

災害廃棄物を用いたブロック製品

川 西 貴 士 竹 田 宣 典
田 島 孝 敏 浜 井 邦 彦
(本社土木本部)

Block Products using Wreckage

Takashi Kawanishi Nobufumi Takeda
Takatosi Tajima Kunihiko Hamai

Abstract

A great deal of wreckage was generated by the Great East Japan Earthquake. The applicability of block products using wreckage was examined, with particular attention being paid to their use as an alternative material to concrete aggregate. The fundamental quality of blocks manufactured by mixing wreckage with the mortar which adjusted mix proportion, and giving vibration and pressure was investigated. The result clearly showed that block products that can control elution of heavy metal and carry out immediate removal of forms can be manufactured, although variation occurs according to the wreckage density.

概 要

東日本大震災により発生した大量の災害廃棄物の有効な利用方法として、コンクリートの骨材代替としての使用に着目し、災害廃棄物を用いたブロック製品の適用性について検討した。配合を調整したモルタルと災害廃棄物を所定量混合し、振動および加圧させながら成形する方法により製造したブロックの基礎的性状を調べた。その結果、災害廃棄物の密度によってばらつきは認められるものの、即脱可能で有害物質の溶出を抑制可能なブロック製品が製造できることを確認した。

1. はじめに

東日本大震災により発生した災害廃棄物(以下、がれきと呼称)は、2,700万tにもおよび、その処理方法が問題となっている¹⁾。木材、金属くず、家電などリサイクル可能ながれきは、選別・収集して再利用できるが、選別が困難ながれき(以下、がれき残渣と呼称)は、焼却したり埋め立てることで廃棄物として処分することとなる。これらの選別が困難ながれき残渣を有効に活用することができれば、有価な資材として、被災地の復興に役立つものと思われる。

その一つの方法として、がれき残渣をコンクリートの粗骨材の代替材料として利用することを考案した。がれき残渣の中には、木材や布切れなど剛性の小さい廃棄物が含まれていたり、海水を含んでいるため、比較的強度の小さい無筋のコンクリートブロック製品への適用を対象とした。

がれき残渣をブロック製品として利用する場合、がれき残渣に含まれる有害物質が溶出しないこと、密実に充てんできること、ブロック製品として必要な所要の圧縮強度を有することなどのチェックが必要となる。そこで、本稿では、がれき残渣を用いたブロック(以下、がれき固化体と呼称)の基礎的物性について、平成23年7月～11月にかけて実施した実験の結果について報告する。

2. ブロック製品の製造方法

がれき残渣を用いたブロック製品の製造方法として、いくつかの方法が考えられる。第一の方法として、一般のコンクリートと同じように、ミキサにて練り混ぜた後、型枠に流し込み、締固めを行うことにより製造することが考えられる。しかし、流動性を確保するために単位水量および単位セメント量が増加する傾向にある。できるだけ多量のがれき残渣を利用する観点から、モルタル容積を低減し、がれき残渣の充てん率を増加できる手法が望まれる。

第二の方法としては、がれき残渣をあらかじめ型枠内に詰めておき、注入モルタルを充てんするプレパックド方式が考えられる。これまでに、コンクリートがらを用いたプレパックドコンクリートの研究を進めてきた²⁾が、密実に充てんするために粒径は10mm以上で検討している。また、土木学会コンクリート標準示方書では、プレパックドコンクリートの粗骨材の最小寸法は15mm以上とする旨記載されている。がれき残渣の中には、細粒分も含まれており、密実に充てんされない可能性がある。

そこで、がれき残渣の充てん率を高めつつ、密実なブロックを製造することと、大量に製造することを想定して、がれき残渣とモルタルを混合し、振動を作用しながら加圧する方法³⁾に主眼を置いて検討した。

