いた再生コンクリートの乾燥収縮量は、同一配合の普通コンクリートに比べて、無対策の場合で17%大きくなるが、収縮低減剤を単位セメント量の外割りで1%使用した場合でほぼ同等の値となった。

なお、コンクリート塊破砕物の内割りで5%の粘土を使用した再生コンクリートの乾燥収縮は、普通コンクリートの1.6倍程度とかなり大きな値を示しており、収縮ひび割れ発生の大きな要因となるものと考えられる。

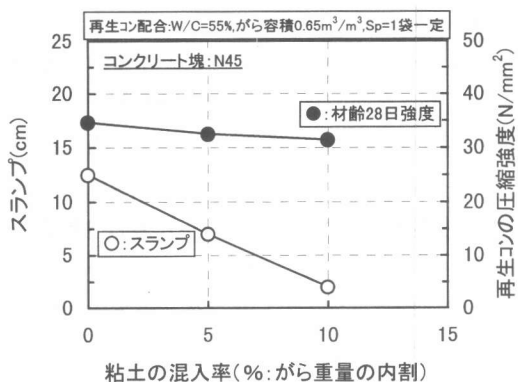


図-6 粘土混入の影響

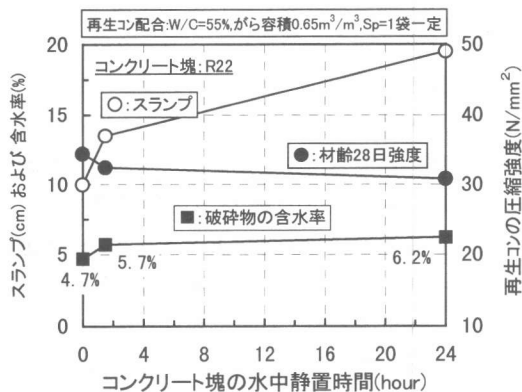


図-7 コンクリート塊の含水率の影響

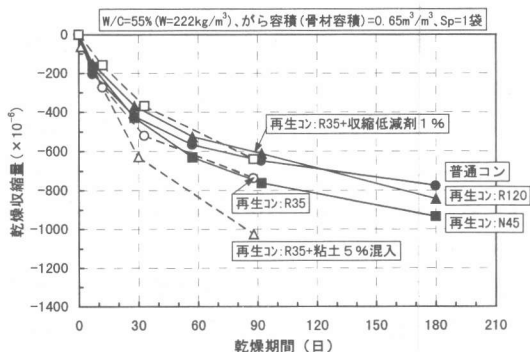


図-8 乾燥収縮試験結果

## 3. 実規模製造実験

### 3.1 実験概要

実規模レベルの製造実験を行い、コンクリート塊の破砕物を全量使用した再生コンクリートの基本物性および施工性を確認した。

表-4に今回使用した再生コンクリート製造装置の仕様、図-9に製造手順を示す。練混ぜは、現場で簡易な装置により製造可能な配合と

するために、袋セメント 4 袋(100kg)当たりのコンクリート塊破砕物、練混ぜ水、粉体混和剤 1 袋と袋セメント 4 袋を投入後、空練りなしで 90 秒間練混ぜ、1 バッチ当たり約 0.25m<sup>3</sup>を製造した。なお、コンクリート塊破砕物は 1 バッチ毎に破砕した。

表-4 製造装置の仕様

種類	仕様
ミキサー	0.5m <sup>3</sup> 強制練りバタン型ミキサー
破砕機	車載式 4 軸ロールクラッシャー：処理能力 20ton/h 最大投入塊寸法 400mm、破砕粒度分布 0~35mm
その他	軽ダンプ 1台、7m リブ付きベルトコンベア 2台