3. がれき固化体の基礎物性の検討

3.1 がれき残渣の物性

実験に用いたがれき残渣は、多種の物質が混合されており、リサイクルが困難なものを対象とし、仙台市より入手した。トロンメルにて粒径25mm以上に分級されていたが、大きいものは10cm以上の材料が混合されており、粒径40mm以下に1次粉砕したのがれき残渣についても検討した。実験に使用したのがれき残渣をPhoto 1に示す。

がれき残渣のふるい分けを行い、Fig. 1に示すとおり、粒度分布を測定した。1次粉砕したのがれき残渣は、40mm～20mmが60%程度を占めており、5mm以下の砂のような物質が20%程度含まれていた。粒径の大きいものには、コンクリートがら、瓦片、プラスチック、陶器、木片など、小さいものには、木片や礫、砂などが含まれていた。

がれき残渣の密度をJIS A 1110に準拠し、水中の見掛けの質量を測定することにより算出した。実際にブロック製品として適用する場合、がれき残渣の水分調整は行わず、気乾状態で使用することを想定して、事前に吸水せずに測定を行った。密度の小さい木片などは浮力によって浮上するため、金属蓋をがれき残渣の上に載せて測定した。また、密度のばらつきを検討するために、1次粉砕後のがれき残渣の中から、密度の小さいがれき残渣や密度の大きいがれき残渣を人為的に拾い集め、それぞれ同様に気乾密度を測定した。

がれき残渣の気乾密度をTable 1に示す。密度の小さいものは0.66g/cm³であり、密度の大きいものは、2.39g/cm³であった。非選別のままのがれき残渣は2.11g/cm³であり、がれき残渣の密度は、含まれる材料によって大ききなばらつきを生じることが分かった。

3.2 モルタルの配合および品質

モルタルに使用した材料として、セメントには、高炉セメントB種(密度3.04g/cm³)、細骨材には陸砂(表乾密度2.62g/cm³、粗粒率2.80)、混和剤には、ポリカルボン酸系の高性能減水剤を使用した。

水セメント比を30%、40%の2種類、細骨材セメント比を0、1および2の3種類について検討した。モルタルの配合および品質をTable 2に示す。モルタルの品質として、フロー値(JIS R 5201)、ブリーディング率(JSCE-F 522)および圧縮強度(JIS A 1108)を測定した。

モルタルのフロー値は、施工性、即脱性および材料分離抵抗性を考慮して、15打で150mm～200mmを目安とした。細骨材を使用しないセメントペーストのみの配合は、W/C=30%で0.2%、W/C=40%で1.5%のブリーディングが発生した。また、混和剤を添加すると分離した。セメントペーストは、収縮量が大きく、セメントの分散性を確保するために混和剤を添加することを考えて、細骨材セメント比は2とした。圧縮強度は、細骨材セメント比が増加するほど低下した。がれき残渣の混入により圧縮強度が低下するため、水セメント比は30%とした。



1次粉砕前のがれき残渣 粒径25mm以上
1次粉砕後のがれき残渣 粒径40mm以下

Photo 1 実験に使用したのがれき残渣 Wreckage for Experiment

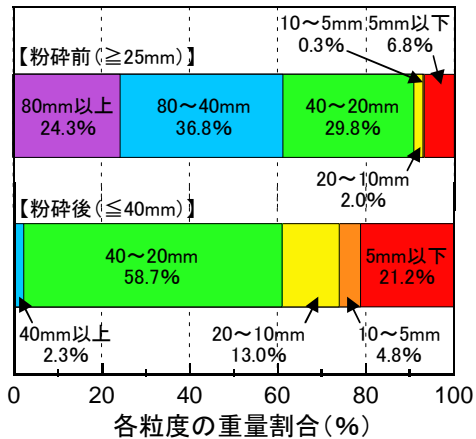


Fig. 1 がれき残渣の粒度分布 Particle-size Distribution of Wreckage

Table 1 がれき残渣の気乾密度 Density in a Air-dry State of Wreckage

がれき残渣の種類	気乾密度(g/cm ³)	含まれていた物質
がれき残渣をそのまま使用	2.11	全て使用
密度の小さいがれき残渣を選別して使用	0.66	木片、ビニールシート、布切れなど
密度の大きいがれき残渣を選別して使用	2.39	コンクリートがら、瓦片、陶器など