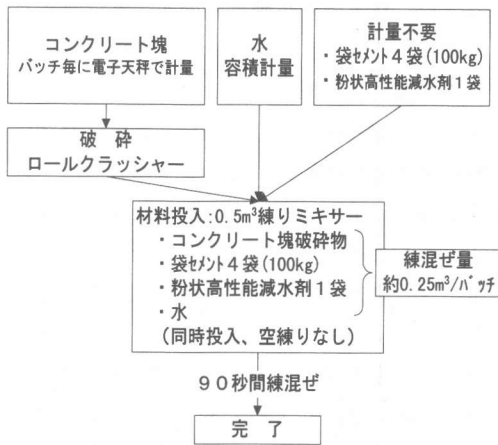


図-9 製造手順

表-5 に使用材料、表-6 に再生コンクリートの配合例を示す。配合は、水セメント比で 42.5~55.0%，コンクリート塊破砕物の単位容積で 0.71~0.63m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>の範囲で変化させた。

表-5 使用材料

種類	基本物性
セメント	普通ポルトランドセメント袋入り (25kg/袋)、比重 3.16 (T社製)
解砕コンクリート塊破砕物	廃棄物処理業者より無作為に 2 回搬入した無筋コンクリート配合不明
混和剤	粉状高性能減水剤 II、ポリスリノール酸化合物 7リブ角形繊維バタン型 350g/袋 (L社製)

表-6 配合例

W/C (%)	がら容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	実機 1 バッチ当たりの数量 (kg)			単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
		水 W	セメント C	コンクリート塊破砕物	高性能減水剤 Sp	W	C	コンクリート塊破砕物	Sp
42.5	0.71	42.5	100 (4袋)	408	0.350	169	398	1622	1.39
55.0	0.63	55.0	100 (4袋)	332	0.350	238	433	1438	1.51

### 3. 2 実験結果および考察

#### (1) コンクリート塊の破砕粒度

図-10 にロールクラッシャーによるコンクリート塊の破砕粒度を示す。無作為に 2 回搬入した実際のコンクリート廃材の破砕粒度は、ほぼ一定の分布を示し、5mm 以下の破砕物は 30% であった。

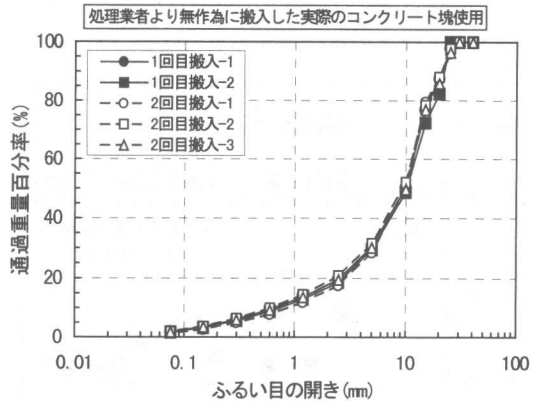


図-10 コンクリート塊の破砕粒度

#### (2) 再生コンクリートの基本物性

図-11 に実機製造による空気量とスランプの全データを示す。無作為に搬入した実際のコンクリート廃材の破砕物を用いて、水セメント比を 42.5~55.0%，がら容積を 0.71~0.63m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>の範囲で変化させた再生コンクリートは、2.1~5.4%の空気量と 4.5~18.5cm のスランプを示した。特に、5.0~15.0cm のスランプでは、材料分離もなく、ワーカブルな再生コンクリートが得られた。