Table 2 モルタルの配合および品質 Mix Proportion and Quality of Mortar

水セメント比 W/C (%)	細骨材セメント比 S/C	モルタルの配合				モルタルの品質			
		単位量 (kg/m ³)			混和剤 (C×%) SP	JISフロー (mm)		ブリーディング率 (%)	圧縮強度 (材齢28日) (N/mm ²)
		水 W	セメント C	細骨材 S		0打	15打		
30	0	477	1590	—	—	105	192	0.2	87.9
	1	297	989	989	0.5	105	202	0.0	80.4
	2	216	718	1437	0.9	102	179	0.0	65.9
40	0	549	1371	—	—	163	258	1.5	79.1
	2	268	670	1340	0.5	124	222	0.0	51.1


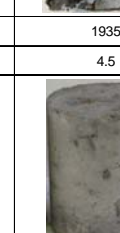
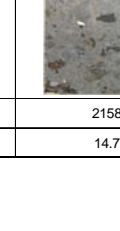
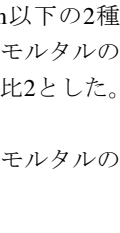



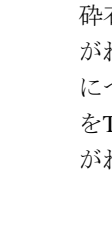
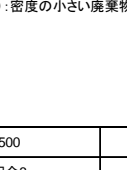

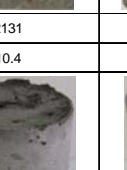





Table 3 がれき固化体の配合
Mix Proportion of Solidification Object using Wreckage

配合No.	がれき1tに対するモルタルの容積(L)	がれきの種類	水セメント比 W/C (%)	細骨材セメント比 S/C	単位量 (kg/m ³)					単位容積質量 (kg/m ³)	モルタルの容積割合 (%)	がれきの容積割合 (%)	
					水 W	セメント C	細骨材 S	災害廃棄物 G	混和剤 SP				
					W	C	S	G	SP				
配合1	300	がれき(非選別) ^{※1}	30.0	2.0	84	279	559	1289	2.51	2211	38.9	61.1	
配合2	400				99	328	657	1145	2.96	2229	45.7	54.3	
配合3	500				111	369	738	1025	3.32	2244	51.4	48.6	
配合4	600				120	401	802	932	3.61	2255	55.8	44.2	
配合5	800				135	451	901	786	4.06	2273	62.7	37.3	
配合6	600				がれき(密度大) ^{※2}	127	423	846	983	3.80	2378	58.9	41.1
配合7					がれき(密度小) ^{※2}	132	440	880	256	3.96	1707	61.2	38.8
配合8	258				碎石			87	291	582	1576	2.62	2537

※1 がれき(非選別): がれきをそのまま使用(1次粉砕前および1次粉砕後のがれきの両者)

※2 がれき(密度大): 密度の大きい廃棄物を選別したのがれき, がれき(密度小): 密度の小さい廃棄物を選別したのがれき(1次粉砕後のがれき)

Table 4 実験結果
Experimental Result

がれき残渣1tに対するモルタル容積(L)		300	400	500	600	800
配合No. ^{※1}		配合1	配合2	配合3	配合4	配合5
1次粉砕前の がれき残渣 (≧25mm)	表面の状況	—				
	切断面の状況	—				
	単位容積質量(kg/m ³)	—	1935	2131	2156	2249
	圧縮強度(N/mm ²)	—	4.5	10.4	14.4	19.2
	がれき固化体の作製状況					—
切断面の状況					—	
単位容積質量(kg/m ³)	1994	2158	2223	2220	—	
圧縮強度(N/mm ²)	7.8	14.7	22.9	22.5	—	

※1 1次粉砕前のがれき残渣と1次粉砕後のがれき残渣は、同じ配合とした。

3.3 がれき固化体の基礎物性

モルタルとがれき残渣を混合したがれき固化体の基礎物性について検討した。使用したがれき残渣は、1次粉砕前の粒径25mm以上と1次粉砕後の粒径40mm以下の2種類とした。モルタルには、3.2節の結果より、モルタルの配合は、水セメント比30%、細骨材セメント比2とした。使用材料は、3.2節と同様のものを使用した。

がれき固化体の配合として、がれき残渣とモルタルの

混合割合を変えて実験を行った。がれき固化体の配合は、がれき残渣1tに対して、モルタルの容積を300L, 400L, 500L, 600Lおよび800Lと変化させた。また、比較として、碎石(最大寸法40mm, 表乾密度2.65g/cm³), 密度の大きいがれき残渣および密度の小さいがれき残渣を用いた場合について、併せて検討した。がれき固化体の配合の一覧をTable 3に示す。1次破砕前のがれき残渣と1次破砕後のがれき残渣ともに、同一の配合とした。

がれき固化体の作製方法として、まずホバート型ミキサ(公称容量50L)を用いてモルタルの練混ぜを行った。次に、がれき残渣を強制練り2軸型ミキサ(公称容量60L)の中に投入し、その後、モルタルをミキサ内に投入し、30秒間練混ぜを行った。練り上がったモルタルと混合したがれき残渣を直径15cm×長さ30cmの鋼製型枠に詰め込み、ランマを用いて5分間振動締固めを行った。締固めにより分離した余剰のモルタルは、ランマの端部のプレートの間隙より浮上させ、排出した。養生は、20℃一定環境下での封緘養生とし、材齢7日で供試体の単位容積質量および圧縮強度(JIS A 1108)を測定した。

試験結果の一覧をTable 4に示す。1次粉碎前のがれき残渣でモルタルを500L、1次粉碎後のがれき残渣でモルタルを400L以上混合することで、空隙の少ない密実に充てんされたがれき固化体を製造できることが確認できた。なお、1次粉碎前のがれき残渣でモルタル容積300Lの配合については、密実に充てんされないこと、1次粉碎後のがれき残渣でモルタル容積800Lの配合については、密実に充てんできることが明確なので実験を割愛した。

単位容積質量の増加とともに、圧縮強度も増加する傾向が認められた。単位容積質量については、密実に充てんされた場合、2200kg/m³前後となり、概ね配合設計通りの単位容積質量となった。圧縮強度については、20N/mm²程度確保できた。

モルタルのみ、砕石を用いたコンクリートおよびがれき固化体(1次粉碎後のがれき残渣、モルタル容積600L)の圧縮強度の比較をFig. 2に示す。モルタルについては、Table 2に示す配合(W/C=30%, s/a=2)を使用し、がれき固化体については、Table 3に示す配合(砕石も含む)を使用した。材齢7日の段階で圧縮強度試験(JIS A 1108)を実施した。モルタルのみ、砕石、がれき残渣の順に圧縮強度が低下した。また、密度の小さいがれき残渣を用いた場合、非選別のがれき残渣と比較して、圧縮強度が1/3程度まで低下した。

4. 溶出の検討

4.1 実験概要

がれき残渣をコンクリートブロック製品に適用する場合、がれき残渣に含まれる有害物質の溶出状況を確認する必要がある。そこで、がれき固化体について、環境庁告示46号⁴⁾に示されている溶出試験(以下、環告46号試験と呼称)およびタンクリーチング試験⁵⁾を行い、土壤環境基準を満足するかどうか確認した。がれき残渣単体の溶出試験も併せて行った。試験概要をFig. 3に示す。