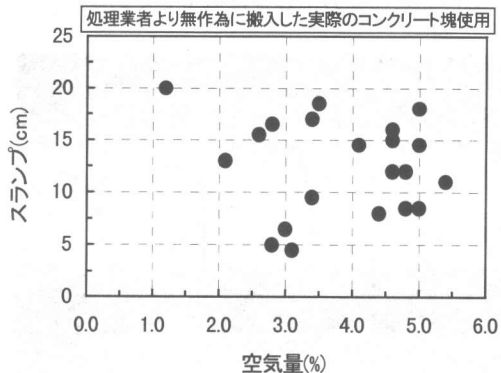


図-11 実機製造の空気量とスランプ

図-12 に実機製造による再生コンクリートの標準養生試験体とコア試験体の圧縮強度の全データを示す。コア試験体は、屋外の均しコンクリートヤードに打ち込んだ再生コンクリートより所定材齢の1～3日前に採取し、採取後は現場密封養生とした。無作為に搬入した実際のコンクリート廃材の破砕物を用いた今回の配合範囲で28～38N/mm<sup>2</sup>の圧縮強度が得られた。また、標準養生試験体の圧縮強度の平均は33.5N/mm<sup>2</sup>、コア試験体の平均は32.7N/mm<sup>2</sup>となり、ほぼ同等の値を示すことが確認できた。

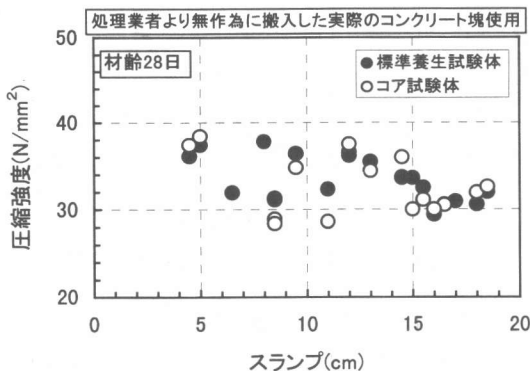


図-12 標準養生試験体とコア試験体の圧縮強度

### (3) 再生コンクリートの施工性および出来形

写真-1 に張りブロックの外観を示す。張りブロック用鋼製型枠への打込み作業は、簡易な棒状振動締め機により可能であり、表面仕上げ作業も容易に行うことができた。また、張りブロックの外観には未充填部分は見られず良好なものであり、2ヶ月経過した屋外暴露試験体にもひび割れ等の不具合は発生していない。

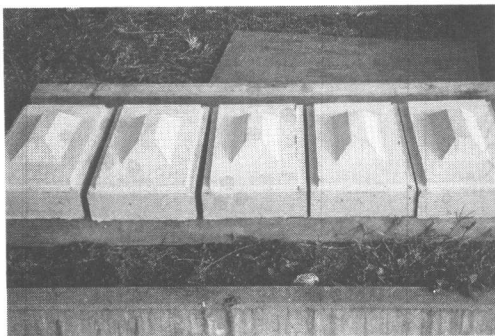


写真-1 張りブロックの外観

## 4. まとめ

本研究において得られた結果を以下に示す。

- 1) 再生コンクリートの圧縮強度は、材齢28日で26N/mm<sup>2</sup>以上の値を示し、場合によっては、同一配合の普通コンクリートと同等以上の圧縮強度が得られた。
- 2) 安定した再生コンクリートのスランプを確保するためには、コンクリート塊の含水率の変動に注意する必要がある。また、コンクリート塊への粘土の混入は、再生コンクリートのスランプおよび乾燥収縮に大きな影響を与えるため、粘土等の不純物の混入にも注意する必要がある。
- 3) 乾燥収縮は同一配合の普通コンクリートに比べて、2割程度大きくなるが、収縮低減剤の使用によりほぼ同等の値となった。
- 4) 実規模製造実験では、廃棄物処理業者より搬入した配合不明の無筋コンクリート塊を用いて、ワーカブルで良好な強度を有する再生コンクリートの製造が確認できた。
- 5) 打込み作業および表面仕上げ作業を容易に行うことができた。また、張りブロックの出来形には未充填部分は見られず良好な施工性を確認した。

## 5. おわりに

コンクリート塊の破砕物を全量使用した再生コンクリートの現場適用性を検討するために、耐久性試験（促進中性化、凍結融解）を実施中であり、機会があればその結果についても報告したい。なお、本研究の一部は、(社)近畿建設協会助成金により実施した。

## 参考文献

- 1) 松田敦夫, 東 邦和, 廣中哲也: 解体コンクリート塊を全量使用した再生コンクリートの基本特性, 第54回セメント技術大会講演要旨, 2000.5