試験は、入手しがれき残渣の溶出試験で溶出が認められた六価クロム、砒素、ふっ素およびほう素の4種類と、アルカリ環境下で溶出しやすい性質のある鉛を加えた5種類の重金属について行った。試験に供したのがれき残渣は安全性の高いものであり、溶出量が土壤環境基準以下となる可能性が想定されたので、土壤環境基準の20倍程

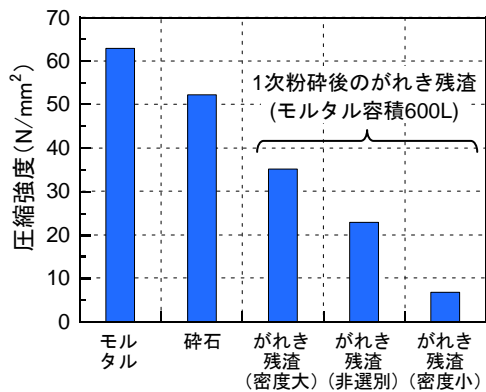


Fig. 2 各材料における圧縮強度の比較
Comparison of Compressive Strength

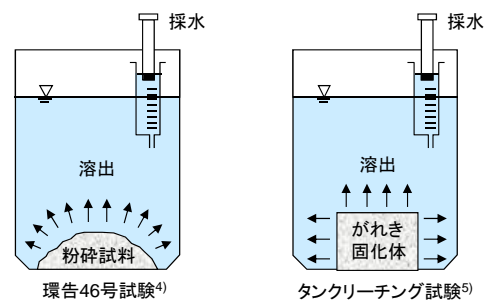


Fig. 3 溶出試験概要^{4), 5)}
Outline of Elution Test^{4), 5)}

度を目安に重金属を人為的に混入しがれき残渣(以下、模擬汚染がれきと呼称)を作製し、同様に溶出試験を行った。また、溶液中のイオン量の程度を把握するために、pHと電気伝導率も併せて測定した。

環告46号試験では、がれき残渣を粒径2mm未満に粉碎した試料100g(Photo 2)と、純水に塩酸を加えて水素イオン濃度指数が5.8以上6.3以下となるように調整した溶媒を、固液比1:10(溶媒1Lに対して試料100g)の割合で混合し、その試料液を6時間浸とうさせた後、分析に供した。試験は、材齢28日で実施した。浸とう状況をPhoto 3に示す。

タンクリーチング試験は、Fig. 3およびPhoto 3に示すように、がれき固化体の供試体から200g程度の試験片を切り出し、環告46号試験で用いた溶媒と同じ溶媒に固液比1:10の割合で浸漬した。試験は、材齢は28日で開始し、浸漬期間を28日とした。

4.2 実験結果

各溶出試験の結果をTable 5に示す。入手しがれき残渣単体の溶出量は、いずれの重金属についても土壤環境基準を満足した。また、がれき固化体の環告46号試験およびタンクリーチング試験の溶出量は、がれき残渣単体の溶出量よりも低く、重金属の溶出が抑制されることが確認できた。なお、環告46号試験の鉛の溶出量は、がれき残渣単体に比べて高い値を示したが、これは検液のpHが12.2と強アルカリであり、鉛が溶出しやすい環境下であったためと考えられる。

Table 5 重金属の溶出試験結果
Result of Elution Test using Heavy Metal

項目	土壤環境基準	無処理のがれき残渣			模擬汚染がれき		
		環告46号試験		タンクリーチング試験	環告46号試験		タンクリーチング試験
		がれき残渣単体	がれき固化体	がれき固化体の試験片	がれき残渣単体	がれき固化体	がれき固化体の試験片
pH	—	11.3	12.2	11.4	11.1	12.2	12.1
電気伝導率 EC (mS/m)	—	121	424	64.6	97.0	277	184
各重金属の溶出量 (mg/L)	六価クロム	0.05	0.04	定量下限値未滿	1.3	0.03	0.03
	砒素	0.01	0.002	定量下限値未滿	0.33	定量下限値未滿	定量下限値未滿
	ふっ素	0.8	0.28	0.15	15	0.42	0.28
	ほう素	1	0.16	定量下限値未滿	26	0.33	0.78
	鉛	0.01	定量下限値未滿	0.001	0.002	0.008	0.002

模擬汚染がれき残渣を用いたがれき固化体の環告46号試験およびタンクリーチング試験の結果をFig. 4に示す。模擬汚染がれき残渣単体の六価クロム、砒素、ふっ素およびほう素の溶出量は、土壤環境基準の20倍程度と高いが、がれき固化体の溶出量は、土壤環境基準を十分満足しており、溶出が抑制された。一方、鉛については、がれき残渣単体からほとんど溶出しなかった。これは、がれき残渣単体のpHが11程度であり、がれき固化体に比べてpHが低く、鉛が水酸化物等の溶出しにくい形態に変化したためと考えられる。がれき固化体についても、鉛の溶出量は土壤環境基準を下回った。

以上のことから、仮に、がれき残渣に土壤環境基準を超過する重金属が混入していても、セメント固化により溶出を抑制できると考えられる。

5. 製造方法の検討

5.1 実験概要

3章で検討したがれき固化体を用いて、実際の二次製品工場にてブロック製品の試作実験を行った。試作したブロック製品には、JIS A 5371に記載されている道路境界ブロックのうち、地先境界ブロックのCタイプ(寸法：幅150mm×高さ150mm×長さ600mm)を対象とした。

使用材料として、セメントに普通ポルトランドセメント、細骨材に陸砂(表乾密度2.66g/cm³、粗粒率2.68)、混和剤にポリカルボン酸系の高性能減水剤を使用した。

がれき残渣には、2章で示した1次粉碎後の粒径40mm以下のものを使用した。

がれき固化体の配合として、がれき残渣1tに対してモルタルを500L混合した場合(がれき残渣とモルタルを容積比で5:5)と725L混合した場合(がれき残渣とモルタルを容積比で4:6)の2配合について検討を行った。2章および3章の結果よりモルタルの水セメント比は30%とし、細骨材セメント比は2とした。

製品の製造方法は、最初にパン型ミキサ(公称容量

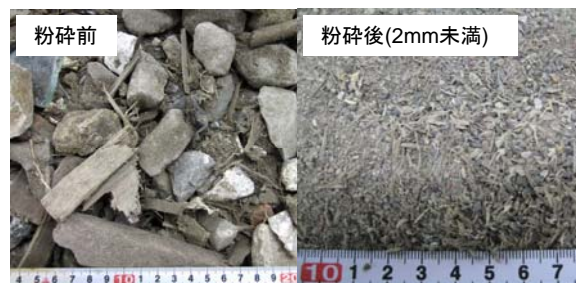


Photo 2 溶出試験に用いたがれき残渣
Wreckage for Elution Test



Photo 3 溶出試験状況
Situation of Elution Test

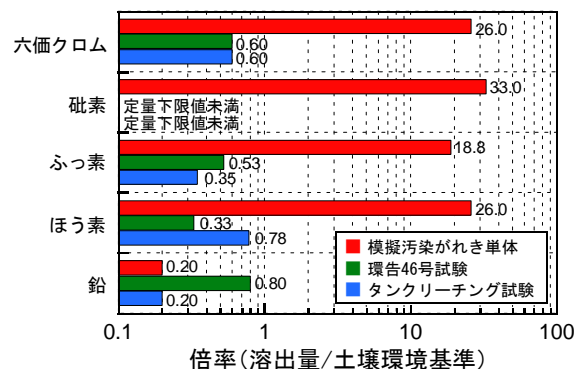


Fig. 4 溶出試験結果(模擬汚染がれき)
Result of Elution Test (Wreckage Polluted in Imitation)

100L)を用いてモルタルを先行して練り混ぜ、次のがれき残渣を投入し、2分間練混ぜを行った。その後、テーブルバイブレータに固定してある鋼製型枠に練り上がったがれき残渣を混合したモルタルを投入し、振動を加えながら上部に設置されたプレス機械により加圧することにより成形した。Photo 4にブロックの製造状況を示す。

製造したのがれき固化体は、即脱し、表面の状況を確認した。脱枠後は気中にて養生を行い、材齢7日で曲げ強度試験(JIS A 5371)を行い、曲げ強度荷重を測定した。

5.2 実験結果

即脱したのがれき固化体の表面の状況をPhoto 5に示す。がれき残渣1tに対して500Lのモルタルを混合した場合は、内部は密実に充てんされるものの、がれき固化体の表面に若干の未充てん部が発生した。モルタル容積を725Lに増加することで、表面の出来ばえを改善することができた。ブロック製品としての仕上がりを見ると、モルタル容積を725Lとする方が望ましい。

モルタルを725L混合したのがれき固化体について、曲げ強度試験を行った結果、曲げ強度荷重は、18.2kNであった。JIS A 5371に記載されている曲げ強度荷重の基準値13kNを上回る結果であった。曲げ強度試験後の試験体の破壊面の状況をPhoto 6に示す。がれき固化体内部も密実に充てんされていた。

曲げ強度荷重は、がれき残渣の品質に影響を受けると思われる。今後は、多数のがれき残渣を用いて試験を行い、ばらつきの検討をしていく必要がある。

6. まとめ

東日本大震災により発生した大量のがれき残渣の有効な利用方法として、コンクリートの骨材代替としての使用に着目し、がれき残渣を用いたブロック製品の適用性について検討した結果、以下の知見が得られた。

- 1) がれき残渣の密度によって品質にばらつきが認められるが、気乾密度で $2\text{g}/\text{cm}^3$ 以上のがれき残渣を使用すれば、JIS A 5371に規定されている曲げ強度荷重を確保することが可能である。
- 2) がれき残渣をモルタルで固化することで、有害物質の溶出を抑制することができる。
- 3) 配合を調整したモルタルとがれき残渣を所定量混合し、振動および加圧させながら成形することにより、密実で即脱可能なブロック製品を製造できる。

以上の検討結果から、がれき残渣を用いたブロック製品に適用できる可能性を示した。今後、品質管理手法について検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 東日本大震災に関する東北支部合同調査委員会：第二次報告会資料，(2011)

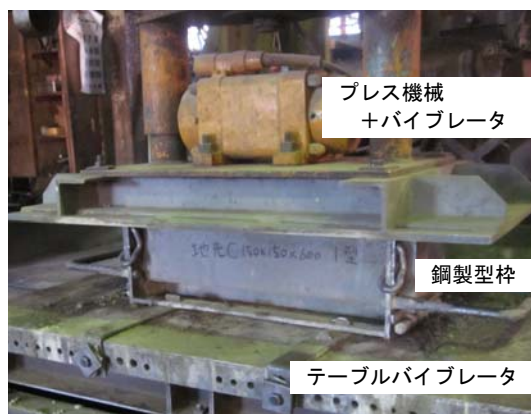


Photo 4 ブロックの製造状況
Situation of Manufacture of Block



Photo 5 即脱後の表面の状況
Situation of Surface after Immediate Demolding



Photo 6 曲げ試験後の破壊面の状況
Situation of Destructive Section after Flexural Strength Test

- 2) 近松竜一，他：コンクリート塊を用いた再生コンクリートに関する基礎研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.1521-1526，(2004)
- 3) 櫻井次郎：バイコンーバサバサのコンクリートを振動で流動化して締め固めるー，東海大学出版，(1998)
- 4) 環境庁：土壌の汚染に係る環境基準について，環境庁告示第46号，(1991)
- 5) 建設省：「セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について」の運用について，建設省技調発第49号，(2000)